



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

School voor Mobiliteitswetenschappen

master in de mobiliteitswetenschappen

Masterthesis

Conflictobservaties door middel van mobiele cameras of drones, voor- en nadelen van beide benaderingen

**Wouter David
Bram Geukens**

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de mobiliteitswetenschappen

PROMOTOR :

Prof. dr. Evelien POLDERS

COPROMOTOR :

Prof. dr. ir. Wim ECTORS



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

www.uhasselt.be
Universiteit Hasselt
Campus Hasselt:
Martelarenlaan 42 | 3500 Hasselt
Campus Diepenbeek:
Agoralaan Gebouw D | 3590 Diepenbeek

2022
2023



School voor Mobiliteitswetenschappen

master in de mobiliteitswetenschappen

Masterthesis

Conflictobservaties door middel van mobiele cameras of drones, voor- en nadelen van beide benaderingen

Wouter David

Bram Geukens

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de mobiliteitswetenschappen

PROMOTOR :

Prof. dr. Evelien POLDERS

COPROMOTOR :

Prof. dr. ir. Wim ECTORS

Voorwoord

Deze masterthesis is geschreven door Wouter David en Bram Geukens als afsluiter van de master Mobiliteitswetenschappen aan de universiteit van Hasselt. De bedoeling van dit onderzoek is om een bijdrage te leveren aan de verkeersveiligheid, waarbij deze masterthesis een verband legt met het MIA-project, Mobiliteit Innovatief Aanpakken. Het doel van deze scriptie is om de voor- en nadelen van twee onderzoek methodologieën te vinden door middel van een vergelijkende studie waarbij er conflictobservaties waargenomen worden. De twee methodologieën ter sprake zijn mobile camera's en drones. Deze studies werden uitgevoerd in een studiegebied te Kiewit in Limburg, België.

Deze masterthesis is een samenvoeging van twee delen. Deze zijn het deel studio en het deel masterproef. In het onderdeel studio werd er in groepjes van twee gewerkt. Hier werd de focus vooral op het observeren en dataverzameling gelegd, zodat concrete subproblemen in kaart gebracht kunnen worden. In het onderdeel masterproef wordt er een verdere verdieping van het subthema uitgevoerd, al dan niet in dezelfde groepen als tijdens de studio.

Deze masterthesis kon niet tot stand komen zonder de hulp van verscheidene personen en partijen. In de eerste plaats willen wij onze promotor prof. dr. Evelien Polders en copromotor prof. dr. ir. Wim Ectors bedanken voor de constante hulp en paraatheid, waardevolle feedback en bijstand gedurende het deel studio en masterproef. Verder willen wij ook de directie van de Vrije Basisschool De Kievit, Tom Hannes van de politiezone Limburg Regio hoofdstad, de directie van het vliegveld van Kiewit en de inwoners van Kiewit bedanken voor hun begrip en toestemming om de dronestudie uit te voeren.

Wij wensen u veel leesplezier toe!

Wouter David en Bram Geukens

Samenvatting

In deze masterthesis werd een onderzoek gevoerd naar het vinden van voor- en nadelen van vaste camera's en drones voor het onderzoek van conflictanalyses. De onderzochte conflictparameters in het onderzoeksgebied zijn: Time to Collision, Post Encroachment Time en Heavy Braking.

Het droneonderzoek werd uitgevoerd op 27 januari 2023 te Kiewit. Er werd gebruik gemaakt van een DJI Mini 3 Pro, die bestuurd werd door dronepiloot Wim Ectors. In totaal werden er negen vluchten uitgevoerd die een totale opnametijd van 138 minuten en 50 seconden opleverden. Hiervan werden er vier vluchten in de voormiddag uitgevoerd tussen 08:00:56 en 09:15:38 die voor een opnametijd van 63min en 54sec zorgden. In de namiddag werden er vijf vluchten uitgevoerd tussen 14:52:51 en 16:21:51, wat een totaal beeldmateriaal van 75min en 56sec opleverde. Gedurende de negen dronevluchten werden er verschillende vlieghoogtes aangehaald tussen de 40m en 70m, waarbij de drone zelf tijdens de opname op een vaste hoogte stabiliseerde. De analyse van de dronebeelden heeft plaatsgevonden via de software DataFromSky (DFS) wat een softwareprogramma is voor geautomatiseerde verkeerskundige analyses, gebaseerd op artificiële intelligentie. Aan de hand van deze software werden er verschillende analyses uitgevoerd waaronder snelheden, remmanoeuvres, herkomst-bestemmingsmatrix (HB-matrices) en het verkeersgedrag.

Het cameraonderzoek werd uitgevoerd van 2 januari 2023 tot en met 29 januari 2023. De soft- en hardware van de camera's was afkomstig van Citymesh en de dataverwerking werd uitgevoerd door het IT-bedrijf Cegeka. Er werd gebruik gemaakt van twee vaste camera's die bevestigd werden aan de ter plaatse weginfrastructuur. Deze camera's werken met een opslagruimte en sturen data door via de 4G/5G communicatie. Het beeldmateriaal is anonieme detectiedata die de vaste camera's niet verlaten. De conflictanalyse gebeurt via een automatische conflictidentificatie die bestaat uit acht stappen waar de beelden geanalyseerd worden.

Het voorbereidingswerk om een onderzoek met een vaste camera of met een drone te laten doorgaan vraagt verscheidene stappen. Voor een droneonderzoek moet er gekeken worden dat deze mag opstijgen in het juiste luchtruim met de gecertificeerde piloot, waar bij een onderzoek met vaste camera's een stroomvoorziening geregeld moet worden. Een belangrijke voorbereidingsfactor die beide onderzoekstechnieken gemeenschappelijk hebben, is de privacy. Omstaanders die gedurende het onderzoek in beeld tevoorschijn komen, worden gefilmd en hun data wordt gebruikt. De individuen die in beeld komen moeten wettelijk correct geïnformeerd worden.

Op basis van het gehele onderzoek werden er enkele voor- en nadelen gevonden voor zowel de drone als de vaste camera's. Drones, die uitgerust zijn met kwaliteitsvolle camera's, zijn een sublieme meettechniek om mobiele voertuigen te onderzoeken. De gegevens zijn nagenoeg accuraat weergeven, wat voor een

betrouwbare output van data zorgt. De weergegeven beeldkwaliteit helpt onderzoekers om heel nauwkeurig verkeersgedrag te analyseren. Verder zorgt de flexibiliteit van de drone voor gemakkelijke onderzoeksomstandigheden. Wanneer er obstakels geformuleerd zijn bij het onderzoek of het onderzoeksgebied, dan kan de drone deze geriefelijk omzeilen door zijn flexibiliteit. Helaas heeft de drone ook nadelen. Het voornaamste aandeel zijn de weersomstandigheden. Bij slechte weersomstandigheden kan een droneonderzoek uitgesteld worden, wat problematisch kan zijn voor een beoordeling. Drones beschikken over een maximale grens van bestendigheid tegen verschillende weersomstandigheden. De ergste weersomstandigheden die roet in het eten kunnen gooien zijn zware neerslag, mist en wind. Ook heeft de beperkte batterijlevensduur een invloed op het onderzoek. Zo kan er maar aan een maximale opnametijd voldaan worden, wat voor langdurige onderzoeken een obstakel kan zijn. Een verder nadeel is het detecteren van actieve weggebruikers. Vanop 40m hoogte (de minimale hoogte gevlogen in dit onderzoek) werden actieve weggebruikers niet accuraat gedetecteerd. De software DataFromSky heeft zich niet sterk bewezen voor de analyse van actieve weggebruikers.

De vaste camera's daarentegen zijn een geschikter middel om actieve weggebruikers waar te nemen. De dichtere filmlocatie van de vaste camera's zorgt voor een betere waarneming van kleinere objecten. Een tweede heel belangrijk voordeel is de lange opnametijd van de camera's. Deze kunnen een onderzoeksgebied heel lang waarnemen, zowel overdag als nachts. Een groot onderzoeksgebied zal wel een hoger kostenplaatje vragen door de extra benodigde camera's. Overigens zijn vaste camera's niet flexibel. Zoals de naam het al zegt, zijn de vaste camera's gefixeerd aan een infrastructureel gedeelte.

Dit onderzoek heeft voor aanbevelingen en verder onderzoek gezorgd. Deze zijn zowel voor de meettechnieken als voor het kruispunt in het onderzoeksgebied bedoeld.

Inhoudsopgave

VOORWOORD	I
SAMENVATTING	III
LIJST VAN FIGUREN	VII
LIJST VAN TABELLEN	IX
1 INLEIDING	1
2 PROBLEEMSTELLING	3
3 ONDERZOEKSDOELSTELLING	7
4 ONDERZOEKSVRAGEN (HOOFD- EN SUBVRAGEN)	9
5 ONDERZOEKSMETHODE/-OPZET EN VERANTWOORDING	11
5.1 DRONEONDERZOEK.....	11
5.1.1 Opzet droneonderzoek	11
5.1.2 Onderzoeksgebied	11
5.1.3 Dronetype	13
5.1.4 Vergunningen	14
5.1.5 Privacy.....	14
5.2 DATAVERWERKING DRONE	15
5.3 CAMERAONDERZOEK.....	16
5.4 EERDERE ONDERZOEKEN MET CAMERA'S EN DRONES.....	18
5.4.1 Vaste camera's	18
5.4.2 Drones.....	21
5.5 LOCATIEBEPALING	24
5.6 PARAMETERS VOOR VERKEERSVEILIGHEID	28
5.6.1 Verkeersintensiteit	28
5.6.2 Type weggebruikers	28
5.6.3 Snelheid.....	29
5.6.4 Surrogate safety measures.....	29
5.6.4.1 Time To Collision	30
5.6.4.2 Post Encroachment Time	31
5.6.4.3 Heavy Braking.....	32
6 ONDERZOEKSPROCES	33
6.1 DRONE	33
6.2 VASTE CAMERA.....	37
6.3 LOCATIEBEPALING	40
6.4 SSMS.....	41
6.5 WEERGEDEVENS	43
7 DATAVERZAMELING EN -ANALYSE VAN DE ONDERZOEKSRISULTATEN	47
7.1 ANALYSE DRONEONDERZOEK	47
7.1.1 Droneonderzoek voormiddag	47
7.1.1.1 Detectie en classificatie weggebruikers.....	47
7.1.1.2 Snelheid	52
7.1.1.3 Oversteekgedrag	53
7.1.1.4 Locatiebepaling	55
7.1.1.5 Conflictanalyse.....	57

7.1.2	<i>Droneonderzoek namiddag</i>	64
7.1.2.1	HB-matrices	64
7.1.2.2	Snelheid	66
7.1.2.3	Bevindingen	67
7.1.2.4	Conflictanalyse	71
7.1.2.5	Snelheidstest	79
7.1.3	<i>Weergegevens</i>	82
7.2	ANALYSE CAMERAONDERZOEK	84
7.2.1	<i>Voormiddag</i>	85
7.2.1.1	Detectie weggebruikers	85
7.2.1.2	Locatie	87
7.2.1.3	Snelheid en conflictparameters	91
7.2.2	<i>Namiddag</i>	92
8	DISCUSSIE	95
9	PRAKTISCHE AANBEVELINGEN EN TOEKOMSTIG ONDERZOEK	99
10	CONCLUSIES	103
11	BIBLIOGRAFIE	105
12	BIJLAGEN	115
12.1	VERGUNNING UAS-ZONE VAN "EBZH - HASSELT - KIEWIT (UGZ)"	115
12.2	GDPR BRIEF	117
12.3	HEATMAPS VAN SNELHEID	121
12.4	HEAVY BRAKING	126

Lijst van figuren

FIGUUR 1 EFFECT VAN ENKELE MAATREGELLEN OP OBJECTIEVE EN SUBJECTIEVE VERKEERSVEILIGHEID (ELVIK, 2000).	4
FIGUUR 2 FRAMEWORK VOOR DRONEONDERZOEK ZOALS OPGESTELD DOOR KHAN ET AL. (2017).....	6
FIGUUR 3 ONDERZOEKSGEBIED (BRON OPENSTREETMAP.ORG)	12
FIGUUR 4 ROUTE PARKING NAAR DE BASISCHOOL (BRON: GOOGLE EARTH).....	13
FIGUUR 5 DJI MINI 3 PRO (DJI TECHNOLOGY, N.D.-A).....	13
FIGUUR 6 GEBIED UITGEDEELDE GDPR-BRIEVEN (BRON: GOOGLE MAPS).....	15
FIGUUR 7: THE FOOTFALL ARTIFICIAL INTELLIGENCE SOLUTION (STUDIODOTT, N.D.).	17
FIGUUR 8: YOLO-ALGORITME (ĆOROVIĆ ET AL., 2018).....	17
FIGUUR 9 VARIATIE IN TRAJECTORIËN VAN FIETSERS (NABAVI NIAKI ET AL., 2018).	20
FIGUUR 10 PRINCIPE VAN CODE-MATCHING VOOR GPS-SIGNALLEN (VERSTRAETEN, 2017).	24
FIGUUR 11 PLAATSBEPALING DOOR MIDDEL VAN GPS (JENSEN & JENSEN, 2013).	26
FIGUUR 12 LOCATIE VAN HET 3D-PUNT (NGI, 2022).....	27
FIGUUR 13 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE ACHTERLIGGENDE REDENERING VOOR DE PET (BEAUCORPS ET AL., 2017).	32
FIGUUR 14 WEERSOMSTANDIGHEDEN IN DE NAMIDDAG.....	34
FIGUUR 15 WEERSOMSTANDIGHEDEN IN DE OCHTEND	34
FIGUUR 16 KRANTENARTIKEL ONGEVAL (JACOBS, 2023)	36
FIGUUR 17 OPSTELLING VASTE CAMERA'S (GOOGLE MAPS EN EIGEN BEWERKING, 2022).	37
FIGUUR 18 BOVEN: BEELD VAN DE VASTE CAMERA DIE GEMONTEERD IS AAN DE HOEK VAN HET JEUGDHUIS (LINKSE BOL IN FIGUUR 17); ONDER: BEELD VAN DE VASTE CAMERA DIE GEMONTEERD IS AAN HET VERKEERSLICHT OP DE HOEK VAN DE KEMPISCHE STEENWEG EN DE TULPINSTRAAT (RECHTSE BOL IN FIGUUR 17). DE KLEUREN STELLEN DE NAUWKEURIGHEID VAN DE METINGEN VOOR (CEGEKA, 2023).	38
FIGUUR 19 RELATIE TUSSEN DELTA-V EN RISICO OP ZWARE VERWONDINGEN (GABAUER & GABLER, 2006)	41
FIGUUR 20 ACHTERLIGGENDE REDENERING BIJ HET BEPALEN VAN DE ERNST VAN EEN CONFLICT. AANGEPAST VANUIT DE CEUNYNCK (2017).....	42
FIGUUR 21 INVLOED VAN TYPE LANDBEDEKKING EN HOOGTE OP WINDSNELHEID (GLOBAL WIND ATLAS, N.D.).	44
FIGUUR 22 GROND- OF STRALINGSINVERSIE (KMI, N.D.-B).....	45
FIGUUR 23 STOMENDIAGRAM MET VERKEERSINTENSITEITEN (IN PAE, OP BASIS VAN HET GEMOTORISEERD VERKEER).	48
FIGUUR 24 DETECTIE VOETGANGERS.	49
FIGUUR 25 DETECTIE VAN VOETGANGERS EN FIETSERS TIJDENS HET OVERSTEKEN VAN DE KEMPISCHE STEENWEG ROND DE START VAN DE SCHOOLDAG.	50
FIGUUR 26 AANTAL GEDETECTEERDE VOETGANGERS OP HET ZEBRAPAD TUSSEN DE PARKING EN DE KERK TIJDENS VLUCHT 2.....	51
FIGUUR 27 AANTAL GEDETECTEERDE VOETGANGERS OP HET ZEBRAPAD TUSSEN DE BAKKER EN DE KERK.....	51
FIGUUR 28 HEATMAP MET GEMIDDELDE SNELHEDEN VAN HET VERKEER TIJDENS VLUCHT 3.	53
FIGUUR 29 TRAJECTORIEËN VAN ALLE WEGGEBRUIKERS TIJDENS VLUCHT 2. GROEN STAAT VOOR GEMOTORISEERD VERKEER, BLAUW VOOR FIETSERS EN LICHTBLAUW VOOR VOETGANGERS.	54
FIGUUR 30 AUTO NEGEERT EEN ROOD LICHT EN EEN FIETSER DRAAGT EEN FLUOHESJE TIJDENS VLUCHT 1.	55
FIGUUR 31 SPREIDINGDIAGRAM VOOR DE AFWIJKING VAN DE LOCATIE TIJDENS VLUCHT 3 (BOVEN) EN 4 (ONDER). ELKE BOL STELT EEN METING VOOR (= EEN SECONDE).....	56
FIGUUR 32 VOORBEELD VAN EEN "KRITIEKE" SITUATIE OP BASIS VAN DE TTC-PARAMETER WAARBIJ TWEE WAGENS EEN BUS EN EEN VRACHTWAGEN VOORBIJRIJDEN OP DE LINKERRIJSTROOK.....	58

FIGUUR 33 VOORBEELD VAN EEN "KRITIEKE" SITUATIE OP BASIS VAN DE TTC-PARAMETER WAARBIJ EEN WAGEN VAN RIJSTROOK VERANDERT OM EEN VRACHTWAGEN IN TE HALEN.	58
FIGUUR 34 FOUTIEF CONFLICT TUSSEN EEN AFSLAANDE VRACHTWAGEN EN EEN WAGEN DIE RECHTDOOR RIJDT.	59
FIGUUR 35 VOORBEELD VAN EEN SITUATIE WAARBIJ AFSLAANDE WAGENS EEN CONFLICT VEROORZAKEN MET EEN WACHTENDE FIETSER OP BASIS VAN DE TTC-PARAMETER.	60
FIGUUR 36 CONFLICTSITUATIE OP BASIS VAN DE PET-PARAMETER TUSSEN EEN KRUISENDE WAGEN EN VRACHTWAGEN WAARBIJ DE VRACHTWAGEN MOET UITWIJKEN VOOR EEN GEPARKEERDE CONTAINER.	61
FIGUUR 37 CONFLICTSITUATIE OP BASIS VAN DE PET-PARAMETER TUSSEN EEN RIJDENDE BUS OP DE BUSBAAN EN STILSTAAND VERKEER OP DE REGULIERE RIJWEG.	62
FIGUUR 38 CONFLICTSITUATIE OP BASIS VAN DE PET-PARAMETER TUSSEN EEN AFSLAANDE VRACHTWAGEN MET EEN FOUTIEVE BOUNDING BOX EN EEN WAGEN DIE RECHTDOOR RIJDT.	62
FIGUUR 39 OVERZICHT VAN ALLE MOMENTEN WAAROP WEGGEBRUIKERS TIJDENS VLUCHT 3 STERK AFREMMEN.	63
FIGUUR 40 INTENSITEIT KRUISPUNT KEMPISCHE STEENWEG NAMIDDAG (STRODIO)	65
FIGUUR 41: SNELHEDEN VLUCHT 8	66
FIGUUR 42: WAARGENOMEN SNELHEIDSOVERTREDING	67
FIGUUR 43 FOUTEN PER VERVOERSMODI	68
FIGUUR 44 SOORTEN DETECTIEFOUTEN	69
FIGUUR 45 EEN GROEP VOETGANGERS WORDT NIET GEDETECTEERD	70
FIGUUR 46 DRIE VOETGANGERS WORDEN NIET GEDETECTEERD	70
FIGUUR 47 TWEE FIETSERS WORDEN NIET GEDETECTEERD	70
FIGUUR 48 EEN FIETSER WORDT HEEL LAAT GEDETECTEERD	70
FIGUUR 49: DE LICHTE VRACHTWAGEN EN AUTO KOMEN BIJNA IN CONFLICT MET ELKAAR	72
FIGUUR 50: BOUNDING BOX-FOUT 1	73
FIGUUR 51: RANDFOUT 1	73
FIGUUR 52: RANDFOUT 2	74
FIGUUR 53: RANDFOUT 3	74
FIGUUR 54: FILMHOEFOUT 1	75
FIGUUR 55: FILMHOEFOUT 2	75
FIGUUR 56: FILMHOEFOUT 3	75
FIGUUR 57: AFWIJKING VAN DE TRAJECTORIE	76
FIGUUR 58: VERKEERDE BOUNDING BOX	77
FIGUUR 59: VERKEERDE BOUNDING BOX	77
FIGUUR 60: HEAVY BRAKING VAN VOERTUIG ID 417	78
FIGUUR 61: GRAFISCHE WEERGAVE HEAVY BRAKING VOERTUIG ID 417	79
FIGUUR 62: GPS-RESULTAAT TEST 3	81
FIGUUR 63: GPS-RESULTAAT TEST 2	81
FIGUUR 64: GPS-RESULTAAT TEST 1	81
FIGUUR 65: DFS-RESULTAAT TEST 1	81
FIGUUR 66: DFS-RESULTAAT TEST 3	81
FIGUUR 67: DFS-RESULTAAT TEST 2	81
FIGUUR 68 VOORBEELD VAN DE ANIMATIEVIDEO'S	84
FIGUUR 69 DETECTIE VAN DEZELFDE GROEP VOETGANGERS ALS IN FIGUUR 24.	87
FIGUUR 70 SPREIDINGSDIAGRAM VOOR DE AFWIJKING VAN DE LOCATIE TIJDENS OPNAME 3 (BOVEN) EN 4 (ONDER). ELKE BOL STELT EEN MEETING VOOR (= EEN SECONDE).	89
FIGUUR 71 RUIMTELIJKE VERGELIJKING VAN DE LOCATIE-TRACKING VAN EENZELFDE OVERSTEEKMOMENT VOOR DRIE DATABRONNEN. BRON ACHTERGRONDFOTO: GEOPUNT.BE.	90

Lijst van tabellen

TABEL 1 SAMENVATTENDE VERGELIJKENDE OVERZICHTSTABEL	23
TABEL 2 DETAILS DRONEVLUCHTEN	34
TABEL 3 WEERSOMSTANDIGHEDEN VOORMIDDAG (WEER1, 2023)	35
TABEL 4 WEERSOMSTANDIGHEDEN NAMIDDAG (WEER1, 2023)	35
TABEL 5 GEBRUIKTE GRENSWAARDEN OM DE ERNST VAN EEN TTC OF PET CONFLICT IN TE DELEN.	43
TABEL 6 ABSOLUTE EN RELATIEVE FREQUENTIE PER VERVOERSMODUS EN VLUCHT (DRONEOPNAME/VOORMIDDAG)	47
TABEL 7 VERSCHIL TUSSEN DE POSITIE VAN DFS EN DE DIFFERENTIEEL-GPS (IN METER).	55
TABEL 8 SAMENVATTING TTC EN PET VOORMIDDAG	57
TABEL 9: ABSOLUTE EN RELATIEVE FREQUENTIE PER VERVOERSMODUS EN VLUCHT (DRONEOPNAME/NAMIDDAG).....	64
TABEL 10: SAMENVATTING TTC EN PET NAMIDDAG.....	71
TABEL 11 UREN WAAROP AAN EEN BEPAALDE WEERSCONDITIE VOLDAAN IS	82
TABEL 12 GESCHIKTE UREN OM EEN DRONE TE LATEN VLIEGEN (OP JAARBASIS).	83
TABEL 13: ABSOLUTE EN RELATIEVE FREQUENTIE PER VERVOERSMODUS EN OPNAME (VASTE CAMERA/VOORMIDDAG).....	85
TABEL 14 VERSCHIL TUSSEN DE POSITIE VAN DE VASTE CAMERA EN DE DIFFERENTIEEL-GPS (IN METER).	88
TABEL 15: ABSOLUTE EN RELATIEVE FREQUENTIE PER VERVOERSMODUS EN OPNAME (VASTE CAMERA/NAMIDDAG)	92

1 Inleiding

Drones zijn een doorbraak van de technische evolutie en zijn niet meer uit ons denkpatroon weg te houden. Voor verschillende onderzoeken zorgen ze voor een beter overzicht, lagere kosten, geven een ander perspectief en beschikken nog over meer voor-, maar ook nadelen ten opzichte van reeds bestaande technologieën. Recent heeft deze technologie ook ingang gevonden in het veld van mobiliteitswetenschappen als, onder andere, een middel voor verkeersveiligheidsonderzoek. Uiteraard bestaan er nog andere technieken om observaties uit te voeren, waaronder vaste camera's. Deze methodologie brengt ook voor- en nadelen met zich mee.

In dit onderzoek worden conflictobservaties onderzocht met een drone en vaste camera's, waarna de voor- en nadelen van beide onderzoeksmethoden onderzocht worden. Het onderzoek vindt plaats op een kruispunt te Kiewit in Limburg, waar de twee methodes op hetzelfde moment ingezet worden om zo een analyse te kunnen maken van de gevonden conflictobservaties. De dronestudie werd georganiseerd en uitgevoerd door masterstudenten Wouter David en Bram Geukens, met de hulp en onder toezicht van prof. dr. ir. Wim Ectors. De dataopname met de vaste camera's wordt uitgevoerd door Cegeka, een IT-bedrijf gevestigd in Hasselt.

Dit onderzoek kadert binnen het MIA-project, Mobiliteit Innovatief Aanpakken, dat in 2021 gelanceerd is door Vlaams minister van Mobiliteit en Openbare Werken Lydia Peeters (Departement Mobiliteit en Openbare Werken, n.d.). Het doel van dit project is om nul verkeersdoden te hebben. Verder is het ook de bedoeling dat procedures in verband met het uitvoeren van infrastructuurwerken vereenvoudigd kunnen worden zodat infrastructurele maatregelen sneller uitgevoerd kunnen worden. Deze masterthesis wordt uitgevoerd voor de UHasselt onder begeleiding van prof. dr. Evelien Polders en prof. dr. ir. Wim Ectors.

Het primaire doel van deze masterproef is om een duidelijk verschil te maken tussen de twee onderzoeksmethoden van drone en vaste camera's, zodat toekomstige onderzoeken een duidelijke keuze kunnen maken over welk type materiaal zij zullen gebruiken.

Het rapport is gestructureerd in zeven fases:

1. Probleemdefinitie
 - a. Hierin wordt het praktijkprobleem aan het licht gebracht, waarop dan de onderzoeksdoelstellingen en onderzoeksvragen gebaseerd worden, met de bijhorende deelvragen.
2. Onderzoeksmethode/-opzet en verantwoording
 - a. In de tweede fase wordt de onderzoeksmethode toegelicht, waarbij er in detail beschreven wordt hoe de dronestudie uitgevoerd zal worden. Verder wordt er ook gefocust op de dataverwerking, eerdere onderzoeken met drones en vaste camera's, technieken voor locatiebepaling en de geselecteerde verkeersveiligheidsparameters.

3. Onderzoeksproces
 - a. In het onderzoeksproces worden de ontwikkelingen van de uitgevoerde methodologieën en onderzoeken besproken. Hier ligt de focus op de onderzoeksprocessen van de dronestudie, vaste camera, locatiebepaling en de veiligheidsindicatoren.
4. Dataverzameling en -analyse van de onderzoeksresultaten
 - a. In de vierde fase worden de gevonden resultaten besproken van de verschillende uitgevoerde studies. Deze werden opgedeeld in twee delen namelijk de resultaten van de voormiddag en die van de namiddag.
5. Discussie
 - a. In de discussie wordt er teruggekeken naar de onderzoeksvragen en of er een antwoord voor deze vragen gevonden wordt. Verder wordt er ook een verband gelegd met de bevindingen in de literatuur en de resultaten.
6. Praktische aanbevelingen en toekomstig onderzoek
 - a. Op basis van de bevindingen worden er aanbevelingen gedaan voor de toekomst. Hier worden vooral aanbevelingen geformuleerd voor toekomstige studies die objectieve verkeersveiligheid willen onderzoeken aan de hand van videobeelden. Tevens worden er enkel mogelijke ingrepen vermeld om de veiligheid op het bestudeerde kruispunt te verhogen.
7. Conclusie
 - a. In de conclusie worden de voor- en nadelen van de vaste camera en de drone besproken.

2 Probleemstelling

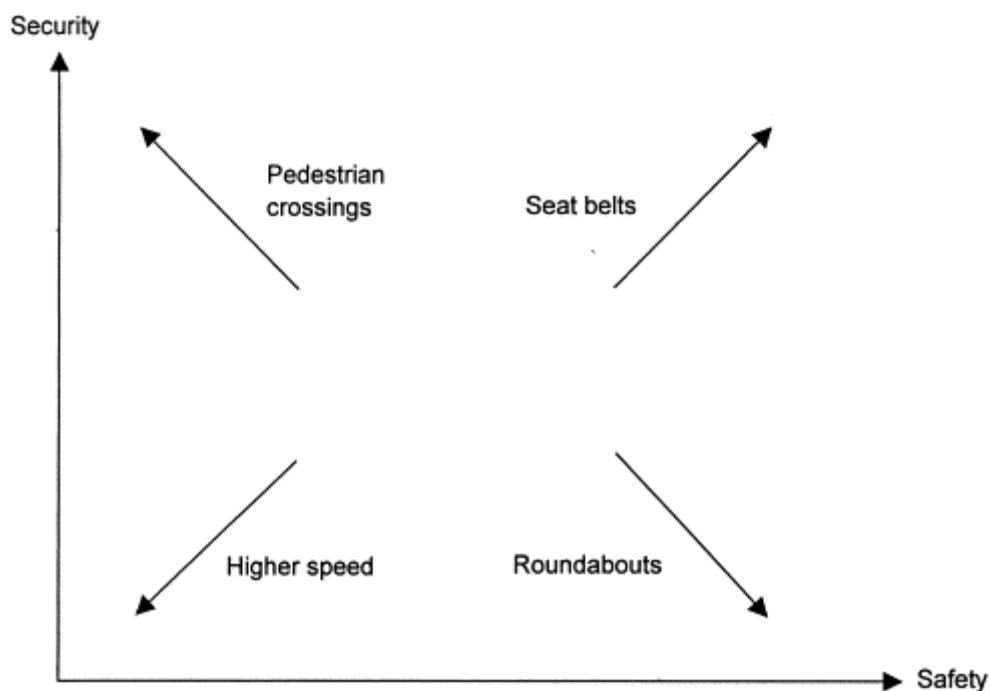
- *Studio, Wouter David & Bram Geukens* -

Verkeersveiligheid is en blijft een enorm belangrijk onderwerp in Vlaanderen en bij uitbreiding de ganse wereld. Getuige hiervan zijn onder andere de vele bewustmakingscampagnes rond overdreven snelheid, alcohol en/of drugs in het verkeer of het gebruik van mobiele technologie zoals smartphones achter het stuur. Ondanks de vele acties, stierven er in 2019 in België 644 personen in het verkeer en raakten 47.188 mensen gewond bij verkeersongevallen (Slootmans, 2021). Wanneer er gekeken wordt naar de evolutie van deze cijfers doorheen de tijd, dan kan er een dalende trend vastgesteld worden, maar toch blijft de mortaliteit op de Belgische wegen met 44 doden per 30 dagen per miljoen inwoners hoger dan het Europese gemiddelde (Slootmans, 2021). Niet elke leeftijdscategorie is echter in gelijke mate betrokken bij verkeersongevallen. De analyses van Slootmans (2021) maken duidelijk dat er verhoudingsgewijs voornamelijk jongeren met een leeftijd tussen 20 en 24 jaar gewond raken of sterven in het verkeer.

Ook kinderen met een leeftijd tussen 0 en 14 jaar worden doorgaans beschouwd als extra kwetsbaar in het verkeer. De voornaamste oorzaak voor hun verhoogde kwetsbaarheid is het feit dat de cognitieve en fysieke vaardigheden die nodig zijn om zich veilig in het verkeer te begeven, nog volop in ontwikkeling zijn, voornamelijk bij jonge kinderen (Vias Institute, 2022). Ondanks het feit dat deze leeftijdscategorie minder kans heeft om te overlijden bij een verkeersongeval, stierven er in 2019 echter 11 kinderen en raakten 3.493 kinderen gewond op de Belgische wegen (Slootmans, 2021; Vias Institute, 2022). Meer dan de helft van hen (57%) was op dat moment te voet of met de fiets onderweg. Onderzoek van Roynard et al. (2015) laat zien dat wanneer deze leeftijdscategorie onderweg is van of naar school, 78% van de ongevallen op dit traject gebeuren in de onmiddellijke schoolomgeving. Dit toont aan dat de verkeersveiligheid in schoolomgevingen nog steeds verbeterd kan worden.

In de literatuur zijn verscheidene methoden beschreven om verkeersveiligheid in kaart te brengen. Hierbij is het belangrijk om een onderscheid te maken tussen enerzijds objectieve en anderzijds subjectieve veiligheid. De eerste categorie kan gemeten, vastgesteld en statistisch geanalyseerd worden. Een gekend voorbeeld hiervan zijn analyses van het aantal ongevallen en gewonden in een bepaald gebied of land, zoals de cijfers uit de vorige alinea's (Sørensen & Mosslemi, 2009). Subjectieve verkeersveiligheid daarentegen gaat over het (on)veiligheidsgevoel of angst die mensen ervaren om zich in het verkeer te begeven (Sørensen & Mosslemi, 2009). Deze definitie is echter minder eenduidig en verschilt vaak van onderzoek tot onderzoek. Zo kan het beschouwd worden als het onveiligheidsgevoel dat mensen ervaren wanneer anderen zoals ouders of kinderen zich in het verkeer begeven (Elvik et al., 1999). Andere onderzoeken focussen dan weer op het waargenomen risico op een ongeval, de geschatte kans op overlijden in een ongeval of de mate van controle die een weggebruiker heeft op een bepaalde situatie (Amundsen & Bjørnskau, 2003; Sørensen & Mosslemi, 2009).

Hoewel beide vormen van verkeersveiligheid aan elkaar gelinkt zijn, is de relatie niet eenduidig (Elvik, 2000). Een verbetering van de objectieve verkeersveiligheid gaat dus niet automatisch gepaard met een hoger veiligheidsgevoel. Zo kan een infrastructurele maatregel zoals het omvormen van een voorrangskruispunt naar een rotonde de objectieve verkeersveiligheid verbeteren, maar blijken mensen zich nadien minder veilig te voelen (zie Figuur 1). Mogelijks is juist dit lagere veiligheidsgevoel de verklaring voor de verhoogde objectieve veiligheid doordat mensen door het lagere veiligheidsgevoel minder risicovol gedrag zullen vertonen (Elvik, 2000). Dit leidt bijgevolg tot een ethisch dilemma waarbij men zich kan afvragen of het correct is om mensen zich onveilig te laten voelen (Elvik, 2000).



Figuur 1 Effect van enkele maatregelen op objectieve en subjectieve verkeersveiligheid (Elvik, 2000).

Deze masterproef zal focussen op de eerste categorie. Zoals reeds werd aangehaald, wordt de objectieve verkeersveiligheid van een kruispunt, wegsegment, ... in kaart gebracht door gebruik te maken van ongevallenstatistieken. Deze techniek is echter gevoelig aan enkele nadelen zoals onderrapportage of de lange looptijd die nodig is om statistisch significante conclusies te kunnen formuleren omdat ongevallen relatief weinig voorkomen (Abdulhafedh, 2017; Tarko, 2018). Daarom worden andere methodieken ontwikkeld die hieraan tegemoetkomen.

Een van die alternatieven bestaat uit het afleiden van zogenaamde *surrogate safety measures* (SSMs) of surrogaat veiligheidsindicatoren. Deze parameters laten, zoals hun naam doet vermoeden, toe om verkeersveiligheid op een indirecte manier te benaderen. Een veelgebruikte indicator is de *Time To Collision* of TTC die reeds in 1972 beschreven werd door Hayward. Zonder hier reeds in te gaan op de achterliggende formules, toont deze parameter de tijd die resteert tot er een botsing tussen twee voertuigen plaatsvindt indien deze voertuigen hetzelfde traject

volgen en aan dezelfde snelheid blijven rijden (Hayward, 1972). Dit is uiteraard een simplificatie van de werkelijkheid, maar onderzoek heeft aangetoond dat dit een nuttige parameter is om verkeersveiligheid te bestuderen (Vogel, 2003). Een lage waarde voor de TTC duidt immers op een groot verschil in snelheid of een kleine *time headway* tussen beide voertuigen, of een combinatie van beiden, wat potentieel tot gevaarlijke situaties of zelfs ongevallen kan leiden.

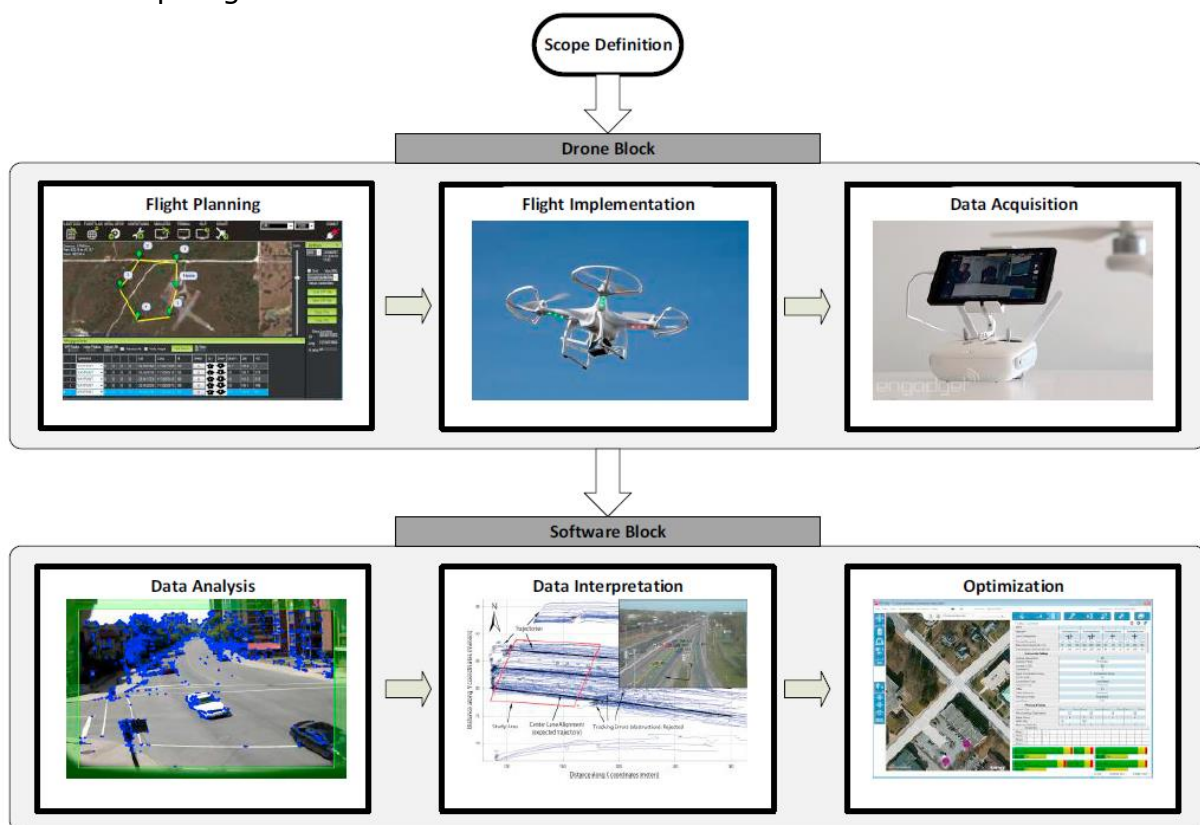
Naast de TTC zijn er ook nog verschillende andere zulke indicatoren met elk hun voor- en nadelen. Ook worden er in de literatuur nog steeds nieuwe indicatoren uitgewerkt, die vaak een combinatie zijn van twee of meerdere bestaande indicatoren, of die een van de zwakheden van een bestaande indicator oplossen door bijvoorbeeld extra gegevens in rekening te brengen en de formule dus uit te breiden (Wang et al., 2021). Gezien de grote verscheidenheid aan SSMs, zou het dan ook te ver leiden om hier elke indicator één voor één in detail te beschrijven. Een niet-exhaustieve lijst van surrogaat veiligheidsindicatoren kan teruggevonden worden in het werk van Wang et al. (2021). Verderop in dit rapport zal er onder paragraaf 5.6 echter wel aandacht geschonken worden aan de parameters die toegepast zullen worden in deze masterthesis.

Deze parameters vereisen logischerwijze informatie over (individuele) voertuigen. Dit kan gaan over relatief eenvoudig te meten gegevens zoals bijvoorbeeld de snelheid of de richting waarin een voertuig rijdt, maar ook over uitgebreidere informatie zoals het gewicht van voertuigen, de remcapaciteit, ... Hierdoor is het uiteraard noodzakelijk om dit soort data te verzamelen, afgestemd op de technische mogelijkheden en gekozen parameters. Deze gegevens kunnen geobserveerd worden door onder meer door gebruik te maken van detectielussen, radarsystemen, GPS-gegevens, ... (Abdel-Aty et al., 2004; Calabrese et al., 2013; Lee et al., 2006; Punzo & Simonelli, 2005). Dit soort data kan echter ook afgeleid worden uit videobeelden. Voorheen gebeurde dit voornamelijk met vaste camera's. Wanneer er hiermee echter duidelijke informatie wil verkregen worden over de evolutie van bijvoorbeeld de verkeersvraag, snelheid of OD-matrices in een vervoersnetwerk, is het belangrijk dat voldoende van deze camera's geïnstalleerd zijn waardoor deze aanpak vaak tijdrovend en duur is, en de inzet van speciaal opgeleid personeel vereist is (Coifman et al., 2006).

Recente evoluties, zowel op vlak van technologie als algoritmes voor automatische beeldverwerking, hebben ertoe geleid dat drones meer en meer gebruikt worden als alternatief om naturalistisch verkeersonderzoek uit te voeren. Deze wijze van dataverzameling is flexibeler in vergelijking met vaste camera's, en minder intrusief dan bijvoorbeeld het installeren van toestellen in voertuigen om hen vanop afstand te kunnen volgen (Barmounakis et al., 2016; Gu et al., 2019; Khan et al., 2017). Onder meer hierdoor gebeurt er vandaag de dag enorm veel onderzoek naar drones, waardoor de kennis over deze nieuwe technologie enorm snel evolueert (Outay et al., 2020). Zo vermeldt de studie van Khan et al. (2017) dat het onderzoek naar toepassingen van drones binnen mobiliteitswetenschappen op het moment van publicatie in zijn kinderschoenen staat. Wanneer er vandaag, zes jaar later, in de literatuur op zoek gegaan wordt naar publicaties over drones

binnen datzelfde onderzoek domein, wordt er een massa aan onderzoeken terug gevonden. Volgens het onderzoek van Outay et al. (2020) kunnen deze studies in drie grote deeldomeinen binnen het onderzoeksgebied van mobiliteitswetenschappen ingedeeld worden, namelijk infrastructuurmanagement, verkeersveiligheid, en verkeersmonitoring & -management. Gelet op het onderwerp en de doelstellingen van deze masterthesis, kan dit onderzoek in de tweede categorie geplaatst worden.

Aan het gebruik van drones zijn echter ook nadelen verboden. Zo is bijvoorbeeld de batterijcapaciteit beperkt tot een twintig a dertigtal minuten waardoor de vluchtduur (en dus ook de duur van de observatie) vaak beperkt is (Outay et al., 2020). Verder zijn ook de privacy van de personen die in beeld gebracht (kunnen) worden en de regelgeving omtrent het gebruik van verschillende types van drones belangrijke aandachtspunten (Barmounakis et al., 2016; Khan et al., 2017). Onder meer hierdoor hebben Khan en collega's (2017) een framework ontworpen voor het plannen en uitvoeren van een dronevlucht, alsook voor de verwerking en analyse van de beelden. In deze thesis zal hiervan gebruik gemaakt worden om, onder meer, de details van de dronevlucht in te plannen en de data te verwerken. Dit framework is schematisch weergegeven in Figuur 2 en zal verder toegelicht worden in paragraaf 5.1.



Figuur 2 Framework voor droneonderzoek zoals opgesteld door Khan et al. (2017).

3 Onderzoeksdoelstelling

- *Wouter David & Bram Geukens* -

De bedoeling van deze masterthesis is om de voor- en nadelen van drones en vaste camera's voor het benaderen van objectieve verkeersveiligheid te achterhalen. Aangezien drones binnen mobiliteitswetenschappen een relatief nieuw gegeven zijn, worden er in razend tempo nieuwe toepassingen en oplossingen uitgewerkt voor allerlei problemen (zie voorgaande hoofdstuk). Dit betekent echter niet dat andere technieken zoals bijvoorbeeld observaties door middel van vaste camera's zomaar vervangen moeten worden door drones. Daarom is het nuttig om beide technieken met elkaar te vergelijken om zo na te gaan wat de voor- en nadelen exact zijn, hoe nauwkeurig de metingen van beide methodes zijn, of er toepassingen zijn waarvoor de ene dan wel de andere techniek beter geschikt is, enzovoort.

Het vergelijken van twee onderzoekstechnieken is enerzijds ingegeven vanuit pure wetenschappelijke interesse. Zo zal er nagegaan worden welke soort informatie er uit welke techniek afgeleid kan worden, wat de betrouwbaarheid van deze resultaten is, of er speciale aandachtspunten zijn voor een bepaalde techniek of fase in het onderzoeksproces, ... In toekomstige onderzoeken zal er een variatie zijn van omstandigheden. Door het onderzoeken van sterktes, zwaktes en valkuilen van drones en vaste camera's wil dit rapport een bijdrage zijn voor toekomstige onderzoeken waarbij er een keuze gemaakt dient te worden tussen één van de twee technieken.

Anderzijds zullen de bevindingen ook toelaten om de objectieve verkeersveiligheid van het gekozen studiegebied (zie 5.1.2) te kwantificeren. Deze informatie kan door overheden (lokaal, regionaal of zelfs federaal) of andere partners zoals de politie gebruikt worden om het verkeer objectief gezien veiliger te laten verlopen. Dit kan bijvoorbeeld door bij (toekomstige) infrastructurele aanpassingen rekening te houden met eventuele problemen die zich in de huidige situatie zouden stellen. Ook minder ingrijpende maatregelen zoals het aanpassen van de verkeerslichtenregeling of het efficiënter inplannen van bijvoorbeeld snelheidscontroles behoren tot de mogelijkheden. Doordat de resultaten objectief vastgesteld worden, zouden de bevindingen ook gebruikt kunnen worden als hulpmiddel voor lokale overheden bij het prioriteren van bepaalde ingrepen, of om problemen aan te kaarten bij bijvoorbeeld het Agentschap Wegen en Verkeer zodat het voor mensen veiliger wordt om zich in het verkeer te begeven.

4 Onderzoeksvragen (hoofd- en subvragen)

Deze masterthesis over drones en vaste camera's is het vervolg van het deel studio dat in het eerste semester van het academiejaar uitgevoerd werd. Door de opgelopen vertragingen van de vaste camera's (zie 6.2) werd er gebruik gemaakt van dezelfde onderzoeksvragen als in het deel studio. Gezien de blijvende problematiek van de verkeersveiligheid (in schoolomgevingen) en de doelstellingen van deze thesis, werd volgende hoofdonderzoeksvraag opgesteld:

“Wat zijn de voor- en nadelen van vaste camera's en drones voor het bestuderen van objectieve verkeersveiligheid?”

Op basis van deze hoofdonderzoeksvraag werden vervolgens volgende deelonderzoeksvragen geformuleerd:

- Deelonderzoeksvraag 1
“Welke voorbereidende aspecten moeten voor beide onderzoeken genomen worden alvorens ze uitgevoerd kunnen worden?”
- Deelonderzoeksvraag 2
“Welke indicatoren voor verkeersveiligheid en -conflicten kunnen afgeleid worden uit camera- en dronebeelden?”
- Deelonderzoeksvraag 3
“Wat is de accuraatheid van deze indicatoren voor beide technieken?”
- Deelonderzoeksvraag 4
“Voor welke toepassingen kunnen uitsluitend vaste camera's of drones ingezet worden?”

In het verdere verloop van dit rapport zal verder ingegaan worden hoe deze vragen beantwoord zullen worden. Aangezien deze masterproef wordt uitgevoerd en geschreven door twee studenten, zullen beiden samen trachten een antwoord te formuleren op bovenstaande vragen. In overeenstemming met de richtlijnen zal er doorheen de thesis telkens aangegeven worden wie welk deel geschreven heeft.

5 Onderzoeksmethode/-opzet en verantwoording

5.1 Droneonderzoek

- Wouter David -

5.1.1 Opzet droneonderzoek

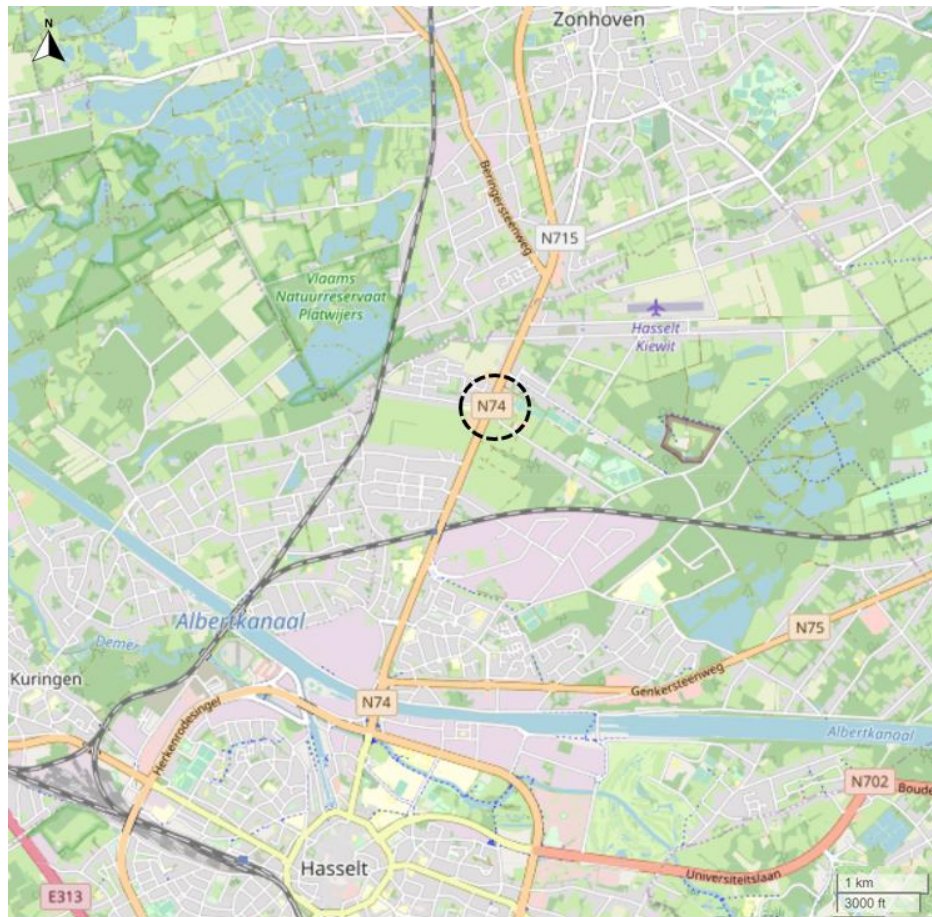
Een deel van dit onderzoek bestaat uit dataverzameling met een drone. Deze zal de verkeerssituatie in het studiegebied in beeld brengen, waarna de benodigde data geanalyseerd kan worden. Deze dronestudie heeft plaatsgevonden op een kruispunt te Kiewit bij de Vrije Basisschool de Kievit in Hasselt.

