www.uhasselt.be/imob

Instituut voor Mobiliteit | Universiteit Hasselt

Bezoekadres: Witte Kazerne | Maastrichterstraat 100 | 3500 Hasselt

Postadres: Martelarenlaan 42 | 3500 Hasselt

T: +32 (0)11 26 91 11 | E-mail: imob@uhasselt.be

Rapport

1 maart 2024

Verkeersveiligheidsonderzoek met privacy-by-design slimme camera's

Studie's in Pelt, Hasselt (Kiewit), Lummen en Maasmechelen

Auteurs

Wim Ectors (UHasselt, Instituut voor mobiliteit)
Thi Tran (UHasselt, Instituut voor mobiliteit)
Tom Brijs (UHasselt, Instituut voor mobiliteit)
Davy Janssens (UHasselt, Instituut voor mobiliteit)
Geert Wets (UHasselt, Instituut voor mobiliteit)

Contactpersoon voor dit rapport

Prof. dr. Tom Brijs
Tel. +32 (0)11 26 55
E-mail: tom.brijs@uhasselt.be

Inhoudstafel

1 Abstract 6
2 Inleiding 6
2.1 Conflictdetectie 6
2.2 Pelt 8
2.3 Hasselt (Kiewit) 10
2.4 Maasmechelen 13
2.5 Lummen 15
2.6 Lanaken 17
3 Aanpak 21
3.1 Procesflow 22
3.2 Timing van de observaties 27
3.3 Conflictindicatoren 28
3.3.1 Minimum Time-To-Collision (TTCmin) 28
3.3.2 Post-Encroachment Time (PET) 29
3.3.3 DeltaV 30
4 Validatie berekende trajecten 32
4.1 Pelt 32
4.2 Hasselt (Kiewit) 33
4.2.1 Bijkomende drone analyse 33
5 Verkeersmetingen 35
5.1 Pelt 35
5.1.1 Zone-gebaseerde analyses 35
5.1.2 Gate-gebaseerde analyses 36
5.2 Hasselt (Kiewit) 39
5.2.1 Zone-gebaseerde analyses 39
5.2.2 Gate-gebaseerde analyses 41
6 Analyse conflictindicatoren 46
6.1 Pelt 46
6.1.1 Samenvattende infographics 47
6.1.2 Alle weggebruikers 49
6.1.3 Met betrokken actieve weggebruikers 51
6.1.4 Met strikt 1 actieve weggebruiker betrokken 53
6.1.5 Met zwaar verkeer betrokken 54
6.1.6 Tussen zwaar verkeer en actieve weggebruikers 55
6.2 Hasselt (Kiewit) 56

6.2.1 Samenvattende infographics 57
6.2.2 Alle weggebruikers 59
6.2.3 Met betrokken actieve weggebruikers 61
6.2.4 Met strikt 1 actieve weggebruiker betrokken 62
6.2.5 Tussen zwaar verkeer en actieve weggebruikers 66
6.3 Maasmechelen 68
6.3.1 Samenvattende infographics 69
6.3.2 Alle weggebruikers 71
6.3.3 Met betrokken actieve weggebruikers 72
6.3.4 Met strikt 1 actieve weggebruiker betrokken 73
6.3.5 Tussen zwaar verkeer en actieve weggebruikers 74
6.3.6 Onregelmatig en/of onveilig gedrag 75
6.4 Lummen 80
6.4.1 Samenvattende infographics 82
6.4.2 Alle weggebruikers 85
6.4.3 Met betrokken actieve weggebruikers 86
6.4.4 Met strikt 1 actieve weggebruiker betrokken 88
6.4.5 Tussen zwaar verkeer en actieve weggebruikers 89
6.4.6 Onregelmatig en/of onveilig gedrag 91
7 Illustratieve video's van verkeersonveilig gedrag 96
8 Oplossingsrichtingen 98
8.1 Pelt 98
8.2 Hasselt (Kiewit) 98
8.3 Lummen 98
8.4 Maasmechelen 99
9 Uitdagingen tijdens het project 100
9.1 Uitdagingen in het ontwikkelingsstadium 100
9.1.1 Detectie weggebruikers via YOLO object detectie algoritme 100
9.1.2 Locatiebepaling gedetecteerde object a.d.h.v. bounding box 104
9.1.3 Geo-kalibratie vertaalt de pixel coördinaten naar een wereldcoördinaten assenstelsel 104
9.1.4 Matching objectdetecties uit de twee camera's 105
9.1.5 3D-wireframe model fitting en trajectsamenstelling 105
9.2 Praktische uitdagingen 106
9.2.1 Locatiebepaling van de edge camerasystemen 106
9.2.2 Hardware- en software problemen 106
9.3 Organisatorische uitdagingen 106
10 Aanbevelingen vervolgonderzoek 107
10.1 Evaluatie van de gebruikte kalibratiemethode 107
10.2 Relaxatie van bepaalde vereisten 107
10.3 Nieuwe AI modellen 107

11 Referenties 108

1 Abstract

Het Instituut voor Mobiliteit (IMOB) van Universiteit Hasselt heeft een grote expertise ontwikkeld op het gebied van verkeersveiligheid. Dit heeft geleid tot de ontwikkeling van een door AI ingeschakeld platform dat helpt bij het analyseren van videobeelden van openbare wegkruispunten om automatisch de types en het aantal conflicten tussen verschillende weggebruikers in kaart te brengen, evenals het verzamelen van andere verkeers-gerelateerde informatie zoals snelheden, stromen, enzovoort. Dit systeem biedt waardevolle inzichten in verkeersveiligheid door verkeersconflicten te monitoren voordat er ongevallen plaatsvinden. Privacy heeft prioriteit, en er is een privacy-by-design benadering aangenomen. Huidige methoden vereisen te veel handmatige verwerking en daarom lange verwerkingstijden, wat de gewenste schaalbaarheid verhindert. De softwaretoepassing is echter ontworpen om (sneller dan) real-time te werken, waarbij de uitvoeringssnelheid van verschillende componenten wordt geoptimaliseerd. Het platform is ontwikkeld in samenwerking met onderaannemers CEGEKA (AI, management software) en Citymesh (camera edge toestel en diens plaatsing).

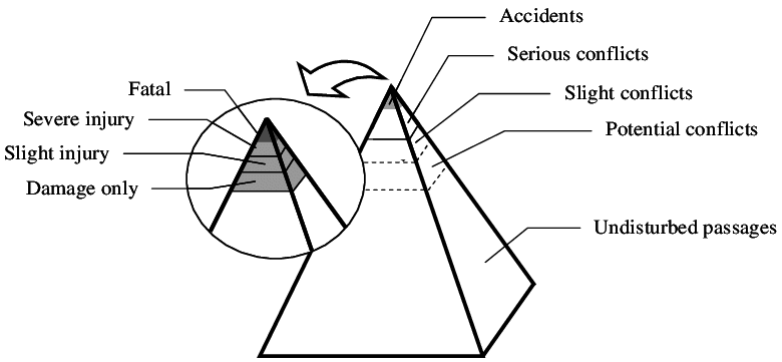
2 Inleiding

Dit rapport beschrijft de primaire resultaten uit een verkeersveiligheidsonderzoek met een innovatieve, privacy-by-design opstelling van twee slimme camera's per studiegebied in Pelt, Hasselt (Kiewit), Maasmechelen en Lummen. Het oorspronkelijk geplande vijfde studiegebied in Lanaken werd aan de hand van een drone observatie geanalyseerd. De studie kadert binnen het onderzoeksproject STRIKE (SubjecTieve veRkeersveiligheid Innovatief aanpaKken en vErbeteren) van UHasselt binnen het initiatief MIA (Mobiliteit Innovatief Aanpakken) van minister Lydia Peeters.

In dit onderzoeksproject worden aan de hand van 3 complementaire deelprojecten tools ontwikkeld om gepercipieerde verkeersonveiligheid in kaart te brengen en te objectiveren. In het eerste deelproject werd een GIS-gebaseerd burgerparticipatieplatform verkeersonveiligheid ontwikkeld. In het tweede deelproject werd een methodiek ontwikkeld om op basis van drones een zoveel mogelijk geautomatiseerde verkeersveiligheidsanalyse te maken op een locatie. Het derde deelproject omvat de ontwikkeling van een geautomatiseerd softwareplatform voor gedrags- en conflictobservatie op basis van camera's. De gerapporteerde resultaten zijn deze van het derde deelproject.

2.1 Conflictdetectie

In dit deelproject van het MIA STRIKE project wordt een automatisch, privacy-by-design conflictdetectiesysteem ontwikkeld voor een proactieve aanpak van verkeersonveilige situaties. Het is opgebouwd rond de centrale theorie dat de detectie van conflicten, die (afhankelijk van de ernstgraad veelvuldig voorkomen, zie Figuur 1) door middel van conflictindicatoren richtinggevend zijn naar potentiele ongevalmechanismen. Door deze mechanismen te bestuderen zonder dat er eerst ongevallen moeten plaatsvinden kan men proactief maatregelen nemen om conflictsituaties te vermijden, en dus ook ongevalsrisico's te reduceren.



Figuur 1: Theoretisch framework van de veiligheidspiramide van Hyden (Hyden, 1987)

Zoals hieronder in meer detail besproken gebruiken we een stereoscopische opstelling van twee camera's per locatie om het verkeer in beeld te brengen en conflictindicatoren te kunnen berekenen. Dit concept is niet nieuw; er bestaan software tools zoals het state-of-the-art T-Analyst framework[1] (zie ook Figuur 2), ontwikkeld door Lund University in Zweden. Deze tool vergt echter een substantiële tijdsinvestering: om 6u aan videomateriaal te analyseren is er minstens 24u aan manueel werk te verrichten, en dit voor telkens 1 paar van weggebruikers in het beeld. Dit is een belangrijk nadeel dat de inzet van deze techniek in de praktijk sterk bemoeilijkt.

Figuur 2: Screenshot van de T-Analyst tool

Dit deelproject experimenteert daarom met nieuwe technologie om dit te remediëren. Meer specifiek werd een systeem ontwikkeld op basis van slimme camera's met ingebouwde beeldanalysemogelijkheden in combinatie met algoritmes voor conflictdetectie. Als onderdeel van de MIA proeftuin Limburg werden telkens twee camerasystemen in een stereoscopische opstelling geïnstalleerd op vier locaties in Limburg om een proactieve verkeersveiligheidsevaluatie uit te voeren.

Het project automatiseert bovendien de verschillende stappen van datacollectie, -verwerking en -rapportage. Dit omvat o.a.

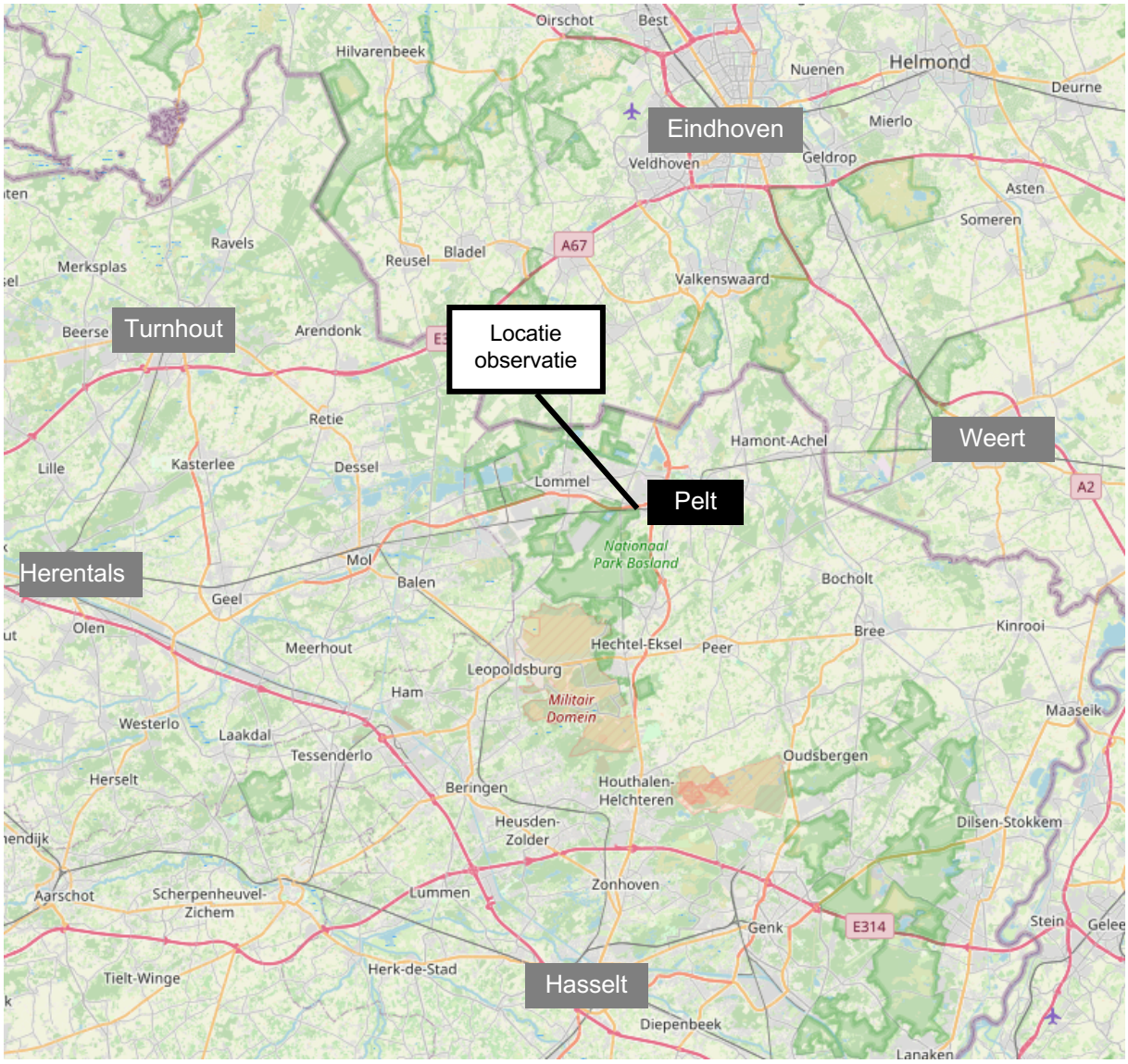
[1] https://bitbucket.org/TrafficAndRoads/tanalyst/wiki/Home
en
https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5c2c9951c&appId=PPGMS

- het observeren met behulp van videobeelden van 2 camera's per locatie;
- het detecteren van objecten in de beelden;
- het classificeren van deze objecten naar verschillende soorten weggebruikers (bijv. voetgangers, fietsers, auto's, vrachtwagens, enz.);
- het 'traceren' van deze weggebruikers (in tijd en ruimte) in het camerabeeld;
- het opstellen van routes en nauwkeurige dimensies van de weggebruikers in de 3D-ruimte op basis van het stereoscopische zicht van 2 camera's;
- het berekenen van surrogaatindicatoren om de waarschijnlijkheid en ernst van de interactie tussen de verschillende weggebruikers te objectiveren;
- het classificeren van het type interactie en het schrijven van deze informatie in een database die eenvoudig geraadpleegd kan worden via een webinterface;

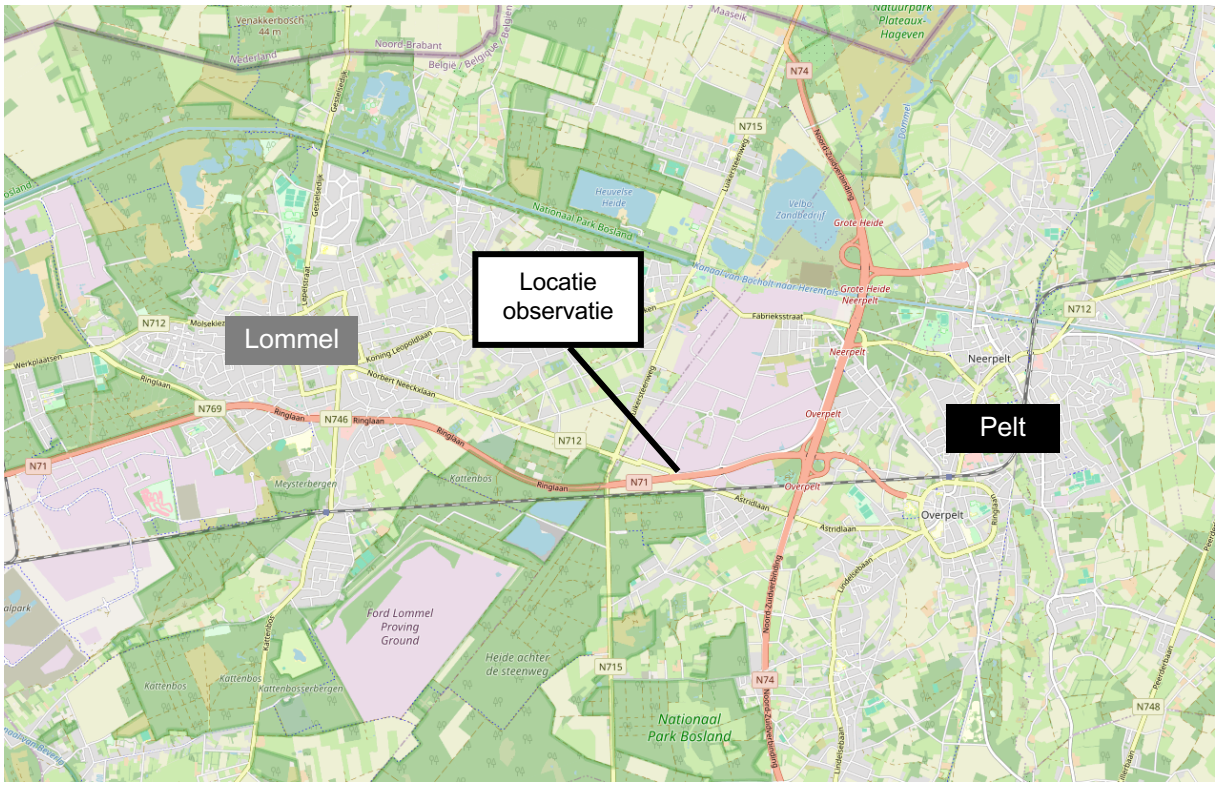
Deze webinterface synthetiseert de belangrijkste resultaten op een eenvoudige manier en laat stakeholders toe om snel inzicht te krijgen in de probleemgebieden van de betreffende locatie op het gebied van verkeersveiligheid.

De locaties in deze studie werden bepaald in overleg tussen het Agentschap Wegen en Verkeer (AWV) en het UHasselt projectteam, en situeert zich zoals verduidelijkt in sectie 2.2 t.e.m. 2.6.

2.2 Pelt



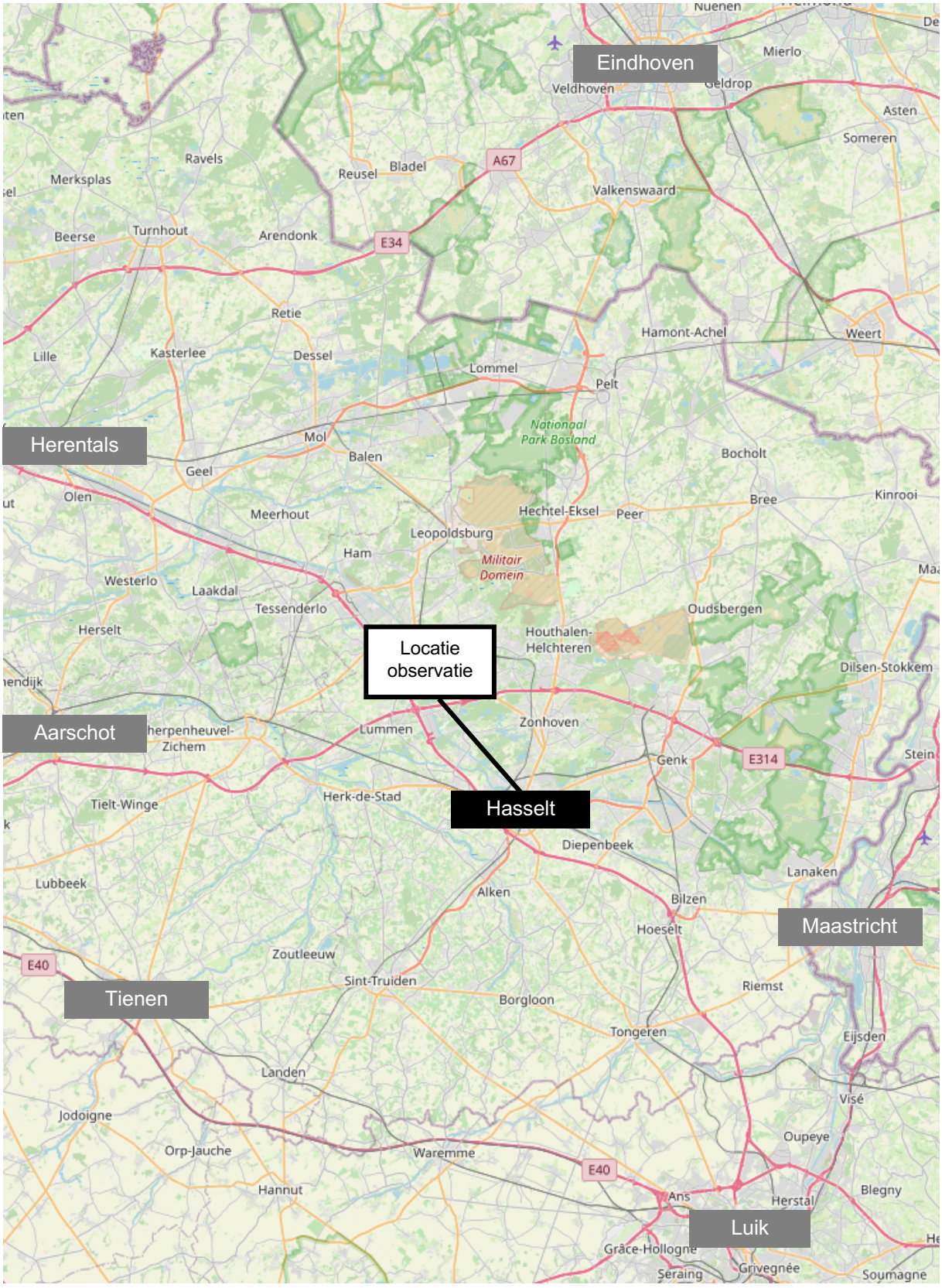
Figuur 3: Locatiebeschrijving op macroniveau van de locatie in Pelt



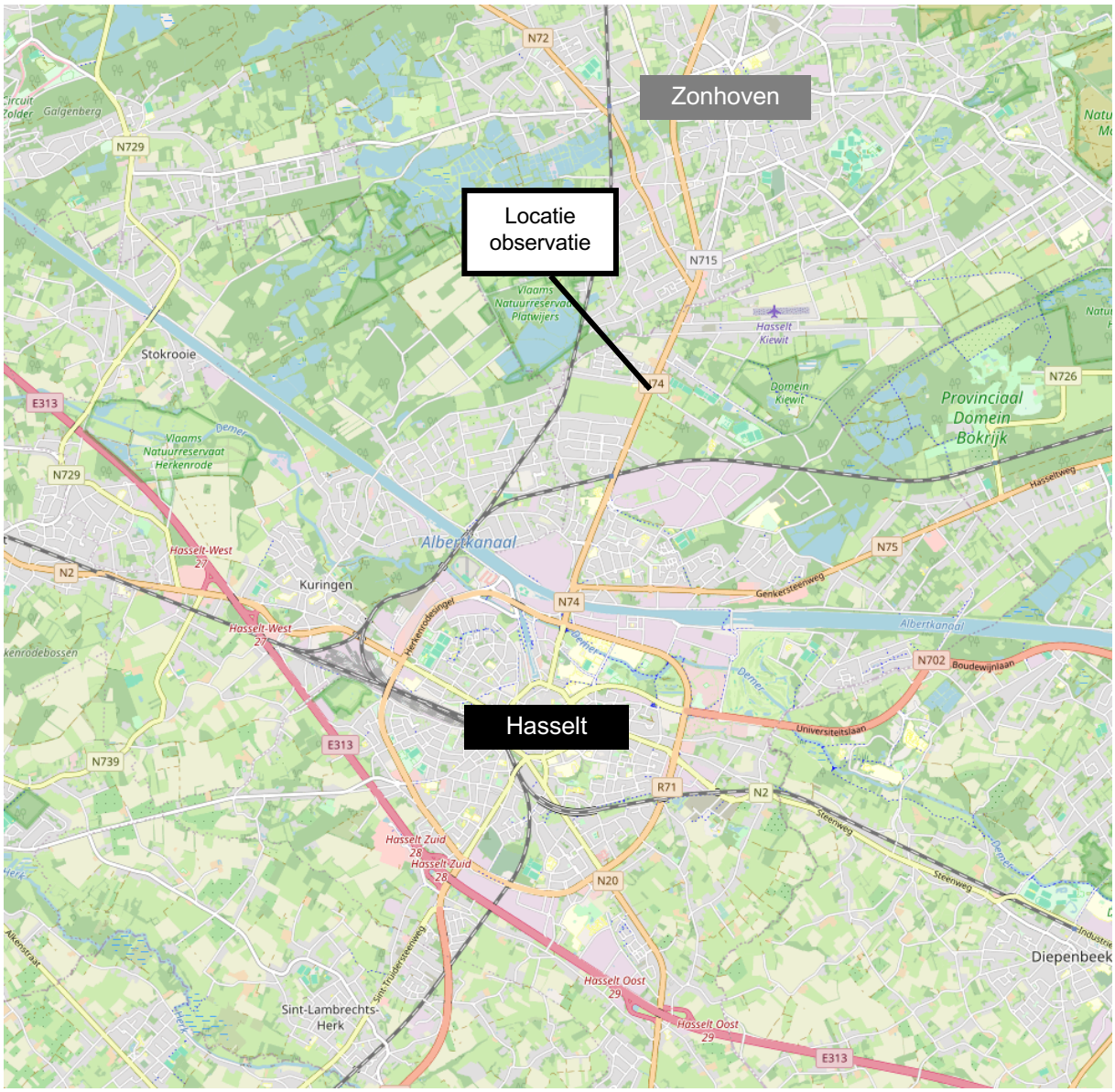
Figuur 4: Locatiebeschrijving op mesoniveau van de locatie in Pelt

Figuur 5: Locatiebeschrijving op microniveau van de locatie in Pelt

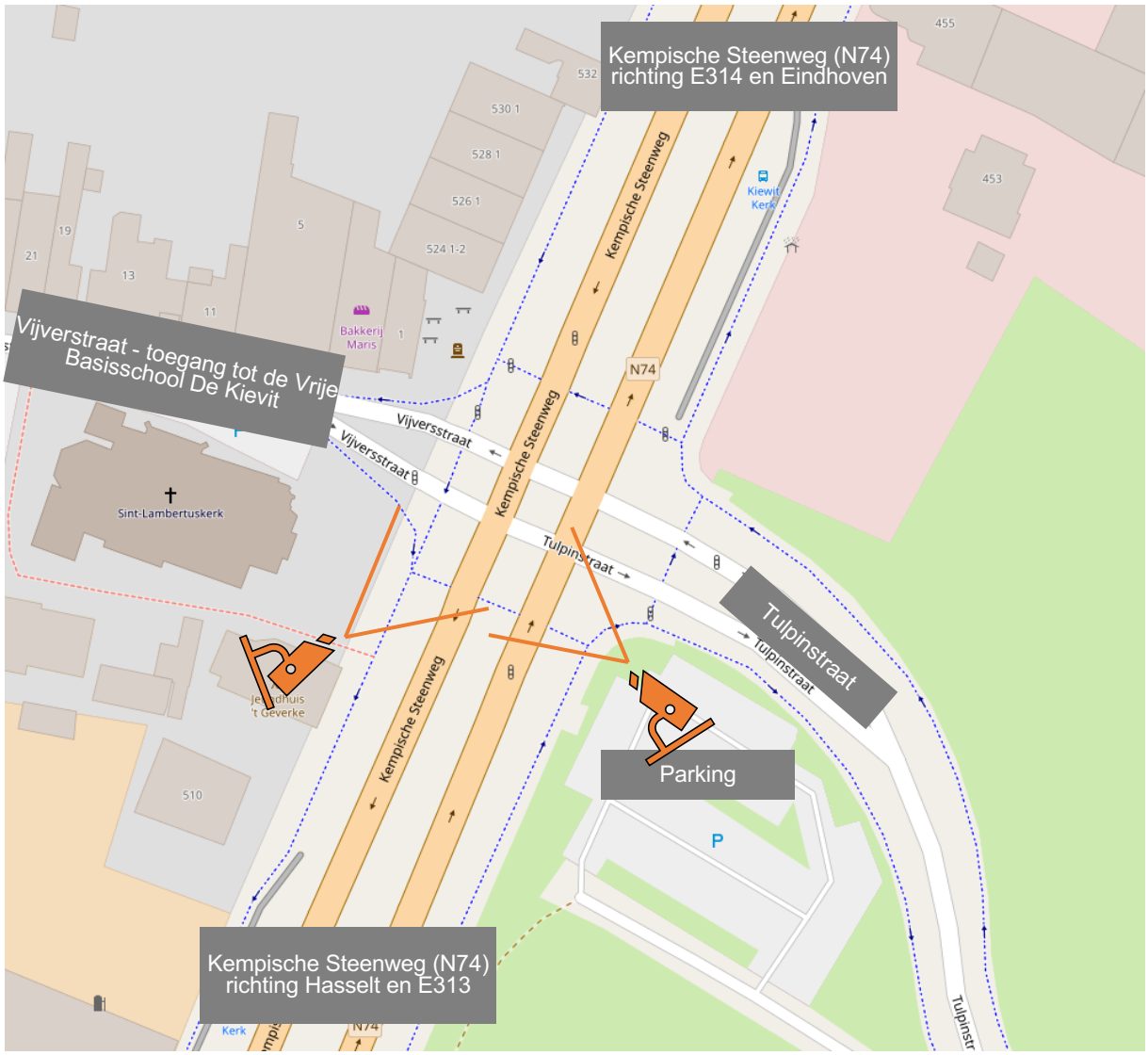
2.3 Hasselt (Kiewit)



Figuur 6: Locatiebeschrijving op macroniveau van de locatie in Hasselt (Kiewit)

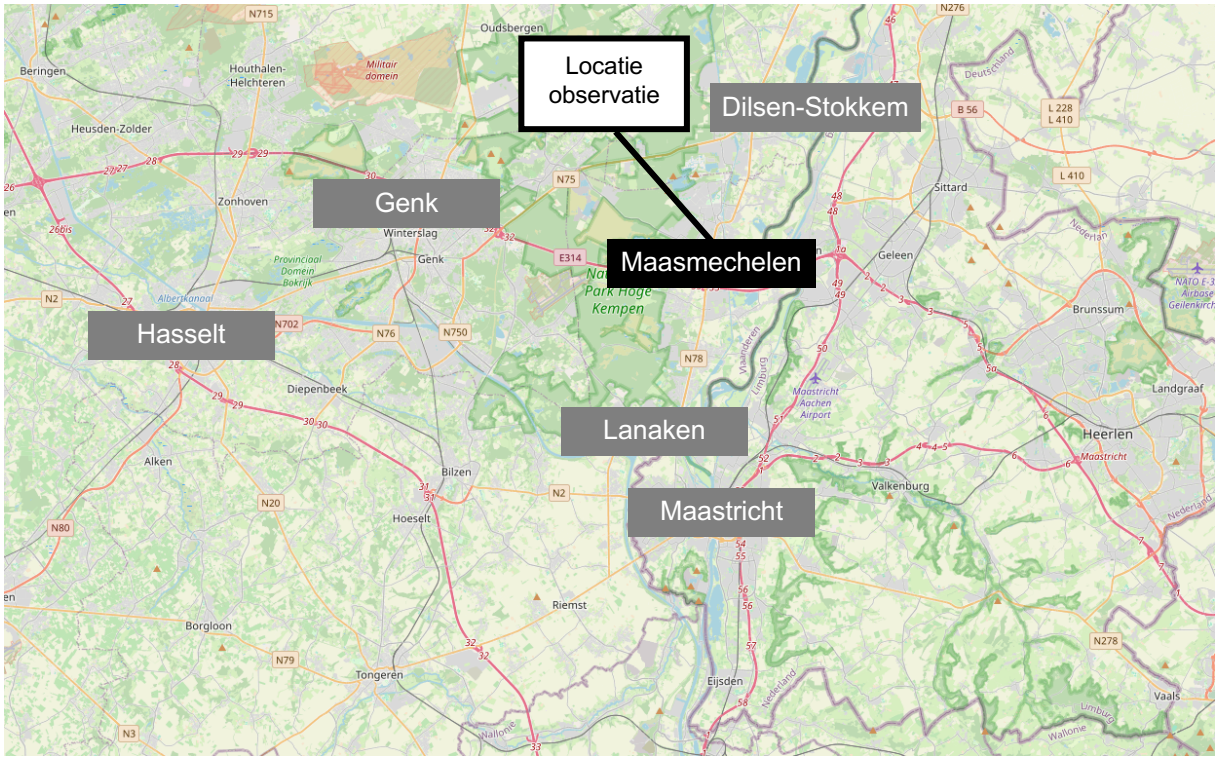


Figuur 7 : Locatiebeschrijving op mesoniveau van de locatie in Hasselt (Kiewit)



Figuur 8: Locatiebeschrijving op microniveau van de locatie in Hasselt (Kiewit)

2.4 Maasmechelen

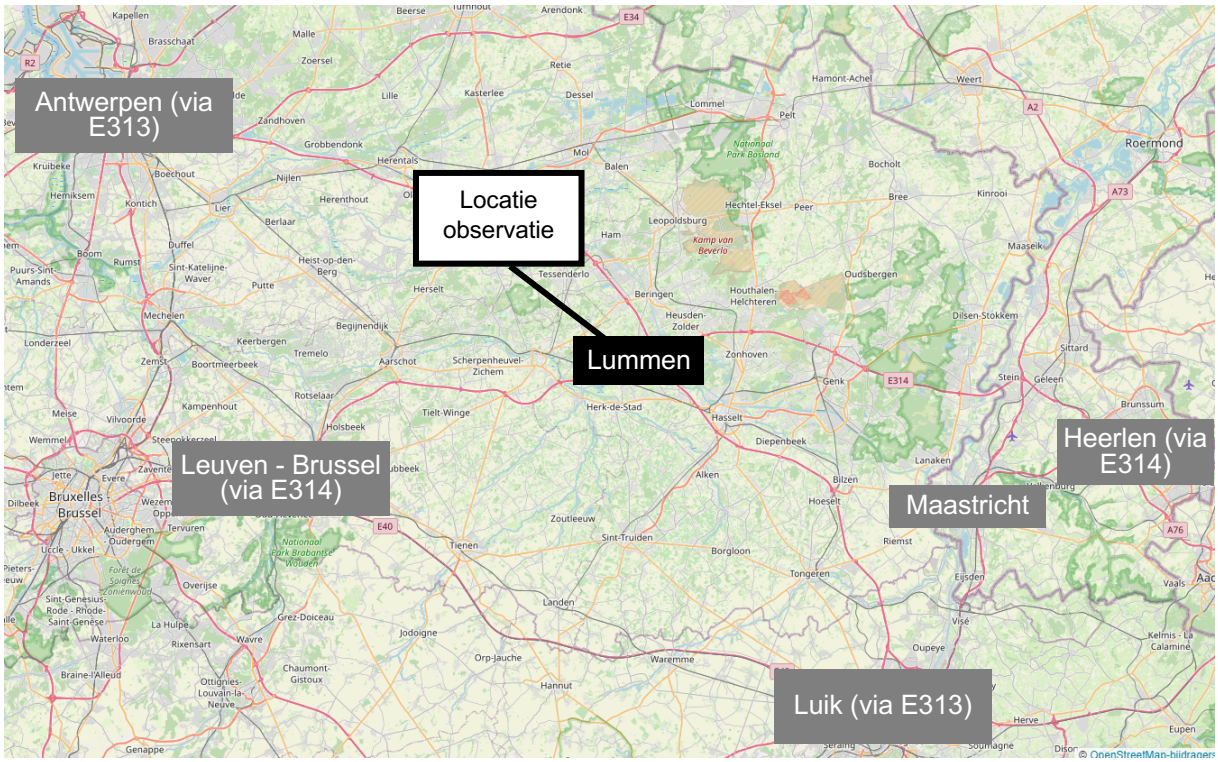


Figuur 9: Locatiebeschrijving op macroniveau van de locatie in Maasmechelen

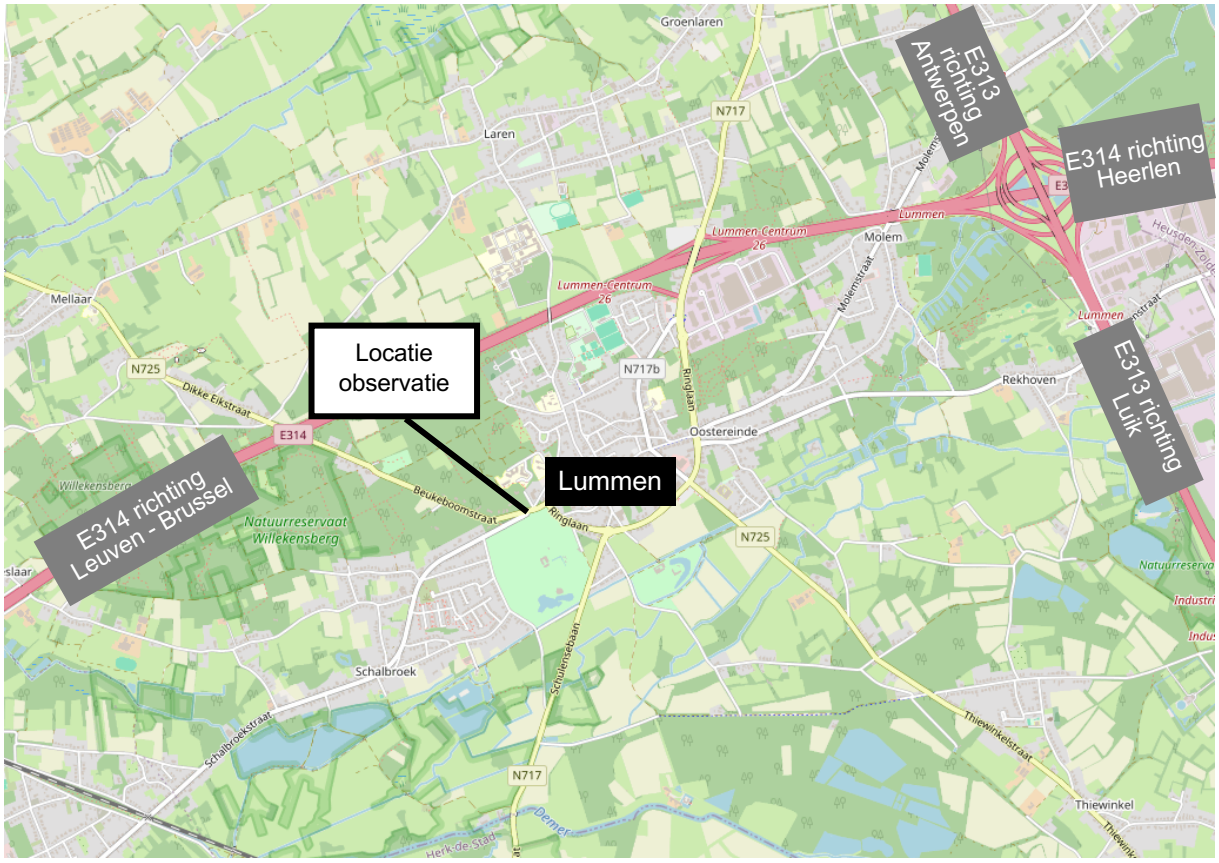
Figuur 10: Locatiebeschrijving op mesoniveau van de locatie in Maasmechelen

Figuur 11: Locatiebeschrijving op microniveau van de locatie in Maasmechelen

2.5 Lummen



Figuur 12: Locatiebeschrijving op macroniveau van de locatie in Lummen



Figuur 13: Locatiebeschrijving op mesoniveau van de locatie in Lummen

Figuur 14: Locatiebeschrijving op microniveau van de locatie in Lummen

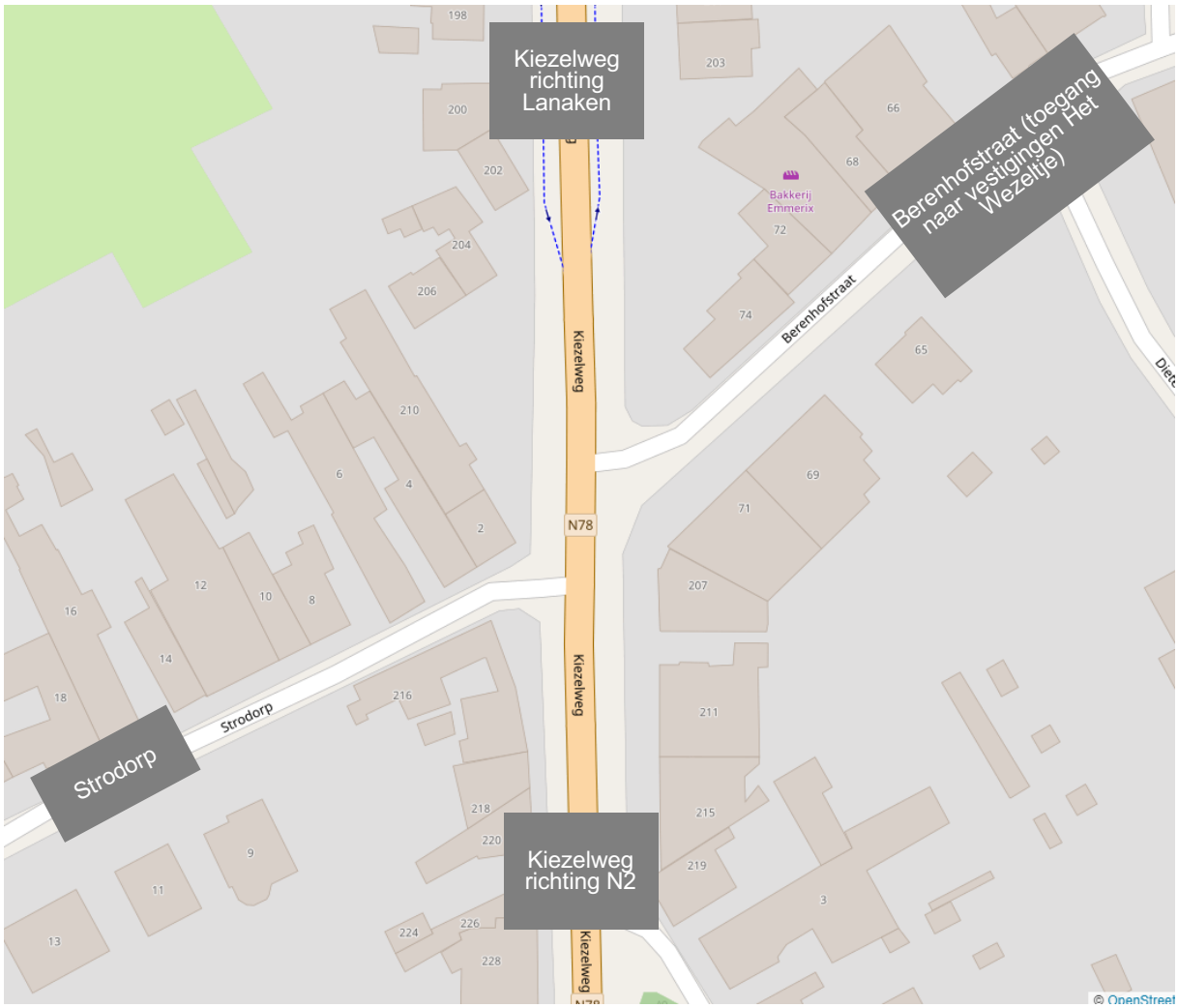
2.6 Lanaken

Het oorspronkelijk geplande vijfde studiegebied binnen deelproject 3 bevindt zich in Lanaken op een kruising van een gekende schoolroute met de drukke Kiezelweg. De locatie werd, zoals eerder aangehaald, uiteindelijk aan de hand van een drone observatie geanalyseerd in de plaats van een opstelling van 2 of 3 slimme camera's. Deze resultaten werden via een apart rapport toegelicht.

