UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

School voor Mobiliteitswetenschappen

master in de mobiliteitswetenschappen

Masterthesis

Drones voor veiligere schoolomgevingen

Camille Lubon

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

PROMOTOR :
Prof. dr. ir. Ansar-Ul-Haque YASAR

COPROMOTOR :
dr. ir. Wim ECTORS

2020
2021

UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

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

UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

School voor Mobiliteitswetenschappen

master in de mobiliteitswetenschappen

Masterthesis

Drones voor veiligere schoolomgevingen

Camille Lubon

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

PROMOTOR :
Prof. dr. ir. Ansar-Ul-Haque YASAR

COPROMOTOR :
dr. ir. Wim ECTORS

Voorwoord

Deze masterproef is geschreven door Anton Renard, Camille Lubon en Jannes Bottu als sluitstuk van de master Mobiliteitswetenschappen aan de Universiteit Hasselt. Met dit onderzoek willen wij bijdragen aan een verhoging van de verkeersveiligheid in schoolomgevingen. Dit doen wij door de haalbaarheid en de toepasbaarheid van dronetechnologie, voor het analyseren van de verkeersveiligheid in schoolomgevingen, te onderzoeken. Binnen deze masterproef is er zowel op individuele basis gewerkt, alsook op basis van een samenwerking. Het gezamenlijke gedeelte focust voornamelijk op de uitvoering en de analyse van een pilotstudie in Zonhoven, een onderzoek naar de effectieve haalbaarheid van drones in verkeerskundig onderzoek van een schoolomgeving. De individuele delen focussen meer op specifieke onderzoeksvragen zoals de accuraatheid en bruikbaarheid van de parameters, een afweging van de drone-technologie ten opzichte van andere onderzoekstechnieken en de quick wins en maatregelen die toegepast kunnen worden op basis van de resultaten uit de analyse van dronebeelden.

Natuurlijk kon deze masterproef niet tot stand komen zonder de hulp van verschillende personen. In de eerste plaats willen wij dan ook onze promotor Prof. dr. ir. Ansar-Ul-Haque Yasar en onze copromotor dr. ir. Wim Ectors bedanken voor de waardevolle hulp, feedback en gesprekken. Verder willen wij ook Prof. dr. Davy Janssens als coördinator van de masterproef en dr. Ariane Cuenen voor de input rond R2S Educatie bedanken. Daarnaast zouden wij ook een speciaal dankwoord willen richten aan DroneMatrix voor het mogelijk maken van de dronevluchten. Hierbij willen wij specifiek Frank Vanwelkenhuyzen, Karel Vandebergh en Michiel Arits bedanken voor alle tijd en moeite die zij in dit onderzoek hebben gestoken. Tot slot zouden wij ook graag Lissy Lieben, de directrice van basisschool De Zonnewijzer in Zonhoven, Benny Peeters en Michael Vanderhoydonk van de gemeente Zonhoven willen bedanken voor hun medewerking.

Veel leesplezier!

Anton Renard
Camille Lubon
Jannes Bottu

Samenvatting

Verkeersveiligheid in schoolomgevingen is tot op heden nog altijd een probleem. In 2019 raakten 5615 kinderen en jongeren onder de 17 jaar gewond in een ongeval in België, hierbij kwamen ook 22 kinderen om het leven (Pelssers & De Vos, 2020). Gelet op de locatie van de ongevallen met kinderen tussen 3 en 11 jaar op het woon-schooltraject blijkt dat 78% van de ongevallen zich situeren op minder dan 300 meter van de schoolpoort, er kan bijgevolg geconcludeerd worden dat de verkeersveiligheid in schoolomgevingen moet verbeterd worden (Roynard, Schoeters, & Wénin, 2015). Om adequate maatregelen te treffen is onderzoek nodig aan de hand van een of meerdere onderzoekstechnieken. In deze masterproef wordt de haalbaarheid van een toepassing van een relatief nieuwe onderzoekstechniek, het drone-onderzoek, in onderzoek rond schoolomgevingen onderzocht. Er wordt onder andere onderzocht welke indicatoren belangrijk zijn voor verkeersveiligheidsonderzoek en hoe deze geïnterpreteerd kunnen worden, hoe de voor- en nadelen van drone-onderzoek zich verhouden ten opzichte van andere onderzoekstechnieken en in welke mate er op basis van drone-onderzoek adequate maatregelen voor een verbetering van de verkeersveiligheid kunnen worden voorgesteld. De theoretische en praktische inzichten in dit onderzoek zijn gebaseerd op een combinatie van een literatuurstudie en een pilotstudie. De pilotstudie bestaat uit twee dronevluchten in de nabije omgeving van de basisschool De Zonnewijzer in Zonhoven. Deze pilotstudie maakt het mogelijk om de theorie in de verschillende deelonderzoeken toe te passen op de praktijk.

De analyses van de dronebeelden zijn uitgevoerd aan de hand van DataFromSky (DFS), een softwareprogramma voor geautomatiseerde verkeerskundige analyses, gebaseerd op artificiële intelligentie. Aan de hand van DFS zijn de belangrijkste analyses uitgevoerd, gaande van verkeerstellingen, modal split, OD-matrices en snelheidsmetingen tot conflictobservaties, parkeren en time en distance headway. Deze analyse is een zeer algemene analyse, waarin alle parameters die beschikbaar zijn in de software werden behandeld.

In het eerste deelonderzoek, een meer diepgaande analyse van de dronebeelden, onderzocht Anton Renard welke parameters kunnen gebruikt worden voor een grondige verkeersveiligheidsanalyse. Daarbij wordt de focus gelegd op de parameters trajectoriën, snelheid, type weggebruiker, Time-To-Collision, Post-Encroachment-Time en Heavy braking. De eerste drie parameters werden gehanteerd bij de analyse van het lestelrisico, de laatste drie voor het ongevallenrisico. De analyse werd uitgevoerd aan de hand van een stappenplan, waarbij in elke stap extra parameters werden toegevoegd. In de eerste stap werden de zones gekozen waar weggebruikers elkaar kruisen. Vervolgens werd er verder gefocust op de zones waar kwetsbare weggebruikers en voertuigen elkaar kruisen. Deze interacties zijn interessant aangezien de verschillen in massa en snelheid van deze weggebruikers invloed hebben op het letselrisico. In stap 3 werden de surrogaatindicatoren (TTC, PET en Heavy braking) toegevoegd om ook

het ongevallenrisico in de analyse te betrekken. Deze eerste drie stappen werden uitgevoerd op basis van de videobeelden. In een vierde stap werd een manuele observatie uitgevoerd. Het stappenplan heeft als voordeel dat het de overvloed aan data op een eenvoudige wijze kan reduceren tot de meest relevante zones waar gevaarlijke situaties zich voor doen.

Het tweede deelonderzoek, uitgevoerd door Jannes Bottu, focust op de onderzoekstechnieken. Uit de literatuurstudie met betrekking tot parameters en hun bijhorende onderzoekstechnieken kan geconcludeerd worden dat er minimaal vijf analyses/parameters nodig zijn in een onderzoek naar het verkeer en de verkeersveiligheid in schoolomgevingen, deze analyses omvatten: verkeerstellingen, verkeersstromen, modal split, gedragsobservaties (bv. snelheid) en conflictobservaties. Voor elk van deze analyses is de haalbaarheid van de mogelijke onderzoekstechnieken onderzocht aan de hand van de praktische, juridische en commerciële haalbaarheid. Op basis van de inzichten uit dit onderzoek kan besloten worden dat de haalbaarheid van drone-onderzoek in schoolomgevingen momenteel nog te laag is. Dit valt toe te schrijven aan een te lage accuraatheid van detectie en tracking van weggebruikers, een lage representativiteit door de korte periode van dataverzameling, een hoge kostprijs en een uitgebreid wetgevend en organisatorisch kader. Wel blijken drones een groot potentieel te hebben om in de toekomst ingezet te worden. Drone-onderzoek heeft ten opzichte van andere onderzoekstechnieken enkele belangrijke voordelen zoals een brede toepasbaarheid, een relatief groot onderzoeksgebied, veel beschikbare parameters, een relatief eenvoudige analyse en een mogelijkheid om resultaten te communiceren aan de hand van beelden.

In het derde deelonderzoek van Camille Lubon wordt onderzocht welke maatregelen er genomen kunnen worden op basis van een drone-onderzoek om de schoolomgeving verkeersveiliger te maken. In een literatuurstudie worden 4 categorieën van maatregelen geïdentificeerd: infrastructuurmaatregelen, educatiemogelijkheden, handhavingsinitiatieven en maatregelen die betrekking hebben op organisatie en overleg. Uit de literatuurstudie blijkt ook het belang van participatie om publiek draagvlak te creëren voor de maatregelen die genomen worden. De dronebeelden worden verder geanalyseerd om probleemsituaties te detecteren. Dit wordt gedaan aan de hand van onder andere verkeerstellingen, snelheidsmetingen en verkeersstromen, maar ook door een manuele, visuele analyse. Op basis van de analyse worden problemen geïdentificeerd. Als eerste worden de subjectieve meldingen van onveilige situaties in Route2School getoetst aan de objectieve dronebeelden. Tot slot worden voor 3 problemen verschillende maatregelen uit alle categorieën voorgesteld: de chaotische verkeerssituatie in de schoolomgeving, de onaangepaste snelheid van de weggebruikers en de leerlingen gaan te weinig te voet of met de fiets naar school.

Op basis van het gehele onderzoek kan geconcludeerd worden dat er bij een toepassing van drones op verkeerskundige analyses in schoolomgevingen zowel

voordelen als tekortkomingen worden waargenomen. Zo vormen het visuele aspect van de dronebeelden, de brede toepasbaarheid, de grote hoeveelheid aan parameters en de relatief snelle analyses enkele van de grote voordelen. Wel wordt de haalbaarheid momenteel nog beperkt door problemen met onder andere de accuraatheid van de analyses en de hoge kostprijs van de techniek. Dit ligt dan ook aan de basis van de conclusie dat drone-onderzoek, ten opzichte van andere onderzoekstechnieken, voor geen enkele analyse tot op heden de hoogste haalbaarheid heeft. Ook de mogelijkheid tot het correct analyseren van een schoolomgeving op basis van surrogaat indicatoren wordt beperkt door het gebrek aan accuraatheid. Tot slot is het ook niet evident om maatregelen op te stellen op basis van de geautomatiseerde analyses, al vult een manuele analyse van de dronebeelden dit probleem wel gedeeltelijk in. Gezien de technologische evoluties zal de techniek naar alle waarschijnlijkheid wel positief verder evolueren, de toepasbaarheid en haalbaarheid van de techniek kan hierdoor aanzienlijk verbeteren.

Tot slot blijken de mogelijkheden voor een implementatie van een drone-onderzoek binnen Route2School, als vorm van objectieve dataverzameling, momenteel nog beperkt door de huidige tekortkomingen van de techniek. Mits een verbetering van onder andere de accuraatheid van analyses van zwakke weggebruikers, de voornaamste focus van Route2School, wordt er wel een potentieel gezien in de implementatie van drones binnen Route2School. Hierbij wordt een gelaagde aanpak voorgesteld waarbij er bijkomende fases worden toegevoegd aan het huidige proces. Op basis van de subjectieve veiligheidsmeldingen wordt er gezocht naar clusters (hoge concentratie) aan meldingen van mobiliteitsknelpunten. Deze clusters worden vervolgens onderzocht met behulp van een dronevlucht. Achteraf wordt de subjectieve data van de meldingen afgetoetst ten opzichte van de objectieve data uit de analyses van de dronebeelden om eventuele maatregelen op te stellen.

Inhoudstafel

VOORWOORD I

SAMENVATTING III

INHOUDSTAFEL VII

FIGURENLIJST XI

TABELLENLIJST XV

LIJST MET AFKORTINGEN XVII

1 PROBLEEMSTELLING & RELEVANTIE 1

2 ONDERZOEKSVRAGEN 3

3 METHODOLOGIE 5

3.1 Pilotstudie 6
3.1.1 Situering 6
3.1.2 Probleemstelling pilotstudie 8
3.1.3 Set-up pilotstudie 10
3.1.4 Analyse 15
3.1.5 Testvlucht 16

3.2 Onderzoeksmethodologie deelonderzoeken 17
3.2.1 Onderzoek parameters 17
3.2.2 Onderzoek haalbaarheid drones t.o.v. andere onderzoekstechnieken 17
3.2.3 Onderzoek quick wins & maatregelen 19

4 LITERATUURSTUDIE 21

4.1 Gebruik drones in verkeersonderzoek 21
4.1.1 Verkeersveiligheid 22
4.1.2 Verkeersmonitoring en verkeersmanagement 23
4.1.3 Infrastructuurmanagement 28
4.1.4 Handhaving 28

4.2 Detectie van weggebruikers 30

4.3 Accuraatheid data 34

4.4 Drones voor veiligere schoolomgevingen 35

4.4.1 Focus op kwetsbare weggebruikers 36

4.5 Parameters uit de beeldanalyse 38
4.5.1 Inleiding 38
4.5.2 Onderzoekstechnieken verkeersveiligheid 39
4.5.3 Surrogaat veiligheidsindicatoren 42
4.5.4 Combinatie van indicatoren 54
4.5.5 Conclusie 61

4.6 Onderzoeksmethodieken 62
4.6.1 Parameters 62
4.6.2 Onderzoekstechnieken 77
4.6.3 Conclusie 91

4.7 Quick wins en maatregelen 94
4.7.1 De schoolomgeving 94
4.7.2 Schoolroutes 95
4.7.3 Veelvoorkomende problemen in schoolomgevingen 96
4.7.4 Infrastructuurmaatregelen 98
4.7.5 Educatiemogelijkheden 110
4.7.6 Handhavingsinitiatieven 115
4.7.7 Maatregelen die betrekking hebben op organisatie en overleg 118
4.7.8 Publiek draagvlak creëren 121
4.7.9 Voorbeelden van drone-onderzoek in schoolomgevingen 122