Het droneonderzoek werd opgesteld volgens het framework van Khan et al. (2017). De belangrijkste stap is de *Scope Definition*. Hier wordt er bepaald wat er exact opgenomen moest worden door de drone voor de conflictanalyse. Voorts werden de vlieglocaties in het onderzoeksgebied, vlieghoogtes, vliegduur en de timing van de drone bepaald.

Om ervoor te zorgen dat deze vlucht legaal kon doorgaan, werd ook de *Flight Planning Stage* gerespecteerd, waarbij de veiligheid gegarandeerd werd, de omgeving op de hoogte gebracht werd en de benodigde vergunningen verkregen werden.

5.1.2 Onderzoeksgebied

Het onderzoeksgebied is een kruispunt dat gesitueerd is in Kiewit (zie Figuur 3). Dit kruispunt ligt op de N74 (van E314 tot grens met Nederland), ook wel bekend als de Noord-Zuid verbinding. De N74 is een primaire weg type 1 en heeft een verbindende functie op Vlaams niveau en een aanvullende functie voor het verzamelen op Vlaams niveau. De twee wegen die samen komen op het kruispunt zijn de Tulpinstraat (vanuit het oosten) en de Vijversstraat (vanuit het westen).



Figuur 3 Onderzoeksgebied (bron OpenStreetMap.org)

Op microniveau wordt het kruispunt beter in detail gebracht. Van 2 januari 2023 tot 29 januari 2023 heeft er een onderzoek plaatsgevonden waarbij conflictsituaties onderzocht werden met vaste camera's. In de buurt van het kruispunt is de Vrije Basisschool De Kievit gesitueerd. Uit een gesprek met prof. dr. ir. Wim Ectors werd er vernomen dat de kinderen aan de parking op de hoek van de Kempische Steenweg en de Tulpinstraat worden afgezet en dan zo de drukke Kempische Steenweg moeten oversteken richting de basisschool (weergegeven door de gele lijn in Figuur 4). Hiervoor werd er een onderzoek opgestart met twee vaste camera's die een conflictanalyse zullen uitvoeren.



Figuur 4 Route parking naar de basisschool (bron: Google Earth)

5.1.3 Dronetype

Het droneonderzoek werd georganiseerd door masterstudenten Mobiliteitswetenschappen Bram Geukens en Wouter David onder begeleiding en toezicht van prof. dr. ir. Wim Ectors. Er zal gevlogen worden met een drone van het merk DJI (Da-Jiang Innovations) die in het bezit is van het Instituut voor Mobiliteit (IMOB). Meer specifiek wordt er gevlogen met een DJI Mini 3 Pro (Figuur 5) door dronepiloot prof. dr. ir. Wim Ectors. De drone beschikt over een camera met een resolutie van 4K en kan filmen aan een maximale snelheid van 60 frames per seconde (DJI Technology, n.d.-a). De 1/1.3" CMOS-sensor zorgt voor minder ruis en een hoger dynamisch bereik waardoor filmen in HDR mogelijk is en er zo meer details vastgelegd kunnen worden in video's en foto's. Onder gunstige omstandigheden is de maximale vliegtijd 34 minuten (DJI Technology, n.d.-a). Harde wind en een lage buitentemperatuur hebben een negatieve invloed op de batterijduur. De Mini 3 Pro is uitgerust met obstakeldetectie aan de boven-, onder- en zijkant, waardoor hij botsingen voorkomt (DJI Technology, n.d.-a).



Figuur 5 DJI Mini 3 Pro (DJI Technology, n.d.-a)

5.1.4 Vergunningen

Vanaf 2021 geldt een nieuwe Europese dronewetgeving (Vlaamse Drone Federatie, n.d.). Dit houdt in dat een dronepiloot zich moet registreren als hij of zij een drone heeft die meer dan 250 gram weegt of als die een camera heeft (Vlaamse Drone Federatie, n.d.). De DJI Mini 3 pro heeft een gewicht van 249 gram en behoort daardoor tot de lichtste categorie van drones (DJI Technology, n.d.-b). Om de dronevlucht te Kiewit te realiseren, moet de *Unmanned Aircraft System* of UAS-zone van het gebied geraadpleegd worden. Het studiegebied is gesitueerd in de geografische UAS-zone van "EBZH - HASSELT - Kiewit (UGZ)". In deze zone is het vliegveld van Kiewit gelokaliseerd, wat onder de categorie civiele ongecontroleerde luchthaven valt. De limiet van de vlieghoogte in deze zone ligt tussen 0 ft en 4500 ft (AMSL) wat neerkomt op een maximale hoogte van 1371,6 meter . Om de dronevlucht te legaliseren, werd er een schriftelijke vluchttoestemming aangevraagd en afgegeven en dit minimaal vijf werkdagen voor de geplande vlucht. Deze toelating is opgenomen in bijlage 12.1.

5.1.5 Privacy

Om problemen met de privacy of de veiligheid te vermijden, worden er op voorhand verschillende partijen op de hoogte gebracht. Zo zal de stad Hasselt en de Basisschool De Kievit eerder op de hoogte gebracht worden dan de omwonenden. De omwonenden werden op de hoogte gebracht door een inlichtingsbrief (zie bijlage 12.2) met alle benodigde informatie. De brief werd op 17 januari 2023 gepost bij alle huizen die in een minimum straal van 100m van het kruispunt wonen (zie Figuur 6). In de blauwe zone staan alle huizen, appartementen en instellingen aangeduid die een inlichtingsbrief ontvangen hebben.



Figuur 6 Gebied uitgedeelde GDPR-brieven (bron: Google Maps)

5.2 Dataverwerking drone - Bram Geukens -

Zoals reeds werd aangehaald in de probleemstelling, zal er in dit onderzoek getracht worden om de verkeersveiligheid te analyseren door middel van het berekenen van verschillende parameters en SSMs. Deze worden verder toegelicht in paragraaf 5.6 De gekozen parameters kunnen echter niet rechtstreeks afgeleid worden uit de dronebeelden. Daarom dienen de beelden gekalibreerd te worden, gevolgd door de automatisch detectie van elke verkeersdeelnemer (auto, bus, fiets, voetganger, ...) en het berekenen van hun trajectoriën, snelheid, versnelling, ..., voor elk moment in de tijd (Khan et al., 2017). Aangezien het onmogelijk is om dit manueel uit te voeren, zal er net zoals onder andere in het onderzoek van Renard et al. (2022) gebruik gemaakt worden van de oplossingen van DataFromSky (DFS). Dit is een toepassing die ontwikkeld is door het Tsjechische bedrijf RCE systems die gebruik maakt van artificiële intelligentie om de bovenstaande stappen uit te voeren. Hierbij is er echter een minimum resolutie van weggebruikers (32 bij 32 pixels) waarmee rekening dient gehouden te worden om correcte resultaten te verkrijgen, en hogere resoluties zullen dan ook leiden tot betere resultaten (DataFromSky, n.d.-b; Renard et al., 2022). Dit staat in verband met de eerder aangehaalde vlieghoogte en cameraspecificaties. Tijdens het classificeren onderscheidt DFS tot tien types weggebruikers. Dit zijn auto's, bestelwagens, lichte vrachtwagens, zware vrachtwagens, bussen, motorfietsen, fietsers, voetgangers, tuktuks en ongedefinieerd (DataFromSky, n.d.-c).

Na het corrigeren van de beelden, de detectie en tracking van weggebruikers, dienen de dronebeelden gegeorefereerd te worden aan de hand van gekende punten. Deze punten worden best zoveel als mogelijk verspreid doorheen de beelden opdat de nauwkeurigheid maximaal is (Van Rompaey, 2012). Per punt berekent DFS bovendien de afwijking ten opzichte van de overige punten. Dit laat toe om eventuele fouten op te sporen en te verbeteren. Hierna kunnen parameters zoals de snelheid of versnelling van weggebruikers berekend worden. Deze kunnen vervolgens verder bestudeerd worden door het genereren van heatmaps die bijvoorbeeld de ruimtelijke spreiding van de gemiddelde snelheid weergegeven, of door te kijken naar het aantal voertuigen dat een bepaalde snelheidslimiet overschrijdt.

Op basis van de trajectoriën is het ook mogelijk om herkomst-bestemming matrices op te stellen, wachttijden te meten of foutief oversteekgedrag na te gaan. Ook de SSMs worden berekend op basis van de trajectoriën. In een poging om de tweede onderzoeksvraag (i.v.m. de accuraatheid van drones en camera's) te beantwoorden, is het echter van belang dat de locatie van weggebruikers correct is. In paragraaf 5.5 zal er daarom wat dieper ingaan worden op methodes om een locatiebepaling uit te voeren, gevolgd door een toelichting van de verschillende verkeersveiligheidsparameters, inclusief SSMs, in paragraaf 5.6.

5.3 Cameraonderzoek

- *Wouter David* -

In deze masterthesis wordt het cameraonderzoek uitgevoerd door Citymesh en Cegeka, waarbij Citymesh verantwoordelijk is voor de hardware en software, en Cegeka de verantwoordelijkheid heeft voor de dataverwerking. Het cameraonderzoek loopt van 2 januari 2023 tot en met 29 januari 2023 (Polders et al., 2023). Dit cameraonderzoek is een onderdeel van het MIA-project en maakt deel uit van één van de vijf pilootstudies uit de proeftuin voor het droneonderzoek in Limburg. De vijf studies vinden plaats in Pelt, Hasselt (Kiewit), Lanaken, Lummen en Maasmechelen (Polders et al., 2023). In deze thesis wordt het cameraonderzoek uitgevoerd in Hasselt. De observatie van dit onderzoek is voorzien in het najaar van 2022, waarna de analyse voorzien is voor in het voorjaar van 2023 (Polders et al., 2023).

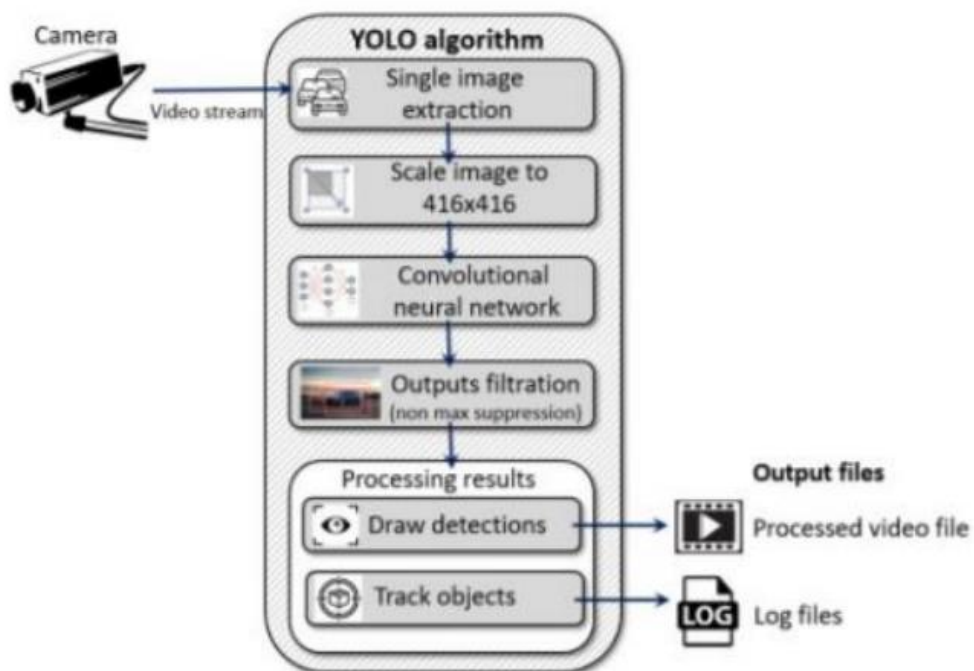
De beelden worden gemaakt met twee vaste camera's. Oorspronkelijk waren deze vaste camera's een innovatief product genaamd The Footfall Artificial Intelligence Solution (StudioDott, n.d.). Deze analyseren hoeveel mensen zich op een bepaalde plek bevinden. In dit onderzoek werden deze echter uitgerust met een camera, opslagruimte en 4G/5G communicatie. Deze apparatuur zorgt voor anonieme detectiedata waarbij de video's de camera niet verlaten om zo de privacy van weggebruikers te respecteren.



Figuur 7: The Footfall Artificial Intelligence Solution (StudioDott, n.d.).

Uit de opgenomen camerabeelden worden er vervolgens data afgeleid. Deze worden onder andere gebruikt om conflictsituaties tussen weggebruikers te detecteren en te analyseren. Dit gebeurt via de automatische conflictidentificatie, die een nauwkeurig stappenplan kent dat bestaat uit 8 stappen:

1. Identificatie van de verkeersdeelnemers
 - a. Dit gebeurt aan de hand van het YOLO-algoritme. Het algoritme neemt beelden waar, verkleint en rastert de foto's (zie Figuur 8). Dit zorgt dan voor een output voor de software.



Figuur 8: YOLO-algoritme (Ćorović et al., 2018).

2. Correlatie van de verkeersdeelnemers over de frames zodat er trajectoriën opgesteld kunnen worden.
3. Correlatie van de verkeersdeelnemers vanuit verschillende camerahoeken waardoor de positie accurater bepaald kan worden. Deze matching gebeurt door gebruik te maken van de locatie en ook de kleur van iedere weggebruiker.
4. Genereren van de bounding box voor iedere verkeersdeelnemer
 - a. De bounding box coördinaten en color descriptor worden via het mobiele netwerk naar de cloud gestuurd voor de matching en verdere verwerking.
5. Bepaling van het conflicttype (kop-staart, kruisen of rijstrookwissel)
6. Berekenen van de statistieken voor conflicten (TTC, PET & DeltaV)
7. Opslaan van de conflictinformatie
8. Het visualiseren van de informatie

Om dit cameraonderzoek te realiseren, moet er rekening gehouden worden met verschillende technische uitdagingen. De voornaamste is de stroomvoorziening (Polders et al., 2023). De camera werkt op basis van stroomtoevoer en wordt 24 uur per dag gebruikt. Dit wil zeggen dat voor dit onderzoek een stroomtoevoer nodig is gedurende 27 dagen lang. Verder moet er ook rekening gehouden worden met de snelheids- en richtingsvectoren. Deze moeten voldoende accuraat zijn zodat deze geen impact hebben op de conflictberekeningen (Polders et al., 2023). Andere technische uitdagingen zijn de matching objecten tussen camera's wanneer er een objectobstructie is vanuit één camerahoek, zodat de data van een object niet verstoord wordt door visuele beperkingen (Polders et al., 2023). Een laatste technische uitdaging is correct detecteren van weggebruikers in de randgebieden van de camera (Polders et al., 2023).

5.4 Eerdere onderzoeken met camera's en drones

- *Bram Geukens* -

5.4.1 Vaste camera's

Vaste camera's worden reeds verscheidene decennia gebruikt voor mobiliteitsonderzoek. In vergelijking met andere methoden zoals radarsystemen of inductieve lussen zijn camera's goedkoper en eenvoudiger te installeren (Kastrinaki et al., 2003). Bovendien is het met vaste camera's onder andere mogelijk om een ruimer gebied te observeren en kunnen weggebruikers die stil staan of zich met een lage snelheid voortbewegen (bijvoorbeeld voetgangers of een file van wagens) gedetecteerd worden (Kastrinaki et al., 2003). Verder kunnen camera's vaak geïnstalleerd worden op een onopvallende plaats waardoor de verkregen data meer naturalistisch van aard is (Jackson et al., 2013). Afhankelijk van de gebruikte toestellen is het ook mogelijk om cameraobservaties uit te voeren in bijvoorbeeld regenachtige omstandigheden en gedurende een langere observatieperiode (Barmounakis et al., 2016; Jackson et al., 2013). Een belangrijke voorwaarde hiervoor is uiteraard de toegang tot een elektriciteitsaansluiting (Polders et al., 2023). Ook nachtelijke observaties zijn mogelijk door gebruik te maken van thermische camera's in plaats van de

standaard RGB-camera's (Fu et al., 2016). Deze methode blijkt met name interessant en accuraat voor het bestuderen van de verkeersveiligheid van actieve weggebruikers tijdens de nacht (Fu et al., 2016).

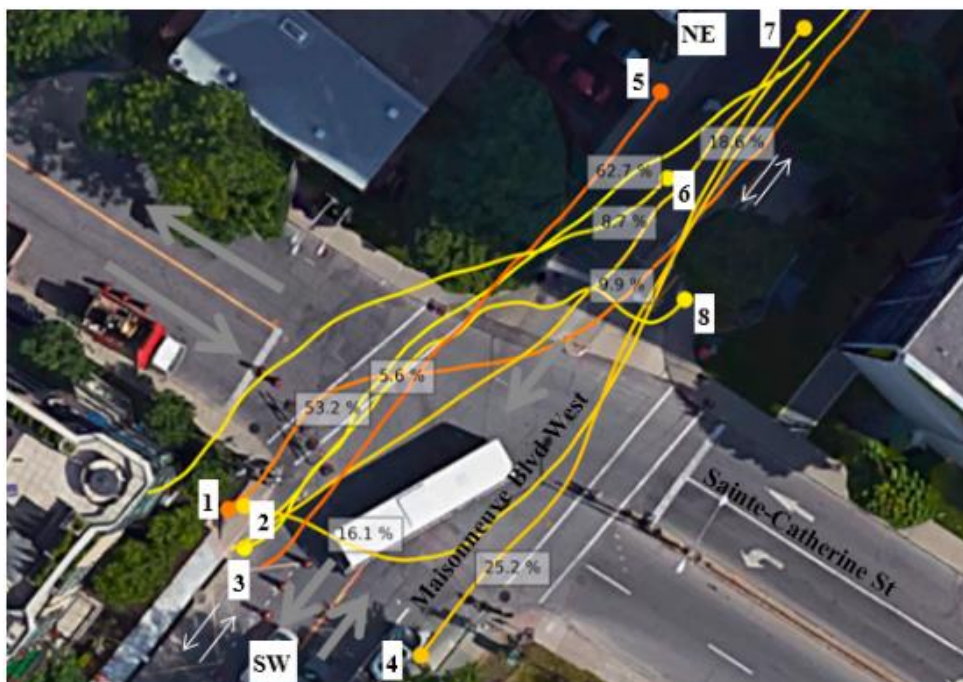
Voor de verwerking van de camerabeelden wordt er vaak beroep gedaan op computertechnieken die toelaten om automatisch weggebruikers te detecteren en parameters zoals snelheid en locatie af te leiden. Sinds het ontstaan van efficiëntere *computer-vision* technieken zoals *object detection*, *tracking* of 3D-modellen in de jaren '70, is er een veelheid aan benaderingen en algoritmes ontwikkeld (Kastrinaki et al., 2003). Deze hebben allemaal bepaalde voor- en nadelen die bijvoorbeeld niet enkel de verwerkingssnelheid kunnen beïnvloeden, maar ook de accuraatheid van het eindresultaat. Veel van de beschikbare beeldverwerkingsalgoritmes laten toe om gegevens te verzamelen op niveau van individuele voertuigen, wat een bijkomend voordeel is ten opzichte van de bovenstaande technieken zoals inductieve lussen die vaak gemiddelde gegevens genereren over vaste tijdsintervallen (Arun et al., 2021).

Onderzoek van Zangenehpour et al. (2015) in Montréal toont aan dat de nauwkeurigheid van de classificatie van weggebruikers (fietsers, voetgangers, auto's, ...) afhankelijk is van het design van de classifier en van het aantal parameters dat gebruikt wordt om verschillende types van elkaar te onderscheiden. Indien enkel het uiterlijk of de snelheid van een weggebruiker aangewend wordt, dan zijn er meer misclassificaties in vergelijking met een beslissingsboom die beide eigenschappen combineert (Zangenehpour et al., 2015). De hoogste nauwkeurigheid (88%) wordt echter bekomen door gebruik te maken van beide eigenschappen en het theorema van Bayes, waardoor voor elke weggebruiker de kans berekend wordt dat die tot een bepaalde klasse behoort (Zangenehpour et al., 2015). Fietsers en voetgangers blijken het moeilijkst te classificeren door het feit dat zij grotendeel op elkaar gelijken (beiden zijn immers mensen), en de grote range aan snelheden van fietsers (Zangenehpour et al., 2015). Door de recente groei aan onder andere speedpedelecs, kan verondersteld worden dat deze spreiding sinds 2015 groter is geworden, wat de moeilijkheden dus mogelijks vergroot.

Naast het uiterlijk of de snelheid, kunnen fietsers en voetgangers ook gedetecteerd worden door de aan- of afwezigheid van specifieke kenmerken zoals bijvoorbeeld fietswielen (Messelodi et al., 2007). In de studie van Somasundaram et al. (2009) werd er dan weer gebruik gemaakt van verscheidene algoritmes die de textuur in de beelden analyseren. Er kan dus geconcludeerd worden dat er verschillende technieken zijn ontworpen die specifiek focussen op actieve weggebruikers. De studie van Zaki et al. (2013) bevat een samenvattend overzicht van enkele studies die vaste camera's gebruikten om het gedrag van fietsers te onderzoeken.

Betrouwbare data over het gedrag van fietsers (en voetgangers) ontbreekt vaak, maar kunnen dus verzameld worden door cameraonderzoek (Zaki et al., 2013). Door een automatische verwerking wordt het mogelijk om het aantal fietsers efficiënter en sneller te tellen in vergelijking met manuele tellingen. Ook de snelheid van fietsers, hun positie op de rijbaan, of ze al dan niet een helm dragen, ... kunnen opgevolgd en geanalyseerd worden. De resultaten van het onderzoek van Zaki et al. (2013) tonen aan dat fietsers die in groep fietsen, gemiddeld trager fietsen dan mensen die alleen onderweg zijn. Ook mensen die een helm dragen, blijken sneller te fietsen dan fietsers zonder helm (Zaki et al., 2013).

Doordat veel landen en regio's lange tijd voorrang hebben gegeven aan infrastructuur voor gemotoriseerd verkeer (of dit nog steeds doen), is het netwerk aan kwalitatieve fietsinfrastructuur minder goed uitgewerkt (Nabavi Niaki et al., 2018). Hierdoor ontbreken er soms fietspaden, wijzigt het type fietspad (bijvoorbeeld van vrijliggend naar aanliggend, andere breedte, ...) of valt het fietspad plotseling weg. Dit heeft een negatieve impact op de verkeersveiligheid (Nabavi Niaki et al., 2018). Daarom onderzochten Nabavi Niaki et al. (2018) hoe fietsers zich gedragen op en rond deze discontinuïteiten aan de hand van vaste camera's. Op basis van de resultaten concludeerden de onderzoekers dat fietsers heel verschillend reageren, met een grote variatie in snelheid, versnelling en gekozen pad. Een voorbeeld van deze variatie in paden wordt getoond in Figuur 9.



Figuur 9 Variatie in trajectoriën van fietsers (Nabavi Niaki et al., 2018).

Hoewel camera's goedkoper zijn dan de eerder aangehaalde technieken, kan een studie met camera's toch nog steeds kostelijk zijn, voornamelijk indien het geselecteerde studiegebied groot is en er dus meerdere camera's geïnstalleerd en verwerkt dienen te worden (Coifman et al., 2006). De mogelijkheid om grote gebieden te observeren is echter ook een voordeel. Hierdoor wordt het bijvoorbeeld mogelijk om een gedetailleerde herkomst-bestemming analyse uit te voeren of, samen met de berekening van SSMs, de veiligheid van verschillende kruispunten in real-time met elkaar te vergelijken of maatregelen te evalueren (St-Aubin et al., 2015). Het grote aantal camera's, en dus de grote hoeveelheden data, resulteert echter in enkele technische uitdagingen zoals de tracking van weggebruikers, of aandachtspunten zoals de aggregatie van gegevens (St-Aubin et al., 2015). In het onderzoek van St-Aubin et al. (2015) worden hiervoor echter oplossingen uitgewerkt die een nauwkeurigheid bereiken tot 94%.

Andere nadelen van vaste camera's die in de literatuur aan bod komen zijn grote voertuigen zoals vrachtwagens die delen van het beeld wegnemen (occlusie), waardoor mogelijk gevaarlijke situaties niet gedetecteerd worden (Jackson et al., 2013). Dit creëert ook problemen voor het algoritme van Messelodi et al. (2007) doordat fietswielen hierdoor soms niet zichtbaar zijn (Zaki et al., 2013). Dit kan opgelost worden door de camera's op een grotere hoogte te installeren, maar factoren zoals zwaar verkeer of wind kunnen ervoor zorgen dat de beelden niet stabiel zijn (Jackson et al., 2013; Nabavi Niaki et al., 2018). Dit kan de beeldverwerking bemoeilijken of de accuraatheid negatief beïnvloeden. Verder blijken camera's ook gevoelig te zijn aan diefstal en vandalisme (Jackson et al., 2013). Tenslotte blijken ook schaduwen (van zowel gebouwen als andere weggebruikers) en veranderende lichtomstandigheden (bijvoorbeeld van bewolkt naar zonnig) soms voor problemen te zorgen doordat weggebruikers niet meer herkend worden, of de schaduw zelf gezien wordt als een weggebruiker (Morris & Trivedi, 2008; Nabavi Niaki et al., 2018).

5.4.2 Drones

Hoewel drones een relatief nieuwe techniek zijn voor verkeers-/conflictobservaties, zijn er in de literatuur reeds verschillende publicaties te vinden die gebruik maakten van deze techniek. Net zoals voor cameraobservaties is het bij droneonderzoek belangrijk om een gedetailleerd plan op te stellen voor zowel dataverzameling als verwerking (Khan et al., 2017). Een slecht geplande dataverzameling kan immers leiden tot onvolledige of foutieve gegevens, of problemen met de vele regelgeving rond drones (Khan et al., 2017). Mede hierdoor hebben Khan et al. (2017) een kader ontwikkeld dat universeel toepasbaar is voor droneonderzoek. De verschillende stappen in dit proces zullen hier kort toegelicht worden, voor meer details kan de originele publicatie geraadpleegd worden.

Vooraleer de observaties te starten, is het belangrijk om het onderzoek goed te kaderen en af te bakenen aangezien alle verdere stappen in het proces afhankelijk zijn van, onder andere, de doelstellingen, onderzoeksvragen en het type infrastructuur (bv. kruispunt, autosnelweg, ...) dat onderzocht zal worden (Khan et al., 2017). Wanneer deze fase afgerond is, kan er overgegaan worden naar het

plannen van de dronevlucht. Hierbij moet onder meer gedacht worden aan eventuele wettelijke beperkingen met betrekking tot het gebruik van drones (bv. vlieghoogte, *no fly zones*, toelatingen, ...), alsook kenmerken van de omgeving zoals weersomstandigheden of het tijdstip van de dag (Eisenbeiss, 2009; Khan et al., 2017). Het ontwikkelde plan met de vluchtroute (dynamische observatie) of locatie (statische observatie), vlieghoogte en camerahoek kan vervolgens uitgevoerd worden tijdens de werkelijke dataverzameling. De verzamelde gegevens kunnen onmiddellijk beschikbaar en toegankelijk zijn (*real-time*), maar veelal pas na de dronevlucht tijdens de zogenaamde *post processing* fase (Khan et al., 2017; Zheng et al., 2015).

Tijdens de vijfde fase dient de data verwerkt en geanalyseerd te worden. Deze fase bestaat uit verschillende sub-stappen, waaronder het stabiliseren en kalibreren van de videobeelden, alvorens weggebruikers gedetecteerd kunnen worden (Khan et al., 2017). Voor elke fase zijn er verschillende algoritmes en processen voorhanden. Specifiek voor de laatste stap (het detecteren) kunnen deze technieken onderverdeeld worden in twee categorieën, namelijk semi-geautomatiseerd en volledig geautomatiseerd (Khan et al., 2017). Meer en meer droneonderzoeken maken gebruik van geautomatiseerde technieken aangezien deze minder menselijke invoer verwachten en daardoor sneller zijn. De hoge computationele vereisten en wisselende nauwkeurigheid zijn echter belangrijke nadelen (Khan et al., 2017).

Nadat de beelden verwerkt zijn, kunnen de gegevens geïnterpreteerd worden door middel van grafieken, kaarten, OD-matrices, ... Het type output is, net zoals de vorige stappen, afhankelijk van het doel van het onderzoek (Khan et al., 2017). De uitkomsten en conclusies van het onderzoek kunnen tenslotte gebruikt worden om een antwoord te formuleren op de onderzoeksvraag en zo bijdragen aan een beter begrip van bepaalde fenomenen of het optimaliseren van de verkeersstroom in het studiegebied (Khan et al., 2017).

In het werk van Barmponakis et al. (2016) worden drones en camera's op verschillende punten met elkaar vergeleken. Dit laat toe om, samen met de eerder geïdentificeerde voor- en nadelen van vaste camera's, een directe vergelijking te maken van beide technieken. Omwille van hun grotere hoogte en birds-eye view is een drone in staat om een groter gebied te filmen in vergelijking met een vaste camera (Barmponakis et al., 2016; Wang et al., 2016). Ook is een drone flexibeler, zowel qua tijd als locatie (Barmponakis et al., 2016; Gu et al., 2019).

Belangrijke nadelen van drones zijn hun beperkte vliegduur, de gevoeligheid aan weersomstandigheden en het feit dat de verwerking van de gegevens vaak data-intensiever is in vergelijking met een vaste camera (Barmounakis et al., 2016; Khan et al., 2017; Outay et al., 2020; Salvo et al., 2014). Ook is het voor de dronebeelden belangrijk om voldoende aandacht te schenken aan de kalibratie van de camera en het corrigeren van bijvoorbeeld lensafwijkingen (Gu et al., 2019). Beide methoden laten toe om gegevens te verzamelen op het niveau van de individuele weggebruiker zonder dat zij intrusief van aard zijn. Een belangrijk nadeel van beide methodes is de privacy van weggebruikers en omwonenden alsook de regelgeving en het verkrijgen van de nodige toelatingen (Barmounakis et al., 2016; Khan et al., 2017). Tabel 1 vat de belangrijkste voor- en nadelen van vaste camera's en drones samen.

Tabel 1 Samenvattende vergelijkende overzichtstabel

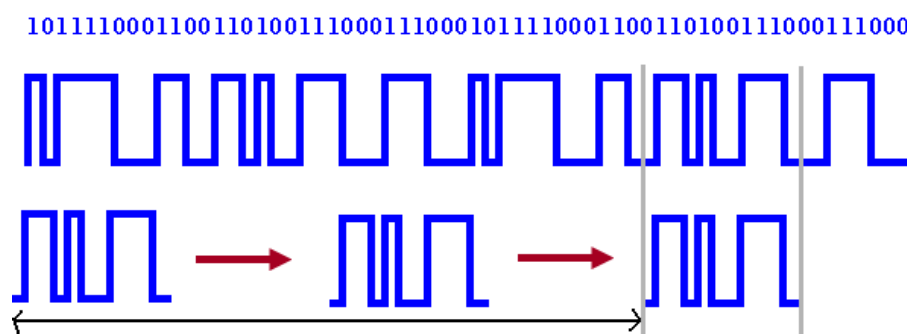
DRONES	VASTE CAMERA'S
VOORDELEN	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Birds-eye view (Wang et al., 2016). ▪ Flexibel (Barmounakis et al., 2016; Gu et al., 2019; Khan et al., 2018) ▪ Data op niveau van individuele weggebruiker ▪ Goedkoper (Barmounakis et al., 2016) ▪ Onopvallend (Barmounakis et al., 2016; Khan et al., 2018) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nachtzicht en geen hinder van schaduwen door gebruik van thermische camera (Fu et al., 2016) ▪ Data op niveau van individuele weggebruiker (Arun et al., 2021) ▪ Langdurige opnames mogelijk (Barmounakis et al., 2016) ▪ Weersbestendig (Jackson et al., 2013) ▪ Onopvallend (Jackson et al., 2013)
NADELEN	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ (zicht)hinder door bomen of gebouwen ▪ Problemen met privacy van weggebruikers of omwonenden (Khan et al., 2017) ▪ Beperkende regulering, verkrijgen van toestemming, ... (Barmounakis et al., 2016; Khan et al., 2017) ▪ Beperkte batterijduur (Outay et al., 2020) ▪ Weersafhankelijk, gevoelig voor schaduw (Khan et al., 2017; Lee et al., 2015; Salvo et al., 2014) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vandalisme of diefstal van camera's (Jackson et al., 2013) ▪ Occlusie die optreedt door voorbijrijdend verkeer (Jackson et al., 2013) ▪ Beperkt zicht (Coifman et al., 2006) ▪ Constructies zoals palen om de camera hoger te plaatsen kunnen leiden tot ongewenste trillingen in de beelden (Jackson et al., 2013) ▪ Dure installaties (Coifman et al., 2006)

5.5 Locatiebepaling

- Bram Geukens -

Een alom bekende manier om de locatie te bepalen, is ongetwijfeld door gebruik te maken van gps-signalen. GPS staat hierbij voor Global Positioning System, en de signalen worden uitgezonden door satellieten die rondom de aarde zweven en eigendom zijn van de Verenigde Staten van Amerika. Vandaag de dag zijn er echter verschillende Global Navigation Satellite Systems (GNSS) beschikbaar, waaronder het eerdergenoemde GPS, maar ook het Europese Galileo, het Russische GLONASS (ontwikkeld door de Sovjet-Unie) of het Chinese BeiDou-2 netwerk zijn voorbeelden van satellietsystemen die men kan gebruiken om de locatie eender waar op aarde te achterhalen. Hoewel GPS vandaag voornamelijk gebruikt wordt voor burgerlijke toepassingen zoals bijvoorbeeld navigatie tijdens het autorijden, was het oorspronkelijk een militair systeem (Jensen & Jensen, 2013). Vanuit militair oogpunt is het namelijk interessant om de exacte locatie van doelwitten of eigen eenheden te weten.

Voor een continue en globale dekking is het belangrijk om minstens 24 actieve satellieten te hebben (Jensen & Jensen, 2013). Vaak bestaan GNSS uit meer satellieten. Zo maakt GPS bijvoorbeeld gebruik van 32 satellieten en BeiDou-2 zelfs van 35. Dit leidt niet onmiddellijk tot accuratere metingen, maar hierdoor beschikken landen over een back-up ingeval een van de satellieten problemen ondervindt. Elk van deze satellieten zendt verschillende signalen uit die gebruikt worden om de plaatsbepaling uit te voeren. Deze signalen worden opgevangen door een toestel dat deze kan ontvangen, waarna dit toestel de afstand tot een satelliet kan berekenen (Jensen & Jensen, 2013; Verstraeten, 2017). Dit is gebaseerd op het principe van code-matching en is schematisch weergegeven in Figuur 10. Elke GPS-satelliet zendt namelijk een unieke binaire code uit die pseudo-random noise (PRN) code wordt genoemd en die varieert doorheen de tijd en bovendien elke week verandert (Verstraeten, 2017). Elke GPS-ontvanger weet welk signaal elke satelliet uit zou moeten zenden in functie van de tijd en vergelijkt dit met het ontvangen signaal. Wanneer dit gematcht is, is ook het tijdsverschil tussen uitzenden en ontvangen gekend (Verstraeten, 2017). Vermits de afstand gelijk is aan het product van dit tijdsverschil en de snelheid van de golf waarop het signaal wordt uitgezonden (gelijk aan de lichtsnelheid, 300.000 km/s), kan de afstand tot een satelliet berekend worden (Verstraeten, 2017).

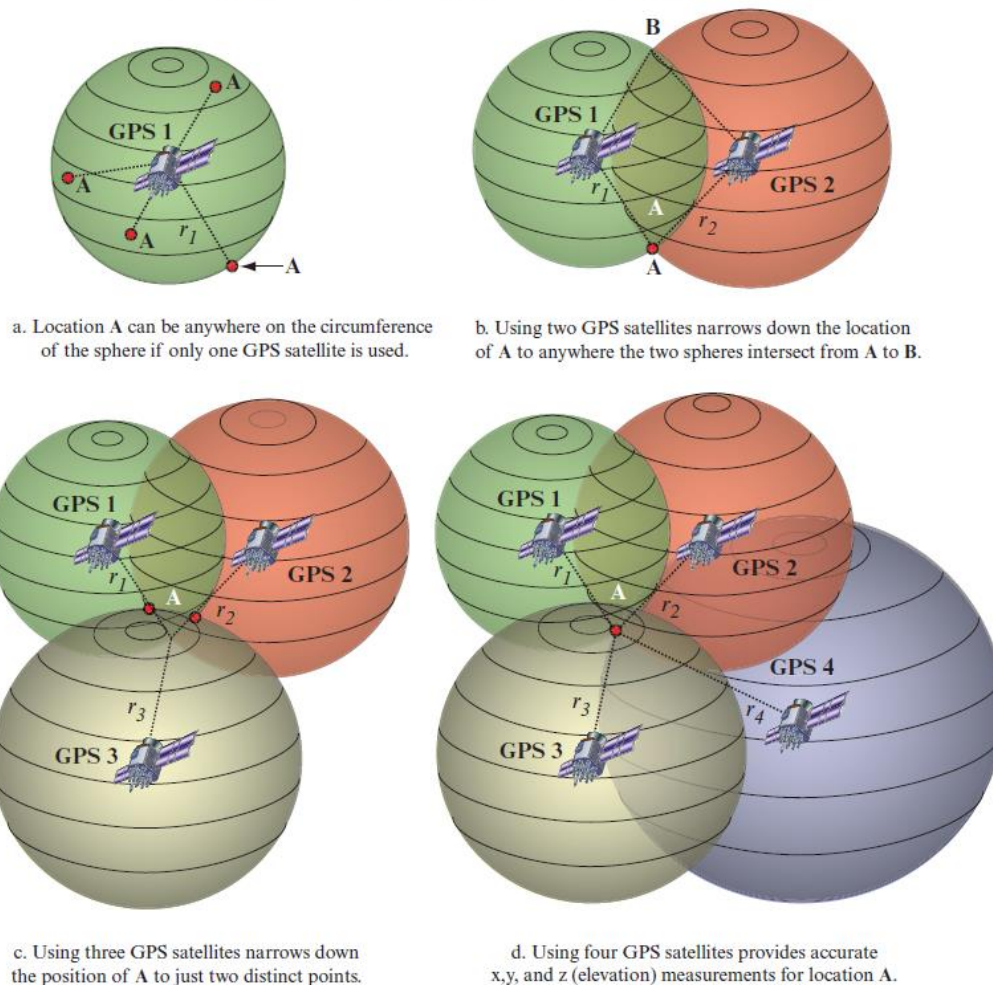


Figuur 10 Principe van code-matching voor GPS-signalen (Verstraeten, 2017).

Om een locatiebepaling uit te voeren, dient de afstand tot meerdere satellieten gekend te zijn. Dit proces is schematisch weergegeven in Figuur 11. Wanneer de afstand tot één satelliet gekend is, dan bevindt men zich ergens op het boloppervlak rond deze satelliet (Figuur 11a). Door gebruik te maken van de afstand tot een tweede satelliet, kan de onzekerheid verkleind worden tot de snijcirkel van de twee boloppervlakken (Figuur 11b). Indien drie afstanden gekend zijn, zijn er nog maar twee mogelijke punten waarvan er een kan uitgesloten worden omdat dit zich niet op het aardoppervlak bevindt (Figuur 11c). Drie satellieten volstaan met andere woorden (in principe) om een locatiebepaling uit te voeren (Verstraeten, 2017). De voorgaande paragraaf vermeldde reeds het principe van code matching. Om accurate resultaten te verkrijgen, is het (gezien het gebruik van de lichtsnelheid) van uitermate belang dat de tijd van zowel satellieten als ontvanger exact gelijk loopt (Verstraeten, 2017). Satellieten zijn daarom uitgerust met zeer precieze atoomklokken, maar ontvangers niet. Dit resulteert in klokfouten en dus een foutieve locatiebepaling. Dit probleem kan echter opgelost worden door de afstand tot een vierde satelliet te berekenen (Figuur 11d) om zo de klokfout van de ontvanger op te lossen (Verstraeten, 2017).

Bovenstaande techniek resulteert in een locatie die tot op 3-4 meter accuraat is. Voor de analyses die in deze masterproef uitgevoerd zullen worden is het echter belangrijk om de locatie van weggebruikers preciezer te kennen. Dit is mogelijk door andere technieken te gebruiken die op GPS gebaseerd zijn. Een hiervan is het principe van differentieel-GPS. Hierbij gebruikt men twee identieke GPS-ontvangers: één toestel wordt op een gekende locatie geplaatst (basisstation) terwijl het andere toestel (rover) gebruikt wordt voor de *echte* metingen (Jensen & Jensen, 2013). Doordat de exacte locatie van het basisstation gekend is, kan de afwijking ten opzichte van de gemeten locatie gekwantificeerd worden (Jensen & Jensen, 2013; Verstraeten, 2017). Deze afwijking wordt vervolgens gebruikt als een correctiefactor voor de opgemeten locaties met de rover. Dit kan achteraf gebeuren indien basisstation en rover niet kunnen communiceren met elkaar (post-processing) of onmiddellijk door gebruik te maken van (draadloze) verbindingen (Verstraeten, 2017). Het is echter wel belangrijk om op te merken dat de afstand tussen beide ontvangers niet te groot mag zijn omdat anders de correctiefactoren niet gelijk zijn (Verstraeten, 2017).

Locating the Position of an Object on the Ground Using the Global Positioning System (GPS) and Trilateration Principles



Figuur 11 Plaatsbepaling door middel van GPS (Jensen & Jensen, 2013).

Het Nationaal Geografisch Instituut van België beheert een uitgebreid netwerk van altimetrische, planimetrische en 3D-punten waarvan de locatie exact gekend is. De locaties van deze punten zijn terug te vinden via de G-DOC service van het NGI. Deze punten kunnen dus fungeren als basisstation in dit onderzoek. Bij het raadplegen van deze service blijkt namelijk dat er ter hoogte van het studiegebied zowel een altimetrisch als een 3D-punt opgemeten zijn. Met name dit laatste is interessant gezien dit punt op grondniveau is ingemeten (in tegenstelling tot het altimetrische punt) en daardoor eenvoudig bereikbaar is. Figuur 12 toont de locatie van dit punt. De exacte coördinaten van dit punt/nagel zijn 719315,922 m in de x-richting en 684098,913 m in de y-richting in het Lambert2008 projectiesysteem (NGI, 2022).



Figuur 12 Locatie van het 3D-punt (NGI, 2022).

Een eerste GPS-toestel zal tijdens de dataverzameling op dit punt geplaatst worden en continu (eenmaal per seconde) zijn locatie bepalen. Dit is met andere woorden het basisstation. Een tweede GPS-toestel (de rover) zal vervolgens gebruikt worden door een onderzoeker terwijl die persoon rondwandelt doorheen het studiegebied en bv. het kruispunt oversteekt. Na de dronevlucht zullen de twee toestellen uitgelezen worden. Eerst dienen de opgemeten coördinaten omgezet te worden van het WGS84 referentiesysteem naar het Lambert2008 projectiesysteem om nadien, per seconde, de afwijking tussen het 3D-punt en het basisstation te kunnen berekenen. Om deze stap uit te voeren, werd er een Python-script geschreven dat gebruik maakt van de GIS-software Arcmap. Nadat de afwijkingen gekend zijn, zullen deze toegepast worden op de coördinaten van de rover om zo de exacte locatie van die persoon te achterhalen. Deze locatie zal later vergeleken worden met de locatiedata afkomstig uit zowel de camera- als droneopnames om zo eventuele afwijkingen te kunnen begroten.

Bovenstaande aanpak kan enkel gehanteerd worden bij trage weggebruikers zoals voetgangers. Het gemotoriseerde verkeer heeft namelijk een te hoge snelheid (de snelheidslimiet op de Kempische Steenweg bedraagt namelijk 70 km/h) waardoor er bij GPS-metingen (1 seconde) te weinig datapunten of coördinaten ter beschikking zullen zijn om een significante foutberekening uit te voeren. Daarom zal er voor het gemotoriseerde verkeer gebruik gemaakt worden van een andere

methodiek. Tijdens de droneopnames zal er een auto doorheen het studiegebied rijden aan een constante snelheid met behulp van cruise control, indien de verkeerssituatie dit toelaat. De assumptie is dat de snelheid van deze auto ook in de drone- en camerabeelden constant zal zijn en gelijkaardig aan de ingestelde snelheid op de cruise control. Eventuele afwijkingen kunnen vervolgens toegeschreven worden aan de gebruikte observatietechniek.

5.6 Parameters voor verkeersveiligheid

- Bram Geukens -

5.6.1 Verkeersintensiteit

Eerder in dit rapport werd vermeld dat zowel camera's als drones toelaten om gegevens te verzamelen per individuele weggebruiker. Hierdoor is het ook mogelijk om het aantal weggebruikers te tellen. Dit kan zowel per tijdseenheid (verkeersintensiteit) als per ruimtelijke eenheid (verkeersdichtheid, bv. aantal voertuigen per kilometer per rijstrook). De berekening van deze parameters laat toe een beeld te vormen van de verkeersdrukke.

Eerder onderzoek heeft ook aangetoond dat zowel de verkeersintensiteit als -dichtheid een van de vele factoren zijn die bijdragen tot een hoger risico op ongevallen ter hoogte van kruispunten die uitgerust zijn met verkeerslichten (Hauer et al., 1988; Wang et al., 2006). De relatie tussen de verkeersintensiteit en ongevallen is echter niet eenduidig. Zo toonde de studie van Wong et al. (2007) aan dat een hogere intensiteit resulteerde in een lager risico op ongevallen aangezien de snelheid van het gemotoriseerde verkeer afnam. Mogelijke redenen voor deze tegengestelde resultaten zijn verschillen in de configuratie van het kruispunt (oppervlakte, aanwezigheid van voorsorteerstroken, ...), rijgedrag van bestuurders of de afstelling van de fasetijden (Wang et al., 2006). Specifiek voor voetgangers heeft onderzoek wel kunnen aantonen dat een toename in het aantal voetgangers leidde tot een daling van het aantal ongevallen tussen voetgangers en gemotoriseerd verkeer (Leden, 2002).

5.6.2 Type weggebruikers

Het onderscheiden van verschillende types van weggebruikers kan automatisch gebeuren en, net zoals voor andere stappen, zijn ook voor deze deeltaak verschillende algoritmes beschikbaar (Fernández Llorca et al., 2021; zie ook paragraaf 5.4.1). De detectie en nauwkeurigheid van de verschillende types zijn verder ook afhankelijk van de videoresolutie (dewelke onder andere beïnvloed wordt door de eigenschappen van de camera's en de afstand/vlieghoogte), de stabiliteit van de beelden en de nauwkeurigheid van het kalibratieproces (Barmounakis et al., 2019). Voornamelijk de detectie van actieve weggebruikers is vaak moeilijker omdat deze groep relatief klein in beeld komt in vergelijking met bijvoorbeeld een auto of vrachtwagen. De volledige lijst van de tien types weggebruikers die DFS onderscheidt is terug te vinden in paragraaf 5.2. De vaste camera's in dit onderzoek onderscheiden echter maar vier types, namelijk auto's, vrachtwagens, fietsers en voetgangers.

Bij een aanrijding is de ernst, naast andere factoren zoals snelheid, afhankelijk van het type weggebruikers dat betrokken is. Zo zijn fietsers en voetgangers kwetsbaarder in het verkeer en liggen hun overlevingskansen bij een aanrijding lager dan voor bijvoorbeeld een autobestuurder (Kong & Yang, 2010; Wong et al., 2002). Onderzoek van Laureshyn et al. (2010) toonde aan dat, indien alle andere factoren constant worden gehouden, actieve weggebruikers meer kans hebben op zware verwondingen. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat beschermingsmiddelen voor actievere weggebruikers zoals een fietshelm een belangrijke rol spelen in het verminderen van de ernst van een aanrijding (Høye, 2018; Wang et al., 2019).

5.6.3 Snelheid

Uit een Zweedse studie blijkt dat de snelheid van voertuigen een belangrijke rol speelt in zowel het risico op een ongeval als in de ernst van een ongeval, waarbij er meer kans is op zwaardere ongevallen bij een hogere snelheid (Vadeby & Forsman, 2012). Het verlagen van de toegelaten snelheid voor ongeveer 17.500 km van het Zweedse wegennet resulteerde in een afname van het aantal doden en zwaargewonden door verkeersongevallen met respectievelijk 30 en 26 personen (Vadeby et al., 2012). Dit kan verklaard worden door de energie die vrijkomt bij een aanrijding en die kwadratisch toeneemt met de snelheid (Wang et al., 2019). Volgens de resultaten van Laureshyn et al. (2010) dient er echter niet enkel gekeken te worden naar de absolute snelheden, maar ook naar de verschillen in snelheid tussen weggebruikers (de zogenaamde relatieve snelheid).

Onderzoek van Barmounakis et al. (2019) heeft aangetoond dat snelheidsmetingen door middel van drones voor gemotoriseerd verkeer zeer nauwkeurig zijn met fouten lager dan 1,2 km/u. Bovendien blijkt dat de vlieghoogte van de drone geen impact heeft op de accuraatheid (Barmounakis et al., 2019). Ook de studie van Guido et al. (2016) toonde een zeer hoge mate van nauwkeurigheid met betrekking tot snelheidsmetingen door drones. Bij het meten van de snelheid door middel van vaste camera's blijkt dat de nauwkeurigheid van de metingen beïnvloed wordt door de afstand tot de camera en het gebruikte algoritme (Fernández Llorca et al., 2021; St-Aubin et al., 2015). Snelheidsmetingen die dicht bij de camera plaatsvinden zijn nauwkeuriger dan metingen die op grotere afstand uitgevoerd worden (Fernández Llorca et al., 2021).

5.6.4 Surrogate safety measures

Het begrip SSMs is al enkele malen aan bod gekomen in dit rapport, en in de probleemstelling werd reeds een eerste indicator aangehaald en zeer kort toegelicht. Het doel van dit onderdeel is om enkele kernelementen van de geselecteerde indicatoren (die beschikbaar zijn in de toepassing DataFromSky) zoals de definitie, formule, voor- en nadelen en het gebruik ervan in wetenschappelijke publicaties toe te lichten.