Na een eerste plaatsbezoek werd immers duidelijk dat dit studiegebied moeilijk in kaart te brengen zou zijn met vaste camera's door een combinatie van de grootte van het studiegebied, de beschikbare infrastructuur om slimme camera's op hoogte aan te bevestigen, en de beschikbare elektriciteitsvoorzieningen om de systemen te voeden gedurende meerdere weken. Een installatieplan werd opgemaakt dat gebruik maakt van 3 slimme camera's, maar na grote inspanningen waarbij alle stakeholders betrokken werden (het Agentschap Wegen en Verkeer (AWV), gemeente Lanaken, Fluvius, buurtbewoners, Proximus…) kon er geen geschikte oplossing gevonden worden om de systemen te voeden en werd de studie met behulp van drones uitgevoerd conform deelproject 2. De uitdagingen die hier naar boven kwamen worden in meer detail besproken in hoofdstuk 9 *Uitdagingen tijdens het project*.

Figuur 15: Locatiebeschrijving op macroniveau

Figuur 16: Locatiebeschrijving op mesoniveau



Figuur 17: Locatiebeschrijving op microniveau

3 Aanpak

De eerste fase werd gekenmerkt door een ontwikkelingsstap en verschillende voorbereidende plaatsbezoeken. Nadat de camerasystemen en diens on-board software en bijhorende cloud software ontwikkeld waren, werden de eigenlijke observaties in voornoemde steden en gemeenten uitgevoerd. Hierbij werd een gefaseerd observatieplan opgesteld zodat na iedere observatie aanpassingen/verbeteringen zouden uitgevoerd kunnen worden.

Voorafgaand vond echter ook een uitgebreide GDPR-voorbereiding plaats (AVG - Algemene Verordening Gegevensbescherming). Er werd een DPIA (gegevensbeschermingseffectbeoordeling) uitgevoerd en verschillende mitigerende maatregelen werden in het ontwerp van de procesflow opgenomen. We informeerden via verschillende kanalen en brachten ook informatiebrieven aan in de directe omgeving van de camerasystemen zodat toevallige passanten geïnformeerd worden (Figuur 18).

DIT CAMERA OBSERVATIESYSTEEM BEBOET U NIET!

Verkeersveiligheidsonderzoek door Universiteit Hasselt

Contactgegevens

Primaire contactpersoon:
Dr. ir Wim Ectors
wim.ectors@uhasselt.be

Verwerkingsverantwoordelijke:
Prof. dr. Tom Brijs
tom.brijs@uhasselt.be

Data protection officer (DPO):
dpo@uhasselt.be

Verwerkingsdoeleinden

Onderzoek door het Instituut voor Mobiliteit (IMOB) van Universiteit Hasselt ter verbetering van de verkeersveiligheid door middel van automatische beeldherkenning.

Binnen het initiatief MIA (Mobiliteit Innovatief Aanpakken) van Vlaams minister Lydia Peeters werkt IMOB aan een proactieve detectie van verkeersonveilige situaties. Hierdoor kunnen risico's worden opgespoord nog voordat er slachtoffers vallen. Hiervoor wordt nieuwe cameratechnologie ingezet die gelijktijdig ook de privacy van de weggebruiker bewaart. Het systeem van 2 slimme camera's op dit kruispunt detecteert automatisch de positie van weggebruikers en verkeersonveilige situaties zonder dat de camerabeelden de camera verlaten. Enkel de beelden van de meest ernstige verkeersconflicten van de afgelopen 30 dagen kunnen door de onderzoekers manueel gedownload worden en, na aangezichten, nummerplaten, enz. onherkenbaar te hebben gemaakt, gebruikt worden om deze conflicten nader te onderzoeken.

Wettelijke grondslag

Dit onderzoek respecteert de Verordening (EU) 2016/679 (Algemene Verordening Gegevensbescherming: AVG, of GDPR) betreffende de bescherming van natuurlijke personen in verband met de verwerking van persoonsgegevens, alsook de Camerawet in een niet-besloten plaats.

De wettelijke grondslag om deze camerabeelden (persoonsgegevens) te verwerken is "algemeen belang" (wetenschappelijk onderzoek).

Rechten

U heeft het recht u te verzetten tegen deelname aan het onderzoek. De grondslag "algemeen belang" laat echter toe dat de reeds verzamelde gegevens nog verder gebruikt worden in het onderzoek. Vergaande maatregelen werden genomen om de privacy van weggebruikers te beschermen. In de mate dat dit technisch nog mogelijk is en dit het onderzoek niet schaadt, zal een vraag tot verwijdering van uw persoonsgegevens gerespecteerd worden.

Voor eventuele klachten of andere bezorgdheden omtrent de verwerking van persoonsgegevens kan u contact opnemen met de primaire contactpersoon (wim.ectors@uhasselt.be), alsook de functionaris voor gegevensbescherming / data protection officer van Universiteit Hasselt: dpo@uhasselt.be

Voor meer informatie kan u terecht op onze Privacyverklaring: https://www.uhasselt.be/nl/gebruiksvoorwaarden-privacy#anch-f7a-privacyverklaring

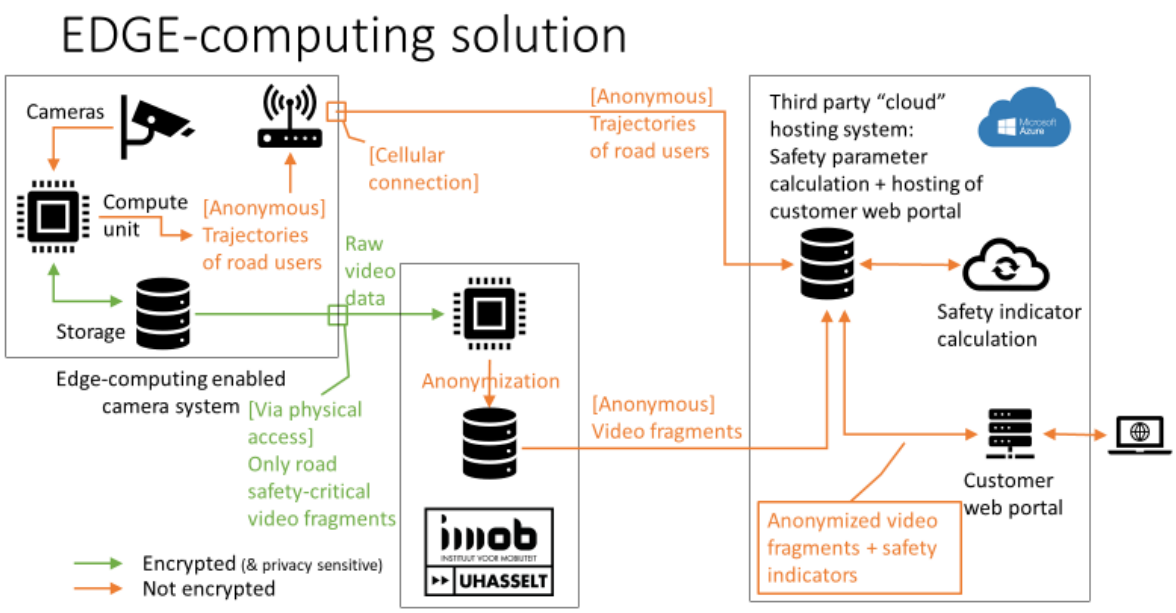
Bijkomende informatie

- Indien u in beeld komt, zullen algoritmes u automatisch classificeren volgens uw vervoerswijze (voetganger, fietser, auto,...). Er wordt geen andere categorisatie uitgevoerd. U wordt niet herkend indien u nadien opnieuw passeert.
- De camerabeelden worden gedurende max. 30 dagen beveiligd opgeslagen op het camerasysteem.
- Indien een selectie van de beelden het systeem verlaat (met name in het geval van een ernstig conflict) zullen persoonsgegevens zoals aangezichten, nummerplaten,... onherkenbaar gemaakt worden. De gemaskeerde (en hierdoor anonieme) beelden worden voor onderzoeksdoeleinden bewaard.

mia mobiliteit innovatief aanpakken

imob INSTITUUT VOOR MOBILITEIT UHASSELT

Figuur 18: Voorbeeld van een informatiebrief die in de directe omgeving van de camerasystemen werden aangebracht om passanten te informeren op een niet-intrusieve wijze om het verplaatsingsgedrag niet te beïnvloeden.



Figuur 19: schematische weergave van de datastromen met annotatie van privacy-kenmerken

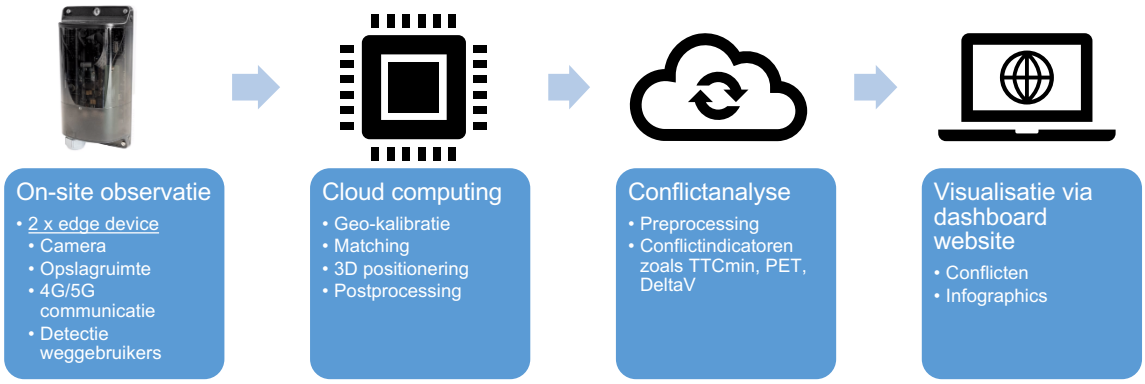
Verder in dit hoofdstuk leest u meer over het ontwerp van de procesflow, de timing van de observaties en meer detailinformatie over de conflictdetectie-algoritmen.

3.1 Procesflow

De procesflow werd in samenwerking met onderaannemer CEGEKA opgesteld. Belangrijke vereisten waren o.a.

- GDPR: bescherming van de privacy van de weggebruikers (privacy-by-design ontwerp)
- Real-time verwerking met minstens 10 frames per seconde (fps)
- Nauwkeurige positionering en schatting van de afmetingen van weggebruikers aan de hand van twee camera's
- Analyse van *alle* weggebruikers die in beeld verschijnen (niet slechts 1 paar zoals bij T-Analyst)
- Automatische verwerking
- Eenvoudige raadpleging van resultaten

Dit pakket van vereisten resulteerde in de procesflow van Figuur 20.



Figuur 20: Vereenvoudigde schematische weergave van de procesflow

Op iedere locatie worden twee camera edge systemen (een compact systeem dat een camera, boordcomputer met GPU, opslagruimte en een draadloze communicatiemodule bevat) gemonteerd op hoogte met een duidelijk zicht op het studiegebied, en die onder een hoek zijn geplaatst om occlusies

te voorkomen en de lokaliseren en de grootte van de weggebruikers te optimaliseren in een (extreme) stereoscopische perspectief. Deze camerasystemen detecteren in realtime de weggebruikers met behulp van een geoptimaliseerde implementatie van YOLOv7 (*You Only Look Once*: algoritme voor objectdetectie en tracking) en sturen de pixel-coördinaten hiervan samen met een algemene kleurspectrumbeschrijving van de weggebruiker (die ook voor het matchen gebruikt wordt) draadloos door naar een cloud systeem. De YOLOv7-optimalisatie omvat onder andere snelheidsoptimalisaties (om een voldoende hoge framerate te realiseren) en nauwkeurigheid van detectie, met de focus op weggebruikersklassen in een pre-trained YOLO-model. De videobeelden verlaten normaliter het systeem dus niet, met uitzondering van dit proefproject waarin de videobeelden manueel ter plaatse opgehaald werden en ter validatie gebruikt werden. De beelden worden versleuteld wanneer ze (tijdelijk) worden opgeslagen op het edge camerasysteem.

Het cloud systeem geo-kalibreert (de vertaling van de pixel-coördinaten naar wereld coördinaten) de pixelposities van de weggebruikers en matcht de weggebruikers uit de verschillende camera's tot een geconsolideerde 3D positie met afmetingen van de weggebruikers met behulp van een weggebruiker type-specifiek 3D-wireframemodel. Verschillende optimalisaties werden uitgevoerd rekening houdend met tijdelijke occlusies, extrapolatie van posities in ruimte en tijd, kleurspectrumbeschrijvingen etc. De grondvlak-projecties van weggebruikers (bounding box-representaties in een 2D-vlak) in ruimte en tijd worden afgeleid van deze 3D-representaties.Het resultaat hiervan zit u in Figuur 21 en Figuur 22. In dit proces worden verschillende algoritmen en heuristieken gebruikt om het resultaat na te verwerken: de trajecten van weggebruikers (de grondvlak-projecties) worden gesmooth met interpolatie- en/of spline regressietechnieken en met verschillende heuristieken.

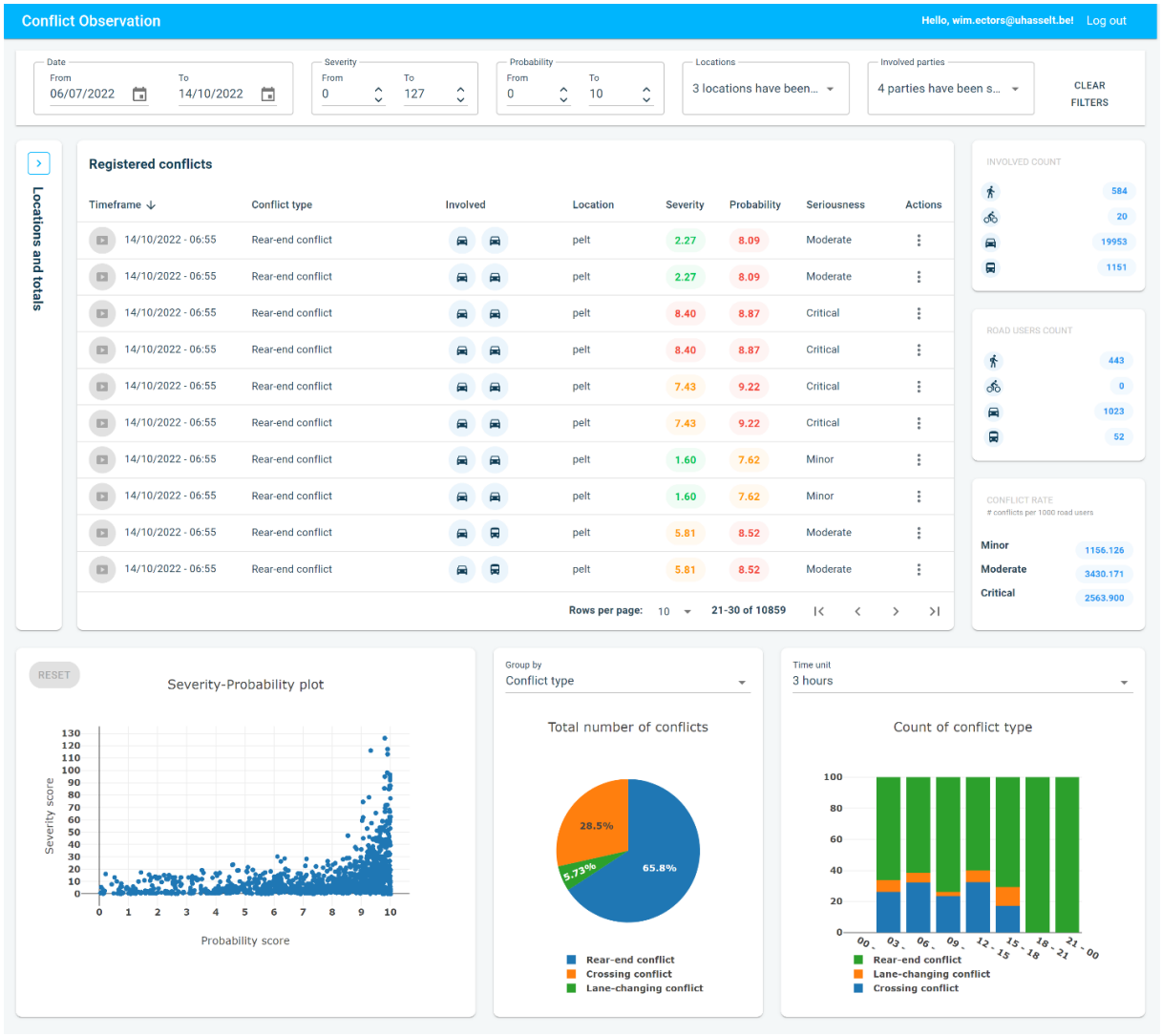
Vervolgens worden er, na een voorverwerkingsstap, in de cloud conflictindicatoren zoals TTCmin, PET en DeltaV op berekend (zie 3.3 *Conflictindicatoren*) door een module met aangepaste implementaties van deze pseudo-conflictindicatoren. Deze resultaten worden in de cloud opgeslagen en kunnen vervolgens eenvoudig geraadpleegd worden via een online dashboard website.

Het dashboard bevat een filterbare lijst van de berekende conflicten, alsook enkele informatieve infographics zoals weergegeven in Figuur 23. Figuur 24 illustreert dat men video's kan toevoegen aan een conflict op de dashboard website. Deze functionaliteit zorgt ervoor dat men ook visueel meer inzicht in het conflict kan krijgen. Omwille van de maatregelen ter bescherming van de privacy heeft de cloud omgeving geen toegang tot de videobeelden. Een beheerder kan manueel videosnippets van het systeem afhalen, controleren op privacygevoelige informatie en vervolgens naar de dashboard website uploaden. Alternatief kunnen automatisch animatievideo's gegenereerd worden op basis van de detectiedata (Figuur 25). Ook deze video's laten toe een zeker inzicht te krijgen in de aanleiding naar een conflict.

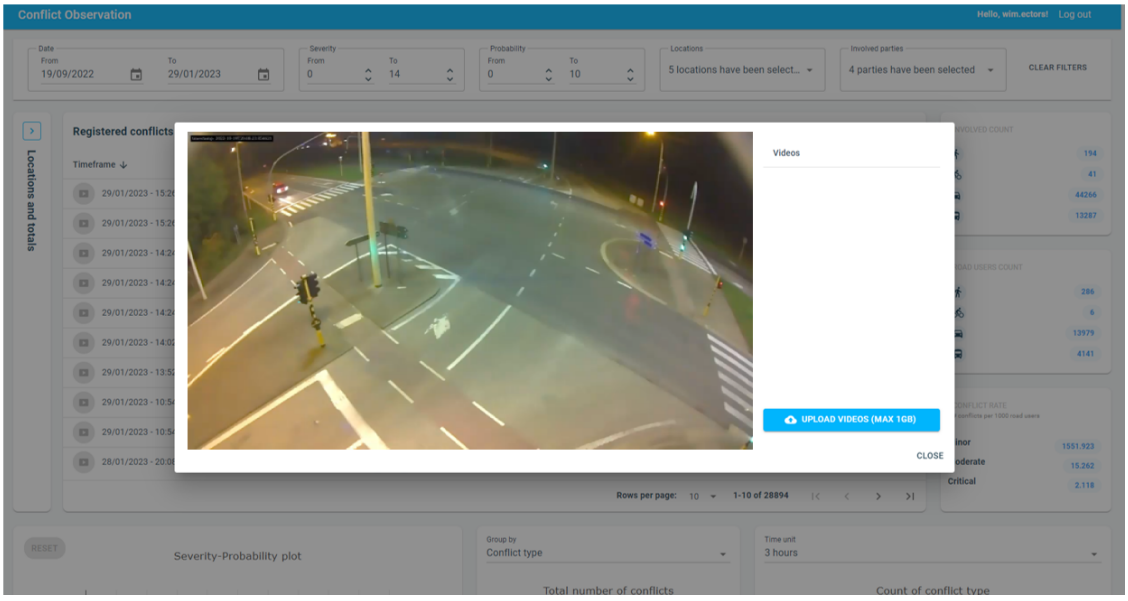
De procesflow werd in samenwerking met onderaannemer CEGEKA uitgewerkt (Figuur 26). IMOB was als coördinator verantwoordelijk voor de verkeersveiligheidsexpertise en de implementatie van conflictdetectie algoritmen, CEGEKA was als onderaannemer verantwoordelijk voor de verschillende software- en AI-componenten in het edge- en cloud systeem.

Figuur 21: resultaat van de weggebruiker -detectie, -matching en wireframe-fitting in daglichtcondities tijdens de voorbereidende fase met historische videodata

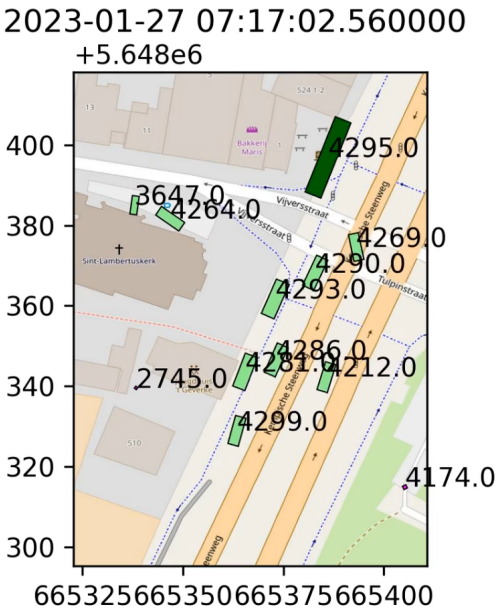
Figuur 22: resultaat van de weggebruiker -detectie, -matching en wireframe-fitting in regenachtige nachtcondities (worst-case scenario) tijdens de voorbereidende fase met historische videodata



Figuur 23: Screenshot van het online dashboard met de resultaten van de conflictobservatie



Figuur 24: screenshot van het online dashboard waar de mogelijkheid tot het koppelen van conflict-illustrerende video's

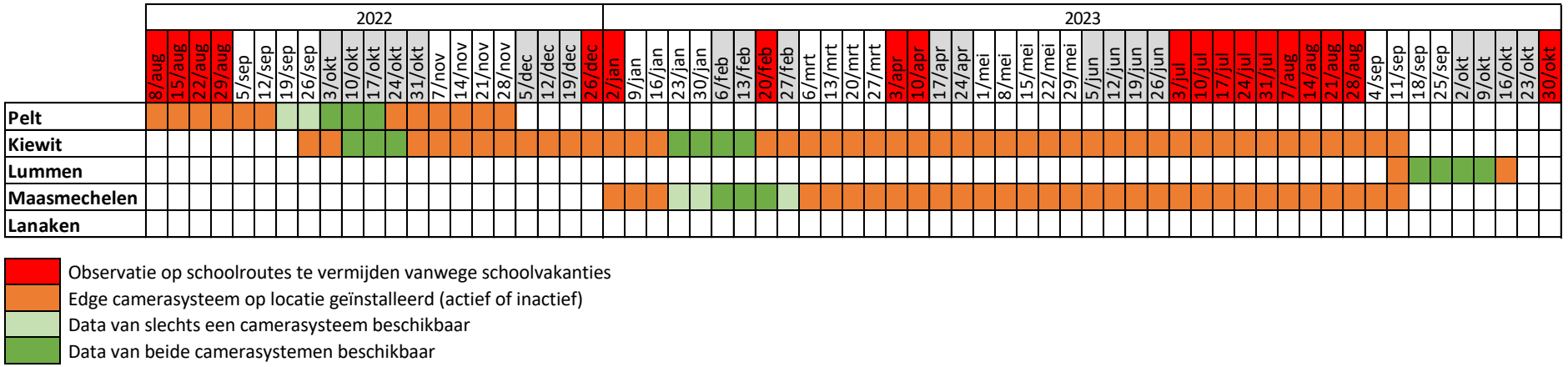


Figuur 25: voorbeeld van een automatisch gegenereerde animatievideo (privacy-proof) over een OpenStreetMap kaartlaag op basis van de weggebruiker detectiedata

Figuur 26: projectconsortium bestaande uit IMOB (UHasselt) als coördinator verantwoordelijk voor verkeersveiligheidsexpertise en de implementatie van conflictdetectie algoritmen, CEGEKA als onderaannemer verantwoordelijk voor de software- en AI-componenten in het edge- en cloud systeem en Citymesh als

onderaannemer verantwoordelijk voor de levering en installatie ter plaatse van de hardware camera edge systemen.

3.2 Timing van de observaties



Figuur 27: overzicht van de timing van de installatie, feitelijke observatie en afbraak van de slimme camerasystemen.

Figuur 27 toont een overzicht van de werkelijke timing van de observaties. Onderaannemer Citymesh was verantwoordelijk voor de levering en installatie ter plaatse van de hardware camera edge systemen (Figuur 26). De planning van de observaties was een huzarenstukje door de vele stakeholders en technische vereisten. Merk op dat sommige camerasystemen erg lang op de locatie bleven hangen zonder dat de observatie opgestart kon worden. Technische problemen lagen hier aan de bron. Ook na de observatie bleven sommige systemen erg lang op de locatie hangen door een planningsprobleem en moeilijkheden met onderaannemer Citymesh. Hoewel de trajectinformatie draadloos doorgestuurd werd en via onderaannemer Cegeka ter beschikking werd gesteld, hadden we pas toegang tot de videobeelden (voor validatie en optimalisatie van de berekeningen) nadat de camerasystemen afgebroken werden en de data manueel kon overgezet worden. Door deze problemen moest het oorspronkelijke observatieplan meerdere malen herzien worden.

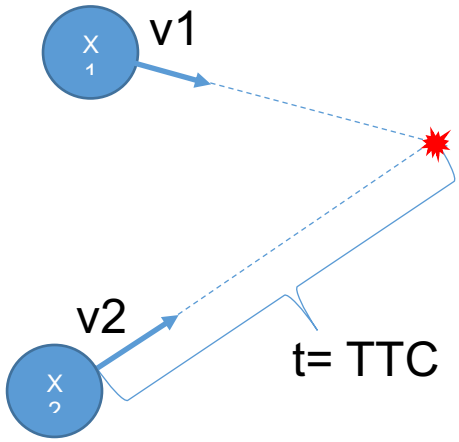
3.3 Conflictindicatoren

Cameratechnologie kan de evaluatie van verkeersveiligheid verbeteren door gedrags- en conflictobservaties op specifieke locaties vast te leggen. Verkeersveiligheidsindicatoren zoals TTCmin, DeltaV en PET, afgeleid van cameraobservaties, bieden een dieper inzicht in de potentie voor ongevallen en de ernst ervan. Deze kennis gaat verder dan traditionele ongevalsgegevens en biedt inzichten in bijna-ongeluk situaties, die vaak indicatief zijn voor onderliggende veiligheidsproblemen. Het analyseren van deze indicatoren kan vervoersprofessionals in staat stellen om gebieden met een hoog risico te identificeren, gerichte interventies te ontwerpen en proactieve maatregelen te implementeren om de veiligheid te verbeteren en de kans op conflicten en ongevallen te verminderen.

3.3.1 Minimum Time-To-Collision (TTCmin)

Een van de belangrijkste indicatoren verkregen uit cameraobservaties is de schatting van de resterende tijd tot een mogelijke botsing, TTC. De TTC-metriek dient om de tijdelijke nabijheid tussen verschillende weggebruikers zoals voertuigen, fietsers, voetgangers... te meten. Het kwantificeert de hoeveelheid tijd die resteert tot een botsing tussen twee weggebruikers, ervan uitgaande dat hun huidige richting en snelheid aanhouden (Hayward, 1971). Dit concept is afgebeeld in Figuur 28.

Door camerabeelden te gebruiken om TTC te berekenen kan men de **waarschijnlijkheid** van een dreigende aanrijding evalueren. Deze informatie stelt hen in staat om kritieke situaties te identificeren die interventie of verder onderzoek vereisen.



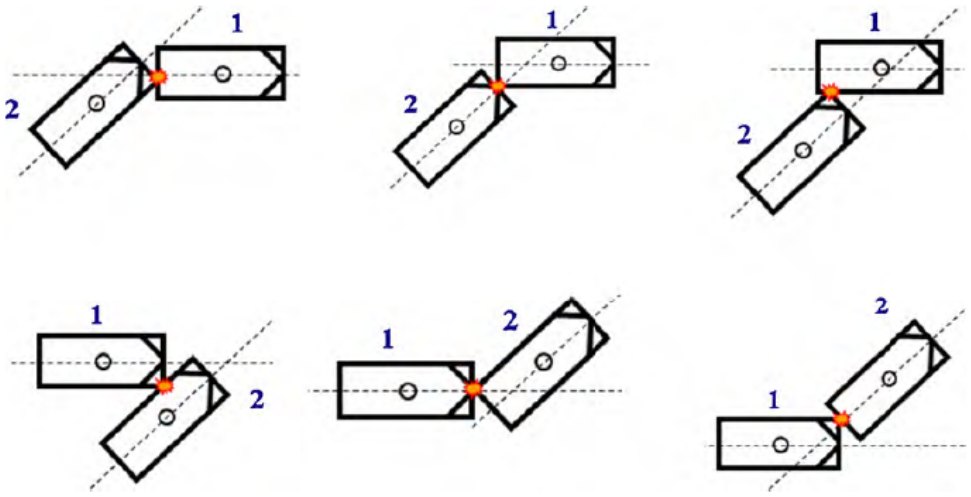
Figuur 28: Illustratie van de berekening van Time-To-Collision (TTC)

De significante drempelwaarde voor de berekening van TTC varieert tussen 0,9 seconden en 3 seconden, afhankelijk van de specifieke verkeerslocaties.

In praktische scenario's kunnen voertuigen niet als louter punten worden beschouwd, aangezien hun afmetingen een cruciale rol spelen bij het bepalen van botsingsgebeurtenissen. Het vereenvoudigde puntenmodel geïllustreerd in Figuur 28 is niet langer accuraat voor dit doel. In plaats daarvan moet de geometrie van weggebruikers in aanmerking worden genomen bij het berekenen van TTC. De meest geschikte geometrie om weggebruikers weer te geven is een rechthoek geprojecteerd op het grondvlak onder de weggebruiker. Laureshyn (Laureshyn et al., 2010) stelt dat botsingen plaatsvinden wanneer een hoek van het ene voertuig een zijde van het andere voertuig raakt (de kans op een perfecte hoek-hoek, of zijde-zijde botsing is mathematisch verwaarloosbaar), zie ook Figuur 29. Daarom wordt een nauwkeurigere methode voor het berekenen van TTC voorgesteld, gebaseerd op de benadering gepresenteerd voor scenario's waarbij een bewegend lijnsegment en een punt of hoek een zijde van de weggebruikers raken.

Uitgaande van het feit dat weggebruikers rechthoekige vormen hebben, zijn er in totaal 32 hoek-zijde combinaties tussen twee weggebruikers. De TTC-waarde die weerhouden moet worden op ieder tijdstip

van de berekening, is de laagste TTC van al deze hoek-zijde combinaties, aangezien het de zijde en hoek vertegenwoordigt die het eerste contact zullen maken in een botsing.



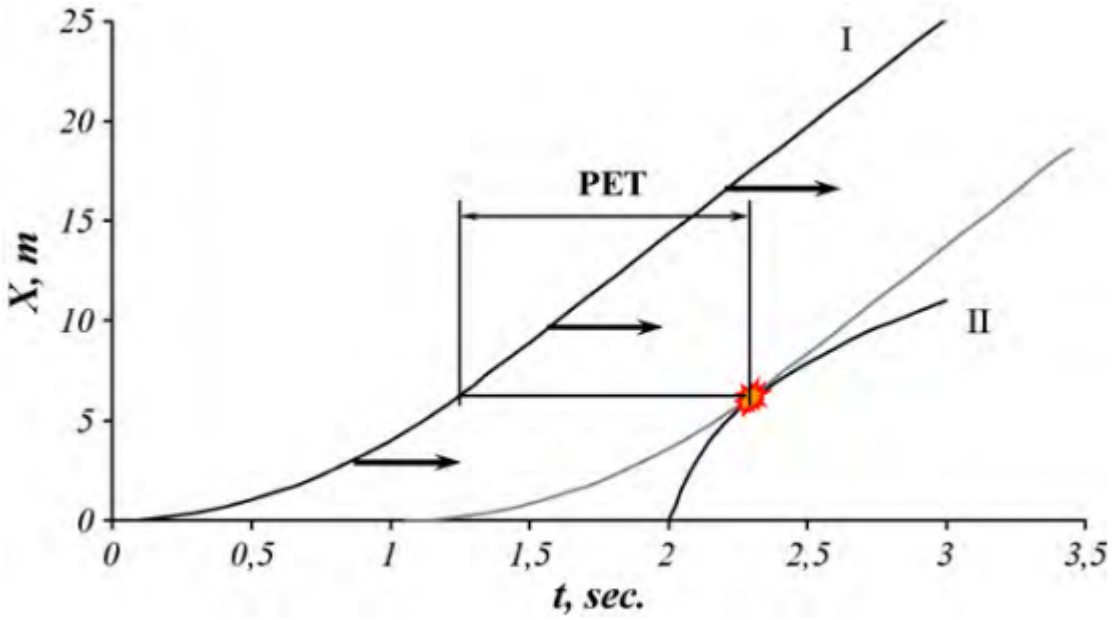
Figuur 29: Illustratie van de verschillende botsingstypes (Laureshyn et al., 2010)

Bovendien is TTC een continue parameter die op elk gegeven moment kan worden berekend zolang twee weggebruikers op een botsingskoers liggen. Het wordt continu berekend langs de trajecten van de weggebruikers. De kleinste TTC, ook bekend als TTCmin, die wordt bereikt voor een weggebruiker-paar, dient als een indicator voor de waarschijnlijkheid dat beide weggebruikers elkaar zouden aanrijden. Over het algemeen geeft een lagere TTCmin-waarde een hogere waarschijnlijkheid van een botsing aan. De geïmplementeerde TTCmin berekening is een verbeterde versie t.o.v. de strikte definitie van TTC aangezien deze buiten met de snelheid ook rekening houdt met de versnelling van de weggebruikers.

In de praktijk worden TTC-berekeningen uitgevoerd voor elk paar weggebruikers, resulterend in een aantal paren dat gelijk is aan de combinatietelling van alle waargenomen weggebruikers in de camerabeelden. Aangezien TTC voor elk frame van de video moet worden berekend is dit een rekenintensief proces. Om de efficiëntie te verhogen worden verschillende slimme filtertechnieken gebruikt om het aantal berekeningen te verminderen. Deze filtermaatregelen optimaliseren effectief het berekeningsproces, wat zorgt voor een efficiënte analyse van potentiële botsingsscenario's.

3.3.2 Post-Encroachment Time (PET)

PET biedt informatie over de temporele aspecten van trajecten en diens conflicten. PET meet het tijdsverschil tussen het verlaten van het eerste (leidende) voertuig (I) van een bepaalde locatie (de conflictzone) en de aankomst van het volgende voertuig (II) op die locatie zoals afgebeeld in Figuur 30. Een PET-waarde van 0 duidt op een botsing, terwijl niet-nul PET-waarden verschillende graden van conflict nabijheid (in de tijd) aangeven.



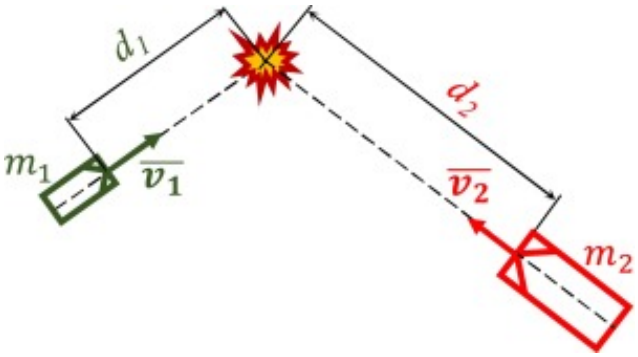
Figuur 30: Illustratie van de PET berekening op basis van tijd-ruimte verschillen (Laureshyn et al., 2010)

Om de PET te berekenen wordt eerst de locatie waar twee trajecten elkaar overlappen geïdentificeerd. Binnen deze overlappingsregio kunnen weggebruikers op verschillende tijdstippen toekomen. Het verschil in hun tijdstempels weerspiegelt hun relatieve nabijheid in tijd tot een potentiële botsing. De meest significante PET wordt bepaald door het kleinste tijdsverschil tussen de twee weggebruikers over alle locaties waar ze binnen de overlappingsregio hebben gereisd, evenals gedurende de volledigheid van de trajecten. Door slimme heuristieken worden ook hier de afmetingen van de weggebruikers in rekening gebracht.

Om de efficiëntie van het berekeningsproces te verbeteren worden verschillende filtertechnieken toegepast. Dit omvat bijvoorbeeld het vooraf scannen en identificeren van paren van weggebruikers die een PET waarde onder een drempelwaarde zouden kunnen hebben (de berekening wordt niet uitgevoerd voor andere paren) enz. Deze filtermechanismen helpen het optimalisatieproces van de berekening te stroomlijnen, zodat alleen relevante PET-waarden worden overwogen voor verdere analyse.

3.3.3 DeltaV

Terwijl TTC en PET zich richten op het evalueren van de waarschijnlijkheid van een botsing op basis van de tijd-ruimte nabijheid tussen voertuigen, neemt DeltaV de ernst van een potentiële botsing in overweging. DeltaV wordt berekend op basis van het verschil in snelheden van de weggebruikers, hun relatieve hoek en hun massa (Figuur 31).

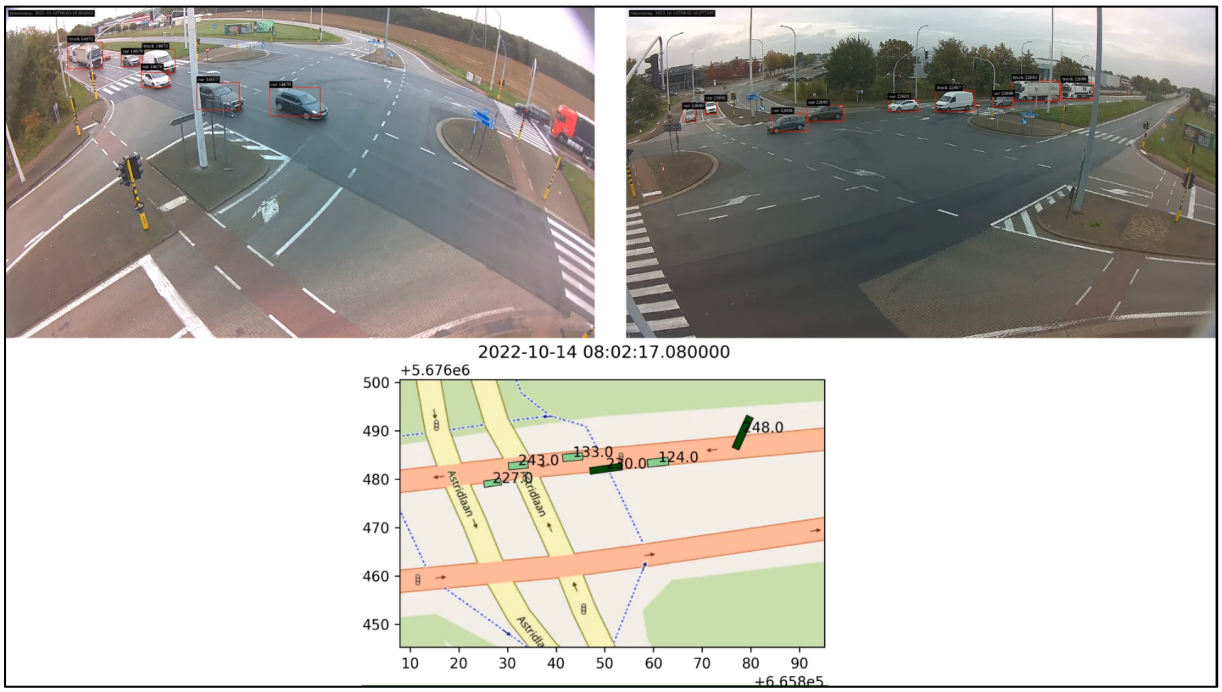


Figuur 31: Illustratie van de berekening van DeltaV (Laureshyn et al., 2017)

4 Validatie berekende trajecten

De ontwerpkeuzes zoals toegelicht in hoofdstuk 3 *Aanpak* zijn niet alleen bijzonder complex in de ontwikkelingsfase, ze maken het ook lastig om het resultaat te valideren. Zo zorgt de privacy-by-design aanpak dat validatie van de berekende trajecten enkel mogelijk is indien fysiek toegang verkregen wordt tot het camerasysteem zelf en men de videodata decrypteert. Gezien de camerasystemen onbereikbaar zijn vanop begane grond kan dit praktisch gezien enkel wanneer de camerasystemen na de observatie weer verwijderd worden met een hoogtewerker. Verder is enkel een kwalitatieve controle van de berekende trajecten op basis van de videobeelden mogelijk: er is geen ground truth dataset waarmee deze kan vergeleken worden. Deze oefening wordt vervolgens besproken voor de verschillende studiegebieden.

4.1 Pelt



Figuur 32: verificatie van de trajecten in Pelt aan de hand van de camerabeelden

Figuur 32 toont, na het verwijderen van de camera's en het fysiek ophalen van de geregistreerde camerabeelden, de wijze waarop een kwalitatieve verificatie van de berekende trajecten werd uitgevoerd. Een script animeert de berekende trajecten bovenop een kaartlaag, en deze wordt vergeleken met de gesynchroniseerde videobeelden.

De analyse toont aan dat niet alle weggebruikers gematcht werden en dat er, gebaseerd op de berekende trajecten, een onderschatting is van het werkelijk aantal weggebruikers. Bovendien zijn de trajecten onregelmatig (springerig) en roteren sommige weggebruikers schijnbaar. Zulke kwaliteitsproblemen kunnen aan de hand van smoothing, lineaire interpolatie, spline-regressie en/of slimme heuristieken verminderd worden. Binnen dit project passen we al deze technieken toe op het eindresultaat.