5 UITVOERING DRONEVLUCHT 125

6 ALGEMENE ANALYSE DRONEBEELDEN 129

6.1 Privacy 129

6.2 Detectie van weggebruikers 130

6.3 Verkeerstellingen 136

6.4 Verkeersstromen 136

6.5 Modal split 137
6.5.1 Bevraging in de klas 137
6.5.2 DataFromSky 139

6.6 OD-matrices 142
6.6.1 OD-matrix wegverkeer 142
6.6.2 OD-matrix fietsers 143

6.7 Snelheid 144

6.8 Parkeren 146
6.8.1 Ochtendspits 146
6.8.2 Avondspits 153

6.9 Conflictobservaties 158

6.9.1 Time-to-collision 158
6.9.2 Post-encroachment-time 162
6.9.3 Heavy braking 165

6.10 Time & distance headway 167

7 ANALYSE SURROGAAT VEILIGHEIDSINDICATOREN 171

7.1 Visualisatie parameters 171
7.1.1 Snelheid 172
7.1.2 Trajectoriën 172
7.1.3 TTC, PET en Heavy Braking 172

7.2 Resultaten 173
7.2.1 Stappenplan 173

7.3 Conclusie en discussie 188

7.4 Beperkingen 189

8 DRONES T.O.V. ANDERE ONDERZOEKSTECHNIEKEN 193

8.1 Praktische haalbaarheid 194
8.1.1 Verkeerstellingen 194
8.1.2 Gedragsobservaties 204
8.1.3 Verkeersstromen 212
8.1.4 Modal split 223
8.1.5 Conflictobservaties 229

8.2 Juridische haalbaarheid 239
8.2.1 Wetgevend kader drones 239
8.2.2 Wetgevend kader tijdelijke vaste (slimme) camera 242
8.2.3 Andere onderzoekstechnieken 244
8.2.4 Privacy 244

8.3 Commerciële haalbaarheid 255
8.3.1 Kostprijs 255
8.3.2 Baten 259
8.3.3 Schaalbaarheid 261

8.4 Conclusie a.d.h.v. MCA 265

8.5 Business case Zonhoven 269

9 QUICK WINS EN MAATREGELEN 273

9.1 Overzicht veelvoorkomende problemen en maatregelen in schoolomgeving 273

9.2 Analyse dronebeelden 279
9.2.1 Verkeerstellingen 279
9.2.2 Verkeersstromen 280

9.2.3 Modal split 282
9.2.4 OD-matrices 283
9.2.5 Snelheid 284
9.2.6 Parkeren 285
9.2.7 Conflictobservaties 287
9.2.8 Visuele detectie gevaarlijke situaties 287

9.3 Identificatie van problemen 291
9.3.1 Meldingen Route2School 291
9.3.2 Knelpunten en maatregelen op basis van dronebeelden 294
9.3.3 Probleem 1: De verkeerssituatie in de schoolomgeving is chaotisch 297
9.3.4 Probleem 2: Onaangepaste snelheid 313
9.3.5 Probleem 3: Leerlingen gaan te weinig te voet en met de fiets naar school 318

9.4 Evaluatie van maatregelen 322
9.4.1 Determinanten van het gedrag 322
9.4.2 Gedrag 322
9.4.3 Aantal ongevallen en bijna-ongevallen 323

9.5 Route2School Educatie 324
9.5.1 Beelden van verkeerskundig onderzoek 325
9.5.2 Nieuwe video's van de schoolomgeving en op de schoolroute 328
9.5.3 Nieuwe algemene video's 329
9.5.4 Aanbevelingen vervolgonderzoek 329

9.6 Conclusie en discussie 331

10 CONCLUSIE 335

10.1 Algemene conclusie 335

10.2 Route2School 337

11 AANBEVELINGEN 341

BIBLIOGRAFIE 343

Literatuur 343

Wetgeving 364

BIJLAGEN 365

Accuraatheden detectie DFS o.b.v. frame-analyse 365

Modal split basisschool De Zonnewijzer 368

Problemen- en maatregelentabel Werkboek Schoolomgevingen 369

Figurenlijst

FIGUUR 1: VERLOOP MASTERPROEF (EIGEN WERK, 2021) 5
FIGUUR 2: MESOSITUERING STUDIEGEBIED ZONHOVEN (GOOGLE MAPS, EIGEN WERK, 2020; GEOPUNT, 2020) 6
FIGUUR 3: FOTOREPORTAGE STUDIEGEBIED (EIGEN WERK, 2020) 7
FIGUUR 4: ROUTE2SCHOOL ZONHOVEN (ROUTE2SCHOOL, EIGEN WERK, 2020) 9
FIGUUR 5: KAART ONGEVALLEN (SAFEROADS.VLAANDEREN, 2020) 10
FIGUUR 6: MICROSITUERING STUDIEGEBIED DE ZONNEWIJZER (AGIV, EIGEN WERK, 2020) 11
FIGUUR 7: OPPERVLAKTE STUDIEGEBIED/FILMGEBIED ZONHOVEN EN WEERGAVE STARTPOSITIE EN LUCHTPOSITIE DRONE (AGENTSCHAP GEOGRAFISCHE INFORMATIE VLAANDEREN, EIGEN WERK, 2020) .. 13
FIGUUR 8: LUCHTFOTO'S STUDIEGEBIED (EIGEN WERK, 2021) 16
FIGUUR 9: OD-ILLUSTRATIE VOOR VERSCHILLENDE BEWEGINGEN (BARMPOUNAKIS & GEROLIMINIS, 2020) ... 25
FIGUUR 10: BEPALING KRITISCHE PUNTEN EN SCHOLGOLVEN (KHAN ET AL., 2018) 26
FIGUUR 11: GEDETECTEERDE TRAJECTORIËN (KHAN ET AL., 2018) 26
FIGUUR 12: SCHATTING KRITISCHE HIAATTIJD GEBASEERD OP GEREVISEERDE RAFF'S METHODE (KHAN ET AL., 2018) 27
FIGUUR 13: FRAMEWORK VOOR GEAUTOMATISEERDE UAV-VIDEOVERWERKING EN ANALYSE (KHAN ET AL., 2017) 31
FIGUUR 14: YOLO-ALGORITME (ĆOROVIĆ, ET AL., 2018) 32
FIGUUR 15: DETECTIE VAN OBJECTEN D.M.V. YOLO (SEONG, ET AL., 2019) 33
FIGUUR 16: SNELHEIDSVERGELIJKING OP EEN GEDEELTE VAN HET TRAJECT TUSSEN DATA VAN EEN VBOX EN EEN DRONE (GUIDO ET AL., 2016) 34
FIGUUR 17: CORRELATIE VAN DE SNELHEID VERKREGEN MET EEN VBOX EN EEN DRONE (GUIDO ET AL., 2016) 35
FIGUUR 18: SCHEMA WERKWIJZE OMZETTEN VIDEOBEELDEN NAAR VERKEERSDATA (EIGEN BEWERKING) (BARMPOUNAKIS, ET AL., 2019) 40
FIGUUR 19. TIME-TO-COLLISION GEÏLLUSTREERD MET VOERTUIGTRAJECTORIËN (MINDERHOUD & BOVY, 2001) 46
FIGUUR 20: SNELHEIDSKAART VAN EEN STEDELIJKE VERKEERSADER IN ATHENE (BARMPOUNAKIS, ET AL., 2019) 51
FIGUUR 21: HET NIVEAU VAN DE ERNST VAN VERKEERSSITUATIES (HYDÉN, 1987; SVENSON, 1998) 56
FIGUUR 22: GRAFISCHE VOORSTELLING TTC (MINDERHOUD & BOVY, 2001) 64
FIGUUR 23: TIME EXPOSED TTC & TIME INTEGRATED TTC (MINDERHOUD & BOVY, 2001) 65
FIGUUR 24: POST-ENCROACHMENT-TIME (VÁRHELYI, 1998) 66
FIGUUR 25: KANS OP EEN DODELIJKE VERWONDING ALS EEN FUNCTIE VAN DE IMPACTSNELHEID (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2005; ROSÉN & SANDER, 2009) 69
FIGUUR 26: MODAL SPLIT WOON-SCHOOLVERPLAATSINGEN VLAANDEREN (OVG 5.5, EIGEN WERK, 2021) 71
FIGUUR 27: MODAL SPLIT 6 TOT 12-JARIGEN OP BASIS VAN OVG 5.3 (NETWERK DUURZAME MOBILITEIT, 2019) 71
FIGUUR 28: DISTANCE HEADWAY & TIME HEADWAY (LÜCKEN ET AL., 2018) 73
FIGUUR 29: KRITISCHE HIAATTIJD EN HIAATAFSTAND GEBASEERD OP RAFF'S METHODE: A) TEMPOREEL & B) RUIMTELIJK (PAWAR & PATIL, 2016) 74
FIGUUR 30: LIJST VAN VARIABELEN GEDRAGSOBSERVATIE ILLEGAAL OVERSTEKEN (SHAABAN, MULEY & MOHAMMED, 2018) 76
FIGUUR 31: VERKEERSVEILIGHEIDSPIRAMIDE, AANGEPAST AAN HYDEN, 1987 (EMBARQ, 2017) 78
FIGUUR 32: EVOLUTIE GEBRUIK VAN TOOLS VOOR DATACOLLECTIE (VAN HAPEREN, ET AL., 2019) 79
FIGUUR 33: CONFLICT SEVERITY DIAGRAM (LAURESHYN & VÀRHELYI, 2018) 85
FIGUUR 34: GEAUTOMATISEERDE VIDEO-ANALYSE: EEN FRAMEWORK (ZAKI, ET AL., 2013) 86
FIGUUR 35: VERKEERSBORD F4A (WEGCODE.BE) 94
FIGUUR 36: VERKEERSBORD F4B (WEGCODE.BE) 94

FIGUUR 37: IMPACT VOERTUIGSNELHEID OP DE OVERLEVINGSKANS VAN VOETGANGERS (ROSÉN, 2009)..... 99
FIGUUR 38: GEMIDDELDE EN MAXIMALE SNELHEDEN IN SCHOOLOMGEVINGEN OP BASIS VAN DE SNELHEIDSLIMIETEN VAN HET VORIG SEGMENT (ELLISON, GREAVES, & DANIELS, 2013) 100
FIGUUR 39: STAPSGEWIJZE SNELHEIDSVERMINDERING (RAHMAN ET AL., 2019)..... 100
FIGUUR 40: SPREIDING VAN VERKEERSONGEVALLEN MET VOETGANGERS VOLGENS DE POSITIE VAN DE VOETGANGERS (2016-2018) (DE CEUNYNCK, PELSSERS, & DANIELS, 2020)..... 101
FIGUUR 41: CONCEPT VAN EEN GEVLEUGELDE OVERSTEEKPLAATS (DE CEUNYNCK, PELSSERS, & DANIELS, 2020) 102
FIGUUR 42: EEN COMBINATIE VAN BIFLASH EN WEGDEKVERLICHTING VERHOOGT DE AANDACHT VAN DE AUTOBESTUURDER TER HOOGTE VAN EEN SCHOOLINGANG (DEPARTEMENT MOBILITEIT EN OPENBARE WERKEN, 2009) 102
FIGUUR 43: VOOR DE AANPASSINGEN, ELKE LIJN GEEFT EEN TRAJECTORIE WEER: VOETGANGERS (BLAUW), FIETSERS (ROOD), BESTUURDERS (GROEN) (COWI, 2020) 124
FIGUUR 44: NA DE AANPASSINGEN, ELKE LIJN GEEFT EEN TRAJECTORIE WEER: VOETGANGERS (BLAUW), FIETSERS (ROOD), BESTUURDERS (GROEN) (COWI, 2020) 124
FIGUUR 45: DEFINITIEF LUCHTBEELD (EIGEN WERK, 2021) 125
FIGUUR 46: COLLAGE DRONEVLUCHT 23/02/2021 (EIGEN WERK, 2021)..... 127
FIGUUR 47: GEANONIMISEERDE REGIO'S IN DFS (EIGEN WERK, 2021) 130
FIGUUR 48: DETECTIE WEGGEBRUIKERS IN DFS-VIEWER (EIGEN WERK, 2021) 131
FIGUUR 49: VOORBEELD 1: ANALYSE ACCURAATHEID PER FRAME (EIGEN WERK, 2021) 133
FIGUUR 50: VOORBEELD 2: ANALYSE ACCURAATHEID PER FRAME (EIGEN WERK, 2021) 133
FIGUUR 51: GROUND SAMPLING DISTANCE EN OPPERVLAKTE IN FUNCTIE VAN VLIEGHOOGTE (EIGEN WERK, 2021) 135
FIGUUR 52: TRAJECTORIËN VAN WEGGEBRUIKERS IN DFS-VIEWER (EIGEN WERK, 2021)..... 137
FIGUUR 53: MODAL SPLIT BASISSCHOOL DE ZONNEWIJZER, CAMPUS KLEINE HEMMENWEG, ZONHOVEN (EIGEN WERK, 2021)..... 138
FIGUUR 54: MODAL SPLIT BASISSCHOOL DE ZONNEWIJZER, CAMPUS KLEINE HEMMENWEG, VOLGENS LEERJAAR (EIGEN WERK, 2021) 139
FIGUUR 55: PLAATSING TELPOORTEN BEREKENING MODAL SPLIT (EIGEN WERK, 2021) 140
FIGUUR 56: VISUALISATIE OD-MATRIX MODAL SPLIT (EIGEN WERK, 2021)..... 141
FIGUUR 57:VOORBEELD BEPERKTE TRAJECTORIE VOETGANGER (EIGEN WERK, 2021) 141
FIGUUR 58: LOCATIES POORTEN OD-MATRIX WEGVERKEER (EIGEN WERK, 2021)..... 143
FIGUUR 59: LOCATIES POORTEN OD-MATRIX FIETSERS (EIGEN WERK, 2021)..... 144
FIGUUR 60: MICROSITUERING STUDIEGEBIED ZONHOVEN (AGENTSCHAP GEOGRAFISCHE INFORMATIE VLAANDEREN, EIGEN WERK, 2020)..... 145
FIGUUR 61: HEATMAP VAN SNELHEDEN IN DFS VIEWER (EIGEN WERK, 2021) 146
FIGUUR 62: LOCATIE VAN DE PARKINGS (OCHTENDSPITS) (EIGEN WERK, 2021) 147
FIGUUR 63: VISUALISTATIE TRAFFIC REGION PARKING (OCHTENDSPITS) (EIGEN WERK, 2021) 149
FIGUUR 64: SITUATIE PARKING 8U15 (EIGEN WERK, 2021)..... 150
FIGUUR 65: SITUATIE PARKING 8U20 (EIGEN WERK, 2021)..... 150
FIGUUR 66: VISUALISTATIE POORTEN EN TRAFFIC REGION PARKING (OCHTENDSPITS) (EIGEN WERK, 2021) .. 150
FIGUUR 67: BEZETTINGSGRAAD PARKING IN FUNCTIE VAN TIJD (OS) (EIGEN WERK, 2021)..... 151
FIGUUR 68: VERDELING TOTALE PARKEERDUUR (OS) (EIGEN WERK, 2021)..... 152
FIGUUR 69: VISUALISATIE TRAFFIC REGION PARKING (AVONDSPITS) (EIGEN WERK, 2021) 153
FIGUUR 70: SITUATIE PARKING 14U55 (EIGEN WERK, 2021)..... 154
FIGUUR 71: SITUATIE PARKING 15U45 (EIGEN WERK, 2021)..... 154
FIGUUR 72: SITUATIE PARKING 15U18 (EIGEN WERK, 2021)..... 154
FIGUUR 73: VISUALISATIE POORTEN EN TRAFFIC REGION PARKING (AVONDSPITS) (EIGEN WERK, 2021) 155
FIGUUR 74: BEZETTINGSGRAAD PARKING IN FUNCTIE VAN TIJD (AS) (EIGEN WERK, 2021) 156
FIGUUR 75: VERDELING TOTALE PARKEERDUUR (AS) (EIGEN WERK, 2021)..... 156