Alle gekozen parameters zullen berekend worden op het niveau van de individuele weggebruiker. Dit is mogelijk door de eerder aangehaalde voordelen van zowel vaste camera's als drones. Hierdoor kunnen mogelijke conflicten preciezer en op microniveau geanalyseerd worden (Scholl et al., 2019). Het is echter belangrijk om op te merken dat conflicten niet hetzelfde zijn als ongevallen. Conflicten kunnen wel aanleiding geven tot een ongeval. De oorzakelijke relatie tussen conflicten en ongevallen is veelvuldig onderzocht en alle studies concluderen dat conflicten of SSMs belangrijke inzichten bieden in de oorzaken van ongevallen, en dus gebruikt kunnen worden om de verkeersveiligheid te onderzoeken (Archer, 2005; El-Basyouny & Sayed, 2013; Essa & Sayed, 2018; Ozbay et al., 2008; Sayed et al., 2013; Scholl et al., 2019; Songchitruksa & Tarko, 2006; Tarko, 2020; Wang et al., 2021).

5.6.4.1 Time To Collision

Zoals gezegd werd deze parameter reeds kort vermeld tijdens de probleemstelling. De TTC is dus een relatief oude (1972) indicator die desalniettemin nog steeds veelvuldig gebruikt wordt in wetenschappelijk onderzoek. De TTC toont de tijd tot een ongeval wanneer twee voertuigen blijven rijden in dezelfde richting en snelheid (Hayward, 1972). Hierbij kan gesteld worden dat hoe lager de TTC, des te gevaarlijker een situatie is (Mahmud et al., 2017; Van Der Horst, 1990). De formule om deze parameter te berekenen varieert naargelang de situatie (Laureshyn et al., 2010). Voor bijvoorbeeld kop-staart aanrijdingen kan dit mathematisch vertaald worden in volgende formule (Wang et al., 2021):

$$TTC_{i-1,i} = \frac{[X_{i-1}(t) - X_i(t)] - l_i}{v_i(t) - v_{i-1}(t)} \quad (1)$$

Waarbij:

X: de positie van de leider (i-1) en volger (i) op tijdstip t.

l: de lengte van het voertuig

v: de snelheid van beide voertuigen.

Zoals gezien kan worden in (1) vereist deze parameter gegevens die vrij eenvoudig op te meten zijn. Dit is meteen ook een van de voordelen van deze parameter, en de reden waarom deze frequent gebruikt wordt, ook in zeer recente studies (Kuang et al., 2015; Renard et al., 2022; Wang et al., 2021). Logischerwijze kan men deze parameter enkel berekenen in situaties waarbij er sprake is van een botskoers tussen twee weggebruikers. Voor kop-staart aanrijdingen zijn dit situaties waarbij de volger sneller rijdt dan de leider. Indien de leider sneller rijdt of wanneer beiden exact dezelfde snelheid aanhouden, is er volgens de TTC geen gevaar. Het nadeel van deze indicator is de assumptie dat beide voertuigen in een gevaarlijke situatie geen ontwijkingsmanoeuvre zullen uitvoeren om het dreigende conflict op te lossen (Vogel, 2003; Wang et al., 2021). In realiteit is dit echter niet het geval en gaan bestuurders vertragen en/of uitwijken. Dit wordt in rekening gebracht in verbeterde versies zoals de Modified TTC (Mahmud et al., 2017).

Ook vereist deze parameter een grenswaarde om gevaarlijke van niet-gevaarlijke situaties te onderscheiden. In (oudere) studies worden verschillende waarden gebruikt voor gelijkaardige verkeerssituaties. Voor stedelijke gebieden varieert deze limiet bijvoorbeeld tussen 1,5 s en 5 s (Maretzke & Jacob, 1992; Svensson, 1998). Ook voor andere situaties is er veel variatie in de gebruikte thresholds (Minderhoud & Bovy, 2001), maar nooit is deze meer dan 6 seconden waardoor er kan gesteld worden dat dit de *veilige* limiet is vermits geen enkele studie TTCs boven deze waarde als gevaarlijk beschouwt (Vogel, 2003). De studie van Mahmud et al. (2017) vermeldt dat er sprake is van een gevaarlijke situatie indien de waarde van de TTC lager is dan de reactietijd van een bestuurder. Recente publicaties zoals bijvoorbeeld Das and Maurya (2020) trachtten oplossingen te vinden door gebruik te maken van een variabele grenswaarde afhankelijk van het type voertuig, maar dit vereist dan weer extra informatie en maakt de berekeningen complexer. In deze masterproef is er gekozen om situaties met een TTC lager dan 2 seconden als gevaarlijk te beschouwen aangezien deze waarde relatief frequent gebruikt wordt in andere studies.

5.6.4.2 *Post Encroachment Time*

Een andere SSM die berekend kan worden in DataFromSky, is de Post Encroachment Time of PET. Net zoals de TTC is deze indicator gebaseerd op tijd aangezien deze gedefinieerd wordt als het tijdsverschil tussen wanneer de leider een conflictgebied verlaat en de volger aankomt op datzelfde gebied (Wang et al., 2021). Dit is schematisch weergegeven in Figuur 13. De formule kan als volgt weergegeven worden:

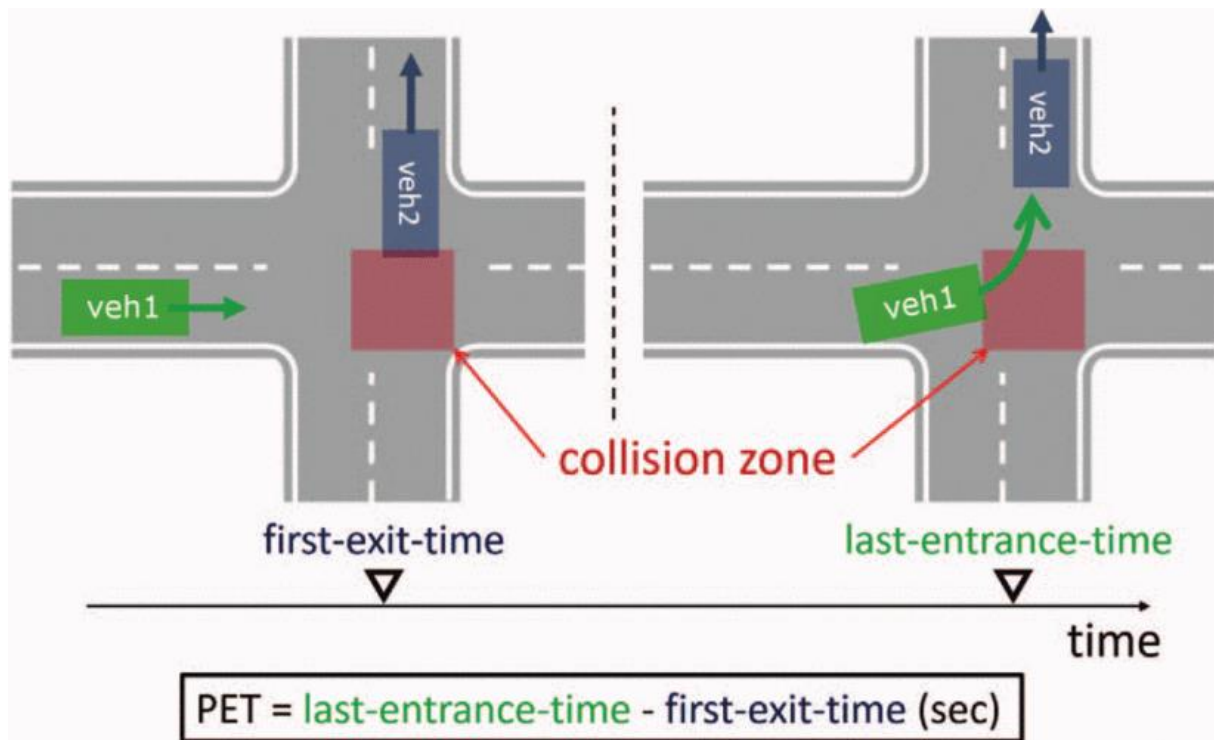
$$PET = t_2 - t_1 \tag{2}$$

Waarbij:

t_1 : tijdstip waarop de leider het conflictgebied verlaat

t_2 : tijdstip waarop de volger bij het conflictgebied aankomt

De eigenschappen van de PET zijn grotendeels gelijk aan die van de TTC. Net zoals bij de TTC duidt een lagere PET op gevaarlijkere omstandigheden. Voorts is ook deze parameter relatief oud (opgesteld door Allen et al. (1978)) en eenvoudig te berekenen vermits de benodigde informatie eenvoudig en beperkt is (2). Ook is deze parameter gevoelig aan de gekozen grenswaarde (vaak 1 tot 2 seconden) om veilige en onveilige situaties te onderscheiden (Mahmud et al., 2017; Wang et al., 2021). Het grote voordeel van PET voor verkeersveiligheidsonderzoek is dat deze indicator meer geschikt is voor kruisende conflicten en beter in staat is om conflicten tussen voetgangers en gemotoriseerd verkeer te benaderen (Chen et al., 2014; Mahmud et al., 2017). Gezien deze bevinding lijkt de PET een belangrijke indicator voor deze masterproef te zijn, waarbij ook een limiet van 2 seconden gehanteerd zal worden om veilige en onveilige situaties van elkaar te onderscheiden.



Figuur 13 Schematische weergave van de achterliggende redenering voor de PET (Beaucorps et al., 2017).

5.6.4.3 Heavy Braking

Een laatste parameter die berekend zal worden, is Heavy Braking (HB). Het algoritme van DataFromSky kan achterhalen welke voertuigen sterk afremmen door na te gaan of en op welke momenten de vertraging van een weggebruiker groter is dan een vooraf ingestelde limiet. Hoewel vertragen een goede manier is om conflicten te vermijden (waarbij er bijvoorbeeld sprake is van een lage TTC omdat de volger sneller rijdt dan de leider), kan dit problemen opleveren voor achterliggend verkeer omdat deze geconfronteerd worden met een plotse en hevige vertraging (Haque & Washington, 2015). Een onderzoek van ongevallen aan wegenwerken in de Amerikaanse staat Indiana toonde dat het aantal ongevallen in deze zones lineair gecorreleerd is met het aantal zware remmanoeuvres (Desai et al., 2021). Bovendien blijken bestuurders die regelmatig hard remmen ($> 2,7 \text{ m/s}^2$) een hogere kans te hebben om betrokken te raken bij een ongeval (Jun et al., 2007).

Net zoals voorgaande indicatoren is ook de HB gevoelig aan de gekozen grenswaarde om zware vertragingen van niet-zware vertragingen te onderscheiden. Hupfer (1997) stelt dat een vertraging van meer dan 4 m/s^2 aanleiding kan geven tot een conflict en waarbij het achterliggende verkeer ook (snel) dient te reageren. Deze limiet wordt nog steeds gebruikt in recent onderzoek (Olszewski et al., 2020). Een normale comfortabele vertraging wordt geschat op -3 m/s^2 , dewelke dan ook in deze thesis gebruikt zal worden als limiet om normale en harde rembewegingen van elkaar te onderscheiden (Bonsall et al., 2003).

6 Onderzoeksproces

6.1 Drone

- Wouter David -

Na het uitvoeren van de *Scope Definition* en de *Flight Planning Stage* uit het framework van Khan et al. (2017), volgt de *Flight Implementation Stage*.

Het droneonderzoek heeft plaatsgevonden op vrijdag 27 januari 2023. In totaal werden er negen droneopnames uitgevoerd waarvan vier in de voormiddag en vijf in de namiddag. De duur van de opname varieerde naargelang het batterijverbruik en de keuze van welke soort data er opgenomen moest worden. Zo werd de eerste opnamesessie vroeger stopgezet. De drone werd hierna veilig op de grond gebracht bij de piloot, waarna er een nieuwe batterij ingestoken werd. De reden hiervoor was om voldoende data te verzamelen op het moment waarbij de ouders en kinderen het zebrapad overstaken om hun kinderen naar school te brengen.

In de onderstaande tabellen wordt er een overzicht weergegeven van de uitgevoerde vluchten in de voor- en namiddag. In de voormiddag werd er in totaal 63 minuten en 54 seconden aan datamateriaal verzameld. In de namiddag was dit 75 minuten en 56 seconden. Dit wil zeggen dat er in de namiddag meer datamateriaal beschikbaar is van 12 minuten en 2 seconden lang. Verder wordt in Tabel 2 ook de starttijd en eindtijd weergegeven van elke opname. Dit mag niet verward worden met de opstijgings- en landingstijd. Deze werd ongeveer 1 minuut voor en na de opnametijd uitgevoerd.

Verder worden ook nog de weersomstandigheden en diens details weergegeven. Het was grijs en koud weer (zie Figuur 14), maar er waren wel droge omstandigheden. De zon kwam om 8:28 op en ging onder om 17:23. De aanwezige wind en windstoten waren niet te extreem (zie Tabel 3 en Tabel 4), waardoor de drone perfect te werk kon gaan.

Tabel 2 Details dronevluchten

Sessie	Naam filmopname	Opnametijd	Starttijd (hh:mm:ss)	Eindtijd (hh:mm:ss)	Vlieghoogte (meter)	Filmhoek
1	KempischeSteenweg_Z_48m_schuin_pt1	10min 13sec	08:00:56	08:11:09	48	schuin
2	KempischeSteenweg_Z_48m_schuin_pt2	23min 26sec	08:14:32	08:37:58	48	schuin
3	Tulpinstraat_69m_schuin	18min 2sec	08:42:06	09:00:08	69	schuin
4	Tulpinstraat_47m_schuin	12min 13sec	09:03:25	09:15:38	47	schuin
5	KempischeSteenweg_N_49m	14min 43sec	14:52:51	15:07:35	49	schuin
6	Jeugdhuis_65m	21min 33sec	15:11:35	15:33:08	65	schuin
7	Kruispunt_70m_loodrecht	20min 21sec	15:37:17	15:57:38	70	loodrecht
8	HoekBakker_70m	9min 59sec	16:02:40	16:12:39	70	schuin
9	HoekBakker_40m	8min 20sec	16:13:31	16:21:51	40	schuin



Figuur 15 Weersomstandigheden in de ochtend



Figuur 14 Weersomstandigheden in de namiddag

Tabel 3 Weersomstandigheden voormiddag (Weer1, 2023)

Tijd	Temp.	Weer	Neerslag	Windsnelheid	Windvlaag	Wind graad	Windrichting	Bewolking	Zichtbaarheid
7:00	1° C	Bewolkt	0 mm	16,4 km/h	25,4 km/h	33°	NNO	82%	10 km
8:00	1,1° C	Bewolkt	0 mm	17,8 km/h	27,5 km/h	36°	NO	90%	11 km
9:00	1,2° C	Bewolkt	0 mm	19,1 km/h	29,5 km/h	39°	NO	98%	12 km

Tabel 4 Weersomstandigheden namiddag (Weer1, 2023)

Tijd	Temp.	Weer	Neerslag	Windsnelheid	Windvlaag	Wind graad	Windrichting	Bewolking	Zichtbaarheid
14:00	4° C	Gedeeltelijk bewolkt	0 mm	17,3 km/h	21,4 km/h	38°	NO	45%	10 km
15:00	4,6° C	Gedeeltelijk bewolkt	0 mm	17,6 km/h	20,2 km/h	40°	NO	29%	10 km
16:00	3,7° C	Gedeeltelijk bewolkt	0 mm	16,9 km/h	21,4 km/h	38°	NO	45%	10 km

Op de dag van de dataverzameling voor de drone (27 januari 2023) heeft er een verkeersongeval plaatsgevonden ter hoogte van de Philipsbrug in de richting van Zonhoven naar Hasselt. De plaats van het ongeval is op 750m afstand gesitueerd van het studiegebied. Het ongeval heeft voor een drukke ochtendspits gezorgd waardoor het kruispunt van het studiegebied veel traag verkeer te verduren kreeg.



Ongeval op Noord-Zuid zorgt voor stevige ochtendspits richting Hasselt

Hasselt - Vrijdagochtend is op de N74 aan de 'Philipsbrug' in Hasselt een ongeval gebeurd. Dat zorgde voor een stevige ochtendspits richting Hasselt.

Dirk Jacobs

Vandaag om 09:25



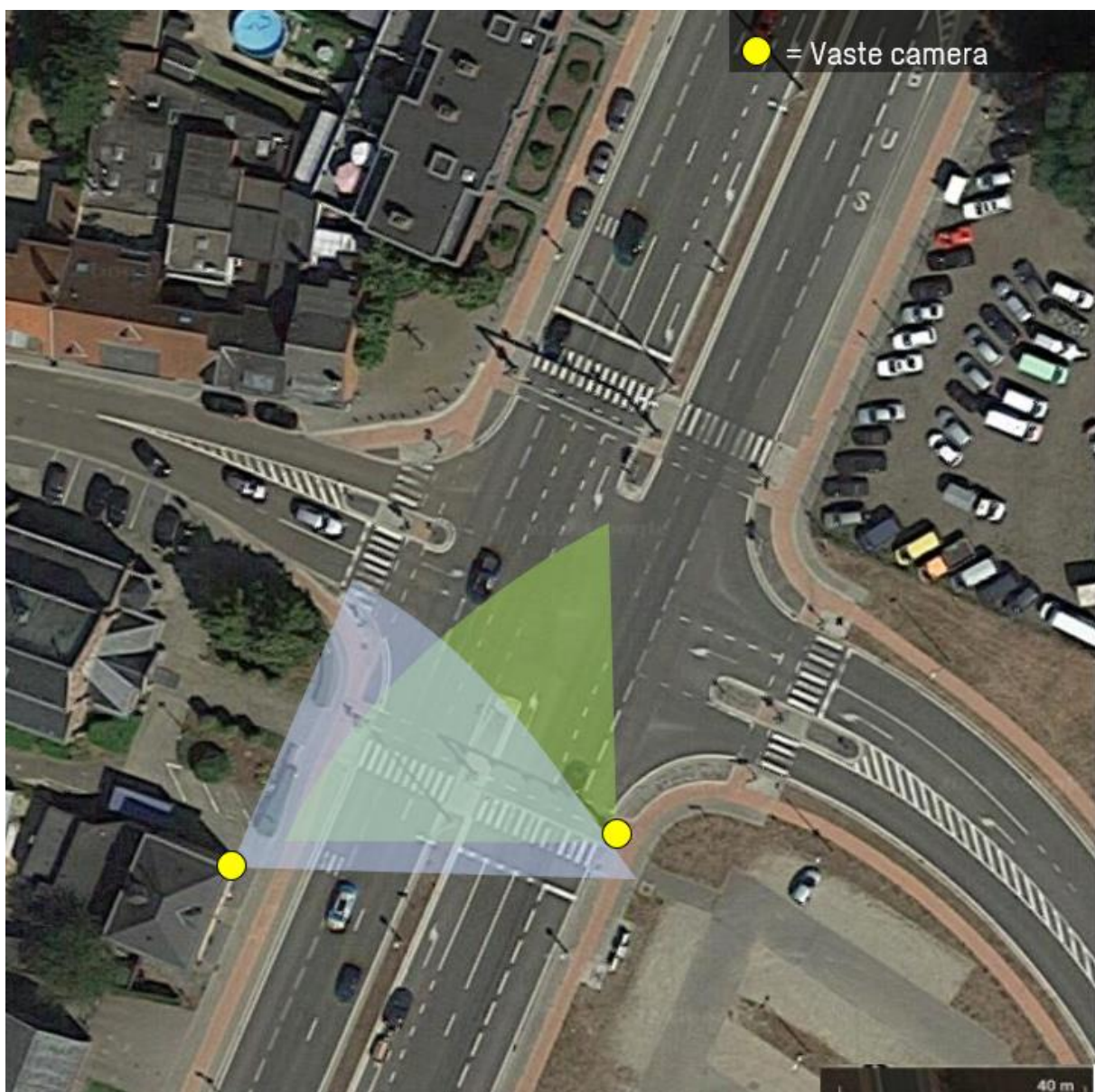
Aan de brug botste een bestelwagen tegen een lantaarnpaal. De politie LRH deed de nodige vaststellingen en hield ook een rijstrook open. Maar het ongeval zorgde toch voor een file vanaf Zonhoven. Vanuit Noord-Limburg waren er vertragingen tot een kwartier. Rond 9 uur was de weg weer vrijgemaakt.

Figuur 16 Krantenartikel ongeval (Jacobs, 2023)

6.2 Vaste camera

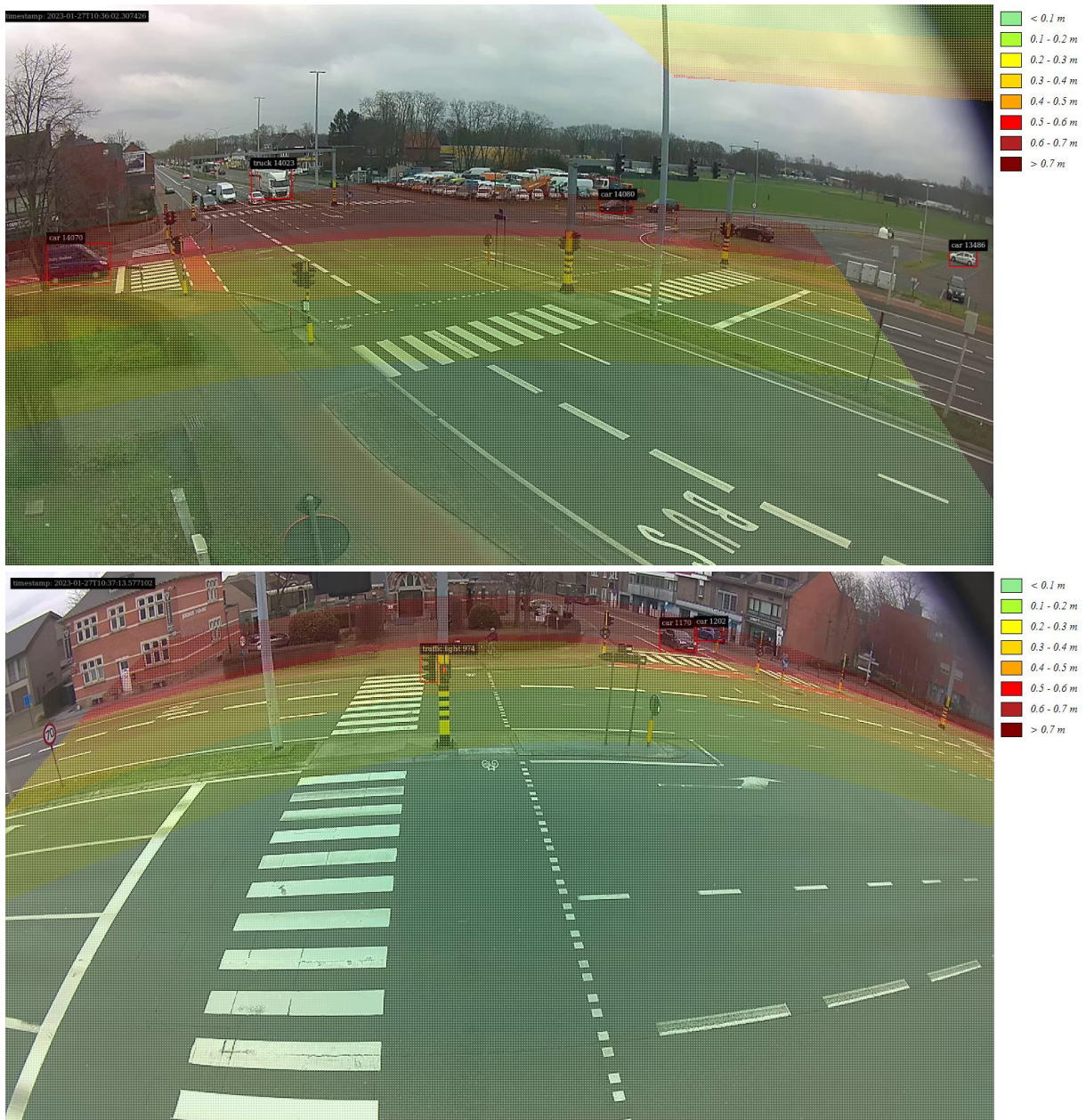
- Bram Geukens -

De tweede onderzoeksmethodologie van deze masterthesis wordt uitgevoerd door middel van twee verkeerscamera's. De camera's zijn geïnstalleerd op het kruispunt om een conflictanalyse uit te voeren. Deze nemen gedurende drie weken lang elke dag beelden op van het onderzoeksgebied. De camera's zijn gemonteerd op een verkeerslicht van het kruispunt en op de hoek van het jeugdhuis. Ze staan tegenover elkaar gericht zodat het zebrapad ten zuiden van het kruispunt duidelijk in beeld gebracht wordt. In onderstaande figuur wordt er een (geschetst) gebied weergegeven van wat de camera's exact waarnemen.



Figuur 17 Opstelling vaste camera's (Google Maps en eigen bewerking, 2022).

Figuur 18 geeft een beeld weer van beide camera's. In dit beeld worden drie wagens en een vrachtwagen gedetecteerd. Deze zijn te herkennen aan het rode kadertje dat rondom deze voertuigen is getekend en hun trackingnummer. Een wagen staat te wachten aan het rood licht voor de Vijverstraat, een andere aan dat van de Tulpinstraat en de derde wagen staat op de parking, helemaal rechts in beeld in Figuur 18. De vrachtwagen is terug te vinden op de Kempische Steenweg richting Hasselt op de afslagstrook naar de Tulpinstraat. De witte bestelwagen, alsook de zes overige wagens in Figuur 18 worden op dat moment niet herkend door de camera.



Figuur 18 Boven: beeld van de vaste camera die gemonteerd is aan de hoek van het jeugdhuis (linkse bol in Figuur 17); Onder: beeld van de vaste camera die gemonteerd is aan het verkeerslicht op de hoek van de Kempische Steenweg en de Tulpinstraat (rechtse bol in Figuur 17). De kleuren stellen de nauwkeurigheid van de metingen voor (Cegeka, 2023).

De camera's filmen een gebied en in dat gebied wordt er gefocust op 'near-misses'. De verwerking gebeurt automatisch waardoor de camera's voor een minder intensief verwerkingsproces zorgen. Om de privacy te respecteren leggen de camera's enkel de wegpositie van de weggebruikers, snelheid, acceleratie, traject en het type van weggebruikers vast. Doordat er gebruik gemaakt wordt van stereoscopische cameraopstelling waarbij er twee camera's gebruikt worden per studiegebied, wordt het eindresultaat weergegeven in een 3D-beeld. Dit geeft een duidelijke 3D positie weer van de weggebruiker, waardoor ook bijna-ongevallen nauwkeurig waargenomen kunnen worden. Deze 3D-informatie is via het internet vrijwel onmiddellijk raadpleegbaar, de eigenlijke camerabeelden worden, omwille van de privacy, bewaard op de camera zelf en zijn dus pas beschikbaar nadat zij gedemonteerd zijn.

Vooraleer de 3D-positie van elke weggebruiker bepaald wordt, detecteert elke camera afzonderlijk weggebruikers in zijn eigen 2D-beeld. Vervolgens wordt er voor elke geïdentificeerde weggebruiker gezocht naar een match (op basis van het tijdstip, de locatie en de kleur) in de beelden van de andere camera. Pas wanneer een weggebruiker in beide camera's herkend wordt, wordt er een 3D-positie bepaald. Dit betekent ook dat weggebruikers die maar door één camera gezien worden, niet worden opgenomen in de uiteindelijke database. Voor voetgangers is er echter een uitzondering gemaakt, zij worden opgenomen van zodra één camera hen herkend heeft.

Voor de situatie in Figuur 18 betekent dit dat de drie wagens en de vrachtwagen pas geregistreerd zullen worden als ook de andere camera hen detecteert. Gelet op het observatiegebied van de tweede camera, zullen alvast de auto op de parking en die in de Tulpinstraat niet opgenomen worden in de uiteindelijke dataset. Voor de andere weggebruikers die in Figuur 18 niet herkend werden door de camera aan het jeugdhuis, betekent dit dat ook zij niet opgenomen zullen worden in de dataset, ook al "ziet" de andere camera hen wel. Samengevat kan er gesteld worden dat de kans groot is dat sommige weggebruikers niet opgenomen zullen zijn in de dataset van de vaste camera's.

Bovendien heeft het project met deze camera's heel wat vertraging opgelopen. Initieel zouden de observaties doorgaan in het begin van de maand oktober 2022. Door problemen met onder meer de kalibratie van de camera's, is het volledige project uitgesteld tot eind januari 2023. Na het uitvoeren van de dronevlucht bleek echter dat de gegevens van de camera's niet accuraat waren en dat er nog enkele bijkomende stappen nodig waren in het verwerkingsproces. Op het moment van schrijven is dit proces echter nog steeds niet volledig afgerond en zijn ook de camera's zelf nog niet gedemonteerd. Dit betekent dus dat de videobeelden van de camera's niet opgenomen kunnen worden in deze thesis. Omdat dit echter een belangrijke databron is om bepaalde factoren (zoals de classificatie van weggebruikers) te controleren en te vergelijken met de dronebeelden, zullen de eerder geformuleerde onderzoeksvragen mogelijks niet volledig beantwoord kunnen worden. Uiteraard zal er getracht worden om, met de beschikbare data, deze naar best vermogen te beantwoorden.

6.3 Locatiebepaling

- Bram Geukens -

Tijdens dronevlucht 3 en 4 hebben beide student-onderzoekers rondgewandeld in het studiegebied. Bram had hierbij een gps-toestel in de hand. Een ander, identiek, toestel werd geplaatst exact op de eerder beschreven nagel van het NGI (zie 5.5). Na de opnames werd, voor elke seconde, de afwijking tussen dit punt en de door het gps-toestel bepaalde locatie berekend. Deze correctiefactoren werden vervolgens rechtstreeks toegepast op de metingen afkomstig van het toestel waarmee Bram had rondgelopen. Door het toepassen van deze differentieel-GPS techniek neemt de accuraatheid van de metingen toe van 3m naar ongeveer 1m (zie eerder). Dit werd gedaan aan de hand van een zelfgeschreven Python-script.

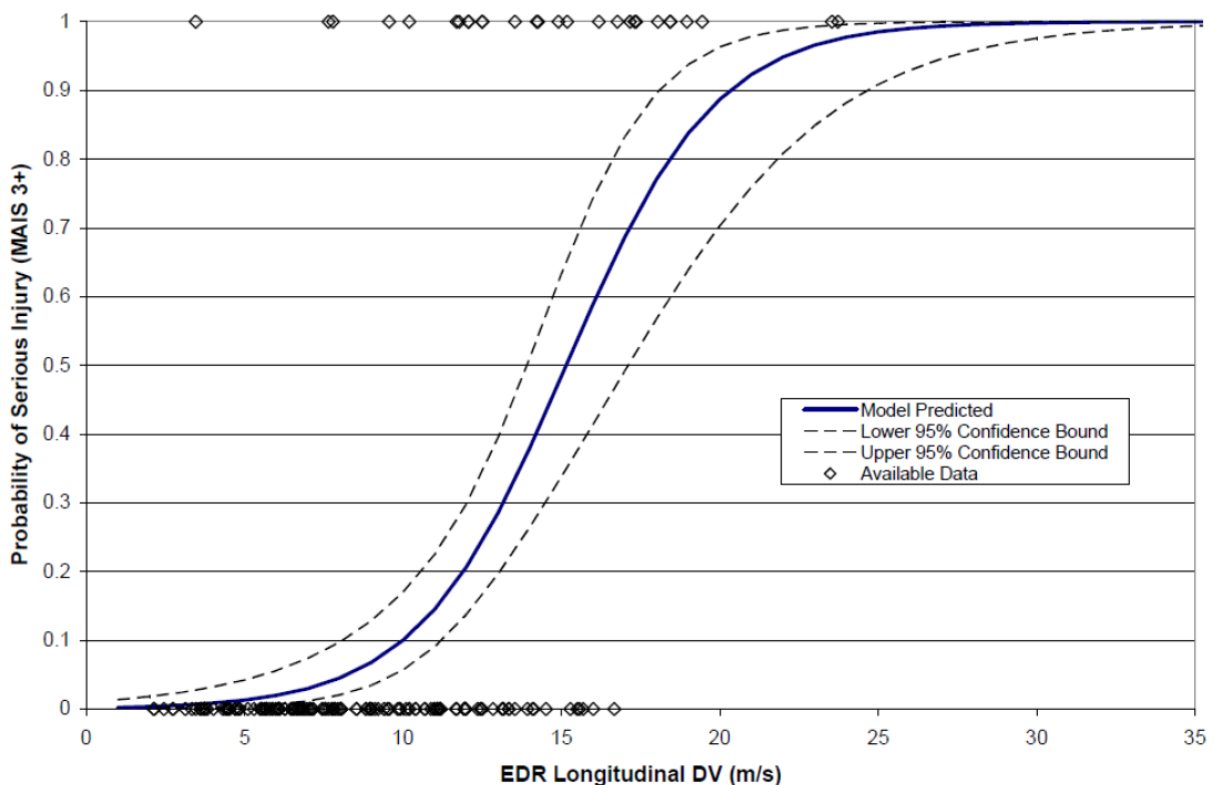
Vervolgens werd er in de desbetreffende droneopnames gezocht naar de verschillende trajectorie ID's die Bram gekregen heeft doorheen elke opname, en wanneer de tracker van elke ID effectief op Bram hing. Dit laatste was noodzakelijk omdat de tracker van DFS enkele keren wisselde van Bram naar Wouter of omgekeerd. Een keer bleef de tracker ook "hangen" op een verkeerslicht tijdens het oversteken. Deze fouten werden verwijderd zodat uiteindelijk enkel de momenten geselecteerd werden waarop Bram (en dus niet Wouter of een verkeerslicht) geïdentificeerd en gevolgd werd door DFS. De posities van deze momenten werden vervolgens vergeleken met de gecorrigeerde informatie afkomstig van de gps-metingen om zo de gemiddelde fout te achterhalen. Echter, DFS bepaalt voor elk videoframe (30 maal per seconde) de locatie van elke weggebruiker terwijl de gps-toestellen 1 punt per seconde opmeten. Bovendien lopen de klokken van de gps en de drone niet exact gelijk. Daarom werd er gezocht naar een optimaal verschil in tijd waarbij de gemiddelde fout zo laag mogelijk was. Dit werd gedaan door in een GIS-programma (Arcmap 10.8) alle metingen van zowel DFS als de gps uit te zetten en voor enkele locaties te kijken naar het tijdsverschil tussen beide databronnen. Het gemiddelde hiervan werd vervolgens gebruikt om de klokken aan elkaar gelijk te kunnen stellen. Dit had als resultaat dat de klok van de drone voorliep op die van de gps met 3,62 seconden.

Omdat deze benadering niet volledig exact is, en omdat ook de gps-toestellen niet de exacte locatie opslaan maar eerder een gemiddelde van de afgelopen seconde, werd er besloten om de gegevens van DFS om te vormen naar een gemiddelde positie per seconde. Ten slotte werden de afwijkingen voor zowel de breedte- als de lengtegraad berekend en geanalyseerd. Ook dit gebeurde door middel van een zelfgeschreven Python-script.

6.4 SSMs

- Bram Geukens -

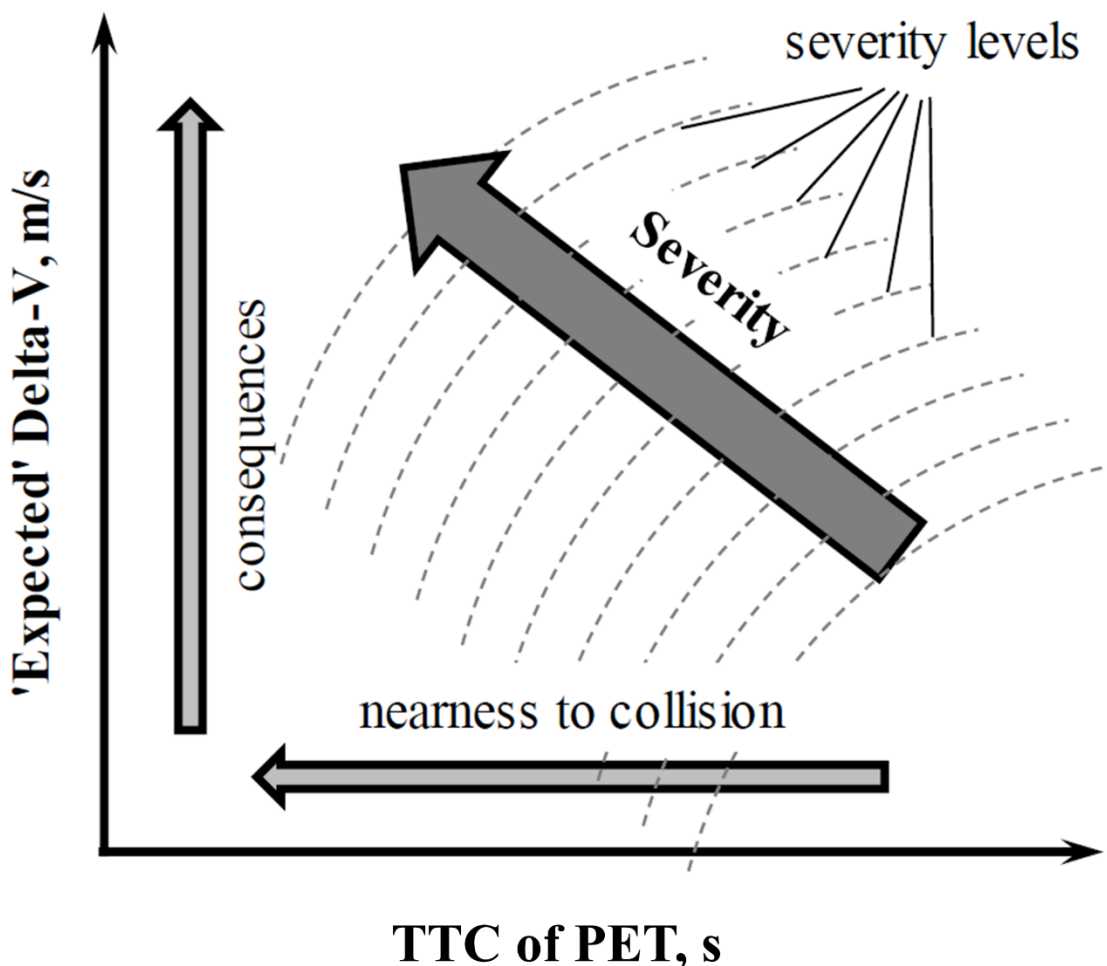
Na het georefereren en een manuele verificatie van de beelden en de labels, werden alle voertuigtrajectorieën vanuit DFS geëxporteerd. Deze gegevens werden vervolgens gebruikt om, aan de hand van de code van het IMOB, de time to collision (TTC) en post encroachment time (PET) te berekenen. De derde en laatste SSM, heavy braking, werd rechtstreeks geanalyseerd in de DFS Viewer. De TTC en PET werden berekend voor gebeurtenissen met een TTC of PET tussen 0 en 2 seconden, de eerder bepaalde grenswaarde. Daarnaast wordt ook het veronderstelde snelheidsverschil voor en na de crash (Δv of Delta-V, in m/s) voor elke weggebruiker berekend. Eerder onderzoek heeft immers aangetoond dat dit verschil in belangrijke mate bijdraagt aan de ernst van de opgelopen verwondingen (zie Figuur 19).



Figuur 19 Relatie tussen Delta-V en risico op zware verwondingen (Gabauer & Gabler, 2006)

Deze twee waarden (TTC of PET, en de gemiddelde Delta-V), worden vervolgens gebruikt om de ernst (*severity*) van elk incident in te schatten. Zoals schematisch weergegeven in Figuur 20, is de ernst van een conflict het resultaat van de combinatie van de waarde voor Delta-V en de TTC of PET. Concreet neemt de ernst van een conflict toe naarmate de waarde van de conflictparameter daalt, en/of het verwachte snelheidsverschil voor en na het veronderstelde ongeval toeneemt (zie Figuur 20). Deze ernst wordt uiteindelijk gecategoriseerd in drie klassen, zijnde gering, gematigd en kritiek.

De combinatie van de waarde voor de SSM en de Delta-V is in de gebruikte code geïmplementeerd als een vermenigvuldiging van beide getallen. Dit levert echter problemen op aangezien de aard van de relaties tussen Delta-V en de SSMs en de ernst verschillend is. Daarom wordt de waarde van de conflictparameter (tussen 0 en 2 s) invers herschaald naar waarden tussen 10 en 0 om zo een waarschijnlijkheidsscore te bekomen. Concreet betekent dit dat onveilige situaties met een TTC of PET die bijna 0 s bedraagt, een waarde van bijna 10 krijgen. Omgekeerd worden de waarden van de meest "veilige" situaties (2 s) getransformeerd naar een waarde van bijna 0. Hierdoor staan hoge waarden voor Delta-V en de waarschijnlijkheid steeds gelijk met ongunstige omstandigheden en lage getallen met "veilige" omstandigheden. Het product van deze waarden wordt uiteindelijk gebruikt om de ernst van ieder conflict in te delen in de drie eerdergenoemde klassen. De gehanteerde grenswaarden en voorwaarden zijn terug te vinden in Tabel 5.



Figuur 20 Achterliggende redenering bij het bepalen van de ernst van een conflict. Aangepast vanuit de Ceunynck (2017).

Tabel 5 Gebruikte grenswaarden om de ernst van een TTC of PET conflict in te delen.

KLASSE	GRENSWAARDEN
Gering	$\Delta v * prob < 10$
Gematigd	$10 \leq \Delta v * prob < 64$ of $\Delta v * prob \geq 10$ en $prob \leq 2$
Kritiek	$\Delta v * prob \geq 64$ & $prob > 2$

Alvorens deze analyse uitgevoerd kon worden, diende er nog een gebied bepaald te worden waarbinnen beide indicatoren berekend zouden worden. Eerder onderzoek, en ook de data van deze thesis, toonde immers aan dat de accuraatheid van de gegevens van DFS sterk afneemt naarmate een voertuig zich dicht bij de rand van het beeld bevindt. Dit komt onder meer doordat voertuigen dan vaak slechts gedeeltelijk in beeld zijn, waardoor voertuigen bijvoorbeeld onrealistisch vertragen bij het buitenrijden van het beeld omdat de tracker (en de bounding box) van het voertuig zich verplaatst naarmate het voertuig minder en minder in beeld is. Daarom werd voor elke opname een rand van een tiental meter buiten beschouwing gelaten zodat ook grotere voertuigen zoals vrachtwagens en bussen steeds volledig in beeld zijn voor de berekening van de TTC en PET.

6.5 Weergegevens

- Bram Geukens -

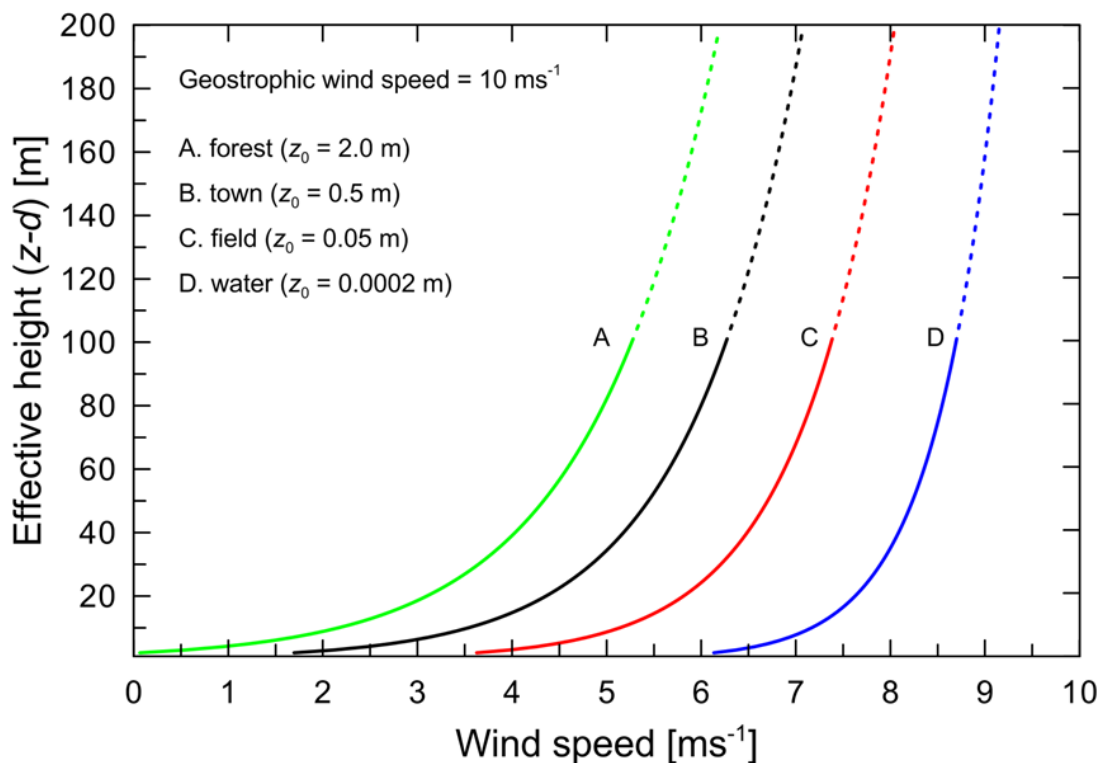
Doorheen deze masterthesis werd reeds enkele malen aangehaald dat de weersomstandigheden een van de grootste nadelen zijn voor het gebruik van een drone. Zo is de drone die in deze thesis gebruikt werd niet waterdicht en niet ontworpen voor windstoten boven 10,7 m/s (ongeveer 38,5 km/u, (DJI Technology, n.d.-b)). Dit betekent dan ook dat er op momenten waarop het bijvoorbeeld regent of hard waait, niet gevlogen kan worden. Ook omstandigheden zoals mist of donkere, nachtelijke uren zullen ervoor zorgen dat de kwaliteit van de dronebeelden lager is, wat een negatieve impact heeft op de verdere analyses. DFS haalt op zijn/haar website echter aan dat hun technologie hiervoor getraind is (DataFromSky, n.d.-a). De bijhorende video's bevatten eerder nevelige dan wel mistige omstandigheden, en detecteren vooral gemotoriseerd verkeer.

Tenslotte zijn ook lagere temperaturen (<0°C) niet optimaal voor drones. Dit komt niet alleen door het mogelijks voorkomen van sneeuw of ijzel, maar bij (erg) lage temperaturen kunnen delen van de drone zoals de batterijen of de motoren bevriezen (DJI Technology, 2017). Dit laatste is voornamelijk van belang voor polaire en alpiene regio's die gekenmerkt worden door strenge winters.

Daarom werd er in deze thesis een poging ondernomen om de concrete impact van de weersomstandigheden te becijferen. Hiervoor werd er gebruikt gemaakt van de officiële en gevalideerde urengegevens afkomstig van het weerstation in de buurt van het vliegveld van Maastricht, dat in eigendom is van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI, n.d.). Dit station werd gekozen omdat

dit relatief dicht bij het studiegebied gesitueerd is en omdat deze gegevens, in tegenstelling tot de metingen van het Belgische Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI), vrij beschikbaar zijn. De verkregen dataset omvat urengegevens van 1 januari 2011 tot en met 31 december 2020. Deze bevat naast een vijftiental variabelen zoals de gemiddelde windsnelheid, windrichting of het horizontaal zicht per uur, ook vijf binaire variabelen die aanduiden of er gedurende dat uur sprake was van regen, sneeuw, onweer, mist of ijzel.

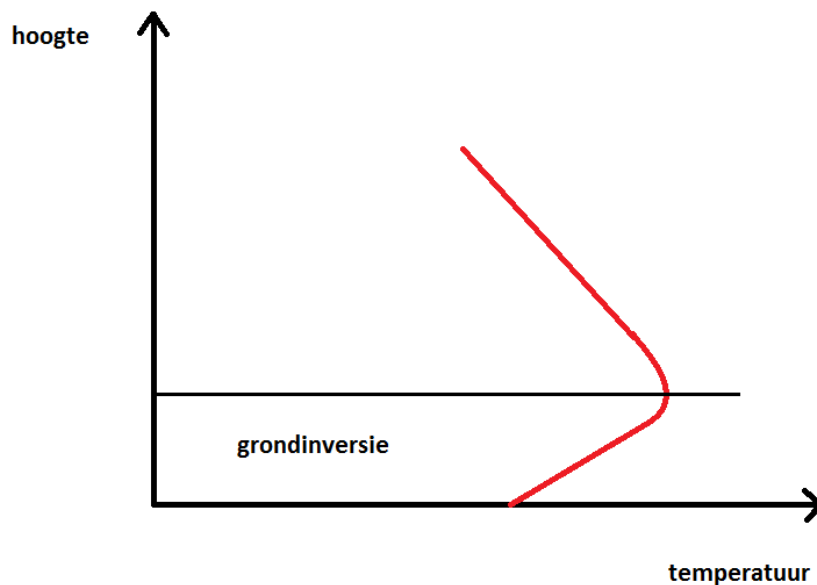
Met name deze binaire variabelen zijn interessant voor deze thesis omdat deze op een snelle en eenvoudige manier toelaten om ieder uur te classificeren in geschikt (geen regen, sneeuw, onweer, mist of ijzel) of ongeschikt (ten minste een van deze vijf factoren aanwezig). Om de beperking van de wind in rekening te brengen, werd er gekeken naar de hoogste windstoot per uur. Deze wordt echter gemeten op een hoogte van 10 meter, wat beduidend lager is dan de gemiddelde vlieghoogte van de drone. Door de wrijving die ontstaat met het aardoppervlak, is de windsnelheid er immers lager dan op grotere hoogte (zie Figuur 21). De mate van wrijving, en dus vertraging, wordt bovendien ook nog bepaald door het type landbedekking, waarbij de windsnelheid in stedelijke en bosrijke gebieden lager ligt dan over meren of zeeën (zie Figuur 21).



Figuur 21 Invloed van type landbedekking en hoogte op windsnelheid (Global Wind Atlas, n.d.).

Op basis van de gegevens is het echter zeer moeilijk om de gemeten snelheden op 10 m om te rekenen naar de windsnelheid op een hoogte van 50 of 70 m. Bovendien kunnen veranderingen in landbedekking (bijvoorbeeld een overgang van stedelijk naar landbouwgebied) de windsnelheid tot 10 km verder stroomafwaarts beïnvloeden (Global Wind Atlas, n.d.). Daarom werd er gekozen om de gemeten windsnelheid constant te houden, onafhankelijk van de hoogte.

Ook de temperatuur varieert naargelang de hoogte. Zo daalt deze, afhankelijk van de vochtigheid, met $0,65^{\circ}\text{C}$ tot 1°C per 100 m stijging. Hierop bestaan echter uitzonderingen, dewelke inversies genoemd worden en waarbij de temperatuur dus toeneemt met de hoogte (KMI, n.d.-b). Voor drones is vooral de zogenaamde grond- of stralingsinversie van belang vermits deze zich op lage hoogte situeert, meestal enkele tientallen tot honderden meters boven het aardoppervlak (KMI, n.d.-b). Door bijvoorbeeld de nachtelijke afkoeling van het aardoppervlak of, een koude luchtlaag tijdens de winter, kan de temperatuur toenemen met de hoogte in de onderste lagen van de atmosfeer (Deboosere, n.d.; KMI, n.d.-b). Dit is schematisch weergegeven in Figuur 22.