4.2 Hasselt (Kiewit)

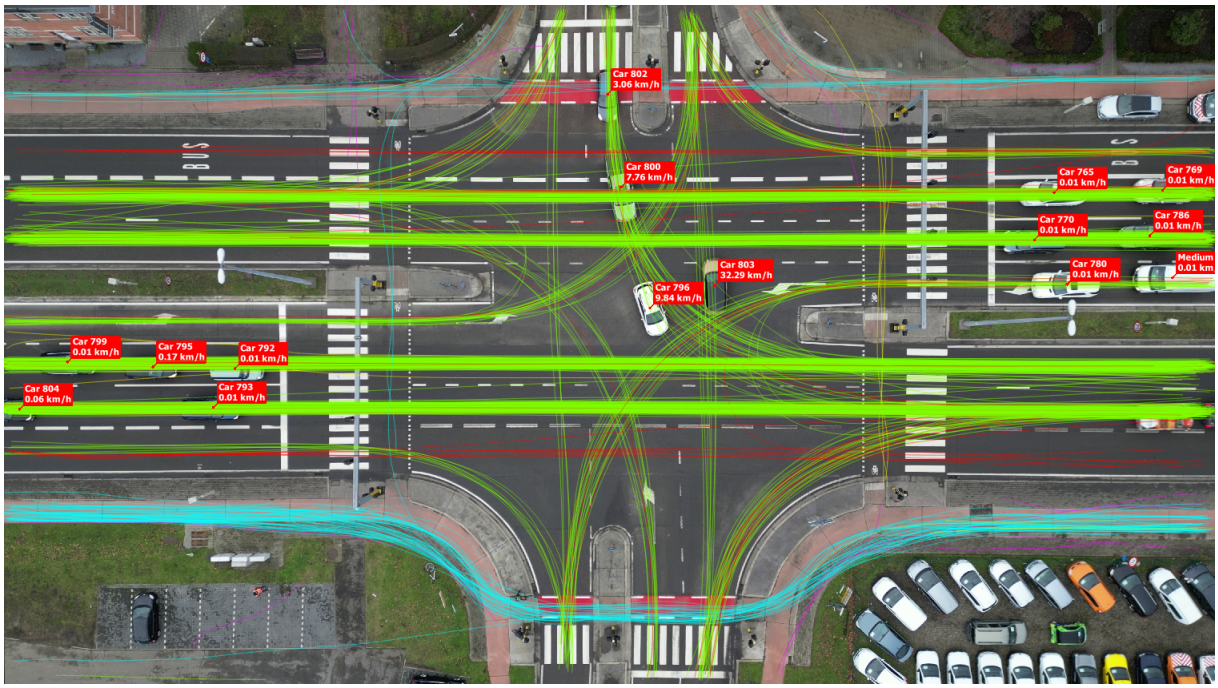
Figuur 33: verificatie van de trajecten in Hasselt (Kiewit) aan de hand van de camerabeelden.

Figuur 33 toont, na het verwijderen van de camera's en het fysiek ophalen van de geregistreerde camerabeelden, de wijze waarop een kwalitatieve verificatie van de berekende trajecten werd uitgevoerd. Een script animeert de berekende trajecten bovenop een kaartlaag, en deze wordt vergeleken met de gesynchroniseerde videobeelden.

De bevindingen zijn gelijkaardig als deze voor de data uit Pelt: er lijkt een onderschatting te zijn van het aantal trajecten, en er zijn kwaliteitsproblemen die in het eindresultaat aangepakt werden door een combinatie van smoothing, lineaire interpolatie, spline-regressie en slimme heuristieken.

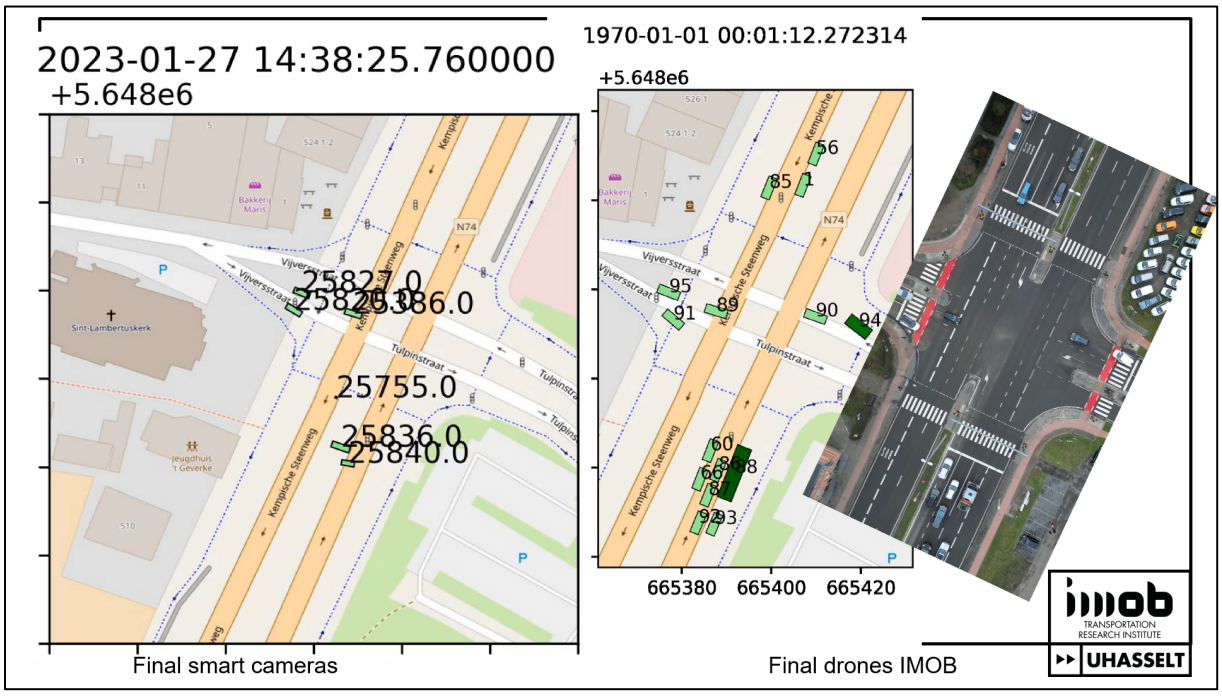
4.2.1 Bijkomende drone analyse

Gegeven de eerste ervaring met de data van Pelt hebben we tijdens de datacollectie in Hasselt (Kiewit) een bijkomend experiment opgezet om de gekende problemen ook objectief te kwantificeren. Terwijl de slimme camera's data verzamelden hebben we een (korte) observatie uitgevoerd met een drone die tegelijkertijd hetzelfde studiegebied (en nog iets daarbuiten) in kaart bracht. Ook deze data hebben we, conform met deelproject 2, door AI laten verwerken. Uit deelproject 2 leerden we dat de accuraatheid van deze data, zeker wat betreft het gemotoriseerde verkeer, erg goed is. Totdat de camera's in Kiewit verwijderd werden door onderaannemer Citymesh hadden we ook geen toegang tot het videomateriaal, enkel tot de trajectdata uit de cloudomgeving, en lieten enkel de dronevideo's toe om ook meer inzicht te krijgen in de trajectdata uit de 2 slimme camera's.



Figuur 34: illustratie van de analyse aan de hand van de dronebeelden

We vergeleken de berekende trajecten van enerzijds de setup van slimme camera's, en anderzijds deze van de drone. We konden achterhalen dat de methode van de slimme camera's een aanzienlijke onderschatting gaf van het aantal weggebruikers bij de meeste gates (zie Figuur 40), tot ongeveer een factor 7. Niet alle weggebruikers werden dus gedetecteerd en vervolgens gematcht. Hier zijn verschillende oorzaken voor (zie 9 *Uitdagingen tijdens het project*)

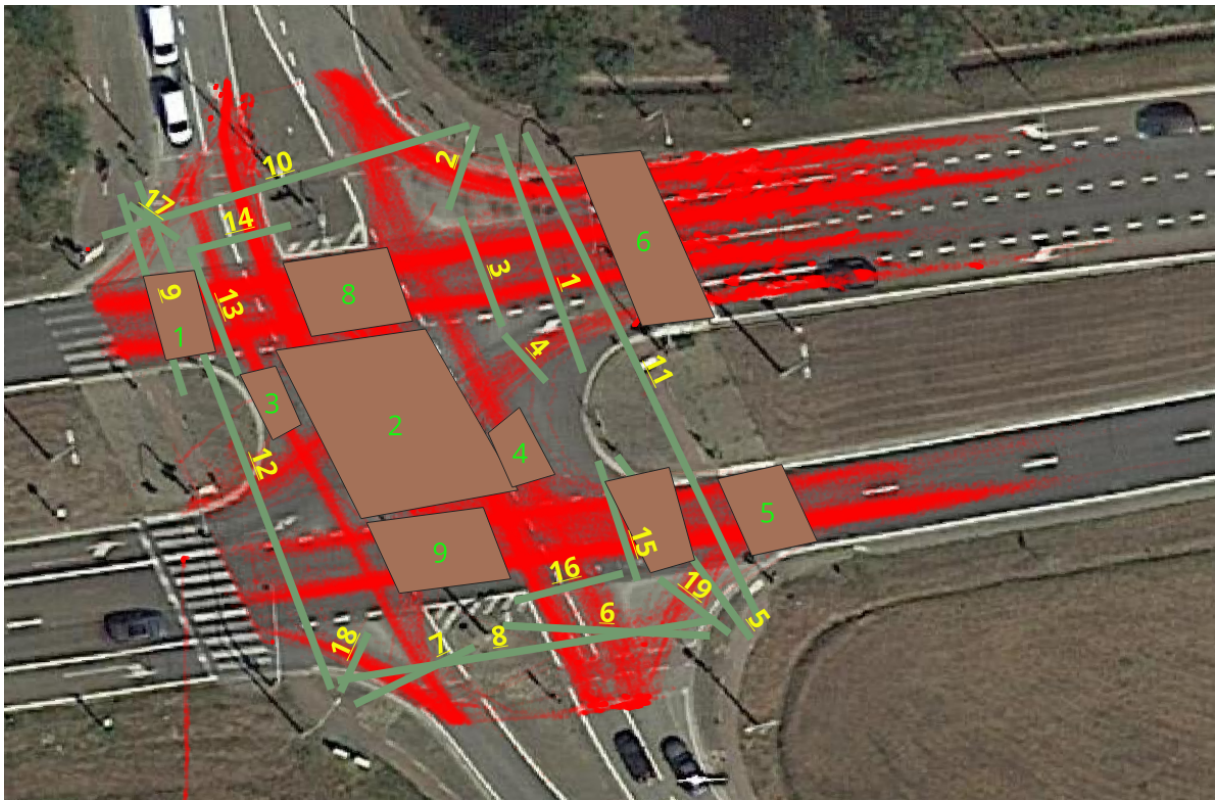


Figuur 35: Illustratie van een visuele vergelijking tussen de trajectoriën afkomstig van het slimme camerasysteem en deze van de drone. De trajectoriën van de drone stemmen erg goed overeen met de video, deze van het slimme camerasysteem geeft een onderschatting van het aantal weggebruikers.

5 Verkeersmetingen

Dit hoofdstuk presenteert de resultaten van een aantal metingen aan de hand van virtuele gates (conceptueel vergelijkbaar aan tellussen) en meetzones voor de locaties Pelt en Hasselt (Kiewit). Hoofdstuk 4 *Validatie berekende trajecten* bespreekt een kwalitatieve en kwantitatieve inspectie van de berekende trajecten. Een onderschatting van het aantal weggebruikers (alsook een aantal kwaliteitsproblemen die grotendeels verholpen konden worden) kwam aan het licht. **We presenteren deze resultaten bijgevolg met de belangrijke bemerking dat de absolute aantallen niet overal representatief zijn voor de werkelijke situatie.** Dit hoofdstuk presenteert echter de mogelijk resultaten die een geoptimaliseerde setup zouden kunnen bieden. De analyse werd niet uitgevoerd op de data van Maasmechelen en Lummen gegeven kwaliteitsproblemen (zie verder).

5.1 Pelt



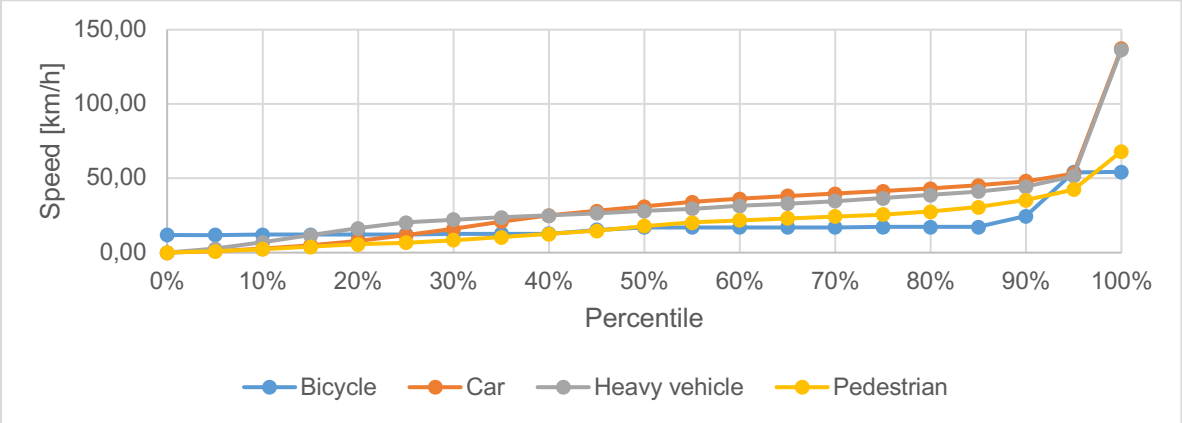
Figuur 36: illustratie van de gates (groen) en meetzones (bruin) voor de verschillende analyses en controles. Het grote aantal gates en meetzones werd gebruikt om consistentie-checks uit te voeren.

5.1.1 Zone-gebaseerde analyses

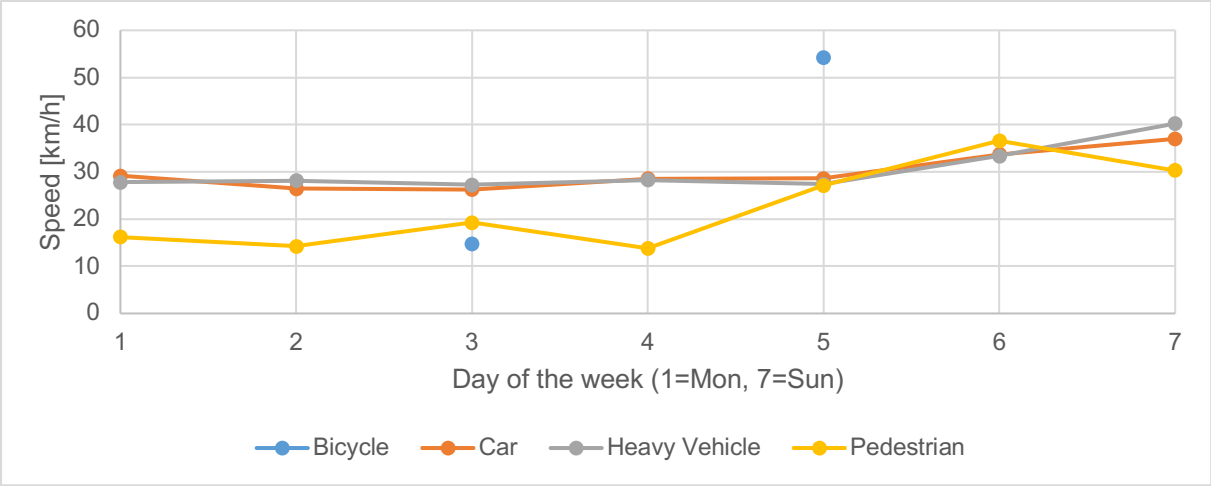
Voor iedere meetzone kunnen basisstatistieken zoals snelheden berekend worden. Deze kunnen bijvoorbeeld ook uitgesplitst worden naargelang het type weggebruiker, of ze kunnen berekend worden per gekozen tijdsinterval. Voor meetzone 8 werd de gemiddelde snelheid geanalyseerd in Tabel 1, Figuur 37 en Figuur 38. Merkwaardig is dat er zich datapunten van voetgangers (en fietsers) in meetzone 8 bevinden (met tevens een relatief hoge snelheid). Verklaringen hiervoor zijn dat het gaat om foutieve classificaties (zie hoofdstuk 9 *Uitdagingen tijdens het project*) of dat bijvoorbeeld de persoon die op een motorfiets rijdt wordt gedetecteerd. Er wordt gevonden dat de gemiddelde snelheden zeer consistent zijn op werkdagen, en ietsjes hoger zijn tijdens het weekend (mogelijk doordat het minder druk is en men vaker aan free-flow snelheid kan rijden en beter op verkeerslichten kan anticiperen).

Tabel 1: Pelt: Gemiddelde snelheid van weggebruikers in meetzone 8

type	Average speed [km/h]
Bicycle	18,8
Car	28,5
Heavy Vehicle	28,0
Pedestrian	18,2



Figuur 37: Percentiel snelheidsverdeling voor meetzone 8 per type weggebruiker



Figuur 38: Gemiddelde snelheid per type weggebruiker volgens dag van de week voor meetzone 8

5.1.2 Gate-gebaseerde analyses

Via gates kan men een ander type analyse doen. Iedere analyse is gebaseerd op tellingen van weggebruikers die de gate overschrijden.

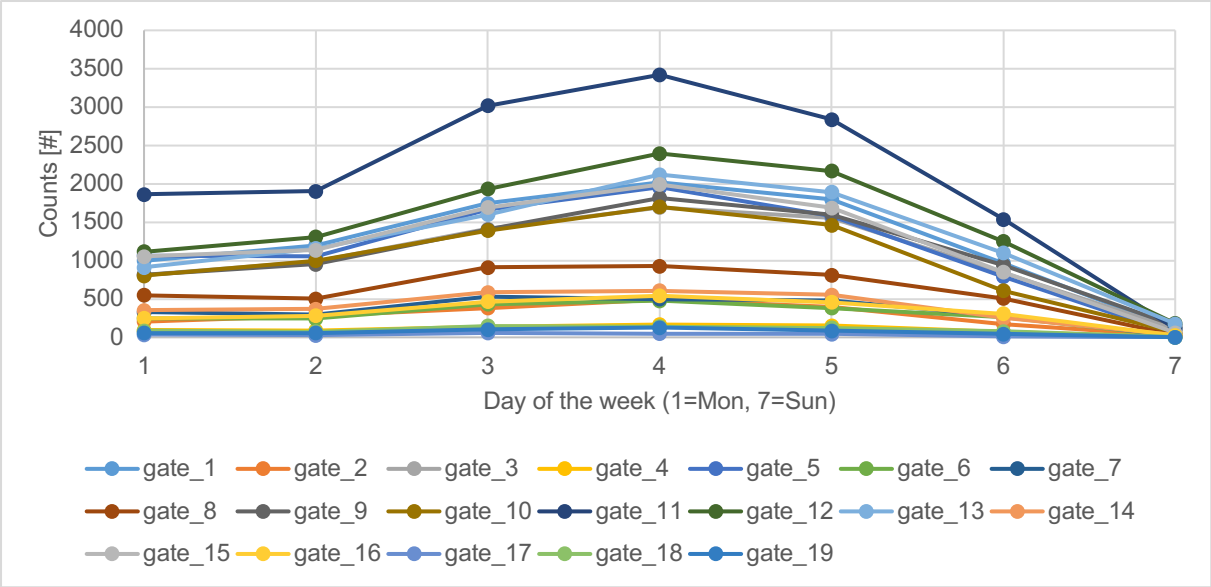
Tabel 2: Pelt: herkomst-bestemmingsmatrix voor alle gate-paren

	gate_1	gate_2	gate_3	gate_4	gate_5	gate_6	gate_7	gate_8	gate_9	gate_10	gate_11	gate_12	gate_13	gate_14	gate_15	gate_16	gate_17	gate_18	gate_19
gate_1	0	5315	26212	2494	77	6	951	969	11694	4610	31518	13003	14187	5	78	3	1	1	3
gate_2		0	19	0	6	1	1	2	3	7682	3302	4	6	4	7	1	0	0	0
gate_3			0	7	9	6	13	19	14900	31	21723	16601	18174	5	10	5	1	0	3
gate_4				0	33	5	1118	1142	10	4	1862	12	10	1	34	5	0	1	0
gate_5					0	1162	6	1271	23	3363	27782	3003	14	4534	31397	43	10	5	1982
gate_6						0	17	8073	1370	678	979	1575	1808	16	20	7139	0	3	1223
gate_7							0	10297	12	769	718	1021	10	1309	5	15	2	2697	3
gate_8								0	1159	1397	1781	2368	1517	1325	25	6133	2	2793	1336
gate_9									0	873	9524	32912	30423	12	25	1785	928	0	2
gate_10										0	5591	1751	28	8211	3768	1042	945	4	3
gate_11											0	12931	11499	3693	23616	37	11	5	1614
gate_12												0	34783	26	3548	2057	1021	1108	3
gate_13													0	26	17	2364	3	1	3
gate_14														0	5118	15	2	2	0
gate_15															0	22	10	5	3
gate_16																0	0	3	33
gate_17																	0	0	0
gate_18																		0	0
gate_19																			0

Tabel 3: Pelt: herkomst-bestemmingsmatrix voor het kruispunt (een selectie van gates)

	gate_8	gate_10	gate_11	gate_12	gate_8	gate_10	gate_11	gate_12
gate_8	0	1397	1781	2368		5%	7%	9%
gate_10		0	5591	1751			22%	7%
gate_11			0	12931				50%
gate_12				0				

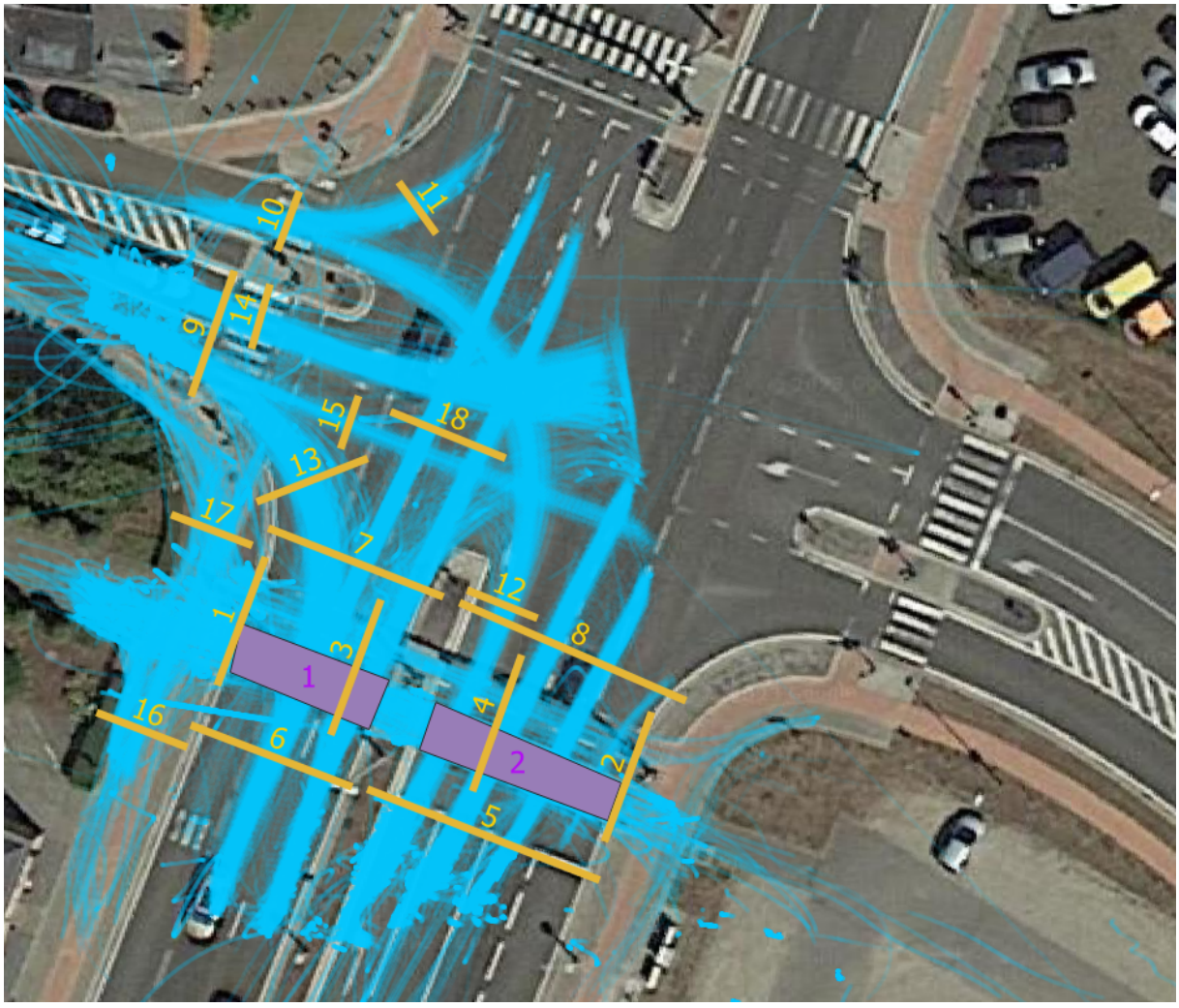
Tabel 3 toont dat 50% van het verkeer zich op de Ringlaan bevindt (oost-west as). Richting het oosten bereikt men de Noord-Zuid verbinding en richting het westen kan men Lommel en industriezone Balendijk-Kristalpark bereiken. Daarentegen bevindt zich op de noord-west as slechts 5% van het verkeer. Deze as verbindt de noordelijk gelegen industriezone en de woonwijk Holheide. Opvallend is dat 22% van het verkeer zich tussen de noordelijke en oostelijke tak verplaatst (de verbinding tussen de noordelijk gelegen industriezone en de Noord-Zuid verbinding).



Figuur 39: overzicht van het aantal gate-tellingen per gate per dag van de week

Figuur 39 analyseert het aantal gate-tellingen op basis van de dag van de week. Opvallend is het lage aantal weggebruikers op zondagen, en dat er op maandagen en dinsdagen merkbaar minder weggebruikers gedetecteerd konden worden dan op donderdagen en vrijdagen.

5.2 Hasselt (Kiewit)



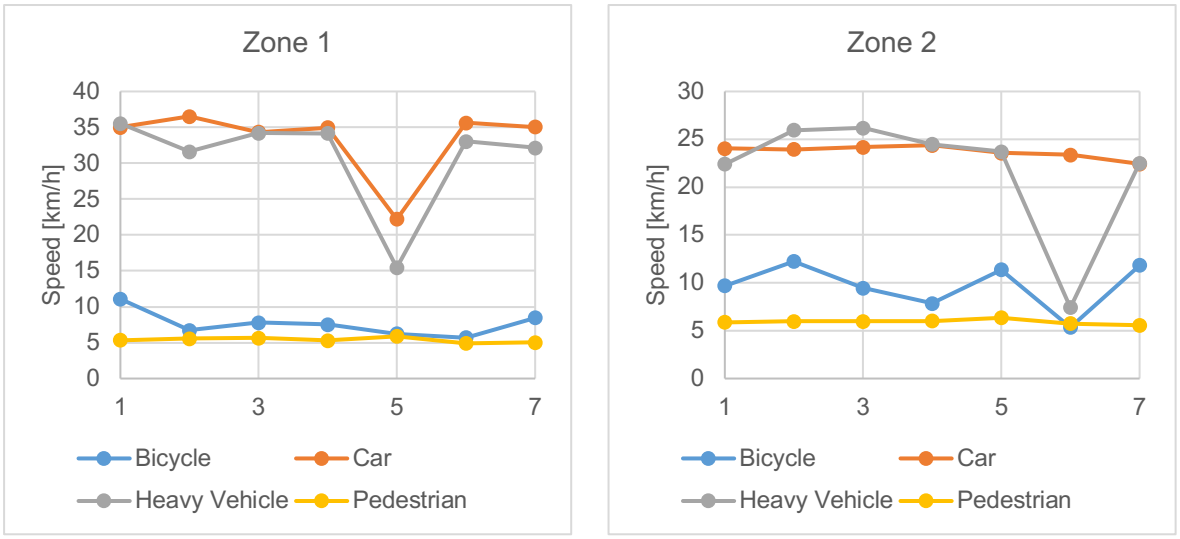
Figuur 40: illustratie van de gates (geel) en meetzones (paars) voor de verschillende analyses en controles. Het grote aantal gates en meetzones werd gebruikt om consistentie-checks uit te voeren.

5.2.1 Zone-gebaseerde analyses

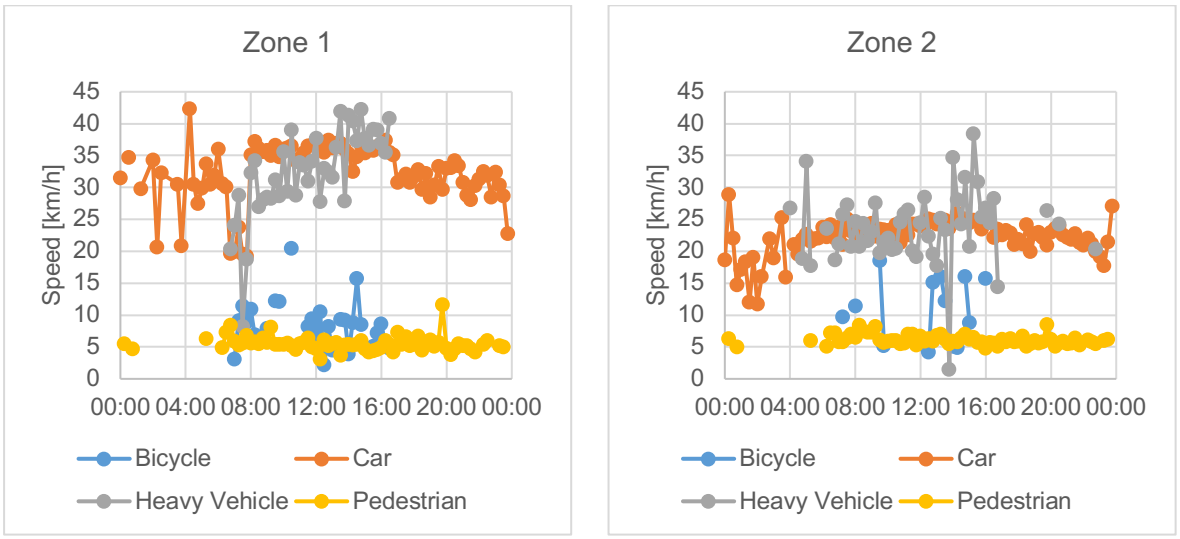
Zoals voor Pelt worden er ook voor Hasselt (Kiewit) enkele snelheidsanalyses uitgevoerd op basis van de meetzones. Deze worden weergegeven in Tabel 4 en Figuur 41 t.e.m. Figuur 43. Men moet echter in het achterhoofd houden dat de camera relatief dicht bij meetzone 2 gesitueerd was. Snel bewegende voertuigen werden omwille hiervan niet betrouwbaar gedetecteerd en gematcht. In de snelheidsanalyse kan men opmerken dat (vooral in meetzone 2) snelle voertuigen ontbreken. Merk op dat de V85 snelheid die men kan aflezen niet in free-flow condities bepaald werd op dit lichtengeregelde kruispunt.

Tabel 4: Hasselt (Kiewit): Gemiddelde snelheid van weggebruikers in meetzones 1 en 2

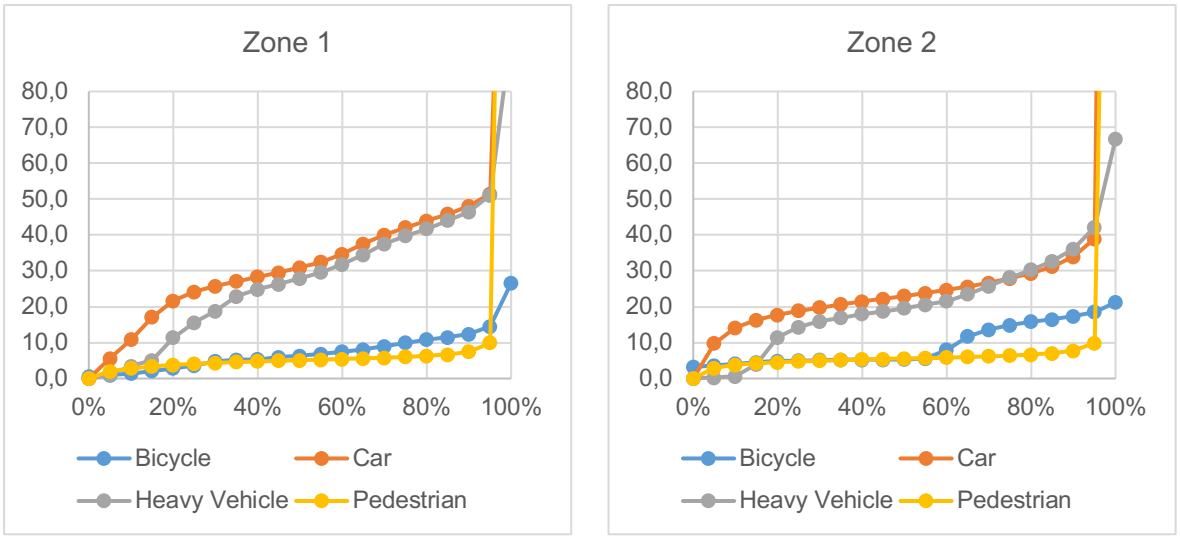
	zone_1	**zone_2**
Bicycle	6,94	9,10
Car	31,37	23,64
Heavy Vehicle	27,27	20,37
Pedestrian	5,35	5,90



Figuur 41: Gemiddelde snelheid per type weggebruiker volgens dag van de week voor meetzones 1 en 2 (1=maandag, 7=zondag)



Figuur 42: Gemiddelde snelheden doorheen de dag per 15 minuten, voor de verschillende types weggebruiker voor meetzones 1 en 2



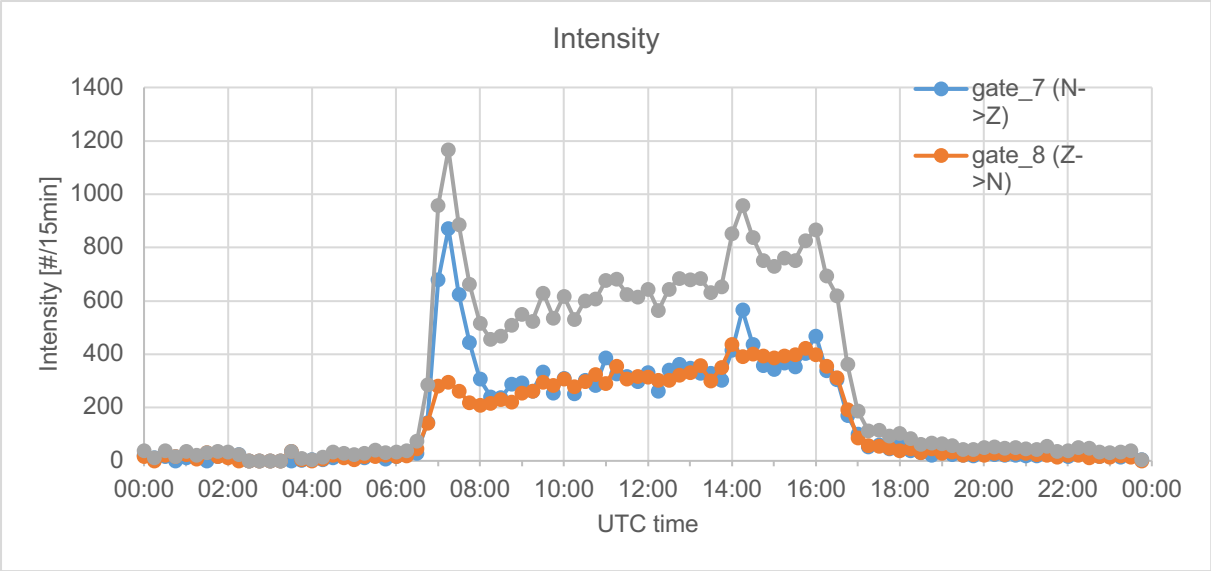
Figuur 43: Percentiel snelheidsverdelingen voor meetzones 1 en 2

5.2.2 Gate-gebaseerde analyses

Tabel 5 en Figuur 44 tonen enkele resultaten uit de analyses gebaseerd op gate-tellingen.

Tabel 5: Hasselt (Kiewit): herkomst-bestemmingsmatrix voor alle gate-paren

	gate_1	gate_2	gate_3	gate_4	gate_5	gate_6	gate_7	gate_8	gate_9	gate_10	gate_11	gate_12	gate_13	gate_14	gate_15	gate_16	gate_17	gate_18	
gate_1	0	721	1682	1486	3	15	4	3	4	0	0	3	2	1	0	194	205	0	**4323**
gate_2	721	0	885	1011	9	5	1	5	0	1	0	0	1	0	0	86	90	0	**2815**
gate_3	1682	885	0	2070	6	687	741	2	9	0	0	0	21	0	1	198	159	117	**6578**
gate_4	1486	1011	2070	0	1352	10	1	1041	0	0	0	9	1	0	0	173	143	0	**7297**
gate_5	3	9	6	1352	0	7	12	5202	0	214	4	2016	2	0	0	1	0	92	**8920**
gate_6	15	5	687	10	7	0	8526	10	502	7	14	7	1803	8	16	13	11	3426	**15067**
gate_7	4	1	741	1	12	8526	0	7	871	8	14	7	3421	11	25	8	2	10427	**24086**
gate_8	3	5	2	1041	5202	10	7	0	2	269	4	3224	0	0	2	1	0	92	**9864**
gate_9	4	0	9	0	0	502	871	2	0	5	3	2	1045	3424	592	1	2	9	**6471**
gate_10	0	1	0	0	214	7	8	269	5	0	427	268	5	3	1	0	0	5	**1213**
gate_11	0	0	0	0	4	14	14	4	3	427	0	4	10	1	1	0	0	3	**485**
gate_12	3	0	0	9	2016	7	7	3224	2	268	4	0	0	0	2	1	0	85	**5628**
gate_13	2	1	21	1	2	1803	3421	0	1045	5	10	0	0	9	13	2	1	0	**6336**
gate_14	1	0	0	0	0	8	11	0	3424	3	1	0	9	0	6	3	6	6	**3478**
gate_15	0	0	1	0	0	16	25	2	592	1	1	2	13	6	0	1	0	4	**664**
gate_16	194	86	198	173	1	13	8	1	1	0	0	1	2	3	1	0	1094	2	**1778**
gate_17	205	90	159	143	0	11	2	0	2	0	0	0	1	6	0	1094	0	0	**1713**
gate_18	0	0	117	0	92	3426	10427	92	9	5	3	85	0	6	4	2	0	0	**14268**

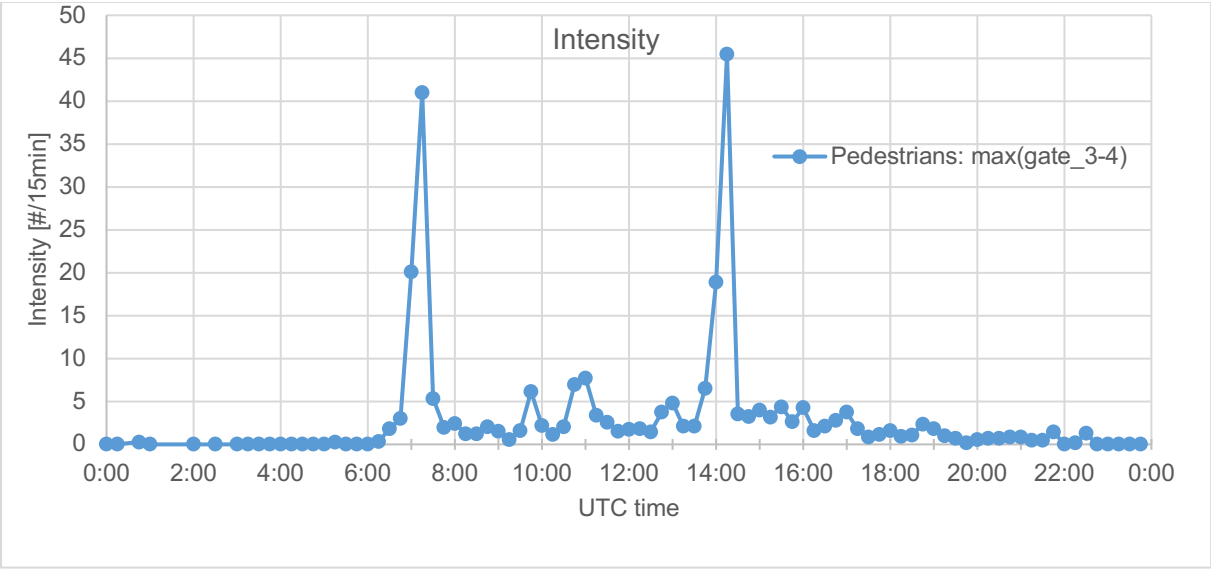


Figuur 44: verkeersintensiteit: overzicht van het aantal gate-tellingen doorheen de dag per 15 minuutinterval (absoluut aantal herschaald met een factor resulterende uit het droneonderzoek om de gekende onderschatting te compenseren)

Het typische dag verloop van de verkeersintensiteit is mooi zichtbaar: een sterk gepiekte ochtendspits gevolgd door een plateau doorheen de dag, en vervolgens een meer gespreide piek tijdens de avondspits die tot slot overgaat in het rustige nachtregime.

5.2.2.1 Oversteekgedrag

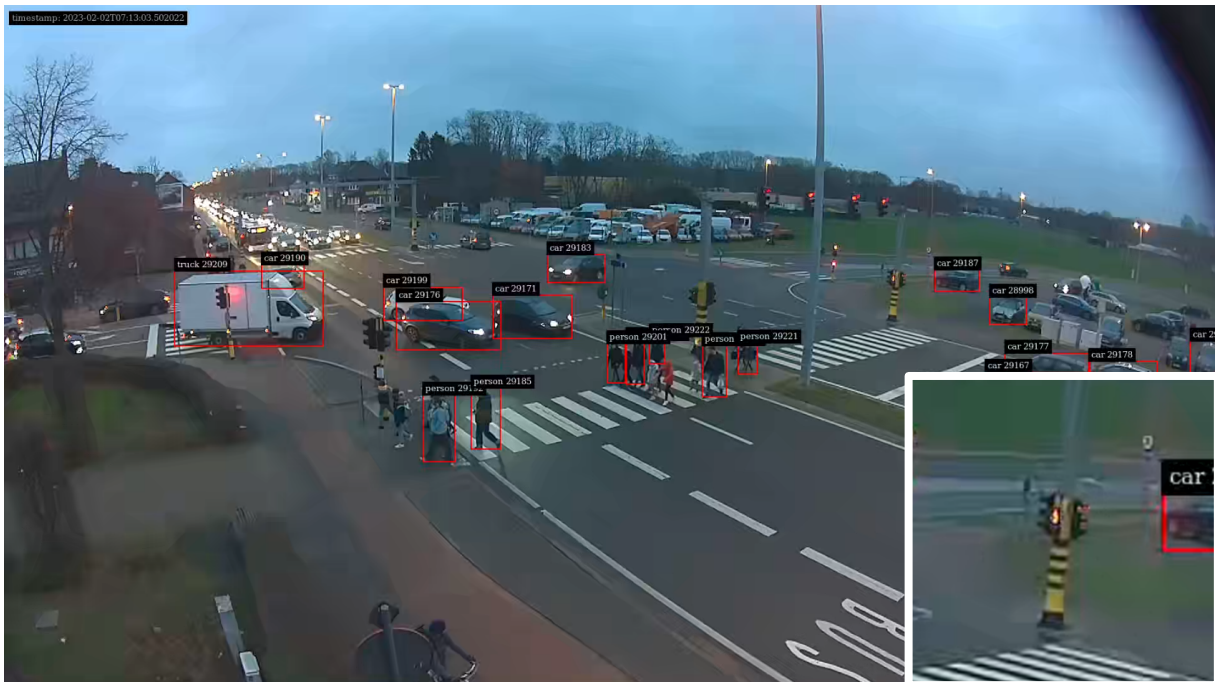
Het lichtengeregelde zebrapad over de Kempische Steenweg verdient een aparte analyse gezien er gerapporteerd werd dat de oversteektijd onvoldoende is voor de ouders en kinderen die hier dagelijks (zie piekmomenten in Figuur 45) oversteken tussen de parking en de Vrije Basisschool De Kievit.