FIGUUR 76: OVERZICHT VAN GEDETECTEERDE CONFLICTSITUATIES VOLGENS TIME-TO-COLLISION (EIGEN WERK, 2021) 158
FIGUUR 77: VOORBEELD NORMAAL VERKEERSGEDRAG OP OVONDE (EIGEN WERK, 2021) 159
FIGUUR 78: FOUTIEVE DETECTIE VAN EEN CONFLICT OP BASIS VAN TTC (EIGEN WERK, 2021) 159
FIGUUR 79: CONFLICTEN TUSSEN ZWAKKE WEGGEBRUIKERS VOLGENS TTC (EIGEN WERK, 2021) 160
FIGUUR 80: CONFLICT MET EEN MINIMALE TTC VAN 0,08 SECONDEN (EIGEN WERK, 2021) 160
FIGUUR 81: CONFLICT MET EEN MINIMALE TTC VAN 1,24 SECONDEN (EIGEN WERK, 2021) 161
FIGUUR 82: CONFLICT (ORANJE) MET EEN MINIMALE TTC VAN 1,64 SECONDEN, OPONTHOUD OP OVONDE DOOR VOERTUIG DAT AFSLAAT EN MOET WACHTEN OP FIETS (ROOD) (EIGEN WERK, 2021) 161
FIGUUR 83: OVERZICHT VAN DE GEDETECTEERDE CONFLICTSITUATIES EN HUN PET WAARDE OP BASIS VAN POST-ENCROACHMENT-TIME (EIGEN WERK, 2021) 162
FIGUUR 84: FOUTIEVE DETECTIE VAN EEN CONFLICT OP BASIS VAN PET (EIGEN WERK, 2021) 163
FIGUUR 85: FOUTIEVE DETECTIE VAN EEN CONFLICT OP BASIS VAN PET (EIGEN WERK, 2021) 164
FIGUUR 86: DETECTIE VAN EEN CONFLICT OP BASIS VAN PET OP HET FIETSPAD TER HOOGTE VAN DE SCHOOLPOORT (EIGEN WERK, 2021) 164
FIGUUR 87: DETECTIE VAN EEN CONFLICT OP BASIS VAN PET OP HET FIETSPAD, TER HOOGTE VAN DE TOEGANG TOT DE PARKING TEGENOVER DE SCHOOL (EIGEN WERK, 2021) 165
FIGUUR 88: OVERZICHT VAN DE GEDETECTEERDE CONFLICTSITUATIES EN HUN 'HEAVY BRAKING' WAARDE (EIGEN WERK, 2021) 166
FIGUUR 89: LOCATIE BEPALING TIME & DISTANCE HEADWAY (EIGEN WERK, 2021) 167
FIGUUR 90: KRITISCHE VOERTUIGVOLGSITUATIE: TIJDSGEBRUIK: 0,84S EN RUIMTEGEBRUIK: 1,7M (EIGEN WERK, 2021) 168
FIGUUR 91: FOUTIEVE DETECTIE VOERTUIGVOLGSITUATIE (EIGEN WERK, 2021) 169
FIGUUR 92: STAPPENPLAN VERKEERSVEILIGHEIDSANALYSE (EIGEN WERK, 2021) 174
FIGUUR 93. AREAS OF INTEREST: ZONES WAAR TRAJECTORIËN ELKAAR KRUISEN, OP BASIS VAN BEWERKINGEN IN DFS-VIEWER (EIGEN WERK, 2021) 177
FIGUUR 94. AREAS OF INTEREST: ONDERSCHEID NAAR TYPE WEGGEBRUIKERS, OP BASIS VAN BEWERKINGEN IN DFS-VIEWER (EIGEN WERK, 2021) 179
FIGUUR 95: AREAS OF INTEREST: ONDERSCHEID NAAR SNELHEID, OP BASIS VAN BEWERKINGEN IN DFS-VIEWER (EIGEN WERK, 2021) 180
FIGUUR 96: AREAS OF INTEREST: ONDERSCHEID NAAR SNELHEID, OP BASIS VAN BEWERKINGEN IN DFS-VIEWER (EIGEN WERK, 2021) 181
FIGUUR 97: AREAS OF INTEREST: ONDERSCHEID NAAR TTC (GRENSWAARDE: 1.5 SECONDE), OP BASIS VAN BEWERKINGEN IN DFS-VIEWER (EIGEN WERK, 2021) 183
FIGUUR 98: AREAS OF INTEREST: ONDERSCHEID NAAR PET (GRENSWAARDE: 2 SECONDEN), OP BASIS VAN BEWERKINGEN IN DFS-VIEWER (EIGEN WERK, 2021) 184
FIGUUR 99: AREAS OF INTEREST: ONDERSCHEID NAAR HEAVY BRAKING (GRENSWAARDE: -6M/S², 207 SITUATIES), OP BASIS VAN BEWERKINGEN IN DFS-VIEWER (EIGEN WERK, 2021) 185
FIGUUR 100: GEVAARLIJKE SITUATIES A.D.H.V. PET GRENSWAARDE (2 SECONDEN), OP BASIS VAN BEWERKINGEN IN DFS-VIEWER (EIGEN WERK, 2021) 187
FIGUUR 101: ONVOLLEDIGE EN ONDERBROKEN TRAJECTORIËN, OP BASIS VAN BEWERKINGEN IN DFS-VIEWER (EIGEN WERK, 2021) 190
FIGUUR 102. FOUTIEVE DETECTIE VAN EEN CONFLICT OP BASIS VAN TTC EN PET (EIGEN WERK, 2021) 191
FIGUUR 103: VOORBEELD PULSENREEKS DUBBELE TELSLANG: HONDA ACCORD AAN 42 KM/U (GOOSSENS, ET AL., 2007) 198
FIGUUR 104: STEEKPROEFGROOTTE SNELHEIDSMETING IN FUNCTIE VAN STANDAARDDEVIATIE VAN SNELHEID (OPPENLANDER, BUNTE, & KADAKIA, 1961) 206
FIGUUR 105: VERGELIJKING SNELHEIDSPROFIEL VBOX EN COMPUTER VISION TECHNIQUE O.B.V. UAV (GUIDO, ET AL., 2016) 209

FIGUUR 106: RAPPORTAGERATIO IN FUNCTIE VAN VERKEERSVOLUME VOOR KENTEKENONDERZOEK (GUY, & FRICKER, 2005) 214
FIGUUR 107: VOORBEELD RAPPORTAGEFORMULIER ZWEEDSE TCT (LAURENSHYN, & VÀRHELYI, 2018) 233
FIGUUR 108: KRUISEN VAN TRAJECTORIËN AAN OVONDE (EIGEN WERK, 2021) 280
FIGUUR 109: TRAJECTORIËN VAN WEGGEBRUIKERS IN DFS-VIEWER (EIGEN WERK, 2021) 281
FIGUUR 110: ISOCHRONE KAART MET EEN AFSTAND VAN 1,5 KM (ROOD) EN 3 KM (BLAUW) ROND BASISSCHOOL DE ZONNEWIJZER (EIGEN WERK, OPEN STREET MAPS 2021) 283
FIGUUR 111: LOKALE SNELHEIDSLIMIETEN SCHOOLOMGEVING (AGENTSCHAP GEOGRAFISCHE INFORMATIE VLAANDEREN, EIGEN WERK, 2020) 284
FIGUUR 112: HEATMAP VAN DE SNELHEDEN IN DFS VIEWER (EIGEN WERK, 2021) 285
FIGUUR 113: ZWAAR VERKEER OP DE OVONDE TIJDENS DE OCHTENDSPITS (EIGEN WERK, 2021) 288
FIGUUR 114: GEVAARLIJKE INHAALBEWEGING OP DE OVONDE TIJDENS DE OCHTENDSPITS (EIGEN WERK, 2021) 289
FIGUUR 115: BLOKKEREN VAN FIETS- EN VOETPADEN (EIGEN WERK, 2021) 290
FIGUUR 116: FIETSERS OP DE RIJBAAN (EIGEN WERK, 2021) 291
FIGUUR 117: SCHOOLROUTEKAART ROUTE2SCHOOL AAN BASISSCHOOL DE ZONNEWIJZER (ROUTE2SCHOOL, EIGEN WERK 2021) 292
FIGUUR 118: CHAOTISCHE AVONDSPITS (EIGEN WERK, 2021) 297
FIGUUR 119: CONFLICTSITUATIES TUSSEN FIETSERS ONDERLING EN TUSSEN FIETSERS EN VOETGANGERS (EIGEN WERK, 2021) 298
FIGUUR 120: FIETSERS VERLATEN DE SCHOOL (EIGEN WERK, 2021) 299
FIGUUR 121: HERINRICHTING SCHOOLOMGEVING OM DE MODI TE SPREIDEN IN DE RUIMTE (EIGEN WERK, 2021) 300
FIGUUR 122: MOGELIJKE EXTERNE PARKINGS (EIGEN WERK, 2021) 305
FIGUUR 123: KISS & RIDE SYSTEEM (TYPE 3) (MOBIEL VLAANDEREN, 2008) 307
FIGUUR 124: INPLANTING KISS & RIDE STROOK (EIGEN WERK, 2021) 308
FIGUUR 125: ZICHT OP DE OVONDE RICHTING KLEINE HEMMENWEG (GOOGLE MAPS, 2021) 315
FIGUUR 126: ZICHT OP DE OVONDE T.H.V. DE AFSLAG NAAR DE KLEINE HEMMENWEG (GOOGLE MAPS, 2021) 316
FIGUUR 127: DE 4 MODULES BINNEN R2S EDUCATIE (ROUTE2SCHOOL, 2021) 324
FIGUUR 128: VOORBEELDVRAAG KENNIS R2S EDUCATIE (ROUTE2SCHOOL, 2021) 325
FIGUUR 129: FIETSERS OP DE OVONDE (EIGEN WERK, 2021) 326
FIGUUR 130: GEMACHTIGD OPZICHTER OP DE OVONDE (EIGEN WERK, 2021) 327
FIGUUR 131: MOGELIJKE DODE HOEK SITUATIE OP DE OVONDE (EIGEN WERK, 2021) 328
FIGUUR 132: VOORBEELDVRAAG VAARDIGHEDEN IN R2S EDUCATIE (ROUTE2SCHOOL, 2021) 329
FIGUUR 133: IMPLEMENTATIE DRONE-ONDERZOEK BINNEN R2S (EIGEN WERK, 2021) 339
FIGUUR 134: MODAL SPLIT BASISSCHOOL DE ZONNEWIJZER, ZONHOVEN (N=501) (EIGEN WERK, 2021) 368