Figuur 22 Grond- of stralingsinversie (KMI, n.d.-b).

Omwille van de kleine verschillen (voor een vlieghoogte van 50 m gaat het immers "maar" om $-0,3^{\circ}\text{C}$), en het feit dat momenten waarop er sprake was van een inversie niet gekend zijn, is er besloten om ook de temperatuurmetingen constant te houden met de hoogte.

De overgebleven uren werden tenslotte geclassificeerd volgens de bewolgingsgraad. DFS haalt namelijk aan dat zowel een volledig bewolkte als een volledig onbewolkte hemel suboptimaal zijn voor verkeerskundig onderzoek door donkerdere omstandigheden, overbelichting of schaduwen (DataFromSky, n.d.-b). Deze classificatie werd gedaan aan de hand van octa's. Hierbij wordt de hemel opgedeeld in acht delen en wordt er geschat hoeveel delen ingenomen worden door wolken. Zo staat 0 octa's gelijk met een heldere hemel en 8 octa's met een volledig bewolkte hemel (KMI, n.d.-a). In deze thesis werden uren met 0 of 1 octa's daarom geclassificeerd als te zonnig, uren met 7 of 8 octa's als te bewolkt en de overige (2 tot en met 6 octa's) als zeer geschikt.

7 Dataverzameling en -analyse van de onderzoeksresultaten

In dit hoofdstuk zullen achtereenvolgens de resultaten van het droneonderzoek en het onderzoek met de vaste camera's besproken worden. Beide delen zijn, zoals eerder werd aangehaald, opgesplitst in twee delen omdat de resultaten van de ochtend en de namiddag apart geanalyseerd werden door de twee studenten. Bij het presenteren van de uitkomsten van de vaste camera's zal er, waar mogelijk, een vergelijking gemaakt worden met de bevindingen van het droneonderzoek.

7.1 Analyse droneonderzoek

7.1.1 Droneonderzoek voormiddag

- Bram Geukens -

Tijdens de ochtend van 27 januari 2023 vonden vier afzonderlijke dronevluchten plaats, met telkens enkele minuten pauze om de batterij van de drone te wisselen. De uren van alle vluchten zijn terug te vinden in Tabel 2.

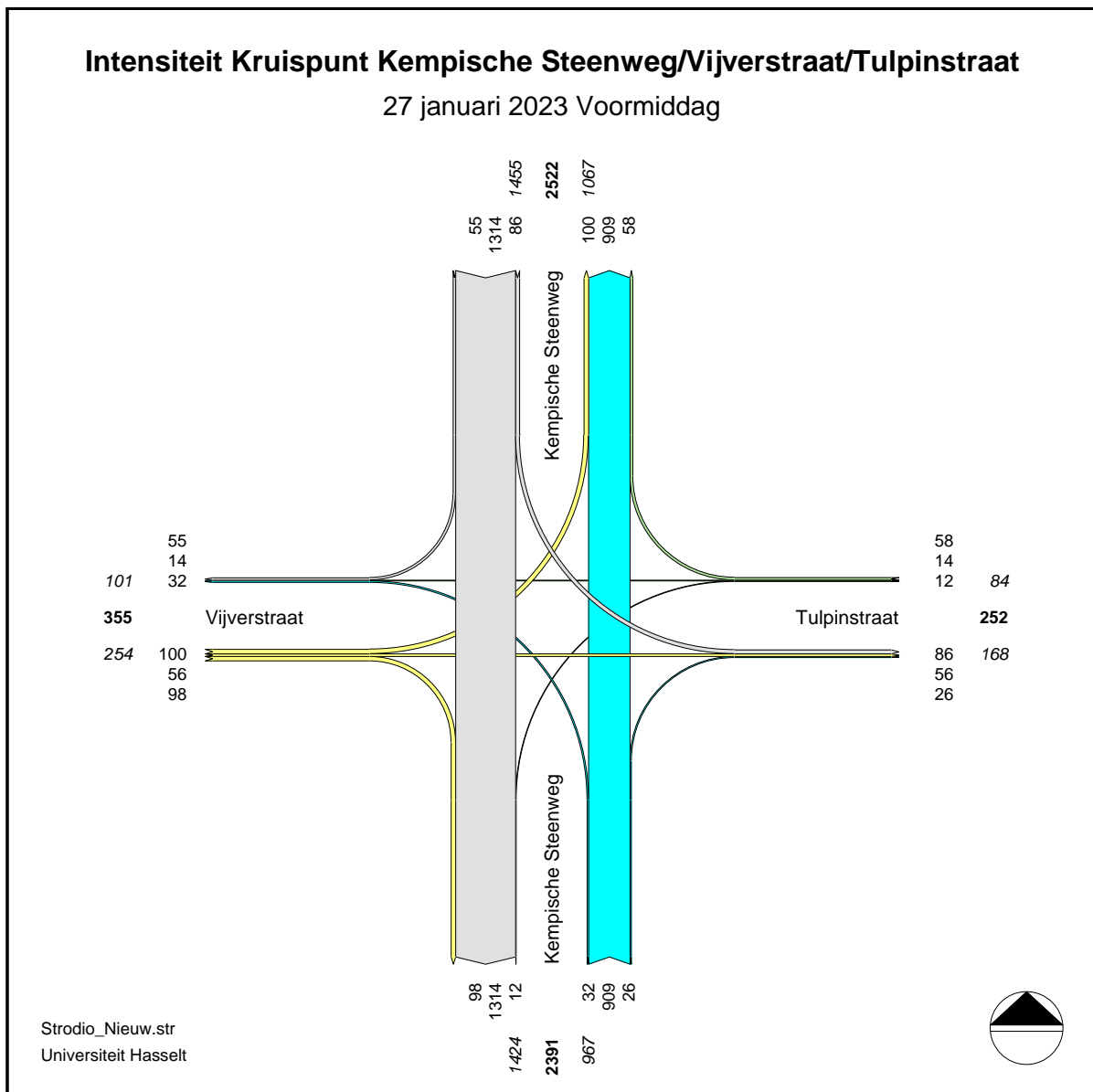
7.1.1.1 Detectie en classificatie weggebruikers

Het aantal unieke geïdentificeerde weggebruikers varieert sterk, mede door de verschillen in de duur van elke opname. Zo worden er tijdens de eerste vlucht 530 weggebruikers herkend door DFS, 1450 in de tweede, 823 in de derde en tenslotte 487 in de vierde opname. Het hoge aantal weggebruikers in de tweede dronevlucht kan mede verklaard worden doordat deze plaatsvond rond de start van de schooldag, waardoor er veel actieve weggebruikers in beeld kwamen. De exacte verdeling, alsook de percentages van elke vervoersmodus zijn weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6 Absolute en relatieve frequentie per vervoersmodus en vlucht (droneopname/voormiddag)

	VLUCHT 1		VLUCHT 2		VLUCHT 3		VLUCHT 4	
	Abs.	Rel. (%)	Abs.	Rel. (%)	Abs.	Rel. (%)	Abs.	Rel. (%)
VOETGANGER	21	4,0	214	14,8	21	2,6	26	5,3
FIETSER	51	9,6	91	6,3	18	2,2	10	2,1
MOTORFIETS	2	0,4	5	0,3	3	0,4	0	0
AUTO	390	73,6	974	67,2	684	83,1	381	78,2
LICHTE VRACHTWAGEN	42	7,9	98	6,8	53	6,4	44	9,0
VRACHTWAGEN	18	3,4	49	3,4	29	3,5	21	4,3
BUS	6	1,1	19	1,3	15	1,8	5	1,0
TOTAAL	530	100	1450	100	823	100	487	100

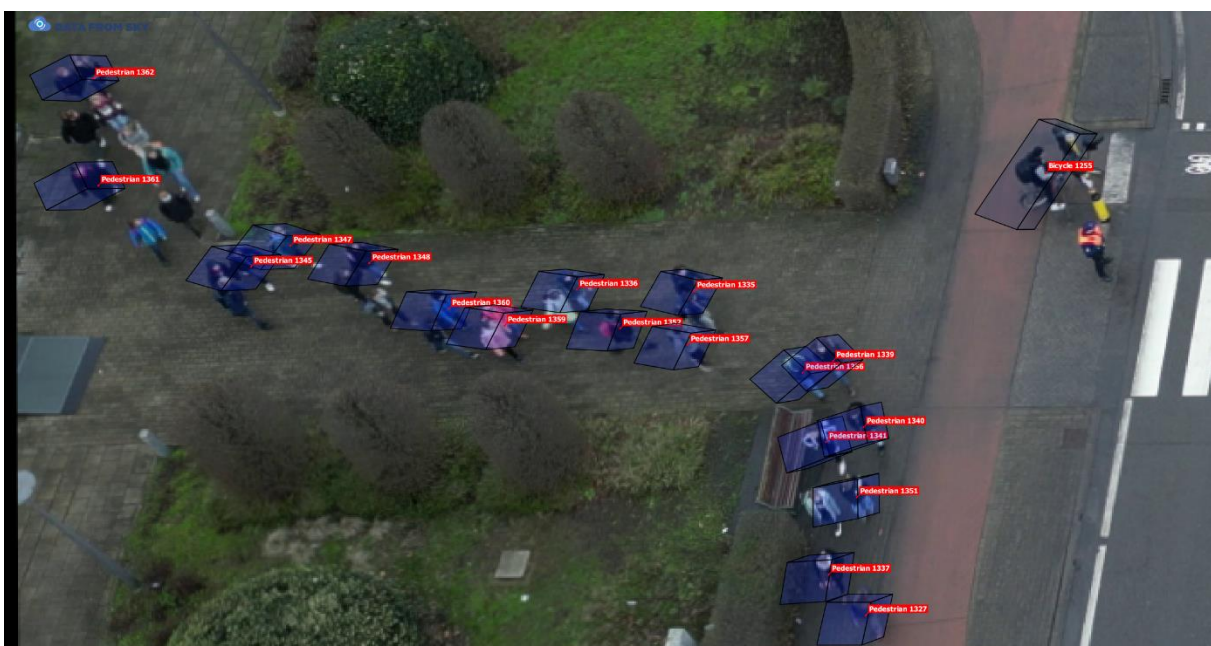
Wanneer deze gegevens van het gemotoriseerd verkeer omgezet worden naar personenauto-equivalenten (pae), dan kan de verkeersintensiteit van het kruispunt berekend en gevisualiseerd worden in een stromendiagram. Dit is weergegeven in Figuur 23. Uit dit diagram kan afgeleid worden dat de Kempische Steenweg duidelijk de hoofdas is, en dat er meer verkeer vanuit het noorden richting Hasselt rijdt dan omgekeerd. Voorts valt op dat er dubbel zoveel verkeer de Tulpinstraat inrijdt dan er vanuit deze straat het kruispunt oprijdt (168 pae tegenover 84 pae). Ongeveer de helft van dit inrijdend verkeer is afkomstig van de noordelijke tak het kruispunt (86 pae). Een deel van dit verkeer is waarschijnlijk sluipverkeer dat de congestie, die ontstond door het ongeval (zie eerder), op de Kempische Steenweg richting Hasselt wou vermijden.



Figuur 23 Stromendiagram met verkeersintensiteiten (in pae, op basis van het gemotoriseerd verkeer).

De cijfers getoond in Tabel 6 zijn deze van na een manuele controle van elk label. DFS blijkt namelijk moeite hebben met het correct classificeren van voornamelijk motorfietsen, fietsen en voetgangers, maar ook personenwagens, bussen en vrachtwagens worden soms incorrect geclassificeerd. Van de 530 weggebruikers in vlucht 1 waren er 53 (10%) waarbij het label foutief was. Dit zijn voornamelijk fietsers die het label "motorfiets" kregen. Voor vlucht 2 zakt het percentage foutief gelabelde weggebruikers naar 7,24% (105 labels), ook weer hoofdzakelijk fietsers en voetgangers die gezien werden als een motorfiets. Tijdens het controleren van de derde ochtendvlucht diende amper 0,85% van de labels (7) gewijzigd te worden. Hier was er verwarring tussen personenwagens en lichte vrachtwagens. Van de labels van de vierde dronevlucht dienden geen labels aangepast te worden. Deze evolutie (van hoog naar laag) kan mogelijks verklaard worden door de donkere lichtomstandigheden tijdens vlucht 1 en 2.

Met name voor de conflictparameters die verderop in deze masterproef getoond zullen worden, zijn deze detecties en classificaties van groot belang. Een weggebruiker die niet gedetecteerd wordt, zal immers ook niet meegenomen worden in de conflictanalyse, wat ervoor kan zorgen dat bepaalde conflicten gemist worden. Na een manuele controle blijkt dat dit voor het gemotoriseerde verkeer nagenoeg perfect loopt. Enkel tijdens de eerste opname worden 4 bussen en 1 vrachtwagen niet gedetecteerd. Ook in de tweede opname worden 2 bussen niet herkend door DFS. Ook dit kan mogelijks verklaard worden door de donkere, en dus niet optimale, lichtomstandigheden. Problematischer wordt het echter wanneer er gekeken wordt naar de actieve weggebruikers. Net na de start van de schooldag (vlucht 2) wandelen bijvoorbeeld een zestigtal leerlingen en kinderen vanuit de school naar de Kempische Steenweg in zuidelijke richting. Een deel hiervan is weergegeven in Figuur 24. Het valt op dat verschillende personen niet herkend worden door DFS, voornamelijk aan de rand van het beeld, en dat sommige personen samen gezien worden als één voetganger (zie Figuur 24).



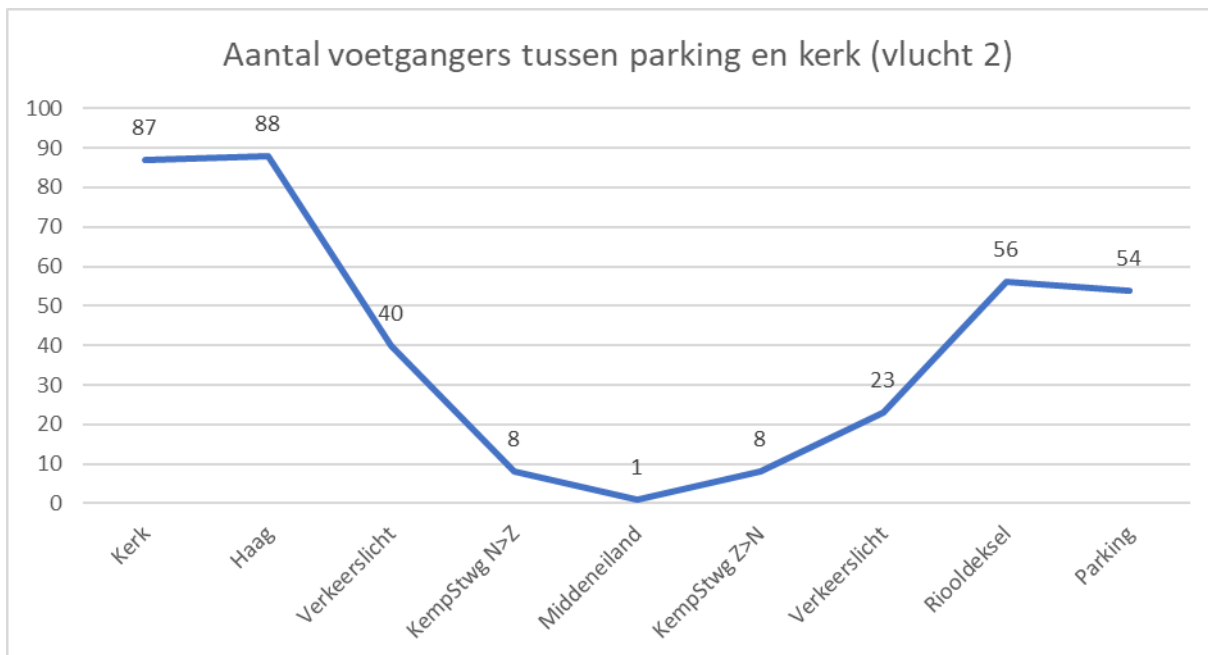
Figuur 24 Detectie voetgangers.

Tijdens het bekijken van diezelfde opname (rond de start van de schooldag), viel op dat er veel voetgangers zijn die de Kempische Steenweg oversteken via het zebrapad tussen de parking en de school. Merkwaardig was echter dat de tracering van zo goed als alle geïdentificeerde voetgangers op de parking en rond de kerk stopte wanneer zij aan het rode licht stonden te wachten of overstaken op het zebrapad. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in Figuur 25. Alle drie fietsers in beeld worden gedetecteerd, terwijl er amper één van de vijftien voetgangers herkend wordt. Dit patroon was zichtbaar gedurende de gehele opname van vlucht 2, maar veel minder op de zebrapaden evenwijdig met de Kempische Steenweg.



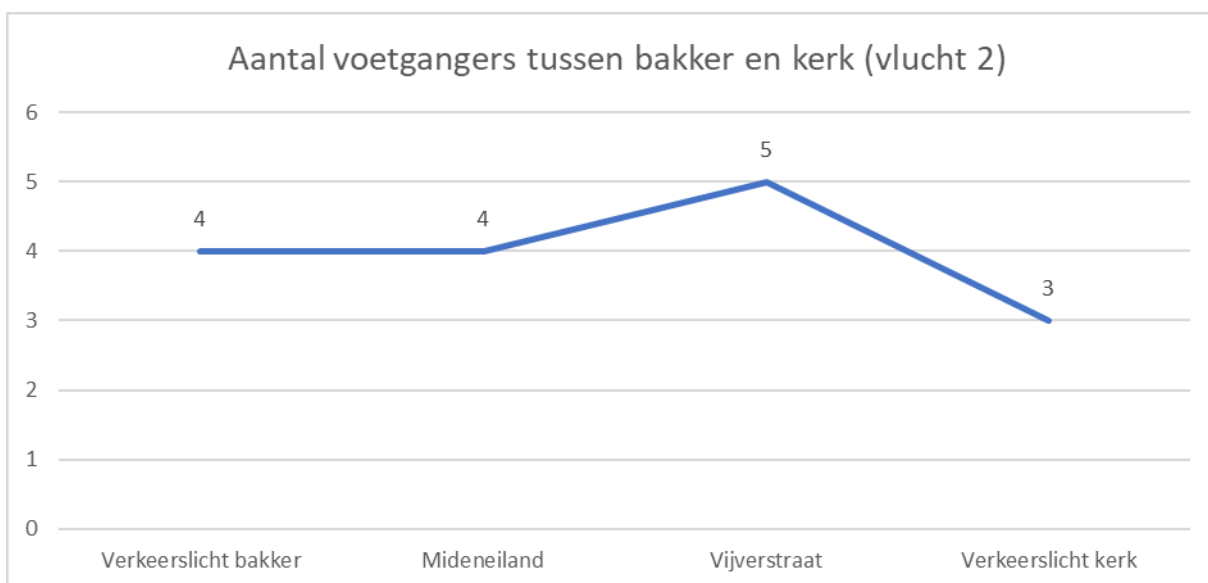
Figuur 25 Detectie van voetgangers en fietsers tijdens het oversteken van de Kempische Steenweg rond de start van de schooldag.

Dit fenomeen werd daarom verder onderzocht en gekwantificeerd door het plaatsen van verschillende telpoorten in DFS op het zebrapad uit Figuur 25 en ter hoogte van de parking (rechts buiten beeld in Figuur 25) en de kerk (links buiten beeld in Figuur 25). De resultaten van deze tellingen zijn weergegeven in Figuur 26 en tonen duidelijk dat het aantal voetgangers afneemt terwijl zij wachten aan het verkeerslicht, en dan nog verder daalt terwijl zij de Kempische Steenweg oversteken tot een minimum van amper één voetganger op het zebrapad ter hoogte van het middeneiland.



Figuur 26 Aantal gedetecteerde voetgangers op het zebrapad tussen de parking en de kerk tijdens vlucht 2.

Dezelfde analyse werd tijdens dezelfde dronevlucht toegepast voor een ander zebrapad, namelijk het zebrapad van Vijverstraat, tussen de bakkerij en de kerk. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Figuur 27 en tonen enerzijds dat het aantal voetgangers lager is dan in Figuur 26, maar ook dat deze zo goed als foutloos gevolgd worden tijdens het oversteken. Afgezien van het verschillend aantal voetgangers, is enkel de oriëntatie van de strepen van het zebrapad zelf verschillend. Dit doet vermoeden dat deze mogelijk een rol speelt bij de slechte tracking van voetgangers op het zebrapad op de Kempische Steenweg. Het lijkt aannemelijk dat de constante (en snelle) afwisseling van een lichte naar een donkere achtergrond het algoritme van DFS parten speelt.



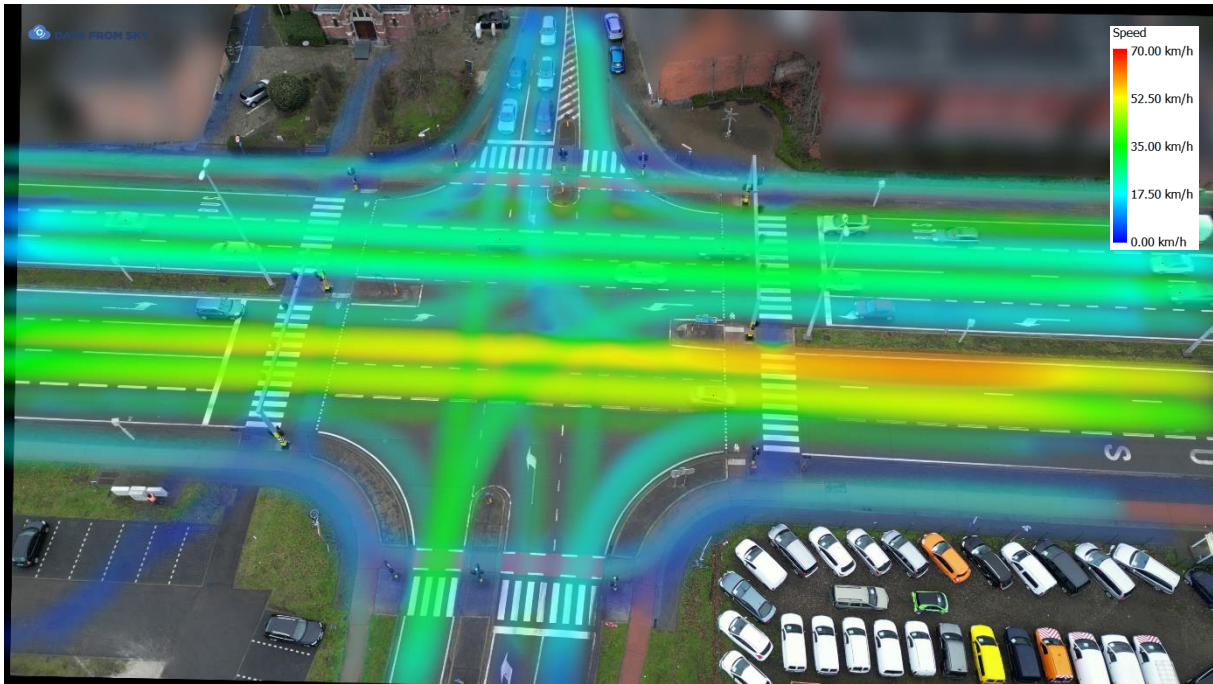
Figuur 27 Aantal gedetecteerde voetgangers op het zebrapad tussen de bakker en de kerk.

7.1.1.2 Snelheid

Na het georefereren van elke dronevlucht is het mogelijk om via DFS een heatmap aan te maken om de ruimtelijke spreiding van, onder andere, de snelheid van het verkeer weer te geven. Om een overvloed aan afbeeldingen te vermijden, is ervoor gekozen om de snelheden van vlucht 3 te bespreken, de resultaten van de overige vluchten zijn opgenomen in bijlage 12.3. Figuur 28 toont dat de snelheden van het verkeer op de Kempische Steenweg richting Hasselt relatief laag liggen (ongeveer 30 km/u), dit door de file die er stond naar aanleiding van het ongeval stroomafwaarts. In de tegenovergestelde richting liggen de snelheden merkkelijk hoger, vooral dan op de linkerrijstrook met een piek net na het kruispunt.

Een andere manier om de snelheden van het verkeer te analyseren, is om te kijken naar het aantal weggebruikers dat de snelheidslimiet overschrijdt. Daartoe werd er, voor elke dronevlucht, in DFS een zogenaamde "action region" gedefinieerd op het eigenlijk kruispunt (alles binnen de zebrapaden en de zebrapaden zelf). Voor het gemotoriseerde verkeer werden geen extreme overschrijdingen vastgesteld, al waren er tijdens de vierde vlucht wel zeven wagens die snelheden haalden tussen 75 en 79 km/u. Ook kon de flits van de flitspaal eenmaal waargenomen worden tijdens het bekijken van de beelden.

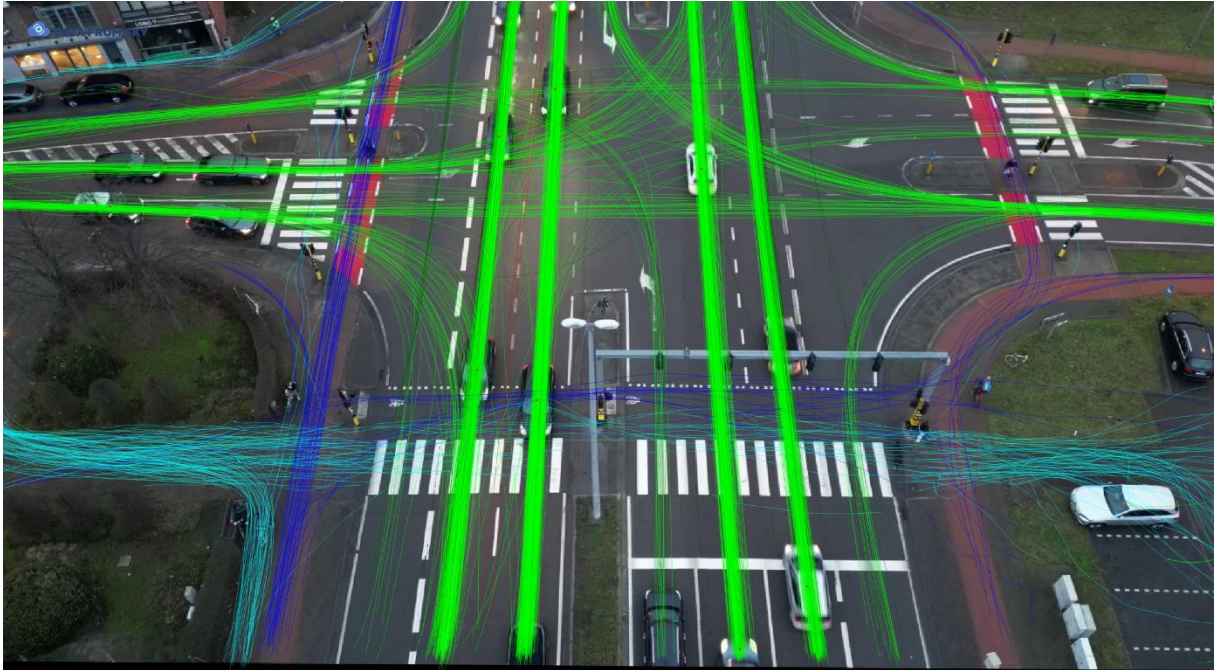
Naast het gemotoriseerde verkeer is het met een "action region" ook mogelijk om de gemiddelde snelheid van de actieve weggebruikers na te gaan. Dit is interessant, met name voor de tweede vlucht, om een idee te krijgen van het aandeel voetgangers dat moet lopen om de Kempische Steenweg over te steken. Daartoe werd de snelheidslimiet op 7 km/u gezet. Gedurende de tweede vlucht zijn er 27 voetgangers (12,6% van het totaal aantal voetgangers, zie Tabel 6) die gemiddeld 8,50 km/u wandelen of lopen (met een uitschieter tot 16 km/u) tijdens het oversteken van de Kempische Steenweg via het zebrapad tussen de parking en de kerk. Dit percentage is waarschijnlijk een onderschatting vermits de tracking van veel van deze voetgangers stopt tijdens het oversteken (zie Figuur 26).



Figuur 28 Heatmap met gemiddelde snelheden van het verkeer tijdens vlucht 3.

7.1.1.3 Oversteekgedrag

Tijdens het bekijken van de dronebeelden is het ook mogelijk om andere elementen zoals het oversteekgedrag van weggebruikers of het dragen van fluorescerende kledij na te gaan. Hiervoor zijn echter geen speciale tools voorhanden in DFS, wat betekent dat dit soort analyses manueel uitgevoerd dient te worden. Om foutief oversteek gedrag ("jaywalking") na te gaan, is het echter wel mogelijk om in DFS de trajectorieën van alle weggebruikers weer te geven. Figuur 29 toont hiervan een voorbeeld voor vlucht 2. Uit deze figuur kunnen verschillende zaken afgeleid worden. Als eerste valt de hoge verkeersintensiteit op de Kempische Steenweg op door de vele groene trajectorieën. Op de rijrichting naar Hasselt zijn er ook duidelijk meer rijstrookwissels dan in de omgekeerde richting. Dit is een gevolg van de file die er die ochtend stond naar aanleiding van het ongeval (zie eerder). Ook de problematische detectie van voetgangers op het zebrapad (zie Figuur 26) is duidelijk zichtbaar door de vele lichtblauwe lijnen die stoppen aan of net op het zebrapad. Voort kan er uit Figuur 29 afgeleid worden dat enkele voetgangers de Kempische Steenweg oversteken via de fietsoversteekplaats in plaats van het zebrapad. Bovendien zijn dit ononderbroken trajectorieën, wat de mogelijke verklaring voor de moeizame detectie van voetgangers op het zebrapad (namelijk de afwisseling van een lichte naar een donkere achtergrond door de oriëntatie van de strepen, zie eerder) verder ondersteunt. Fietsers gebruiken hoofdzakelijk de voor hun voorziene infrastructuur, al zijn er enkelen die tijdens het oversteken de bocht afsnijden door een stukje over het zebrapad te fietsen (links onderaan in Figuur 29). Ten slotte toont deze figuur ook dat enkele wagens die vanuit de Vijverstraat rechts afslaan (naar de Kempische Steenweg richting Hasselt), de busbaan oprijden in plaats van de eigenlijk rijbaan.



Figuur 29 Trajectorieën van alle weggebruikers tijdens vlucht 2. Groen staat voor gemotoriseerd verkeer, blauw voor fietsers en lichtblauw voor voetgangers.

Afhankelijk van de vlieghoogte en de hoek van de camera is het mogelijk om de fase van de verkeerslichten te observeren in de beelden, waardoor het mogelijk wordt om het negeren van een rood licht na te gaan. Tijdens vluchten 1 en 2 konden de verkeerslichten op de Kempische Steenweg in de noordelijke richting geobserveerd worden en tijdens vlucht 4 die van de Tulpinstraat. Voor de derde vlucht konden geen verkeerslichten herkend worden aangezien de vlieghoogte te hoog was en de camerahoek te klein. Tijdens deze drie vluchten werden er twee voertuigen opgemerkt die door het rood reden. Figuur 30 toont hiervan een voorbeeld waarbij een wagen op de Kempische Steenweg richting Lommel duidelijk een rood licht negeert. De andere situatie vond plaats tijdens vlucht 4, waarbij er een camionette vanuit de Vijverstraat de Kempische Steenweg oprijdt terwijl het verkeerslicht voor verkeer komende vanuit de Tulpinstraat op rood staat, en beide straten steeds gelijktijdig groen licht krijgen.

Vlucht 1 vond relatief vroeg op de ochtend plaats, en dus in donkerdere lichtomstandigheden, waardoor deze vlucht geschikt is om na te gaan in welke mate fietsers en voetgangers fluorescerende kledij dragen of hun fietslichten aan hebben staan. Ongeveer de helft van de fietsers tijdens deze vlucht had zowel zijn lichten als een fluorescerend kledingstuk aan zoals de fietser in Figuur 30. De andere helft had enkel de fietsverlichting ingeschakeld zonder bijvoorbeeld een fluohesje. Van de voetgangers droeg de overgrote meerderheid geen fluorescerende kledij.



Figuur 30 Auto negeert een rood licht en een fietser draagt een fluoehesje tijdens vlucht 1.

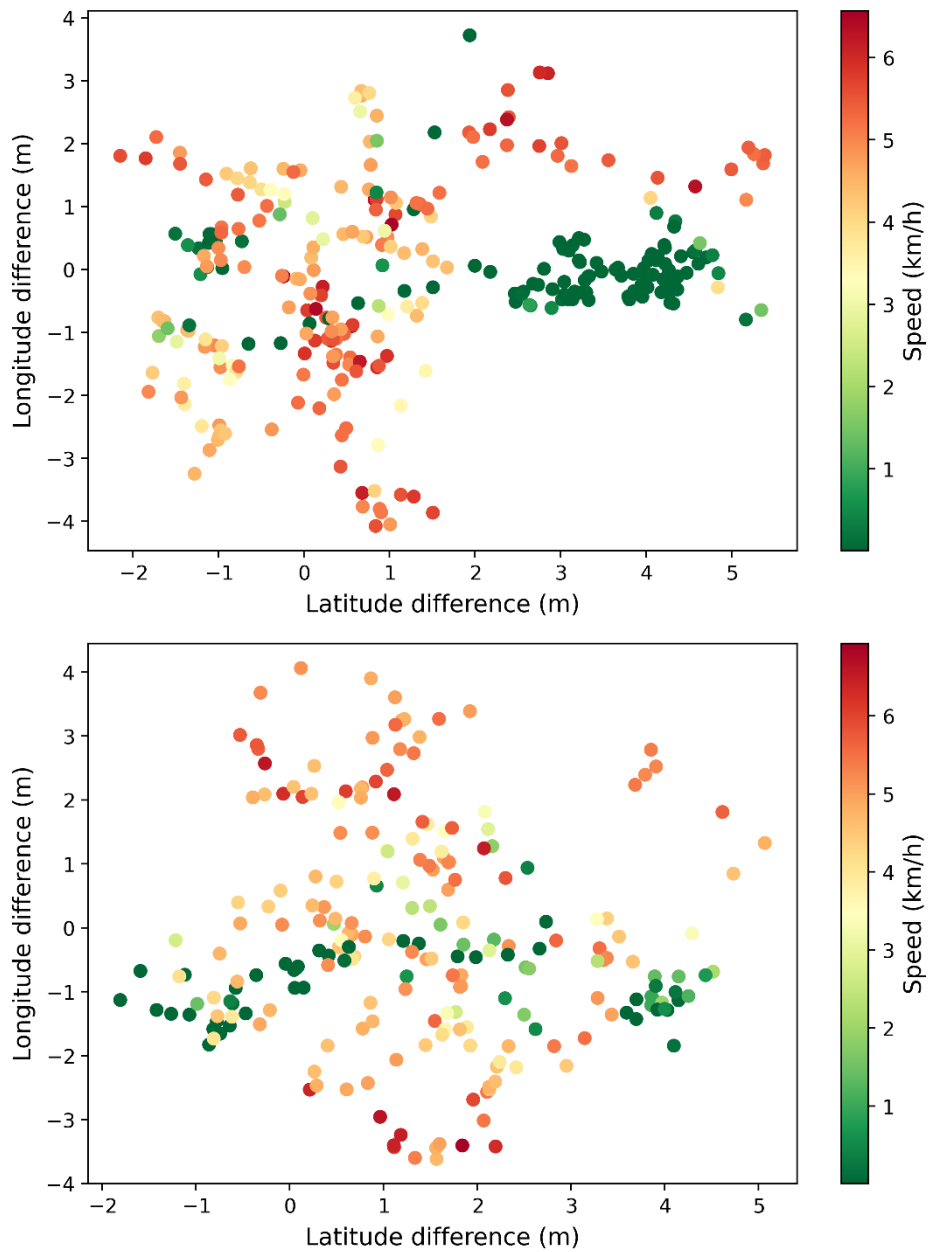
7.1.1.4 Locatiebepaling

De vergelijking tussen de locatie-informatie afkomstig van DFS en de differentieel-gps tonen aan dat de gemiddelde afwijkingen relatief klein zijn (zie Tabel 7). Zo bedraagt het gemiddelde verschil in breedtegraad voor beide vluchten ongeveer 1,35m, en amper 11cm voor de lengtegraad in vlucht 3. Voor de afwijkingen in de lengtegraad valt op dat deze kleiner zijn dan het nauwkeurniveau van de differentieel-gps. Eerdere studies toonden ook aan dat accuraatheid van de locatie bepaald door DFS zeer hoog is (zie eerder).

Tabel 7 Verschil tussen de positie van DFS en de differentieel-gps (in meter).

	VLUCHT 3		VLUCHT 4	
	Breedtegraad	Lengtegraad	Breedtegraad	Lengtegraad
GEMIDDELDE	1,34	-0,11	1,38	-0,18
MEDIAAN	0,86	-0,08	1,31	-0,04
BETROUWBAAR- HEIDSINTERVAL	1,11 – 1,57	-0,27 – 0,05	1,19 – 1,57	-0,41 – 0,02

Deze algemene statistieken werden verder onderzocht door een spreidingsdiagram te maken voor elke vlucht waarbij voor iedere meting de afwijking in beide richtingen per seconde wordt weergegeven. Deze metingen werden vervolgens ingekleurd volgens de snelheid waarmee Bram zich op dat moment voortbewoog. Deze figuren zijn weergegeven in Figuur 31 en tonen dat voornamelijk de afwijking in de lengtegraad onderhevig is aan de snelheid. Bij stilstand is het verschil tussen de locatie van DFS en de differentieel-gps ongeveer gelijk aan 0m. Het verschil voor de breedtegraad lijkt minder beïnvloed te worden door de wandelsnelheid.



Figuur 31 Spreidingdiagram voor de afwijking van de locatie tijdens vlucht 3 (boven) en 4 (onder). Elke bol stelt een meting voor (= een seconde).

7.1.1.5 Conflictanalyse

Het uitvoeren van de code om de TTC en PET te berekenen resulteerde in één lijst per indicator per dronevlucht met daarin onder meer de betrokken voertuigen en de ernst van elk conflict. De informatie van deze acht lijsten van de ochtendobservaties is samengevat in Tabel 8 en toont verschillende elementen. Ten eerste worden er duidelijk meer conflicten gedetecteerd met de PET dan met de TTC. Ook zijn er merkbaar meer kop-staart conflicten dan er conflicten ontstaan waarbij weggebruikers elkaar kruisen of van rijstrook veranderen. Ten slotte is het aandeel kritische gebeurtenissen eerder beperkt, al zijn de mogelijke gevolgen van deze situaties wel groter (zie Figuur 20). Omwille van deze zwaardere impact, zullen deze situaties verder besproken en onderzocht worden in de volgende paragrafen.

Tijdens vlucht 1 en 4 negeerde respectievelijk een wagen en een camionette een rood licht (zie eerder). Deze overtredingen kwamen echter niet terug in de lijst met conflicten. Ook de wagens die sneller reden dan 70 km/u konden veelal niet teruggevonden worden. Enkelen werden wel geïdentificeerd bij het berekenen van de PET, maar hadden een gering risico.

Tabel 8 Samenvatting TTC en PET voormiddag

	Vlucht 1		Vlucht 2		Vlucht 3		Vlucht 4	
	PET	TTC	PET	TTC	PET	TTC	PET	TTC
	Kop-staart							
Gering	205	52	528	85	307	20	215	83
Gematigd	8	4	24	10	4	5	20	37
Kritisch			4	2			4	7
	Rijstrookwissel							
Gering	2	2	9	5	2	3	2	9
Gematigd			1	2		1		4
Kritisch				1				
	Kruising							
Gering			1	10		8	2	13
Gematigd		5	4	6		9		7
Kritisch							1	

7.1.1.5.1 Time to collision

Tabel 8 toont dat er zich tijdens vlucht 2 in totaal drie kritische gebeurtenissen voordeden, en zeven tijdens vlucht 4. Deze situeren zich bijna allemaal op de noordelijke rijrichting van de Kempische Steenweg. De beelden van vlucht 4 zijn genomen onder een schuinere hoek dan de overige drie opnames, waardoor het lijkt alsof grote voertuigen zoals vrachtwagens en bussen de volledige rijbaan innemen (zie Figuur 32). Dit heeft tot gevolg dat wagens op de linkerrijstrook in conflict lijken te komen met deze voertuigen. Figuur 32 toont hiervan een voorbeeld waarbij de zwarte wagen op de linkerrijstrook rijdt en lijkt in te rijden

op de vrachtwagen op de rechterrajstroom. Bovendien toont deze figuur ook dat de bounding boxes van zowel de vrachtwagen als de bus niet volledig aansluiten op het werkelijke voertuig, wat ook kan verklaren waarom deze situaties gezien worden als een conflict. In werkelijkheid gaat het echter om normaal verkeersgedrag. Dit fenomeen treedt ook op bij voertuigen die van rijstrook veranderen om zo een vrachtwagen in te halen (zie Figuur 33).

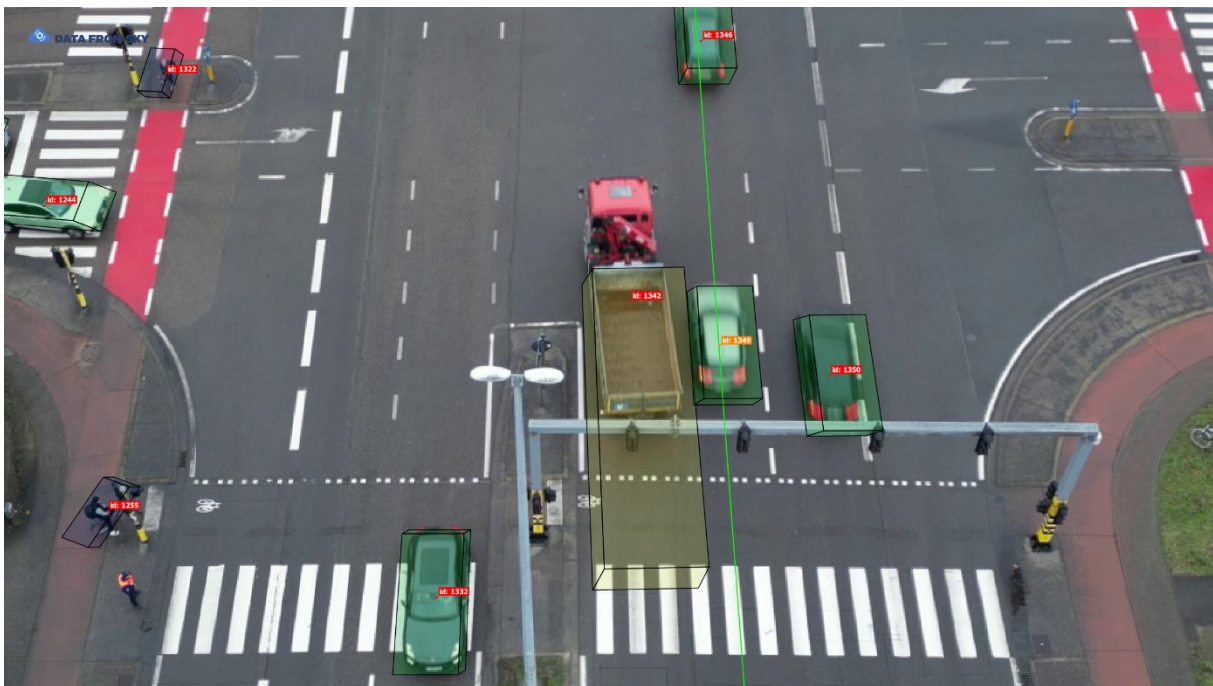


Figuur 32 Voorbeeld van een "kritieke" situatie op basis van de TTC-parameter waarbij twee wagens een bus en een vrachtwagen voorbijrijden op de linkerrijstrook.



Figuur 33 Voorbeeld van een "kritieke" situatie op basis van de TTC-parameter waarbij een wagen van rijstrook verandert om een vrachtwagen in te halen.

Tijdens vlucht 2 werden er twee kritische kop-staart situaties gedetecteerd. Na een manuele controle blijken beiden veroorzaakt te worden door een vrachtwagen die vanaf de voorsorteerstrook op Kempische Steenweg linksaf de Vijverstraat indraait, waardoor twee wagens die rechtdoor rijden hiermee in conflict lijken te komen. Figuur 34 geeft hiervan een voorbeeld weer. Ook hier zou een correcte bounding box deze "valse" conflicten mogelijks kunnen vermijden. Ook ontstonden er enkele gematigde conflicten tijdens deze vlucht tussen fietsers en voetgangers onderling waarbij bijvoorbeeld een fietser een andere fietser wou inhalen. Door de beperkte breedte van het fietspad is de afstand tussen de twee fietsers echter beperkt, wat resulteert in lagere TTC-waardes. Ook wanneer fietsers zich op het zebrapad begeven tussen overstekende voetgangers (zie eerder), worden er geringe tot soms gematigde conflicten gedetecteerd.



Figuur 34 Foutief conflict tussen een afslaan vrachtwagen en een wagen die rechtdoor rijdt.

De gegevens van de TTC voor vlucht 1 toonden een moment waarop één fietser telkens een gematigd conflict veroorzaakte met vijf opeenvolgende wagens. Een manuele controle toonde echter dat het hier ging om een fietser die aan het rood licht stond te wachten, en auto's vanop de Kempische Steenweg linksaf de Tulpinstraat inrijden (zie Figuur 35). Terwijl zij deze bocht maken, naderen zij de wachtende fietser. Aangezien de TTC aanneemt dat weggebruikers niet van rijrichting veranderen, ontstaat er dus telkens een moment waarop iedere wagen de fietser zou aanrijden moesten zij vanaf dat moment in dezelfde richting blijven rijden. In werkelijkheid gaat het echter om normaal verkeersgedrag waarbij wagens afslaan op een kruispunt en een fietser wacht aan een rood licht aan de rand van de weg. In tegenstelling tot de voorgaande situaties, zijn de bounding boxes wel correct gedefinieerd.



Figuur 35 Voorbeeld van een situatie waarbij afslaande wagens een conflict veroorzaken met een wachtende fietser op basis van de TTC-parameter.

7.1.1.5.2 Post encroachment time

Tabel 8 laat zien dat er in totaal negen kritische events zijn wat betreft de PET. Net zoals bij de TTC komen deze voor tijdens vlucht 2 en 4. Met name voor vlucht 4 zijn de kop-staart situaties allemaal dezelfde conflicten als diegene die in de voorgaande paragraaf besproken werden waarbij, door de schuine kijkpositie, vrachtwagens en bussen de volledige rijbaan lijken in te nemen (zie Figuur 32). Bijgevolg is enkel het kritische kruisingsconflict uniek voor de PET in vlucht 4. Bij het bekijken van de videobeelden blijkt het te gaan over een moment waarop een wagen en een vrachtwagen elkaar kruisen in de Vijverstraat en waarbij de vrachtwagen lichtjes moet uitwijken voor een container die langs en net op de weg geparkeerd staat. Dit is weergegeven in Figuur 36. Doordat de vrachtwagen uitwijkt en de wagen zijn koers niet aanpast, komen de bounding boxes van beide voertuigen bijna met elkaar in aanraking.



Figuur 36 Conflictsituatie op basis van de PET-parameter tussen een kruisende wagen en vrachtwagen waarbij de vrachtwagen moet uitwijken voor een geparkeerde container.

Tijdens vlucht 2 ontstaan de vier kritische gebeurtenissen allemaal op de Kempische Steenweg: een in de noordelijke rijrichting en drie in de zuidelijke rijrichting. In deze richting stond er een file op de reguliere rijstroken door het ongeval (zie eerder), maar was de busbaan steeds vrij. Sommige bussen rijden echter vrij snel (tot 75 km/u) terwijl het verkeer op het kruispunt bijna volledig stilstaat (zie Figuur 37). Door het grote verschil in snelheid en de korte afstanden tussen de bussen en wagens, worden deze gezien als kritische situaties. Figuur 37 toont verder ook dat de bounding box van de bus "achterloopt" op het eigenlijke voertuig.



Figuur 37 Conflictsituatie op basis van de PET-parameter tussen een rijdende bus op de busbaan en stilstaand verkeer op de reguliere rijweg.

De andere situatie tijdens vlucht 2 deed zich voor wanneer een vrachtwagen de Vijverstraat inslaat, maar pas gedetecteerd wordt tijdens het afslaan (zie Figuur 38). Door deze late detectie is de oriëntatie van de bounding box van de vrachtwagen tijdens het afslaan foutief en komt deze in conflict met een wagen die rechtdoor rijdt. Dit is echter geen conflict maar normaal verkeersgedrag, en kan verklaard worden door de late detectie en foutief georiënteerde bounding box.

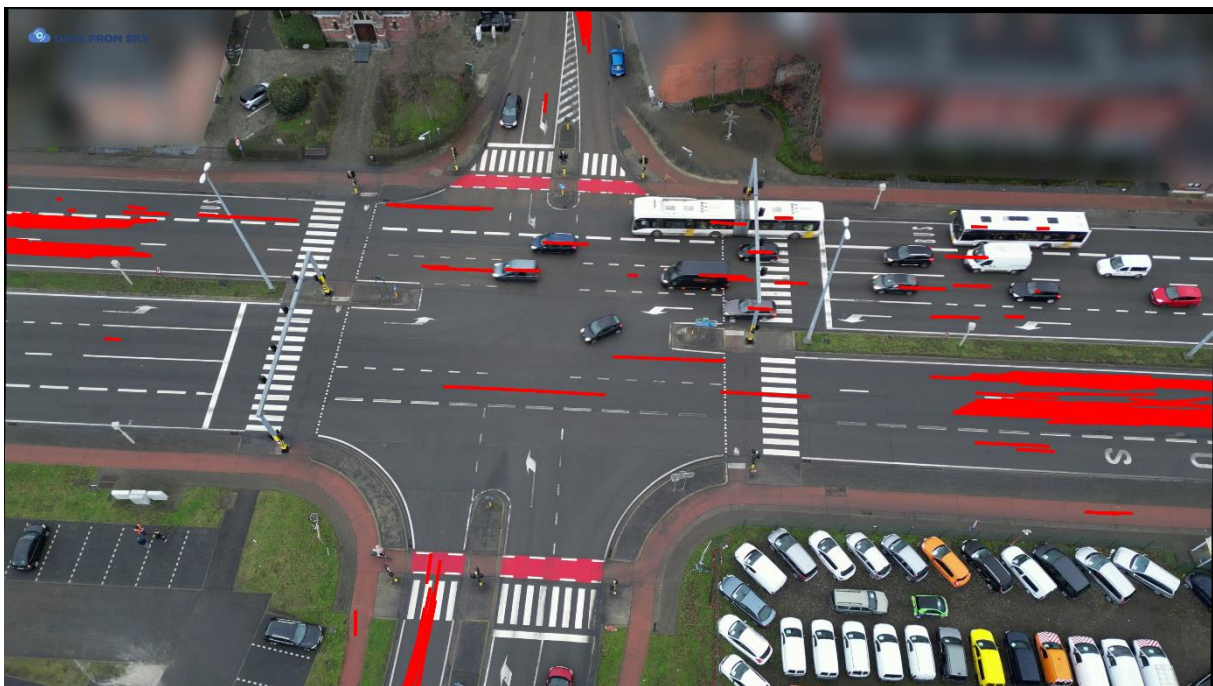


Figuur 38 Conflictsituatie op basis van de PET-parameter tussen een afslaan vrachtwagen met een foutieve bounding box en een wagen die rechtdoor rijdt.