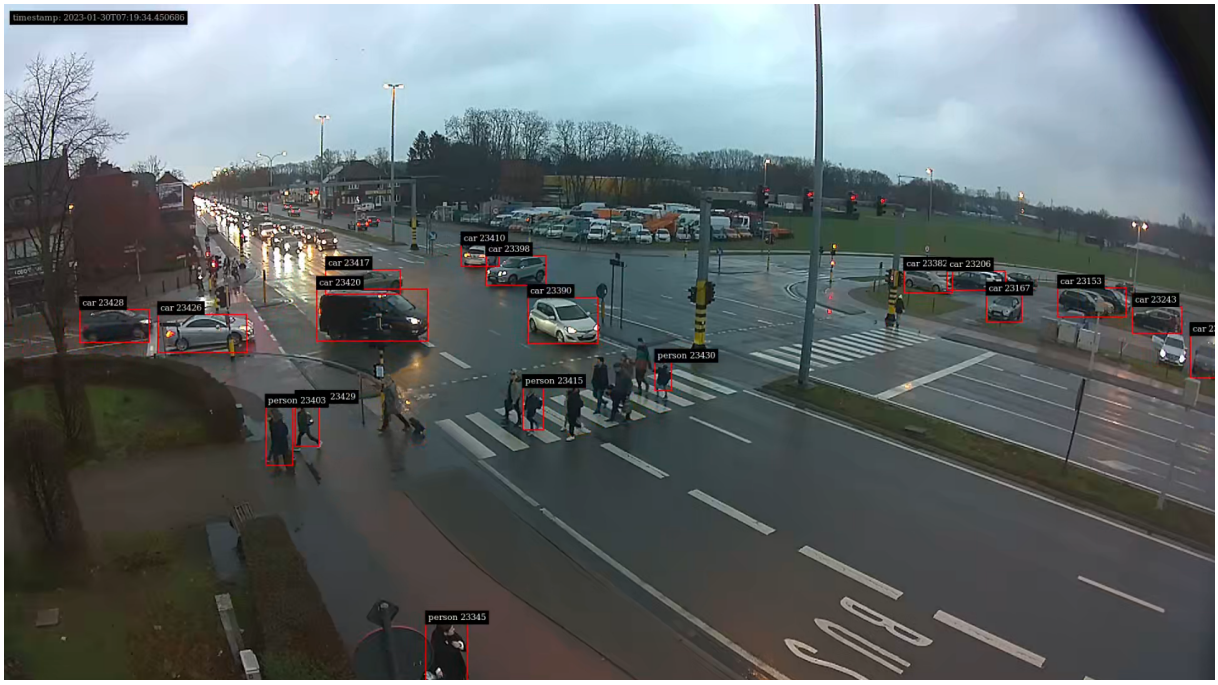
Figuur 45: intensiteit van het oversteken via het zebrapad doorheen de dag per 15 minuutinterval: telling aan de hand van gate 3 en 4 gezien op deze locatie de voetgangers het betrouwbaarst geregistreerd werden. Twee duidelijke pieken rond de opening en sluiting van de verderop gelegen Vrije Basisschool De Kievit zijn duidelijk zichtbaar.

Zo blijkt ook uit de camerabeelden dat de oversteektijd tijdens piekmomenten onvoldoende is: Figuur 46 toont dat op het moment dat de groenfase overgaat in de roodfase er nog personen aan het oversteken zijn, en dat het kruispunt op dat moment nog geblokkeerd is door wachtende wagens die vanuit de Vijverstraat en de Tulpinstraat willen invoegen op de Kempische Steenweg in de richting van

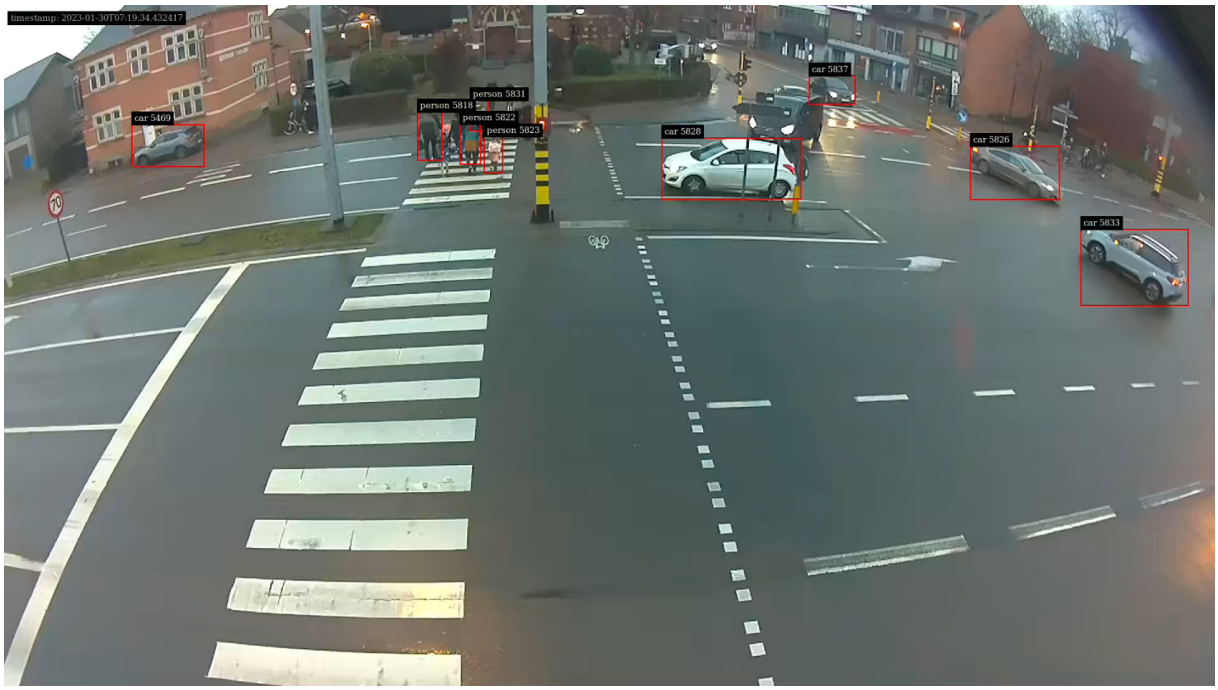
Hasselt. Figuur 47 en Figuur 48 illustreren hetzelfde probleem op een ander moment, bekeken vanuit de twee verschillende cameraperspectieven.



Figuur 46: videobeeld op het moment dat het zebrapad van de groenfase naar de roodfase overschakelt. Er zijn nog veel voetgangers op het zebrapad die het afslaande verkeer blokkeren. Deze situatie doet zich meermaals voor.



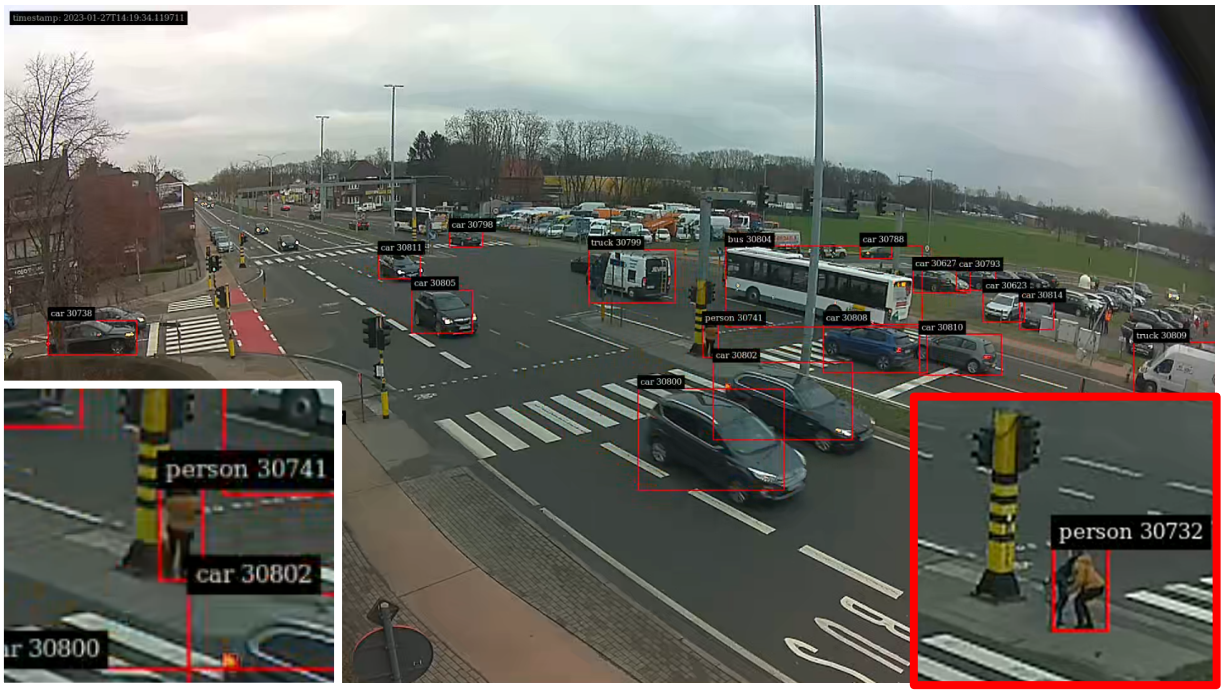
Figuur 47: Een ander videobeeld op het moment dat het zebrapad van de groenfase naar de roodfase overschakelt. Er zijn nog veel voetgangers op het zebrapad die het afslaande verkeer blokkeren. Deze situatie doet zich meermaals voor. Figuur 48 toont dezelfde situatie vanuit het andere cameraperspectief.



Figuur 48: Andere cameraperspectief voor de situatie uit Figuur 47

Er werd een wachtzone voorzien op de middenberm voor personen die niet tijdig over geraken. De camerabeelden lijken echter aan te tonen dat ouders mogelijk angstig zijn om op de middenberm vast te komen zitten. In Figuur 49 en Figuur 50 ziet men een ouder en kind die achter de overstekende groep lopen, maar niet tijdig overgestoken geraken. De ouder neemt het kind preventief vast, drukt mogelijk op de knop om over te mogen steken (dit is niet erg goed zichtbaar) en lijkt bescherming te zoeken door dichtbij de paal te blijven staan wanneer in beide richtingen het verkeer aan 70km/u voorbij komt.

Figuur 49: Deel 1: door het overgaan van de groenfase naar de roodfase voor overstekende voetgangers houdt een ouder met kind halt op de daarvoor voorziene middenberm. Er lijkt echter angst onder de ouders die op de middenberm vast komen te zitten: deze ouder neemt het kind preventief vast en lijkt te schuilen achter de paal gedurende de hele roodfase wanneer in beide richtingen het verkeer aan 70km/u doorkomt.



Figuur 50: Deel 2: door het overgaan van de groenfase naar de roodfase voor overstekende voetgangers houdt een ouder met kind halt op de daarvoor voorziene middenberm. Er lijkt echter angst onder de ouders die op de middenberm vast komen te zitten: deze ouder neemt het kind preventief vast en lijkt te schuilen achter de paal gedurende de hele roodfase wanneer in beide richtingen het verkeer aan 70km/u doorkomt. De rode kader illustreert het moment dat het kind opgepakt wordt.

6 Analyse conflictindicatoren

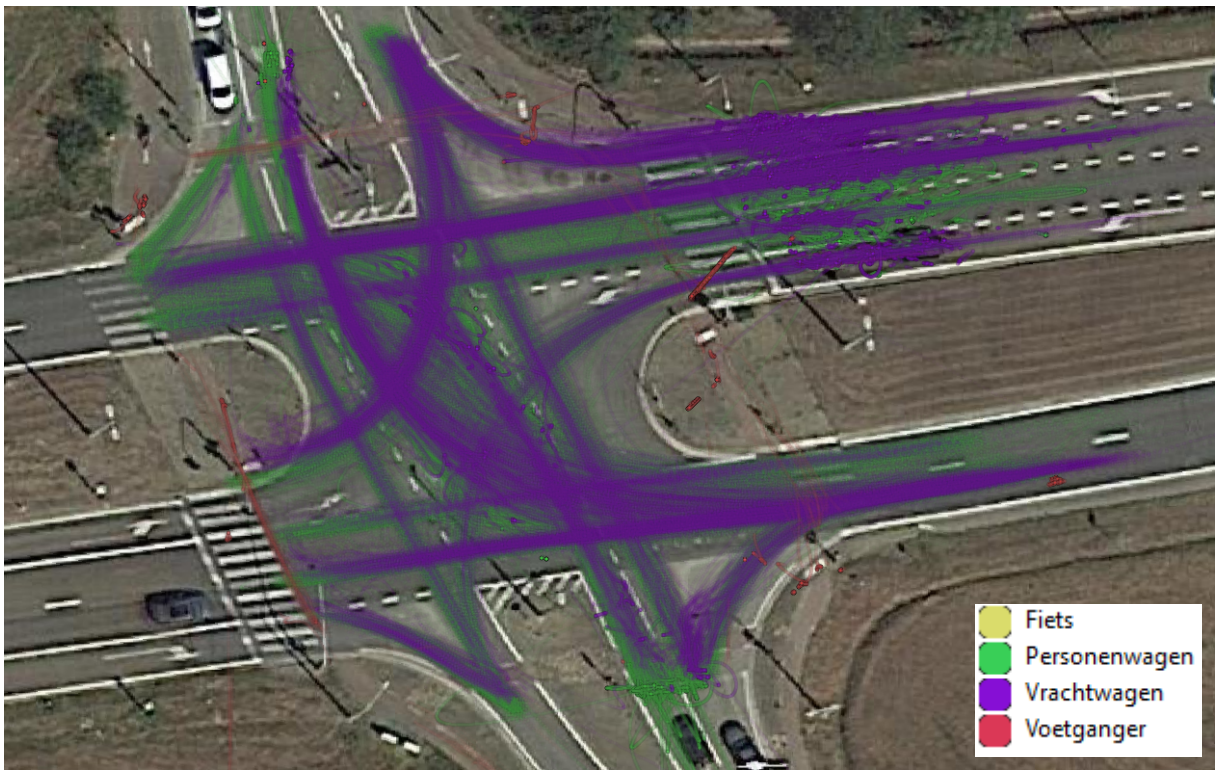
De analyse werd op basis van minimum TTCmin en PET (maten voor de *waarschijnlijkheid* van een conflict) en DeltaV (een maat voor de *ernst* van een conflict) uitgevoerd. In de tekst wordt verwezen naar respectievelijk de *waarschijnlijkheidsscore* [s] en de *ernstscore* [m/s]. De waarschijnlijkheid neemt toe met afnemende waarschijnlijkheidsscore (gebaseerd op TTCmin en/of PET), en de ernst neemt toe met toenemende ernstscore.

De analyse doet vermoeden dat er zeer veel bijna-conflicten plaatsvinden, doch dit is een overschatting door het toepassen van een strikte definitie en implementatie van de indicatoren.

De analyse ondervond dat de detectie van weggebruikers aan de rand van het detectiegebied onnauwkeuriger is. Dit heeft te maken met een grotere afstand tot de camera (en dat de weggebruikers dus kleiner in beeld komen) alsook omdat deze (gedeeltelijk) geoccludeerd kunnen zijn waardoor snelheid en versnelling verkeerd ingeschat worden bij het (volledig) zichtbaar worden van de weggebruiker. Hiertoe gebruiken we enkel datapunten die zich niet aan de rand van het studiegebied bevinden om conflictindicatoren te berekenen.

In onderstaande hotspotanalyses worden de conflicten gewogen volgens de ernst van het conflict (meer ernstige conflicten tellen zwaarder door dan minder ernstige conflicten). Merk op dat iedere hotspotanalyse een relatieve schaal hanteert: de kleurschakering toont voor de desbetreffende hotspotanalyse de meest kritieke locatie, maar niet de absolute ernst zelf (donkerrood staat niet automatisch/noodzakelijk voor een gevaarlijke situatie).

6.1 Pelt



Figuur 51: illustratie van de berekende trajecten per type weggebruiker in Pelt

Figuur 51 illustreert de trajecten per weggebruiker. Dit overzicht helpt om de bespreking van de conflicten hieronder beter te kaderen.

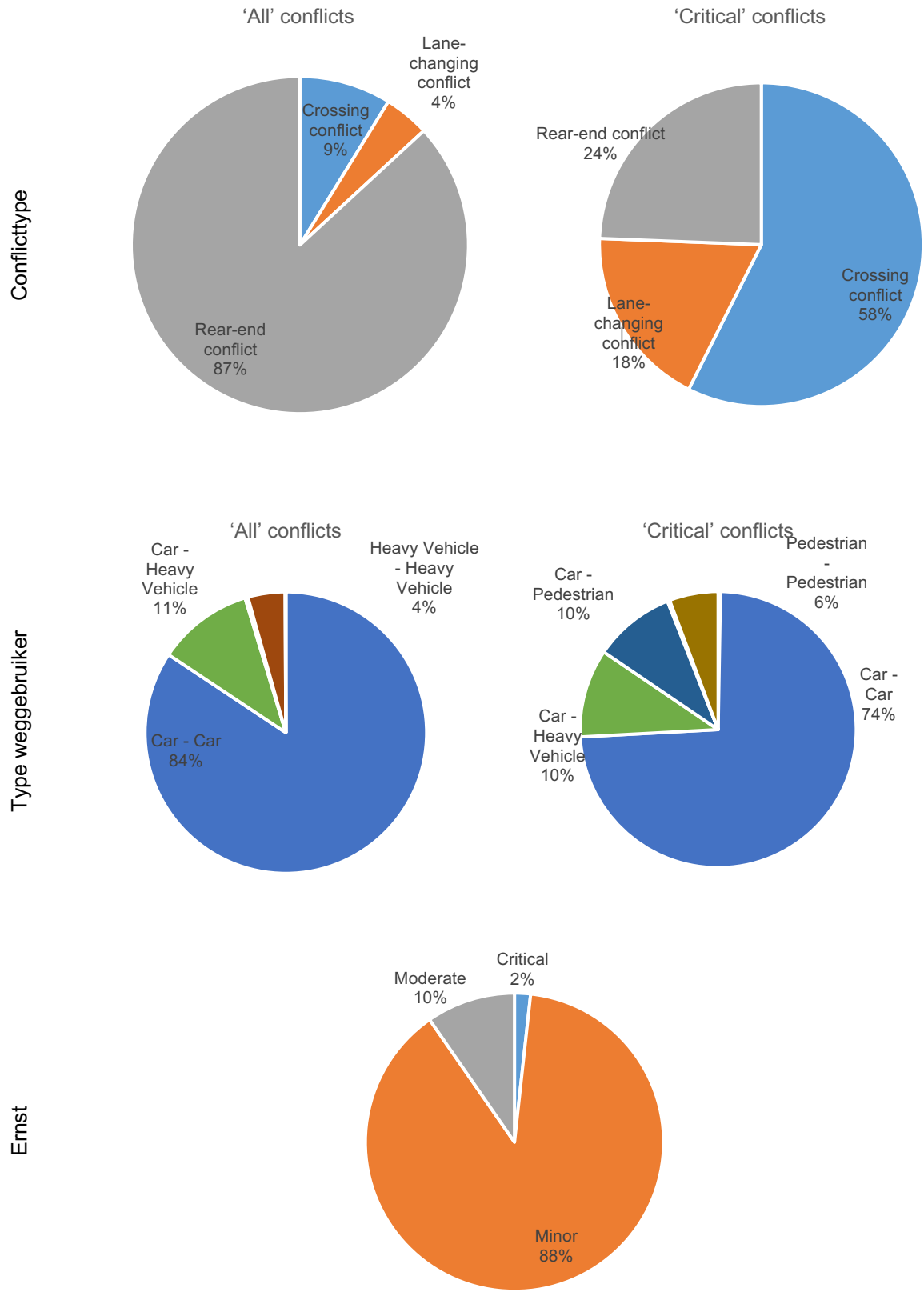
Op deze locatie passeren er actieve weggebruikers (vooral fietsers) maar geen bijzonder grote aantallen. De automatische analyse kon bovendien slechts een minderheid van hen detecteren in deze proefopstelling. Dit kan een oorzaak zijn voor het relatief klein aantal conflicten waarbij actieve weggebruikers betrokken zijn (zie verder). Merk op dat de AI in de meeste gevallen de persoon op de fiets detecteerde (maar niet de fiets zelf) en deze als voetganger labelde. Op deze locatie komen, in tegenstelling tot wat uit de data doet vermoeden, hoofdzakelijk fietsers als actieve weggebruikers voor.

6.1.1 Samenvattende infographics

Figuur 52: illustratie van de gedetecteerde conflicten in Pelt waarbij de kleur een combinatie van waarschijnlijkheid en ernst van een conflict weergeeft. Links gebaseerd op TTCmin, rechts gebaseerd op PET.

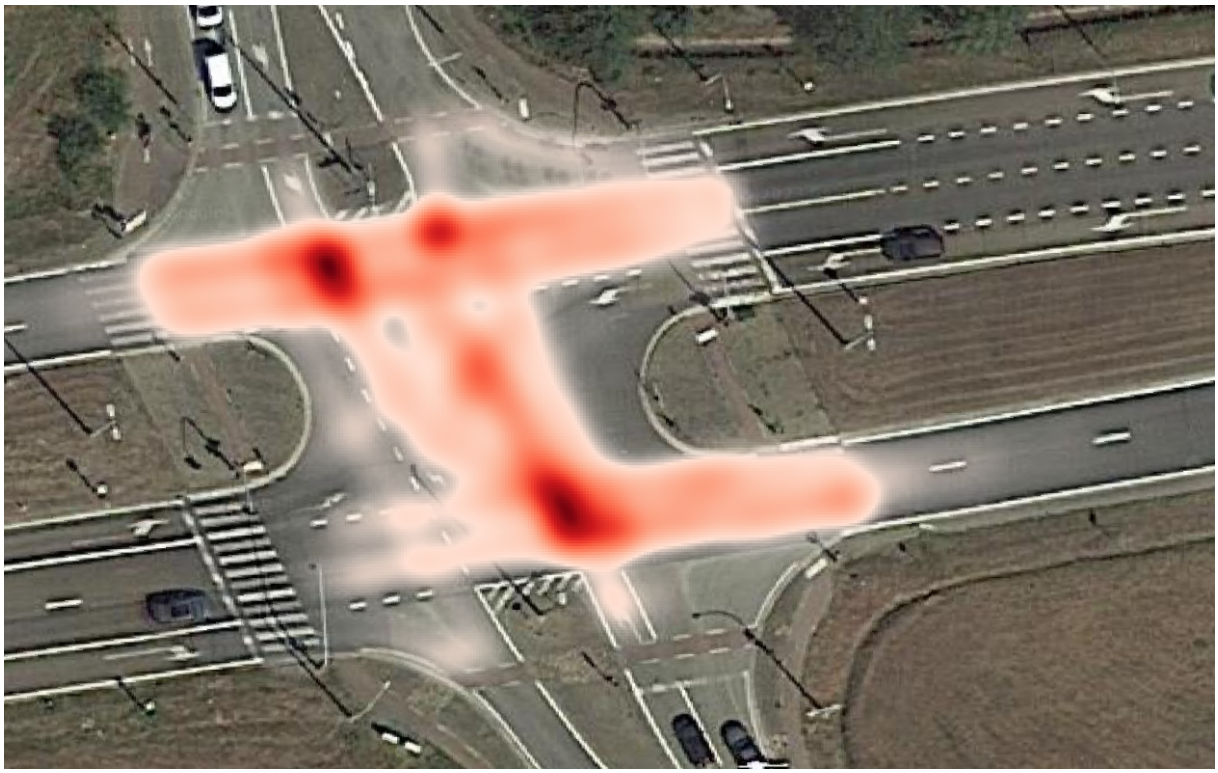
Figuur 52 toont een overzicht van de locatie van de gedetecteerde conflicten. De locatie in geval van TTCmin betreft de hypothetische locatie van het conflict moesten beide weggebruikers hun snelheid, acceleratie en richting aanhouden. In het geval van PET wordt de locatie getoond waar beide weggebruikers elkaar met de kleinst mogelijk tijdsinterval gemist hebben. Figuur 53 toont samenvattende infographics die meer inzicht geven in deze data.

Er worden *zeer* veel conflicten berekend, maar slechts een minderheid is echt noemenswaardig. Door onnauwkeurigheden in de data (zie ook 9 *Uitdagingen tijdens het project*) worden er vaak conflicten gedetecteerd die in werkelijkheid niet plaatsvinden. Door slimme filtertechnieken o.a. gebaseerd op de ernst (DeltaV) kunnen anderzijds de meest kritieke conflicten wel geïdentificeerd worden. Merk op dat de verdeling van conflicttypes sterk verschilt wanneer men alle conflicten vergelijkt met de meest kritieke: deze laatste categorie is duidelijk gekenmerkt door een groot aandeel conflicten als gevolg van kruisend verkeer.

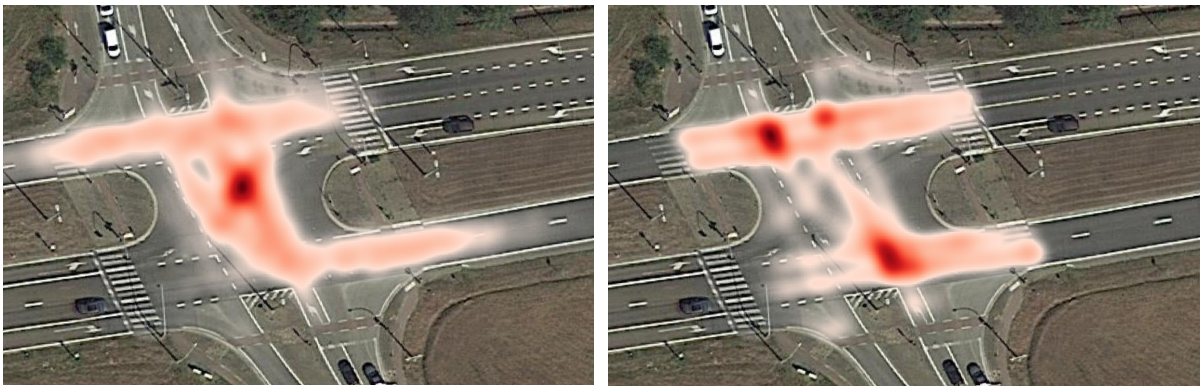


Figuur 53: samenvattende infographics voor de conflictanalyse in Pelt. Merk op dat de AI veelal de persoon op de fiets detecteerde (maar niet de fiets zelf) en bijgevolg fietsers als voetganger labelde. Op deze locatie komen, in tegenstelling tot wat uit de data doet vermoeden, hoofdzakelijk fietsers als actieve weggebruikers voor.

6.1.2 Alle weggebruikers



Figuur 54: Pelt: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten tussen alle weggebruikers gebaseerd op de TTCmin en PET indicatoren, gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)



TTCmin PET

*Figuur 55: Pelt: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten tussen alle weggebruikers (**links** gebaseerd op TTCmin en **rechts** gebaseerd op PET), gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)*

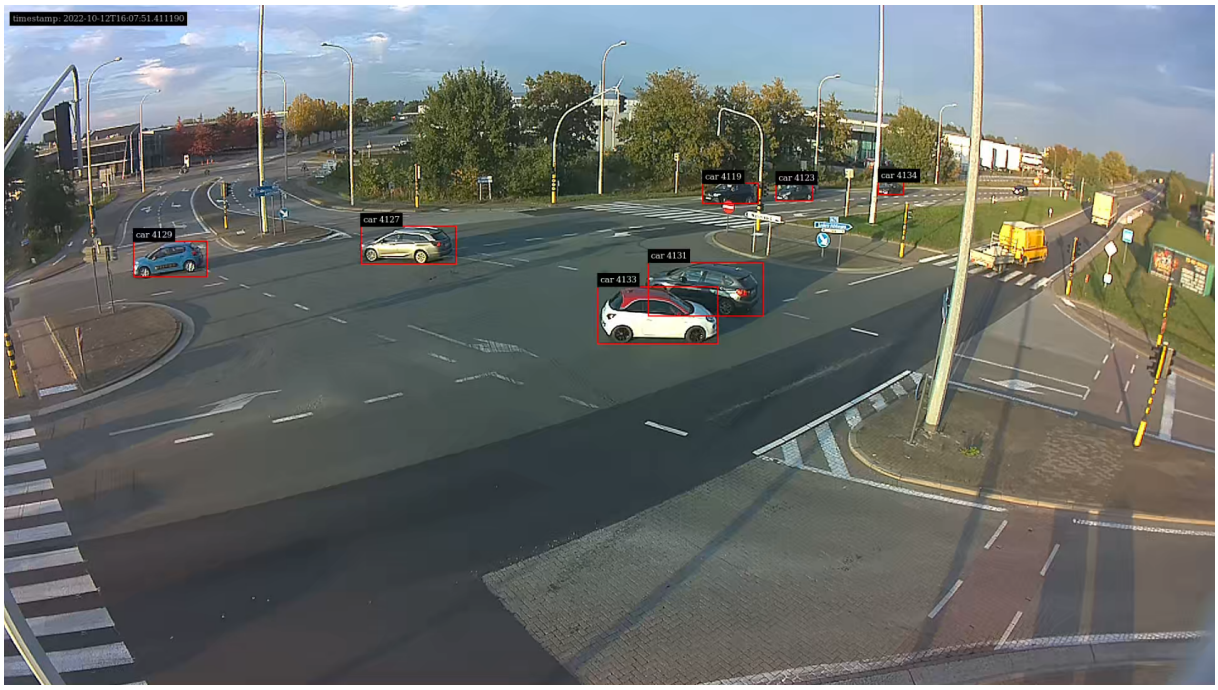
Figuur 54 illustreert dat de meest kritieke conflictlocaties zich op de N71 bevinden in het verlengde van de N712. Voertuigen die vanuit de N712 het kruispunt trachten over te steken om vervolgens naar links af te slaan op de N71 komen in conflict met de voertuigen uit de N712 die een vergelijkbare beweging willen maken in de omgekeerde richting (of rechtdoor het kruispunt over trachten te rijden). Merk op dat de lichtenregeling op dit kruispunt niet conflictenvrij is.

Figuur 55 toont eenzelfde hotspot analyse, maar ditmaal afzonderlijk voor de indicatoren TTCmin en PET. De conflictlocaties verschillen tussen beide indicatoren gegeven dat de conflictlocatie gebaseerd op TTCmin een geprojecteerde locatie is van een hypothetisch aanrijding indien weggebruikers hun snelheid en richting niet zouden aanpassen, terwijl de conflictlocatie gebaseerd op PET een

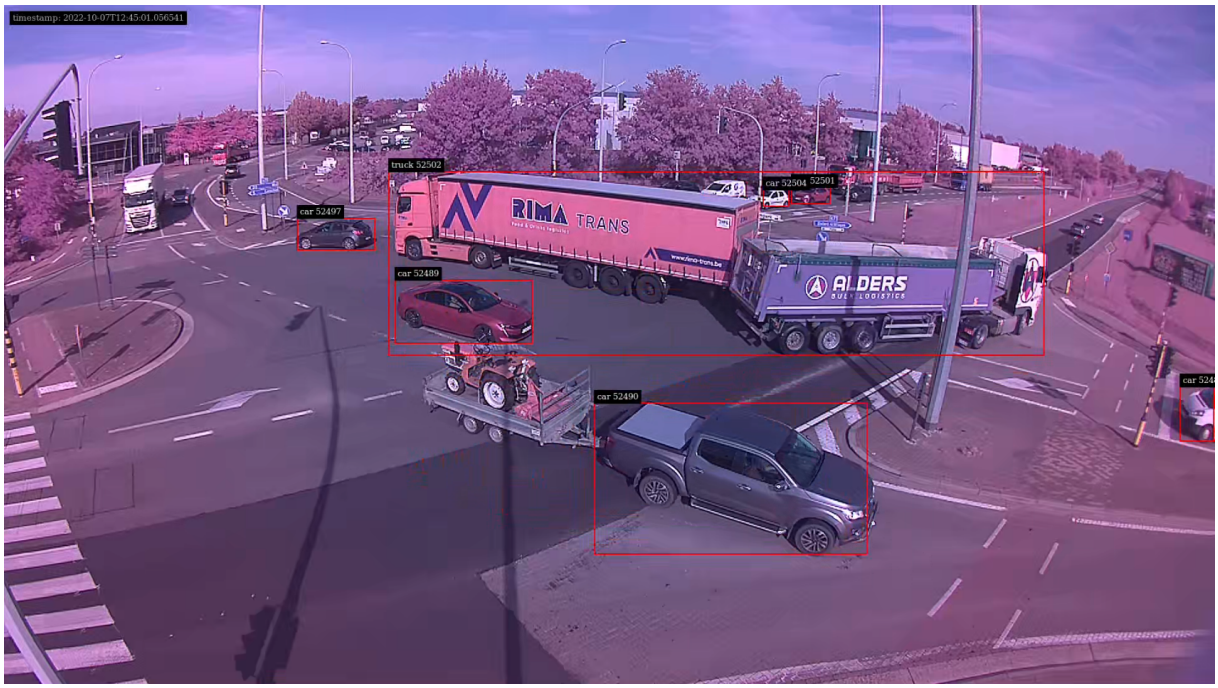
gemeenschappelijk punt in de trajecten van de twee conflicterende weggebruikers is, gescheiden door het tijdsinterval *PET*. Figuur 54 verduidelijk (gegeven de relatieve schaal) dat PET op dit kruispunt de beste inschatting maakt van de meest kritieke conflictlocaties.

Deze bevindingen lijken ook bevestigd te worden door het beeldmateriaal, observaties ter plaatse en zelfs brokstukken (glas, plastiek…) van voorbije aanrijdingen op de aangegeven locatie die tijdens het onderzoek ter plaatse aangetroffen werden.

In Figuur 56 wordt een toongevend conflict voor de kruisende beweging uitgelicht die via de conflictanalyse opgemerkt werd.



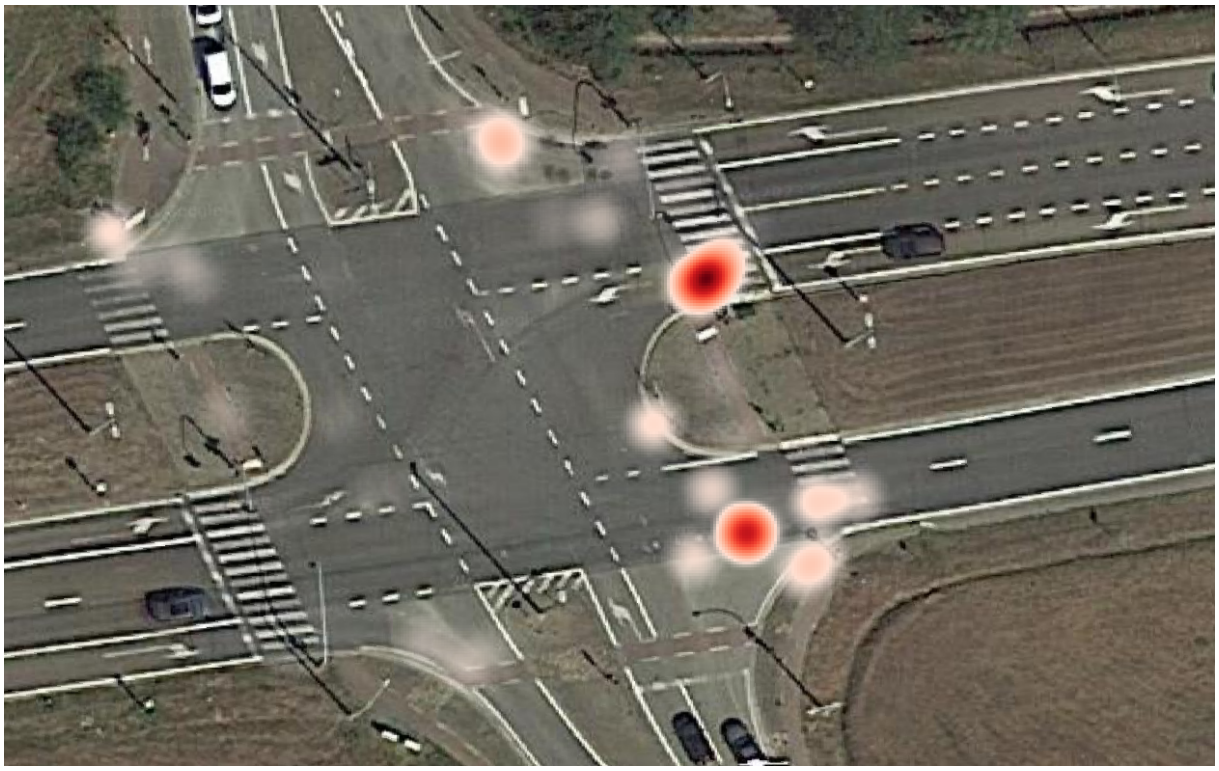
Figuur 56: Kruisend conflict tussen twee personenwagens (waarschijnlijkheidsscore op basis van PET: 0.49s , ernstscore 16,3 m/s)). De afdraaiende witte wagen moet sterk afremmen om een aanrijding met de overstekende donkere wagen te vermijden.



Figuur 57: Het kruisen van grote vrachtwagens verloopt soms moeizaam door hun afmetingen. Dit conflict werd niet door de conflictindicatoren opgemerkt (noch door TTCmin of door PET) gegeven dat het traag en gecontroleerd uitgevoerd werd, maar men merkt op dat de rechter vrachtwagen de centrale vrachtwagen nauwelijks mist en in dit manoever de grenzen van het rijvak moet overschrijden. De paarse waas over het beeld wordt veroorzaakt door een technisch defect inzake de controle van de IR filter van de camera.

6.1.3 Met betrokken actieve weggebruikers

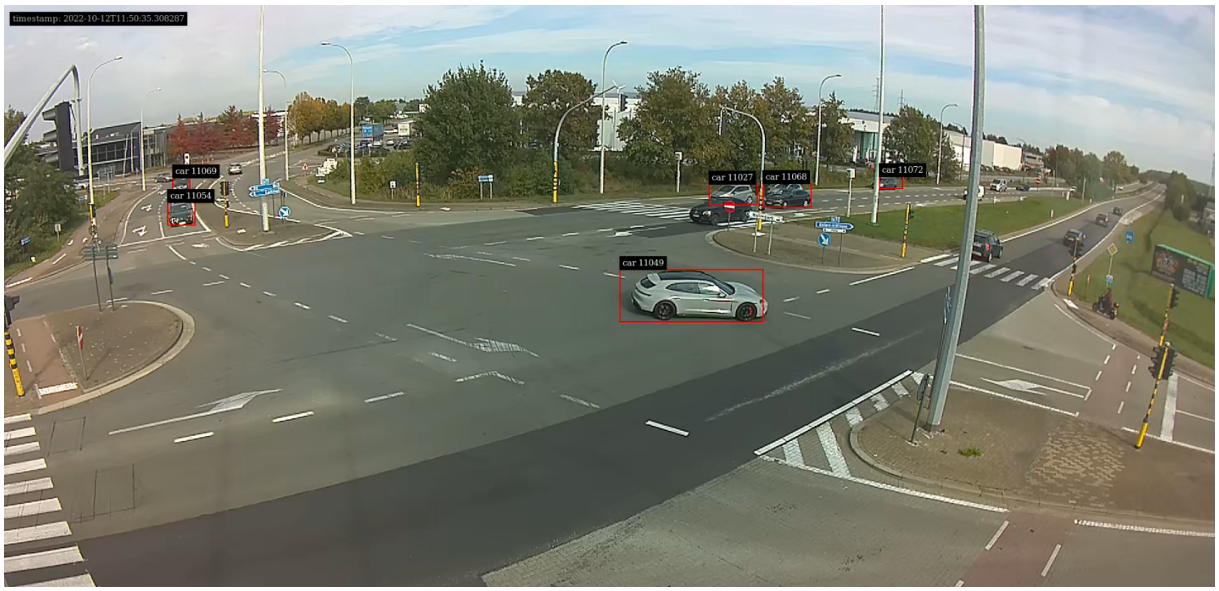
In deze deelanalyse worden enkel conflicten weerhouden waarbij een of meerdere actieve weggebruikers betrokken was. Figuur 58 toont de hotspotanalyse gebaseerd op zowel TTCmin als PET. Er is een duidelijk verschil met Figuur 54 op te merken, wat (gegeven de relatieve schaal) aangeeft dat dit type conflicten weinig voorkomt en/of dat deze niet ernstig zijn. Er zijn 2 duidelijke hotspots zichtbaar: de bovenste hotspot wordt veroorzaakt door verkeerde detecties en classificaties: zoals Figuur 61 toont wordt een verkeersbord geregeld verkeerdelijk als voetganger geclassificeerd. Door de geprojecteerde positie op de achterliggende rijbaan detecteert PET dit als een conflict, zoals ook geïllustreerd in Figuur 59. De onderste hotspot wordt veroorzaakt door conflicten gedetecteerd door TTCmin die echter niet waarschijnlijk of ernstig waren, zie bv. Figuur 60.