Tabellenlijst

TABEL 1: OVERZICHT SET-UP DRONEVLUCHT (EIGEN WERK, 2020) 14
TABEL 2: VALIDERINGSSTUDIES VAN OP TTC GEBASEERDE INDICATOREN (JOHNSSON, LAURESHYN, & DE CEUNYNCK, 2018) 47
TABEL 3: OVERZICHT VAN SURROGAATINDICATOREN VOOR VERKEERSVEILIGHEID (JOHNSSON, LAURESHYN, & DE CEUNYNCK, 2018) 53
TABEL 4: FACTOREN DIE DE KANS OP LETSELRISICO EN ONGEVALSRISICO BEÏNVLOEDEN (SVENSSON, 1998) ... 55
TABEL 5: OVERZICHT VAN SURROGAATVEILIGHEIDSINDICATOREN EN HUN RELATIE TOT ONGEVALLENRISICO EN LETSELRISICO (JOHNSSON, LAURESHYN, & DE CEUNYNCK, 2018) 57
TABEL 6: ERNST VAN CONFLICT GEBASEERD OP DECELERATION TO SAFETY TIME (HUPFER, 1997) 67
TABEL 7: SOORTEN ONDERZOEKSTECHNIEKEN VOOR VERKEERSVEILIGHEIDSEVALUATIE (VAN HAPEREN, ET AL., 2019) 78
TABEL 8: CLASSIFICATIE VAN CONFLICTEN VOLGENS ERNST OP BASIS VAN OLDER & SPICER, 1976 (KRAAY, VAN DER HORST & OPPE, 2013) 83
TABEL 9: RESULTATEN DOCTOR AMSTERDAM (VAN DER HORST, ET AL., 2014) 84
TABEL 10: DATATYPE VOLGENS TELTECHNIEK (LEDUC, 2008) 89
TABEL 11: SAMENVATTING ONDERZOEKSTECHNIEKEN (EIGEN WERK, 2021) 92
TABEL 12: TYPES SCHOOLOMGEVINGEN (VLAAMSE OVERHEID - AGENTSCHAP WEGEN EN VERKEER, 2010) 95
TABEL 13: UITTREKSEL UIT DE PROBLEMEN EN MAATREGELTABEL VAN HET WERKBOEK SCHOOLOMGEVING (AGENTSCHAP WEGEN EN VERKEER, 2010) 97
TABEL 14: OVERZICHT INFRASTRUCTUURMAATREGELEN IN SCHOOLOMGEVINGEN (EIGEN WERK OP BASIS VAN WERKBOEK SCHOOLOMGEVING, 2021) 105
TABEL 15: OVERZICHT EDUCATIEMOGELIJKHEDEN VOOR EEN VEILIGERE SCHOOLOMGEVING (EIGEN WERK OP BASIS VAN WERKBOEK SCHOOLOMGEVING, 2021) 113
TABEL 16: OVERZICHT HANDHAVINGSINITIATIEVEN IN SCHOOLOMGEVINGEN (EIGEN WERK OP BASIS VAN WERKBOEK SCHOOLOMGEVING, 2021) 117
TABEL 17: OVERZICHT MAATREGELEN DIE BETREKKING HEBBEN OP ORGANISATIE EN OVERLEG IN SCHOOLOMGEVINGEN (EIGEN WERK OP BASIS VAN WERKBOEK SCHOOLOMGEVING, 2021) 120
TABEL 18: DETECTIE VAN WEGGEBRUIKERS OS VIA DFS (EIGEN WERK, 2021) 130
TABEL 19: ACCURAATHEID DETECTIE DFS PER VERVOERSMODUS (EIGEN WERK, 2021) 132
TABEL 20: OD-MATRIX MODAL SPLIT VOETGANGERS EN FIETSERS (EIGEN WERK, 2021) 141
TABEL 21: OD-MATRIX WEGVERKEER (EIGEN WERK, 2021) 143
TABEL 22: OD-MATRIX FIETSERS (EIGEN WERK, 2021) 144
TABEL 23: GEGEVENS TRAFFIC REGION PARKING 1 (EIGEN WERK, 2021) 147
TABEL 24: OD-MATRIX BESTEMMING PARKING (OCHTENDSPITS) (EIGEN WERK, 2021) 152
TABEL 25: OD-MATRIX HERKOMST PARKING (OCHTENDSPITS) (EIGEN WERK, 2021) 152
TABEL 26: OD-MATRIX BESTEMMING PARKING (AVONDSPITS) (EIGEN WERK, 2021) 157
TABEL 27: OD-MATRIX HERKOMST PARKING (AVONDSPITS) (EIGEN WERK, 2021) 157
TABEL 28: HEADWAY OVONDE (EIGEN WERK, 2021) 168
TABEL 29: ACCURAATHEID ONDERZOEKSTECHNIEKEN VOOR VERKEERSTELLINGEN (COLONNA, ET AL., 2007) 199
TABEL 30: FOUTEN ALS GEVOLG VAN VELDRAPPORTAGE EN TRANSCRIPTIE VAN KENTEKENS (GUY, & FRICKER, 2005) 218
TABEL 31: RESULTATEN BLAND-ALTMAN LIMITS OF AGREEMENT FOR PAIRED COMPARISONS: HANDOPSTEKING, FAMILIE-ENQUÊTE EN MANUELE OBSERVATIES (SERSLI, ROTHMAN, & WINTERS, 2019) 227
TABEL 32: INDICATIEVE KOSTPRIJZEN PER ONDERZOEKSTECHNIEK (EIGEN WERK, 2021) 258
TABEL 33: MULTICRITERIA-ANALYSE ONDERZOEKSTECHNIEKEN (EIGEN WERK, 2021) 267
TABEL 34: BUSINESS CASE ZONHOVEN (EIGEN WERK, 2021) 271

TABEL 35: OVERZICHTSTABEL PROBLEMEN EN MAATREGELEN (EIGEN WERK, 2021) 273
TABEL 36: OVERZICHT PROBLEMEN EN MOGELIJKE MAATREGELEN SCHOOLOMGEVING DE ZONNEWIJZER (EIGEN WERK, 2021) 294
TABEL 37: VERSCHILLENDE MODI SPREIDEN IN TIJD EN RUIMTE (EIGEN WERK, 2021) 298
TABEL 38: OVERSTEEK BESCHERMEN OF VERKORTEN (EIGEN WERK, 2021) 301
TABEL 39: TROTTOIR EN FIETSPAD IN VERSCHILLENDE KLEUREN EN/OF MATERIAAL UITVOEREN (EIGEN WERK, 2021) 301
TABEL 40: AFZET- EN OPHAALPLAATSEN AANLEGGEN OP HET SCHOOLDOMEIN (EIGEN WERK, 2021) 302
TABEL 41: HET PARKEREN ORGANISEREN (EIGEN WERK, 2021) 303
TABEL 42: KISS & RIDE STROOK VOORZIEN (EIGEN WERK, 2021) 305
TABEL 43: VOETPAD AANPASSEN VOLGENS NORMEN IN VADEMECUM VOETGANGERSVOORZIENINGEN (EIGEN WERK, 2021) 309
TABEL 44: TOEGANKELIJKHEIDSANALYSE UITVOEREN (EIGEN WERK, 2021) 310
TABEL 45: POLITIONEEL OPTREDEN BIJ FOUTIEF, GEVAARLIJK OF HINDERLIJK PARKEREN OF STILSTAAN (EIGEN WERK, 2021) 311
TABEL 46: FOUTIEF, GEVAARLIJK OF HINDERLIJK PARKEREN OF STILSTAAN FYSIEK TEGENGAAN (EIGEN WERK, 2021) 312
TABEL 47: AUTOMOBILISTEN SENSIBILISEREN ROND SNELHEID (EIGEN WERK, 2021) 313
TABEL 48: SNELHEIDSCONTROLES UITVOEREN (EIGEN WERK, 2021) 313
TABEL 49: HORIZONTALE SNELHEIDSREMMERS AANLEGGEN (EIGEN WERK, 2021) 314
TABEL 50: VERTICALE SNELHEIDSREMMERS AANLEGGEN (EIGEN WERK, 2021) 316
TABEL 51: FIETSEN EN STAPPEN STIMULEREN (EIGEN WERK, 2021) 318
TABEL 52: FIETS- EN/OF VOETPOOL ORGANISEREN (EIGEN WERK, 2021) 319
TABEL 53: FIETSVAARDIGHEIDSTRAINING ORGANISEREN (EIGEN WERK, 2021) 320
TABEL 54: SCHOOLROUTEKAART AANMAKEN EN VERSPREIDEN (EIGEN WERK, 2021) 320
TABEL 55: ANALYSE ACCURAATHEDEN DETECTIE PER FRAME (BEELDEN OS) (EIGEN WERK, 2021) 365
TABEL 56: PROBLEMEN EN BIJHORENDE MAATREGELEN WERKBOEK SCHOOLOMGEVINGEN (AGENTSCHAP WEGEN EN VERKEER, 2010) 369

Lijst met afkortingen

AADT:	Annual Average Daily Traffic
ADT:	Average Daily Traffic
AI:	Artificiële Intelligentie
AMSL:	Above mean sea level
ANPR:	Automatic Number Plate Recognition
ARBQ:	Adolescent Road-User Behaviour Questionnaire
AS:	Avondspits
AT:	Actieve transportmodi
AVG:	Algemene Verordening Gegevensbescherming
AWV:	Agentschap Wegen en Verkeer
BFF:	Bovenlokaal Functioneel Fietsroutenetwerk
BVLOS:	Beyond Visual Line of Sight
CI:	Confidence Interval
CNN:	Convolutional Neural Network
CS:	Conflict speed/Conflictsnelheid
D2S:	Drone2School
DFS:	DataFromSky
DFSV:	DataFromSky Viewer (software)
DGLV:	Directoraat-Generaal Luchtvaart
DOCTOR:	Dutch Objective TCT for Operation and Research
DPIA:	Data Protection Impact Assessment (GEB)
DPO:	Data Protection Officer
DR:	Deceleration Rate
DST:	Deceleration to safety time
EASA:	European Union Aviation Safety Agency
ETSC:	European Transport Safety Council
EU:	Europese Unie
FWD:	Fixed Wing Drone
GAS:	Gemeentelijke Administratieve Sanctie
GBA:	Gegevensbeschermingsautoriteit
GEB:	Gegevensbeschermingseffectbeoordeling (DPIA)
GPS:	Global Positioning System
GSD:	Ground Sampling Distance
HCM:	Highway Capacity Manual
IOU:	Intersection over Union
KB:	Koninklijk Besluit
LIDAR:	Light Detection and Ranging
LRH:	Limburg Regio Hoofdstad
MAE:	Mean Average Error
MAPE:	Mean Average Precision Error
MB:	Ministerieel besluit
MCA:	Multicriteria-analyse
MOE:	Measures of Effectiveness

MOTA: Multiobject-Tracking Accuracy
MRD: Multi Rotor Drone
OBD: On-Board Diagnostics
OCR: Optical Character Recognition
OD: Origin-Destination (Herkomst-Bestemming)
OS: Ochtendspits
OVG: Onderzoek Verplaatsingsgedrag Vlaanderen
PAE: Personenauto-equivalent
PET: Post-encroachment-time
PHF: Peak Hour Factor
R-CNN: Region Based Convolutional Neural Network
R2S: Route2School
RMSE: Root-Mean-Square Error
ROC: Risk of collision
ROI: Region of interest
RPA: Remotely Piloted Aircraft
RPAS: Remotely Piloted Aircraft System
SI: Severity Index
SJB: Sint-Jan Berchmansinstituut (in Zonhoven)
SORA: Specific Operations Risk Assessment
STS: Standaardscenario
SVS: Stichting Vlaamse Schoolsport
TA: Time-to-Accident
TCT: Traffic conflict technique
TET: Time Exposed Time-to-collision
TIT: Time Integrated Time-to-collision
TTC: Time-to-collision
TTC*: Kritische Time-to-collision
TTC_{min}: Minimale Time-to-collision
UA: Unmanned Aircraft (Onbemand luchtvaartuig)
UAS: Unmanned Aircraftsystem (Onbemand luchtvaartuigsysteem)
UAV: Unmanned Aerial Vehicle
VLOS: Visual Line of Sight
VOF: Verkeersongevallenformulier
VSV: Vlaamse Stichting Verkeerskunde
VTOL: Vertical Take Off and Landing
YOLO: You Only Look Once

1 Probleemstelling & relevantie

Schoolomgevingen vormen een interessante casestudy op het vlak van verkeersstromen en verkeersveiligheid. Het is een omgeving waar op specifieke tijdstippen (voor en na de schooluren) een groot aantal verplaatsingen plaatsvinden, hoofdzakelijk van (jonge) kinderen. Doorgaans zorgt dit voor een chaotische verkeerssituatie. Uit een analyse van Schoeters (2018) blijkt dat kinderen vaak betrokken zijn bij verkeersongevallen. In totaal waren er 3602 slachtoffers in 2017 met een leeftijd tussen 0 en 14 jaar in België. Een verdere analyse naar verplaatsingswijze toont aan dat bijna de helft van deze slachtoffers fietsers (24%) of voetgangers (22%) zijn. Ook de verdeling van de verkeersslachtoffers naargelang het tijdstip toont aan dat deze ongevallen voornamelijk gebeuren tijdens de schoolspits, met de grootste piek tussen 16u en 17u. Recentere Belgische cijfers uit 2019 laten zien dat er een blijvende problematiek is rond verkeersveiligheid bij kinderen (Pelssers & De Vos, 2020). In 2019 vielen er 5615 gewonden onder de 17 jaar, ook waren er 22 dodelijke ongevallen te betreuren. Wanneer er wordt gekeken naar de locatie van de ongevallen met kinderen tussen 3 een 11 jaar op het woon-schooltraject, kan er geconcludeerd worden dat 78% van de ongevallen op minder dan 300 meter van de school gebeuren (Roynard, Schoeters, & Wénin, 2015). Om deze precaire situatie rond schoolomgevingen veilig en vlot te laten verlopen, is verder onderzoek naar deze gebieden noodzakelijk.