7.1.1.5.3 Heavy braking

Naast de gemiddelde snelheid en eventuele snelheidsovertredingen, zijn ook plotse, sterke vertragingen belangrijk om een beeld te vormen van de verkeersveiligheid. Dit is dan ook de focus van de parameter "heavy braking", waarbij DFS alle momenten registreert waarop een weggebruiker sneller vertraagt dan een vooraf ingestelde limiet. Op basis van de literatuurstudie (zie eerder), werd deze limiet ingesteld op -3 m/s^2 voor elke dronevlucht. Figuur 39 toont de uitkomst van deze parameter voor vlucht 3. De overige zijn opgenomen in bijlage 12.4.

Een eerste element dat opvalt in Figuur 39 is dat er heel wat sterke rembewegingen zijn aan de rand van het beeld, en dat dit er meer zijn wanneer weggebruikers het studiegebied verlaten dan wanneer ze pas in beeld komen. Dit is echter niet correct, maar kan verklaard worden door de inaccuraten data op deze locaties doordat voertuigen er vaak niet meer volledig in beeld zijn. Verder toont Figuur 39 dat enkele weggebruikers sterk afremmen op het kruispunt zelf. In de zuidelijke rijrichting van de Kempische Steenweg komt dit waarschijnlijk door de file die er op dat moment nog steeds stond. In de omgekeerde rijrichting moesten enkele wagens sterk remmen wanneer een bus haar halteplaats (rechts onderaan deels in beeld) verliet en aan lage snelheid invoegde op de Kempische Steenweg. Ook net voor de verkeerslichten vinden enkele grotere vertragingen plaats. Deze blijken na een manuele controle veroorzaakt te worden door voertuigen die aan een hogere snelheid komen aanrijden en sterk afremmen, vermoedelijk omdat het verkeerslicht net oranje of rood werd.



Figuur 39 Overzicht van alle momenten waarop weggebruikers tijdens vlucht 3 sterk afremmen.

7.1.2 Droneonderzoek namiddag

- Wouter David -

7.1.2.1 HB-matrices

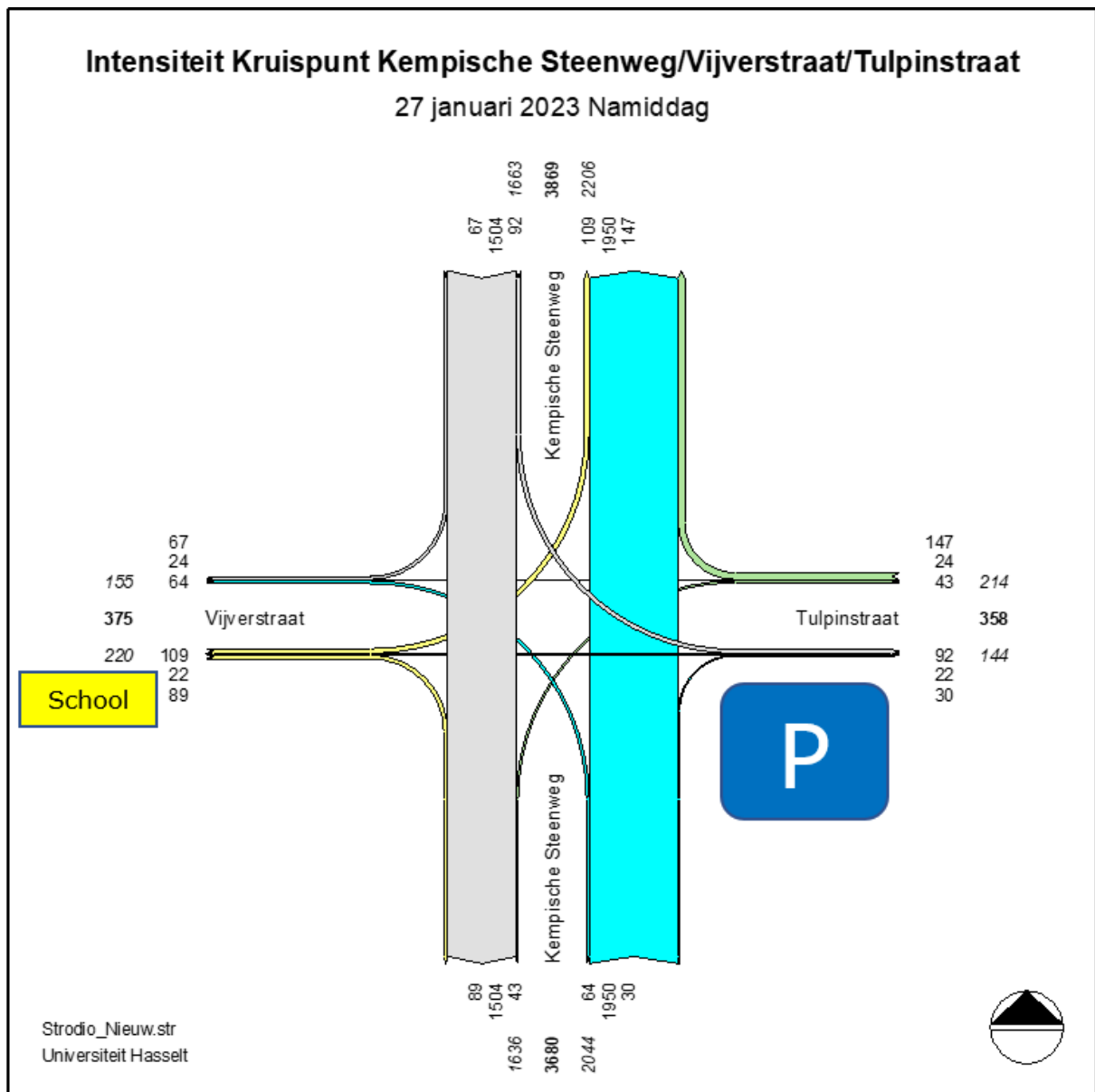
In de namiddag werd het tegenovergestelde effect verwacht van de intensiteiten in de ochtend waarbij de Kempische Steenweg in richting van Hasselt naar Zonhoven en Houthalen-Helchteren meer verkeer te verduren kreeg. Deze weg is ook wel bekend als de Noord-Zuidverbinding die, vooral in Houthalen, grote verkeershinder kent.

In de namiddag werden er vijf vluchten uitgevoerd, waarbij er in totaal 4 539 geïdentificeerde weggebruikers vastgesteld werden. De grootste aantallen werden in vlucht 2 en 3 vastgesteld, die 20min 21sec en 21min 33sec duurden. Over het algemeen is het duidelijk dat de auto het grote merendeel heeft, wat ook logische is als er een studie uitgevoerd wordt in een studiegebied met 12 rijvakken. Er is ook een sterke piek terug te vinden in vlucht 6 bij het aantal voetgangers. Gedurende deze vlucht was de schooltijd van de basisschool gedaan en gingen veel ouders hun kinderen afhalen van school.

Tabel 9: Absolute en relatieve frequentie per vervoersmodus en vlucht (droneopname/namiddag)

	VLUCHT 5		VLUCHT 6		VLUCHT 7		VLUCHT 8		VLUCHT 9	
	Abs.	Rel. (%)	Abs.	Rel. (%)	Abs.	Rel. (%)	Abs.	Rel. (%)	Abs.	Rel. (%)
VOETGANGER	45	6,1	209	14,4	14	1,1	9	1,6	3	0,6
FIETSER	13	1,7	39	2,7	101	7,9	11	2	15	2,9
MOTORFIETS	2	0,3	5	0,3	8	0,6	1	0,2	1	0,02
AUTO	583	78,5	1048	72,2	1034	81,2	466	84,4	446	85,9
LICHTE VRACHTWAGEN	77	10,4	106	7,3	73	5,7	43	7,8	38	7,3
VRACHTWAGEN	16	2,1	26	1,8	30	2,4	15	2,6	13	2,5
BUS	7	0,9	19	1,3	12	1,1	7	1,4	3	0,6
TOTAAL	743	100	1452	100	1273	100	552	100	519	100

Als de intensiteit in de voormiddag vergeleken wordt met deze in de namiddag, valt het op dat er in de namiddag veel meer verkeer was. Een verklaring voor dit verschil komt uit de duur van de dataopname. In de voormiddag werd er in totaal voor 63 minuten en 54 seconden aan beeldmateriaal opgenomen. In de namiddag was dit 74 minuten en 56 seconden. Voor de voormiddag betekent dit dat er per seconde 1,44 PAE vastgesteld werd en in de namiddag 1,88 PAE.



Figuur 40 Intensiteit Kruispunt Kempische Steenweg Namiddag (Strodio)

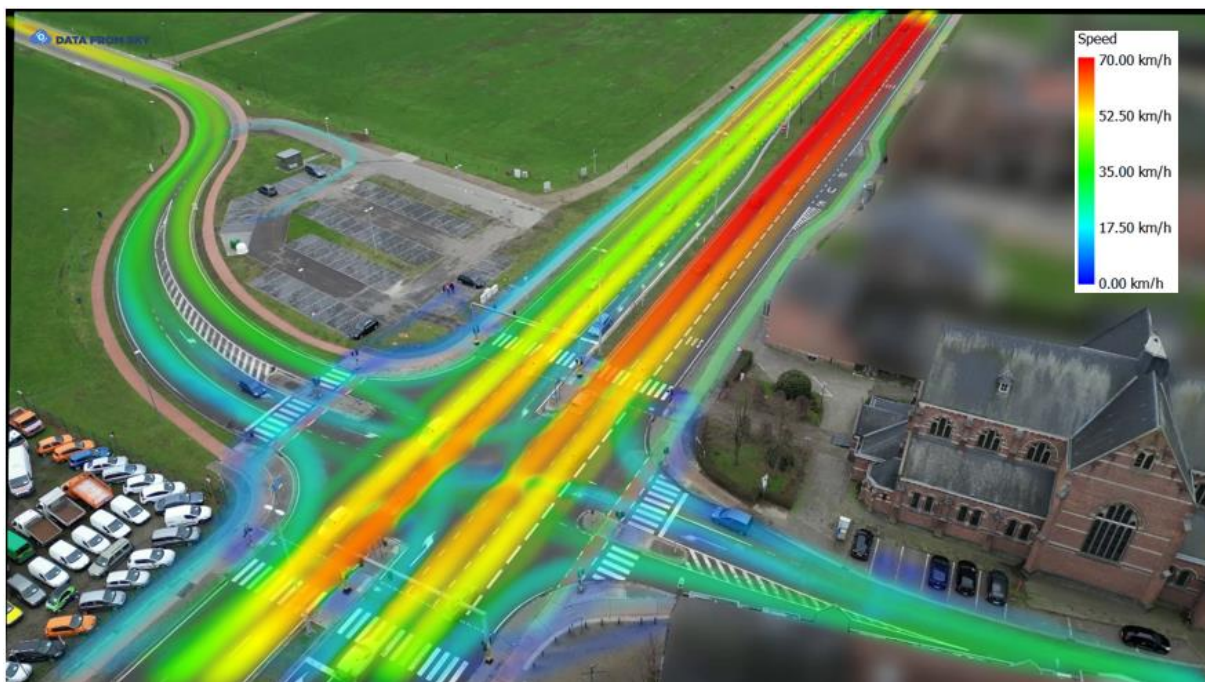
Als er gedetailleerder naar de intensiteiten van de zijstraten gekeken wordt, kan er een link gelegd worden met de probleemstelling. Hierin werd er vermeld dat de ouders 's ochtends gebruik maken van de kleine parking in het zuidoosten van het kruispunt, waarvan de ingang in de Tulpinstraat gesitueerd is. In de namiddag valt het ook op dat er meer verlatend verkeer is uit de Vijverstraat en de Tulpinstraat. Dit komt dan vooral door ouders die hun kinderen van de school komen afhalen.

Een verdere bevinding is het verschil tussen het voor- en namiddagverkeer dat de Tulpinstraat verlaat en naar rechts uitdraait. In de ochtend is dit 58 PAE en in de namiddag 147 PAE. Een reden voor dit verschil kan zijn dat ouders ten noorden van de school wonen en gaan werken in Hasselt of verder zuidelijk. Als deze dan klaar zijn met werken nemen zij hun kind terug mee op de terugweg naar huis. Met andere woorden kan het zijn dat ouders een school kiezen die op de route van het werk gesitueerd is.

7.1.2.2 Snelheid

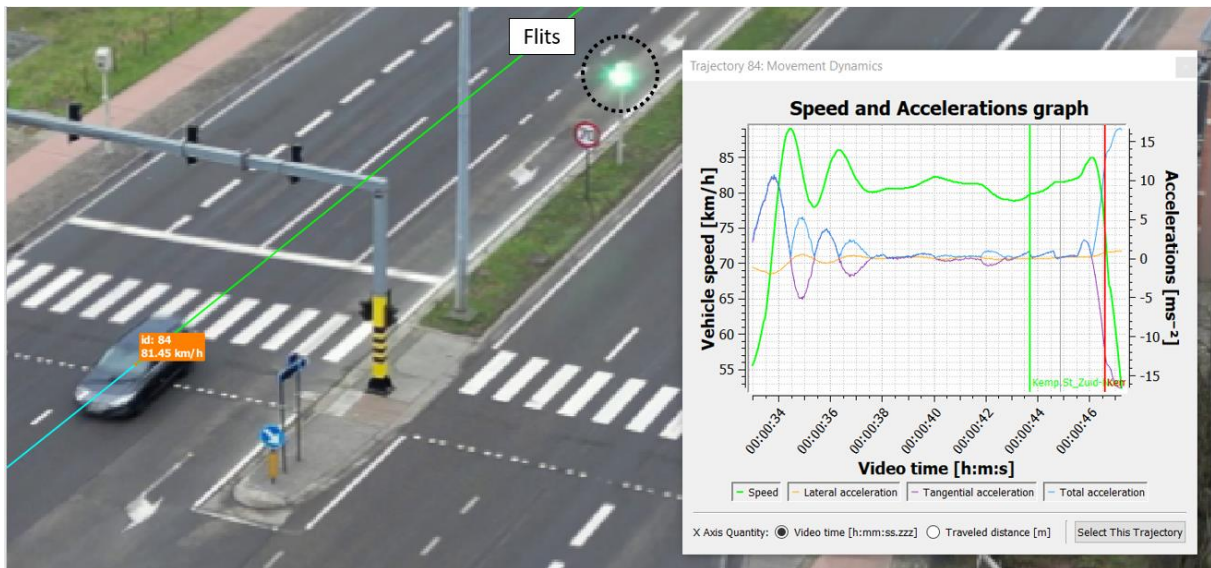
Ook in de namiddag werden de snelheden opgemeten via de drone. In de namiddag lagen deze hoger dan in de ochtend, doordat er geen onverwachte omstandigheden waren die voor verkeersproblemen zorgden.

Aan de hand van de heatmap weergegeven in Figuur 41 kunnen de gereden snelheden vastgesteld worden. Uit de verschillende kleuren wordt er een normaal verkeersgedrag vastgesteld. Zo ligt de snelheid lager op het kruispunt zelf en wordt er na het verlaten van het kruispunt geaccelereerd. Dit wordt zichtbaar door de kleurverandering waarbij het van groen naar donkerrood gaat. Verder wordt er ook opgevat dat de snelheden in de Vijverstraat, waar de basisschool gesitueerd is, gesitueerd zijn rond de 30 km/h, wat ook zo hoort te zijn aangezien de snelheidslimiet er 30 km/ bedraagt.



Figuur 41: Snelheden vlucht 8

Gedurende vlucht 9 werd er een snelheidsovertreding vastgesteld door de snelheidsradar. Hierbij reed een voertuig met ID 84 van het zuiden naar het noorden op de Kempische Steenweg. De snelheidsovertreding werd vastgesteld bij 81,45 km/h. De bewegingsdynamiek van het voertuig geeft ook weer dat deze een gemiddelde snelheid van 81,49 km/h had, wat over de maximumsnelheidsgrens van 70 km/h gaat.

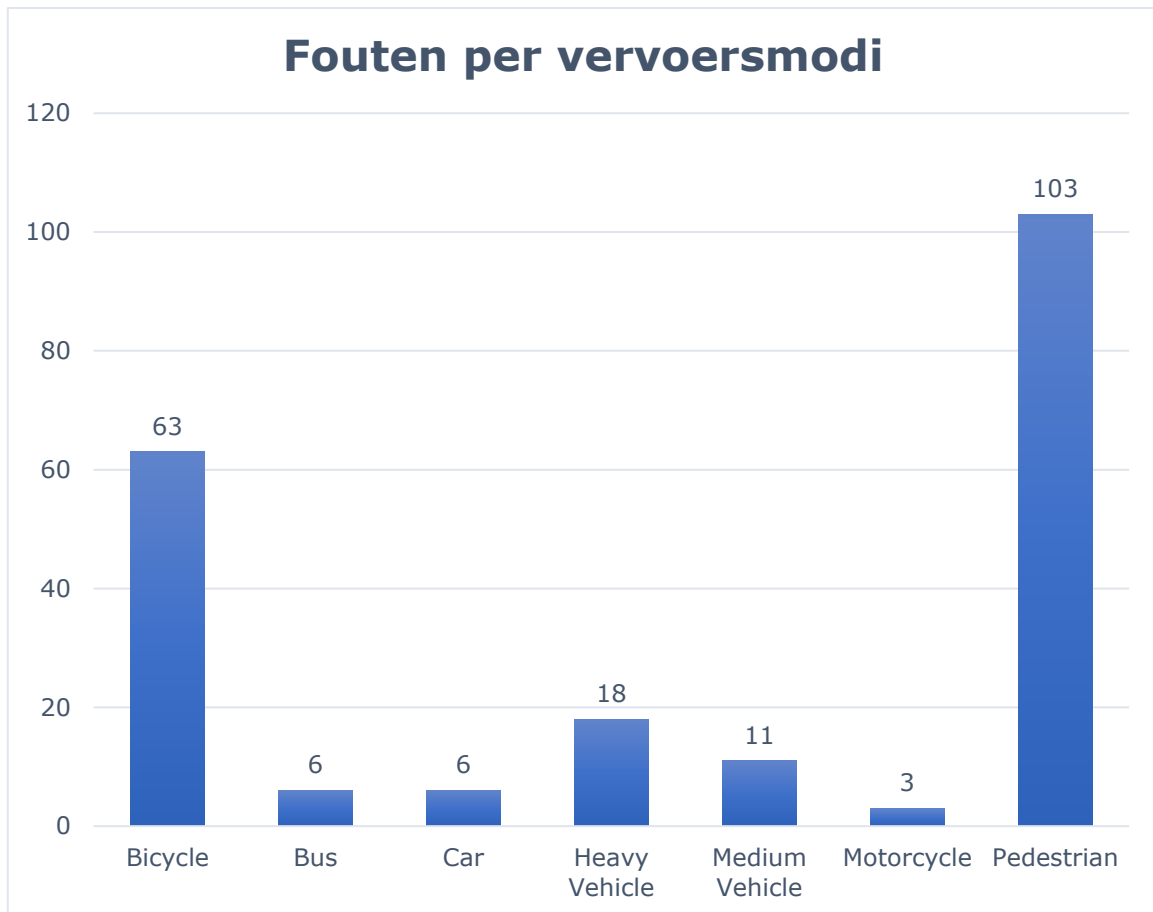


Figuur 42: Waargenomen snelheidsovertreding

7.1.2.3 Bevindingen

Tijdens de analyse van de droneopnames werden er verschillende bevindingen waargenomen. De droneopnames werden zorgvuldig bestudeerd en onderzocht naar mogelijke afwijkingen/problemen van de data, die verwerkt werd met DataFromSky.

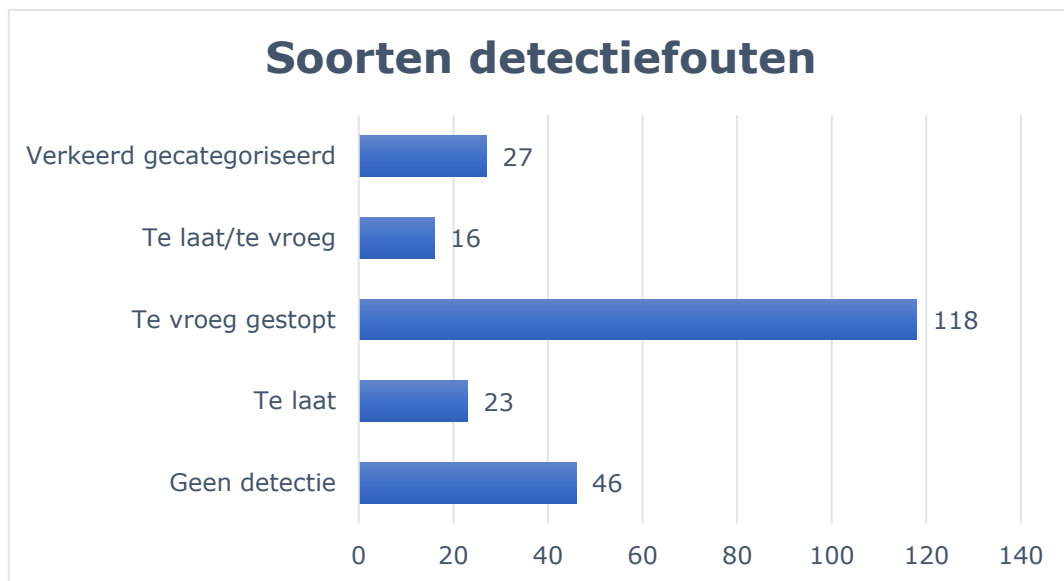
In het algemeen zijn er 210 bevindingen waargenomen over een totale opnametijd van 74 minuten en 56 seconden. Dit komt neer op 2,81 fouten per minuut.



Figuur 43 Fouten per vervoersmodi

In Figuur 44 worden de detectiefouten weergegeven per soort fout. In totaal werden er vijf soorten detectiefouten vastgesteld. Deze zijn:

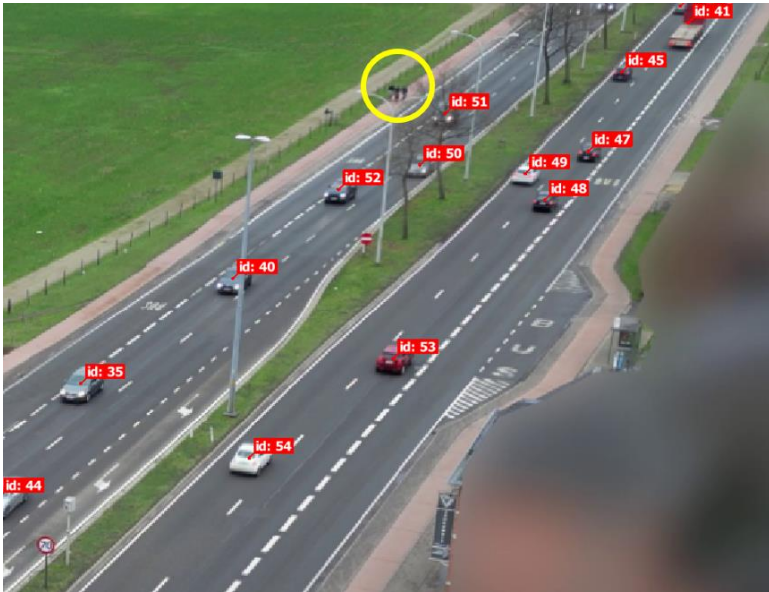
- Verkeerd gecategoriseerd: bij deze fout worden vervoersmodi verkeerd gecategoriseerd waarbij zij als een andere vervoersmodi worden weergegeven. Een voorbeeld hiervan is een bestelwagen die gecategoriseerd wordt als een Heavy Vehicle.
- Te laat/te vroeg: bij deze detectiefout worden objecten te laat waargenomen en wordt de detectie te vroeg gestopt.
- Te vroeg gestopt: hier wordt de detectie van objecten te vroeg gestopt.
- Te laat: de detectie van objecten wordt te laat opgemerkt.
- Geen detectie: er zijn objecten waargenomen in de opname, maar ze worden niet getraceerd door DataFromSky. Ze worden niet gedetecteerd en bevatten dus geen data.



Figuur 44 Soorten detectiefouten

Aan de hand van ~~Figuur 43~~ **Figuur 43** Fouten per vervoersmodi kan er vastgesteld worden dat er twee uitschieters zijn bij de fouten per vervoersmodi. Van alle vervoersmodi waarbij er een fout gedetecteerd werd, zijn het de voetgangers en fietsers die er met de kop bovenuit steken. Een reden voor deze hoge cijfers kan afkomstig zijn van het algoritme van DataFromSky. In het programma van DataFromSky zijn voetgangers en fietsers kleine objecten om vast te stellen, waardoor detectie van deze objecten te laat, te vroeg of helemaal niet waargenomen worden.

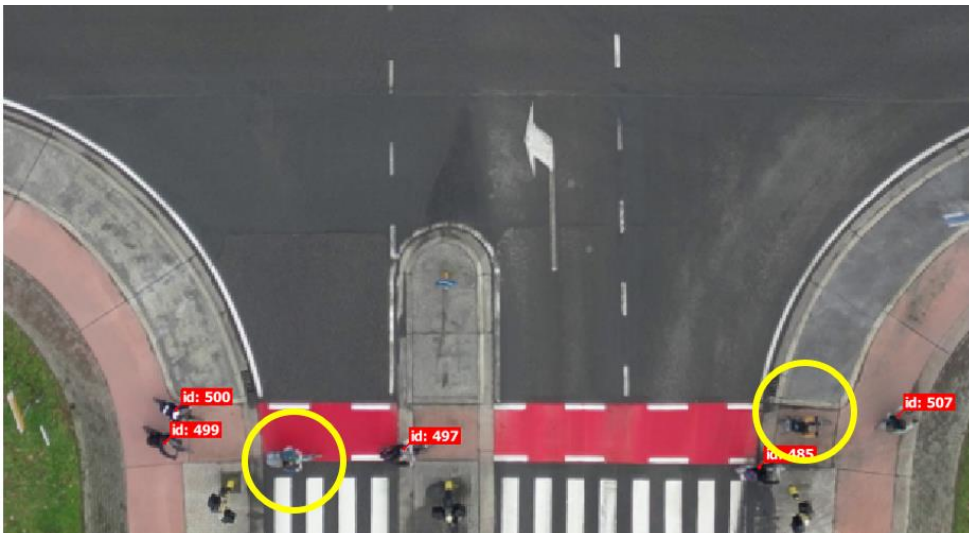
Wanneer dan de soorten detectiefouten geraadpleegd worden, is het duidelijk dat de grootte en omvang van de vervoersmodi een belangrijke rol spelen voor de detectie van DataFromSky. De meest voorkomende detectiefout is dat de detectie te vroeg gestopt wordt. Objecten verplaatsen zich naar de rand van de opname en worden veel te vroeg niet meer gedetecteerd. Maar ook andere detectiefouten als te laat/te vroeg, te late detectie en geen detectie zijn constante fouten in DataFromSky. Deze detectiefouten zijn het meest voorkomend bij fietsers en voetgangers die naar de rand van de opnamebeelden rijden, en niet duidelijk genoeg zijn voor DataFromSky. Hiervan worden enkele voorbeelden getoond op de volgende pagina.



Figuur 46 Drie voetgangers worden niet gedetecteerd



Figuur 48 Een fietser wordt heel laat gedetecteerd



Figuur 47 Twee fietsers worden niet gedetecteerd



Figuur 45 Een groep voetgangers wordt niet gedetecteerd

7.1.2.4 Conflictanalyse

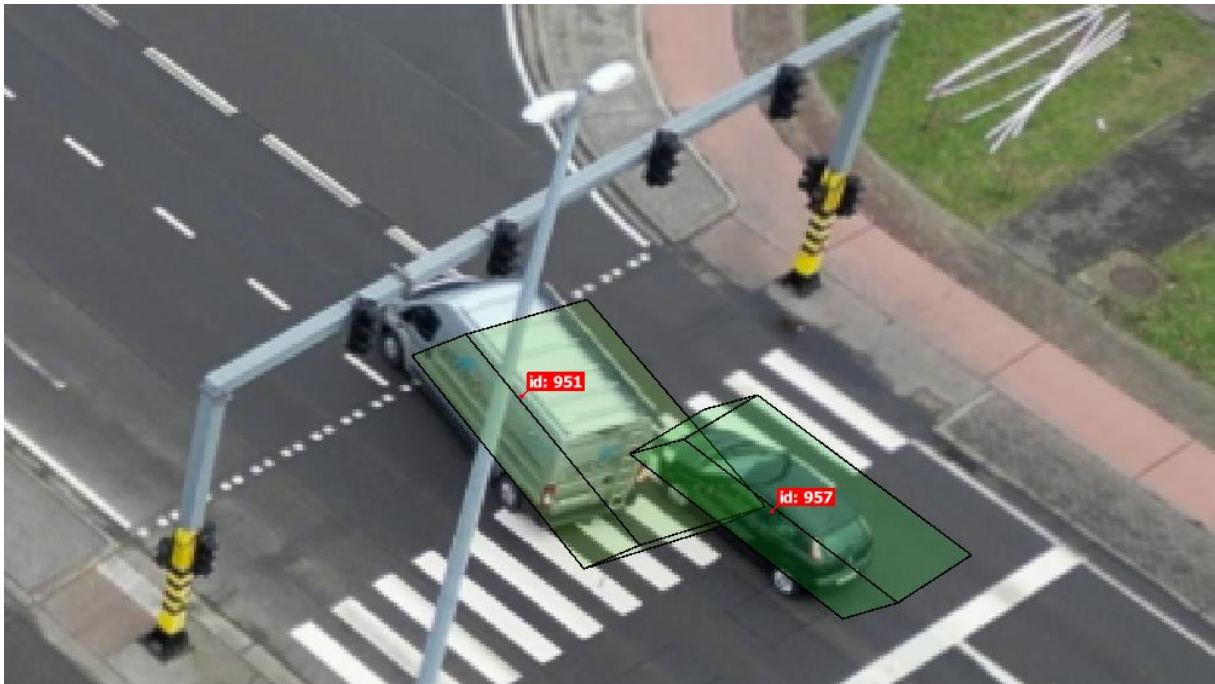
In de onderstaande tabel wordt opnieuw de TTC en PET per ernstgraad weergegeven, net zoals in de observatie van de voormiddag. En ook is het hier opnieuw het geval dat er meer conflicten met de PET gedetecteerd worden dan de TTC. Ook zijn er veel meer kop-staart aanrijdingen dan andere soorten conflicten. Er is wel een gelijk aantal kritische conflicten vastgesteld als in de voormiddag, namelijk 19 kritische conflicten. Dit is een verschil aangezien er in de namiddag 12 minuten en 2 seconden langer datamateriaal opgenomen werd.

Tabel 10: Samenvatting TTC en PET namiddag

	Vlucht 5		Vlucht 6		Vlucht 7		Vlucht 8		Vlucht 9	
	PET	TTC	PET	TTC	PET	TTC	PET	TTC	PET	TTC
	Kop-staart									
Gering	324		760	181	644	23	368	61	354	49
Gematigd	7	1	27	29	20		10	2	19	4
Kritisch			5	3			1	1		1
	Rijstrookwissel									
Gering		6	2	10			5		1	1
Gematigd				2						
Kritisch				2						
	Kruising									
Gering		8	3	11		1	3	6	1	1
Gematigd			3	1		2			1	2
Kritisch		1		5						
Totaal	331	16	800	244	664	26	387	70	376	58

In de conflictanalyse met de drone zijn er ook bevindingen. Een eerste bevinding is een situatie waarbij een personenwagen en een lichte vrachtwagen betrokken zijn. De lichte vrachtwagen wil na een verlies van lading vanuit stilstand de tweede rijstrook naar rechts afslaan, wat wil zeggen dat deze de eerste rijstrook moet oversteken. Hierbij werd er geobserveerd dat de lichte vrachtwagen en de personenwagen op een nauwe afstand van elkaar kwamen wat een potentieel conflict kon zijn. Deze situatie werd echter niet opgenomen door de conflictparameters, alhoewel de Bounding Boxes van de beide wagens in contact komen met elkaar (zie Figuur 49).

Een verdere heel belangrijke bevinding vindt plaats in Tabel 10. Daar kan er geobserveerd worden hoe er nul kritieke potentiële conflicten waren tijdens vlucht 7. Een belangrijk aspect bij deze vlucht was dat de drone loodrechte opnames aan het uitvoeren was. Dit kan betekenen dat loodrechte vluchten een betere accuraatheid hebben op gebied van de Bounding Boxes.

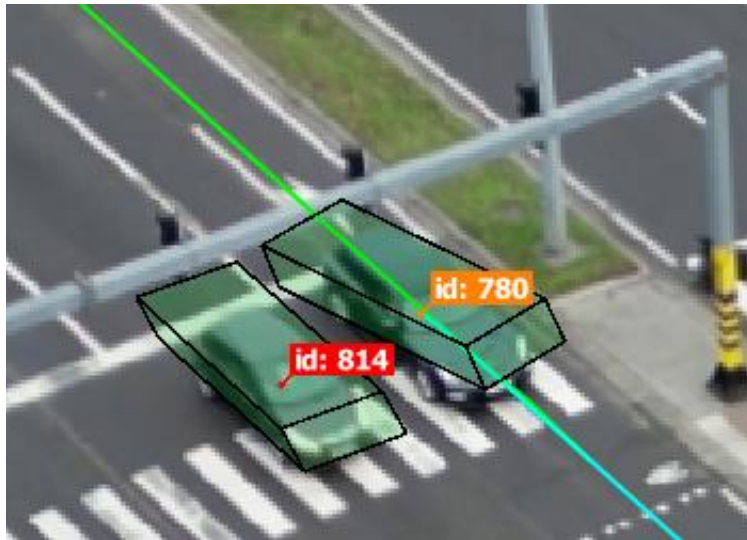


Figuur 49: De lichte vrachtwagen en auto komen bijna in conflict met elkaar

7.1.2.4.1 Time to collision

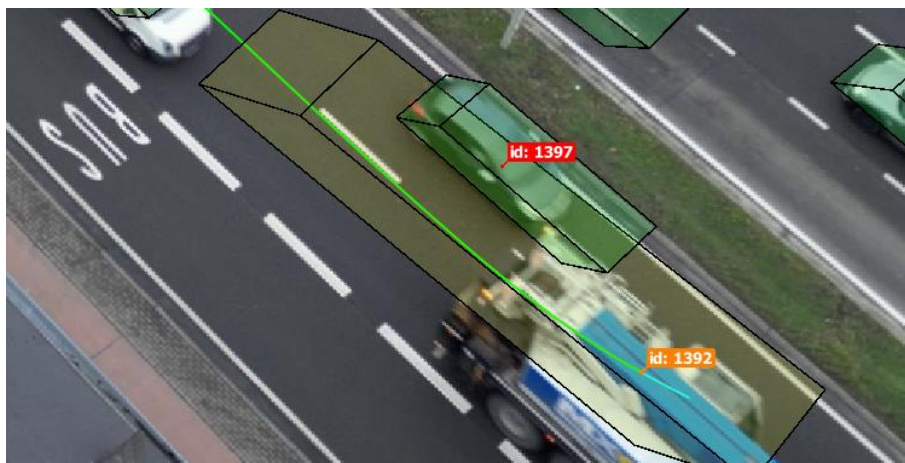
In dit onderdeel worden de potentiële conflicten besproken waarbij er een kritische ernstgraad vastgesteld werd. Na een visuele controle in DataFromSky, kon er vastgesteld worden dat deze potentiële conflicten voornamelijk veroorzaakt worden door softwareproblemen in DataFromSky.

Een eerste soort softwareprobleem zijn afwijkende bounding boxes die foutieve informatie weergeven. Figuur 50 toont hier een voorbeeld van waarbij de bounding boxes een probleem vormen. De situatie was als volgt. Het voertuig met ID 780 is gestopt na de stoplijn, waardoor deze terug achteruit moest rijden. Bij dit manoeuvre is de bounding box zich scheef gaan plaatsen en heeft zich daardoor heel dicht van de middelste rijstrook geplaatst. Dit heeft ervoor gezorgd dat er zes potentiële kritieke conflicten konden gebeuren. Hiervan zijn er vier ernstige kruisingsconflicten en twee rijstrookwisselconflicten waargenomen. Maar uit een visuele analyse is het duidelijk dat het voertuig nog perfect binnen zijn rijvak staat en geen gevaar vormt voor het voorbijrijdende verkeer.

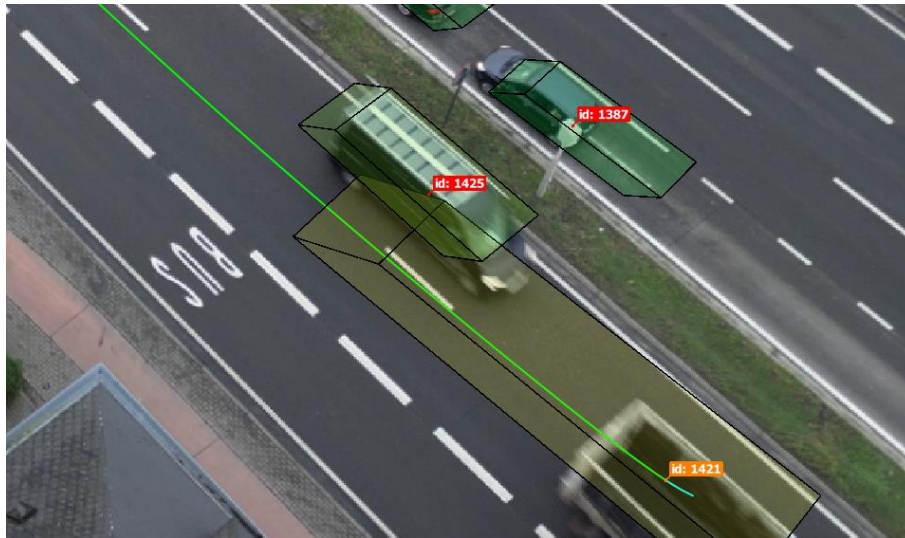


Figuur 50: Bounding Box-fout 1

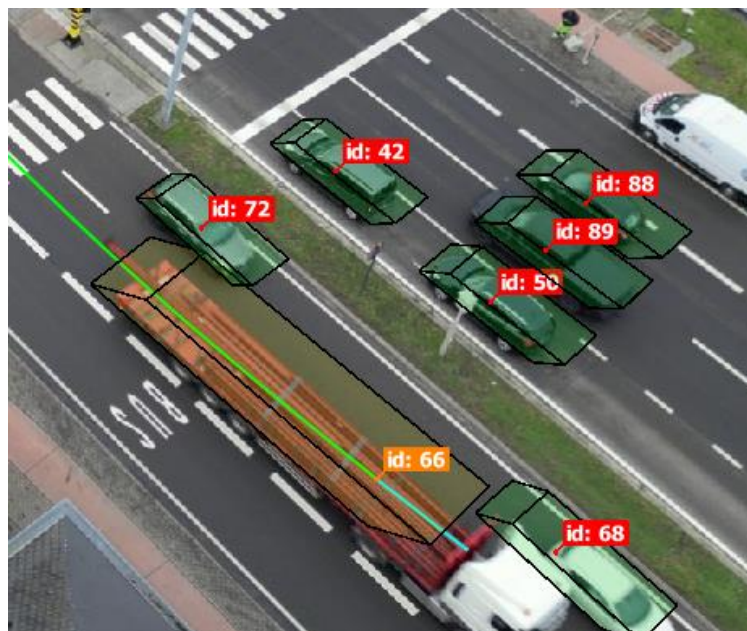
Een verdere foutieve weergave van informatie zijn de randen van de beeldopname. Deze zorgen voor een afwijking, waarbij er dan een eventueel conflict bij wordt vastgesteld. Figuur 51, Figuur 52 en Figuur 53 zijn hier optimale voorbeelden van. In de drie situaties rijden er vrachtwagens op de Kempische Steenweg, waarbij hun trajectorie op het einde een lichte afwijking kent naar links, richting het tweede rijvak. Op dat moment rijden er in die situaties een auto langs dit trajectorie, waarbij de conflictanalyse vermoedt dat deze een conflict zullen hebben. Maar uit de waargenomen opnames is het duidelijk dat beide vrachtwagens hun traject verderzetten op hun eigen rijvak, en dat de informatie fout is. Ook zorgen de grote bounding boxes weer voor een verkeerd beeld van het voertuig.



Figuur 51: Randfout 1

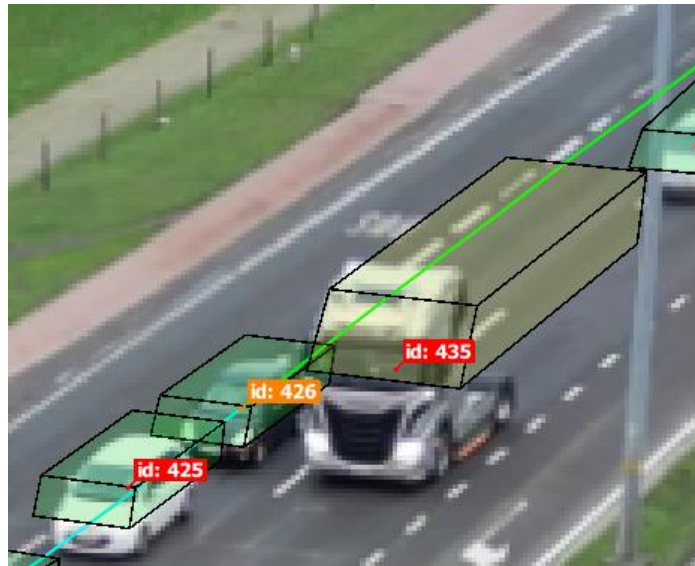


Figuur 52: Randfout 2



Figuur 53: Randfout 3

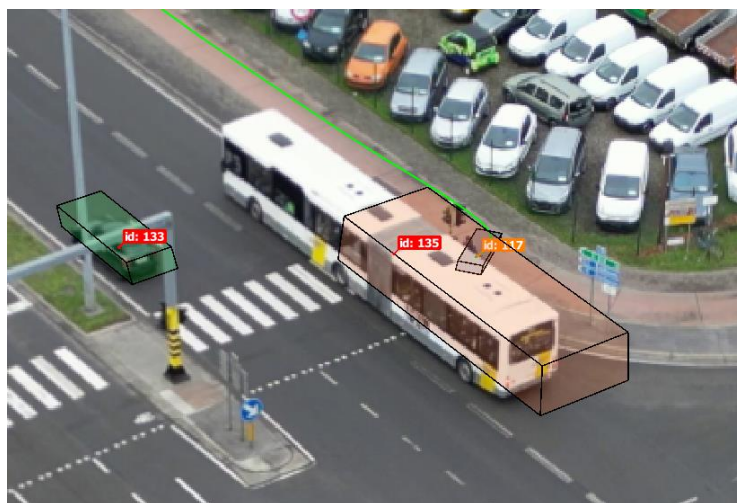
Een verdere bevinding die voor verkeerde informatie kan zorgen is de filmhoek. Zo zorgt de schuine filmhoek ervoor dat bounding boxes niet in hun correcte rijvak terecht komen en worden er zo potentiële conflicten veroorzaakt. Dit wordt weergegeven in Figuur 54 waarbij bounding box van de vrachtwagen op een botskoers staat met die van de auto, in Figuur 55 waarbij de auto zagezegd op de bus zou rijden en tenslotte in Figuur 56 waar de bounding box van een fietser in die van de bus terecht komt. Deze drie voorbeelden van potentiële ongevallen met een kritieke ernst zijn opnieuw in natuurlijke rijomstandigheden niet correct.



Figuur 54: Filmhoekfout 1



Figuur 55: Filmhoekfout 2

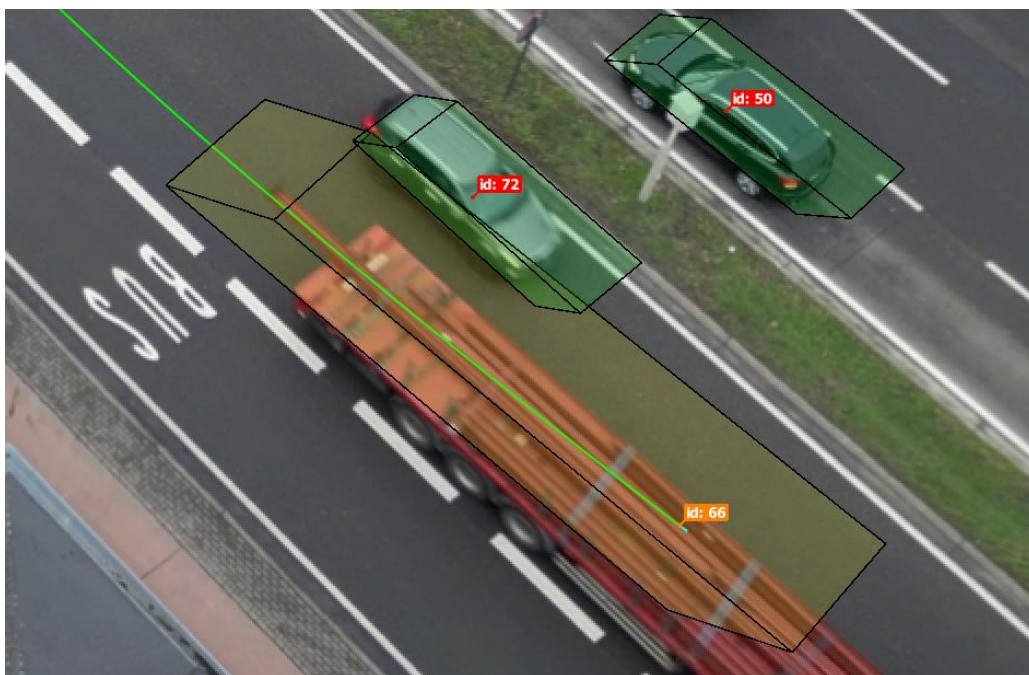


Figuur 56: Filmhoekfout 3

7.1.2.4.2 Post encroachment time

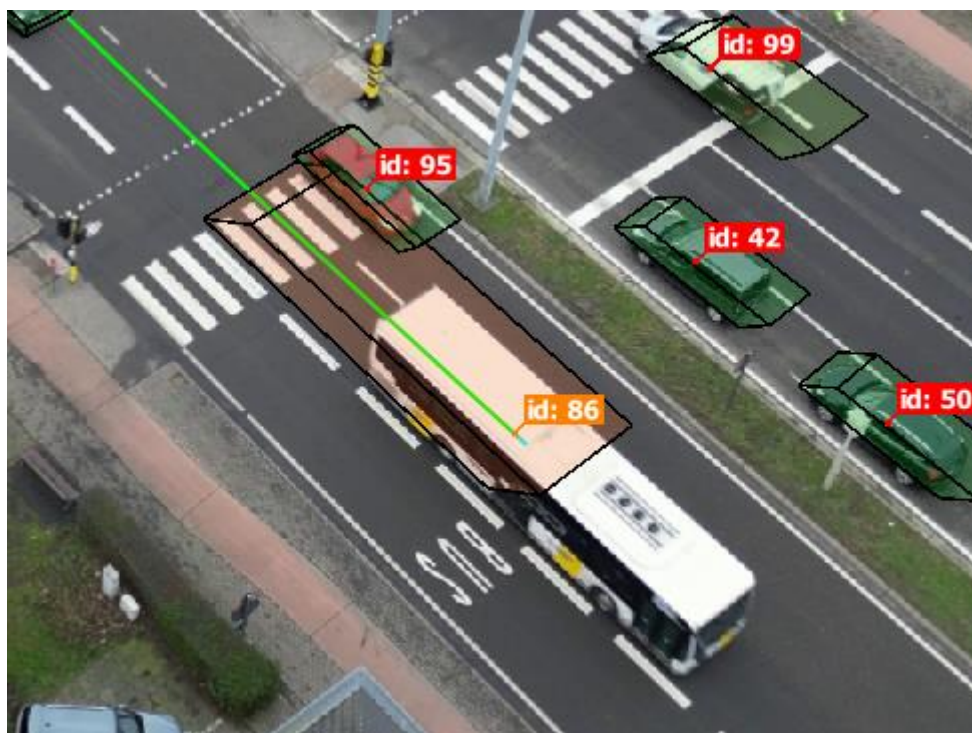
Bij de post encroachment time zijn er zeven kritische potentiële conflicten gevonden. Zoals eerder reeds werd toegelicht, meet de post encroachment time het tijdsverschil tussen wanneer de leider een conflictgebied verlaat en de volger aankomt op datzelfde gebied.

Merkwaardig is dat vijf van de zeven kritieke PET-situaties voorkwamen in vlucht 6, namelijk die van het Jeugdhuis met een opnametijd van 21 minuten en 33 seconden. Maar ook hier komt terug hetzelfde probleem voor als bij de TTC-fouten, namelijk een verkeerde weergave van het voertuig door incorrecte bounding boxes of een trajectorie dat afwijkt, waardoor de bounding box zich ook foutief verplaatst. Zo is het zichtbaar in Figuur 57 dat de bounding box van een vrachtwagen (ID 66) een lichte afwijking naar links heeft, wat richting het tweede rijvak gaat. Deze situatie speelde zich af aan de rand van het opnamebeeld, waar er al eerder moeilijkheden mee ontdekt werden (zie Figuur 53). Ook zijn er hier opnieuw fouten ontdekt, wat voor incorrecte data zorgt. Na het bekijken van het beeldmateriaal werd het duidelijk dat de vrachtwagen geen fout begaat en hij en zijn aanhanger op het juiste rijvak blijven.