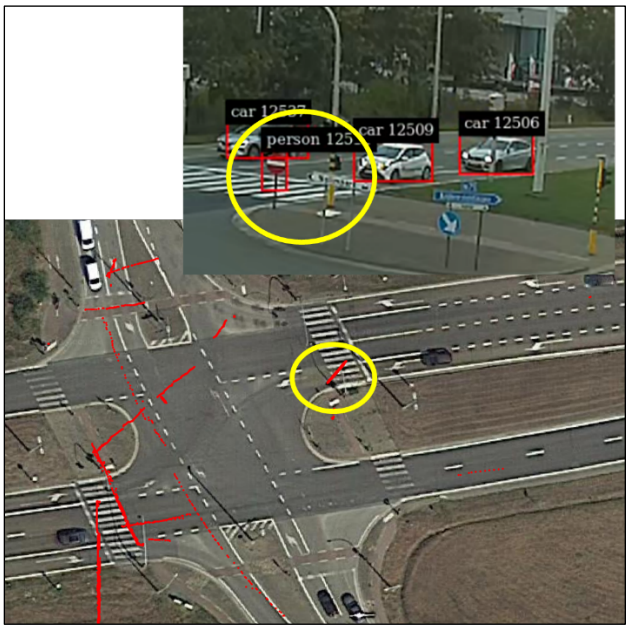
Figuur 58: Pelt: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten waarbij minstens 1 actieve weggebruiker betrokken was, gebaseerd op de TTCmin en PET indicatoren en gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)

TTCmin PET

Figuur 59: Pelt: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten waarbij minstens 1 actieve weggebruiker betrokken was (links gebaseerd op TTCmin en rechts gebaseerd op PET), gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)



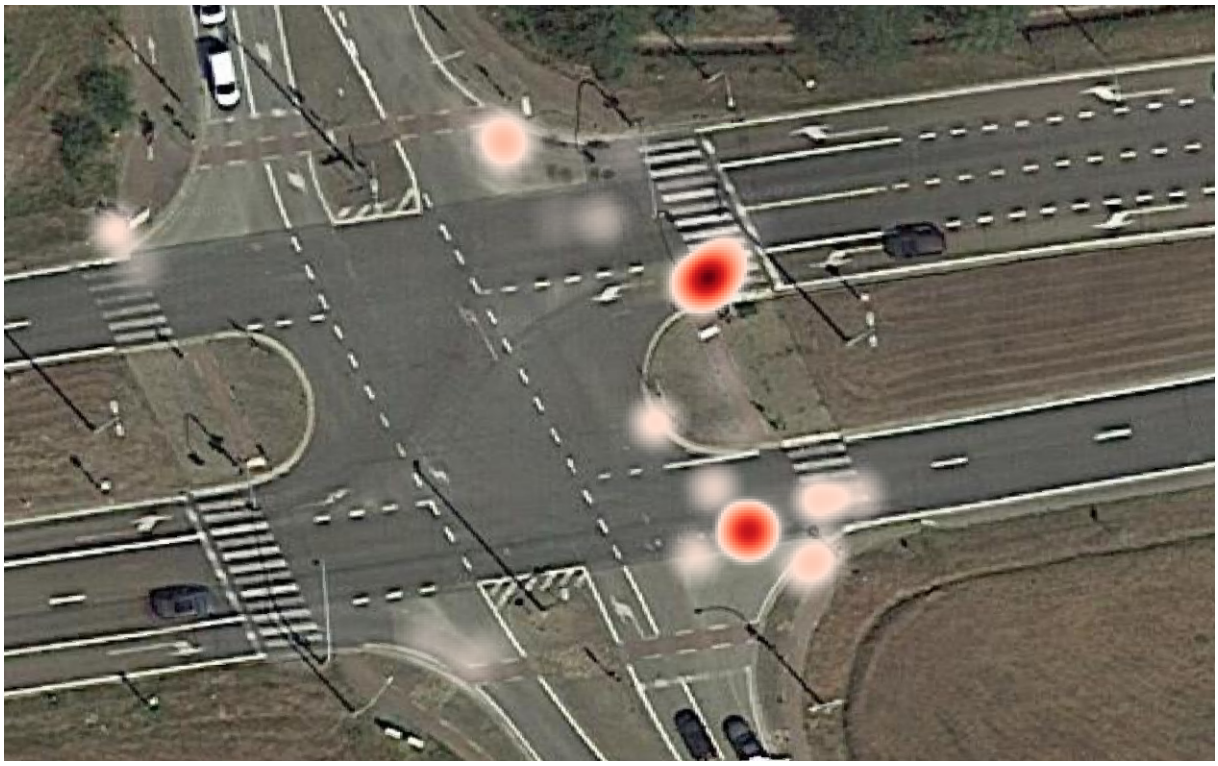
Figuur 60: Kruisend conflict tussen de personenwagen centraal in beeld en de scooter die rechts bovenaan de Ringlaan nadert (waarschijnlijkheidsscore op basis van TTCmin: 0,78s , ernstscore 6,66 m/s)). Dit type conflicten worden vaker opgemerkt doordat de personenwagens zich in een draaibeweging bevinden, maar de ernst is doorgaans laag.



Figuur 61: Illustratie van de oorzaak voor de false positive conflictdetectie

6.1.4 Met strikt 1 actieve weggebruiker betrokken

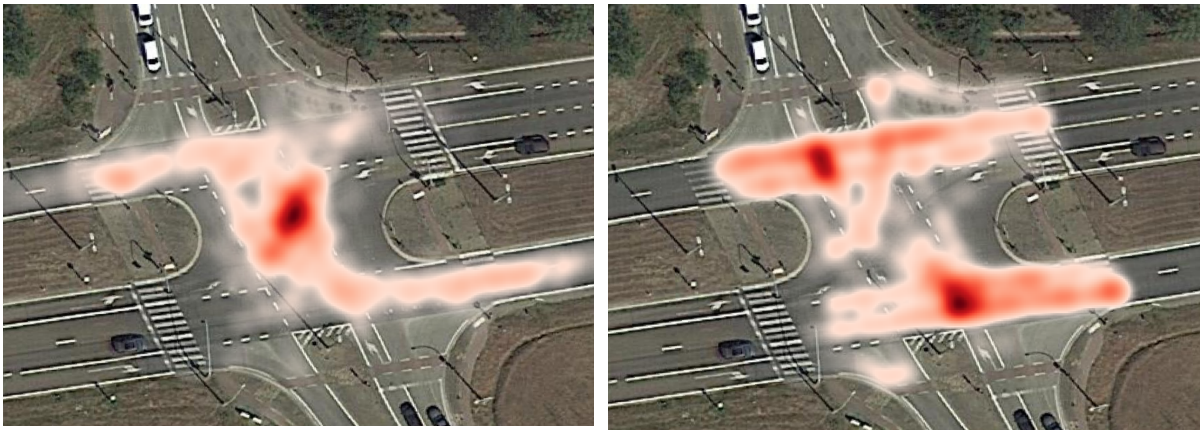
In deze deelanalyse worden enkel conflicten weerhouden waarbij precies één actieve weggebruiker betrokken was, om uit te sluiten dat er conflicten tussen actieve weggebruikers onderling meegenomen worden. Figuur 62 toont het resultaat, met zoals verwacht slechts marginale verschillend ten opzichte van Figuur 58.



Figuur 62: Pelt: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten waarbij één actieve weggebruiker en één gemotoriseerd voertuig betrokken waren, gebaseerd op de TTCmin en PET indicatoren en gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)

6.1.5 Met zwaar verkeer betrokken

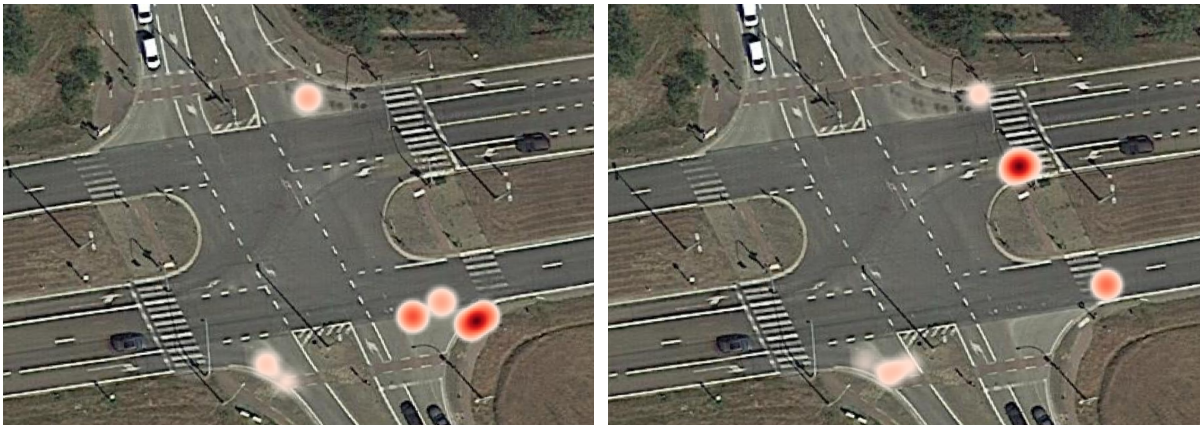
Deze deelanalyse beschouwt enkel conflicten waarbij tenminste 1 zwaar voertuig betrokken was. De kritieke punten in de hotspotanalyse van Figuur 63 komen sterk overeen met de analyse die alle weggebruikers beschouwde in Figuur 54. Er lijken dus geen specifieke conflictmechanismen die uniek zijn voor dit type weggebruikers.



Figuur 63: : Pelt: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten waarbij minstens 1 zwaar voertuig betrokken was (links gebaseerd op TTCmin en rechts gebaseerd op PET), gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)

6.1.6 Tussen zwaar verkeer en actieve weggebruikers

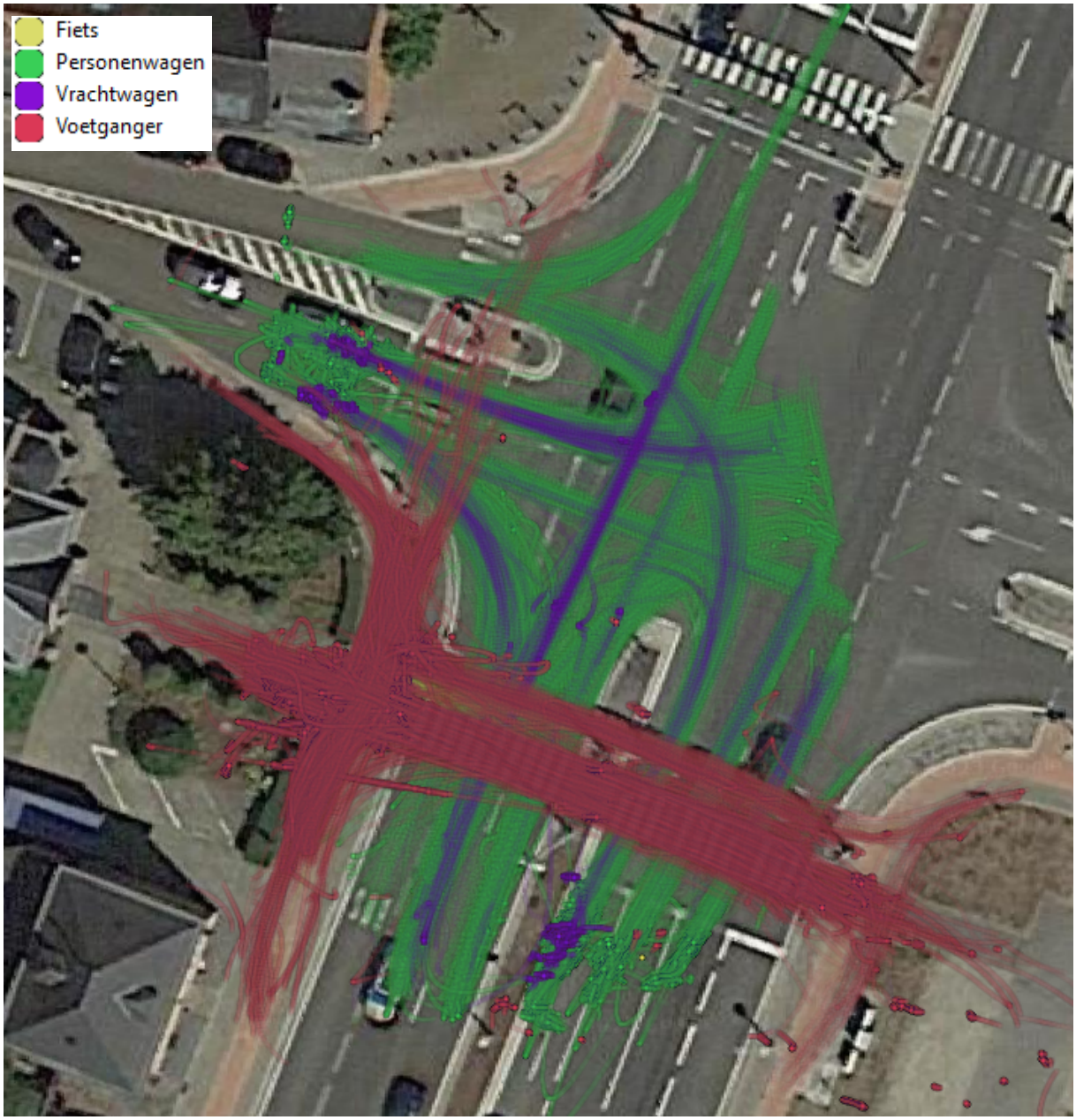
Conflicten tussen zwaar verkeer en actieve weggebruikers behoren tot de meest ernstige conflicten. Door de doorgaans slechte zichtbaarheid (cfr. dode hoek ongevallen) bij zwaar verkeer, en het grote massaverschil tussen beide types weggebruiker is dit een belangrijke deelanalyse om bij stil te staan. Figuur 64 toont het resultaat van de hotspot analyse. Zoals in de vorige analyse met actieve weggebruikers als betrokken partij is de slechte detectiegraad voor deze categorie een mogelijk probleem. De conflictlocaties gebaseerd op PET zijn vergelijkbaar als in voorgaande analyses, de locaties gebaseerd op TTCmin zijn slechts zeer beperkt verschoven. Figuur 65 illustreert een van de meest kritieke gedetecteerde conflicten waarvan de waarschijnlijkheidsscore en ernstscore echter geen groot probleem aanduiden.



Figuur 64: Pelt: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten waarbij een actieve weggebruiker en een zwaar voertuig betrokken waren (links gebaseerd op TTCmin en rechts gebaseerd op PET), gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)

Figuur 65: Conflict tussen de bestelwagen en de fietser die rechts bovenaan de Ringlaan nadert (waarschijnlijkheidsscore op basis van TTCmin: 1,57 s , ernstscore 9,88 m/s)).

6.2 Hasselt (Kiewit)

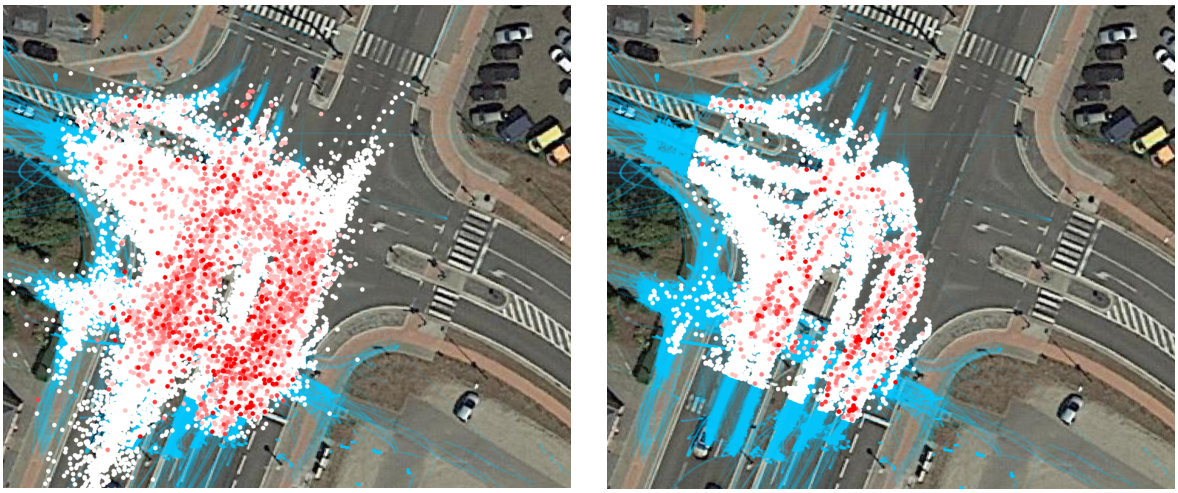


Figuur 66: Illustratie van de berekende trajecten per type weggebruiker in Hasselt (Kiewit)

Figuur 66 illustreert de trajecten per weggebruiker. Dit overzicht helpt om de bespreking van de conflicten hieronder beter te kaderen. Een deel van het kruispunt kon niet goed in beeld worden gebracht en bevat geen trajecten van weggebruikers. In dit gebied kunnen geen conflicten berekend worden. Net als in Pelt is de lichtenregeling niet conflictenvrij voor het verkeer uit de Vijverstraat en de Tulpinstraat: zij krijgen tegelijkertijd voor alle richtingen een groenfase.

Op deze locatie passeren er relatief veel actieve weggebruikers (zowel voetgangers als fietsers). De automatische analyse kon echter slechts een gedeelte van hen detecteren in deze proefopstelling. Merk ook op dat de AI in de meeste gevallen eerst de persoon op de fiets detecteerde (maar meestal niet de fiets zelf) en deze als voetganger labelde, vandaar dat het aandeel fietsers in Figuur 66 klein lijkt.

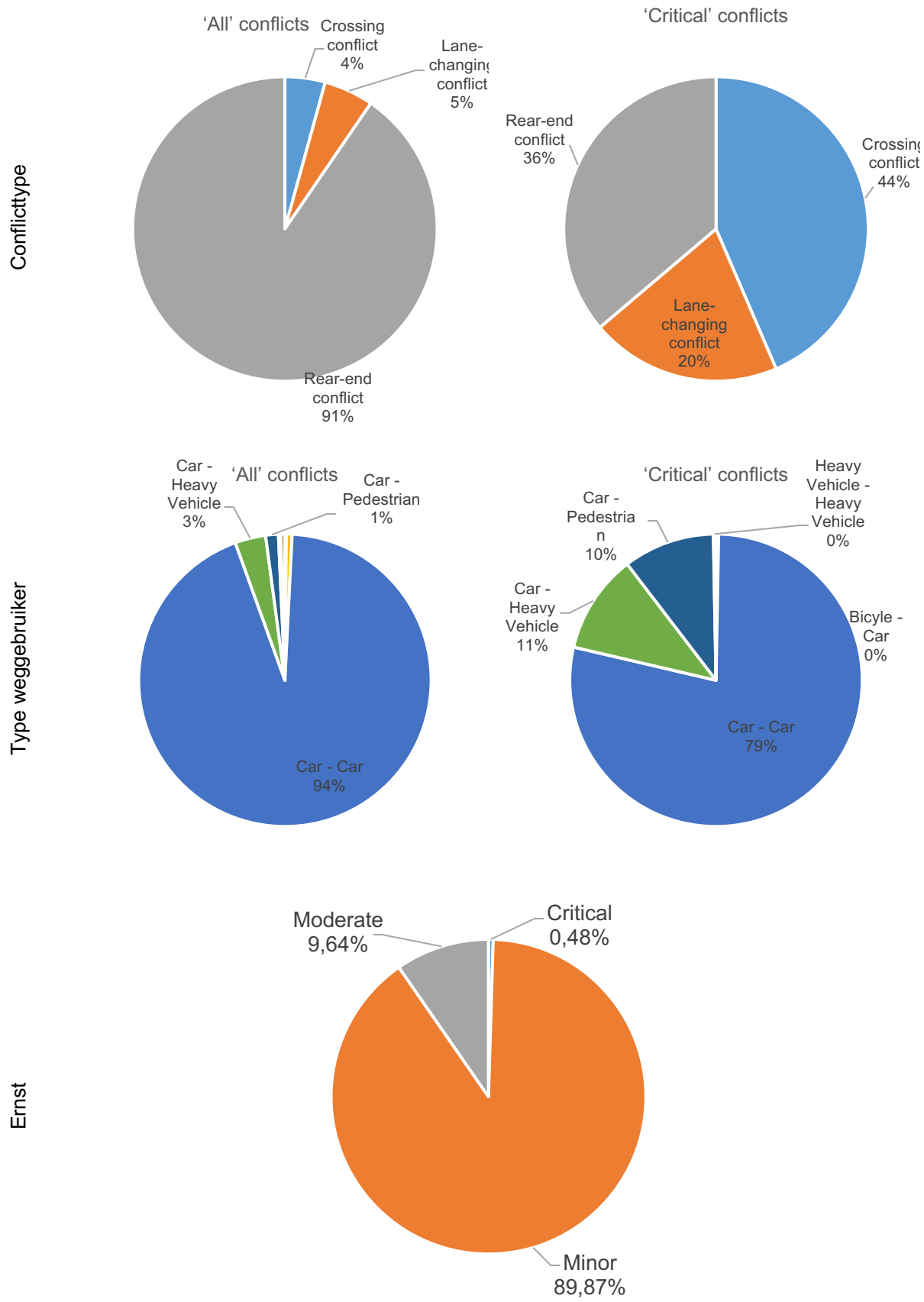
6.2.1 Samenvattende infographics



Figuur 67: illustratie van de gedetecteerde conflicten in Hasselt (Kiewit) waarbij de kleur een combinatie van waarschijnlijkheid en ernst van een conflict weergeeft. Links gebaseerd op TTCmin, rechts gebaseerd op PET.

Figuur 67 toont een overzicht van de locatie van de gedetecteerde conflicten. De locatie in geval van TTCmin betreft de hypothetische locatie van het conflict moesten beide weggebruikers hun snelheid, acceleratie en richting aanhouden. In het geval van PET wordt de locatie getoond waar beide weggebruikers elkaar met de kleinst mogelijk tijdsinterval gemist hebben. Figuur 68 toont samenvattende infographics die meer inzicht geven in deze data.

Er worden zeer veel conflicten berekend, maar slechts een minderheid is echt noemenswaardig. Door onnauwkeurigheden in de data (zie ook 9 *Uitdagingen tijdens het project*) worden er vaak conflicten gedetecteerd die in werkelijkheid niet plaatsvinden. Door slimme filtertechnieken o.a. gebaseerd op de ernst (DeltaV) kunnen de meest kritieke conflicten echter wel geïdentificeerd worden. Merk op dat de verdeling van conflicttypes sterk verschilt wanneer men alle conflicten vergelijkt met de meest kritieke: deze laatste categorie wordt in de eerste plaats gekenmerkt door conflicten als gevolg van kruisend verkeer, maar het aandeel kop-staart conflicten en conflicten ten gevolge van het veranderen van rijstrook is van een vergelijkbare grootteorde.



Figuur 68: samenvattende infographics voor de conflictanalyse in Hasselt (Kiewit). Merk op dat de AI veelal de persoon op de fiets detecteerde (maar niet de fiets zelf) en bijgevolg fietsers als voetganger labelde. Op deze locatie komen, in tegenstelling tot wat uit de data doet vermoeden, wel relatief aanzienlijke aantallen fietsers als actieve weggebruikers voor.

6.2.2 Alle weggebruikers

Figuur 69: Kiewit: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten tussen alle weggebruikers gebaseerd op de TTCmin en PET indicatoren, gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)

TTCmin PET

*Figuur 70: Kiewit: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten tussen alle weggebruikers (**links** gebaseerd op TTCmin en **rechts** gebaseerd op PET), gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)*

Figuur 69 toont een hotspotanalyse van de gedetecteerde conflicten. Er lijken twee clusters van conflicten te zijn die zowel via TTCmin als PET opduiken.

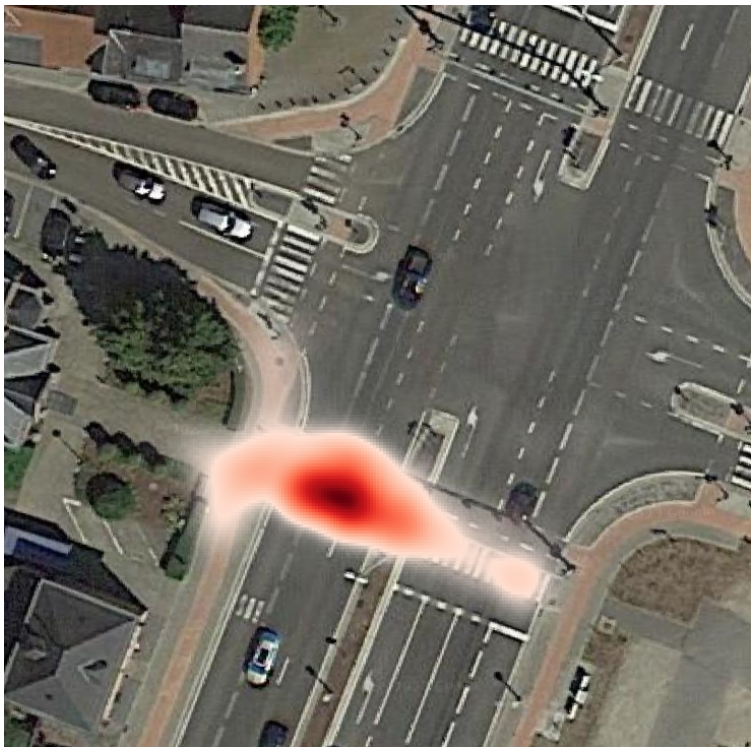
De rechter cluster op de Kempische Steenweg in de richting van Zonhoven (Eindhoven) heeft geen logische verklaring buiten dat deze door inaccurate detecties van het gemotoriseerde verkeer veroorzaakt werd. Een bijkomende analyse bevestigde dit ook. De accuraatheid van de gedetecteerde weggebruikers in deze zone is vermoedelijk laag doordat langs de ene kant de camera aan de linkerzijde (westen) veraf ligt en door de beperkte resolutie slechts een onnauwkeurige locatiebepaling toelaat, en langs de andere kant de camera aan de rechterzijde (oosten) net erg dicht langs deze rijstrook staat zodat het gemotoriseerde verkeer (zeker wanneer dit op snelheid is) slechts erg kort in beeld komt.

De linker cluster ligt ongeveer centraal tussen beide camera's en hier is de kwaliteit van de data het best. De gedetecteerde conflicten konden ook teruggevonden worden in het beeldmateriaal, en worden in onderstaande deelanalyses in meer detail besproken.

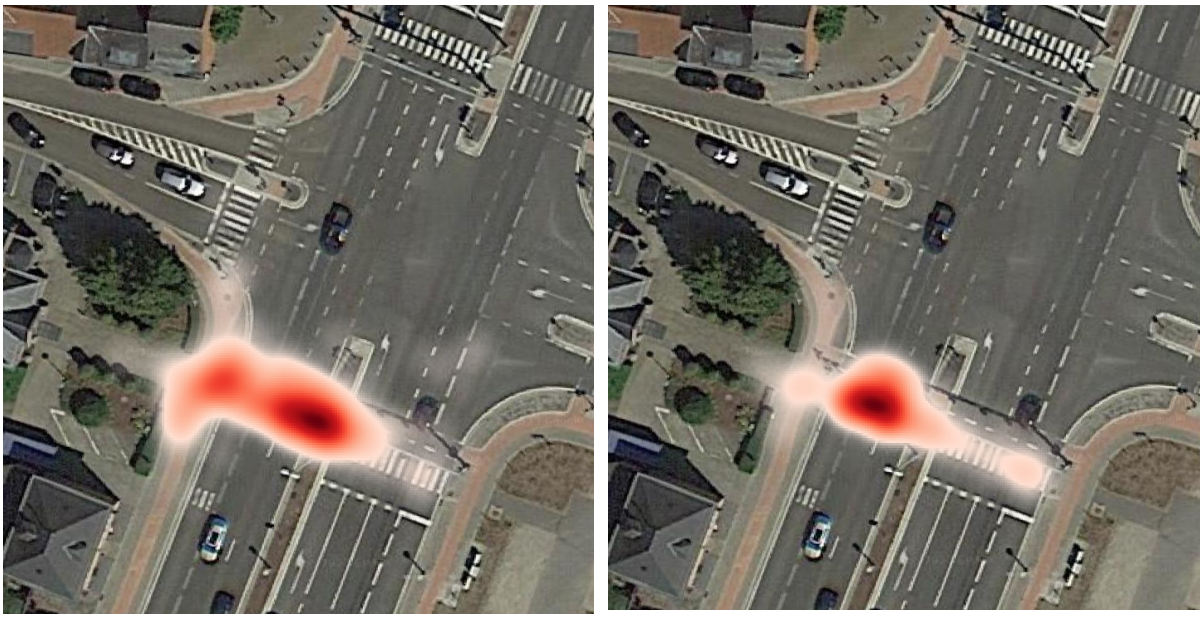
6.2.3 Met betrokken actieve weggebruikers

Figuur 71 en Figuur 72 illustreren de hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten waarbij minstens 1 actieve weggebruiker betrokken was. Merk op dat hierin ook frequente conflicten tussen overstekende actieve weggebruikers onderling vervat zitten. Deze oversteek wordt intensief gebruikt door ouders en kinderen die zich tussen de Vrije Basisschool De Kievit en een parking verplaatsen die aan weerszijde van de Kempische Steenweg liggen. De analyse in de volgende sectie compenseert dit effect.

Er worden vooral conflicten gevonden op het helft van het zebrapad die kruist met de Kempische Steenweg in de richting van Hasselt. Dit komt omdat men dit deel van het zebrapad niet conflictenvrij kan oversteken: de lichtenregeling geeft op dat moment ook groenfase voor alle richtingen uit de Vijverstraat en de Tulpinstraat. De andere helft van het zebrapad heeft enkel een groenfase wanneer het verkeer richting Zonhoven (Eindhoven) een roodfase heeft. De conflicten die hier gedetecteerd worden zijn hoofdzakelijk conflicten tussen actieve weggebruikers onderling, zoals blijkt uit deelanalyse 6.2.4 *Met strikt 1 actieve weggebruiker betrokken*, waar dit type conflicten uitgesloten werd.



Figuur 71: Kiewit: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten waarbij minstens 1 actieve weggebruiker betrokken was, gebaseerd op de TTCmin en PET indicatoren en gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)

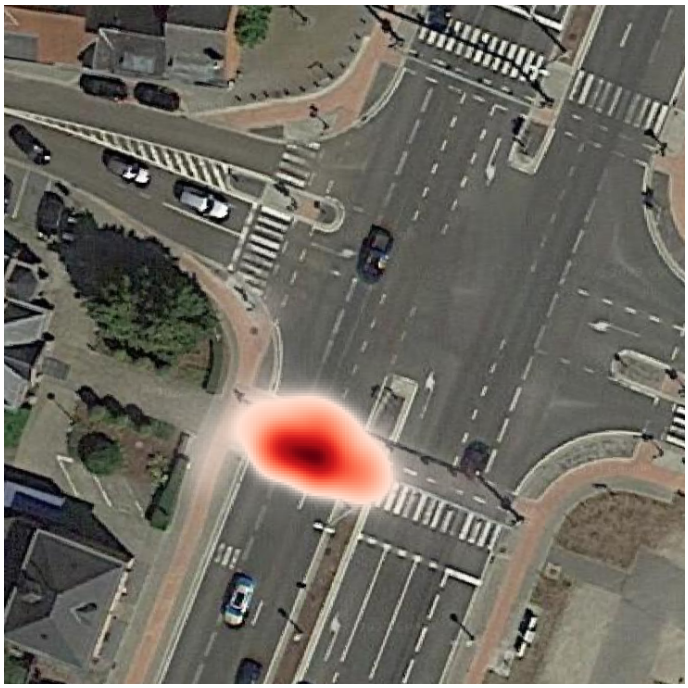


TTCmin PET

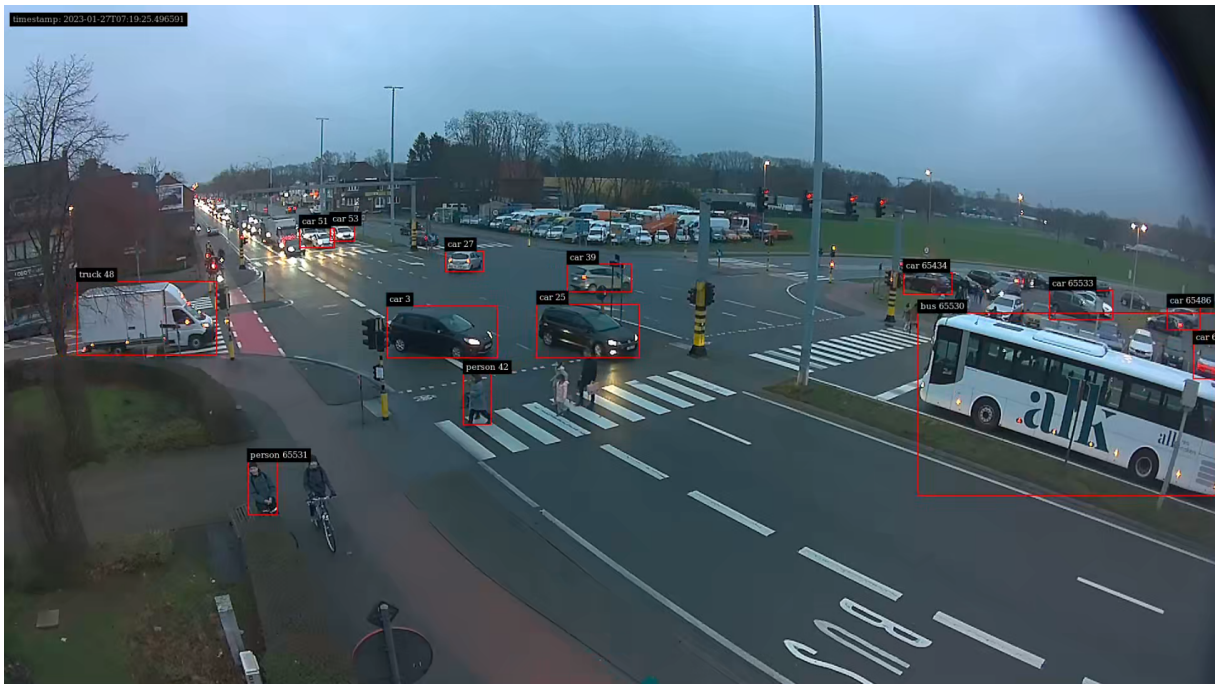
*Figuur 72: Kiewit: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten waarbij minstens 1 actieve weggebruiker betrokken was (**links** gebaseerd op TTCmin en **rechts** gebaseerd op PET), gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)*

6.2.4 Met strikt 1 actieve weggebruiker betrokken

Figuur 73 illustreert de hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten waarbij precies één actieve weggebruiker en één gemotoriseerd voertuig betrokken waren. Het valt op dat voornamelijk de westelijke helft van het zebrapad conflicten kent. Het beeldmateriaal en de plaatsbezoeken leren dat actieve weggebruikers hier niet conflictenvrij kunnen oversteken: de groenfase voor de overstekende voetgangers en fietsers wordt gecombineerd met een groenfase voor alle richtingen uit de westelijk gelegen Vijversstraat en de Oostelijk gelegen Tulpinstraat. De hotspot van conflicten ontstaat tussen overstekende actieve weggebruikers en voertuigen die vanuit de Vijversstraat rechts afslaan, en voertuigen die vanuit de Tulpinstraat links afslaan naar de Kempische Steenweg (Figuur 74). Figuur 75 toont een typisch ‘klein’ conflict gedetecteerd op basis van PET zonder grote risico’s, maar ook iets meer kritieke conflicten komen voor (Figuur 76 en Figuur 77). Het conflict in Figuur 78 werd zelfs als ‘ernstig’ geclassificeerd, maar na manuele controle gaat het niet over een risicovolle situatie. Figuur 79 toont een conflict dat op basis van TTCmin werd gedetecteerd.



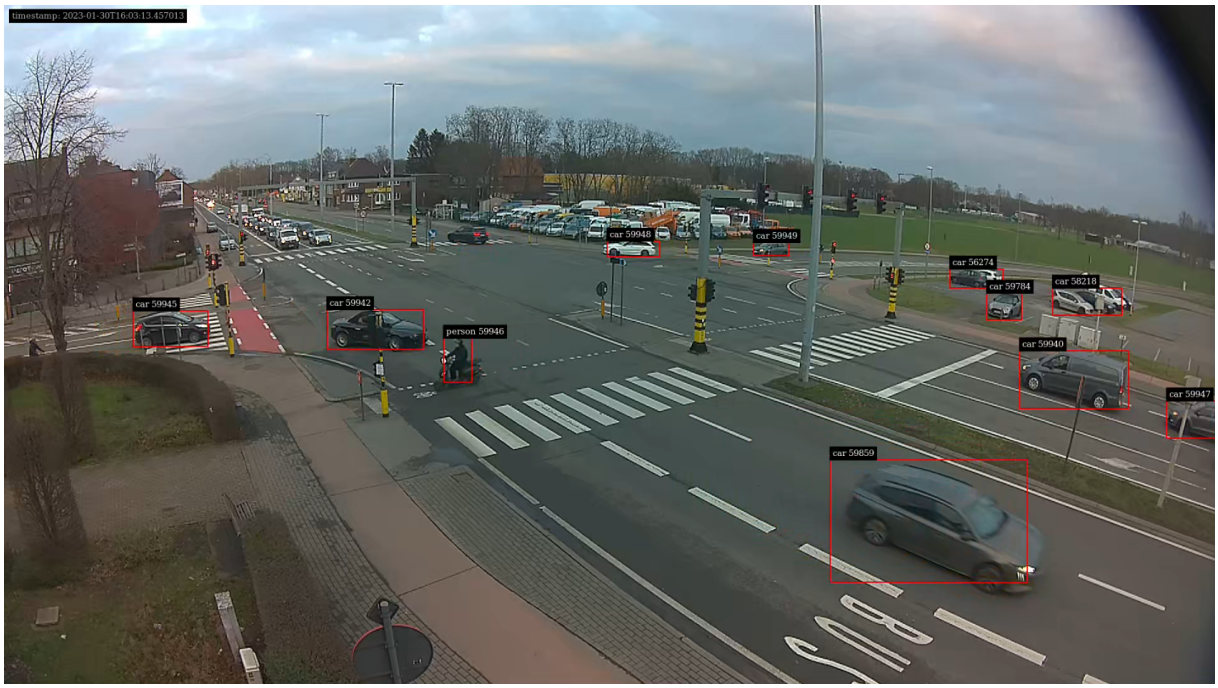
Figuur 73: Kiewit: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten waarbij één actieve weggebruiker en één gemotoriseerd voertuig betrokken waren, gebaseerd op de TTCmin en PET indicatoren en gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)



Figuur 74: Illustratie van de bewegingen op het kruispunt die in conflict treden met overstekende actieve weggebruikers

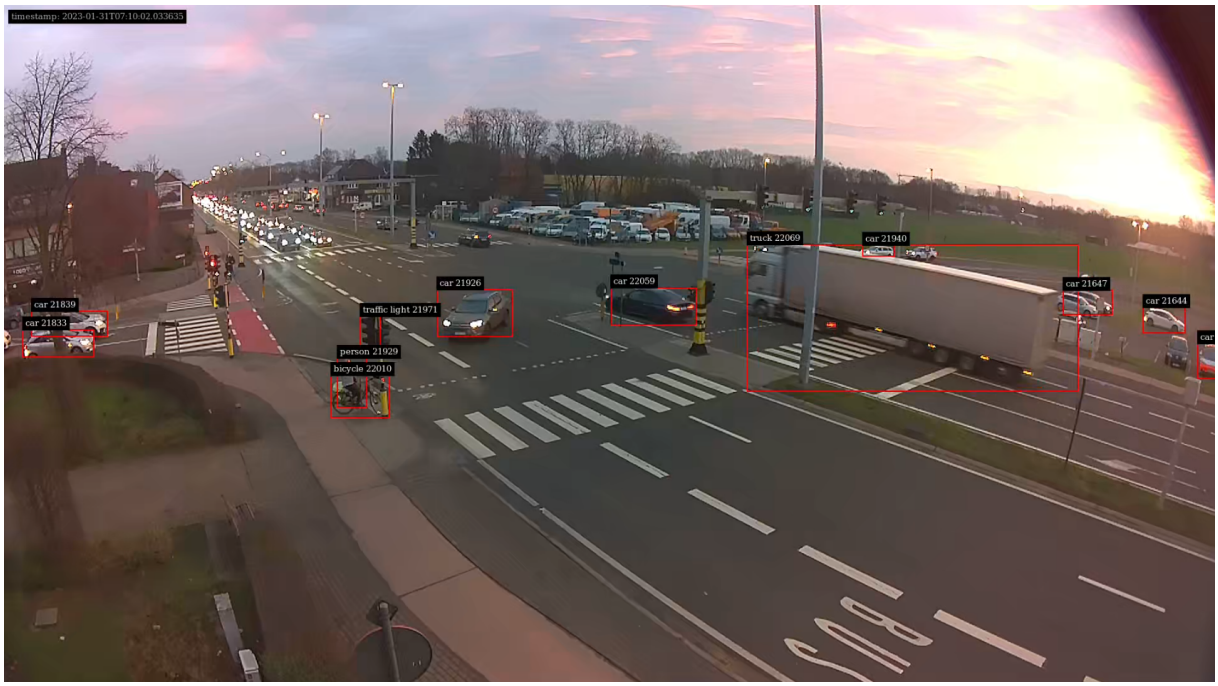
Figuur 75: Een 'klein' kruisend conflict tussen de overstekende voetganger en de donkere wagen die achter de voetganger door rijdt (waarschijnlijkheidsscore op basis van PET: 1,84 s , ernstscore 8,65 m/s)).

Figuur 76: Een 'gemiddeld' kruisend conflict tussen de overstekende fietser en de donkere wagen die kort achter de fietser door rijdt aan relatief hoge snelheid, voor de groep voetgangers de tweede helft van het zebrapad bereikt (en de automobilist zou moeten wachten). (waarschijnlijkheidsscore op basis van PET: 0,8 s, ernstscore 9,07 m/s))



Figuur 77: Een ander 'gemiddeld' kruisend conflict op dezelfde locatie. (waarschijnlijkheidsscore op basis van PET: 0,92 s, ernstscore 10,68 m/s))

Figuur 78: Een 'ernstig' kruisend conflict tussen de over lopende voetganger en een wagen die vlak ervoor afslaat. Dit voorbeeld toont echter ook aan dat manuele controle steeds nuttig is, gezien de wagen voor de loper de conflictzone verlaat, en de loper dus geen echt risico loopt als gevolg van deze beweging. (waarschijnlijkheidsscore op basis van PET: 0,48 s, ernstscore 8,85 m/s))

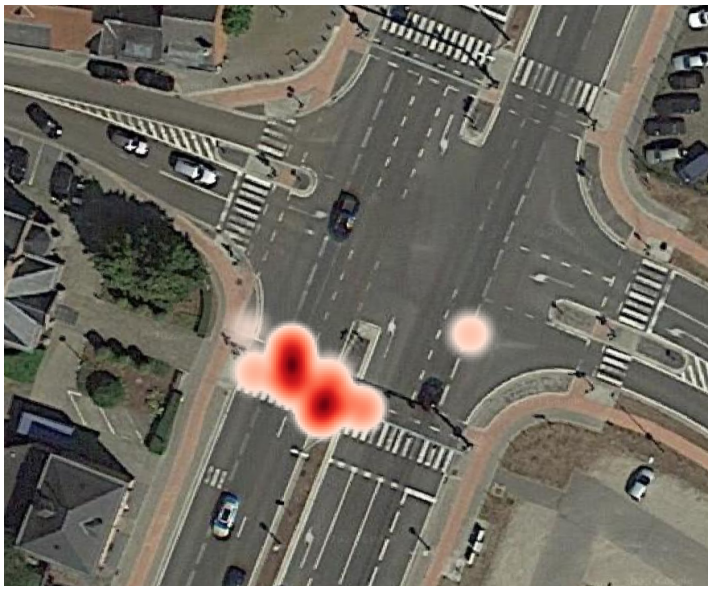


Figuur 79: 'Ernstig' kruisend conflict tussen de afslaande wagen en de wachtende fietser. Dit type conflicten worden vaker gedetecteerd tijdens een afslaande beweging, maar zijn niet noodzakelijk risicovol. (waarschijnlijkheidsscore op basis van TTCmin: 0,46 s, ernstscore 8,86 m/s))

6.2.5 Tussen zwaar verkeer en actieve weggebruikers

Conflicten tussen zwaar verkeer en actieve weggebruikers behoren tot de meest ernstige conflicten. Door de doorgaans slechte zichtbaarheid (cfr. dode hoek ongevallen) bij zwaar verkeer, en het grote massaverschil tussen beide types weggebruiker is dit een belangrijke deelanalyse om bij stil te staan. Figuur 80 toont het resultaat van de hotspot analyse gebaseerd op TTCmin. Dezelfde conflictzone wordt gevonden als in de vorige deelanalyses. Figuur 81 illustreert een 'gemiddeld' conflict op basis van TTCmin dat veroorzaakt wordt door een afdraaiende vrachtwagen. Het risico op dit soort conflicten is in praktijk eerder beperkt.

De analyse op basis van PET onthult geen noemenswaardig conflicten, vermoedelijk doordat er een goede zichtbaarheid is op de overstekende actieve weggebruikers. De vrachtwagens accelereren relatief traag uit de Vijverstraat en de Tulpinstraat na de overgang naar de groenfase, waardoor de berekende ernstgraad meevalt.