Er zijn verscheidene onderzoekstechnieken om de verkeersveiligheid in kaart te brengen. Eén van de mogelijkheden om onderzoek naar de verkeersveiligheid in schoolomgevingen uit te voeren, is het gebruik van dronetechnologie. In de masterstudio werd er op basis van de praktische, juridische en commerciële haalbaarheid een verkennend onderzoek uitgevoerd naar deze relatief nieuwe onderzoeksmethode. In de masterstudio werd ook de aanzet gegeven tot een pilotstudie. Deze pilotstudie zal samen met de analyse van de data een beter inzicht geven over de haalbaarheid van drones in verkeersonderzoek rond schoolomgevingen.

Deze masterproef is een verderzetting van de masterstudio en gaat de haalbaarheid van dronetechnologie in verkeersonderzoek van schoolomgevingen na. In het onderzoek wordt getracht een antwoord te bieden op drie onderzoeksvragen. Allereerst wordt gekeken naar de parameters die noodzakelijk zijn voor een accurate verkeersveiligheidsanalyse. Daarnaast wordt er eveneens onderzocht wat de meerwaarde is van drone-onderzoek ten opzichte van andere, reeds bestaande, onderzoeksmethodes. Tot slot wordt ook nagegaan of het mogelijk is om aan de hand van drone-onderzoek maatregelen en quick wins uit te werken voor schoolomgevingen

2 Onderzoeksvragen

Deze masterproef over drones voor veiligere schoolomgevingen heeft een semi-gezamenlijke structuur. Om een zo groot mogelijke meerwaarde te creëren is geopteerd om de individuele masterproeven van drie studenten uit te werken binnen een overkoepelende hoofdonderzoeksvraag:

"Wat is de haalbaarheid van het toepassen van dronetechnologie in verkeersonderzoek van schoolomgevingen?"

Binnen deze overkoepelende onderzoeksvraag werkt elke student aan onderzoeksvragen rond een specifiek aspect van het toepassen van drones op verkeersveiligheidsanalyses rond schoolomgevingen. Hieronder volgen de specifieke onderzoeksvragen:

Deelonderzoek 1: *(Anton Renard)*

- *"Welke parameters zijn er beschikbaar in de huidige analyse software? Zijn deze parameters bruikbaar voor de analyse van verkeerssituaties in schoolomgevingen?"*
    - Welke parameters kunnen worden gebruikt in de analyse?
    - Zijn deze parameters voldoende voor een verkeersveiligheidsanalyse? Moeten er extra parameters worden toegevoegd?
    - Wat zijn de beperkingen van de beschikbare parameters?

Deelonderzoek 2: *(Jannes Bottu)*

- *"Wat zijn de voor- en nadelen van het toepassen van dronetechnologie in verkeersonderzoek rond schoolomgevingen?"*
    - Hoe verhouden deze voor- en nadelen zich t.o.v. andere vormen van verkeerskundig onderzoek? (Cfr. Video-observatie, tellingen, manuele observaties, etc.)
    - Zijn er verschillen in praktische, commerciële en juridische haalbaarheid tussen observaties met drones en andere onderzoekstechnieken?
    - Biedt dronetechnologie een voldoende grote haalbaarheid t.o.v. van andere soorten observaties om in de toekomst verder ingezet te worden?

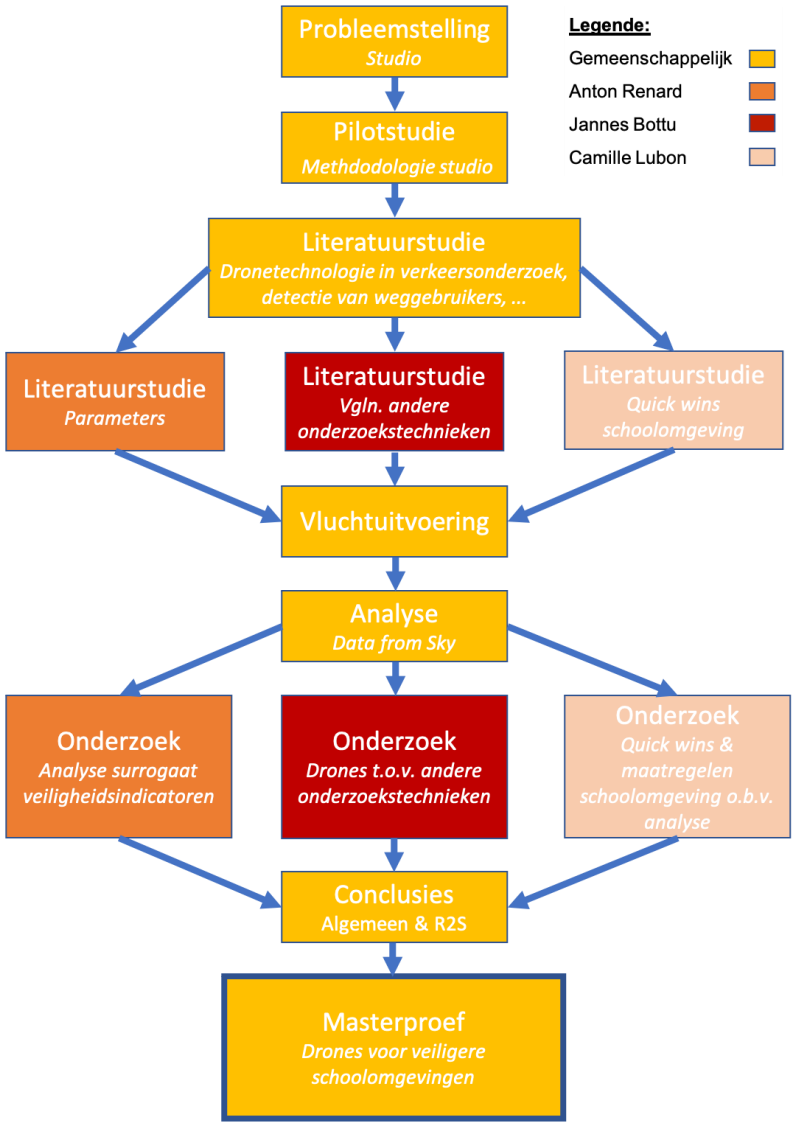
Deelonderzoek 3: *(Camille Lubon)*

- *"Op welke manier kunnen er op basis van drone-onderzoek maatregelen genomen worden die leiden tot verbeteringen van de verkeersveiligheid in schoolomgevingen? Een pilotstudie naar een basisschool in Zonhoven."*
    - Welke quick wins zijn er voor de schoolomgeving in de pilotstudie?
    - Welke maatregelen dragen bij tot een verbetering van de verkeersveiligheid in de pilotstudie?
    - Welke stakeholders zijn verantwoordelijk voor het uitvoeren van de maatregelen?

3 Methodologie

In dit hoofdstuk wordt de methodologie met betrekking tot het onderzoek in de masterproef beschreven. Er wordt gestart met de methodologie van de pilotstudie. Deze methodologie komt voort uit de masterstudio en wordt hieronder verder uitgewerkt. Het is een samenvatting van de belangrijkste elementen. Vervolgens wordt dieper ingegaan op de analyse van de videobeelden. Tot slot wordt het hoofdstuk afgesloten met de methodologie van de individuele deelonderzoeken.

Een overzicht van de structuur en het proces van de masterproef is te zien op Figuur 1.



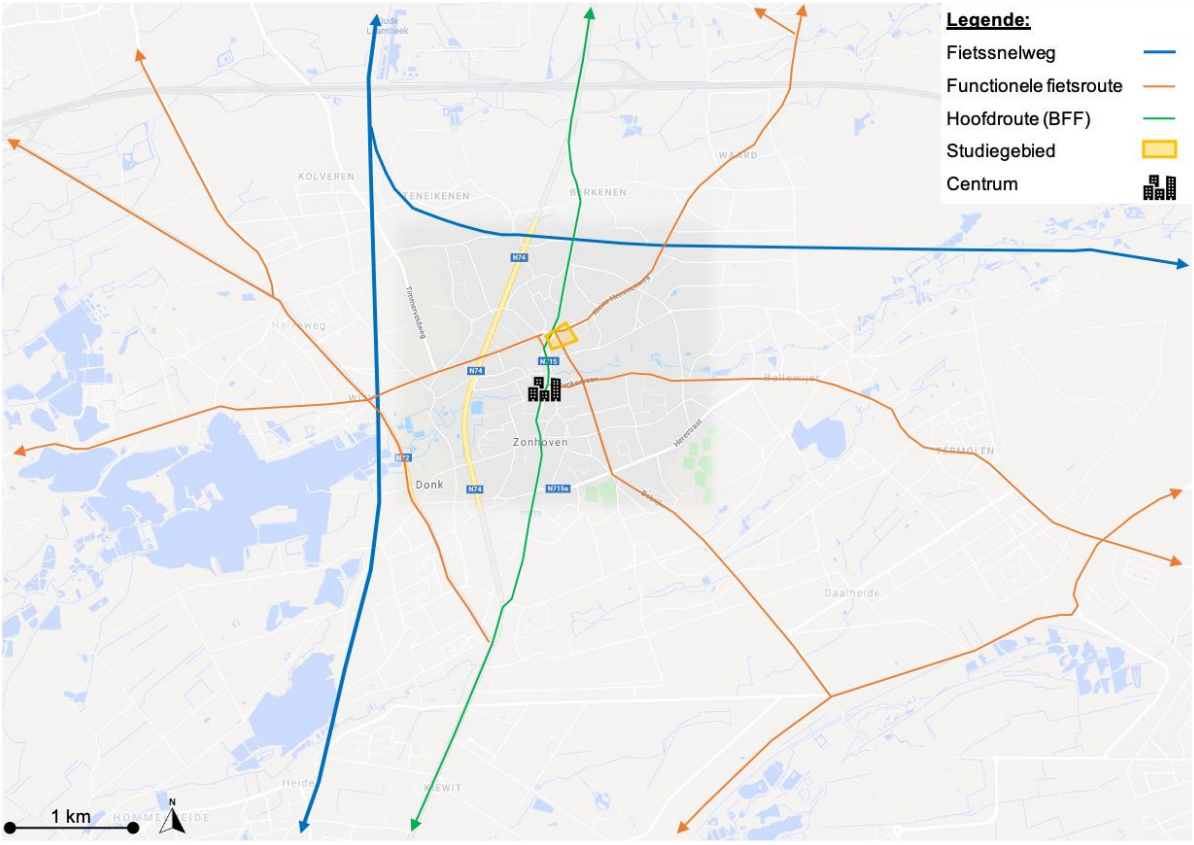
Figuur 1: Verloop masterproef (Eigen werk, 2021)

3.1 Pilotstudie

In de masterstudio is de haalbaarheid van drones in verkeersonderzoek onderzocht en werd deze opgedeeld in 3 categorieën: de praktische, de juridische en de commerciële haalbaarheid. Om de theorie af te kunnen toetsen ten opzichte van de praktijk is een pilotstudie opgezet. In de pilotstudie zal de nabije omgeving van basisschool De Zonnewijzer in Zonhoven worden onderzocht aan de hand van twee dronevluchten.

3.1.1 Situering

Basisschool De Zonnewijzer is gelegen in het centrum van de gemeente Zonhoven, te zien op Figuur 2. Zonhoven situeert zich in het midden van de provincie Limburg, net ten noorden van Hasselt. De basisschool telt 520 leerlingen, verdeeld over twee campussen (Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming, 2020). De eerste twee leerjaren (156 leerlingen) krijgen les op de campus langs de Dorpsstraat. De campus voor de tweede en derde graad (364 leerlingen) ligt 100 meter verderop, langs de Kleine Hemmenweg. Zoals te zien op Figuur 2 is de basisschool gelegen in het centrum van Zonhoven, op een belangrijk kruispunt van verschillende functionele routes en hoofdroutes van het Bovenlokaal Functioneel Fietsroutenetwerk (BFF). Dit BFF is belangrijk om o.a. woon-schoolverplaatsingen met de fiets te faciliteren.



Figuur 2: Mesosituering studiegebied Zonhoven (Google maps, eigen werk, 2020; Geopunt, 2020)

Om een beter beeld te krijgen op het studiegebied is ook een fotoreportage samengesteld van het projectgebied. Hierop zijn de belangrijkste delen aangeduid. De fotoreportage is zichtbaar op Figuur 3.