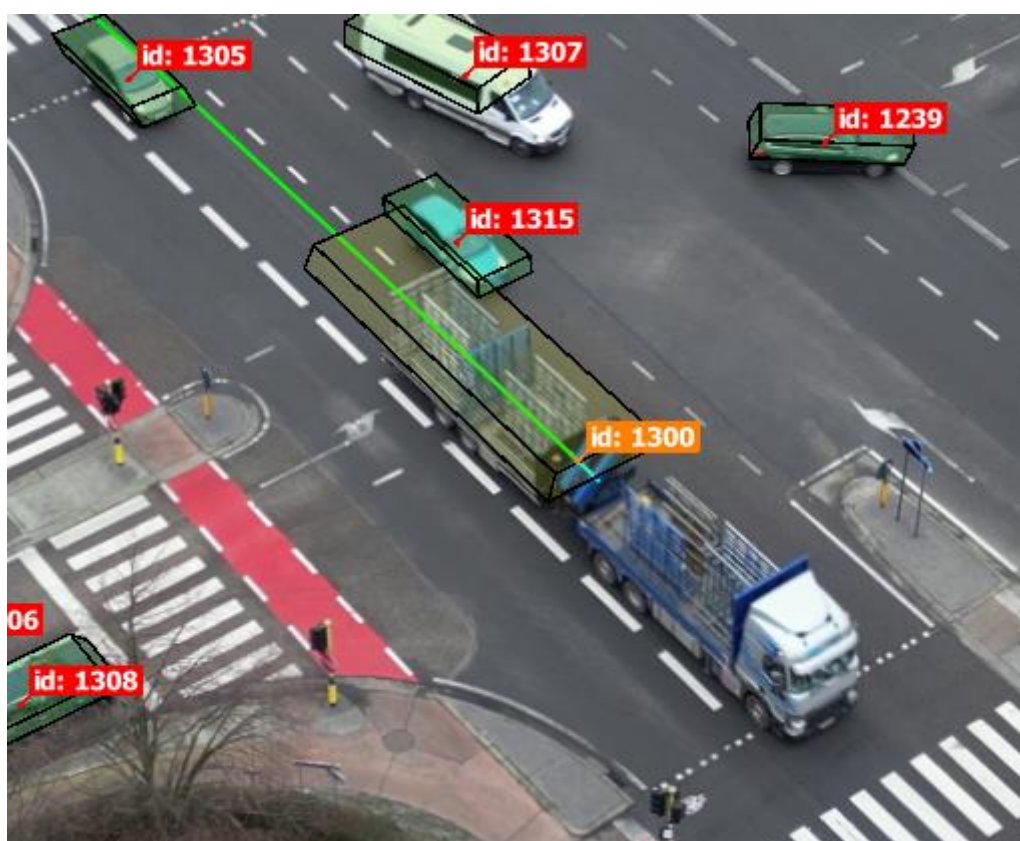


Figuur 57: Afwijking van de trajectorie

Opnieuw zorgen ook de bounding boxes voor situaties waarbij de conflictanalyse vermoedt dat deze een ernstig gevolg kunnen hebben. Zowel in Figuur 58 als in Figuur 59 veroorzaken de bounding boxes een ernstige PET-situatie, waarbij deze in het natuurlijke verkeer geen gevaar vormen. In Figuur 58 zorgt de achtergelopen bounding box van de bus voor een potentieel ongeval en in Figuur 59 zorgt de bounding box van de vrachtwagen voor een alertheid bij de conflictanalyse. Deze bounding box staat tevens niet juist gesitueerd op het voertuig zelf. Een bijkomende factor van deze foutieve aangevingen wordt ook opnieuw veroorzaakt door de gekozen filmhoek.



Figuur 58: Verkeerde bounding box

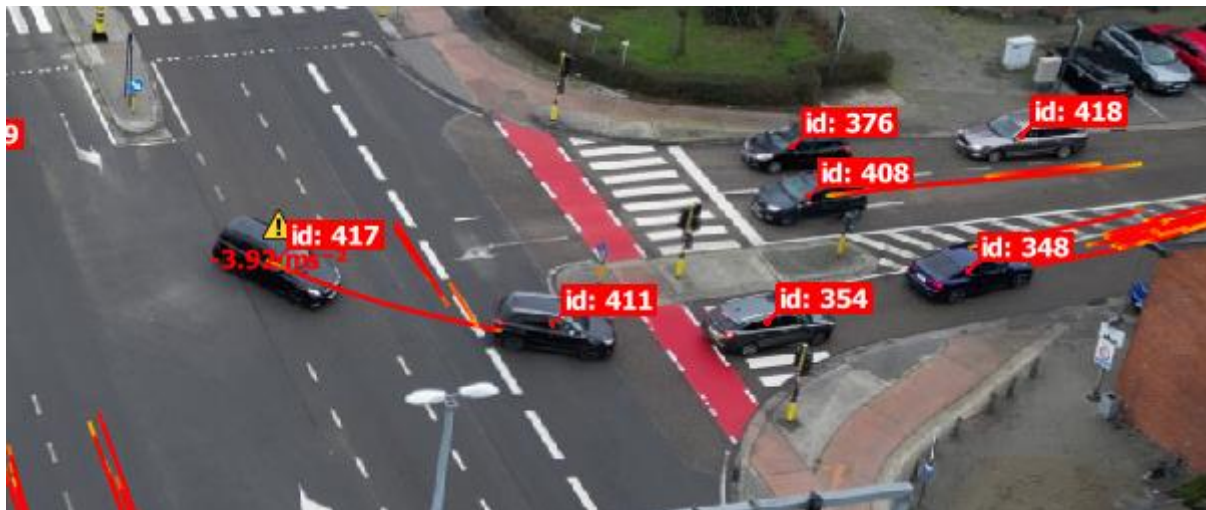


Figuur 59: Verkeerde bounding box

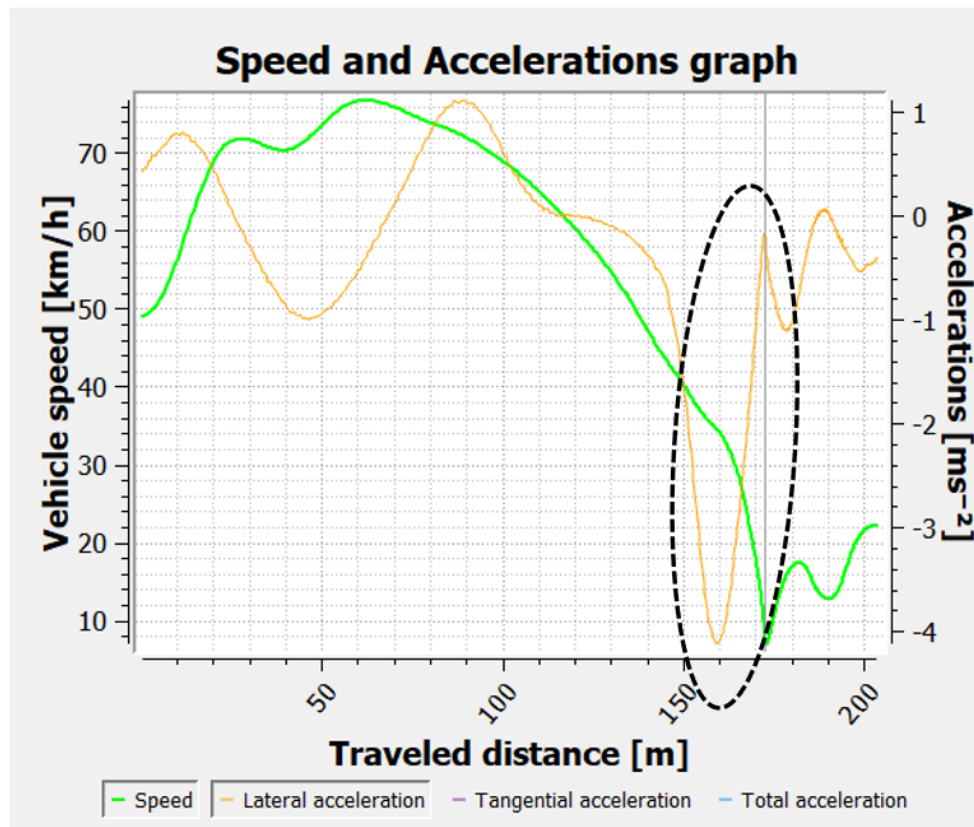
7.1.2.4.3 Heavy braking

Bij de heavy braking worden dezelfde vaststellingen gedaan als deze in de voormiddag (zie 7.1.1.5.3). Ook hier is er foutieve data aan de rand van de opnameranden te vinden en remmen voertuigen af op het midden van het kruispunt.

In vlucht 5 werd er een aparte vaststelling gedaan. Zoals eerder gezegd remmen voertuigen af op het midden van het kruispunt, maar gebeurt dit in een rechte lijn. Gedurende vlucht 5 heeft een voertuig met ID 417 een heftig remmanoeuvre uitgevoerd in een bocht. De situatie was als volgt. Voor de donkerblauwe wagen met ID 348 is er een voetganger over de weg gelopen zonder gebruik te maken van de oversteekplaats. Dit zorgde ervoor dat de voertuigen die een groen licht kregen en van de Kempische Steenweg wouden afslaan naar de Vijverstraat plotseling moesten afremmen. Het voertuig met ID 417 stond niet in de wachtrij voor het rode licht, waardoor deze met een behoorlijke snelheid aan kwam rijden. Na het ingaan van de linkse bocht wordt het de bestuurder duidelijk dat er een wachtrij staat, waarvoor deze moet afremmen om een botsing te vermijden.



Figuur 60: Heavy braking van voertuig ID 417



Figuur 61: Grafische weergave heavy braking voertuig ID 417

In Figuur 61 wordt er een grafisch overzicht weergegeven van de gebeurtenissen. Zo wordt het remmanoeuvre weergegeven tussen de 150m en 175m. Als de snelheid geanalyseerd wordt, kan er gezien worden dat het voertuig rond de 70 km/h rijdt en daarna begint af te remmen voor het kruispunt. Dit doet hij in een geleidelijke vorm. Wanneer het voertuig het kruispunt opdraait en links afslaat, geeft de snelheidslijn (groene lijn in Figuur 61) een sterke daling weer richting 10 km/h. Op dit moment begint de bestuurder een hard remmaneuver uit te voeren, wat weergegeven wordt door de laterale acceleratie. Dit remmanoeuvre werd echter niet weergegeven in de TTC- of PET-parameter, wat wel verwacht werd aangezien deze wagen vrij kort lijkt te naderen op wagen 411 (zie Figuur 60).

7.1.2.5 Snelheidstest

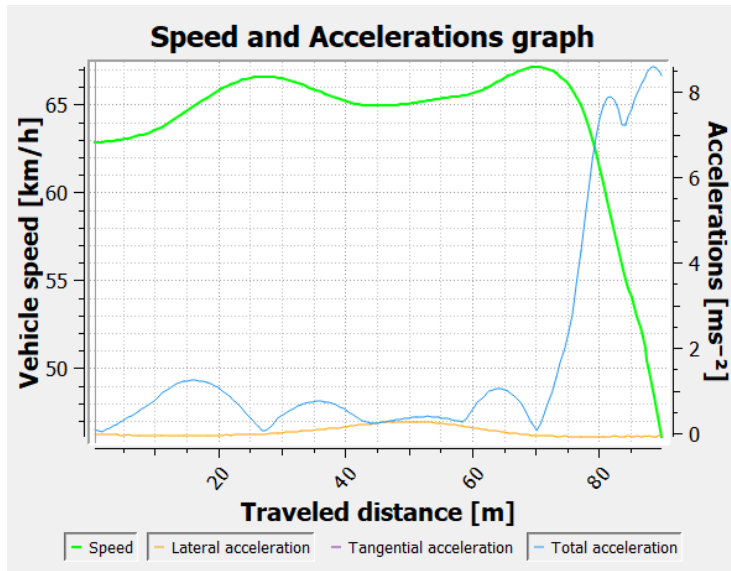
Om de accuraatheid van DataFromSky te weten te komen, werd er een snelheidstest uitgevoerd. Hierbij reed een voertuig (Opel Astra) op een specifieke snelheid geregeld door de snelheidsregelaar (cruise control). Deze werd dan vergeleken met de snelheden volgens DataFromSky, de data van de GPS die mee aan boord was van de auto, en de gemiddelde snelheid tussen twee punten. Deze werd berekend tussen de stopstreep aan de verkeerslichten en het zebrapad aan de overkant van het kruispunt. De afstand tussen deze twee punten bedraagt 50,6 m. De tijd die nodig was om deze afstand te overbruggen, werd afgeleid uit de dronebeelden door te kijken naar de tijdstippen waarop de neus van de wagen deze punten passeerde.

7.1.2.5.1 Methodologie

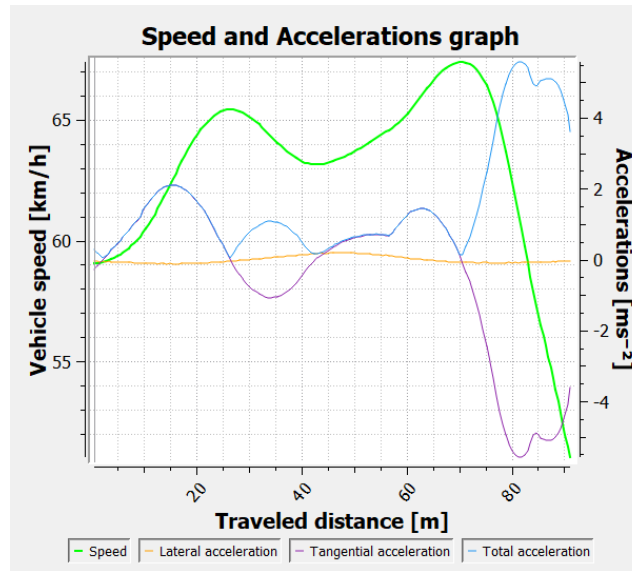
De onderzoekers hebben tijdens de droneopname een testrit uitgevoerd met een voertuig waarbij er een GPS aan boord was en de snelheidsregelaar van het voertuig op 70 km/h ingesteld werd. Dit werd drie keer gedaan tijdens vlucht 7, waarbij de camera van de drone loodrecht naar beneden keek en dus het meest accuraat zou moeten zijn. Tijdens de uitvoering waarbij het voertuig in beeld terecht kwam werd er geen enkel remmanoeuvre uitgevoerd. Dit wil zeggen dat er geen enkele vorm van hinder werd ondervonden en dat de 3 tests zonder problemen zijn uitgevoerd.

7.1.2.5.2 Resultaten

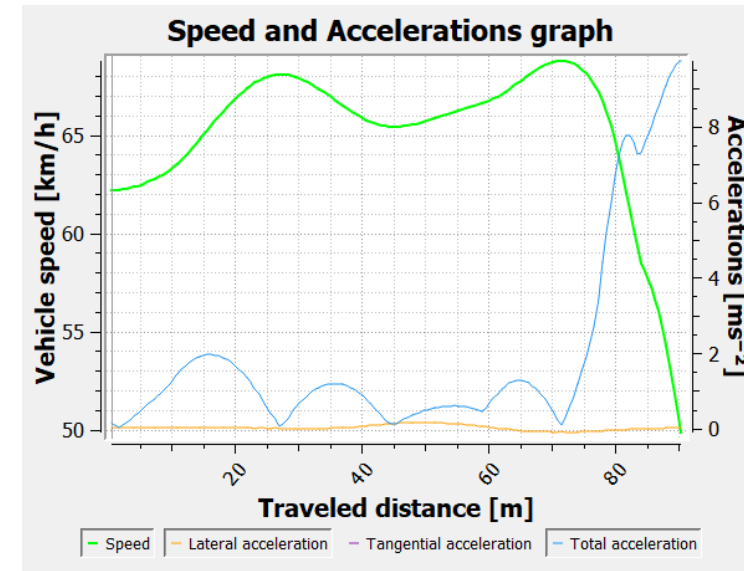
Bij de resultaten is het belangrijk om een foutenmarge van de grafiek mee in rekening te brengen. Zo is er een sterke piek en daling te bespeuren bij de eerste twintig en de laatste twintig meter van de waarneming. Deze foutenmarge is veroorzaakt door DataFromSky, waarbij de snelheid aan de rand van de dataopname niet goed gemeten wordt en inaccuraat is.



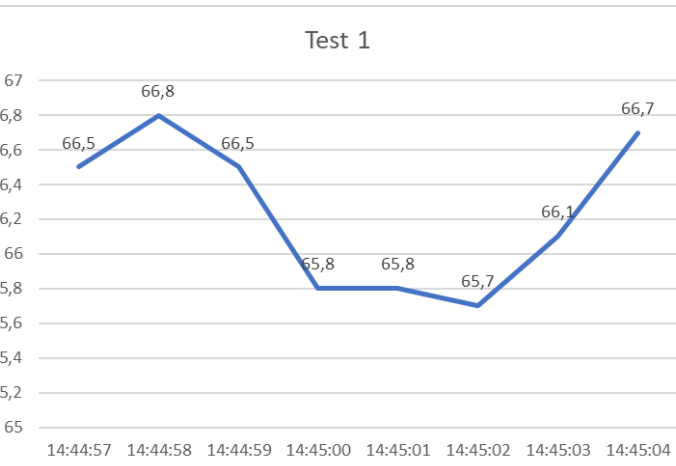
Figuur 65: DFS-resultaat test 1



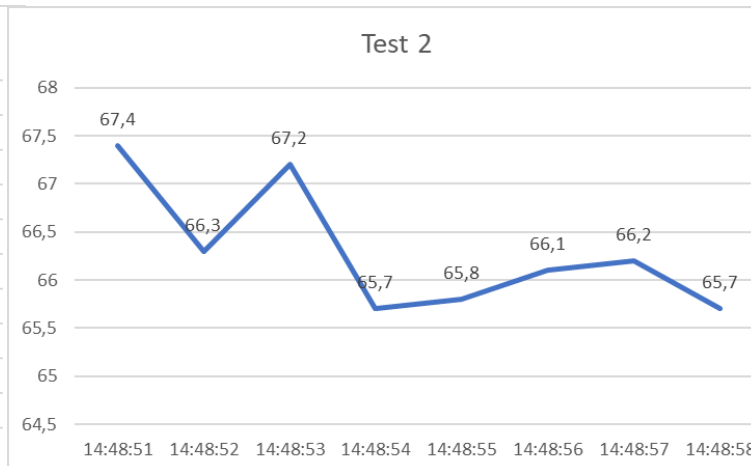
Figuur 67: DFS-resultaat test 2



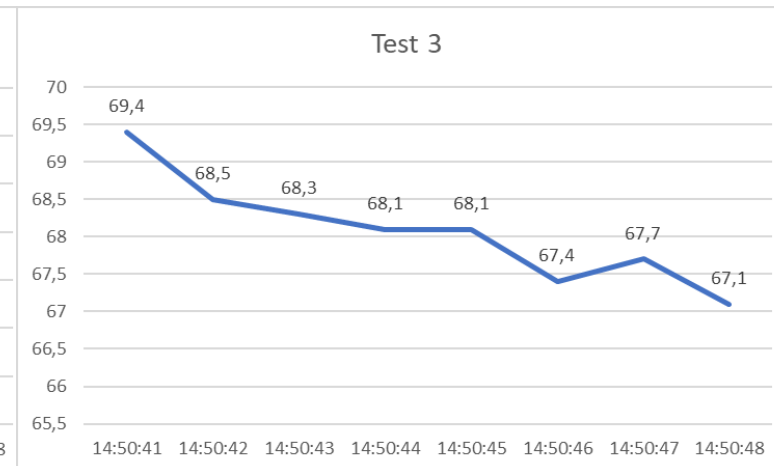
Figuur 66: DFS-resultaat test 3



Figuur 64: GPS-resultaat test 1



Figuur 63: GPS-resultaat test 2



Figuur 62: GPS-resultaat test 3

Uit de resultaten kan er vastgesteld worden dat de verschillen minimaal zijn. De gereden snelheid is zowel op DataFromSky als van de GPS-data bijna gelijk en het valt ook op dat er zowel bij de grafiek van DataFromSky als de tabel van de GPS-data een daling van 2km/h is. Ook de berekening van de gemiddelde snelheid tussen twee punten (de stopstreep en het zebrapad aan de overkant van het kruispunt) brengt minimale verschillen aan het licht. Voor zowel test 1 en 2 is deze gemiddelde snelheid exact gelijk (65,79 km/u), voor test 3 is deze lichtjes hoger met 66,61 km/u). Hierdoor bedraagt het gemiddelde van de drie gemiddelde snelheden 66,06 km/u. Deze waarde sluit nauw aan bij wat uit eerdere ervaringen met de cruise control van de gebruikte wagen reeds bleek, namelijk dat de werkelijke snelheid steeds 4 km/u lager is dan wat de snelheidsmeter in de wagen zelf aangeeft. Bovendien ligt deze ook in lijn met de grafieken op de vorige pagina.

Bij DataFromSky is er een soort vast patroon te bespeuren waarbij de waardes eerst een maximum behalen, om daarna een kleine daling te hebben waarna deze terug richting het maximum gaan. Er kan wel vastgesteld worden dat beide meettechnieken heel nauwkeurig zijn maar niet helemaal foutloos.

7.1.3 Weergegevens

- *Bram Geukens* -

De analyse van de weergegevens werd, zoals eerder vermeld, uitgevoerd voor de jaren 2011 tot en met 2020. De resultaten hiervan worden getoond in Tabel 11 en Tabel 12. Tabel 11 toont het gemiddeld aantal uren per jaar waarop er aan één bepaalde conditie is voldaan. Zo zijn ongeveer 4.196 uren, of 47,9% per jaar, niet geschikt door donkere, nachtelijke omstandigheden. Mist, sneeuw, ijzel en onweer komen eerder zelden voor met percentages tussen 0,4 en 2% per jaar. Gemiddelde genomen vriest het 413 uren per jaar, al lopen de waarden sterk uiteen. Zo vroom het in 2013 966 uren tegenover 157 uren in 2020. Een groot deel van deze vriesuren komen voor tijdens de nacht en rond zonsopgang. Het voorkomen van regen of wind is echter meer beperkender aangezien deze elk ongeveer 18% van de tijd voorkomen, wat overeenkomt met ongeveer 1.600 uren op jaarbasis. Heel wat van deze uren komen echter samen voor, waardoor de waardes in Tabel 11 niet simpelweg opgeteld mogen worden.

Tabel 11 Uren waarop aan een bepaalde weersconditie voldaan is

	UREN OP JAARBASIS	PERCENTAGE PER JAAR
NACHT	4.916	47,9
REGEN	1.558	17,8
MIST	155	1,8
SNEEUW	61	0,7
ONWEER	72	0,8
IJZEL	33	0,4
WIND	1.643	18,8
VORST	368	4,2

Het is daarom interessanter om te kijken naar het gezamenlijk effect van al deze voorwaarden. Dit toont dat er, naast de 4.946 nachtelijke uren, er gemiddeld nog 904 uren zijn waarop er aan een of meerdere voorwaarden uit Tabel 11 voldaan is. Dit kan dan bijvoorbeeld gaan om een onweer waarbij er sprake is van neerslag en hevige windstoten. De resterende 2940 uren per jaar (33,6%) zijn bijgevolg geschikt om een drone te laten vliegen.

Wanneer deze uren verder opgesplitst worden naargelang de bewolking, dan toont Tabel 12 dat er gedurende 869 uren sprake is van een heldere hemel, wat ertoe kan leiden dat de schaduw van weggebruikers of gebouwen sterker is. Langs de andere kant zijn er ook 1.572 uren waarop de hemel volledig bewolkt is, wat voor donkerdere lichtomstandigheden zorgt en de detectie van (actieve) weggebruikers kan bemoeilijken (Morris & Trivedi, 2008; Nabavi Niaki et al., 2018). Tijdens 497 uren is er sprake van een afwisseling van zon en wolken.

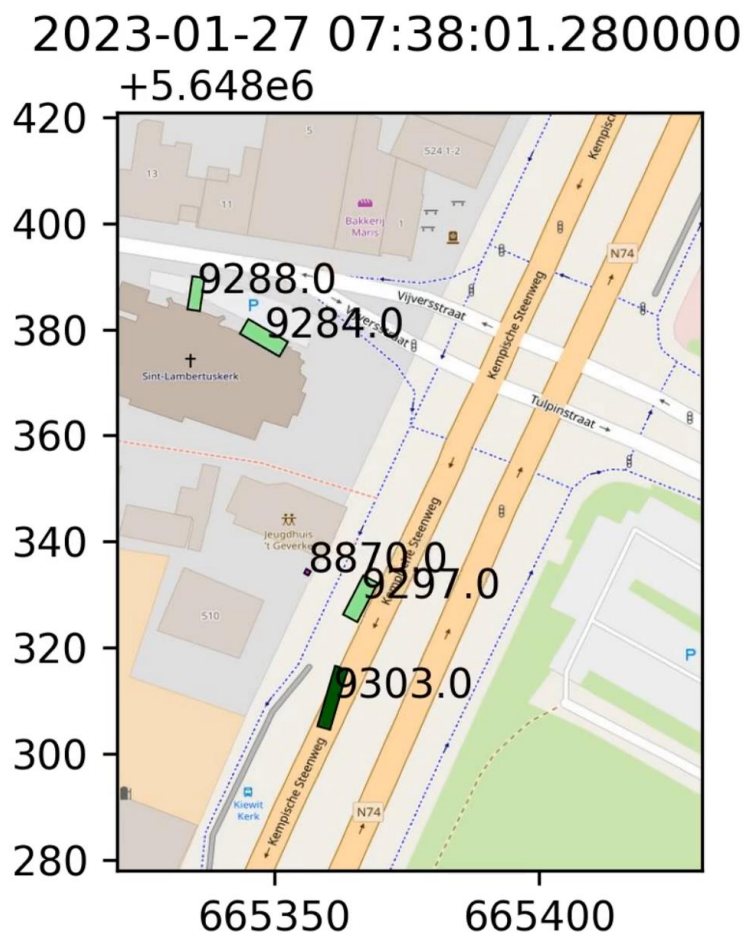
Tabel 12 Geschikte uren om een drone te laten vliegen (op jaarbasis).

	UREN OP JAARBASIS	PERCENTAGE PER JAAR
HELDER	869	9,9
BEWOLKT	1.572	18,0
ZON EN WOLKEN	497	5,7
TOTAAL	2941	33,6

7.2 Analyse cameraonderzoek

Door de eerder vermelde vertraging zijn de videobeelden van de camera's niet beschikbaar voor analyse in deze masterproef. De database met de (ruwe) trackinggegevens is echter wel voorhanden. Daarom zal er in dit deel getracht worden om een analyse te maken van de cameraobservaties op basis van enkel deze gegevens. Van deze gegevens zijn ook twee animatievideo's gemaakt, Figuur 68 geeft hiervan een voorbeeld weer. Hierin wordt het gemotoriseerde verkeer weergegeven door middel van groene rechthoeken. Auto's worden lichtgroen gekleurd, zwaar verkeer (bussen en vrachtwagens) krijgen een donkergroene kleur. Voetgangers worden gesymboliseerd door kleine paarse puntjes, fietsers door kleine blauwe rechthoekjes. In Figuur 68 worden dus drie auto's, een vrachtwagen of bus en een voetganger gedetecteerd door de camera's. Ook de ID van elke geïdentificeerde weggebruiker wordt weergegeven in deze animaties. De positie van de kaart op de achtergrond is zo goed als mogelijk geschat, maar is niet volledig exact.

Om de vergelijking van de resultaten van de vaste camera's en de drone zo makkelijk mogelijk te maken, zijn de observaties van de vaste camera's opgesplitst in negen delen waarvan de begin- en eindtijden dezelfde zijn als die van elke dronevlucht (zie Tabel 2). Hierdoor kan de vergelijking per dronevlucht gemaakt worden.



Figuur 68 Voorbeeld van de animatievideo's.

7.2.1 Voormiddag

- Bram Geukens -

7.2.1.1 Detectie weggebruikers

Net zoals bij de droneopnames, varieert het aantal gedetecteerde weggebruikers enorm. Zo worden er gedurende de tijdspanne van opname 4 457 unieke weggebruikers geregistreerd, terwijl dit er 3098 zijn gedurende opname 2 (zie Tabel 13). De overgrote meerderheid (ongeveer 90%) van deze weggebruikers zijn auto's, fietsers worden amper tot niet herkend. Doordat de videobeelden ontbreken, is het echter niet mogelijk om na te gaan of deze labels correct zijn. De analyse van de dronebeelden toonde immers aan dat deze soms fout zijn, voornamelijk in donkerdere lichtomstandigheden. Bovendien onderscheiden de vaste camera's minder types weggebruikers dan DFS, namelijk vier tegenover zeven.

Tabel 13: Absolute en relatieve frequentie per vervoersmodus en opname (vaste camera/voormiddag)

	OPNAME 1		OPNAME 2		OPNAME 3		OPNAME 4	
	Abs.	Rel. (%)	Abs.	Rel. (%)	Abs.	Rel. (%)	Abs.	Rel. (%)
AUTO	1087	88,4	2744	88,6	1605	94,3	400	87,6
ZWAAR	73	5,9	115	3,7	71	4,2	34	7,4
VERVOER								
VOETGANGER	69	5,6	230	7,4	24	1,4	22	4,8
FIETSER	1	0,1	9	0,3	2	0,1	1	0,2
TOTAAL	1230	100	3098	100	1702	100	457	100

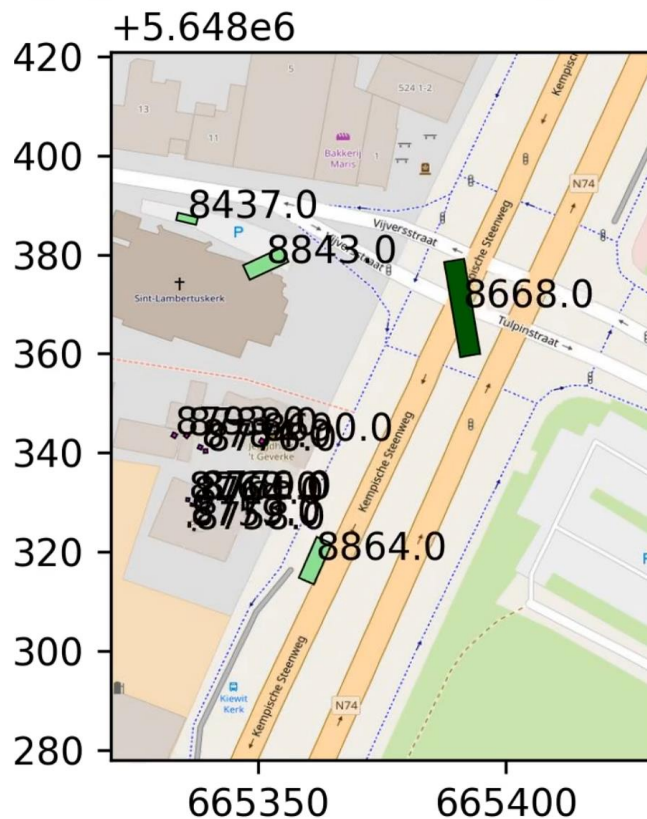
In vergelijking met de dronedata valt op dat de waardes in Tabel 13 significant hoger zijn ten opzichte van het aantal weggebruikers dat de drone identificeerde (zie Tabel 6), zowel qua aantallen als qua verdeling. Zo bevat de dataset van de vaste camera's bijna steeds tweemaal zoveel detecties als die van de drone. Enkel voor opname 4 liggen de cijfers (487 tegenover 457) in elkaars buurt. Het is niet onmiddellijk duidelijk wat dit kan verklaren, maar tijdens vlucht 4 was er geen congestie merkbaar op het kruispunt omdat het eerder vermelde ongeval op dat moment aan de kant was gezet. De software van DFS slaagde er niet in om elke actieve weggebruiker te identificeren, maar miste tijdens de ganse ochtendspits geen enkele wagen (enkel zes bussen en twee vrachtwagens, zie 7.1.1.1). Op basis hiervan wordt er dan ook besloten dat het aantal getraceerde auto's bij de vaste camera's te hoog wordt ingeschat.

Een mogelijke verklaring hiervoor kan zijn dat een geïdentificeerde wagen (of een andere weggebruiker) plots niet meer gedetecteerd wordt in één van de twee camera's (bijvoorbeeld door de paal van een verkeerslicht (zie Figuur 18) of een vrachtwagen die voorbijrijdt) waardoor die niet verder wordt geregistreerd in de gezamenlijke database. Wanneer diezelfde wagen even later opnieuw door beide camera's geobserveerd wordt, komt deze terug terecht in de database, maar als

een nieuwe wagen met een nieuwe ID. Hierdoor worden weggebruikers dus dubbel geteld, wat kan verklaren waarom de cijfers in Tabel 13 zo hoog zijn in vergelijking met Tabel 6. Na het bekijken van de animaties blijkt dat verschillende wagens verdwijnen en terugkomen wanneer zij stilstaan in de file op de Kempische Steenweg, wat bovenstaande theorie ondersteunt. Bovendien blijken verschillende wagens ook te gaan tolleren of beginnen ze pirouettes te maken. Dit is te verklaren door een foute oriëntatie van de voertuigen, vermoedelijk door het feit dat zij stilstaan op dat moment waardoor de camera hun oriëntatie niet correct kan inschatten.

Aan het einde van vlucht 2 wandelde een groep voetgangers van ongeveer 60 personen langs het kruispunt (zie Figuur 24). Deze groep kon op hetzelfde tijdstip ook teruggevonden worden in de animaties, zie Figuur 69. De tracering is echter niet foutloos aangezien verschillende puntjes in de video's plots zeer snel achterwaarts bewegen. Anderzijds lijken de vaste camera's minder moeite te hebben met het volgen van voetgangers terwijl zij oversteken via het zebrapad. Voor verschillende "oversteekmomenten" tijdens opname 2 blijft het aantal paarse bolletjes nagenoeg constant. De bewegingen gebeuren echter minder natuurlijk en zijn eerder schokkerig, en ook het aantal voetgangers voor- en na het oversteken is lager dan bij de droneobservaties. Bovendien tonen de animaties enkel voetgangers op het zuidelijke (Kempische Steenweg) en deels op het westelijke (Vijverstraat) zebrapad. Op de overige twee oversteekplaatsen worden geen actieve weggebruikers gedetecteerd, waarschijnlijk doordat deze te veraf liggen voor de camera aan het jeugdhuis, en de camera aan het verkeerslicht enkel focust op het zuidelijke zebrapad (zie Figuur 18). Dit staat in contrast met de drone die het volledige kruispunt in beeld bracht, behalve tijdens de allereerste vlucht. Desondanks toont een vergelijking van Tabel 6 en Tabel 13 dat het totaal aantal gedetecteerde voetgangers vrij gelijkaardig is voor de drone en de camera's.

2023-01-27 07:36:07.200000



Figuur 69 Detectie van dezelfde groep voetgangers als in Figuur 24.

7.2.1.2 Locatie

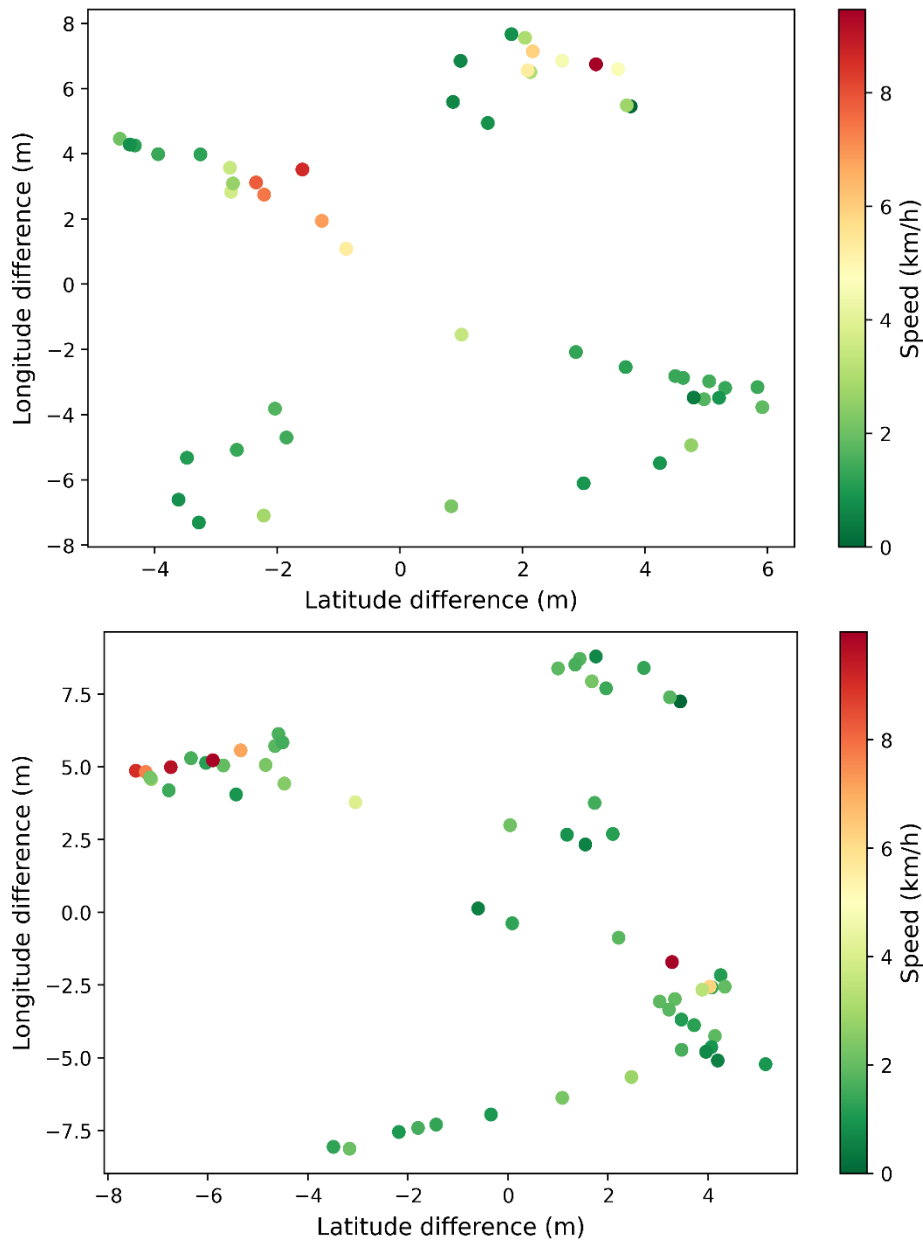
Voor het bepalen van de accuraatheid van de locatiebepaling is het ontbreken van de videobeelden een belangrijke beperkende factor vermits het hierdoor onmogelijk wordt om na te gaan welke gedetecteerde voetganger Bram was, die tijdens vlucht 3 en 4 de GPS vasthield. Desondanks is er op basis van de tijd en positie in de dronebeelden getracht om Bram terug te vinden in de animatievideo's. Dit is, zij het met enige onzekerheid, gelukt voor het zuidelijke zebrapad en een deel van het zebrapad aan de Vijverstraat. Concreet betekent dit dat vijf oversteekmomenten teruggevonden werden, goed voor een totale duurtijd van ongeveer een minuut. Dit is duidelijk minder dan in de dronebeelden waarbij quasi alle oversteekmomenten getraceerd werden. Bovendien is er best veel ruis aanwezig in de dataset. Dit is onder andere te herkennen aan het gegeven dat weggebruikers (inclusief de voetganger-IDs die vermoedelijk Bram voorstellen) vaak "wiebelen" of plots achterwaarts bewegen. Dit heeft een negatieve invloed op de uiteindelijke accuraatheid van de metingen.

Dit is dan ook terug te vinden in de resultaten die samengevat zijn in Tabel 14. De gemiddelde waarden zijn kleiner dan het nauwkeurigheidsniveau van de differentieel-gps, maar de waarden voor de mediaan zijn dat niet. Bovendien is het verschil tussen het gemiddelde en de mediaan vrij groot, wat duidt op een grote spreiding in de resultaten. Ook de betrouwbaarheidsintervallen zijn relatief ruim (tot 2,5 m) en merklijk groter dan die van de drone (zie Tabel 7).

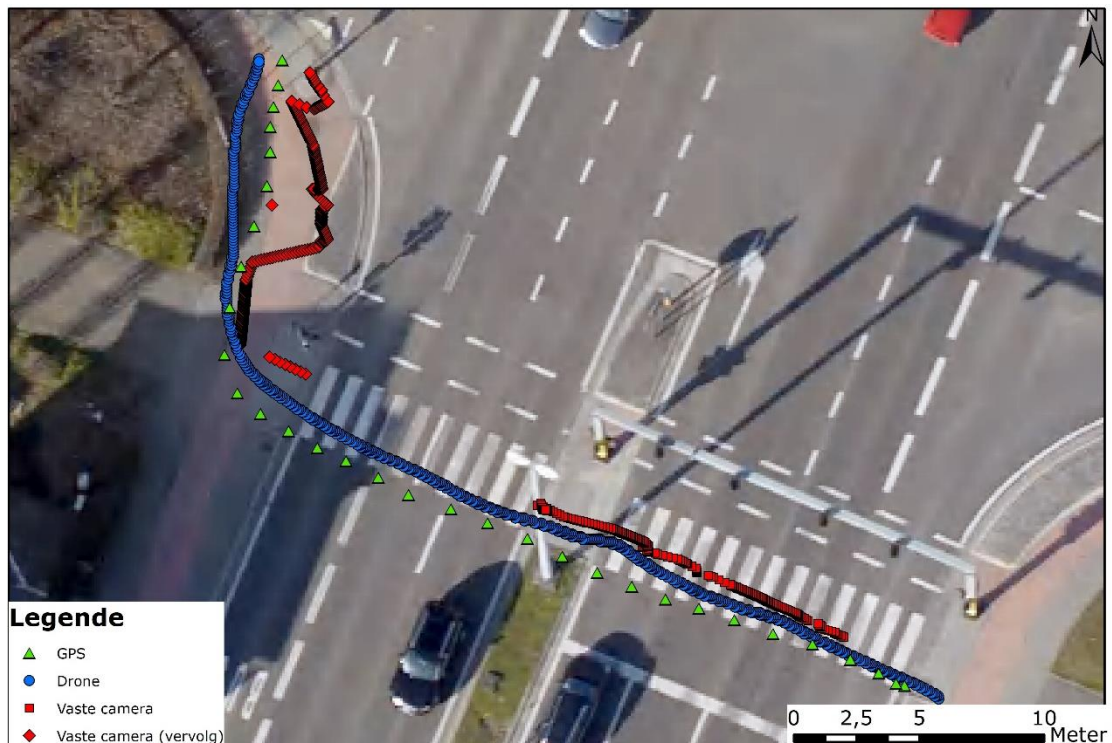
Tabel 14 Verschil tussen de positie van de vaste camera en de differentieel-gps (in meter).

	OPNAME 3		OPNAME 4	
	Breedtegraad	Lengtegraad	Breedtegraad	Lengtegraad
GEMIDDELDE	-0,32	0,97	0,84	0,57
MEDIAAN	1,27	2,68	1,43	1,94
BETROUWBAAR- HEIDSINTERVAL	-1,35 – 0,70	-0,38 – 2,32	-0,10 – 1,77	-0,81 – 1,96

Deze grote verschillen zijn te herkennen in Figuur 70 doordat er in beide opnames telkens vier clusters lijken te ontstaan in de hoeken van de spreidingsdiagrammen. Ook is bereik van zowel de x als de y-as groter in vergelijking met Figuur 31, wat erop wijst dat er grotere afwijkingen voorkomen in de dataset van de vaste camera's. Verder valt ook op dat het merendeel van de punten een groene kleur heeft, wat duidt op een eerder lage snelheid. Hiertegenover staat dat er enkele punten een hoge snelheid (> 8 km/h) hebben, mogelijks om de algemeen lage snelheid te compenseren.



Figuur 70 Spreidingsdiagram voor de afwijking van de locatie tijdens opname 3 (boven) en 4 (onder). Elke bol stelt een meting voor (= een seconde).



Figuur 71 Ruimtelijke vergelijking van de locatie-tracking van eenzelfde oversteekmoment voor drie databronnen. Bron achtergrondfoto: geopunt.be.

De locatiegegevens van zowel de differentieel-gps, de drone als de vaste camera's worden tenslotte weergegeven in Figuur 71. Deze toont de door iedere techniek gemeten locatie voor Bram op eenzelfde moment in tijd. Tijdens dit oversteekmoment startte Bram rechtsonder in de figuur (aan de parking), stak hij de Kempische Steenweg over naar de kerk en wandelde vervolgens naar het zebrapad op de Vijverstraat (linksboven). In deze figuur valt op dat de drone en de camera Bram niet verliezen tijdens het oversteken, maar de vaste camera wel. Bovendien begint de detectie van de vaste camera ook later. De gegevens van de drone en de gps liggen over het algemeen in elkaars buurt (wat ook bevestigd werd in de resultaten van de dronemetingen, zie 7.1.1.4), de verschillen tussen de gps en de vaste camera zijn iets groter. Net na het oversteken vertoont de vaste camera echter een zeer vreemd en hoekig patroon. Het is niet onmiddellijk duidelijk waarom dit zo is, maar vermoedelijk heeft dit te maken met het feit dat dit aan de rand van het camerabeeld is waar metingen vaak moeilijker zijn (Polders et al., 2023). De detectiegegevens van DFS zijn ook niet helemaal correct aan de randen (zie eerder), dus mogelijks is dit een fenomeen waar beide technieken gevoelig aan zijn. Tenslotte toont Figuur 71 dat de gegevens van de differentieel-gps lichtjes afwijken doordat deze soms net naast het zebrapad vallen terwijl Bram steeds op het zebrapad wandelde. Dit valt echter binnen de nauwkeurigheid van 1 meter (Verstraeten, 2017).

7.2.1.3 *Snelheid en conflictparameters*

De dataset van de vaste camera's bevat ook informatie over de snelheid van iedere weggebruiker. Op dit moment is het echter nog niet mogelijk om hiervan eenvoudig heatmaps te genereren zoals in Figuur 28. Ook het controleren van foutief oversteekgedrag zoals voertuigen die door het rood rijden, voetgangers die oversteken op plaatsen waar dit niet is toegelaten (jaywalking) is op dit moment onmogelijk doordat de achtergrond van de animatievideo's niet exact overeenkomt met de werkelijkheid. Wel is het op basis van de snelheidsinformatie mogelijk om hiervan samenvattende statistieken te berekenen zoals de gemiddelde snelheid, of te kijken naar voertuigen die de snelheidslimiet overschrijden.

Gedurende de tijdspanne van de negen dronevluchten werd voor de overeenkomstige cameraobservaties de minimale, maximale en gemiddelde snelheid berekend om een globaal beeld te krijgen van deze informatie. Voor alle vier opnames tijdens de ochtend is de minimale snelheid 0 m/s, de maximale snelheid varieert tussen 22 en 32 m/s (79 en 115 km/h) en de gemiddelde snelheid fluctueert rond 0,75 m/s (2,7 km/h). Deze cijfers, met uitzondering van de minimale waardes, zijn echter zeer laag of zeer hoog voor het studiegebied waar de maximale snelheid 70 km/u is. Bovendien bracht de analyse van de dronebeelden aan het licht dat enkele voertuigen snelheden haalden tot 79 km/u tijdens de ochtendopnames. Een lage gemiddelde snelheid is te verwachten door de file die er lange tijd stond op de zuidelijke tak van de Kempische Steenweg, maar lager dan 3 m/s lijkt eerder onwaarschijnlijk.

De conflictparameters voor de vaste camera's waren op het moment van schrijven nog niet beschikbaar, en konden bijgevolg nog niet geanalyseerd worden. Bovendien zou een conflictanalyse van de huidige dataset veel vals-positieven opleveren door de ruis die in de dataset aanwezig is. Voorbeelden hiervan zijn voertuigen die wiebelen of pirouettes maken tijdens het rijden. Ook de niet-continue tracking en de ondermaatse detectie van fietsers, zou tot foute conclusies lijden.

7.2.2 Namiddag

- Wouter David -

In de namiddagopname is er ook een groot verschil te meten met de data van de droneopname. De vaste camera's hebben in totaal 4 660 unieke weggebruikers geregistreerd, terwijl de drone 4 539 weggebruikers vaststelde. Dit lijkt geen al te groot verschil, maar na diepere analyse van de individuele waardes per vervoersmodi, is er toch een grote variatie opgevallen.

Net zoals in de voormiddag is ook hier de auto in absolute meerderheid, waarbij hij op vier van de vijf opnames een relatieve frequentie heeft van boven de 90% en een gemiddelde van 91,98%. Bij de droneopnames lag dit gemiddeld op 80,44%. Dit verschil van 11,54% wijst erop dat één van de twee meettechnieken niet accuraat is en foutieve informatie weergeeft.

Een verdere vaststelling is ook dat de vaste camera's een heel laag aantal fietsers opnemen. Gedurende de vijf opnamevluchten in de namiddag heeft DataFromSky 179 fietsers waargenomen, terwijl de vaste camera's in totaal 11 fietsers hebben vastgesteld. Door middel van een controlerende observatie bij de opnames van DataFromSky, waarbij er meer als 11 fietsers vastgesteld werden, kan er verondersteld worden dat de vaste camera's niet optimaal zijn om fietsers waar te nemen.

Tabel 15: Absolute en relatieve frequentie per vervoersmodus en opname (vaste camera/namiddag)

	OPNAME 5		OPNAME 6		OPNAME 7		OPNAME 8		OPNAME 9	
	Abs.	Rel. (%)	Abs.	Rel. (%)	Abs.	Rel. (%)	Abs.	Rel. (%)	Abs.	Rel. (%)
AUTO	739	91,9	1623	85,1	1090	94,4	335	92,0	415	96,5
ZWAAR VERVOER	28	3,5	56	2,9	34	2,9	15	4,1	10	2,3
VOETGANGER	37	4,5	221	11,6	31	2,7	10	2,7	5	1,2
FIETSER	0	0	7	0,4	0	0	4	1,2	0	0
TOTAAL	804	100	1907	100	1155	100	364	100	430	100

De cijfers van de vaste camera zijn heel verschillend in vergelijking met deze van de droneopname (Tabel 9). Alhoewel het totale verschil van het aantal geregistreerde weggebruikers maar 121 weggebruikers bedraagt, zijn er in de tabel nog grote verschillen terug te vinden. Bij opname 6 bedraagt het totale verschil 455 weggebruikers, waarbij de auto de grootste veroorzaker van het grote cijfer is. Het verschil tussen het aantal geregistreerde auto's bij de droneopname en de vaste camera opname bedraagt 575. Dit is een groot, (nog) niet te verklaren verschil.

Maar er is ook een omgekeerd effect waarbij de vaste camera's minder weggebruikers hebben waargenomen dan de droneopname. Hier wordt er vooral naar opname 8 en opname 9 gekeken, waarbij het verschil 188 en 89 weggebruikers bedraagt. Dit zijn grote cijfers voor een dataopname van ongeveer 9 minuten.

Bij de voetgangers zijn er hogere cijfers terug te vinden bij de vaste camera's. Opnames 6, 7, 8 en 9 hebben een groter aantal geregistreerde voetgangers dan de dronedata. Een verklaring voor dit verschil kan zijn dat de software van DataFromSky het moeilijker heeft om kleine bewegende objecten vast te stellen door de grotere afstand van de camera naar het studiegebied. De vaste camera daarentegen heeft een veel beter zicht op de actieve weggebruikers door zijn strategische plaatsing op de verkeerslichten, welke binnen enkele meters is van de oversteekplaats binnen het studiegebied. Deze kan voetgangers en fietsers veel beter detecteren door zijn dichte aanwezigheid. Een verklaring voor het hoger aantal voetgangers bij opname 5 werd ook gevonden. De drone kan een veel groter gebied in beeld opnemen, wat voor dit studiegebied betekent dat er nog drie extra oversteekplaatsen in beeld waren. Op deze plaatsen waren er voetgangers aanwezig, die niet in het beeld kwamen van de vaste camera.