Figuur 80: Kiewit: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten waarbij een actieve weggebruiker en een zwaar voertuig betrokken waren gebaseerd op TTCmin, gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)

Figuur 81: Een 'gemiddeld' conflict tussen een vrachtwagen en stilstande fietsers op de middenberm, gedetecteerd op basis van TTCmin. De vrachtwagen maakt een bocht om in te voegen op de Kempische steenweg en trigger op deze manier op een bepaald moment een 'gemiddeld' conflict op basis van TTCmin. Het risico van dit type conflicten is in de praktijk eerder beperkt. (waarschijnlijkheidsscore op basis van PET: 0,73 s , ernstscore 5,23 m/s)).

6.3 Maasmechelen

Figuur 82: Illustratie van de berekende trajecten per type weggebruiker in Maasmechelen

Figuur 82 illustreert de trajecten per weggebruiker. Dit overzicht helpt om de bespreking van de conflicten hieronder beter te kaderen.

Opmerking: door geo-kalibratieproblemen op deze locatie waren er grote problemen om de weggebruikers uit de twee camerasystemen te matchen. De problemen konden niet tijdig opgelost worden doordat de observatie pas in de eindfase van het project afgerond kon worden (zie ook Hoofdstuk 9 *Uitdagingen tijdens het project*), waardoor we uiteindelijk terugvielen op een **back-up verwerkingsmethode**. Dit houdt in dat de analyse gebaseerd is op **data van slechts 1 camerasysteem**, en dat gemiddelde afmetingen per type weggebruiker werden gebruikt. Door het erg schuine perspectief en een imperfecte geo-kalibratie van de data is de kwaliteit minder goed dan wanneer we de 3D matching konden uitvoeren. In Figuur 82 is er op enkele plaatsen hierdoor een kleine afwijking te bemerken ten opzichte van de satelliet onderlaag.

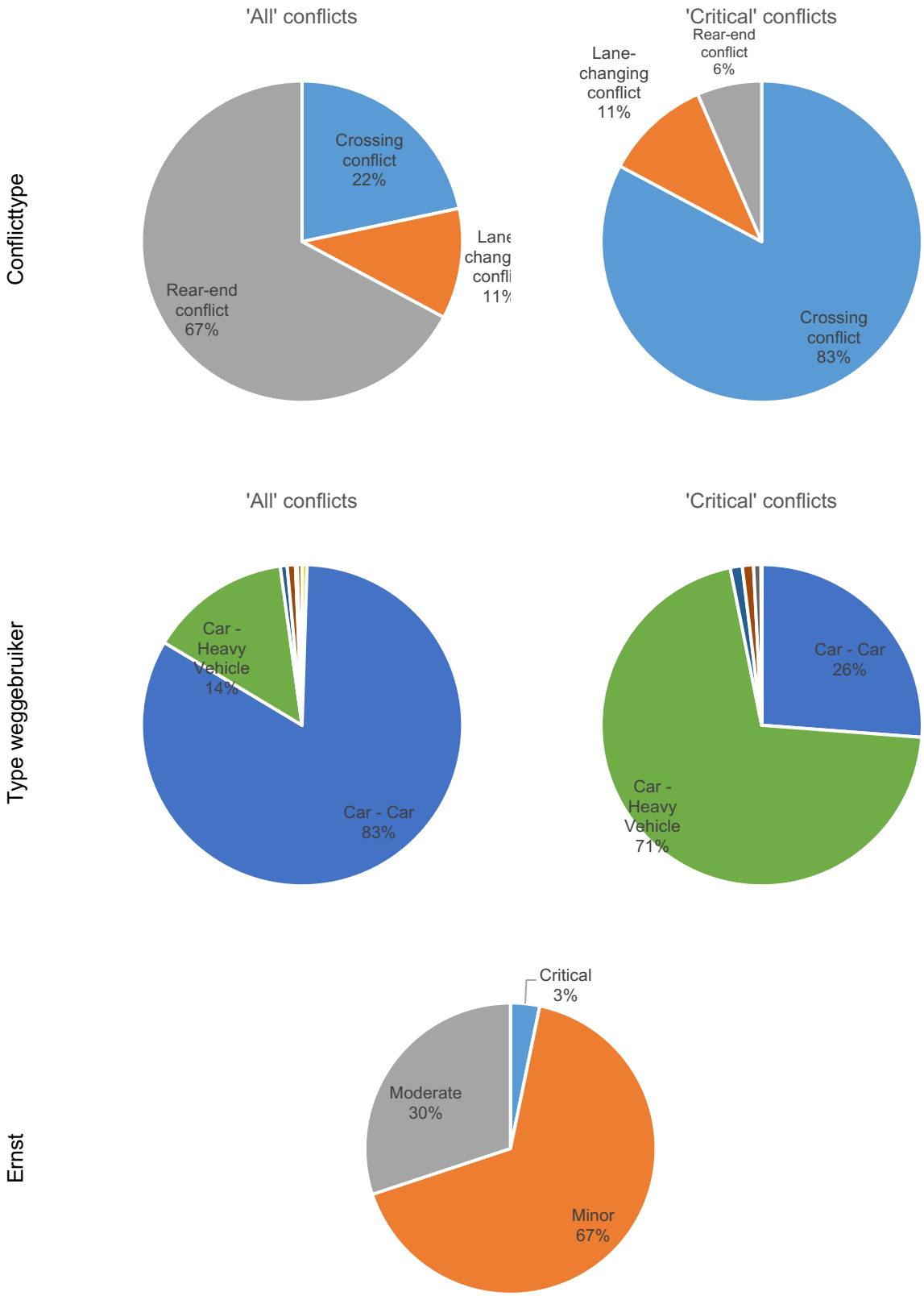
Op deze locatie passeren er relatief veel actieve weggebruikers (zowel voetgangers als fietsers). De automatische analyse kon echter slechts een gedeelte van hen detecteren in deze proefopstelling. Merk ook op dat de AI in de meeste gevallen eerst de persoon op of langs de fiets detecteerde (maar meestal niet de fiets zelf) en deze als voetganger labelde, vandaar dat het aandeel fietsers lager wordt ingeschat.

6.3.1 Samenvattende infographics

Figuur 83: illustratie van de gedetecteerde conflicten in Maasmechelen waarbij de kleur een combinatie van waarschijnlijkheid en ernst van een conflict weergeeft. ***Links*** *gebaseerd op TTCmin,* ***rechts*** *gebaseerd op PET. De vele conflicten links in beeld (deze liggen het verst van de camera verwijderd en zijn gebaseerd op onnauwkeurige data) werden voor de hotspot analyse verwijderd.*

Figuur 83 toont een overzicht van de locatie van de gedetecteerde conflicten. De locatie in geval van TTCmin betreft de hypothetische locatie van het conflict moesten beide weggebruikers hun snelheid, acceleratie en richting aanhouden. In het geval van PET wordt de locatie getoond waar beide weggebruikers elkaar met de kleinst mogelijk tijdsinterval gemist hebben. Figuur 84 toont samenvattende infographics die meer inzicht geven in deze data.

Er worden zeer veel conflicten berekend, maar slechts een minderheid is hierbij echt noemenswaardig. Door onnauwkeurigheden in de data (zie ook 9 *Uitdagingen tijdens het project*) worden er vaak conflicten gedetecteerd die in werkelijkheid niet plaatsvinden. Door slimme filtertechnieken o.a. gebaseerd op de ernst (DeltaV) kunnen de meest kritieke conflicten echter geïdentificeerd worden. Merk op dat de verdeling van conflicttypes sterk verschilt wanneer men alle conflicten vergelijkt met de meest kritieke: deze laatste categorie wordt in de eerste plaats gekenmerkt door conflicten als gevolg van kruisend verkeer (door de relatieve hoek is de DeltaV indicator voor dit type conflicten typisch hoger).



Figuur 84: samenvattende infographics voor de conflictanalyse in Maasmechelen. Merk op dat de AI veelal de persoon op de fiets detecteerde (maar niet de fiets zelf) en bijgevolg fietsers als voetganger labelde. Op deze locatie komen, in tegenstelling tot wat uit de data doet vermoeden, wel relatief aanzienlijke aantallen fietsers als actieve weggebruikers voor.

De hotspot analyse die volgt, toont geen duidelijke en verklaarbare conflictlocaties. Er werden relatief weinig kritieke conflicten gedetecteerd, wat voor ongedefinieerde hotspots zorgt. Dit is temeer het geval voor de analyses waar expliciet de interactie met actieve weggebruikers wordt onderzocht. Er lijkt geen consistente conflictlocatie te zijn doordat actieve weggebruikers een groot deel van het kruispunt gebruiken om over te steken (naar de Groenstraat bijvoorbeeld, zie ook Figuur 82 en Figuur 96 met meer details). Er is dus geen gelokaliseerde plaats waar veel en/of bijzonder ernstige interacties te verwachten zijn, maar deze bevinden zich meer verspreid over het gehele kruispunt, waardoor de hotspot analyse weinig inzichten brengt. Door de relatieve schaal (er is altijd een donkerrode kleur aanwezig, ongeacht de absolute ernst) resulteert dit in de eerder ongedefinieerde hotspots. Wanneer het gewicht ligt bij het gemotoriseerde verkeer zoals in Figuur 85 concentreren de conflicten zich ter hoogte van de voorsorteerstroken, en is er geen sprake van de ongedefinieerde hotspots, wat bevestigt dat de absolute ernst van deze ongedefinieerde hotspots met actieve weggebruikers laag is en verspreid gelokaliseerd is. Gezien er (vanuit het ene camerastandpunt) geen uitgesproken conflictlocatie kon opgemerkt worden resulteert de hotspot analyse niet in een duidelijke conclusie. Figuur 87 t.e.m. Figuur 92 worden daarom louter ter informatie gepresenteerd, maar niet verder besproken.

6.3.2 Alle weggebruikers

Figuur 85: Maasmechelen: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten tussen alle weggebruikers gebaseerd op de TTCmin en PET indicatoren, gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)

*Figuur 86: Maasmechelen: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten tussen alle weggebruikers (**links** gebaseerd op TTCmin en **rechts** gebaseerd op PET), gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)*

Figuur 85 toont een hotspot analyse van de conflicten, gewogen volgens de ernstgraad. Figuur 86 toont dit respectievelijk gebaseerd op TTCmin en PET (merk op: relatieve schaal!).

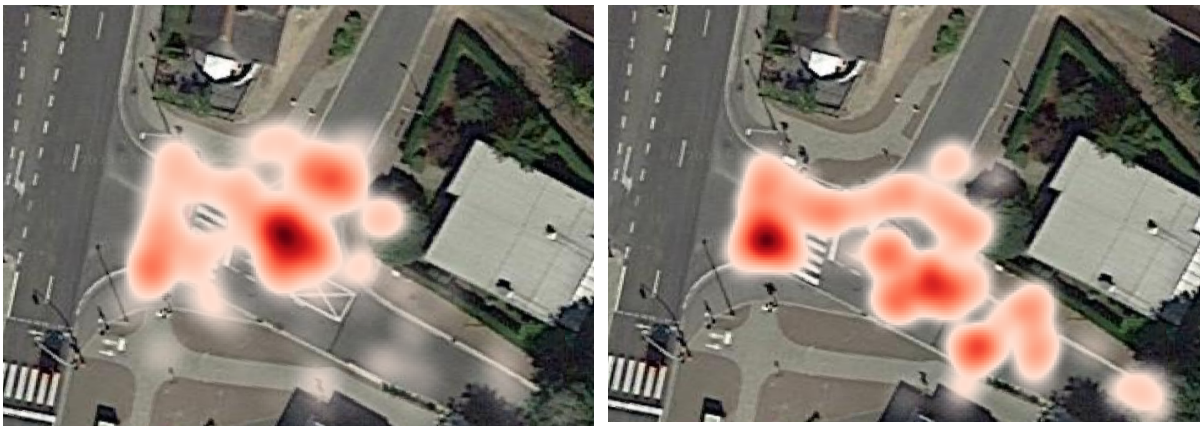
6.3.3 Met betrokken actieve weggebruikers

Figuur 87: Maasmechelen: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten waarbij minstens 1 actieve weggebruiker betrokken was, gebaseerd op de TTCmin en PET indicatoren en gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)

*Figuur 88: Maasmechelen: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten waarbij minstens 1 actieve weggebruiker betrokken was (**links** gebaseerd op TTCmin en **rechts** gebaseerd op PET), gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)*

6.3.4 Met strikt 1 actieve weggebruiker betrokken

Figuur 89: Maasmechelen: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten waarbij één actieve weggebruiker en één gemotoriseerd voertuig betrokken waren, gebaseerd op de TTCmin en PET indicatoren en gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)



*Figuur 90: Maasmechelen: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten waarbij één actieve weggebruiker en één gemotoriseerd voertuig betrokken waren (**links** gebaseerd op TTCmin en **rechts** gebaseerd op PET), gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)*

6.3.5 Tussen zwaar verkeer en actieve weggebruikers

Figuur 91: Maasmechelen: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten waarbij een actieve weggebruiker en een zwaar voertuig betrokken waren gebaseerd op TTCmin en PET, gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)

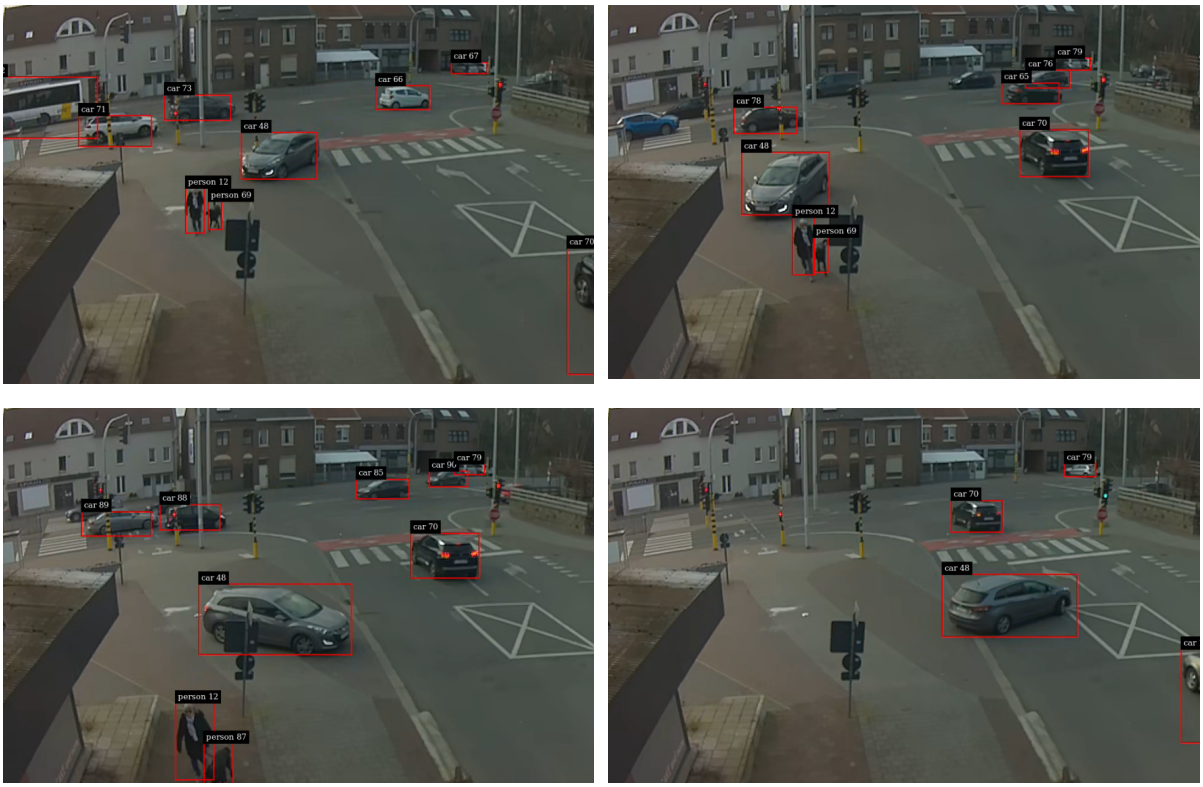
*Figuur 92: Maasmechelen: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten waarbij een actieve weggebruiker en een zwaar voertuig betrokken waren (**links** gebaseerd op TTCmin en **rechts** gebaseerd op PET), gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)*

6.3.6 Onregelmatig en/of onveilig gedrag

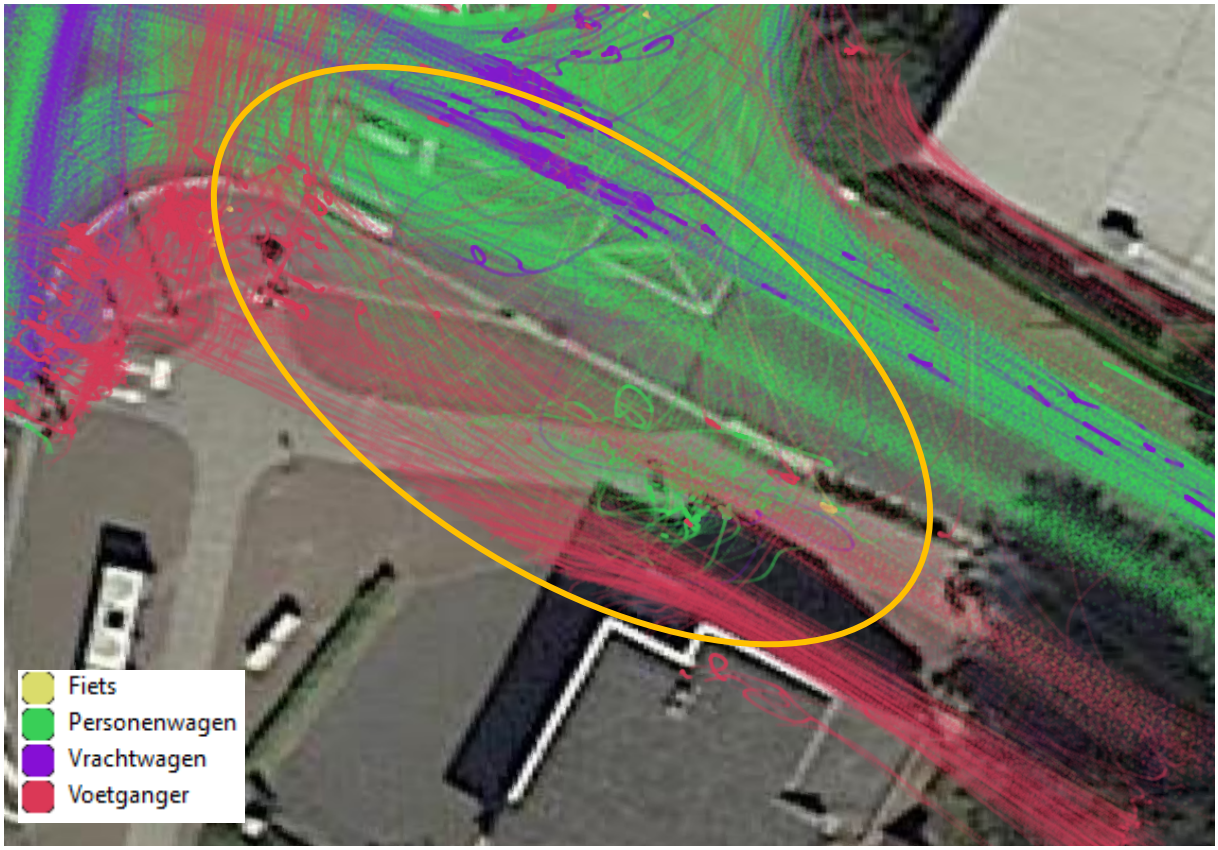
Enkele onregelmatigheden die konden worden vastgesteld worden geïllustreerd in Figuur 93: de verschillende beelden tonen een bestelwagen die op de Rijksweg vanuit Maasmechelen de Looheuvelstraat inrijdt, daar over het voetpad en fietspad keert en vervolgens terug de Rijksweg oprijdt in de richting van Maasmechelen. Dit is geen alleenstaand geval zo blijkt uit de trajecten in Figuur 96 en observatie ter plaatse. Het eerste beeld in Figuur 93 toont een ander veel voorkomend gedrag, namelijk dat bestuurders soms een stuk voorbij de stopstreep stoppen totdat ze de Rijksweg mogen oprijden. In een deel van de gevallen lijkt dit om andere wagens meer plaats te geven (aangezien de plaats om voor te sorteren erg krap is en dichtbij de Groenstraat ligt die dreigt geblokkeerd te worden wanneer mensen ervoor voorsorteren), maar in veel gevallen is dit een gevolg van maneuvers om beter op de voorsorteerstroken halt te houden wanneer ze bij het aanrijden (bijvoorbeeld uit de Groenstraat om linksaf de Rijksweg op te rijden richting Maasmechelen) niet eenvoudig in de juiste voorsorteerpositie geraken. Figuur 94 t.e.m. Figuur 100 geven meer inzicht in enkele vaak voorkomende gedragingen.

Figuur 93: een sequentie van opeenvolgende beelden als voorbeeld van onregelmatig en/of onveilig gedrag: keerbewegingen over het voet- en fietspad en halt houden voorbij de stopstreep.

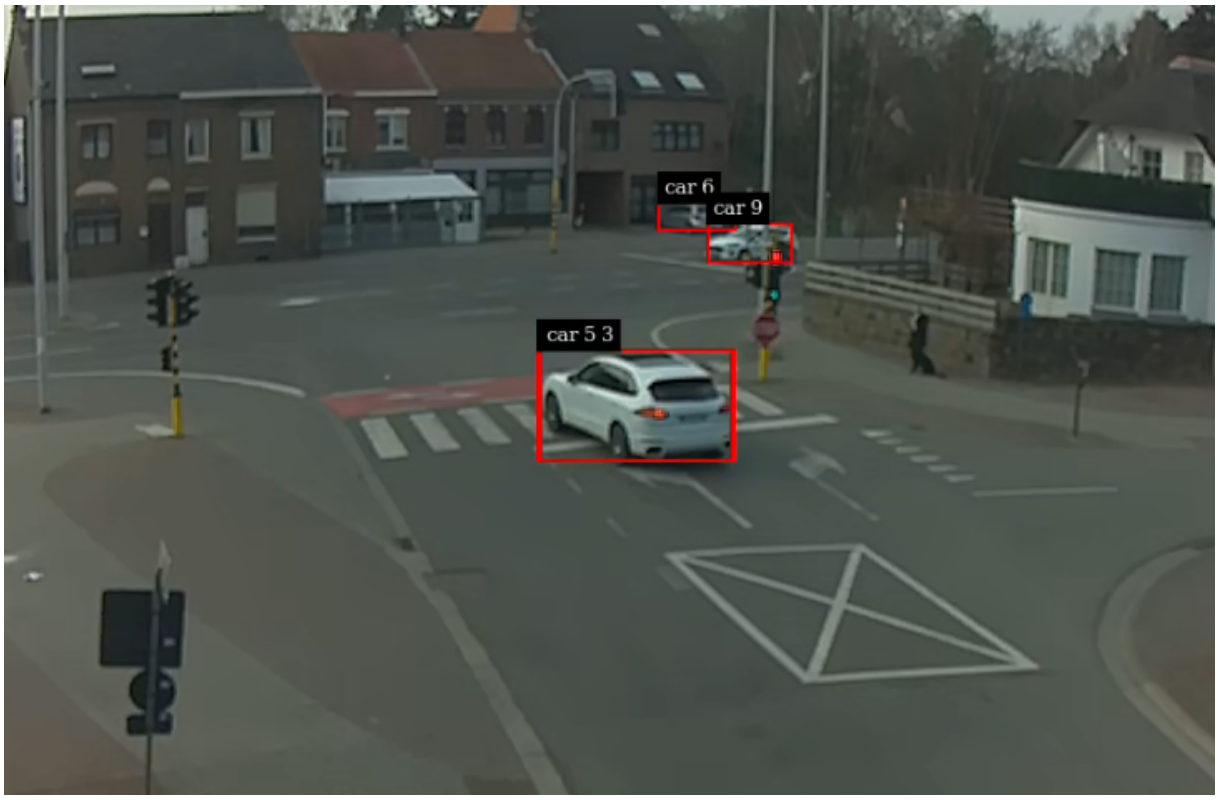
Figuur 94: Een bestuurder komende uit de Groenstraat tracht zich netjes voor te sorteren om links af te slaan op naar de Rijksweg, maar overschrijdt hierbij de stopstreep en maneuvreert op het zebrapad en fietspad.



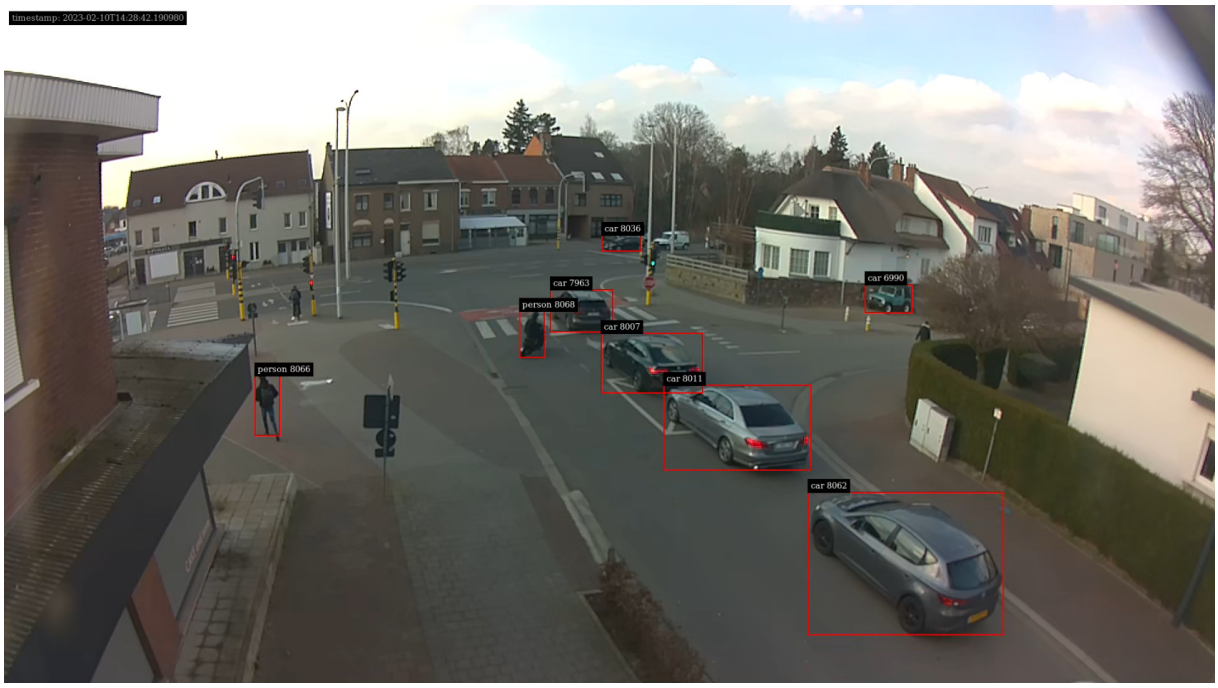
Figuur 95: Net zoals in Figuur 93 keert een wagen en rijdt deze volledig over het voet- en fietspad. Dit wordt vaak waargenomen.



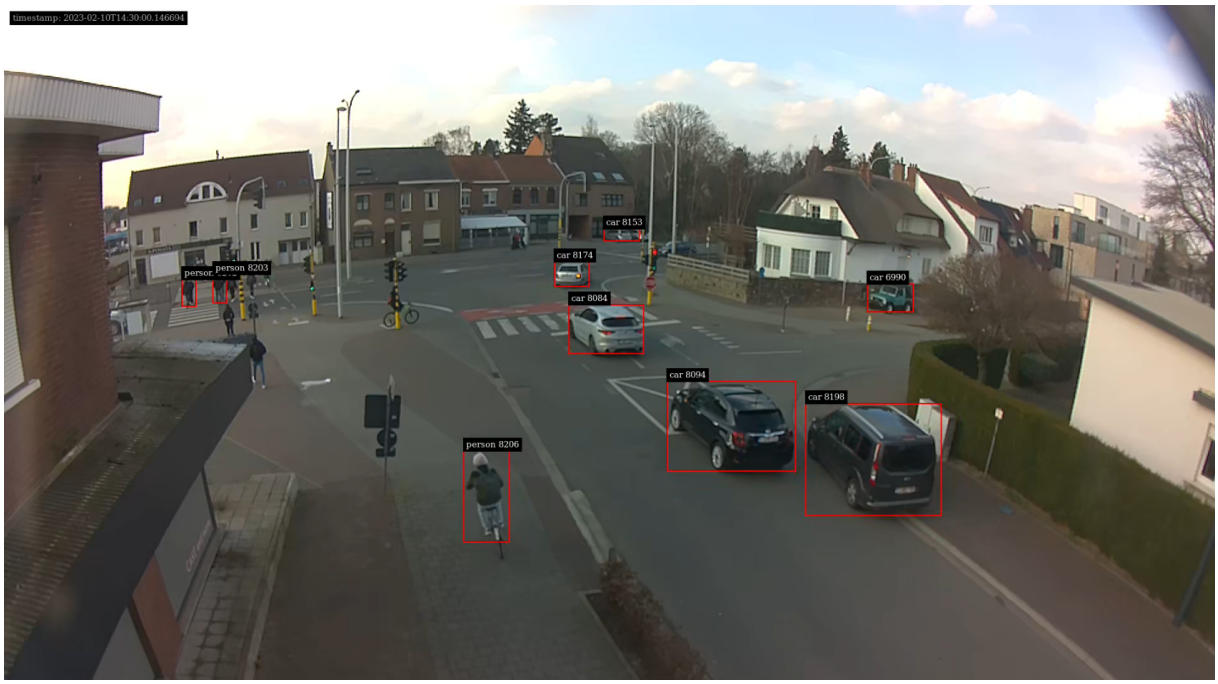
Figuur 96: keerbewegingen door het gemotoriseerde verkeer (groene trajecten) over het voet- en fietspad om op de Rijksweg komende vanuit Maasmechelen terug richting Maasmechelen te keren. Er zijn ook behoorlijk wat trajecten van personenwagens die over het voetpad rechts bovenaan rijden (zie ook Figuur 99 en verder)



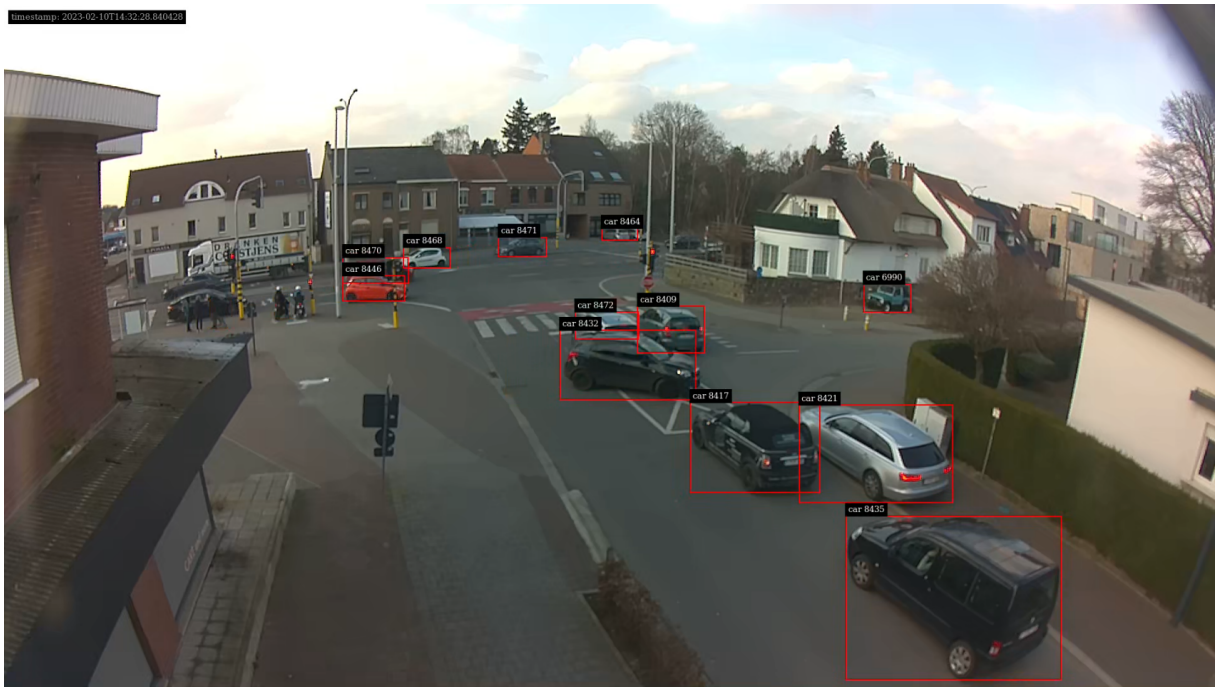
Figuur 97: De wagen centraal in beeld heeft de roodfase om links op de Rijksweg af te slaan en houdt halt voorbij de stopstreep op het zebrapad.



Figuur 98: Een scooter rijdt gevaarlijk tussen de wachtende rij wagens door op het moment dat deze de groenfase krijgen.

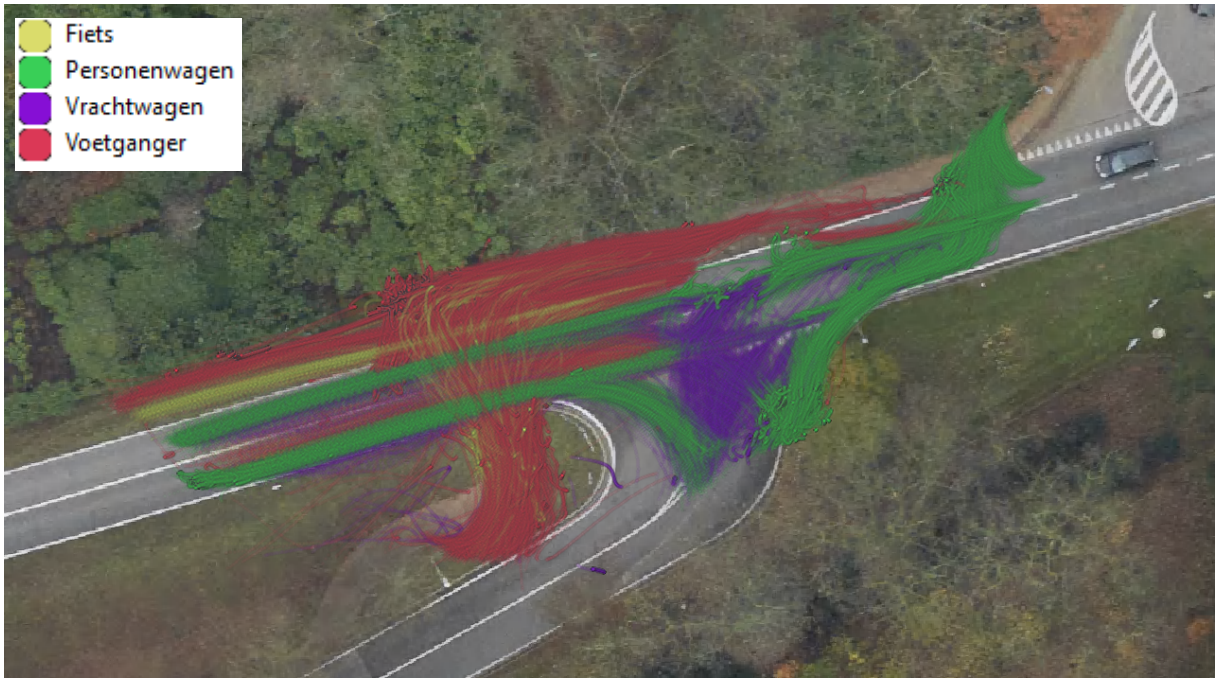


Figuur 99: De rechter wagen wenst rechts in te slaan op de Rijksweg en heeft hiervoor de groenfase terwijl de voorsorteerstrook om links op de Rijksweg af te slaan nog de roodfase heeft. De rechter wagen rijdt uit ongeduld over het voetpad om de wachtende wagen voorbij te rijden.



Figuur 100: Sommige bestuurders laten voldoende ruimte zodat het verkeer dat de Groenstraat in wil rijden tussen de wachtende auto's door kan. Figuur 98 toont echter dat dit niet altijd het geval is. Rechts bovenaan rijdt de zilverkleurige wagen over het voetpad om verderop voor te sorteren om rechts de Rijksweg op te rijden.

6.4 Lummen



Figuur 101: Illustratie van de berekende trajecten per type weggebruiker in Lummen

Figuur 101 illustreert de trajecten per weggebruiker. Dit overzicht helpt om de bespreking van de conflicten hieronder beter te kaderen.

Opmerking: door geo-kalibratieproblemen op deze locatie waren er grote problemen om de weggebruikers uit de twee camerasystemen te matchen. De problemen konden niet tijdig opgelost worden doordat de observatie pas in de eindfase van het project afgerond kon worden (zie ook 9 *Uitdagingen tijdens het project*), waardoor we uiteindelijk terugvielen op een **back-up verwerkingsmethode**. Dit houdt in dat de analyse gebaseerd is op **data van slechts 1 camerasysteem**, en dat gemiddelde afmetingen per type weggebruiker werden gebruikt. Door het beperkende perspectief en een imperfecte geo-kalibratie van de data is de kwaliteit minder goed dan wanneer we de 3D matching konden uitvoeren. In Figuur 101 is er hierdoor op enkele plaatsen een kleine afwijking te bemerken ten opzichte van de satelliet onderlaag.

Op deze locatie passeren er relatief veel actieve weggebruikers (hoofdzakelijk fietsers). De automatische analyse kon echter slechts een gedeelte van hen detecteren in deze proefopstelling. Merk ook op dat de AI in de meeste gevallen eerst de persoon op of langs de fiets detecteerde (maar meestal niet de fiets zelf) en deze als voetganger labelde, vandaar dat het aandeel fietsers lager wordt ingeschat.

Op de hoek van de Beukeboomstraat en de Schalbroekstraat was het niet mogelijk om een gedeeltelijke occlusie door bewegwijzering te vermijden wanneer gebruik wordt gemaakt van slechts 1 cameraperspectief in deze back-up verwerkingsmethode. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 102 t.e.m. Figuur 104.

Wanneer men enkel de trajecten van actieve weggebruikers visualiseert (Figuur 104) is de rol van de gemachtigd opzichter op dit punt duidelijk zichtbaar.

Figuur 102: Vanwege een gedeeltelijke occlusie door bewegwijzering worden weggebruikers tijdelijk niet gedetecteerd. Dit introduceert onnauwkeurigheid in de data.

Figuur 103: Kaartweergave: vanwege een gedeeltelijke occlusie door bewegwijzering worden weggebruikers tijdelijk niet gedetecteerd. Alle weggebruikers behalve zware voertuigen (die voldoende groot zijn) zijn geaffecteerd. Het zwaar verkeer werd verborgen in deze figuur (merk op de paarse vlek van zware voertuigen in Figuur 101, daar waar geen andere types weggebruiker gedetecteerd werden).

Figuur 104: Kaartweergave van de trajecten van voetgangers en fietsers. Merk op de cluster van voetganger-trajecten die enkel tot de bovenste helft van de Beukeboomstraat uitstrekt: het betreft hier de heen- en weerbeweging van de gemachtigd opzichter die dagelijks op piekmomenten (opening en sluiting van de scholen) helpt om over te steken door het verkeer te stoppen.

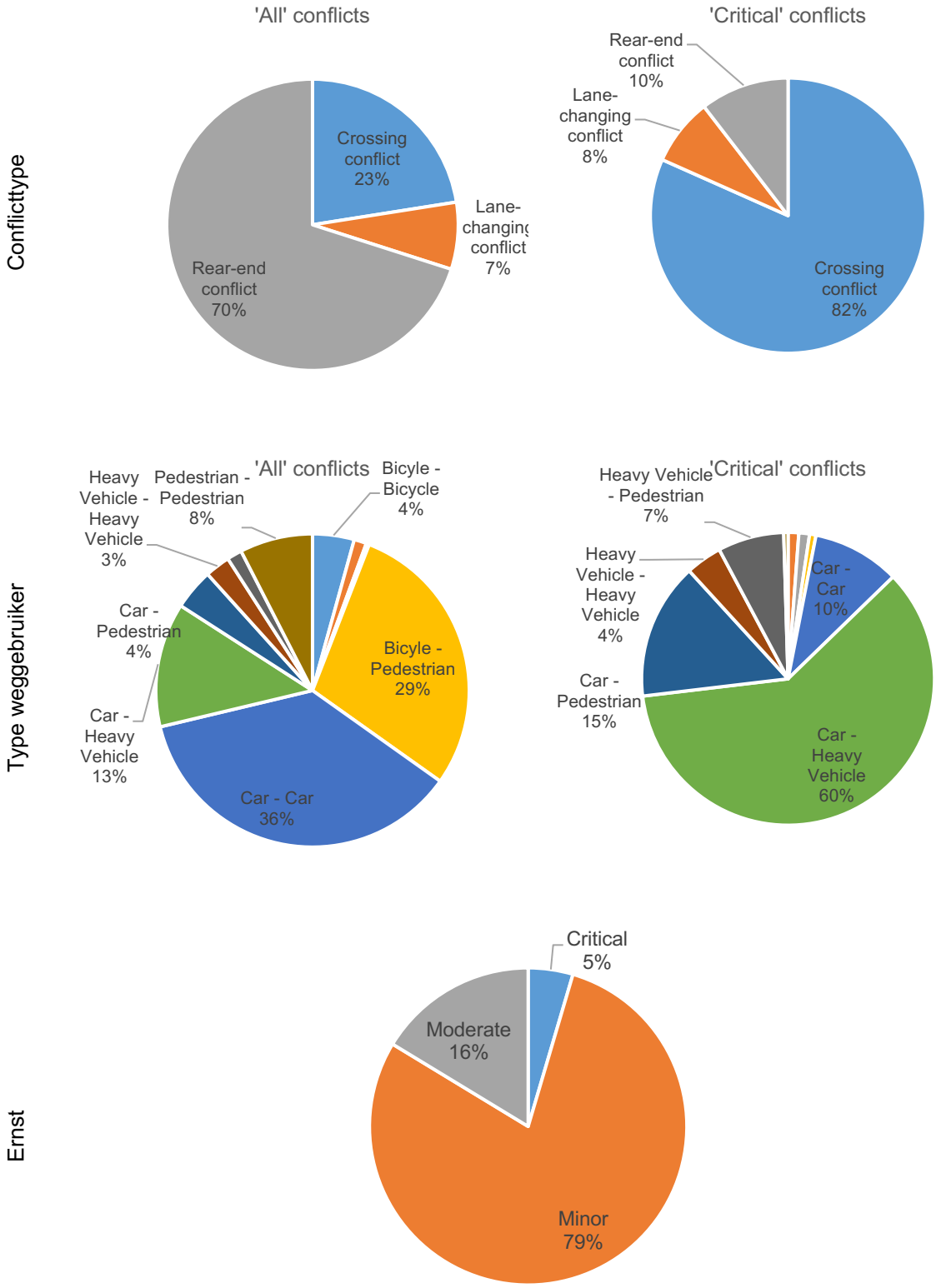
6.4.1 Samenvattende infographics

Figuur 105: illustratie van de gedetecteerde conflicten in Lummen waarbij de kleur een combinatie van waarschijnlijkheid en ernst van een conflict weergeeft. ***Links*** *gebaseerd op TTCmin,* ***rechts*** *gebaseerd op PET.*

Figuur 105 toont een overzicht van de locatie van de gedetecteerde conflicten. De locatie in geval van TTCmin betreft de hypothetische locatie van het conflict moesten beide weggebruikers hun snelheid, acceleratie en richting aanhouden. In het geval van PET wordt de locatie getoond waar beide weggebruikers elkaar met de kleinst mogelijk tijdsinterval gemist hebben. Figuur 106 toont samenvattende infographics die meer inzicht geven in deze data.