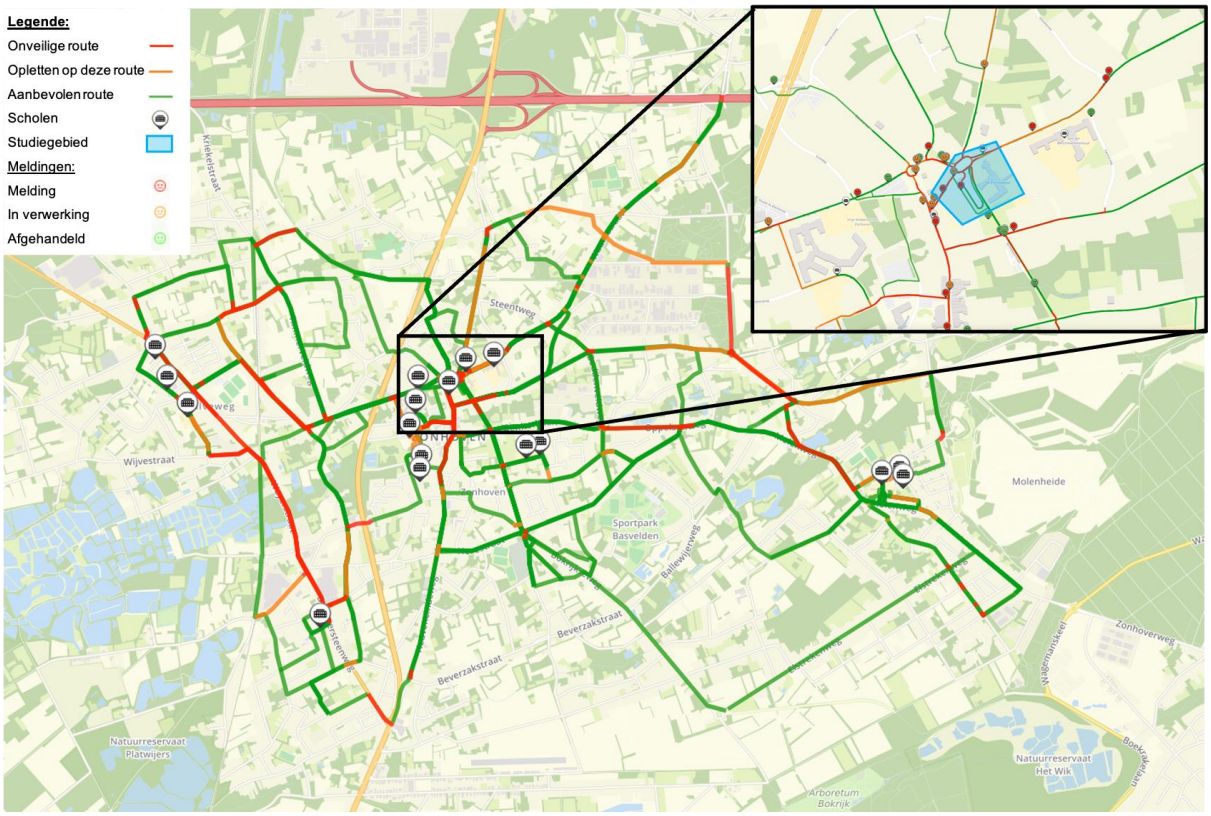


Figuur 3: Fotoreportage studiegebied (Eigen werk, 2020)

3.1.2 Probleemstelling pilotstudie

Verkeersveiligheid kan opgesplitst worden in twee elementen: de subjectieve en de objectieve verkeersveiligheid. Bij de subjectieve veiligheid gaat het voornamelijk om het eigen gevoel van veiligheid. De objectieve veiligheid heeft meer betrekking op de feitelijke verkeersveiligheid, veelal kan dit gestaafd worden met cijfers (bv. ongevallenstatistieken). Hoewel de objectieve en subjectieve veiligheid beide gaan over verkeersveiligheid, zijn de manieren van dataverzameling verschillend.

Gelet op de subjectieve verkeersveiligheid kan gesteld worden dat Route2School (R2S) een belangrijke bron van data is. In Zonhoven is recent een vervolgproject van R2S opgestart (Route2School, 2020). Met dit project wordt getracht de subjectieve verkeersveiligheid op schoolroutes te onderzoeken. Dit wordt gedaan aan de hand van een online platform waarop ouders en leerlingen melding kunnen maken van de gebruikte schoolroute en van gevaarlijke situaties op deze schoolroute. Wat opvalt is de concentratie van meldingen in de nabijheid van de school. In het projectgebied, ter hoogte van basisschool De Zonnewijzer komen enkele gevaarlijke situaties en punten voor. Zo blijkt dat de oversteek aan de Kleine Hemmenweg niet op een veilige manier kan gebeuren. Dit werd bevestigd door een recente reportage van TV Limburg (Ombelets, 2020). Ter hoogte van de zijingang van de school blijkt dat het fietspad, gelegen tussen de parking en de school, zorgt voor mogelijke conflicten tussen fietsers en voetgangers. Het fietspad wordt vaak bezet door foutparkeerders met als gevolg dat kwetsbare weggebruikers naar de rijbaan moeten uitwijken. Ook wordt melding gemaakt door voetgangers dat zij het fietspad moeten gebruiken door het ontbreken van een voetpad. Dit zorgt voor gevaarlijke situaties. Daarenboven blijkt ook de ovonde een gevaarlijke locatie voor kwetsbare weggebruikers. Autobestuurders zouden hier onvoldoende aandacht hebben voor fietsers en voetgangers. In 2016 heeft de gemeente Zonhoven reeds gevraagd aan het Agentschap Wegen en Verkeer om hier een oplossing voor te zoeken (BVDH, 2016). Op basis van lokale ongevallencijfers werd toen besloten dat deze situatie niet problematisch genoeg was en er dus ook geen wijzigingen noodzakelijk waren. Een overzicht van de R2S-kaart is weergegeven op Figuur 4.



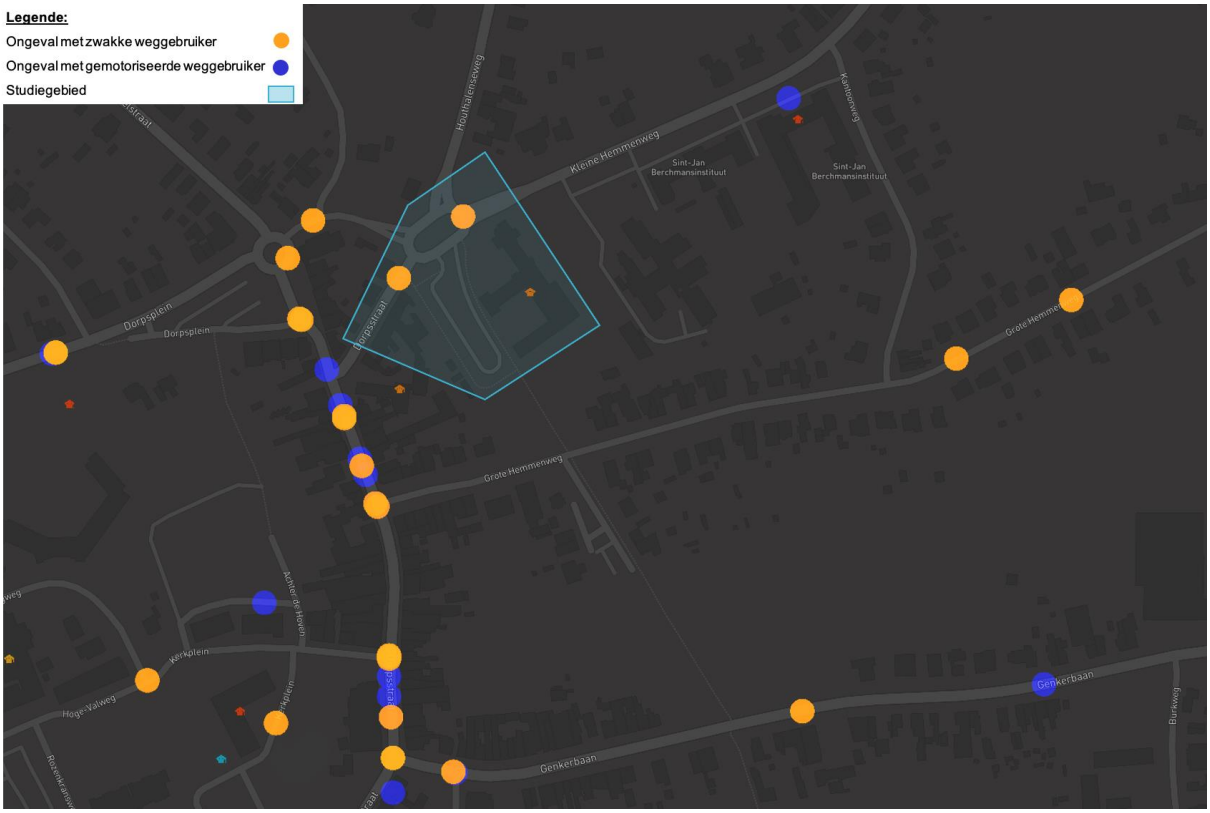
Figuur 4: Route2School Zonhoven (Route2School, eigen werk, 2020)

In vergelijking met de subjectieve veiligheid is het vinden van data met betrekking tot de objectieve veiligheid vaak complexer. Doorgaans worden de ongevallenstatistieken hiervoor gebruikt. Deze cijfers geven echter slechts een beperkt beeld van de objectieve verkeersveiligheid. De bijna-ongevallen worden hierin niet meegeteld, maar zijn net zo belangrijk voor verkeersonderzoek. Bijna-ongevallen worden verder ook niet gerapporteerd, waardoor hierover weinig tot geen cijfers beschikbaar zijn.

Figuur 5 geeft een overzicht weer van de locaties van ongevallen in en rond het projectgebied, tussen 2014 en 2020 (InnoConnect, 2020). Uit het PoliVisu-project blijkt dat er in de periode van 2014 tot 2020 twee ongevallen zijn gebeurd in het projectgebied. Beide ongevallen situeren zich op of naast de ovonde. Bij beide ongevallen gaat het om een conflict tussen een autobestuurder en een fietser. Naast de locaties en het type ongeval kunnen ongevallen ook worden onderverdeeld naar tijdstip. Opvallend zijn de twee pieken tussen 11u00 en 12u00 en tussen 16u00 en 17u00. Deze laatste piek kan mogelijk te maken hebben met het einde van de schooldag.

Bij de interpretatie van de gegevens moet steeds rekening gehouden worden met het feit dat de ongevallencijfers zijn gebaseerd op de VOF (Verkeersongevallenformulier). Dit formulier wordt alleen ingevuld bij een tussenkomst van de politie. Dit leidt vaak tot een onderrapportage van de ongevallen, waardoor veel (lichte) ongevallen in en rond het projectgebied niet worden aangegeven.

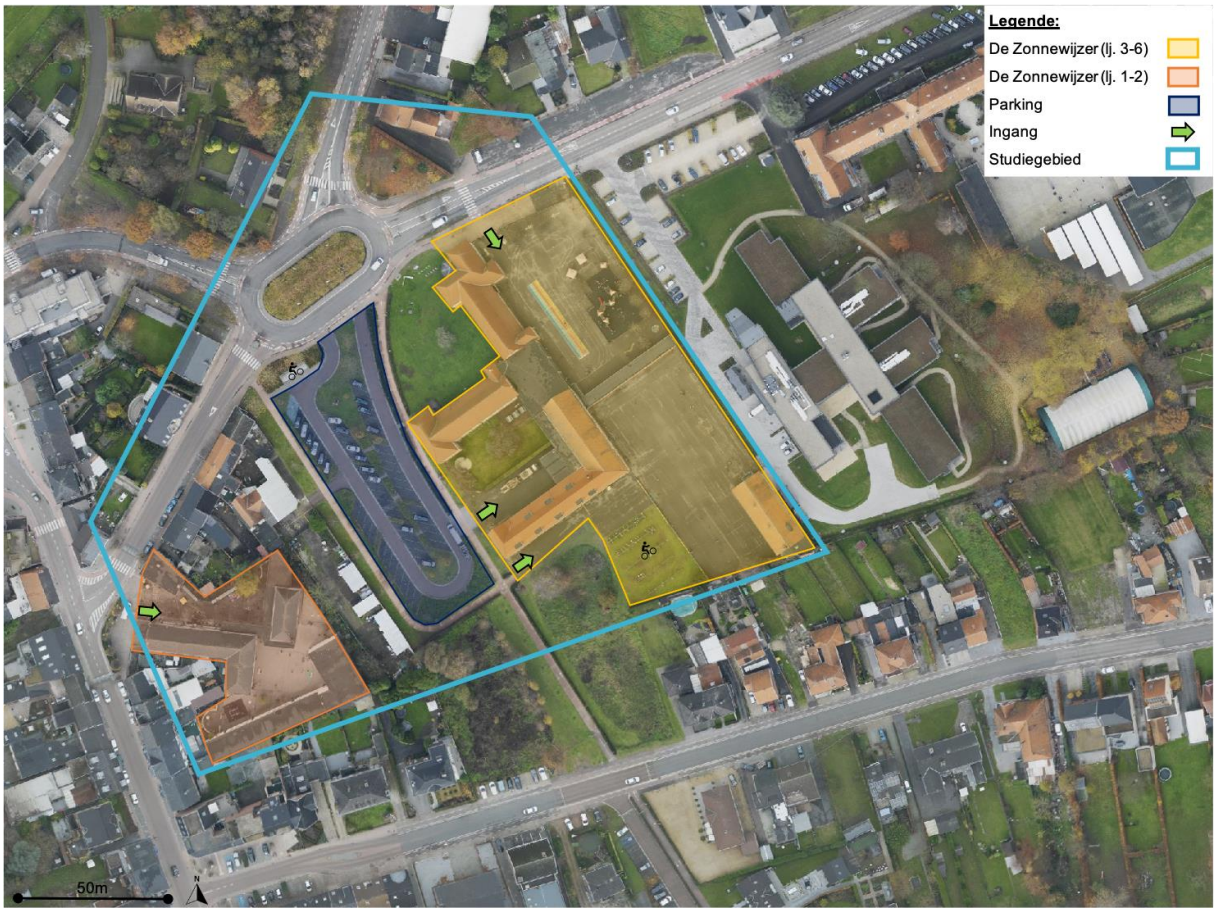
Op basis van de subjectieve en objectieve verkeersveiligheidsdata kan geconcludeerd worden dat er in en rond het studiegebied van basisschool De Zonnewijzer frequent gevaarlijke situaties plaatsvinden. Om hier een beter beeld van te krijgen, is verder onderzoek noodzakelijk. In deze masterproef zal aan de hand van een dronetechnologie een onderzoek worden uitgevoerd naar deze problematiek.