8 Discussie

- *Wouter David & Bram Geukens* -

De eerste deelonderzoeksvraag van deze masterproef focust op welke zaken er vooraf uitgevoerd dienen te worden. Specifiek voor de dronevlucht dienden heel wat administratieve zaken vooraf behandeld te worden, zoals ook beschreven in het framework van Khan et al. (2017). Zo moesten de inwoners in de buurt op de hoogte gebracht worden en moest er toestemming gevraagd worden aan het vliegveld van Kiewit en werden ook de politie als de basisschool ingelicht. Ook voor de vaste camera's dienden verschillende toelatingen en formulieren aangevraagd en ingevuld te worden. Dit gebeurde echter reeds voor de aanvang van deze masterproef. Ook is het in deze fase van het onderzoek erg belangrijk om reeds een duidelijk plan en focus te hebben, zodat alles zo concreet mogelijk geformuleerd kan worden. Hierbij is het enorm belangrijk om de focus en scope van het onderzoek goed te kaderen en te beschrijven, zodat duidelijk wordt welke soort data er verzameld moet worden en parameters zoals de vlieghoogte correct gekozen kunnen worden. Dit kwam ook aan bod in de studie van Khan et al. (2017), en werd bevestigd in deze masterproef.

Specifiek voor de drone is het belangrijk om voldoende aandacht te schenken aan de weersomstandigheden. Een drone kan namelijk niet veilig vliegen wanneer er bijvoorbeeld sprake is van regenval, sneeuw of zware windstoten. In deze thesis werd de concrete impact hiervan onderzocht door het totaal aantal geschikte uren om een drone te laten vliegen te becijferen. De gebruikte methodiek is echter vrij deterministisch door het gebruik van harde grenzen en de eenvoudige als-dan redenering. Zo werden bijvoorbeeld rukwinden van 10,6 m/s beschouwd als geschikt, terwijl een rukwind van 10,7 m/s er meteen toe leidde dat het volledige uur waarin die rukwind werd opgetekend geclassificeerd werd als ongeschikt. In werkelijkheid is dit echter niet het geval, al is het best mogelijk dat de omstandigheden minder ideaal zijn, al kan er nog steeds gevlogen worden. Ook de binaire variabelen zijn een simplificatie. Zo zorgt bijvoorbeeld een regenbui van vijf minuten ervoor dat een volledig uur als ongeschikt beschouwd wordt terwijl er nog steeds 55 minuten waren waarop het niet regende. De uiteindelijke resultaten van het geschikt aantal uren per jaar is dus waarschijnlijk een onderschatting, al geven ze wel een idee van de grootteorde. Bovendien zijn de weersomstandigheden onmiddellijk na een regenbui niet plotseling perfect om een drone te laten vliegen.

Samengevat kan er gesteld worden dat de voorbereidende en planningsfase een belangrijke fase is aangezien deze een grote impact heeft op het verdere onderzoek. Voor beide methodieken dienen er op voorhand toelatingen en aanvragen ingediend te worden.

De tweede en derde vraag probeerde een antwoord te formuleren op welke indicatoren afgeleid kunnen worden uit welke techniek, en wat hiervan de nauwkeurigheid is. Het antwoord hierop is echter onzeker aangezien de videobeelden van de vaste camera's ontbreken in deze masterproef. Daarom dienden er enkele aannames gemaakt te worden, en konden sommige elementen zoals de conflictparameters niet berekend worden. Ook het controleren van bijvoorbeeld de detectieaccuraatheid was hierdoor niet mogelijk, al wordt er verondersteld dat het aantal geïdentificeerde fietsers door de vaste camera's te laag is. Tijdens de congestie in de ochtendspits waren er dan weer te veel auto's aanwezig in de dataset van de camera's. Dit kan verklaard worden door het wegvallen van wagens doordat een van de twee camera's deze wagen tijdelijk niet meer ziet door bijvoorbeeld occlusie waaraan vaste camera's onderhevig zijn (Jackson et al., 2013). De geautomatiseerde workflow voor de verwerking van de cameragegevens vereist echter dat elke weggebruiker door beide camera's geobserveerd dient te worden alvorens deze wordt opgenomen in de dataset (Polders et al., 2023). Het fenomeen van occlusie en de lage snelheden kunnen mogelijks verklaren waarom dit fenomeen voornamelijk optreedt wanneer er sprake is van congestie, al dient deze hypothese verder onderzocht te worden.

Eerder onderzoek toonde echter wel meermaals aan dat cameraonderzoek een relatief accurate methode is om gegevens te verzamelen en dat deze gedurende een lange tijd kan uitgevoerd worden. Specifiek toonden de onderzoeken van Zangenehpour et al. (2015), Messelodi et al. (2007) en Somasundaram et al. (2009) aan dat de detectieaccuraatheid van fietsers zeer hoog ligt, en dat deze varieert naargelang het design van de gebruikte algoritmes. De studie van Zaki et al. (2013) kon aan de hand van vaste camera's verschillen in het gedrag van fietsers vaststellen op basis van enkele uiterlijke kenmerken zoals het al dan niet in groep fietsen of het dragen van een helm. Zo bleken fietsers die een helm droegen sneller te fietsen (Zaki et al., 2013). Hoewel het dragen van een helm positief is voor de verkeersveiligheid, kan het sneller fietsen (al dan niet veroorzaakt door een verhoogd gevoel van veiligheid doordat fietshelmen de ernst van een ongeval verlagen (Høye, 2018)) mogelijks leiden tot meer risicovol gedrag. Zulk onderzoek kon in deze thesis echter niet gevoerd worden. Wel staat het lage aantal gedetecteerde fietsers door de vaste camera's in contrast met de bovenstaande studies, waardoor er besloten kan worden dat de resultaten van de vaste camera's in deze thesis niet correct zijn. Het gegeven dat het fietspad vaak veraf en aan de rand van de beelden van de camera's ligt, zou hierbij een rol kunnen spelen. *Edge effects* bleken namelijk eerder al voor moeilijkheden te zorgen (Polders et al., 2023). Ook de dronebeelden blijken hier, zij het in mindere mate, onderhevig aan te zijn.

Voor de dronebeelden konden de analyses van de snelheid, detectieaccuraatheid, ... wel ten volle gemaakt worden. Deze toonden onder meer dat actieve weggebruikers niet altijd correct geïdentificeerd of zelfs niet gedetecteerd worden. Dit bleek echter ook uit eerder onderzoek zoals dat van Renard et al. (2022) en wordt ook door DataFromSky erkend (DataFromSky, n.d.-b). Het wegvallen van voetgangers terwijl zij de drukke Kempische Steenweg oversteken via het zebrapad, was wel onverwacht aangezien dit in andere studies met drones niet vermeld werd. In deze thesis werd de theorie geformuleerd dat fenomeen verklaard zou kunnen worden door de verticale oriëntatie van de strepen van het zebrapad ten opzichte van de drone. Hierdoor wisselt de achtergrond van een voetganger tijdens het oversteken telkens en vaak van een donkere naar een witte achtergrond, wat moeilijkheden lijkt te creëren voor de technologie van DFS. Aangezien de technologie van DFS niet open-source is, kan dit niet in detail onderzocht worden. In het volgende hoofdstuk wordt er echter wel een suggestie geformuleerd hoe dit wel benaderd zou kunnen worden. Door het wegvallen van de detectie van voetgangers op het zebrapad worden er echter conflicten gemist wat een belangrijke kanttekening is bij deze thesis.

De nauwkeurigheid van de lokalisatie van weggebruikers en hun snelheid komt daarentegen zeer goed overeen met de werkelijkheid. Dit bevestigt en versterkt dan ook de resultaten van eerder onderzoek zoals de studie van Guido et al. (2016) en Barmounakis et al. (2019). Ook de vaststelling dat de flitscamera's zichtbaar in werking traden wanneer een voertuig sneller reed dan toegelaten, bevestigt deze conclusie. De heatmaps zijn eenvoudig aan te maken in de DFS Viewer en zijn duidelijk en snel te interpreteren, wat ze een handig hulpmiddel maakt om resultaten te presenteren.

De conflictparameters zijn echter minder sluitend. Zo bleek er in zo goed als alle situaties die gelabeld werden als kritiek in werkelijkheid sprake van normaal verkeersgedrag en werden deze valse positieven veroorzaakt door onnauwkeurigheden in de bounding boxes van de weggebruikers. Hiertegenover staat dan weer dat situaties waarin een voertuig de weg afsnijdt van een andere wagen (bijvoorbeeld zoals in Figuur 49) en deze net in conflict komen met elkaar, niet terugkomen in de conflictparameters. De gekozen conflictparameters maken echter belangrijke aannames en stellen daardoor ook niet exact de werkelijkheid voor. Hoewel dit een belangrijk nadeel is, en er in de literatuur andere SSMs beschikbaar zijn die nauwkeuriger zijn, hebben de gekozen indicatoren als voordeel dat deze relatief simpel te berekenen en uit te leggen zijn aan andere personen. Bovendien worden de TTC, PET of HB nog steeds gebruikt in recent onderzoek zoals de studie van Renard et al. (2022), wat er op wijst dat ze nog steeds relevant zijn. Desondanks kan het interessant zijn om andere indicatoren die gepresenteerd worden in het overzicht van Wang et al. (2021) te berekenen en vervolgens na te gaan of de resultaten hiervan substantieel verschillen met die uit deze thesis.

Een verder punt wat besproken kan worden is de nauwkeurigheid van de filmhoek met de drones. Zo zorgt een loodrechte dataopname voor nauwkeurige bounding boxes, wat beter is om een accurate conflictanalyse uit te voeren. Bij een schuine filmhoek worden bounding boxes niet accuraat rond de voertuigen geplaatst, wat resulteert in een foute(re) dataweergave en bijgevolg ook de resultaten van de conflictparameters negatief kan beïnvloeden. Ook de snelheidsmetingen zijn vermoedelijk accurater onder een loodrechte hoek, maar dit werd in deze thesis niet onderzocht. Desondanks bleek uit de test met de cruise control dat de metingen van DFS een afwijkend patroon vertonen doordat de snelheid (miniem) op en neer beweegt. Dit was een eerder onverwachte bevinding aangezien dit niet vermeld werd in eerdere studies (Barmounakis et al., 2019; Guido et al., 2016), al zijn de verschillen zeer klein die uitgemiddeld worden bij het berekenen van samenvattende statistieken.

Ten slotte werd ook vastgesteld dat omgevingsfactoren zoals de lichtomstandigheden een invloed hebben op de accuraatheid van de resultaten van de dronevluchten, ondanks dat DFS meldt dat hun technologie hier niet gevoelig aan is (DataFromSky, n.d.-a). Op basis van de dronebeelden is het ook moeilijk om bepaalde veronderstellingen zoals sluipverkeer objectief vast te stellen en te bewijzen. Hiervoor is er nood aan meer controlegegevens en vervolgonderzoek.

9 Praktische aanbevelingen en toekomstig onderzoek

- *Wouter David & Bram Geukens* -

Voor toekomstig droneonderzoek is het aanbevolen om op voorhand zeer goed na te denken wat de focus van het project is en waarop dus gefocust dient te worden, omdat heel wat parameters in het vluchtplan hiervan afhankelijk zijn. Zo is het bij een studie, waarbij de focus specifiek op voetgangers ligt, belangrijker om een dichtere filmhoek te kunnen verkrijgen. Deze wordt meestal gerealiseerd door vaste camera's, die in de nauwe nabijheid aan infrastructureel meubilair bevestigd kunnen worden. Wanneer het gebruik van een vaste camera niet mogelijk is of er een groot gebied in geanalyseerd moet worden waarbij er minder financiële middelen beschikbaar zijn, dan wordt er best overgeschakeld naar een drone. Zo is het bij een studie die specifiek focust op voetgangers aangewezen om een lagere vlieghoogte te kiezen en een camera met een hoge resolutie te gebruiken om de detectie van de actieve weggebruikers zo goed mogelijk te laten verlopen.

Wanneer de focus op het gemotoriseerd verkeer gelegd wordt, is het gebruik van een drone een betere keuze. Zo wordt het onderzoeken van grote onderzoeksgebieden en verschillende parameters evidentier gemaakt door de hoge resolutie camera's die de dag van vandaag op drones gemonteerd worden. Deze kunnen grotere objecten zoals voertuigen eenvoudig waarnemen en categoriseren, maar ook snelheden en afstanden waarnemen, mits een goede kalibratie in de software. Wordt er gefocust op verkeersovertredingen zoals het negeren van een rood licht, dan is het ook aangewezen om niet te hoog te vliegen, maar ook om een schuine filmhoek aan te nemen zodat de verkeerslichten duidelijk in beeld komen. Dit staat tegenover studies die als doel hebben om bijvoorbeeld conflictparameters te berekenen. Daarvoor is een loodrechte positie (dus zonder kijkhoek, recht naar beneden) ten sterkste aanbevolen aangezien dit ertoe leidt dat de metingen en resultaten nauwkeuriger zijn.

Ook de nauwkeurigheid van het georefereren van de dronebeelden is hierbij van groot belang. Deze stap is, indien gedetailleerd uitgevoerd, zeer tijdrovend en repetitief van aard, maar dit komt het verdere verloop van het onderzoek alleen maar ten goede. De eigen ervaring leert immers dat foute getallen of een slechte spreiding van de referentiepunten ertoe kunnen leiden dat bijvoorbeeld de snelheden van de voertuigen plotsklaps hoger zijn dan 200 km/h. Het is dus belangrijk om ten eerste voldoende referentiepunten te selecteren (in deze masterproef zijn per vlucht telkens tien referentiepunten gekozen). De punten dienen voldoende verspreid te zijn doorheen het beeld. Dit houdt in dat ze niet allemaal op en rond het eigenlijk studiegebied mogen liggen, maar dat er ook gekeken moet worden naar de onmiddellijke omgeving zoals toekomstige wegen, gebouwen, ... Zeker wanneer er gekeken wordt vanonder een hoek, is het belangrijk dat er voldoende punten dichtbij de "verre rand" geplaatst worden om hier nog accurate resultaten te bekomen.

Bij een droneonderzoek moet er opgelet worden met de vergunningen. Deze moeten uiteraard reglementair in orde zijn, maar het is ook belangrijk om een reservedatum op te stellen. De reden voor het opstellen van enkele reserve datums komt door de onverwachte weersvoorspellingen waarbij neerslag, dikke mist en/of sterke wind voor een annulering van de vlucht kunnen zorgen. Bij verschillende vliegzones moet er op voorhand een aanvraag ingediend worden om hen op de hoogte te stellen wanneer er met een drone in de lucht gevlogen wordt, en of dit überhaupt toegelaten is. De deadline voor deze aanvraag kan 24 uur maar ook vijf werkdagen op voorhand zijn. Wanneer weersomstandigheden tegenvallen, en het onderzoek verplaatst moet worden, kan een vertraging van vijf dagen gevolgen hebben voor een onderzoeksproces.

Bij het opstellen van het vluchtplan van de drone is het ook belangrijk om een extra rand van ongeveer tien tot vijftien meter rondom het eigenlijke studiegebied op te nemen. Hierdoor kunnen afwijkingen zoals vertragende voertuigen aan het uiteinde van het studiegebied (*edge effects*) vermeden worden, zonder dat er hiervoor een deel van het studiegebied dient opgeofferd te worden.

Op basis van de resultaten van de drone (en in mindere mate de vaste camera's) kunnen voor het kruispunt van de Kempische Steenweg met de Tulpinstraat en de Vijverstraat enkele aanbevelingen geformuleerd worden om het comfort en de veiligheid te verbeteren. Zo toonden de analyses aan dat verschillende voetgangers moeten lopen om de Kempische Steenweg over te steken en dat afslaand verkeer soms het zebrapad blokkeert of niet tijdig afremt. Ook zorgt het gelijktijdig groen voor het rechts afslaand verkeer vanuit de Vijverstraat en het groen voor de voetgangers voor op de Kempische Steenweg voor een potentiële conflictsituatie tussen actieve weggebruikers en het gemotoriseerd verkeer. Dit kan vermeden worden door de groentijd voor deze voetgangers te verlengen (eventueel enkel rond de start en het einde van de schooldag), al dan niet aangevuld met een conflictvrije verkeerslichtenregeling. Onderzoek van Roynard et al. (2015) toonde namelijk aan dat veel ongevallen op weg naar school in de onmiddellijke schoolomgeving gebeuren, waardoor een conflictvrije regeling aangewezen is. Bovendien stelt de recentste editie van het vademecum Fietsvoorzieningen van het Agentschap Wegen en Verkeer dat conflictvrije regelingen het streefdoel zijn (Agentschap Wegen en Verkeer, 2022).

Verder toonden de conflictparameters aan dat er, naast conflicten tussen het gemotoriseerde verkeer onderling en met actieve weggebruikers, er ook verschillende onderlinge conflicten ontstonden tussen fietsers en voetgangers. Dit is te wijten aan de soms eerder nauwe breedte van de fietspaden, het feit dat fiets en voetpad vlak naast elkaar liggen of het ontbreken van een veilige opstelplaats voor fietsers en voetgangers aan de verkeerslichten. Ook toonden de resultaten van de dronevluchten dat auto's soms hard moesten remmen omdat een bus haar halteplaats net na het kruispunt verliet. Een langere busbaan, waardoor de bus kan versnellen vooraleer in te voegen, zou dit kunnen voorkomen. Dit betekent echter dat de infrastructuur aangepast dient te worden, wat niet altijd even eenvoudig is.

Voor de vaste camera's kan er vastgesteld worden dat deze techniek nog in volle ontwikkeling is, en dat bijvoorbeeld het algoritme dat zorgt voor de automatisch voertuigdetecties nog geoptimaliseerd kan worden. Zo zou het wegvallen en herdetecties van weggebruikers misschien verminderd kunnen worden door tijdelijk gebruik te maken van de data van één camera in plaats van de vooropgestelde twee camera's. Mogelijks heeft dit echter wel negatieve gevolgen voor de nauwkeurigheid van de metingen. Ook de locatiedata van de vaste camera bleek niet altijd correct te zijn, terwijl de drone wel goede resultaten opleverde. Dit kan deels verklaard worden doordat de translatieparameters geschat zijn, en bijgevolg dus niet exact bepaald zijn. De gegevens van de drone kunnen mogelijks gebruikt worden om de translatieparameters van de vaste camera's te optimaliseren aangezien zowel deze thesis als eerdere onderzoeken aantonen dat drones wel goede resultaten opleveren.

De grootste beperking van deze thesis is het feit dat de 3D-techniek voor de vaste camera's nog niet op punt staat. Hierdoor kon niet elk punt uit de drone vergeleken worden met de uitkomsten van de vaste camera's. Wanneer deze techniek op punt staat, is het mogelijk opportuun om bij stakeholders zoals steden en gemeenten, de politie of (regionale) overheden de marktvrage na te gaan zodat er een beeld gevormd kan worden van wat zij bijvoorbeeld concreet verwachten van een studie van de verkeersveiligheid aan de hand van drones of vaste camera's.

In deze masterthesis werden op basis van de dronebeelden HB-matrices opgesteld. Hierbij werd echter opgemerkt dat er door de congestie tijdens de ochtendspits mogelijk een deel van het verkeer dat de Tulpinstraat inreed sluipverkeer was. Dit is echter moeilijk om objectief vast te stellen. Daarom zou het interessant zijn om in vervolgonderzoek na te gaan hoe lang of hoeveel vluchten er bijvoorbeeld nodig zijn representatieve HB-matrices op te stellen. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren door een synthese te maken van de camerabeelden, en deze te vergelijken met de drone. Ook de invloed van de achtergrond, en meer bepaald zebrapaden, op de detectie van actieve weggebruikers kan interessant zijn voor verder onderzoek. Dit probleem is in deze thesis gekwantificeerd door twee zebrapaden met een verschillende oriëntatie (een horizontaal en een verticaal, relatief ten opzichte van de drone) met elkaar te vergelijken. Zoals eerder werd opgemerkt waren de intensiteiten op beide oversteekplaatsen zeer verschillend, wat een directe vergelijking van de resultaten, en dus het formuleren van een verklaring, bemoeilijkt. Daarom wordt er aangeraden om in toekomstig onderzoek eenzelfde zebrapad te observeren vanuit verschillende hoeken. Idealiter gebeurt dit aan de hand van twee (of meer) identieke drones die op hetzelfde moment observeren zodat alle andere parameters zoals het aantal voetgangers, weersomstandigheden, ... constant zijn en hun invloed uitgesloten kan worden.

10 Conclusies

- *Wouter David & Bram Geukens* -

Deze masterthesis trachtte een antwoord te formuleren op de onderzoeksvraag "Wat zijn de voor- en nadelen van vaste camera's en drones voor het bestuderen van objectieve verkeersveiligheid". Dit gebeurde aan de hand van verschillende deelonderzoeksvragen die dieper focusten op bepaalde aspecten zoals welke indicatoren hieruit afgeleid konden worden, wat de accuraatheid hiervan was, en of er specifieke toepassingen of situaties zijn waarin uitsluitend vaste camera's, dan wel drones ingezet kunnen worden.

Het beantwoorden van deze vragen is echter minder eenvoudig gebleken. Doordat de 3D-techniek van de vaste camera's nog in volle ontwikkeling is en de nodige groeipijnen doormaakt, is het namelijk een oneerlijke vergelijking met een product als DataFromSky dat afgewerkt is. Niettegenstaande is er geprobeerd om een zo objectieve mogelijke vergelijking te maken op basis van de informatie die beschikbaar was tijdens deze masterproef.

Beide technieken vereisen voorafgaand plan- en denkwerk om de dataverzameling zo correct mogelijk te laten verlopen. De voorbereidende aspecten die voor beide onderzoeksmethoden genomen moeten worden zijn verschillend van elkaar. Zo vraagt een droneonderzoek meer aanvragen en vergunningen om een legaal onderzoek te kunnen uitvoeren. Doordat de drone zich in een actief (lucht)verkeersgebied mengt, waarbij deze als een obstakel gezien kan worden, moeten verschillende stakeholders op de hoogte gebracht worden om conflicten te vermijden. De camera's daarentegen zijn vaste objecten die gefixeerd zijn aan (weg)infrastructuur. Ook deze vragen aanvragen en vergunningen, maar zijn niet rechtsreeks een storend object voor de mobiliteit. Afhankelijk van het type camera, is het belangrijk dat er een stroomvoorziening aanwezig is. Beide onderzoeksmethoden hebben één gemeenschappelijk beletsel wat de privacy is, waarbij individuen herkenbaar in beeld gebracht worden. Om het onderzoek legaal te laten doorgaan is het van uiterst belang om op voorhand de individuen op de hoogte te brengen waarbij de algemene verordening van gegevensbescherming gerespecteerd wordt.

De analyse van de locatieparameter voor de dronebeelden toonde aan dat deze zeer nauwkeurig is en overeenstemt met wat eerdere onderzoeken reeds vaststelden. Ook de verschillen in snelheid zijn minimaal, behalve aan de randen van de dronebeelden. Moeilijker was echter de detectie van actieve weggebruikers.

Beide onderzoeksmethoden hebben hun praktische voordelen, waarvoor zij zouden ingezet kunnen worden voor een specifiek onderzoek. De drone heeft zich heel sterk bewezen in zijn flexibiliteit en het opnemen van gemotoriseerd verkeer. De flexibiliteit heeft zijn voordelen doordat vlieghoogtes, filmhoeken, locaties en/of helipaden snel gewijzigd kunnen worden bij een hindernis van omstandigheden. Verder zorgt een kwaliteitsvolle camera voor een belangrijk aspect van de dataopnamen. Wanneer er duidelijke data doorgestuurd kan worden naar een

analysesoftware zoals DataFromSky, wordt de data nauwkeurig verwerkt. Nadelen van de drone zijn vooral de korte levensduur van de batterijen, tenzij er met een kabeldrone gewerkt wordt. Wanneer een batterij het einde van zijn volume bereikt, zal er een verplichte wissel moeten plaatsvinden, wat wil zeggen dat de dataopname onderbroken wordt, tenzij er een tweede drone aanwezig is. Dit begint echter om goede vaardigheden van de piloten te vragen en zorgt ook voor een hoger kostenplaatje. Verder is een drone bestendig tegen verschillende weersomstandigheden, maar heeft deze ook zijn eigen limieten. Een te grote hoeveelheid neerslag of een te sterke windvlaag kan voor problemen zorgen. Hierbij komt het erop neer dat een drone gevoelig is voor weersomstandigheden. Er moet ook constant opgelet worden welke drone bestuurd wordt. In België worden drones gecategoriseerd naargelang het gewicht. Dit heeft ook een invloed op de aanvraag van vergunningen en toestemmingen.

De softwareanalyse DataFromSky heeft zich ook van de goede kant laten zien voor het gemotoriseerd verkeer. De ervaring met de toepassingsmogelijkheden van DFS leerde dat de combinatie van videobeelden en ingebouwde verwerkingsmogelijkheden een krachtige tool zijn om onderzoeksresultaten eenvoudig te weergeven, afbeeldingen te genereren en te presenteren aan stakeholders zoals de politie of steden en gemeenten. Zo werden er verschillende vervoersmodi gecategoriseerd en ook verschillende gegevens opgemeten zoals snelheid, versnellingen, afremmen, locatiebepaling, bewegtoestand en/of voertuigkenmerken. Hierbij dient echter wel opgemerkt te worden dat de nauwkeurigheid van elk resultaat of parameter niet altijd even hoog is in elke situatie, en dat een manuele controle en aanpassingen nog steeds noodzakelijk zijn. Voorbeelden hiervan zijn opnames voor zonsopkomst waarbij de lichtomstandigheden eerder donker van aard zijn of schuine kijkhoeken.

De ervaringen met de vaste camera's waren helaas minder positief tijdens deze masterproef. Dit is te wijten aan de achterliggende technologie die nog in volle ontwikkeling is. Deze zal ongetwijfeld verfijnd en verbeterd worden in de toekomst (net zoals de drones), waardoor een meer volledige vergelijking tussen beide technieken mogelijk zal worden. Vaste camera's hebben immers nog steeds specifieke voordelen. Zo kunnen vaste camera's langdurige opnames uitvoeren en kunnen deze ingezet worden in talrijke weersomstandigheden (Barmounakis et al., 2016; Jackson et al., 2013). Verder kan hun dichte plaatsing van het onderzoeksgebied voor nauwkeurig dataopnames zorgen van actieve weggebruikers. Zo hebben eerdere onderzoeken aangetoond dat de vaste camera accurater is in het waarnemen van actieve weggebruikers, wat ook in de literatuurstudie aangehaald werd (Kastrinaki et al., 2003). Dit kan ook maar tot op een bepaalde afstand. Vanaf een bepaalde afstand zal de camera stabiliteitshinder ondervinden (Jackson et al., 2013). Tot slot blijken zowel de drone als de vaste camera's problemen te ondervinden wanneer weggebruikers zich aan de rand van het beeld bevinden.

11 Bibliografie

- Abdel-Aty, M., Uddin, N., Pande, A., Abdalla, M. F., & Hsia, L. (2004). Predicting Freeway Crashes from Loop Detector Data by Matched Case-Control Logistic Regression. *Transportation Research Record*, 1897(1), 88-95. <https://doi.org/10.3141/1897-12>
- Abdulhafedh, A. (2017). Road Traffic Crash Data: An Overview on Sources, Problems, and Collection Methods. *Journal of Transportation Technologies*, 7, 206-219. <https://doi.org/10.4236/jtts.2017.72015>
- Agentschap Wegen en Verkeer. (2022). *Vademecum Fietsvoorzieningen*. Brussel, België Retrieved from <https://wegenenverkeer.be/zakelijk/documenten/ontwerprichtlijnen/vademecum-fietsvoorzieningen>
- Allen, B. L., Shin, B. T., & Cooper, P. (1978). Analysis of traffic conflicts and collisions. *Transportation Research Record*, 667, 67-74.
- Amundsen, A. H., & Bjørnskau, T. (2003). *Utrygghet og risikokompensasjon i transportsystemet. En kunnskapsoversikt for RISIT-programmet*. TØI. <https://www.toi.no/publikasjoner/utrygghet-og-risikokompensasjon-i-transportsystemet-en-kunnskapsoversikt-for-risit-programmet-article7418-8.html>
- Archer, J. (2005). *Indicators for traffic safety assessment and prediction and their application in micro-simulation modelling : a study of urban and suburban intersections* (Publication Number 2005:013) [Doctoral thesis, monograph, KTH]. DiVA. Stockholm. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-143>
- Arun, A., Haque, M. M., Bhaskar, A., Washington, S., & Sayed, T. (2021). A systematic mapping review of surrogate safety assessment using traffic conflict techniques. *Accid Anal Prev*, 153, 106016. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106016>
- Barmponakis, E. N., Vlahogianni, E. I., & Golias, J. C. (2016). Unmanned Aerial Aircraft Systems for transportation engineering: Current practice and future challenges. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 5(3), 111-122. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2017.02.001>
- Barmponakis, E. N., Vlahogianni, E. I., Golias, J. C., & Babinec, A. (2019). How accurate are small drones for measuring microscopic traffic parameters? *Transportation Letters*, 11(6), 332-340. <https://doi.org/10.1080/19427867.2017.1354433>
- Beaucorps, P. d., Streubel, T., Verroust-Blondet, A., Nashashibi, F., Bradai, B., & Resende, P. (2017, 11-14 June 2017). Decision-making for automated

vehicles at intersections adapting human-like behavior. 2017 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV),

Bonsall, P., Liu, R., & Young, W. (2003). *Modelling safety-related driving behaviour—impact of parameter values*.

Calabrese, F., Diao, M., Di Lorenzo, G., Ferreira, J., & Ratti, C. (2013). Understanding individual mobility patterns from urban sensing data: A mobile phone trace example. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 26, 301-313. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trc.2012.09.009>

Cegeka. (2023). *Calibratiegegevens vaste camera's Kiewit*.

Chen, P., Nakamura, H., & Asano, M. (2014). Application of surrogate safety measures for assessment of pedestrian versus left-turning vehicle conflict at signalized crosswalks. *Advances in Transportation Studies: an international journal, Special Issue(1)*, 37-50.

Coifman, B., McCord, M., Mishalani, R. G., Iswalt, M., & Ji, Y. (2006). Roadway traffic monitoring from an unmanned aerial vehicle. *IEE Proceedings - Intelligent Transport Systems*, 153(1), 11-20. https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/ip-its_20055014

Ćorović, A., Ilić, V., Đurić, S., Marijan, M., & Pavković, B. (2018, 20-21 Nov. 2018). The Real-Time Detection of Traffic Participants Using YOLO Algorithm. 2018 26th Telecommunications Forum (TELFOR),

Das, S., & Maurya, A. K. (2020). Defining Time-to-Collision Thresholds by the Type of Lead Vehicle in Non-Lane-Based Traffic Environments. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 21(12), 4972-4982. <https://doi.org/10.1109/TITS.2019.2946001>

DataFromSky. (n.d.-a). *Can you analyze night video or video captured during bad weather conditions like rain or fog?* Retrieved 05-31 from <https://intercom.help/datafromsky/en/articles/3451483-can-you-analyze-night-video-or-video-captured-during-bad-weather-conditions-like-rain-or-fog>

DataFromSky. (n.d.-b). *How to record video using drone?* Retrieved 04/10/2022 from <https://intercom.help/datafromsky/en/articles/3477669-how-to-record-video-using-drone>

DataFromSky. (n.d.-c). *What objects can you recognize?* Retrieved 01-28 from <https://intercom.help/datafromsky/en/articles/3452006-what-objects-can-you-recognize>

- de Ceunynck, T. (2017). *Defining and applying surrogate safety measures and behavioural indicators through site-based observations* [Doctoral Thesis (monograph), Department of Technology and Society, Lund University].
- Deboosere, F. (n.d.). *Wat is een inversie?* Retrieved 06-01 from <https://frankdeboosere.be/vragen/vraag158.php>
- Departement Mobiliteit en Openbare Werken. (n.d.). *MIA - Mobiliteit Innovatief Aanpakken*. Retrieved 10-01 from <https://www.vlaanderen.be/mobiliteit-en-openbare-werken/mia-mobiliteit-innovatief-aanpakken>
- Desai, J., Li, H., Mathew, J. K., Cheng, Y.-T., Habib, A., & Bullock, D. M. (2021). Correlating Hard-Braking Activity with Crash Occurrences on Interstate Construction Projects in Indiana. *Journal of Big Data Analytics in Transportation*, 3(1), 27-41. <https://doi.org/10.1007/s42421-020-00024-x>
- DJI Technology. (2017). *Flying a Drone in Winter: 5 Things You Must Know*. Retrieved 03-04 from <https://store.dji.com/guides/winter-drone-flying-tips/>
- DJI Technology. (n.d.-a). *DJI Mini 3 Pro*. Retrieved 03/10 from <https://www.dji.com/be/mini-3-pro>
- DJI Technology. (n.d.-b). *DJI Mini 3 Pro - Frequently Asked Questions*. Retrieved 01-28 from <https://www.dji.com/be/mini-3-pro/faq>
- Eisenbeiss, H. (2009). *UAV Photogrammetry* [ETH Hönggerberg]. Zürich.
- El-Basyouny, K., & Sayed, T. (2013). Safety performance functions using traffic conflicts. *Safety Science*, 51(1), 160-164. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.04.015>
- Elvik, R. (2000). Which are the relevant costs and benefits of road safety measures designed for pedestrians and cyclists? *Accident Analysis & Prevention*, 32(1), 37-45. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(99\)00046-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0001-4575(99)00046-9)
- Elvik, R., Kolbenstvedt, M., & Stangeby, I. (1999). *Gå eller sykle? Fakta om omfang, sikkerhet og miljø*. TØI. <https://www.toi.no/publikasjoner/ga-eller-sykle-fakta-om-omfang-sikkerhet-og-miljo-article5335-8.html>
- Essa, M., & Sayed, T. (2018). Traffic conflict models to evaluate the safety of signalized intersections at the cycle level. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 89, 289-302. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.02.014>
- Fernández Llorca, D., Hernández Martínez, A., & García Daza, I. (2021). Vision-based vehicle speed estimation: A survey. *IET Intelligent Transport*

- Fu, T., Miranda-Moreno, L., & Saunier, N. (2016). Pedestrian Crosswalk Safety at Nonsignalized Crossings During Nighttime: Use of Thermal Video Data and Surrogate Safety Measures. *Transportation Research Record*, 2586(1), 90-99. <https://doi.org/10.3141/2586-10>
- Gabauer, D. J., & Gabler, H. C. (2006). Comparison of delta-v and occupant impact velocity crash severity metrics using event data recorders. *Annu Proc Assoc Adv Automot Med*, 50, 57-71.
- Global Wind Atlas. (n.d.). *Methodology*. Retrieved 06-01 from <https://globalwindatlas.info/en/about/method>
- Gu, X., Abdel-Aty, M., Xiang, Q., Cai, Q., & Yuan, J. (2019). Utilizing UAV video data for in-depth analysis of drivers' crash risk at interchange merging areas. *Accident Analysis & Prevention*, 123, 159-169. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.11.010>
- Guido, G., Gallelli, V., Rogano, D., & Vitale, A. (2016). Evaluating the accuracy of vehicle tracking data obtained from Unmanned Aerial Vehicles. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 5(3), 136-151. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2016.12.001>
- Haque, M. M., & Washington, S. (2015). The impact of mobile phone distraction on the braking behaviour of young drivers: A hazard-based duration model. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 50, 13-27. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trc.2014.07.011>
- Hauer, E., Ng, J. C., & Lovell, J. (1988). Estimation of safety at signalized intersections. *Transportation Research Record*, 1185, 48-61.
- Hayward, J. C. (1972). Near-miss determination through use of a scale of danger. *Highway Research Record*.
- Høyе, A. (2018). Bicycle helmets – To wear or not to wear? A meta-analysis of the effects of bicycle helmets on injuries. *Accident Analysis & Prevention*, 117, 85-97. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.03.026>
- Hupfer, C. (1997). Deceleration to safety time (DST)-a useful figure to evaluate traffic safety. ICTCT Conference Proceedings of Seminar,
- Jackson, S., Miranda-Moreno, L. F., St-Aubin, P., & Saunier, N. (2013). Flexible, Mobile Video Camera System and Open Source Video Analysis Software for Road Safety and Behavioral Analysis. *Transportation Research Record*, 2365(1), 90-98. <https://doi.org/10.3141/2365-12>

- Jacobs, D. (2023). Ongeval op Noord-Zuid zorgt voor stevige ochtendspits richting Hasselt. *Het Belang van Limburg*.
https://www.hbvl.be/cnt/dmf20230127_92714705
- Jensen, J. R., & Jensen, R. R. (2013). *Introductory Geographic Information Systems*. Pearson Education.
- Jun, J., Ogle, J., & Guensler, R. (2007). Relationships between Crash Involvement and Temporal-Spatial Driving Behavior Activity Patterns: Use of Data for Vehicles with Global Positioning Systems. *Transportation Research Record*, 2019(1), 246-255. <https://doi.org/10.3141/2019-29>
- Kastrinaki, V., Zervakis, M., & Kalaitzakis, K. (2003). A survey of video processing techniques for traffic applications. *Image and Vision Computing*, 21(4), 359-381. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0262-8856\(03\)00004-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0262-8856(03)00004-0)
- Khan, M. A., Ectors, W., Bellemans, T., Janssens, D., & Wets, G. (2017). UAV-Based Traffic Analysis: A Universal Guiding Framework Based on Literature Survey. *Transportation Research Procedia*, 22, 541-550.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.03.043>
- Khan, M. A., Ectors, W., Bellemans, T., Janssens, D., & Wets, G. (2018). Unmanned Aerial Vehicle-Based Traffic Analysis: A Case Study for Shockwave Identification and Flow Parameters Estimation at Signalized Intersections. *Remote Sensing*, 10(3), 458. <https://www.mdpi.com/2072-4292/10/3/458>
- KMI. (n.d.-a). *Weerwoorden - Bewolkingsgraad*. Retrieved 06-01 from <https://www.meteo.be/nl/info/weerwoorden/bewolkingsgraad>
- KMI. (n.d.-b). *Weerwoorden - Inversie*. Retrieved 06-01 from <https://www.meteo.be/nl/info/weerwoorden/inversie>
- KNMI. (n.d.). *Uurgegevens van het weer in Nederland*.
<https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/uurgegevens>
- Kong, C., & Yang, J. (2010). Logistic regression analysis of pedestrian casualty risk in passenger vehicle collisions in China. *Accident Analysis & Prevention*, 42(4), 987-993.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.11.006>
- Kuang, Y., Qu, X., & Wang, S. (2015). A tree-structured crash surrogate measure for freeways. *Accid Anal Prev*, 77, 137-148.
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.02.007>
- Laureshyn, A., Svensson, Å., & Hydén, C. (2010). Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioural data: Theoretical framework and first implementation. *Accident Analysis & Prevention*, 42(6), 1637-1646.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.03.021>

- Leden, L. (2002). Pedestrian risk decrease with pedestrian flow. A case study based on data from signalized intersections in Hamilton, Ontario. *Accident Analysis & Prevention*, 34(4), 457-464. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(01\)00043-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0001-4575(01)00043-4)
- Lee, C., Hellinga, B., & Saccomanno, F. (2006). Evaluation of variable speed limits to improve traffic safety. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 14(3), 213-228. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trc.2006.06.002>
- Lee, J., Zhong, Z., Kim, K., Dimitrijevic, B., Du, B., & Gutesa, S. (2015). *Examining the Applicability of Small Quadcopter Drone for Traffic Surveillance and Roadway Incident Monitoring*.
- Mahmud, S. M. S., Ferreira, L., Hoque, M. S., & Tavassoli, A. (2017). Application of proximal surrogate indicators for safety evaluation: A review of recent developments and research needs. *IATSS Research*, 41(4), 153-163. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2017.02.001>
- Maretzke, J., & Jacob, U. (1992). Distance warning and control as a means of increasing road safety and ease of operation. Proceedings of the Paper Presentation at the FISITA '92: Safety, the Vehicle and the Road, London.
- Messelodi, S., Modena, C. M., & Cattoni, G. (2007). Vision-based bicycle/motorcycle classification. *Pattern Recognition Letters*, 28(13), 1719-1726. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.patrec.2007.04.014>
- Minderhoud, M. M., & Bovy, P. H. L. (2001). Extended time-to-collision measures for road traffic safety assessment. *Accident Analysis & Prevention*, 33(1), 89-97. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(00\)00019-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0001-4575(00)00019-1)
- Morris, B. T., & Trivedi, M. M. (2008). A Survey of Vision-Based Trajectory Learning and Analysis for Surveillance. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 18(8), 1114-1127. <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2008.927109>
- Nabavi Niaki, S. M., Saunier, N., & Miranda-Moreno, F. L. (2018). Analysing cyclist behaviour at cycling facility discontinuities using video data [journal article]. *Transactions on Transport Sciences*, 9(1), 3-17. <https://doi.org/10.5507/tots.2018.006>
- NGI. (2022). 3D punt fiche 25T803. In.
- Olszewski, P., Dąbkowski, P., Szagała, P., Czajewski, W., & Buttler, I. (2020). Surrogate safety indicator for unsignalised pedestrian crossings. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 70, 25-36. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trf.2020.02.011>

- Outay, F., Mengash, H. A., & Adnan, M. (2020). Applications of unmanned aerial vehicle (UAV) in road safety, traffic and highway infrastructure management: Recent advances and challenges. *Transp Res Part A Policy Pract*, 141, 116-129. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.09.018>
- Ozbay, K., Yang, H., Bartin, B., & Mudigonda, S. (2008). Derivation and Validation of New Simulation-Based Surrogate Safety Measure. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2083(1), 105-113. <https://doi.org/10.3141/2083-12>
- Polders, E., Ectors, W., & Brijs, T. (2023). Proactief identificeren van verkeersconflicten met MIA [Online Presentatie]. In. Hasselt, België: IMOB.
- Punzo, V., & Simonelli, F. (2005). Analysis and Comparison of Microscopic Traffic Flow Models with Real Traffic Microscopic Data. *Transportation Research Record*, 1934(1), 53-63. <https://doi.org/10.1177/0361198105193400106>
- Renard, A., Novačko, L., Babojelić, K., & Kožul, N. (2022). Analysis of Child Traffic Safety near Primary School Areas Using UAV Technology. *Sustainability*, 14(3).
- Roynard, M., Schoeters, A., & Wénin, M. (2015). *Veilig naar school. Analyse van verkeersongevallen met kinderen in de buurt van basisscholen*. Brussel: Vias institute
- Salvo, G., Caruso, L., & Scordo, A. (2014). Urban Traffic Analysis through an UAV. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 111, 1083-1091. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.143>
- Sayed, T., Zaki, M. H., & Autey, J. (2013). Automated safety diagnosis of vehicle-bicycle interactions using computer vision analysis. *Safety Science*, 59, 163-172. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.05.009>
- Scholl, L., Elagaty, M., Ledezma-Navarro, B., Zamora, E., & Miranda-Moreno, L. (2019). A Surrogate Video-Based Safety Methodology for Diagnosis and Evaluation of Low-Cost Pedestrian-Safety Countermeasures: The Case of Cochabamba, Bolivia. *Sustainability*, 11(17), 4737. <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/17/4737>
- Slootmans, F. (2021). *Statistisch rapport 2021 - Verkeersongevallen 2020*. Brussel: Vias Institute
- Somasundaram, G., Morellas, V., & Papanikolopoulos, N. (2009, 4-7 Oct. 2009). Counting pedestrians and bicycles in traffic scenes. 2009 12th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems,

- Songchitruksa, P., & Tarko, A. P. (2006). Practical Method for Estimating Frequency of Right-Angle Collisions at Traffic Signals. *Transportation Research Record*, 1953(1), 89-97. <https://doi.org/10.1177/0361198106195300111>
- Sørensen, M. W. J., & Mosslemi, M. (2009). *Subjective and objective safety - the effect of road safety measures on subjective safety among vulnerable road users*. TØI. <https://www.toi.no/publikasjoner/trygghet-og-sikkerhet-trafikksikkerhetstiltaks-effekt-pa-myke-trafikanter-trygghetsopplevelse-article27664-8.html>
- St-Aubin, P., Saunier, N., & Miranda-Moreno, L. (2015). Large-scale automated proactive road safety analysis using video data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58, 363-379. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.04.007>
- StudioDott. (n.d.). *Citymesh passantentelling*. Retrieved 06-01 from <https://studiodott.be/2020/09/11/citymesh-passantentelling-2/>
- Svensson, Å. (1998). *A method for analysing the traffic process in a safety perspective* Lund Universitet]. Lund, Zweden.
- Tarko, A. P. (2018). Chapter 17. Surrogate Measures of Safety. In *Safe Mobility: Challenges, Methodology and Solutions* (pp. 383-405). <https://doi.org/10.1108/s2044-994120180000011019>
- Tarko, A. P. (2020). Chapter 3 - Traffic conflicts as crash surrogates. In A. P. Tarko (Ed.), *Measuring Road Safety Using Surrogate Events* (pp. 31-45). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810504-7.00003-3>
- Vadeby, A., & Forsman, Å. (2012). *Utvärdering av nya hastighetsgränssystemet : effekter på hastighet, etapp 2* (VTI notat, Issue. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:vti:diva-586>
- Vadeby, A., Forsman, Å., Carlsson, A., Björketun, U., & Yahya, M. R. (2012). *Utvärdering av nya hastighetsgränssystemet : effekter på trafiksäkerhet och miljö* (VTI notat, Issue. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:vti:diva-598>
- Van Der Horst, A. (1990). A time-based analysis of road user behaviour at intersections. ICTCT Conference Proceedings (Krakow),
- Van Rompaey, A. (2012). *Geografische Voorstellingen - Cursus Arcgis*. Scientica Cursusdienst.
- Verstraeten, G. (2017). Topografie & Cartografie: GPS Les 1 [Lesmateriaal 2BA Geografie]. In: KU Leuven.

- Vias Institute. (2022). *Briefing "Kinderen en verkeersveiligheid"*. Brussel: Vias Institute
- Vlaamse Drone Federatie. (n.d.). *Nieuwe Europese dronewetgeving van kracht*. Retrieved 25-11-2022 from <https://euka.flandersmake.be/drone-wetgeving/#:~:text=Vanaf%20nu%20moet%20namelijk%20elke,een%20theorie%20Dopleiding%20en%20examen>
- Vogel, K. (2003). A comparison of headway and time to collision as safety indicators. *Accident Analysis & Prevention*, 35(3), 427-433. [https://doi.org/10.1016/s0001-4575\(02\)00022-2](https://doi.org/10.1016/s0001-4575(02)00022-2)
- Wang, C., Xie, Y., Huang, H., & Liu, P. (2021). A review of surrogate safety measures and their applications in connected and automated vehicles safety modeling. *Accid Anal Prev*, 157, 106157. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106157>
- Wang, D., Liu, Q., Ma, L., Zhang, Y., & Cong, H. (2019). Road traffic accident severity analysis: A census-based study in China. *Journal of Safety Research*, 70, 135-147. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.06.002>
- Wang, L., Chen, F., & Yin, H. (2016). Detecting and tracking vehicles in traffic by unmanned aerial vehicles. *Automation in Construction*, 72, 294-308. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.008>
- Wang, X., Abdel-Aty, M., & Brady, P. A. (2006). Crash Estimation at Signalized Intersections: Significant Factors and Temporal Effect. *Transportation Research Record*, 1953(1), 10-20. <https://doi.org/10.1177/0361198106195300102>
- Weer1. (2023). *Hasselt historisch weer 27 Januari*. Retrieved 01/28 from <https://www.weer1.com/europe/belgium/limburg/hasselt?page=past-weather#day=27&month=1>
- Wong, E., Leong, M. K. F., Anantharaman, V., Raman, L., Wee, K. P., & Chao, T. C. (2002). Road traffic accident mortality in Singapore. *The Journal of Emergency Medicine*, 22(2), 139-146. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0736-4679\(01\)00455-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0736-4679(01)00455-3)
- Wong, S. C., Sze, N. N., & Li, Y. C. (2007). Contributory factors to traffic crashes at signalized intersections in Hong Kong. *Accident Analysis & Prevention*, 39(6), 1107-1113. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aap.2007.02.009>
- Zaki, M. H., Sayed, T., & Cheung, A. (2013). Computer Vision Techniques for the Automated Collection of Cyclist Data. *Transportation Research Record*, 2387(1), 10-19. <https://doi.org/10.3141/2387-02>

Zangenehpour, S., Miranda-Moreno, L. F., & Saunier, N. (2015). Automated classification based on video data at intersections with heavy pedestrian and bicycle traffic: Methodology and application. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *56*, 161-176.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.04.003>

Zheng, C., Breton, A., Iqbal, W., Sadiq, I., Elsayed, E., & Li, K. (2015, 2015//). Driving-Behavior Monitoring Using an Unmanned Aircraft System (UAS). *Digital Human Modeling. Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management: Ergonomics and Health*, Cham.

12 Bijlagen

12.1 Vergunning UAS-zone van “EBZH - HASSELT - Kiewit (UGZ)”

Drone Operation within UGZ protecting civilian uncontrolled aerodromes

Date of flight:

23/jan/2023 (primary)
26/jan/2023 (backup 1)
27/jan/2023 (backup 2)

Note: Backups only required in case of bad weather conditions on the primary (or backup 1) date.

Location:

Approx. 50.962973, 5.355557 (Intersection Kempische Steenweg (N74) x Tulpinstraat)

Maximum height of the flight:

70m AGL

Start time operation:

Observation 1: 7:45
Observation 2: 14:45

End time operation:

Observation 1: 9:15
Observation 2: 16:30

Reason of the flight:

Road safety observation with a multirotor drone in the context of a master thesis project at the Transportation Research institute (IMOB) of Hasselt University. Traffic will be observed around (1) opening and (2) closing of the Vrije basisschool De Kiewit (Vijverstraat, see next page). The study compares the collection of road safety data using drones with using fixed cameras (that are already present at the intersection).