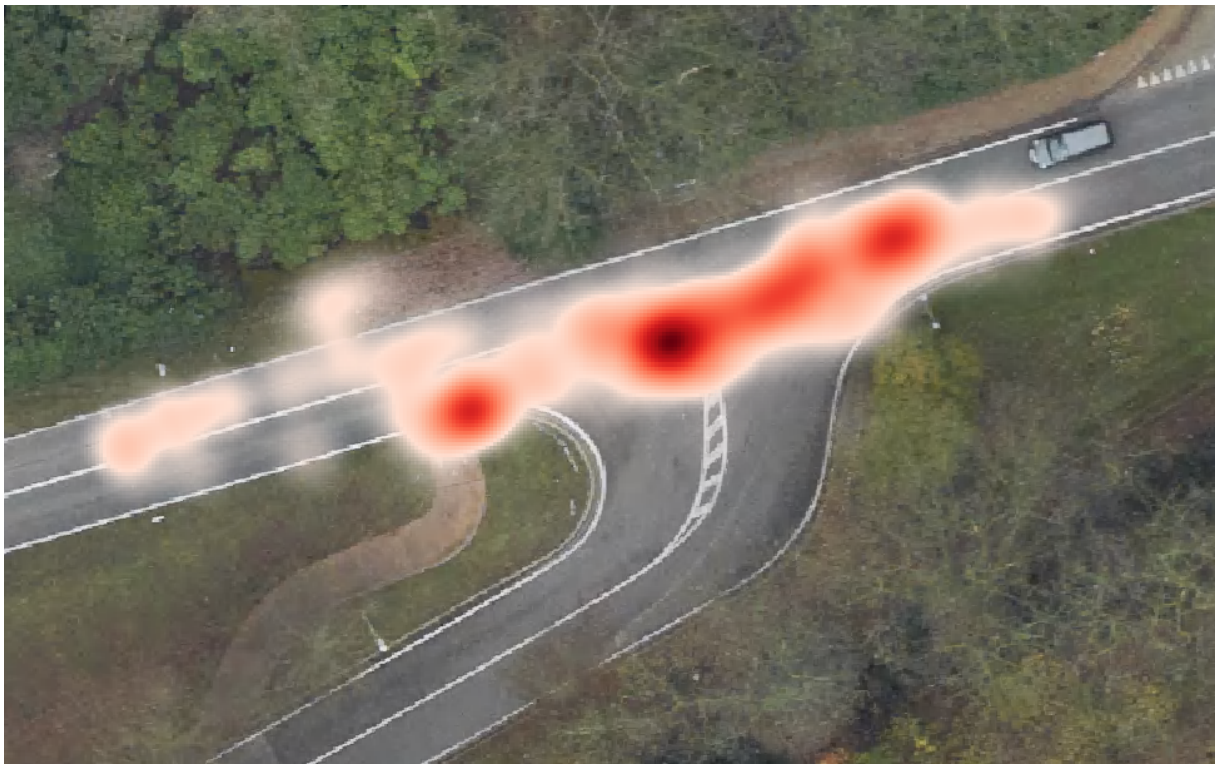
Er worden zeer veel conflicten berekend, maar slechts een minderheid is echt noemenswaardig. Door onnauwkeurigheden in de data (zie ook 9 *Uitdagingen tijdens het project*) worden er vaak conflicten gedetecteerd die in werkelijkheid niet plaatsvinden. Door slimme filtertechnieken o.a. gebaseerd op de ernst (DeltaV) kunnen de meest kritieke conflicten echter wel geïdentificeerd worden. Merk op dat de verdeling van conflicttypes sterk verschilt wanneer men alle conflicten vergelijkt met de meest kritieke:

deze laatste categorie wordt in de eerste plaats gekenmerkt door conflicten als gevolg van kruisend verkeer (door de relatieve hoek is de DeltaV indicator voor dit type conflicten typisch hoger).

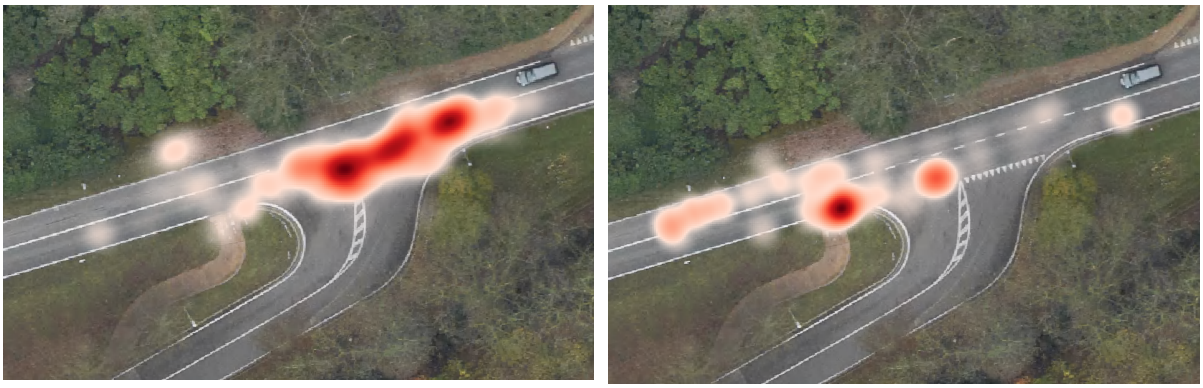


Figuur 106: samenvattende infographics voor de conflictanalyse in Lummen. Merk op dat de AI veelal de persoon op de fiets detecteerde (maar niet de fiets zelf) en bijgevolg fietsers als voetganger labelde. Op deze locatie komen, in tegenstelling tot wat uit de data doet vermoeden, wel relatief aanzienlijke aantallen fietsers als actieve weggebruikers voor, en slechts in mindere mate voetgangers.

6.4.2 Alle weggebruikers



Figuur 107: Lummen: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten tussen alle weggebruikers gebaseerd op de TTCmin en PET indicatoren, gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)

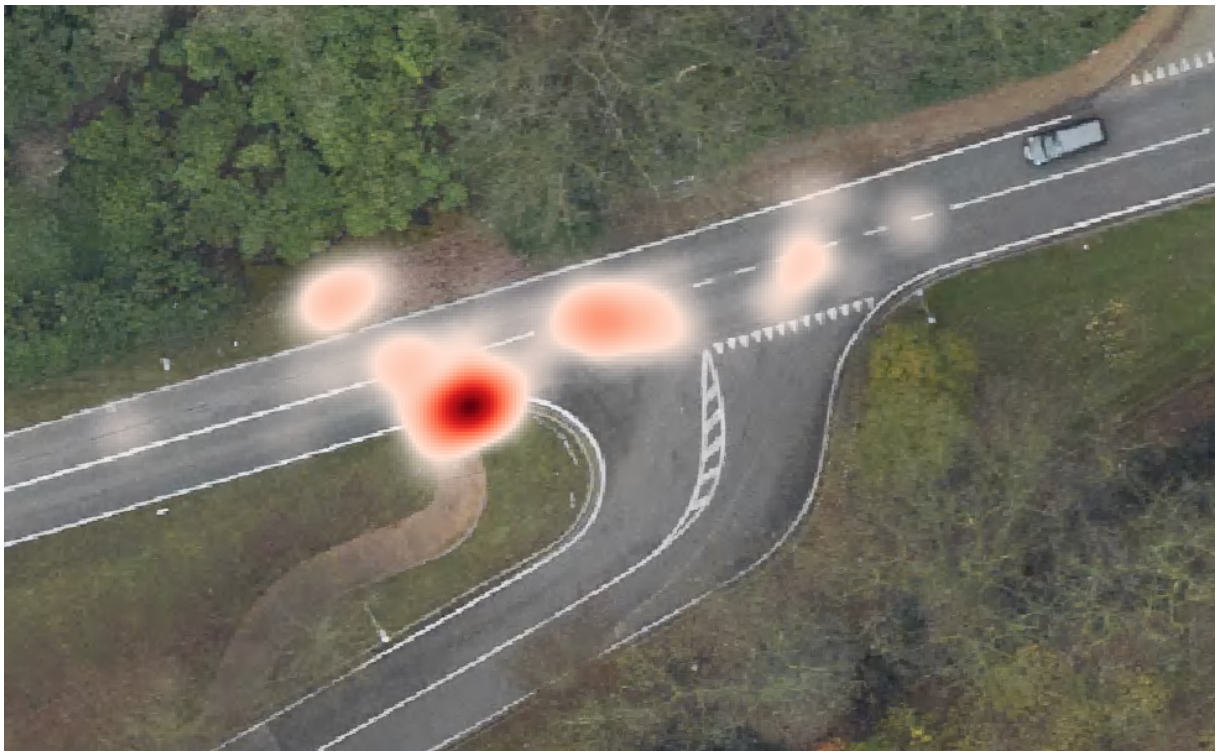


*Figuur 108: Lummen: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten tussen alle weggebruikers (**links** gebaseerd op TTCmin en **rechts** gebaseerd op PET), gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)*

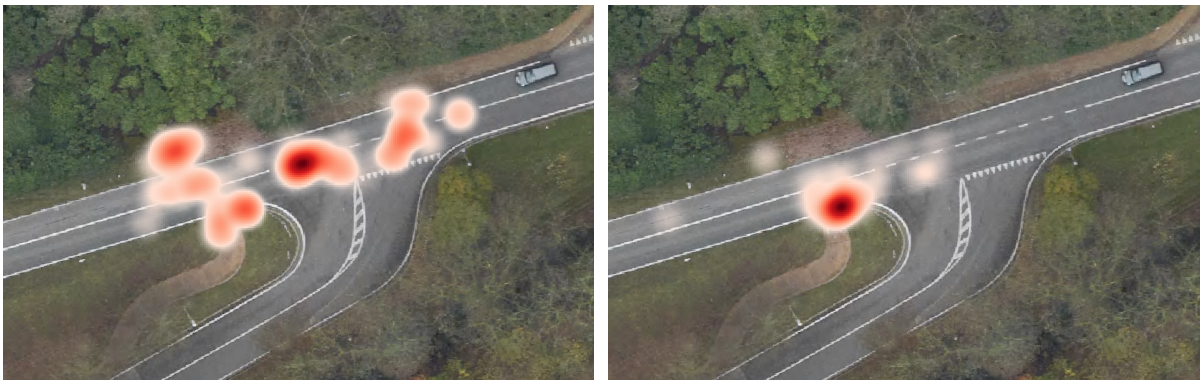
Er worden veel conflicten gedetecteerd, maar manuele verificatie in het beeldmateriaal toont aan dat de meest kritieke conflicten false positive detecties zijn: het betreft in de meeste gevallen een normale kruising tussen twee voertuigen die zich in het eigen rijvak bevinden (meestal tussen auto en zwaar verkeer aangezien deze conflicten het meest kritiek zijn vanwege het massaverschil aan een hoge kruisende snelheid). Figuur 109 toont een voorbeeld hiervan (in dit geval tussen auto en kruisende fietser, maar de occlusie door het verkeersbord zorgt voor een onnauwkeurige bepaling van richtingsvectoren met als gevolg een potentieel conflict zoals berekend door de software).

Figuur 109: Voorbeeld van een false positive gedetecteerd conflict gebaseerd op TTCmin. Door onnauwkeurigheid in de geoccludeerde trajecten van slechts een cameraperspectief worden op dit punt onterecht meerdere conflicten gedetecteerd (waarschijnlijkheidsscore op basis van TTCmin: 0,68 s , ernstscore 18,74 m/s)).

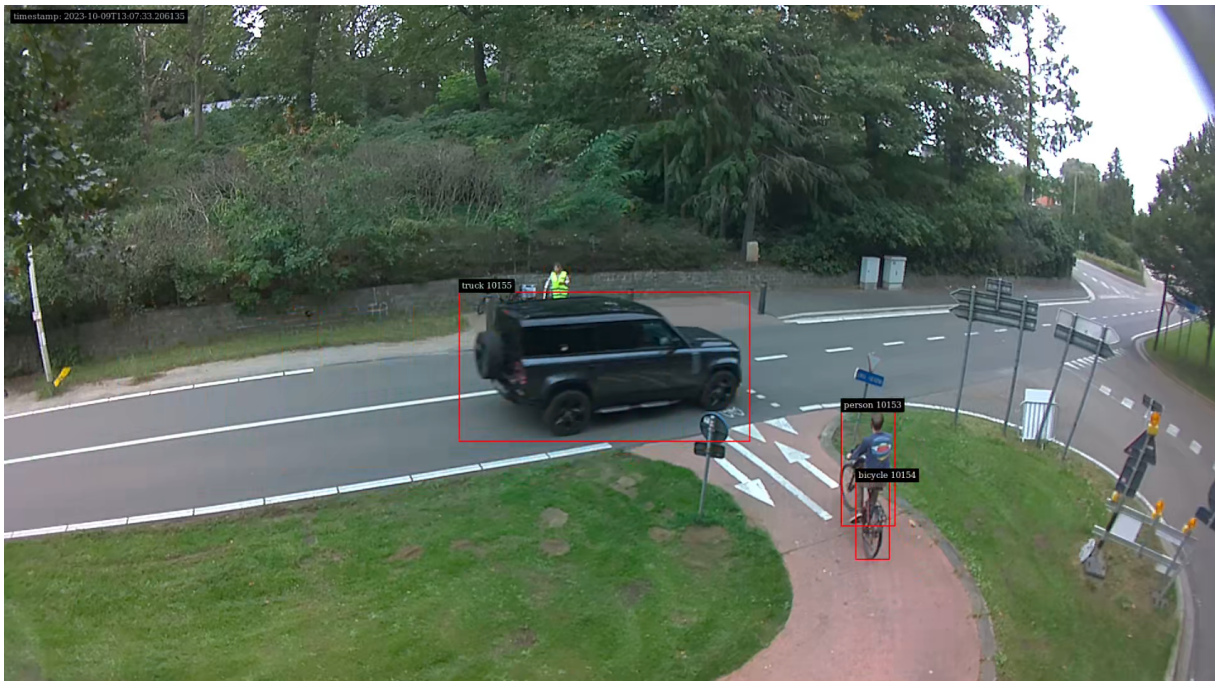
6.4.3 Met betrokken actieve weggebruikers



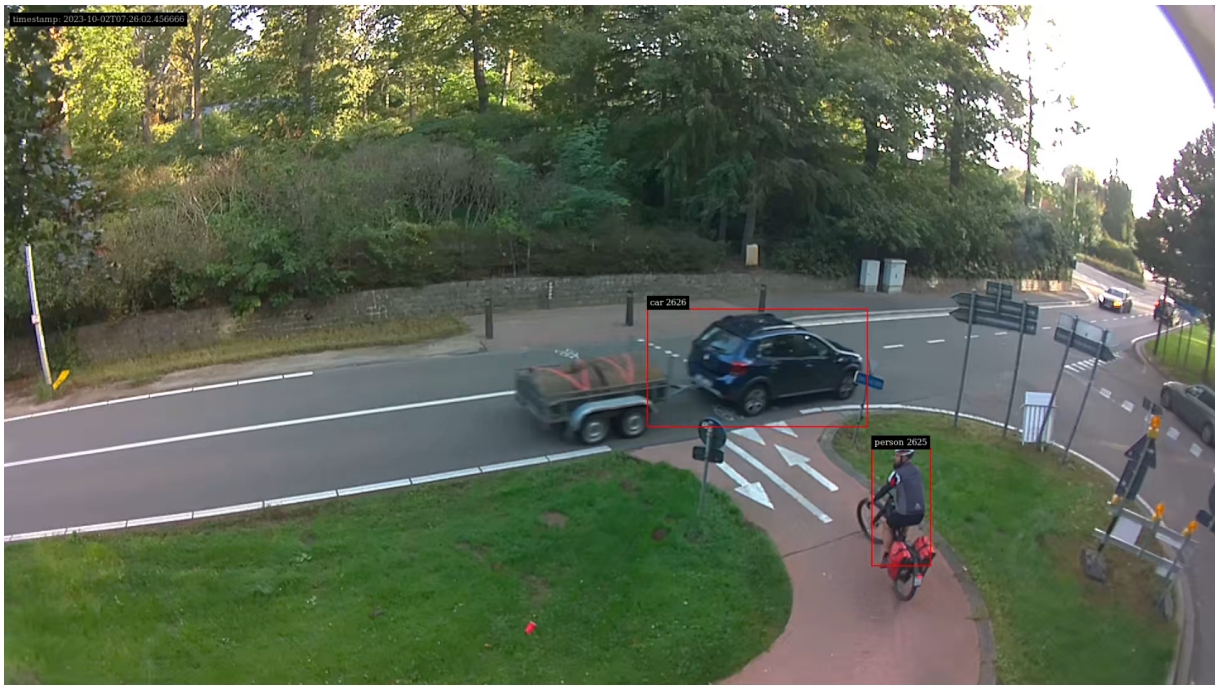
Figuur 110: Lummen: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten waarbij minstens 1 actieve weggebruiker betrokken was, gebaseerd op de TTCmin en PET indicatoren en gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)



*Figuur 111: Lummen: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten waarbij minstens 1 actieve weggebruiker betrokken was (**links** gebaseerd op TTCmin en **rechts** gebaseerd op PET), gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)*

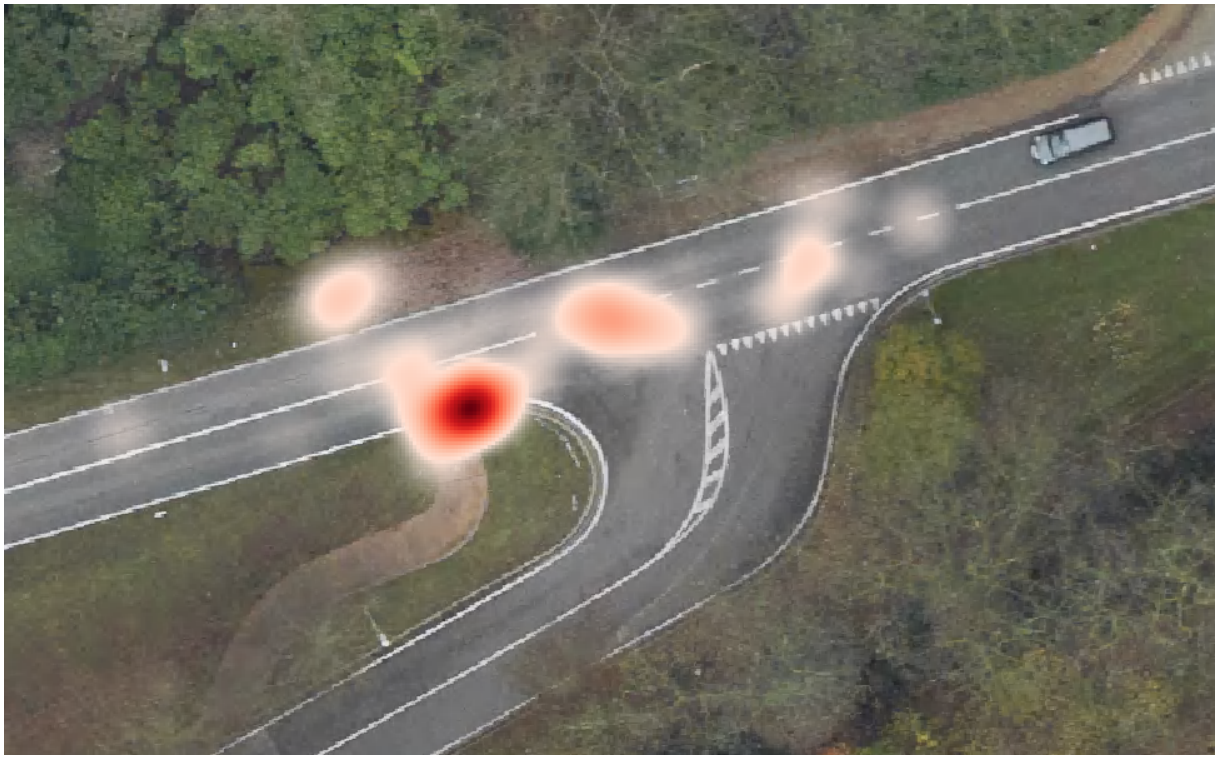


Figuur 112: Illustratie van een typisch 'ernstig' conflict dat meermaals op deze locatie door PET wordt gedetecteerd. Dit voorbeeld toont echter aan dat manuele verificatie aangewezen is, gezien de fietser hier ervoor kiest om kort achter het zwarte voertuig over te fietsen (het werkelijke risico is hierdoor in de realiteit kleiner dan door PET ingeschat wordt) (waarschijnlijkheidsscore op basis van PET: 0,48 s , ernstscore 18,59 m/s).



Figuur 113: Bijkomende illustratie van het typisch 'ernstig' conflict dat meermaals op deze locatie door PET wordt gedetecteerd. Dit voorbeeld toont echter aan dat manuele verificatie aangewezen is, gezien de fietser hier ervoor kiest om kort achter het voertuig met trailer over te fietsen (het werkelijke risico is hierdoor veel kleiner dan door PET ingeschat) (waarschijnlijkheidsscore op basis van PET: 0,88 s , ernstscore 19,21 m/s).

6.4.4 Met strikt 1 actieve weggebruiker betrokken

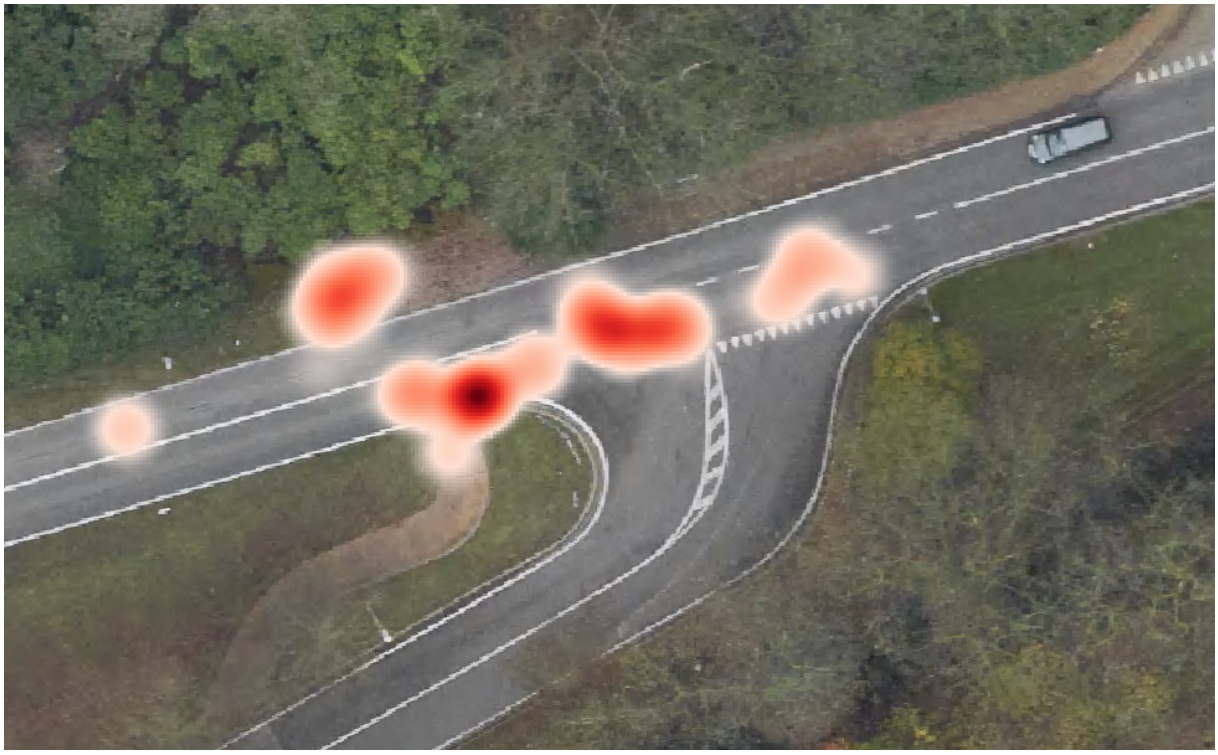


Figuur 114: Lummen: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten waarbij één actieve weggebruiker en één gemotoriseerd voertuig betrokken waren, gebaseerd op de TTCmin en PET indicatoren en gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)

*Figuur 115: Lummen: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten waarbij één actieve weggebruiker en één gemotoriseerd voertuig betrokken waren (**links** gebaseerd op TTCmin en **rechts** gebaseerd op PET), gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)*

Deze deelanalyse levert geen bijkomende inzichten, zie ook 6.4.3 *Met betrokken actieve weggebruikers.*

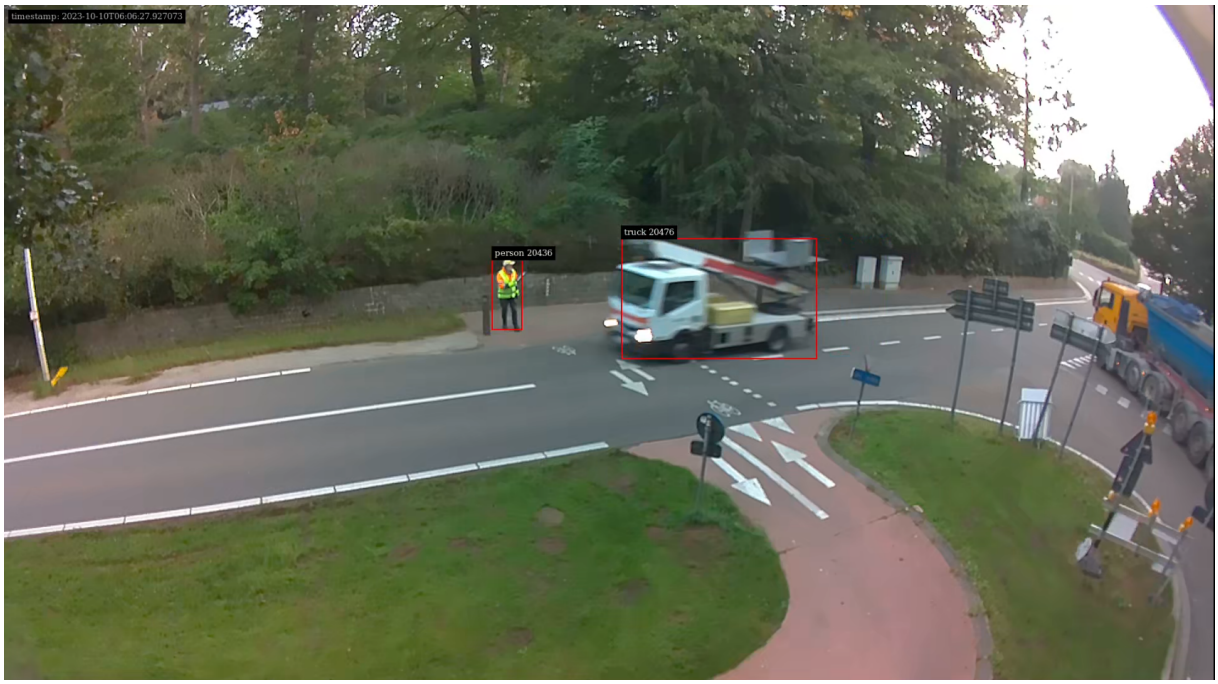
6.4.5 Tussen zwaar verkeer en actieve weggebruikers



Figuur 116: Lummen: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten waarbij een actieve weggebruiker en een zwaar voertuig betrokken waren gebaseerd op TTCmin en PET, gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)

*Figuur 117: Lummen: hotspot analyse van de gedetecteerde conflicten waarbij een actieve weggebruiker en een zwaar voertuig betrokken waren (**links** gebaseerd op TTCmin en **rechts** gebaseerd op PET), gewogen volgens de ernstgraad (Delta-V) (relatieve schaal: wit = het minst aantal en de minst erge conflicten; donkerrood = het meest aantal en/of de meest ernstige conflicten)*

In Figuur 117 valt het op dat de TTCmin hotspot links bovenaan belangrijker wordt voor conflicten tussen zwaar vervoer en actieve weggebruikers. Een analyse hiervan toont aan dat dit veroorzaakt wordt door enkele handelingen van de gemachtigd opzichter. Deze begint soms al voordat een voertuig voorbij is richting de straat te stappen om het komende verkeer stil te leggen om een actieve weggebruiker over te laten steken (Figuur 118). De richtingsvectoren van beide weggebruikers kruisen elkaar vervolgens, met een 'ernstige' TTCmin waarde tot gevolg. Dit type conflict is in werkelijkheid minder ernstig dan dat de TTCmin score doet vermoeden.

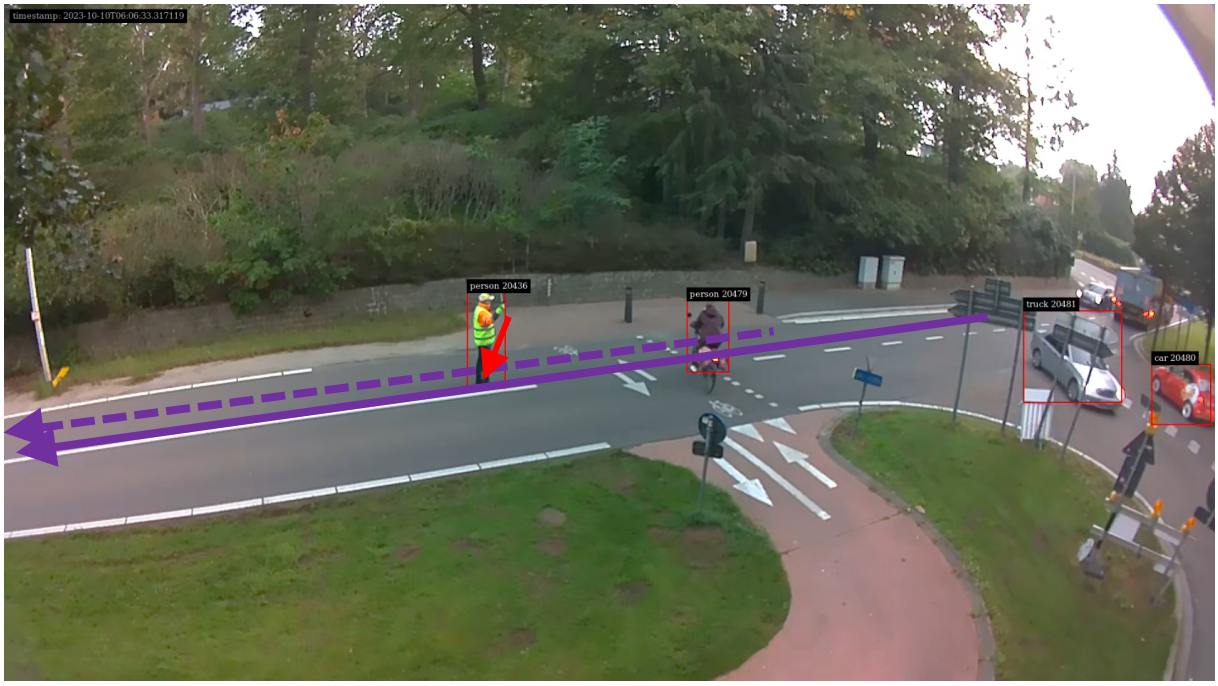


Figuur 118: Een 'ernstig' conflict wordt gedetecteerd op basis van TTCmin. De bemachtigd opzichter begint al voordat een de vrachtwagen voorbij is richting de straat te stappen (die berekend toch 63,9 km/u zou rijden) om het verkeer te stoppen om een fietser over te laten. (waarschijnlijkheidsscore op basis van PET: 0,4 s , ernstscore 18,21 m/s).

Men kan zich afvragen waarom in deze situatie (zie ook Figuur 118) TTCmin een 'ernstig' conflict detecteert, maar dat er op basis van PET geen ernstige hotspot zichtbaar is in Figuur 117. **Deze onverwachte situatie doet zich voor omdat deze analyse de backup verwerkingsstrategie gebruikt** (dat er geen 3D matching van de twee camerasystemen plaatsvond). Immers, zoals ook 9.1.2 *Locatiebepaling gedetecteerde object a.d.h.v. bounding box* besproken, gebruikt men het **middelpunt van de onderste zijde** van de gedetecteerde bounding box rondom een weggebruiker om de locatiebepaling te doen. Figuur 119 verduidelijkt hoe de trajecten van beide weggebruikers in de backup

verwerkingsstrategie er op deze manier uitzien. Bij de 3D matching wordt de positie van de weggebruiker geconsolideerd d.m.v. beide perspectieven in het punt **in het midden van het grondvlak**, maar bij deze backup verwerkingsstrategie is dit niet het geval. Hierdoor kruist de voetganger pas het traject van de vrachtwagen ongeveer ~3,6s nadat de vrachtwagen hier voorbij kwam. Dit vormt een lage PET waarde die niet meer als een risico wordt aanzien. Bij de 3D matching methode zou de voetganger het traject aanzienlijk sneller kruisen, en door bovendien de werkelijke afmetingen van de weggebruikers in rekening te brengen zou dit vermoedelijk ook een 'ernstige' PET waarde tot gevolg hebben.

Merk op dat deze probleemsituatie van de trajectbepaling zich niet voordoet wanneer actieve weggebruikers zich van onder naar boven in het beeld verplaatsen richting de rijweg die hoger gelegen ligt in het beeld, vandaar dat er zich op de hoek van het fietspad met de Beukeboomstraat correct een PET hotspot bevindt.



Figuur 119: Vereenvoudigde verduidelijking van de trajecten zoals gebruikt in de backup verwerkingsstrategie op basis van 1 camerasysteem. Dit aspect verklaart waarom het conflict in Figuur 118 een 'ernstige' TTCmin waarde heeft, maar niet voor PET (hoewel men dit zou vermoeden) Het doorlopende paarse traject vertegenwoordigt het traject zoals bepaald via de backup verwerkingsstrategie, het onderbroken paarse traject het traject zoals bepaald via 3D matching. Het rode traject vertegenwoordigt dat van de gemachtigd opzichter.

6.4.6 Onregelmatig en/of onveilig gedrag

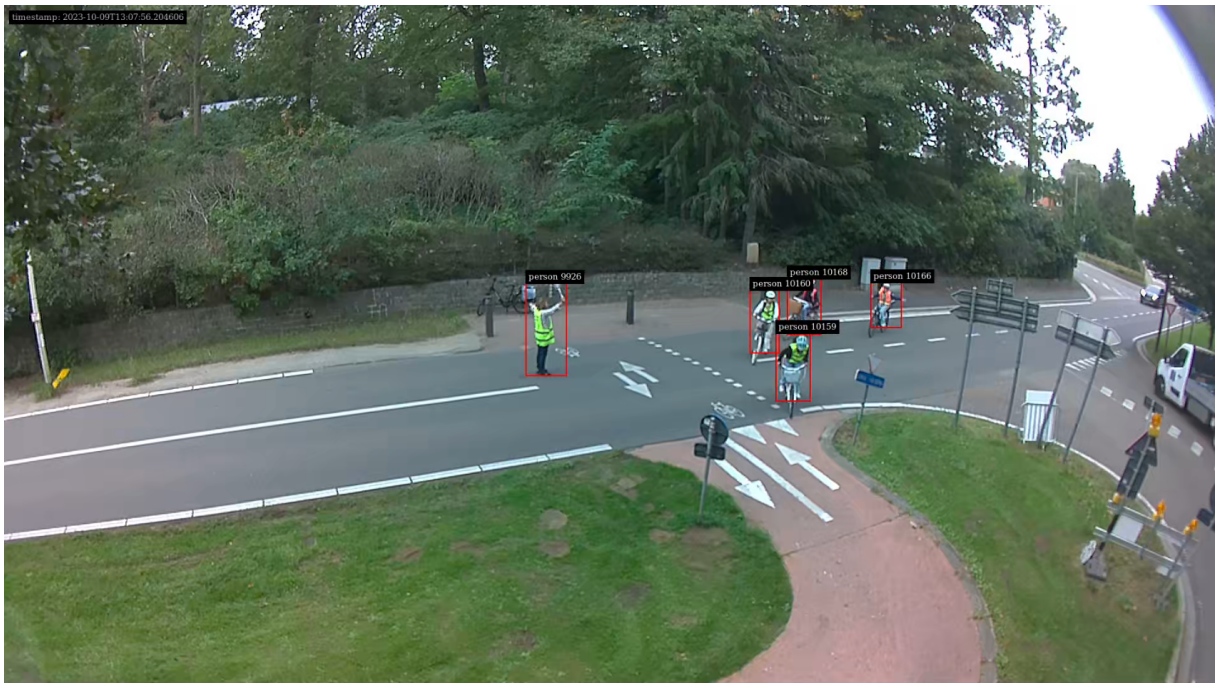
Figuur 124 t.e.m. Figuur 126 zijn illustratief voor een selectie van geobserveerd gedrag dat ongewenst en/of onveilig is. Merk op dat de Schalbroekstraat een scherpe hoek maakt met de Beukeboomstraat, wat het gemotoriseerde verkeer 1) bemoeilijkt om vanuit de Beukeboomstraat rechts af te slaan in de Schalbroekstraat en 2) uitnodigt om op relatief hoge snelheid de Schalbroekstraat in of uit te rijden in de richting van of naar Lummen. Hierbij overschrijdt het gemotoriseerde verkeer vaak de aanwezige belijning op het straatoppervlak (zie Figuur 120 t.e.m. Figuur 122).

Figuur 120: Voorbeeld bus: het gemotoriseerde verkeer komende vanuit Lummen dat naar de Schalbroekstraat afdraait snijdt vaak de bocht af om de snelheid niet (of minder) te moeten verlagen. Hierbij overschrijden zij het rijvak van de Schalbroekstraat in de tegenovergestelde richting, en veroorzaken zij mogelijk conflicten met weggebruikers die vanuit de Schalbroekstraat komen (deze trajecten en conflicten konden niet berekend worden in deze backup verwerkingsstrategie gebaseerd op 1 enkele camera).

Figuur 121: Voorbeeld personenwagen: het gemotoriseerde verkeer komende vanuit Lummen dat naar de Schalbroekstraat afdraait snijdt vaak de bocht af om de snelheid niet (of minder) te moeten verlagen. Hierbij overschrijden zij het rijvak van de Schalbroekstraat in de tegenovergestelde richting, en veroorzaken zij mogelijk conflicten met weggebruikers die vanuit de Schalbroekstraat komen (deze trajecten en conflicten konden niet berekend worden in deze backup verwerkingsstrategie gebaseerd op 1 enkele camera). Door de occlusie door de bewegwijzering zoals getoond in Figuur 103 werden deze trajecten niet goed gedetecteerd.

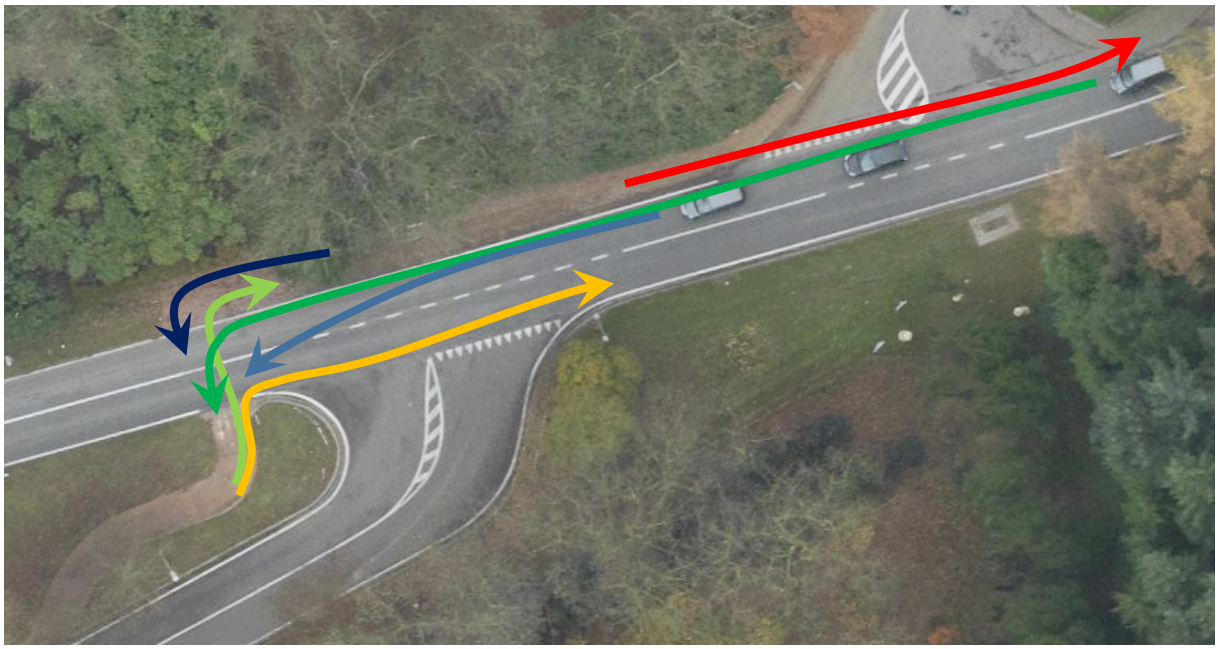
Figuur 122: Voorbeeld vrachtwagen: het gemotoriseerde verkeer komende vanuit Lummen dat naar de Schalbroekstraat afdraait snijdt vaak de bocht af om de snelheid niet (of minder) te moeten verlagen. Hierbij overschrijden zij het rijvak van de Schalbroekstraat in de tegenovergestelde richting, en veroorzaken zij mogelijk conflicten met weggebruikers die vanuit de Schalbroekstraat komen (deze trajecten en conflicten konden niet berekend worden in deze backup verwerkingsstrategie gebaseerd op 1 enkele camera). Door de occlusie door de bewegwijzering zoals getoond in Figuur 103 werden deze trajecten niet goed gedetecteerd.

Figuur 123: Voetgangers steken de Schalbroekstraat over en wandelen parallel met de Beukeboomstraat in de berm.



Figuur 124: Fietsers komende vanuit Lummen rijden soms schuin de Beukeboomstraat over richting het overliggende fietspad, zonder over de gemarkeerde fietsoversteek te fietsen. In dit geval is de gemachtigd opzichter aanwezig om het verkeer te stoppen, maar dit is niet altijd het geval. Deze trajectenbundel is eveneens zichtbaar in Figuur 104.

Figuur 125: Een fietser komende vanuit Lummen rijdt geruime tijd midden op de rijweg om vervolgens schuin de Beukeboomstraat over te steken richting het overliggende fietspad, zonder over de gemarkeerde fietsoversteek te fietsen. In dit geval is de gemachtigd opzichter niet aanwezig om het verkeer te stoppen.. Deze trajectenbundel is eveneens zichtbaar in Figuur 104.