Figuur 5: Kaart ongevallen (Saferoads.Vlaanderen, 2020)

3.1.3 Set-up pilotstudie

De verkeerssituatie van basisschool De Zonnewijzer in Zonhoven zal aan de hand van een dronevlucht de in kaart worden gebracht. Deze dronevlucht vindt plaats in de nabije schoolomgeving van basisschool De Zonnewijzer. De situering van het studiegebied is weergegeven op Figuur 6. Hierbij ligt focus voornamelijk op de campus voor de 2de en 3de graad van de basisschool.



Figuur 6: Microsituering studiegebied De Zonnewijzer (AGIV, eigen werk, 2020)

3.1.3.1 Timing

De dronevluchten vinden plaats op dinsdag 23/02/2021. Daarbij wordt er op twee tijdstippen een dronevlucht uitgevoerd, tijdens de ochtendspits en de avondspits. De verkeersstromen tijdens de ochtendspits bouwen langzaam op om en bereiken rond de start van de scholen hun hoogtepunt. Om deze stroom te visualiseren en data te verzamelen wordt de video-opname 40 minuten voor de start van de school gestart. De afwikkeling van deze stroom wordt ook in beeld gebracht, hierdoor wordt er ook nog tot 20 minuten na de start gefilmd. Tijdens de avondspits is de situatie omgekeerd, hier wordt er 25 minuten voor het einde van de school gestart met filmen. Tijdens de avondspits is de afwikkeling na de schooltijd belangrijk. Om dit voldoende in beeld te brengen wordt er tot 35 minuten na het einde gefilmd.

Schooluren:

- Voormiddag: 08u30 – 12u05
- Namiddag: 13u30 – 15u15

Uren van beeldverzameling:

- Ochtendspits: 7u50 – 8u50
- Avondspits: 14u50 – 15u50

Om representatieve data te bekomen, wordt de dronevlucht idealiter op dinsdag of donderdag uitgevoerd. Deze dagen worden vaak aangeduid als een 'gemiddelde werkdag' met een representatieve verkeerssituatie.

3.1.3.2 Dronetype

De dronevluchten worden uitgevoerd met een bekabelde (tethered) drone. Het gaat hierbij om de quadcopter drone TYTHUS. Deze drone werd ontwikkeld door het Limburgse bedrijf DroneMatrix. DroneMatrix is een voorloper op het vlak van bekabelde drones. In 2017 was het bedrijf de eerste speler op de markt die een Europese homologatie verkreeg voor een bekabelde drone (DroneMatrix, 2017). Het speciale aan de drone is dat deze in staat is om volledig autonoom op te stijgen en te landen op basis van een computerbesturing. Vooraf worden de startpositie en luchtpositie bepaald. Tijdens de vlucht kan de drone deze positie zeer nauwkeurig innemen. Doordat er gewerkt wordt met een bekabelde drone is het onderzoek niet gebonden aan een maximale tijdsduur (de batterijduur). De drone wordt voortdurend voorzien van een elektrische stroom, hierdoor zijn in theorie opnames tot meer dan 12 uur mogelijk, een groot voordeel ten opzichte van drones met een voeding op batterijen. In dit onderzoek zal de opnameduur beperkt zijn tot twee keer één uur.

Om een hoge accuraatheid van de data te verzekeren, zal met een hoge cameraresolutie worden gewerkt. Aangezien de focus van de studie ligt op de 'kleinere' verkeersdeelnemers (voetgangers en fietsers) is dit cruciaal voor verdere analyse. Daarnaast is ook de camerahoek van belang. Het bedrijf GoodVision raadt aan om niet volledig top-down te filmen, maar vanuit een bepaalde hoek. Hierdoor is het mogelijk om de voetgangers en fietsers beter te detecteren. Tijdens de vlucht zal een Zenmuse X3 module van DJI gebruikt worden. Deze camera heeft een geïntegreerde gimbal en de mogelijkheid om tot een maximale resolutie van 4K te filmen (DJI, sd). Dit maakt dat deze camera geschikt voor dit onderzoek. De geïntegreerde gimbal zorgt ervoor dat de camera op een gewenst focuspunt kan gericht worden en dat een stabiele camerapositie kan behouden worden gedurende de volledige vlucht (Vandebergh, 2021).

3.1.3.3 Studiegebied

Tijdens de dronevluchten wordt gewerkt met een bekabelde quadcopter drone. Met deze drone is het mogelijk om verticaal op te stijgen en te landen (VTOL). In samenspraak met de gemeente Zonhoven, basisschool De Zonnewijzer en DroneMatrix is de startpositie van de dronevlucht bepaald (zie rode stip in Figuur 7). Bij de keuze van deze startpositie werd rekening gehouden met volgende criteria: beschikbaarheid ruimte op de begane grond, afwezigheid obstructies (bomen, gebouwen, etc.), anonimiteit (uit het zicht van de deelnemers, de aanwezigheid van een observatie instrument mag geen invloed uitoefenen op het vertoonde gedrag) en de mogelijkheid om de trailer van DroneMatrix te plaatsen.

De gekozen startpositie bevindt zich op de personeelsparking, tussen de twee vleugels van het schoolgebouw. De trailer waarop de drone zal opstijgen en landen zal dus op het grondgebied van de school geplaatst worden. Op Figuur 7 wordt de opstelling weergegeven. Het onderzoeksgebied wordt hierin aangeduid door het gele trapezium.



Figuur 7: Oppervlakte studiegebied/filmgebied Zonhoven en weergave startpositie en luchtpositie drone (Agentschap Geografische Informatie Vlaanderen, eigen werk, 2020)

Om veilig te kunnen werken op de locatie dient een ruime zone te worden afgebakend (Vanwelkenhuyzen & Vandebergh, 2020). Deze zone doet dienst als veiligheidsperimeter en zal niet toegankelijk zijn voor onbevoegden. Het voorzien van deze perimeter is essentieel om de drone, in geval van nood, veilig te kunnen laten landen (DroneMatrix, 2017).

In Tabel 1 wordt een overzicht weergegeven van de set-up van de dronevlucht. Hierin staan alle details van onder andere de dronepositie, camerapositie, opnameduur, etc.

Tabel 1: Overzicht set-up dronevlucht (Eigen werk, 2020)

Dag	Dinsdag 23/02/2021
Uur	OS: 7u50-8u50; AS: 14u50-15u50
Camerapositie	Gedeeltelijk zijaanzicht
Vlieghoogte	70 meter
Opnametijd	2 x 60 minuten (OS & AS)
Vliegeigenschappen	Zwevende, stabiele positie
Positionering	GPS-locatie tracker
Vergunning	Klasse 1A (DroneMatrix)
Startlocatie	Personeelsparking De Zonnewijzer 50°59'39,07"NB – 5°22'11,07"OL

3.1.3.4 Formaliteiten en vergunningen

Tot 31/12/2020 zat de regelgeving rond het gebruik van drones vervat in het KB van 10 april 2016 met betrekking tot het gebruik van op afstand bestuurde luchtvaartuigen in het Belgisch luchtruim. Sinds 01/01/2021 valt het vliegen met drones onder Europese regelgeving (Uitvoeringsverord.Comm. nr. 2019/947). Deze nieuwe Europese regelgeving zorgt ervoor dat de huidige Belgische wetgeving, het KB van 10 april 2016, vervalt. Voor de dronevlucht werden alle nodige vergunningen en toestemmingen verkregen en er werd voldaan aan de meldingsplicht.

Vergunning klasse 1A

Indien de vluchten zouden plaatsvinden voor het in werking treden van de nieuwe Europese wetgeving, zou er met een vergunning klasse 1A gevlogen kunnen worden. Een vergunning klasse 1A biedt de mogelijkheid om boven een groep mensen en obstakels te vliegen (FOD Mobiliteit, 2021). DroneMatrix beschikt over een vergunning klasse 1A waarmee de vlucht in het studiegebied, boven mensen en obstakels, uitgevoerd kan worden. Door een overgangsperiode is deze vergunning nog geldig tot 31/12/2021 (FOD Mobiliteit, 2021). In samenspraak met DroneMatrix is beslist om de vlucht uit te voeren met de huidige vergunning klasse 1A. Dit is een tijds- en kostenbesparend alternatief voor de vergunning die bij het DGLV aangevraagd zou moeten worden. Het is met de vergunning klasse 1A immers niet nodig om een toestemming van DGLV te krijgen of een melding van de vlucht te doen bij DGLV.

Toestemming geografische UAS-zone

In België werden er geografische UAS-zones vastgelegd met het Ministerieel besluit tot vaststelling van vaste geografische UAS-zones en toegangsvoorwaarden voor vaste geografische UAS-zones van 21 december 2020. Dit besluit bepaalt zones waar men met een drone al dan niet mag vliegen en zones waar vluchten

aan specifieke voorwaarden zijn onderworpen (bepaalde apparatuur, categorieën voor vluchtuitvoeringen, vluchtmelding en/of vliegtoelating, etc.). Deze zones zijn ter bescherming van verschillende gevoelige sites zoals luchthavens, nucleaire sites en militaire sites gecreëerd.

Het studiegebied in Zonhoven ligt in een geografische UAS-zone, namelijk "EBZH - HASSELT - Kiewit (UGZ) (EBZH)". Deze zone valt in de categorie civiele ongecontroleerde luchthaven (luchthaven Kiewit). Aan deze zone zijn voorwaarden gekoppeld voor een vlieghoogte tussen 0 ft AMSL (0 meter) en 4500 ft AMSL (1371,6 meter) (Droneguide, 2021). Voor de vlucht werd toestemming verkregen van de manager van de geografische UAS-zone.

Toestemming lokale overheid

In de politiezone Limburg Regio Hoofdstad (LRH) is er een algemeen politiereglement van toepassing (Politie Limburg Regio Hoofdstad, 2021). Het zogenaamde GAS-reglement is sinds 1 januari 2021 van kracht in de 6 gemeentes van de politiezone: Diepenbeek, Halen, Hasselt, Herk-de-Stad, Lummen en Zonhoven. Dit reglement bepaalt dat de eigenaar of de piloot verplicht elke vlucht met een niet-recreatieve drone boven het grondgebied van de gemeente moet melden. De dronevluchten werden gemeld aan de politie LRH.

3.1.3.5 Privacy

Het gebruik van een drone in het onderzoek mag geen onrechtmatige inbreuk maken op het recht op privacy. Dit is mogelijk door ervoor te zorgen dat er geen verwerking van persoonsgegevens is. Dit kan door voldoende hoog te vliegen zodat de personen niet identificeerbaar zijn. De verkeersdeelnemers zijn niet herkenbaar op de video en het videomateriaal zal uitsluitend gebruikt worden voor dit onderzoek.

3.1.4 Analyse

De verwerking van de verkeersdata zal gebeuren met behulp van het platform DataFromSky. Het Tsjechische bedrijf RCE maakt hiervoor gebruik van artificiële intelligentie om verkeersdeelnemers te detecteren. De videobeelden worden gebruikt als bron voor de verwerking van netwerken. Daarbij worden objecten gedetecteerd en vervolgens de trajectoriën gegenereerd in het beeldmateriaal. Nadat deze beelden verwerkt zijn, zal de uiteindelijke veiligheidsanalyse worden uitgevoerd aan de hand van de software DataFromSky Viewer. Deze software biedt verschillende parameters aan die zullen worden gehanteerd in de analyse. De trajectoriën kunnen worden gebruikt om snelheid, versnelling, tellingen, time-to-collision, post-encroachment-time, heavy braking, etc. te onderzoeken. Er wordt in de software onderscheid gemaakt van verschillende transportmodi (DataFromSky, 2019).

3.1.5 Testvlucht

Om zeker te zijn dat alles in orde is voor de uiteindelijke dronevluchten is op woensdag 17/02/2021 tussen 16u00 en 17u00 een testvlucht uitgevoerd aan basisschool De Zonnewijzer. Hierbij is enerzijds gekeken in welke mate het vooropgestelde studiegebied in beeld kan gebracht worden. Aan de hand van camera-instellingen is het projectgebied degelijk in beeld gebracht. Eerste luchtfoto's van het studiegebied zijn te zien op Figuur 8. Anderzijds is er ook gekeken of de beelden als een adequate input gebruikt kunnen worden voor het programma DataFromSky. Aan de hand van een gratis sample (5 gratis minuten van eigen video) is nagegaan of de beelden voldoende bruikbaar zijn om geanalyseerd te worden met deze software. Ook dit bleek een gunstig resultaat te geven.



Figuur 8: Luchtfoto's studiegebied (Eigen werk, 2021)

3.2 Onderzoeksmethodologie deelonderzoeken

3.2.1 Onderzoek parameters

- Anton Renard -

Het gebruik van dronetechnologie kan een meerwaarde bieden om de verkeersveiligheid van schoolomgevingen te analyseren. De nieuwe technologie geeft een andere kijk op de huidige situatie. Om na te gaan op welke manier deze onderzoeksmethode kan bijdragen tot verkeersveiligere omgevingen wordt een analyse van de dronebeelden gemaakt. Deze analyse gebeurt op basis van de beschikbare parameters. Deze parameters worden duidelijk omschreven en afgetoetst. In de masterproef ligt de nadruk op de beschikbare parameters en hoe deze dienen te worden geïnterpreteerd.

Met behulp van DFS wordt een verkeersveiligheidsanalyse uitgevoerd op de casestudie van Zonhoven. De software biedt een verscheidenheid aan parameters (die als indicatoren kunnen worden beschouwd) waarvan de bruikbaarheid wordt nagegaan. Bovendien wordt eveneens nagegaan of het mogelijk is meerdere parameters te combineren in de analyse voor een grondigere analyse. Zo worden onder meer volgende parameters onderzocht: 'Time-To-Collision', 'Post-Encroachment-Time', 'Heavy Braking', snelheid en trajectoriën.