Name operator:

Universiteit Hasselt

Name pilot and license number:

Wim Ectors: BEL-RP-p17koh0d9mk7 (A1+A3) & NLD-RP-blufucwkkkl (A2)

Name client:

N/A

Contact data of company:

Contact person: Wim Ectors
011 269114 or 0474668248

Instituut voor Mobiliteit (IMOB) of Hasselt University
Maastrichterstraat 100, 3500 Hasselt
011 26 91 11

Mobile phone number pilot:

Wim Ectors: 0474668248

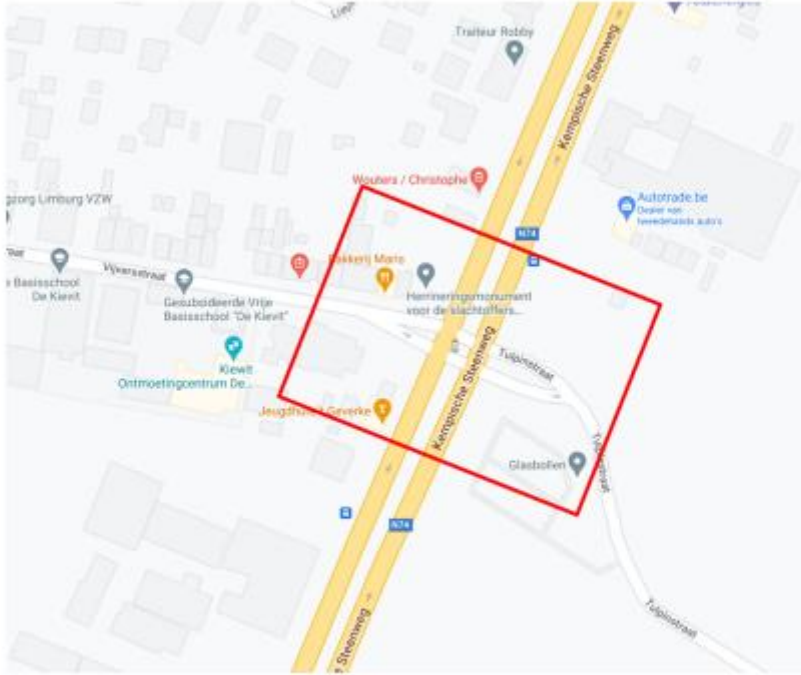
Drone brand/type/registration number/serial number:

Drone 1: DJI Mini 3 Pro (S/N: 52WKK8L01204T8)
Drone 2: DJI Mini 3 Pro (S/N: 52WKK8L012030J) (drone 2 is a backup for drone 1)

Minimal distance to facility: Approximately 1.2km (birds-eye view) from AERO-Kiewit

Please provide these info to the geozone manager at least 5 working days prior operation by mail, by email or by phone. When receiving a UAS flight demand, the aerodrome operator will formulate a refusal or a reply that contains the conditions to execute the requested mission. Authorization is always given in writing (email - mail).

If no answer is received 2 working days prior operation, the demand can be assumed as denied.



The red area marks the area where the drone shall be active (up to a maximum altitude of 70m AGL)

12.2 GDPR brief

www.uhasselt.be/imob
Instituut voor Mobiliteit | Universiteit Hasselt
Witte Kazerne, Maastrichterstraat 100 | 3500 Hasselt
T +32 (0)11 26 91 11 | E-mail: imob@uhasselt.be



VERKEERSVEILIGHEIDSONDERZOEK MET DRONES

Beste bewoner,

We informeren u graag over het verkeersveiligheidsonderzoek dat het Instituut voor Mobiliteit (IMOB) van Universiteit Hasselt binnenkort zal uitvoeren in uw omgeving. Dit kadert in de masterproef van UHasselt-studenten Wouter David en Bram Geukens waarin zij de bruikbaarheid van dronebeelden zullen nagegaan om zo de verkeersveiligheid te verhogen door middel van nieuwe onderzoekstechnieken. Bijkomend zal er ook onderzocht worden of, en welke, verschillen er zijn tussen deze dronebeelden en gegevens afkomstig van vaste camera's die momenteel op het kruispunt gemonteerd staan.

Met deze brief zouden we u willen informeren dat **de drone in de directe omgeving van uw woning zal opstijgen** en vanuit dat punt in de lucht een opname zal maken van het kruispunt en de schoolomgeving. We willen u verzekeren dat u hiervan geen hinder zal ondervinden. Er zal gebruik worden gemaakt van een kleine, lichte en stille drone met een accu waarmee die ongeveer 25 minuten lang in de lucht zal blijven. De drone maakt mogelijk een tussenlanding om van accu te wisselen. De dronevlucht wordt professioneel en veilig uitgevoerd door getraind en gelicentieerd UHasselt-personeel.

De drone zal de directe omgeving van het **kruispunt van de Kempische Steenweg met de Tulpinstraat en de Vijversstraat in Kiewit 2x** gedurende ongeveer 1 uur filmen in de week van 23 tot 27 januari gedurende een ochtendspits en het sluiten van de school. In de beelden zijn voetgangers, fietsers, autobestuurders onherkenbaar door een combinatie van de grote hoogte en de opnamehoek. We gebruiken software die de weggebruikers zal indelen in type weggebruiker (voetganger, fietser, personenwagen, bestelwagen, vrachtwagen of bus). **Deze weggebruikers worden niet getraceerd, en het is niet mogelijk te achterhalen om wie het precies gaat.**

Het is de bedoeling om enkel het bovengenoemde kruispunt te filmen, maar het is mogelijk onvermijdbaar dat (een deel van) uw woning of tuin in beeld zou vallen. We willen u verzekeren dat de video met de grootste aandacht voor uw privacy zal verwerkt worden. Dit houdt onder andere in dat hoogstens 1 onderzoeker de originele videobeelden zal ontvangen. Deze persoon staat in voor het "blurren" (maskeren) van eventuele private percelen die mogelijk onvermijdbaar in beeld vielen. Pas na deze stap zullen de overige teamleden toegang krijgen tot het gemaskeerde beeldmateriaal, en worden de originele beelden gewist. **Uw privacy, en die van alle weggebruikers in beeld, blijft behouden.** Voor dit onderzoek beroepen we ons op de wettelijke basis Algemeen Belang.

www.uhasselt.be/imb
Instituut voor Mobiliteit | Universiteit Hasselt
Witte Kazerne, Maastrichterstraat 100 | 3500 Hasselt
T +32 (0)11 26 91 11 | E-mail: imb@uhasselt.be



Dit onderzoek zal toekomstig verkeersveiligheidsonderzoek met o.a. een focus op de zwakke weggebruiker sterk vereenvoudigen. Indien u vragen, opmerkingen of bezorgdheden heeft mag u steeds contact opnemen. Tijdens de opname zelf zal het aanwezige personeel eveneens bijkomende info kunnen verschaffen.

Met vriendelijke groeten,

Masterstudenten:

Wouter David
wouter.david@student.uhasselt.be
0474 47 86 21

Bram Geukens
bram.geukens@student.uhasselt.be
0496 48 24 30

Instituut voor Mobiliteit:

Witte Kazerne, Maastrichterstaat 100,
3500 Hasselt
imb@uhasselt.be
011 26 91 11

Directe contactpersoon:

Wim Ectors
wim.ectors@uhasselt.be
0474 66 82 48

TRAFFIC SAFETY RESEARCH WITH DRONES

Dear Resident,

We would like to inform you about the traffic safety research that the Transportation Research Institute (IMOB) of Hasselt University, will soon be conducting in your area. This is part of the Master thesis that will be written by UHasselt-students Wouter David and Bram Geukens. In this thesis, they will investigate the possibilities of using video footage from drones to increase traffic safety by using innovative technologies. Additionally, they will also investigate if, and which, differences are present between this footage and data collected by stationary cameras that are currently installed on the intersection.

With this letter we would like to inform you that **a drone will take off in the immediate vicinity of your home** and will record a video of the intersection and the school area from a fixed point in the air. We would like to assure you that you will not be inconvenienced by this. A small, lightweight and silent drone with a battery will be used and shall be airborne for approximately 25 minutes. The drone may land to change batteries. **The drone flight will be conducted professionally and safely by trained and licensed UHasselt staff.**

The drones will film the immediate vicinity of **the intersection of the Kempische Steenweg and the Tulpinstraat and Vijversstraat 2x** for approximately 1 hour during the week of 23 till 27th of January during the morning rush hour and the closing of school. In the images, pedestrians, cyclists, car drivers are **unrecognizable** due to a combination of the high altitude and the camera angle. We use software that will classify the road users into type of road user (pedestrian, cyclist, passenger car, van, truck or bus). **These road users will not be tracked, and it is not possible to find out exactly who they are.**

It is the intention to only film the aforementioned areas, but it is possibly unavoidable that (part of) your home or garden would fall into the picture. We want to assure you that the video will be processed with the utmost attention to your privacy. This means that only one researcher will receive the original video footage. This investigator will be responsible for "blurring" (masking) any private plots of land that may have unavoidably fallen into the frame. Only after this step will other researchers or any other processors have access to the masked footage, and the original footage will be deleted. **Your privacy, and that of all road users in the image, is preserved.** For this research, we invoke the legal basis Public Interest.

www.uhasselt.be/imob
Instituut voor Mobiliteit | Universiteit Hasselt
Witte Kazerne, Maastrichterstraat 100 | 3500 Hasselt
T +32 (0)11 26 91 11 | E-mail: imob@uhasselt.be



This research will greatly facilitate future road safety research with a focus on the vulnerable road users, among others. If you have any questions, remarks or concerns, please do not hesitate to contact us. During the recording itself, the present staff will also be able to provide additional information.

With best regards,

Master students:

Wouter David
wouter.david@student.uhasselt.be
0471 47 86 21

Bram Geukens
bram.geukens@student.uhasselt.be
0496 48 24 30

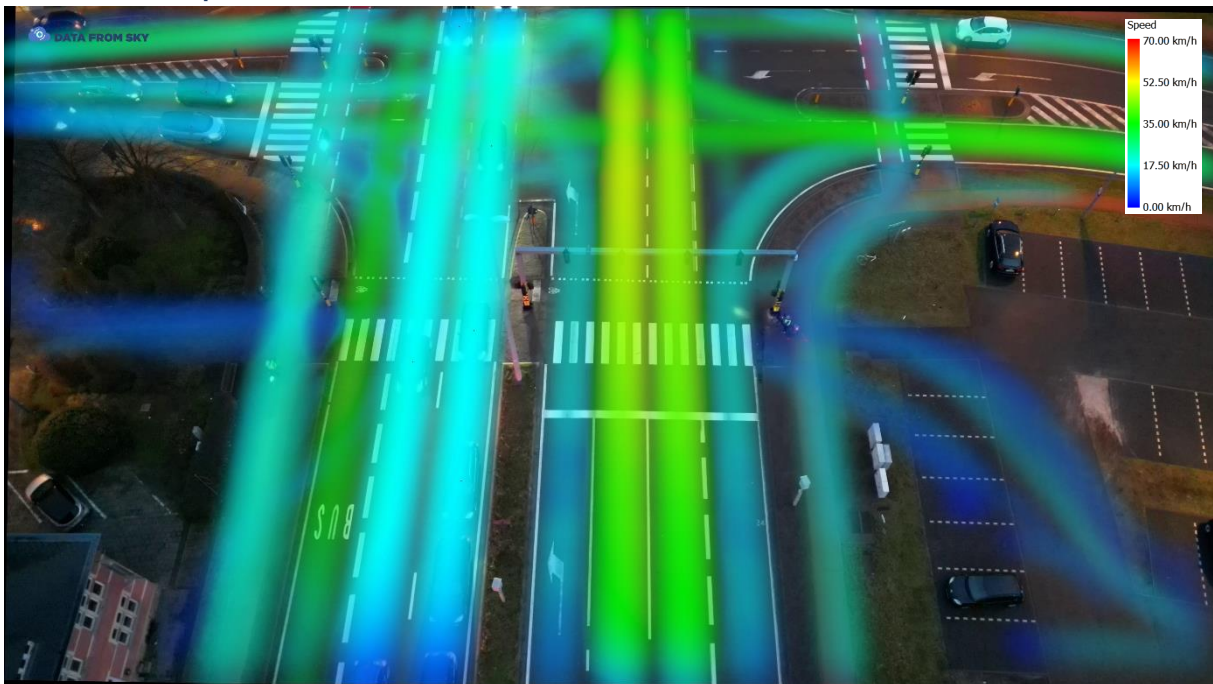
Transport Research Institute:

Witte Kazerne, Maastrichterstaat 100,
3500 Hasselt
imob@uhasselt.be
011 26 91 11

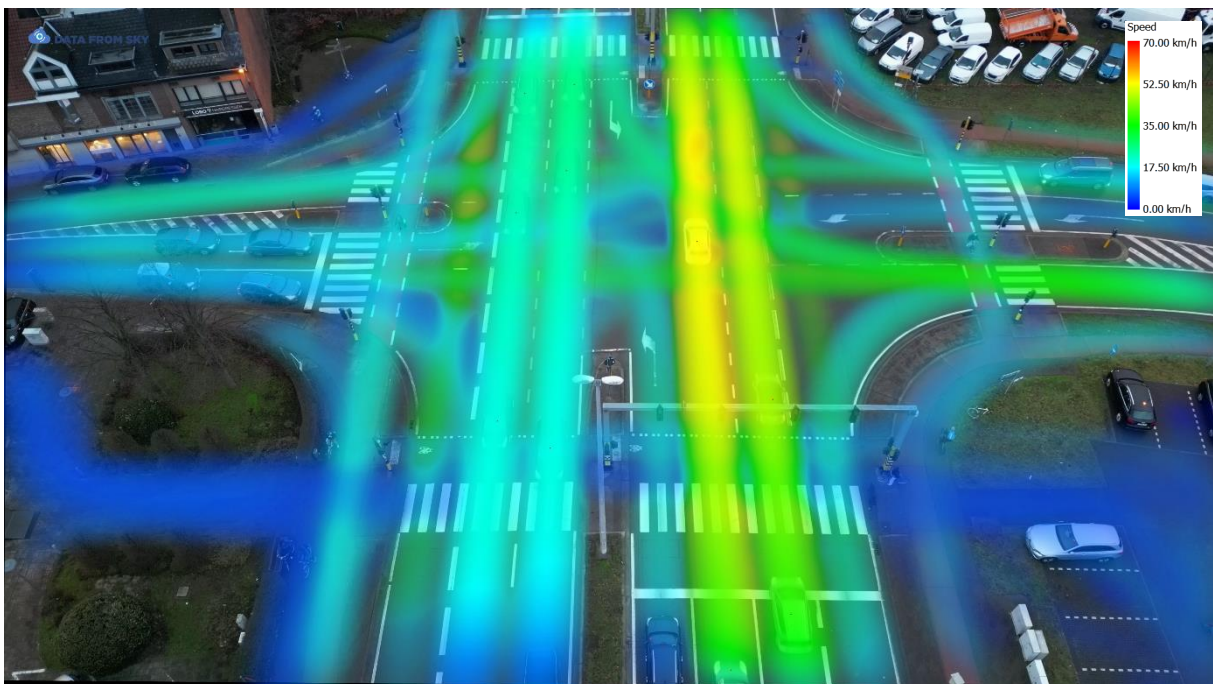
Direct contact person:

Wim Ectors
wim.ectors@uhasselt.be
0474 66 82 48

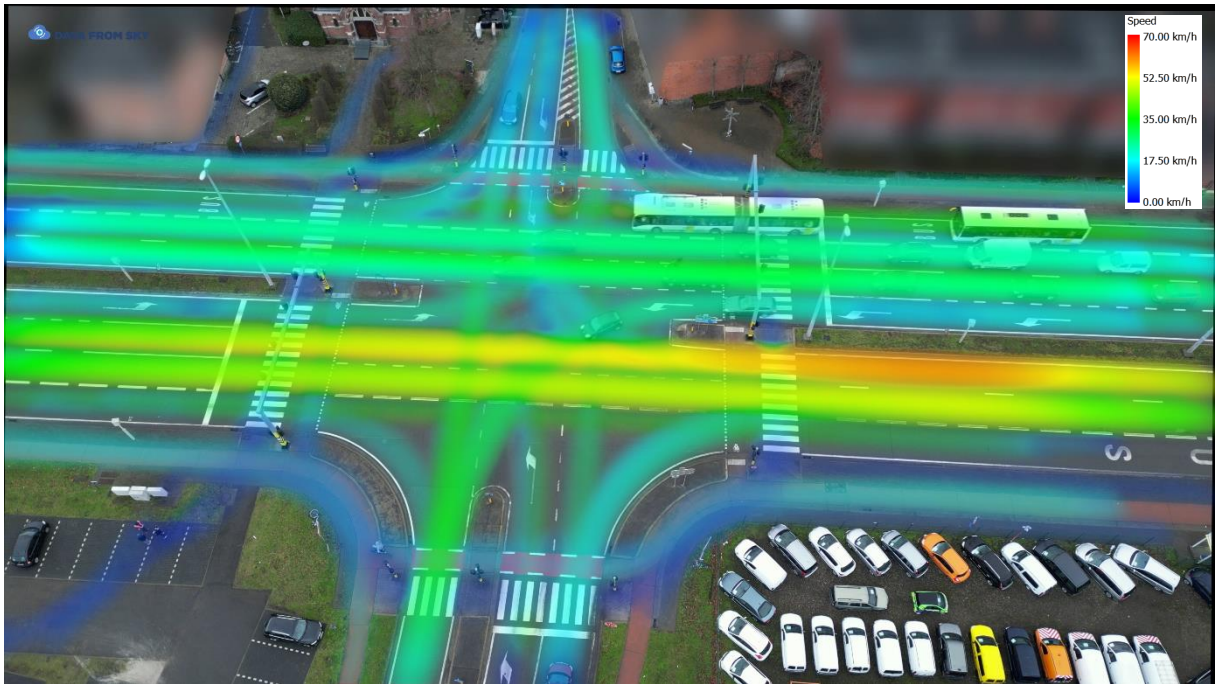
12.3 Heatmaps van snelheid



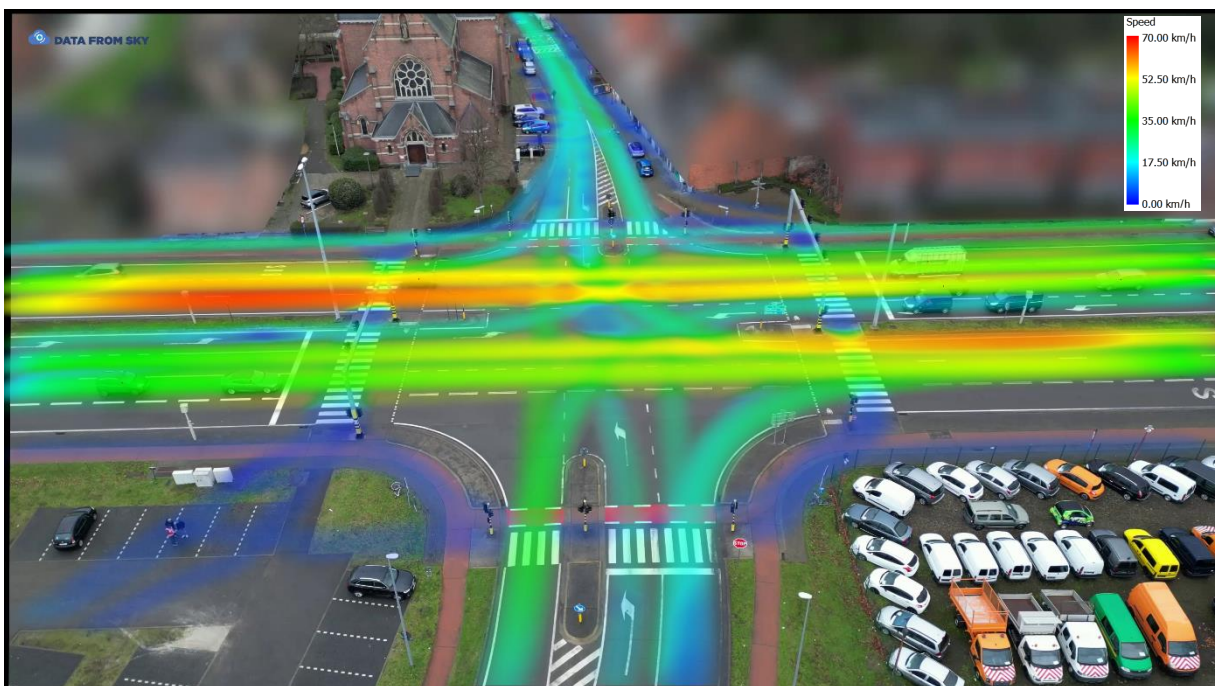
Figuur B1 Heatmap met de gemiddelde snelheden van het verkeer tijdens vlucht 1.



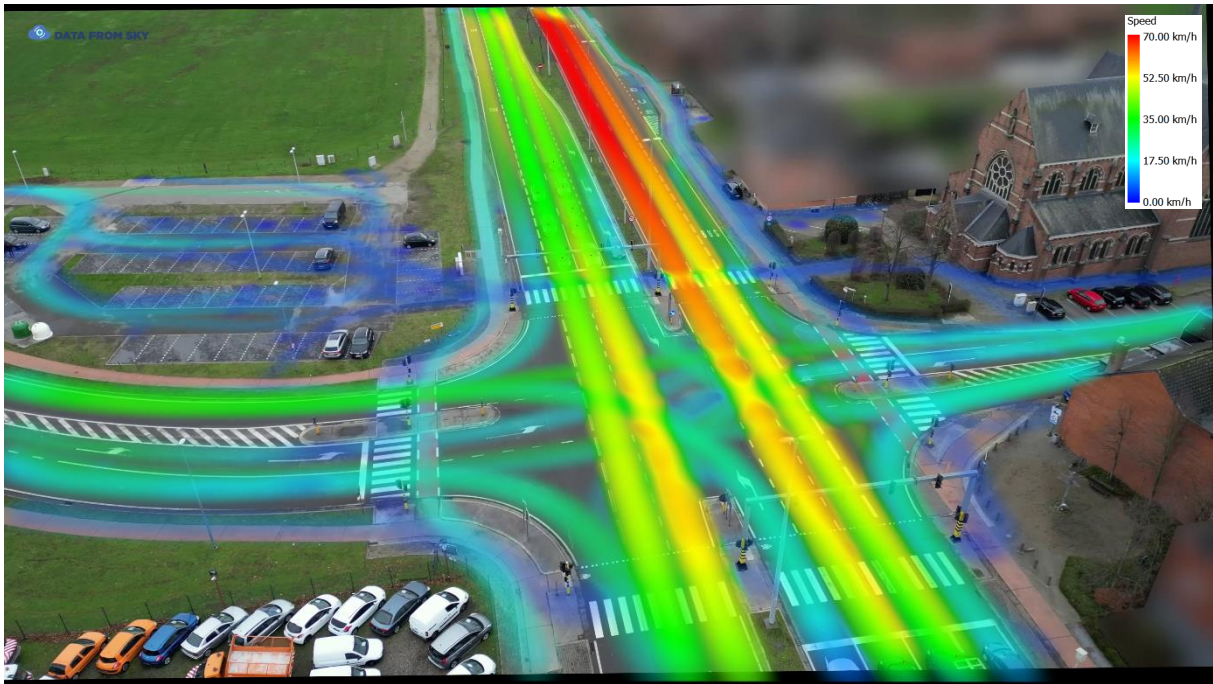
Figuur B2 Heatmap met de gemiddelde snelheden van het verkeer tijdens vlucht 2.



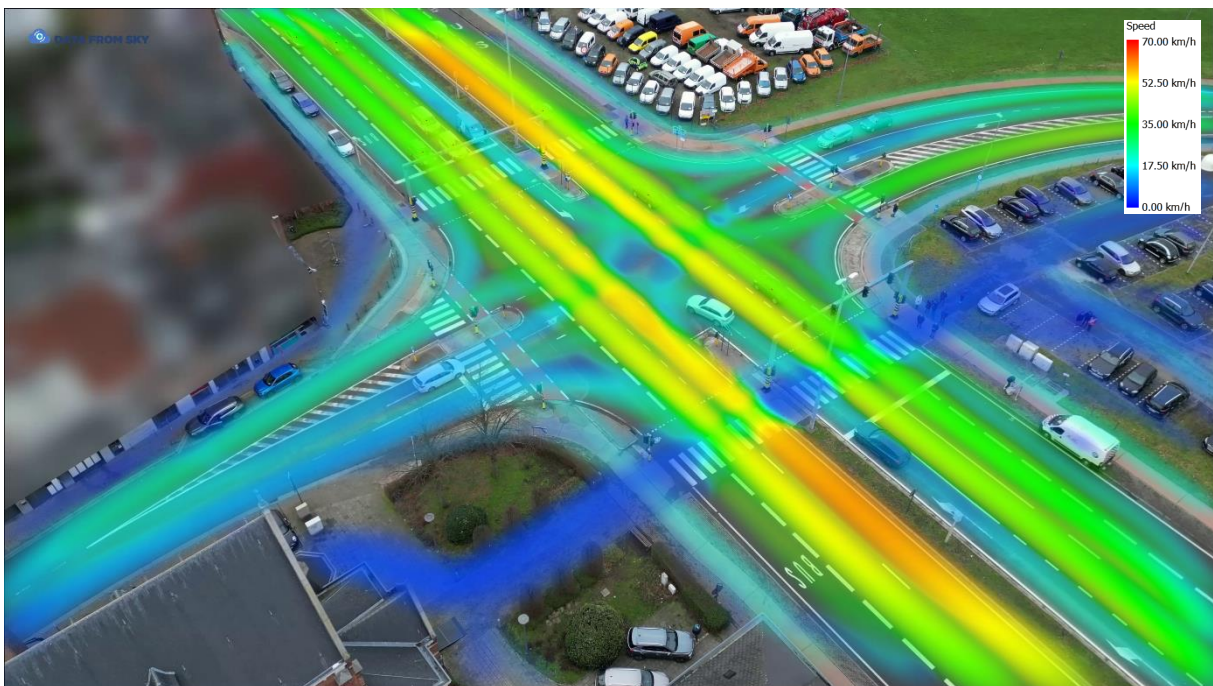
Figuur B3 Heatmap met de gemiddelde snelheden van het verkeer tijdens vlucht 3.



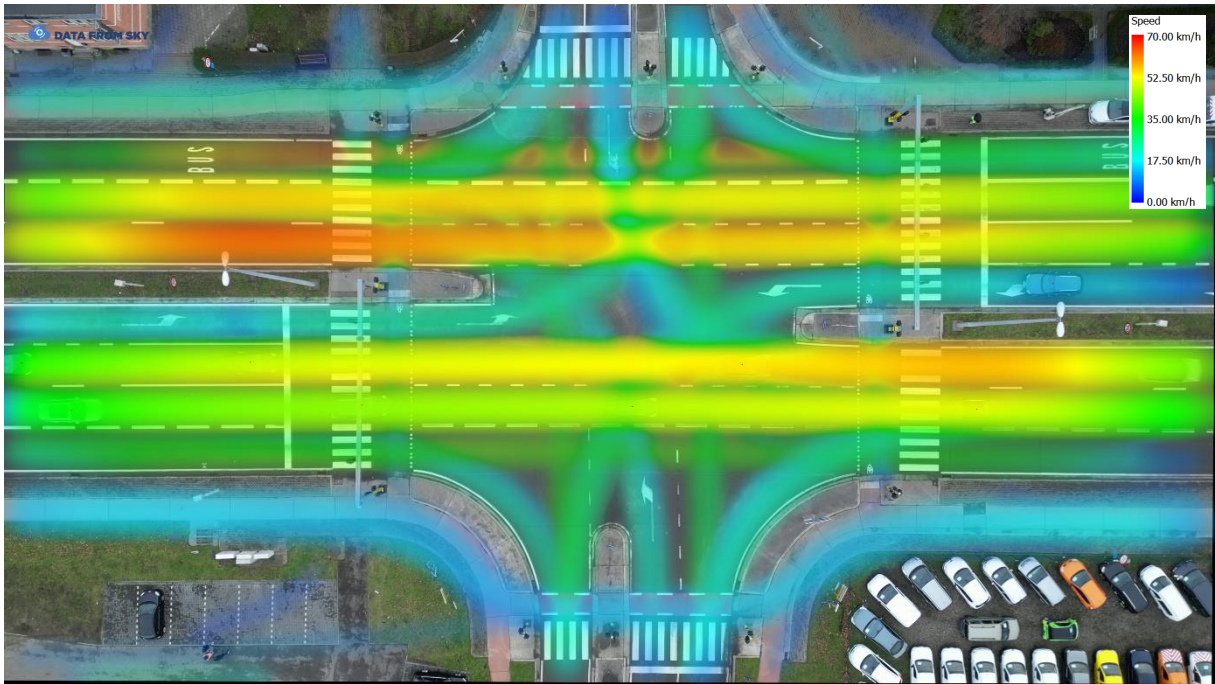
Figuur B4 Heatmap met de gemiddelde snelheden van het verkeer tijdens vlucht 4.



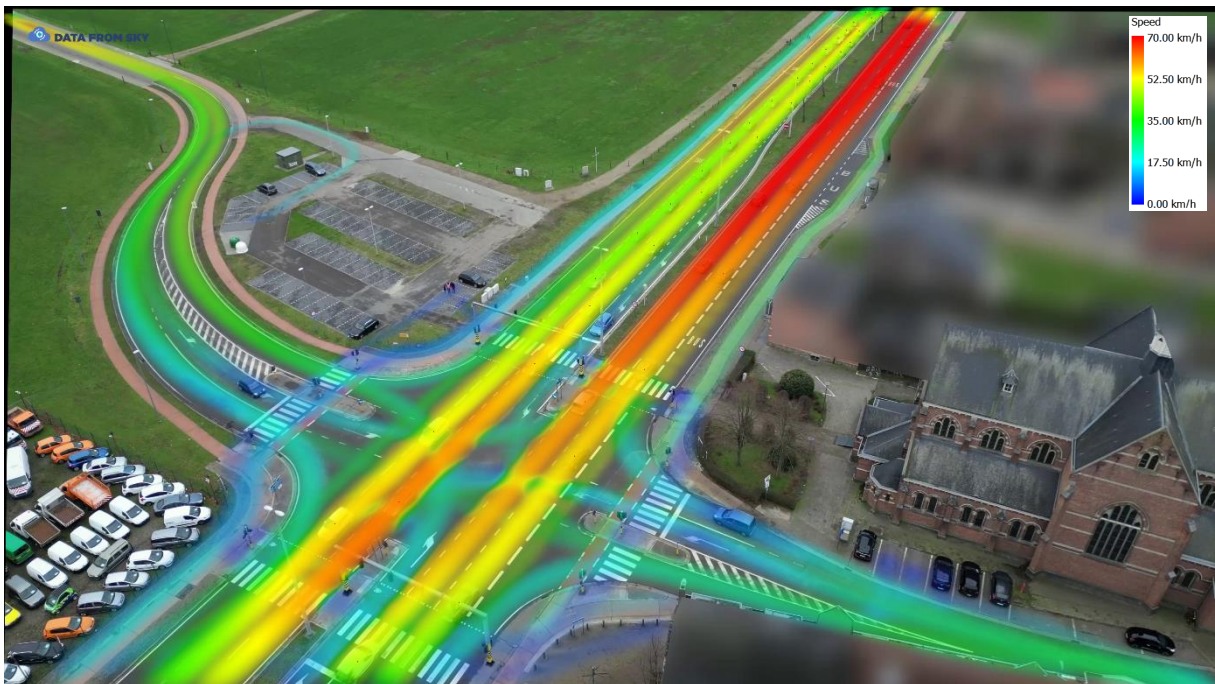
Figuur B5 Heatmap met de gemiddelde snelheden van het verkeer tijdens vlucht 5.



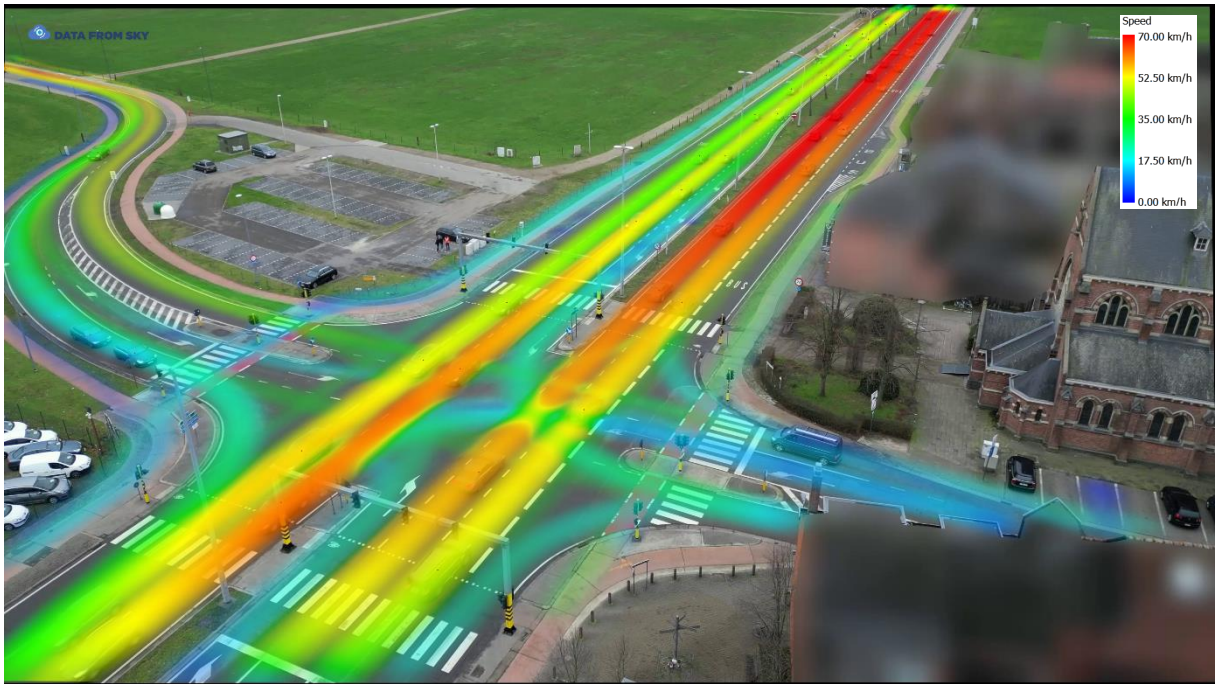
Figuur B6 Heatmap met de gemiddelde snelheden van het verkeer tijdens vlucht 6.



Figuur B7 Heatmap met de gemiddelde snelheden van het verkeer tijdens vlucht 7.

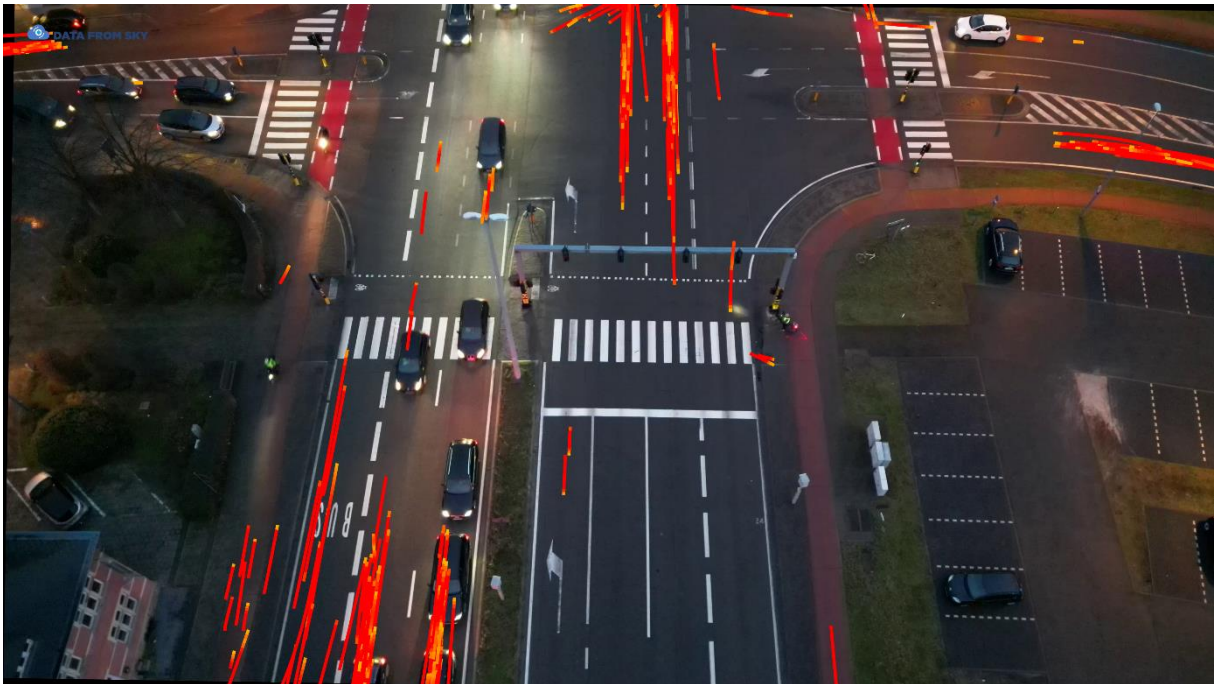


Figuur B8 Heatmap met de gemiddelde snelheden van het verkeer tijdens vlucht 8.



Figuur B9 Heatmap met de gemiddelde snelheden van het verkeer tijdens vlucht 9.

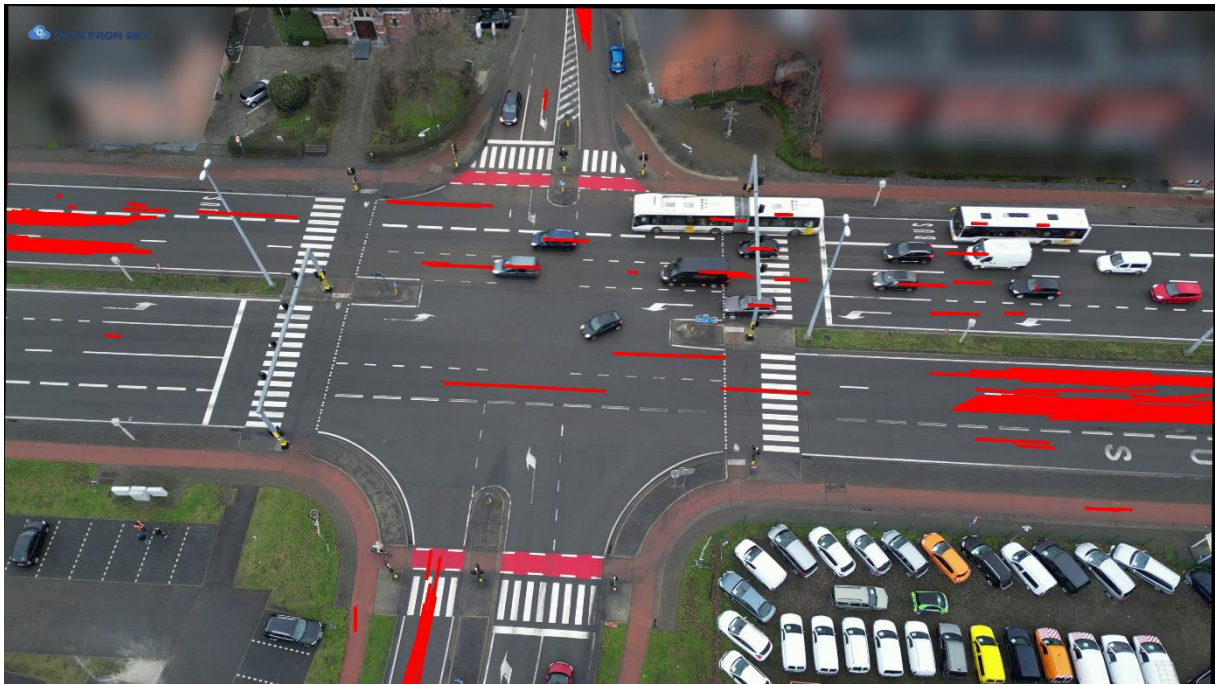
12.4 Heavy braking



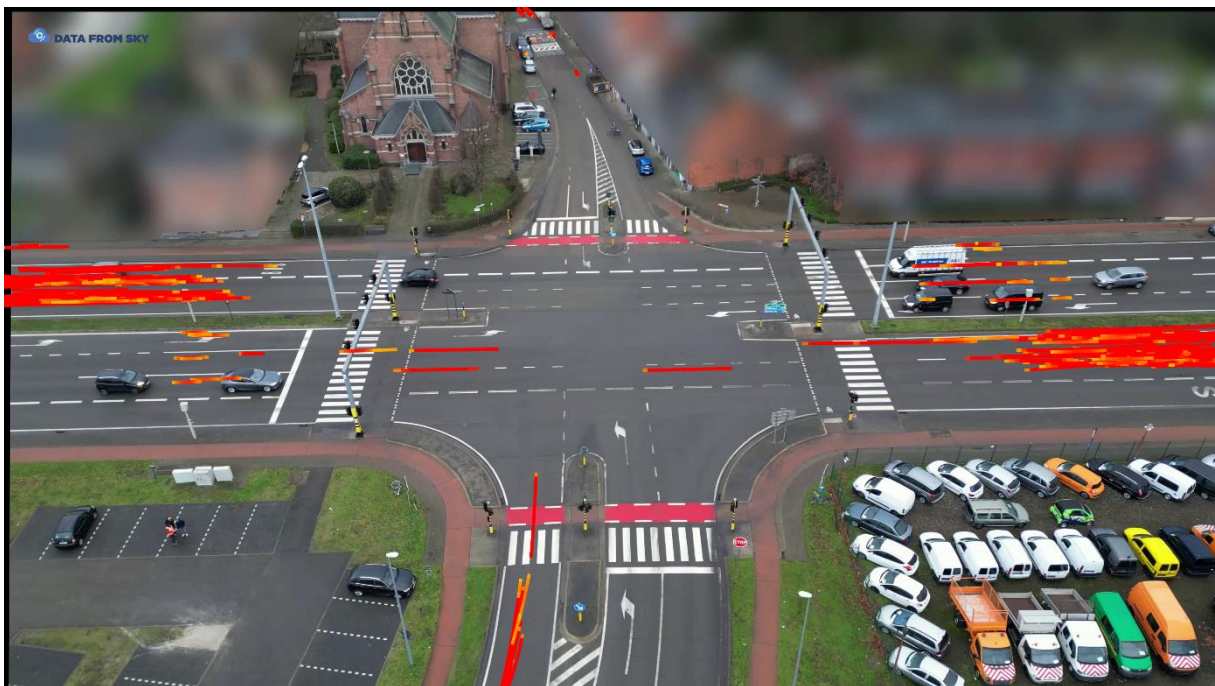
Figuur B10 Overzicht van alle momenten waarop weggebruikers tijdens vlucht 1 sterk afremmen.



Figuur B11 Overzicht van alle momenten waarop weggebruikers tijdens vlucht 2 sterk afremmen.



Figuur B12 Overzicht van alle momenten waarop weggebruikers tijdens vlucht 3 sterk afremmen.



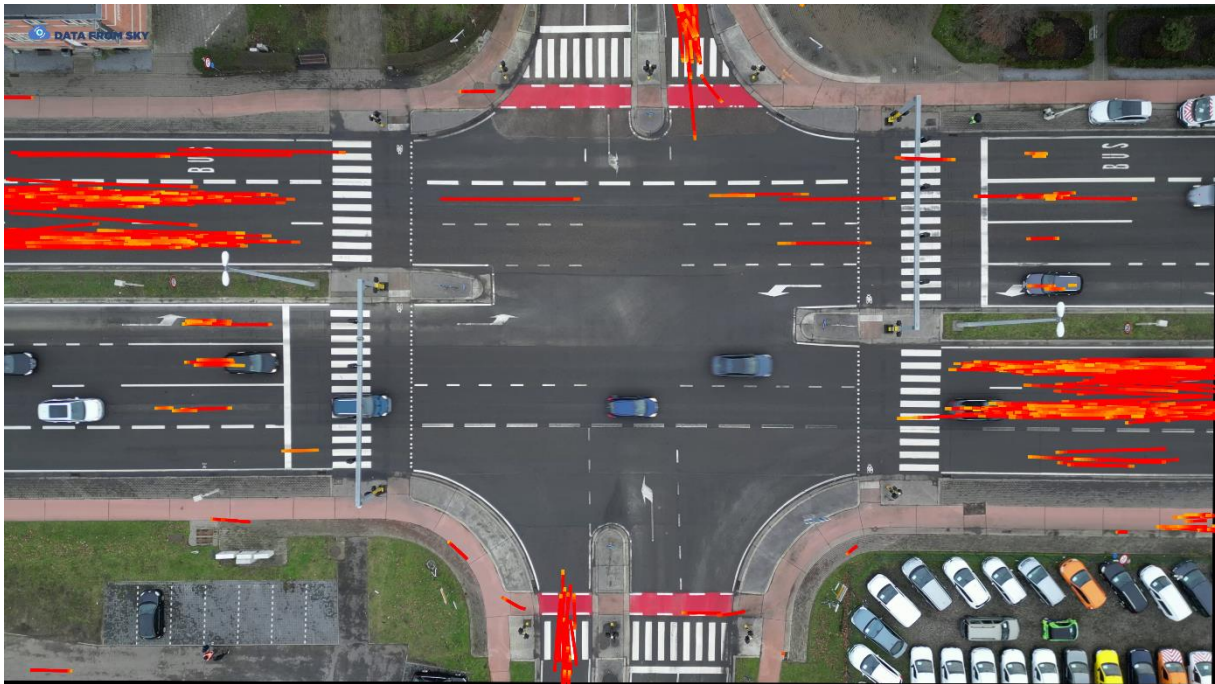
Figuur B13 Overzicht van alle momenten waarop weggebruikers tijdens vlucht 4 sterk afremmen.



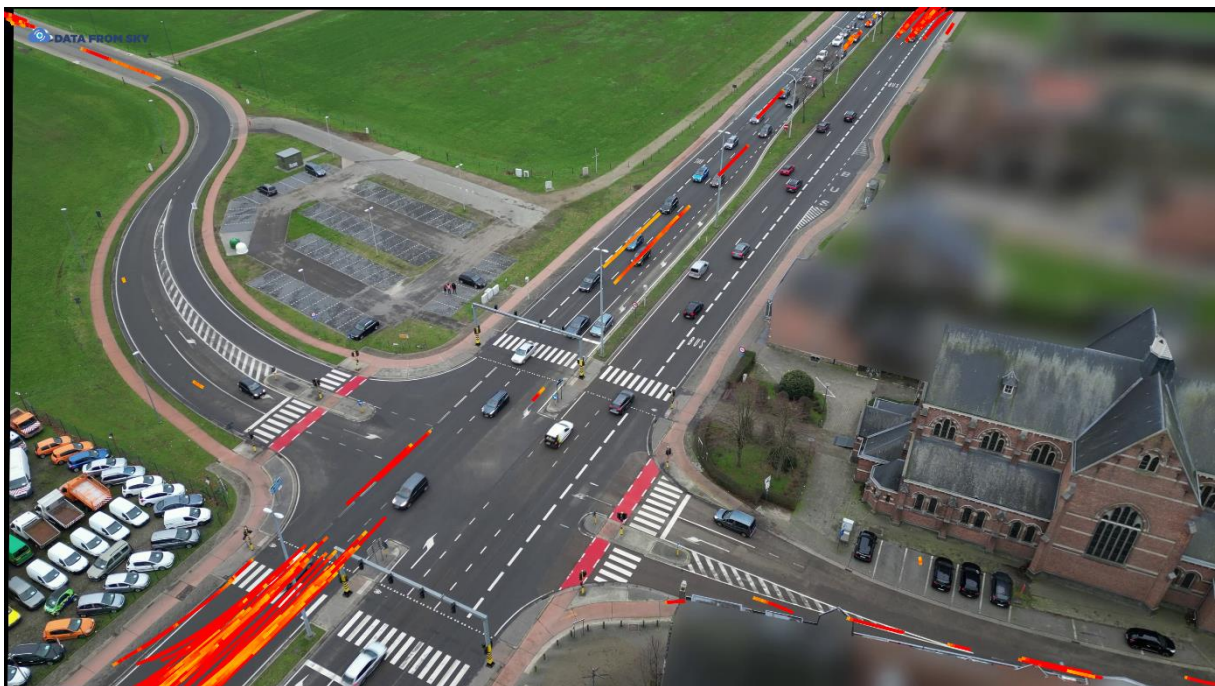
Figuur B14 Overzicht van alle momenten waarop weggebruikers tijdens vlucht 5 sterk afremmen.



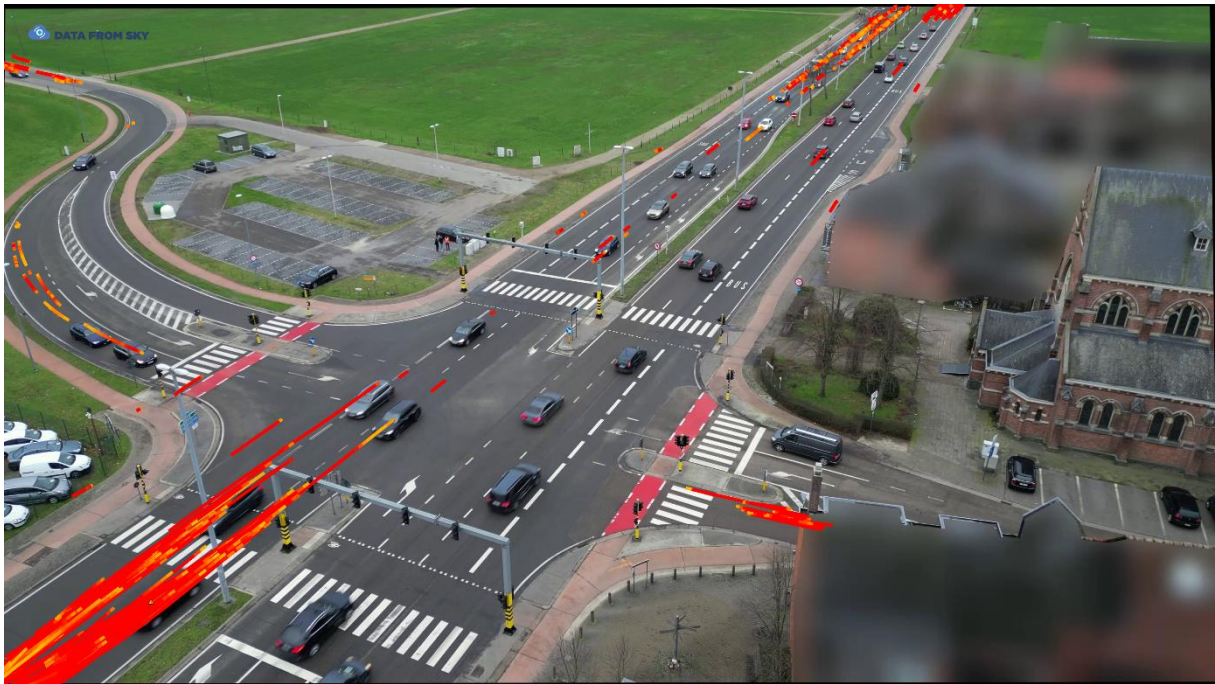
Figuur B15 Overzicht van alle momenten waarop weggebruikers tijdens vlucht 6 sterk afremmen.



Figuur B16 Overzicht van alle momenten waarop weggebruikers tijdens vlucht 7 sterk afremmen.



Figuur B17 Overzicht van alle momenten waarop weggebruikers tijdens vlucht 8 sterk afremmen.



Figuur B18 Overzicht van alle momenten waarop weggebruikers tijdens vlucht 9 sterk afremmen.