Figuur 126: Meest courante types trajecten van fietsers met betrekking tot de oversteek over de Beukeboomstraat. De satellietfoto achtergrond is representatief, maar lichtjes verouderd. [Orthofotomozaïek, grootschalig, winteropnamen, kleur, 2013-2015, Vlaanderen, geraadpleegd via geopunt.be]

Figuur 126 toont op een vereenvoudigde wijze de trajecten van fietsers (zie ook Figuur 104). Het **lichtgroene** traject toont de wijze van oversteken zoals voorzien d.m.v. het dubbelrichtingsfietspad vanuit de Schalbroekstraat en de fietsoversteek. Aan de zijde van de Beukeboomstraat is de inrichting echter eerder deze van een voetpad i.p.v. een dubbelrichtingsfietspad. Indien men dit traject volgt komen fietsers ook uit op de Meerlestraat (zie het **rode traject**) waar ze zich ofwel aan de verkeerde kant van de straat bevinden om de Meerlestraat in te rijden, ofwel tegen de richting in de Meerlestraat over moeten steken parallel met de Beukeboomstraat. Er is geen belijning of signalisatie die aanduidt dat fietsers in twee richtingen over kunnen steken, wat mogelijk tot gevaarlijke situaties kan leiden (dit punt lag te ver van de camera's verwijderd om dit te kunnen waarnemen). Een groot aantal fietsers vanuit het dubbelrichtingsfietspad van de Schalbroekstraat steekt echter niet over om naar rechts af te slaan, maar slaat rechtsaf op de Beukeboomstraat zelf en blijft aan de rechterzijde rijden (zie het **gele traject**). Fietsers komende vanuit Lummen rijden meestal langs de kant van de rijweg volgens het **donker groene traject**, niet op het als voetpad-lijkende fietspad aan de rechterzijde van de Beukeboomstraat. Een aanzienlijk deel van de fietsers uit deze richting rijdt ook schuin de Beukeboomstraat over richting het overliggende fietspad, zonder over de voorziene fietsoversteek te rijden (zie het **blauwe traject**).

7 Illustratieve video's van verkeersonveilig gedrag

Tijdens de verwerking van het beeldmateriaal werden er een aantal illustratieve beelden verzameld. De hoeveelheid videobeelden is bijzonder groot, deze selectie van beelden vormt slechts een random sample van al het verkeersonveilig gedrag dat gecapteerd werd. Hieronder vindt u een lijst van korte videofragmenten. De eerste drie cijfers in de videonaam geven het tijdstip weer van de gebeurtenis in [uur minuut seconde].

- 07 19 58 1: 0:18 Conflict tussen een wagen die vanuit de Kempische Steenweg afdraait naar de Vijverstraat, en een fietser die parallel met de Kempische Steenweg de Vijverstraat oversteekt in de richting van Zonhoven https://youtu.be/Kx9jMbz0BPw
- 09 57 50 2: 0:10 Een wagen op de Kempische Steenweg komende van Zonhoven tracht vanuit de verkeerde rijstrook af te slaan in de Vijverstraat en treedt tijdens dit maneuver in conflict met een andere wagen die dezelfde afslag maakt, maar vanuit de juiste rijstrook. https://youtu.be/2O_Ky0DmbCY
- 12 49 12: 0:09 Een wagen komende uit de Vijverstraat draait aan relatief hoge snelheid de Kempische Steenweg op in de richting van Hasselt, en geeft geen voorrang aan een overstekende fietser en een groep van overstekende wandelaars https://youtu.be/pRQ8ntqS2Dw
- 11 39 11 3: 0:12 Een wagen die uit de Vijverstraat afslaat naar de Kempische Steenweg richting Hasselt treedt in conflict met een overstekende voetganger. https://youtu.be/efDz4Z3ZRAU
- 16 03 11 8: 0:08 Een wagen die uit de Vijverstraat afslaat naar de Kempische Steenweg richting Hasselt treedt in conflict met een overstekende scooter https://youtu.be/XnYQnkc9Jis
- 13 38 55 4: 0:11 De twee voorste wagens op de Kempische Steenweg in de richting van Zonhoven stoppen om onbekende reden achter het kruispunt voor het kruispunt zelf te betreden. Mogelijk was er een technisch probleem met de VRI, of was deze moeilijk zichtbaar door de laag staande zon. https://youtu.be/m50wek23hM4
- 14 27 03 5: 0:05 Een gelede bus op de busbaan richting Hasselt moet sterk afremmen vanwege een voertuig dat op de busbaan voorsorteert om in te rijden langs het Jeugdhuis 't Geverke, maar voorrang moet geven aan enkele fietsertjes op het fietspad. https://youtu.be/37IbH410Sl0
- 15 52 04 Camera1 6: 0:15 Een automobilist die vanuit de Tulpinstraat richting Hasselt tracht af te slaan op de Kempische Steenweg lijkt verward of afgeleid en rijdt even tegen de rijrichting in, om via het zebrapad terug naar de juiste rijhelft te gaan (perspectief vanuit camera 1) https://youtu.be/WgYCdLQeCA4
- 15 52 04 Camera2 7: 0:15 Een automobilist die vanuit de Tulpinstraat richting Hasselt tracht af te slaan op de Kempische Steenweg lijkt verward of afgeleid en rijdt even tegen de rijrichting in, om via het zebrapad terug naar de juiste rijhelft te gaan (perspectief vanuit camera 2) https://youtu.be/35pU96f7-CE
- 16 07 50 9: 0:17 De witte wagen die vanuit de Astridlaan (zijde Nolimpark) komt en afdraait op de Ringlaan in de richting van de Noord-Zuid verbinding treedt in conflict met de donkere wagen die vanuit de Astridlaan (zijde Holheide) zal afdraaien op de Ringlaan in de richting van Lommel https://youtu.be/iFxKmoym9wY
- 16 11 43 10: 0:12 Een fietser komende uit de Vijverstraat rijdt gevaarlijk tussen het verkeer het kruispunt op om vervolgens op de Kempische Steenweg richting Zonhoven af te slaan. https://youtu.be/ZjBIQh5J878
- Ladingverlies 1080P Lq 14 : [dronebeeld] Een bestelwagen remt sterk af voor het kruispunt (vermoedelijk door een overgang naar de oranje- of roodfase) en verliest hierbij een bundel buizen die voorwaarts het kruispunt op schieten. Niet veel later steken op dat punt voetgangers het zebrapad over. Nadat de buizen verwijderd werden van het kruispunt raakt de bestelwagen in conflict met het voertuig rechts bij het (ongepland) rechts afslaan naar de Tulpinlaan om de lading te recupereren. https://youtu.be/ux9-a8D0VCo

- Roodlicht En Conflictfietser 1080P Lq 15 : [dronebeeld] Een auto negeert de oranje fase van de VRI in Kiewit en rijdt tijdens de roodfase het kruispunt over. Op de andere richting van de Kempische Steenweg (richting Hasselt) is filevorming door een aanrijding verderop. Een fietser tie over het zebrapad oversteekt raakt in conflict met een uit de Vijverstraat afslaand voertuig dat de fietser slechts laat opmerkt door occlusie door een aanschuivende vrachtwagen. https://youtu.be/HudKCnATecE

8 Oplossingsrichtingen

8.1 Pelt

Het conflictpatroon op het kruispunt in Pelt toont vooral conflicten aan 1/ tussen voertuigen die elkaar kruisen op het kruispuntvlak en 2/ tussen afdraaiende voertuigen en overstekende fietsers of voetgangers die rechtdoor gaan. Ook een gridlock situatie komt hier geregeld voor waarbij voertuigen zich op het kruispuntvlak opstellen om af te slaan en door de opbouw van een staart van voertuigen hierdoor het verkeer komt vast te zitten.

Het volledig conflictenvrij maken (actieve weggebruikers en voertuigen), lijkt voor deze locatie de meest aangewezen oplossing om de veiligheid te verbeteren.

Eventueel kan ook overwogen worden om enkele bypasses aan te brengen die niet lichtengeregeld zijn gezien dat er enkele dominante OD-paren zijn in het geval volledig conflictvrij maken op deze locatie moeilijk zou zijn (effect op doorstroming).

8.2 Hasselt (Kiewit)

Conflicten op het kruispunt tussen het gemotoriseerd verkeer konden niet vastgesteld worden door de grote afmetingen van het kruispunt en de relatief beperkte dekking door de 2 camera's (zie ook Figuur 66). Conflicten vinden echter waarschijnlijk wel plaats gegeven dat er geen conflictenvrije regeling is.

Conflicten treden op tussen het verkeer dat vanuit de Vijverstraat rechts afslaat op de Kempische Steenweg en de actieve weggebruikers die de Kempische Steenweg oversteken via het lichtengeregelde zebrapad. Hoewel voertuigen de weggebruikers tijdig lijken op te merken, ontstaat er soms een risicovolle situatie waarin voertuigen uit ongeduld tussen overstekende actieve weggebruikers snellen (kleine PET-waarden) of waarin een overstekende actieve weggebruiker niet tijdig opgemerkt wordt in geval van occlusie door stilstaande voertuigen op de Kempische Steenweg (bv. in geval van filevorming).

De oversteektijd voor actieve weggebruikers is bovendien blijkbaar onvoldoende voor significante aantallen ouders en kinderen die zich van de parking, over de Kempische Steenweg, naar de Vrije Basisschool De Kievit in de Vijverstraat verplaatsen, en in de omgekeerde richting. Ouders die door de (onverwachte) overgang naar een roodfase halt houden op de middenberm vertonen soms angstig gedrag (zou houden de kinderen zichtbaar goed vast of pakken deze op). Tijdens de roodfase krijgt de Kempische Steenweg immers in beide richtingen een groenfase en kan het verkeer in beide richtingen op korte afstand aan snelheden tot 70km/u (de geldende maximumsnelheid) voorbij komen. De aanbeveling is om na te gaan of de groenfase verlengd kan worden, tenminste gedurende de piekperioden van opening en sluiting van de school.

[zie figuur met duidelijke pieken]

8.3 Lummen

Er staat iedere dag een gemachtigd opzichter die het verkeer stopt om schoolkinderen (en volwassen fietsers) veilig te laten oversteken. Uit het beeldmateriaal is ook gebleken dat het oversteken er inderdaad niet geordend verloopt. Als men oversteekt is er aan de noordzijde geen fietspad en rijdt men eigenlijk over een voetpad. De situatie is er op zijn minst gezegd onduidelijk wat leidt tot onduidelijke oversteekgedrag.

Het heraanleggen van de locatie met duidelijke voorzieningen voor alle weggebruikers lijkt hier de meest veilige en duurzame oplossing. In tussentijd kan overwogen worden om de snelheid ter hoogte van het kruispunt te verlagen, de belijning te verbeteren, signalisatie-elementen aan te brengen die

weggebruikers attent maken op overstekende voetgangers en fietsers, en de zichtbaarheid te garanderen, bijvoorbeeld via aangepaste verlichting

8.4 Maasmechelen

Uit de conflictobservatie en het beeldmateriaal komen volgende aandachtspunten naar boven.

- Verkeer dat uit Groenstraat komt, kan de bocht niet goed maken om op voorsortering te gaan staan; ze staan hierdoor vaak schuin en al op het zebrapad, of maken verschillende bewegingen (over het zebrapad) om goed te staan. Dit gedrag komt vaak voor.
- Wagens (vanuit de Rijksweg - Z) keren over voetpad en fietspad bij Cake Fashion, om zo terug naar Z te kunnen rijden, wat resulteert in opstropping… Ook dit gedrag komt regelmatig voor. Met wat geluk geraken voertuigen in de meteen daarop volgende lichtenfase opnieuw over het kruispunt van de Rijksweg (gaat eigenlijk te vlot voor hen, zeker niet ontradend…).
- Er is maar ruimte voor één wagen naar links voorsorterend naar de Rijksweg: anders wordt de toegang tot de Groenstraat geblokkeerd (wat ook geregeld voorkomt). Wagens hebben blijkbaar de neiging om fel naar voor te rijden (al op de stopstreep of het zebrapad)
- Voertuigen die uit de Looheuvelstraat komen en die wat verderop tijdens een groenfase rechtsaf wensen te rijden op de Rijksweg, dienen vaak in de wachtrij aan te schuiven bij voertuigen die linksaf willen slaan op de Rijksweg maar op dat moment in de roodfase zitten. Ongeduldige bestuurders rijden vervolgens over het voetpad om de wachtrij langs rechts voorbij te rijden, wat ongewenst is.

Sommige van bovenstaande problemen zijn mogelijk aan te pakken via:

- Aangepaste lichtenregeling;
- Hoewel er reeds markering is aangebracht: aangepaste markering overwegen op het kruispuntvlak Groenstraat x Looheuvelstraat die de automobilist er extra op attent maakt om het kruispunt niet te blokkeren;
- Aanbrengen van obstakels waardoor verhinderd wordt dat kerend verkeer of verkeer dat de wachtrij probeert voorbij te rijden hierdoor op het voetpad terecht komt en actieve weggebruikers hiermee in gevaar brengt.

9 Uitdagingen tijdens het project

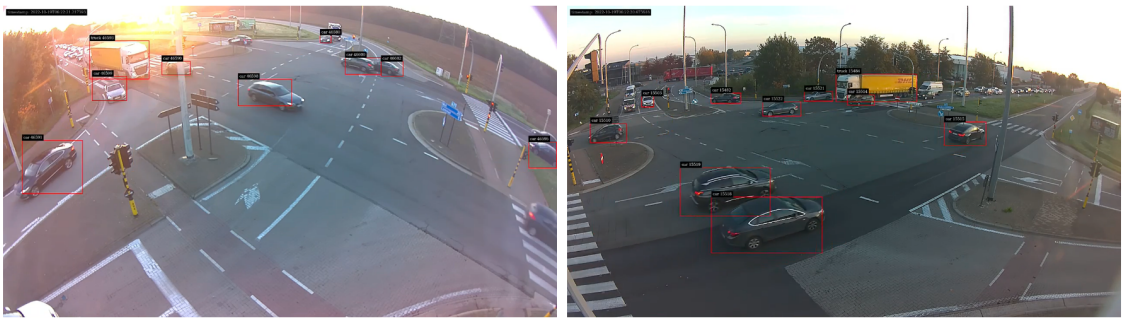
9.1 Uitdagingen in het ontwikkelingsstadium

Het privacy-by-design ontwerp van een geautomatiseerd conflictobservatiesysteem gebaseerd op 2 camera's per locatie bevat veel uitdagingen die samengaan met de state-of-the-art van de beschikbare technologieën en algoritmische technieken. Een aantal van deze **wetenschappelijke en niet-wetenschappelijke uitdagingen** bleken tijdens de ontwikkeling in de projectfase groter dan initieel verwacht. Een van de uitdagingen blijkt de **nauwkeurigheid van het eindresultaat dat sterk beïnvloed wordt door een opeenstapeling van onnauwkeurige tussenresultaten** in de gehele flow zoals besproken in 3.1 *Procesflow* en Figuur 20. Het resultaat van de ene stap is de input voor de volgende stap. Fouten die gekenmerkt worden door iedere bewerkingsstap worden zo uitvergroot.

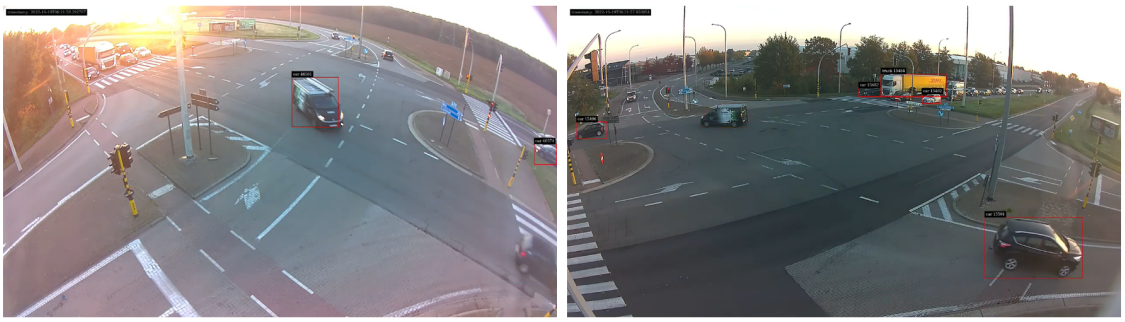
Eerste analyses toonden immers aan dat niet alle weggebruikers gematcht werden en dat er, gebaseerd op de berekende trajecten, een aanzienlijke onderschatting is van het werkelijk aantal weggebruikers. Bovendien zijn de trajecten onregelmatig (springerig) en roteren sommige weggebruikers schijnbaar. Zulke kwaliteitsproblemen konden door een extra verwerkingsstap via smoothing, lineaire interpolatie, spline-regressie en/of slimme heuristieken verminderd worden. **Binnen dit project passen we al deze technieken toe op het eindresultaat om de kwaliteit ervan te verhogen.**

9.1.1 Detectie weggebruikers via YOLO object detectie algoritme

Ieder edge-systeem, bestaande uit een camera en boordcomputer met (beperkte) rekencapaciteit, opslagruimte en netwerkfaciliteiten dat geleverd en geplaatst werd door Citymesh, gebruikt een gefinetuned YOLOv7 model dat *on site* de weggebruikers in realtime detecteert. Dit is een stochastisch model met een zekere nauwkeurigheid. Soms worden weggebruikers niet als dusdanig gedetecteerd (**false negatives**), maar ook de omgekeerde fout dat infrastructurele objecten of video artefacten als weggebruiker worden gedetecteerd komen voor (**false positives**). Er zijn verschillende factoren die de detectiegraad beinvloeden zoals cameraperspectief, belichting, glare, occlusie door verlichtingspalen, vlaggen of andere weggebruikers, cameraresolutie en afstand tot de camera, weggebruikertype (kleine weggebruikers zoals voetgangers en fietsers worden minder nauwkeurig gedetecteerd) enz. Zie ook Figuur 127 t.e.m. Figuur 133.

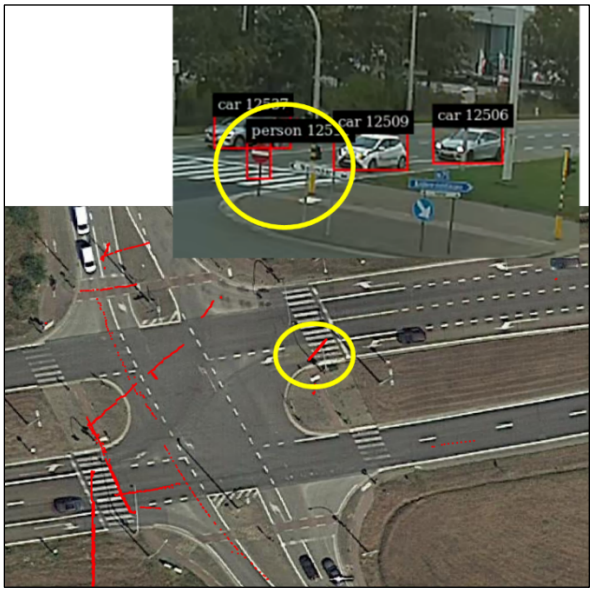


Figuur 127: Voorbeeld waar de detectie uit beide camera-perspectieven behoorlijk is. Merk op dat door de snelheid van de voertuigen de bounding box van de gedetecteerde weggebruiker niet mooi de contouren van de weggebruiker omkadert. (kruispunt in Pelt).



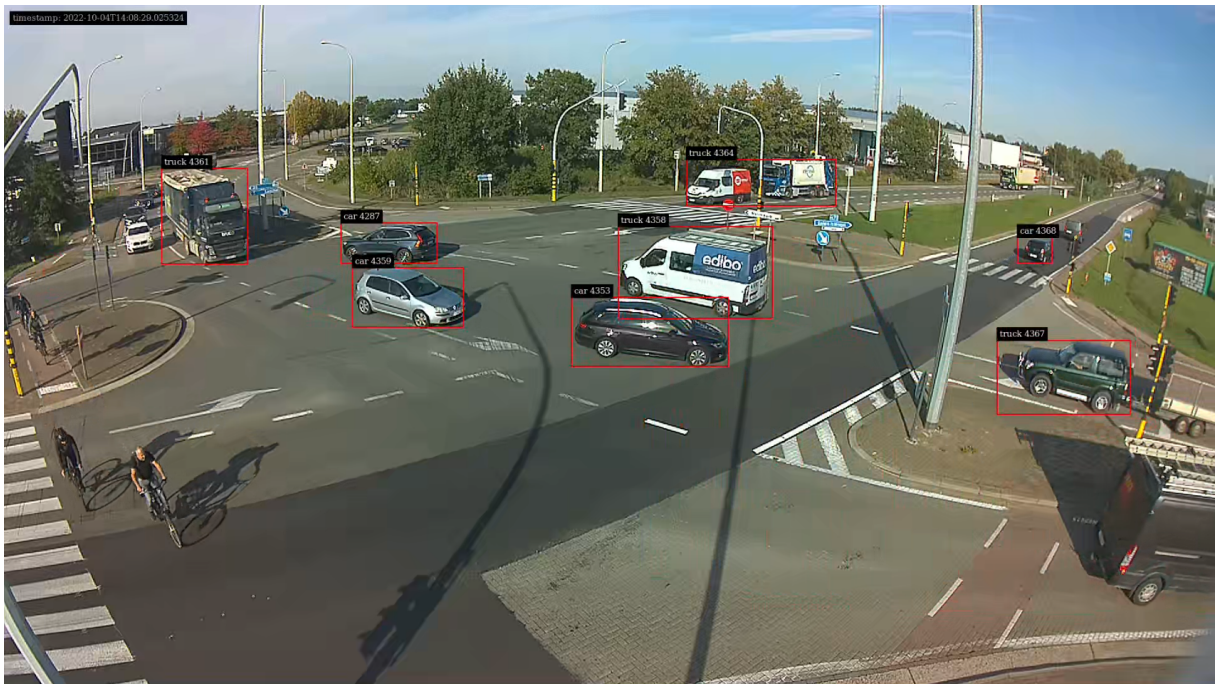
Figuur 128: Voorbeeld waar de detectie uit beide camera-perspectieven niet overeenkomen doordat een van beide camera's het voertuig niet detecteert (kruispunt in Pelt)

Figuur 129: Illustratie van de manuele correctie van foutief geclassificeerde weggebruikers binnen een voorgedefinieerde zone (voetgangers (rood) → personenwagens (groen)



Figuur 130: Illustratie van de misclassificatie als oorzaak voor enkele opgemerkte false positive conflictdetecties

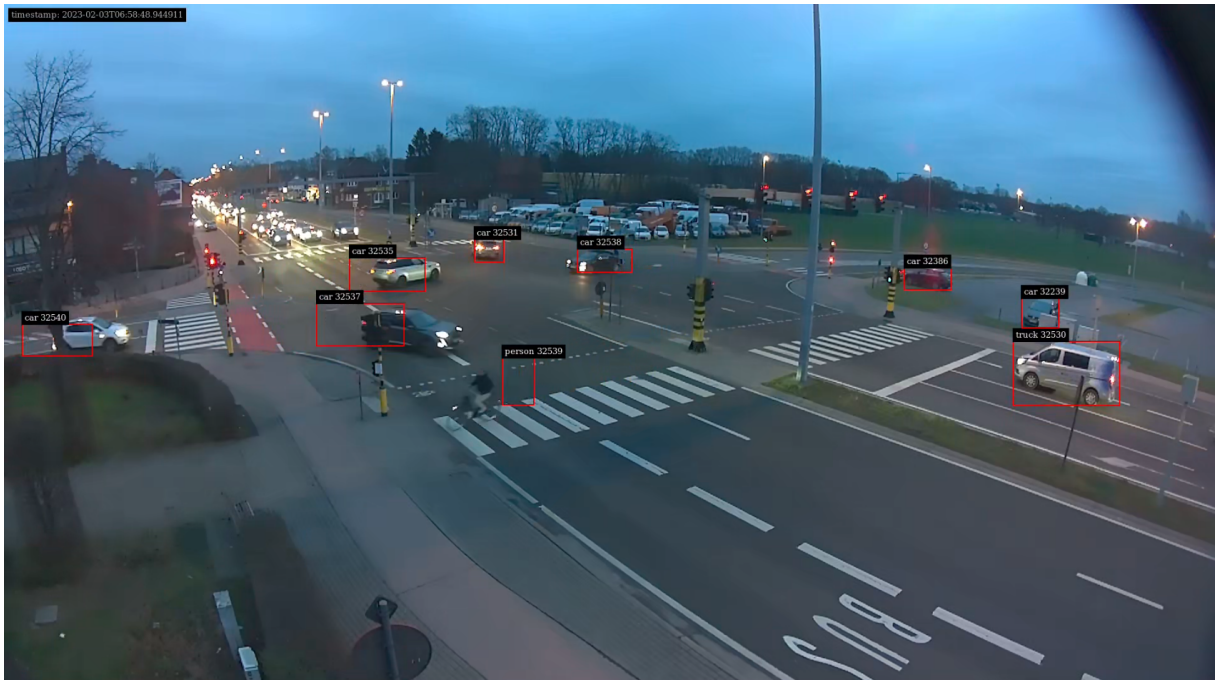
Figuur 131: Illustratie van de misclassificatie als oorzaak voor enkele opgemerkte false positive conflictdetecties



Figuur 132: Illustratie van het niet-detecteren (false negatives) van de actieve weggebruikers aan de linker zijde

Figuur 133: Illustratie waarin foute en/of onbedoelde detecties en classificaties conflicten introduceren. Door de geringe relatieve snelheid worden deze echter niet ernstig ingeschat.

Er is een tweede bron van onnauwkeurigheden dewelke ook zichtbaar is in Figuur 127 en Figuur 134: de bounding box die het gedetecteerde object markeert, omkadert niet mooi de weggebruiker. Deze klasse van object detectie algoritmes hanteert rechthoekige detectie bounding boxes die niet roteren en die met een zekere stochasticiteit het object omkaderen. Stilstaande voertuigen hebben dus toch nog steeds een lichtjes bewegende bounding box rond hen. De nauwkeurigheid van de omkadering hangt af van de oriëntatie van de weggebruiker, partiële occlusies en de snelheid van de weggebruiker. Partiële occlusies waarbij een weggebruiker slechts gedeeltelijk in beeld komt (vb. aan de rand of achter een ander voertuig) krijgen een bounding box die een *volledige* weggebruiker vertegenwoordigt. Dit effect verstoort de ingeschatte snelheid en afmetingen in latere fases van het proces.



Figuur 134: Illustratie waar de bounding box de weggebruiker niet accuraat omlijnt, wat voor onjuiste (false positive) of gemiste (false negative) conflicten kan leiden.

YOLOv7 met een pre-trained netwerk voor de detectie van o.a. weggebruikers was state-of-the-art tijdens de opstartfase van het project (in een domein van AI en machine learning dat nog continu in evolutie is). Er moesten bovendien modelmatige keuzes worden gemaakt om het model in realtime te kunnen uitvoeren op de edge devices met beperkte rekenkracht. **Om dit te mitigeren werden verschillende correcties ingebouwd, zoals bijvoorbeeld trajectextrapolatie en -smoothing**.

9.1.2 Locatiebepaling gedetecteerde object a.d.h.v. bounding box

De bounding box die door het YOLO object detectiealgoritme rond de weggebruiker wordt gefit heeft een bepaalde onzekerheid (zie hierboven). **Op basis van deze bounding box dient vervolgens een pixel coördinaat gekozen te worden die het op de grondplaat geprojecteerde centrum van de weggebruiker vertegenwoordigt en die in een latere fase omgezet wordt naar een wereld-coördinaat.** Dit bleek niet zo evident, gezien door het cameraperspectief een foute keuze van punt in de bounding box het object schijnbaar naar achter projecteert. Na experimenteren werd voor de **coördinaat van het middelpunt van de onderste zijde van de bounding box rechthoek** gekozen gezien dit in de verschillende scenario's steeds het dichtst ligt bij het werkelijke centrum van de weggebruiker op het grondvlak. Een eerdere keuze voor het middelpunt van de bounding box resulteerde bijvoorbeeld in problemen tijdens het matchen gezien de detecties uit de 2 camera-perspectieven te ver uit elkaar werden geprojecteerd.

Merk op dat in het geval van de backup verwerkingsstrategie[2] dit aspect van locatiebepaling ervoor zorgt dat bepaalde conflicten niet gedetecteerd worden die in het geval van een succesvolle 3D matching wel gedetecteerd zouden zijn (zie ook hoofdstuk 6.4.5)

9.1.3 Geo-kalibratie vertaalt de pixel coördinaten naar een wereldcoördinaten assenstelsel

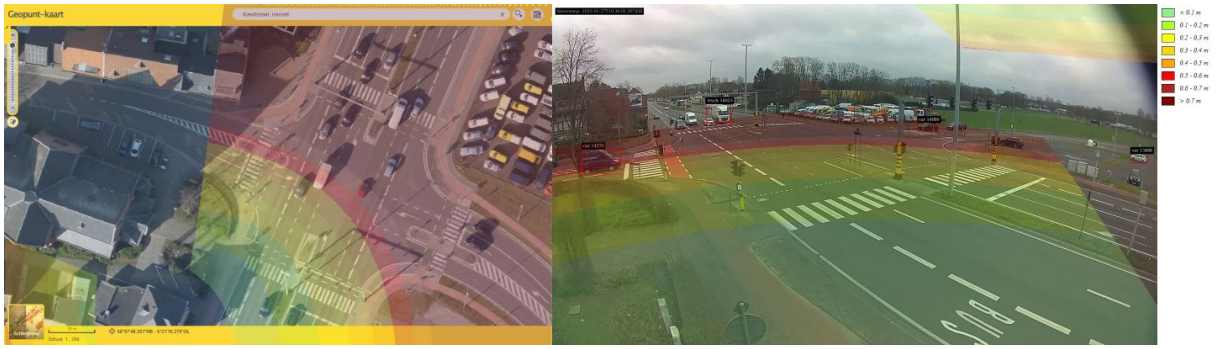
Nadat een pixel coördinaat werd bepaald die het op de grondplaat geprojecteerde centrum van de weggebruiker vertegenwoordigt moet deze coördinaat omgezet worden in een coördinaat in een wereldassenstelsel (cfr GPS coördinaten). De pixel coördinaat-ruimte wordt gekalibreerd op een wereldassenstelsel via de gekende Tsai kalibratie in de T-Calibration tool werd geïmplementeerd[3]. **Dit kalibratie-proces is erg gevoelig en bleek vaak voor problematische resultaten te zorgen.** De kalibratie houdt in dat men manueel enkele herkenningspunten (putdeksels, wegbelijning, andere infrastructuur op grondniveau enz) linkt in zowel het camerabeeld als in een satellietfoto met gekende wereldcoördinaten voor deze punten. De **beperkte resolutie waarop men wereldcoördinaten** kan bepalen (vb. via Google Maps of luchtfoto's van Vlaanderen via Geopunt) maakt dat deze kalibratie benaderend is. Een ander probleem is dat de **beschikbare satelliet- of luchtfoto's soms van een verouderde situatie zijn**, met andere of hertekende belijning of een veranderde infrastructurele context. Het is dan moeilijk of onmogelijk om voldoende herkenningspunten te matchen met het camerabeeld. Bovendien zorgt een beperkte resolutie van het verwerkte camerabeeld in combinatie met het cameraperspectief ervoor dat een **verschuiving van 1 pixel in het pixel coördinatenstelsel kan zorgen voor een verschuiving van tientallen centimeters in het wereldassenstelsel**. Dit effect neemt toe naarmate de pixelcoördinaat dichter bij de horizon in het camerabeeld ligt. In combinatie met de onzekerheden uit bovenstaande stappen leidt dit effect tot (aanzienlijke) ruis op de positiebepaling. Het gebruik van 2 camera's uit verschillende perspectieven is een keuze die dit effect tracht te mitigeren.

Tijdens het project leidde bovendien de verschillende resoluties van het originele camerabeeld, de resolutie van het beeld dat YOLO verwerkt en de resoluties van beelden waarop de geo-kalibratie werd uitgevoerd tot verschillende iteraties met slechte resultaten, wat de vlotte uitvoering van de analyses verstoorde.

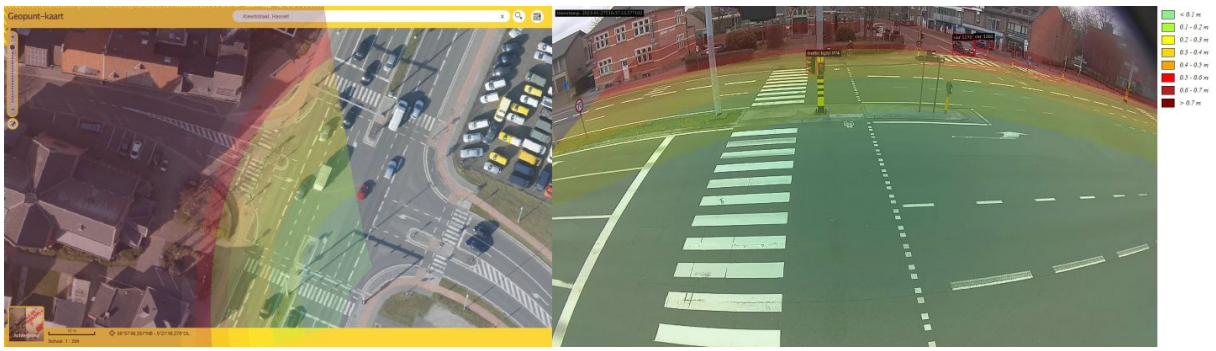
[2] Backup verwerkingsstrategie: de data van slechts 1 cameraperspectief werd gebruikt vanwege ernstige geo-kalibratieproblemen voor Maasmechelen en Lummen, waardoor de 3D matching niet kon worden uitgevoerd (zie ook hoofdstuk 6.3 en 6.4).

[3] T-Calibration is een tool uit de T-Analyst toolbox die ontwikkeld werd door Lund University voor verkeersveiligheid-gerelateerde, manuele video analyses. https://bitbucket.org/TrafficAndRoads/tanalyst/wiki/Home

Toen in de eindfase de observaties van **Maasmechelen en Lummen** afgerond werden kwamen ernstige **kwaliteitsproblemen** naar boven die waarschijnlijk grotendeels te wijten zijn aan een problematische geo-kalibratie. Ondanks verwoede pogingen kon dit probleem niet tijdig geremedieerd worden, waardoor de weggebruikers uit de twee camerasystemen niet gematcht konden worden. Hierdoor vielen we last-minute terug op een **back-up verwerkingsmethode**: de analyse werd uitgevoerd op **data van slechts 1 camerasysteem** in combinatie met gemiddelde afmetingen per type weggebruiker. Het resultaat is echter minder nauwkeurig dan wanneer de 3D matching uitgevoerd zou kunnen worden.



Figuur 135: Illustratie van de accuraatheid van positiebepaling na geo-kalibratie (camera 1 in Kiewit)



Figuur 136: Illustratie van de accuraatheid van positiebepaling na geo-kalibratie (camera 2 in Kiewit)

9.1.4 Matching objectdetecties uit de twee camera's

Na de voorgaande stap zijn de trajecten van weggebruikers uit de twee camera's gekend. Deze moeten vervolgens in near real-time met elkaar **gematcht worden**: punt i uit camera 1 met coördinaat (x_i, y_i) op tijdstip t wordt vergeleken met punt j uit camera 2 met coördinaat (x_j, y_j) op datzelfde tijdstip t. Vanwege vele onvermijdbare onnauwkeurigheden (zoals hierboven omschreven) zal er nooit een exacte match gevonden worden en dienen heuristieken gebruikt te worden op basis van o.a. afstand en een beschrijving van het kleurenprofiel van de weggebruiker. Hier werden verschillende heuristieken en matching technieken uitgetest om deze complexe taak uit te voeren. **Deze stap is een van de belangrijke innovaties in dit project, maar tegelijkertijd bijzonder complex en geplaagd door onnauwkeurigheden uit voorgaande stappen. Objectpunten die niet gematcht kunnen worden zijn onbetrouwbaar en kunnen niet weerhouden worden. Gegeven de vele bronnen van onnauwkeurigheden verliezen we op deze manier (te-)veel datapunten van het gemotoriseerde verkeer**. Merk op dat matching van actieve weggebruikers uitgeschakeld werd waardoor voor dit type weggebruikers er aanzienlijk minder objectpunten verloren gaan.

9.1.5 3D-wireframe model fitting en trajectsamenstelling

Vervolgens wordt een wireframe model (een sterk vereenvoudigd 3D model van een klasse weggebruikers) gefit op gematchte objectpunten en diens oorspronkelijke bounding boxes. Ook hier wordt gebruik gemaakt van heuristieken (gebruik makend van volume, rijrichting enz) gezien een exact resultaat niet mogelijk is. De individueel in realtime gematchte objectpunten worden in postprocessing samengesteld tot trajecten van weggebruikers. Hier wordt alle beschikbare informatie gebruikt door

verschillende heuristieken. **Onnauwkeurigheden in dit proces leiden o.a. tot uitsluiting van data** (vb. onrealistisch korte trajecten) **en gesplitste trajecten** (stukjes trajecten die eigenlijk samen horen bij eenzelfde weggebruiker, maar die toch niet automatisch samengevoegd konden worden en als verschillende weggebruiker in de data opduiken).

9.2 Praktische uitdagingen

Naast inhoudelijke uitdagingen gerelateerd aan de ontwikkeling van het camerasysteem waren er ook meer praktisch uitdagingen. Hieronder vind u een beknopt overzicht van de meest belangrijke uitdagingen.

9.2.1 Locatiebepaling van de edge camerasystemen

De precieze locatiebepaling voor de installatie van de edge camerasystemen is onderhevig aan verschillende randvoorwaarden. Zo moeten **de camera's het studiegebied vanuit een voldoende hoog perspectief kunnen filmen om een goed overzicht te hebben en occlusies te vermijden**. Een perspectief vanuit de hoogte komt ook de locatiebepaling van de weggebruikers ten goede.

Daarnaast moeten er een **stroomvoorziening** ter beschikking zijn om de systemen te voeden. Een batterij- of zonnecel-oplossing was niet voorhanden. Daardoor moesten op iedere locatie de mogelijkheden onderzocht worden bij stakeholders zoals het Agentschap Wegen en Verkeer (AWV), de stad of gemeente, netbeheerder Fluvius, buurtbewoners, Proximus die vaak straatkasten met stroomaansluiting bezit, enz. In Pelt, Kiewit en Maasmechelen kon uiteindelijk een stroomaansluiting voorzien worden door het AWV, aangevuld door stad Hasselt (jeugdhuis 't Geverke en de toneelvereniging in hetzelfde pand) en gemeente Maasmechelen. In Lummen bleken de aanwezige straatkasten eigendom van Proximus, die echter geen aansluiting kon voorzien vanwege contractuele beperkingen met netbeheerder Fluvius. De enige oplossing bleek om enkele tientallen meters verderop een tijdelijke werfkast te laten aansluiten door netbeheerder Fluvius. Voor Lanaken werden alle mogelijke opties uitgeput, en na een traject van vele maanden kon geen oplossing gevonden worden en werd de conflictobservatie d.m.v. drones uitgevoerd.

9.2.2 Hardware- en software problemen

De edge camerasystemen ondervonden geregeld **technische problemen**. Zo bleek op een gegeven moment dat de **pas geplaatste SSDs (een opslagmedium) niet bleken te werken** waardoor een nieuwe manuele interventie noodzakelijk was om dit te herstellen. Soms waren er ook problemen met het **encrypteren** van de SSDs, wat vereist is om de privacygevoelige opnames te beschermen.

Doordat de cameramodule van de geplaatste edge camerasystemen verschilde van de module waarop initieel door het ontwikkelteam werd getest (zie verder), ontstonden na plaatsing van camerasystemen op de eerste locatie tal van problemen waardoor de observatie weken vertraging opliep. Op de eerste twee locaties bleek er ook een probleem te zijn met de controle van een **infrarood (IR) filter die op de cameramodule staat**. Deze filter zorgt in daglichtcondities (wanneer ze uit moet staan) voor een paarse schijn in het beeld, wat de detectie en matching van detecties tot een 3D positie verhindert of sterk bemoeilijkt. Ook dit probleem kon pas verholpen worden door een manuele interventie.

De edge camerasystemen kunnen via het Balena platform vanop afstand beheerd worden via een draadloze verbinding. Er deden zich geregeld problemen voor met het opstarten van software services via deze omgeving.

9.3 Organisatorische uitdagingen

De **planning van de observaties is complex** doordat vele stakeholders betrokken zijn. Zo dienen schoolvakanties vermeden te worden voor studiegebieden op een schoolroute. Wegenwerken in de buurt van het studiegebied (zoals in Lummen het geval was) kunnen evenzeer de studie beïnvloeden, en dus dient de periode van de werken vermeden te worden (of alleszins dient het effect ervan onderzocht te worden). De communicatie met betrekking tot de plaatsing en demonteren van de camera's verliep helaas ook niet steeds zoals door IMOB gevraagd wat heel wat problemen veroorzaakt heeft in de verwerking van de gegevens.

10 Aanbevelingen vervolgonderzoek

10.1 Evaluatie van de gebruikte kalibratiemethode

Zoals uit 9.1.3 *Geo-kalibratie vertaalt de pixel coördinaten naar een wereldcoördinaten assenstelsel* blijkt is de hele analyse-pipeline is sterk afhankelijk van de initiële schatting van de positie van de weggebruikers in ieder camerabeeld, en is de huidige manier van kalibratie naar een wereldcoördinaten assenstelsel in sommige gevallen ontoereikend. **Deze stap in de pipeline moet herzien worden om de accuraatheid, en zo ook de kwaliteit van de analyses, significant te verbeteren**.

10.2 Relaxatie van bepaalde vereisten

Bij de aanvang van het project werd als doelstelling gedefinieerd dat de verwerking minstens in real-time moet kunnen verlopen, dit aangezien de camera's continu data verzamelen en deze verwerkt moet kunnen worden door de hele pipeline zonder dat data zich ophoopt en uiteindelijk verloren zou gaan (met waarschijnlijk als bottleneck de camera edge devices waar de rekenkracht het kleinst is).

Deze vereiste werd ook doorgetrokken naar de cloud-verwerking (waar veel rekenkracht ter beschikking is), zelfs tot in de aanpak van het matchen van twee weggebruikers uit de twee datastromen van de camera's. Dit houdt in dat detectiepunten afzonderlijk gematcht worden van zodra deze binnen komen in het cloud systeem, en dat de gematchte punten in een vervolgstap tot samenhangende trajecten worden samengesteld. Deze stap blijkt nodeloos complex. **Een betere aanpak, die echter een grote herwerking van de code zou vereisen, zou zijn om te wachten met matchen totdat voldoende datapunten verzameld werden zodat de matching op traject-niveau kan gebeuren**. Op deze manier wordt traject informatie uit het edge device ook meegenomen. De analyse zou echter vertraging oplopen in deze naverwerking in de cloud. De ervaring leert nu dat dit geen groot probleem zou vormen en dat deze aanpak de voorkeur geniet.

10.3 Nieuwe AI modellen

Het domein van AI en computer vision algoritme evolueert met rasse schreden, mede dankzij de impuls die generatieve AI (ChatGPT enz.) bracht in het domein. Ontwikkelingen volgen elkaar ook steeds sneller op door slimmere trainingstechnieken en modelstructuren, alsook de beschikbaarheid van training datasets. Ook worden er grote stappen gezet in de efficiëntie van training en inferentie van/door modellen, alsook de rekencapaciteit van hardware neemt nog sterk toe. Waar we bij de aanvang van het project kozen voor een *detectiemodel* zoals YOLO na experimenten met verschillende state-of-the-art alternatieven, verwachten we dat we **nu mogelijk zouden kiezen voor een *pose-estimation* aanpak**. Zulke nieuwe modellen, toegepast in het domein van mobiliteit, combineren verschillende stappen uit de huidige pipeline tot een performant AI model. Ze detecteren de weggebruikers en schatten reeds hun afmetingen en oriëntatie in eenzelfde stap. Het blijft echter een uitdaging om zo'n model te trainen of om een geschikt getraind model te vinden.

11 Referenties

Hydén, C. (1987) The Development of a Method for Traffic Safety Evaluation: The Swedish Traffic Conflicts Technique. No. 70, Bulletin Lund Institute of Technology.

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, Volume 42, Issue 6, Pages 1637-1646, ISSN 0001-4575, https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.03.021.

Laureshyn, A., De Ceunynck, T., Karlsson, C., Svensson, Å., Daniels, S. (2017) In search of the severity dimension of traffic events: Extended Delta-V as a traffic conflict indicator. Accident Analysis & Prevention 98, 46-56