Om verkeersveiligheid te kunnen onderzoeken, is het noodzakelijk indicatoren vast te leggen die een indicatie geven van deze veiligheid. Deze indicatoren dienen als hulpmiddel om de verkeersveiligheidsanalyse te kunnen uitvoeren. Daarbij dienen er waardes te worden vastgelegd, die niet overschreden mogen worden om te kunnen spreken van een verkeersveilige omgeving. Op basis van een literatuurstudie wordt achterhaald welke grenswaarden moeten worden aangehouden voor het vrijwaren van de verkeersveiligheid. Daarbij wordt hoofdzakelijk gefocust op de situaties waarin bepaalde grenswaarden worden overschreden. Door grenswaarden vast te leggen wordt het mogelijk om de data die beschikbaar is na de dronevlucht te interpreteren en de problematiek beter te begrijpen. Hierdoor kan er aan de hand van een empirische analyse van de data, met vooropgestelde grenswaarden de situatie in kaart gebracht worden.

3.2.2 Onderzoek haalbaarheid drones t.o.v. andere onderzoekstechnieken

- Jannes Bottu -

Voorgaande set-up van de pilotstudie focust specifiek op de uitvoering en analyse van de dronevluchten. Echter zijn deze dronevluchten met bijhorende analyse van de beelden slechts een deel van deze masterproef. Om een antwoord te vinden op de onderzoeksvraag met betrekking tot de voor- en nadelen van deze methode is

verder onderzoek vereist. Met dit verdere onderzoek wordt getracht de toepassing van drones af te toetsen ten opzichte van andere onderzoeksmethodieken.

Om een overzichtelijk en gedetailleerd onderzoek uit te voeren wordt geopteerd om telkens per parameter te werken. Een verkennende literatuurstudie moet uitwijzen welke verkeersparameters belangrijk zijn in verkeersanalyses rond schoolomgevingen. Er wordt verder ook gekeken naar de mogelijke onderzoekstechnieken die beschikbaar zijn om de belangrijke verkeersparameters te extraheren. Doorheen het onderzoek zullen bijgevolg steeds verschillende courante onderzoeksmethodes worden afgewogen ten opzichte van elkaar. Hierbij wordt niet enkel gekeken naar de mogelijkheid om al dan niet data met betrekking tot de parameter te verzamelen, ook de accuraatheid, de toepasbaarheid naargelang het studiegebied, de kostprijs en andere elementen worden onderzocht.

Een van de parameters die zeker wordt opgenomen in het onderzoek is de modal split van de woon-schoolverplaatsingen. De modal split geeft de verdeling weer van de leerlingen tussen de verschillende vervoersmodi die gebruikt worden voor de woon-schoolverplaatsing. Om tot cijfers te komen met betrekking tot de modal split zijn tellingen nodig. Deze tellingen kunnen op verschillende manieren uitgevoerd worden. Normaliter wordt dit manueel uitgevoerd aan de hand van manuele tellingen of bevragingen. Het doel van het opnemen van de modal split in dit onderzoek is het trachten vinden van een manier om dit op een autonome manier te laten gebeuren aan de hand van dronebeelden.

Naast de parameters wordt ook gekeken naar de verschillen in praktische, commerciële en juridische haalbaarheid van de besproken onderzoeksmethodieken. Dit is belangrijk om een dieper inzicht te krijgen in de haalbaarheid van een bepaalde onderzoekstechniek.

De inzichten uit het voorgaande proces worden in een laatste stap samengebracht in een concluderende multicriteria-analyse (MCA). In deze MCA wordt elke behandelde onderzoekstechniek gequoteerd volgens o.a.: de verkeersparameters, de accuraatheid, de praktische haalbaarheid, de juridische haalbaarheid, de commerciële haalbaarheid, etc. Met behulp van de resultaten van deze MCA kunnen aanbevelingen worden gedaan betreffende de haalbaarheid van drone-onderzoek ten opzichte van andere onderzoekstechnieken. Deze MCA biedt vervolgens ook de input om een concluderende business case uit te werken. Hierbij wordt een drone-onderzoek (de pilotstudie) op het vlak van kosten en baten afgewogen ten opzichte van een gelijkaardig onderzoek (dezelfde verkeersparameters) met andere onderzoekstechnieken.

3.2.3 Onderzoek quick wins & maatregelen

- Camille Lubon -

Het derde deelonderzoek focust zich op maatregelen die kunnen bijdragen tot een veiligere schoolomgeving. In dit deel wordt er onderzocht of er aan de hand van een drone-onderzoek problemen rond verkeersveiligheid in kaart kunnen worden gebracht. Concrete maatregelen om de verkeersveiligheid te verbeteren en praktische oplossingen voor verkeersveiligheidsproblemen zijn voor de stakeholders immers zeer belangrijke redenen zijn om te investeren in een drone-onderzoek.

De literatuurstudie beschrijft voorgaande drone-onderzoeken waarbij maatregelen werden geïmplementeerd voor problemen die uit de analyse van de dronebeelden kwamen. Anderzijds onderzoekt de literatuurstudie de meest voorkomende problemen met betrekking tot verkeersveiligheid in schoolomgevingen en de bijhorende maatregelen voor deze problemen.

Op basis van de analyses van de dronebeelden kunnen verschillende problemen met betrekking tot verkeersveiligheid in kaart gebracht worden. Voor ieder probleem worden algemene maatregelen gezocht. Deze maatregelen worden vervolgens toegepast op het studiegebied om concrete oplossingen te bieden voor de problemen. Er zijn vier categorieën van maatregelen; infrastructuurmaatregelen, educatiemogelijkheden, handhavingsinitiatieven en maatregelen die betrekking hebben op organisatie en overleg. Voor iedere maatregel wordt er een actieplan opgesteld. Dit actieplan omvat onder meer de categorie van de maatregel, een schatting van de kostprijs, een termijn waarbinnen de maatregel gerealiseerd kan worden en welke partijen verantwoordelijk zijn voor het realiseren van de maatregel. Maatregelen die met een kleine kost en op een korte termijn gerealiseerd kunnen worden en bovendien een positief effect hebben op de verkeersveiligheid in de schoolomgeving kunnen dan bestempeld worden als quick win.

Ook de rol van de verschillende stakeholders wordt besproken. De stakeholders binnen dit onderzoek zijn het schoolbestuur, de leerkrachten, de leerlingen, de ouders van de leerlingen, het gemeentebestuur, de politie en het Agentschap Wegen en Verkeer als wegbeheerder. Om al de stakeholders te kunnen overtuigen van de positieve effecten van een drone-onderzoek zullen zij vooral praktische conclusies willen met concrete maatregelen eerder dan theoretische resultaten. Voor iedere stakeholder is het belangrijk om te weten hoe hij kan bijdragen aan een veiligere schoolomgeving. Voor het schoolbestuur zal dit voornamelijk zijn door maatregelen te nemen die betrekking hebben op organisatie en overleg. Voor de leerkrachten, de leerlingen en de ouders van de leerlingen zal dit zijn door de educatiemogelijkheden die voortvloeien uit het droneonderzoek. Het gemeentebestuur en AWV zullen voornamelijk kunnen bijdragen door het

realiseren van infrastructurele maatregelen. De politie tot slot zal kunnen bijdragen aan een veiligere schoolomgeving door handhavingsinitiatieven te nemen voor de problemen die het drone-onderzoek blootlegt.

4 Literatuurstudie

In dit hoofdstuk wordt de literatuurstudie uitgewerkt. Allereerst volgt een algemene literatuurstudie, die focust op het gebruik van drones binnen de mobiliteitswetenschappen. Daarbij wordt dieper ingegaan op de huidige toepassingen van dronetechnologie en de dataverwerking. Vervolgens volgt de literatuurstudie met betrekking tot de deelonderzoeken. De literatuurstudie van het eerste deelonderzoek legt de focus voornamelijk op de parameters die gedetecteerd kunnen worden aan de hand van een drone-onderzoek. In de literatuurstudie van het tweede deelonderzoek wordt er onderzocht welke onderzoekstechnieken er beschikbaar zijn om de belangrijkste parameters voor onderzoek in schoolomgevingen te verzamelen. De quick wins en maatregelen die uitgevoerd kunnen worden op basis van de resultaten uit de pilotstudie vormen het onderwerp van het laatste deelonderzoek.

4.1 Gebruik drones in verkeersonderzoek

Drones worden meestal beschreven als "onbemande luchtvaartuigen die op afstand worden bestuurd". Dit betekent dat er geen piloot aan boord van het toestel is, maar niet dat de toestellen sowieso volledig onbemand vliegen. Het luchtvaartuig kan vanop afstand bestuurd worden door een piloot, door een computer of door middel van een flightplan. In de professionele sfeer kent men deze toestellen voornamelijk onder de begrippen Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS), Unnmanned Aerial Vehicle (UAV), Unmanned Aircraft System (UAS) en Remotely Piloted Aircraft (RPA). In deze masterproef wordt gebruik gemaakt van de termen 'drone' en 'onbemande luchtvaartuigen', aangezien deze het meest gangbaar zijn (De Roo, De Pauw, & Hardyns, 2017; FOD Mobiliteit, 2020). Daarbij gaat het steeds om het type MRD (Multi Rotor Drone) met vier rotoren. Bij afwijkingen van deze term, zal dit worden vermeld.

Het eerste gebruik van onbemande luchtvaartuigen dateert al van 1849 (Prisacariu, 2017). Onbemande luchtvaartuigen werden in die tijd ingezet in het kader van militaire toepassingen. In België zijn de eerste drones ontwikkeld in de jaren 70, voornamelijk voor het Belgische leger (Culus, Schellekens, & Smeets, 2018). Pas sinds 2010 zijn de eerste commerciële toepassingen van drones ontwikkeld. Door de huidige technologieën zijn deze toepassingen zeer breed. Zo worden momenteel al drones ingezet voor onder andere: opmaak van 3D-modellen, fotogrammetrie, inspecties van gebouwen, infrastructuurwerken, media, landbouw, beveiliging, logistiek en verkeer. Deze laatste toepassing is de focus van deze masterproef. Er wordt onderzocht wat de haalbaarheid is van het toepassen van dronetechnologie op verkeersveiligheidsanalyses.

Outay, Mengash en Adnan (2020) hebben onderzoek gedaan naar de mogelijke toepassingen van drones binnen het domein van de mobiliteitswetenschappen. Zij stellen dat er drie grote groepen van toepassingen zijn:

- Verkeersveiligheid;
- Verkeersmonitoring en verkeersmanagement;
- Infrastructuurmanagement.

Een vierde groep van toepassingen die hieraan toegevoegd kan worden in deze literatuurstudie, gebaseerd op eigen inzichten, is handhaving.

Toepassingen binnen de bovengenoemde opdeling, met uitzondering van infrastructuurmanagement, zijn allemaal toepassingen waarbij er gegevens worden verzameld met betrekking tot het verkeersgedrag en rijgedrag door middel van een camera, gemonteerd op een drone.

4.1.1 Verkeersveiligheid

Verkeersveiligheid vormt de eerste groep van toepassingen. Binnen deze groep kan een verdere onderverdeling gemaakt worden tussen twee toepassingen: ongevallenonderzoek en risicobeoordeling (Outay, Mengash, & Adnan, 2020).

Jaarlijks gebeuren er nog steeds veel ongevallen. Om doeltreffende maatregelen te treffen om deze ongevallen te voorkomen en in het kader van aansprakelijkheidskwesties worden zware ongevallen gereconstrueerd om de oorzaak ervan vast te stellen. Dit is veelal een manuele taak van de bevoegde ordediensten en doorgaans een zeer tijdrovende taak door de grote hoeveelheid aan data die verzameld moet worden. Om de dataverzameling te vereenvoudigen gaan verschillende onderzoeken na hoe dronetechnologie kan bijdragen aan dit proces. Een studie in Portugal heeft aangetoond dat het gebruik van drones voor ongevallenonderzoek een veel snellere onderzoekstechniek is om data te verzamelen en een accuraat beeld van het ongeval te vormen (minder dan 1 uur t.o.v. 16 uur bij manuele verwerking) (Pádua, et al., 2020). Dronetechnologie kan bijdragen aan een grotere hoeveelheid aan data en een hogere precisie.

Ook in België worden drones ingezet voor ongevallenonderzoek. Een goed voorbeeld is de samenwerking tussen het Vias Instituut en de Federale Wegpolitie bij ongevallen op de autosnelwegen. Het gebruik van drones zorgt ervoor dat na een ongeval, de ongevalsscène sneller in kaart kan gebracht worden. Dit zorgt ervoor dat de snelweg sneller vrijgemaakt kan worden met korter files tot gevolg (VIAS institute, 2017).

Een tweede toepassing binnen het luik verkeersveiligheid is de risicobeoordeling op basis van dronetechnologie. Hierbij worden aan de hand van analyses van dronebeelden inschattingen gemaakt over het ongevalsrisico van bepaalde

situaties. Een veel gebruikte indicator voor ongevalsrisico is de 'Time-to-collision' (TTC) (Oh & Kim, 2010). Hierbij wordt op basis van trajectoriën van weggebruikers de tijd berekend tot een botsing tussen twee weggebruikers wanneer deze aan een constante snelheid en richting blijven voortbewegen (Hydén C. , 1996). Om de TTC te kunnen berekenen is het van groot belang om accurate trajectoriën van weggebruikers te verzamelen. Dit wordt veelal gedaan aan de hand van videobeelden door een vaste camera. Echter zijn de mogelijkheden met dergelijke camera beperkt en treden er beperkingen op het vlak van bruikbaarheid van de beelden (Gu, et al., 2019). Dronebeelden kunnen deze beperkingen verminderen doordat zij een groter gebied in beeld brengen, een bovenaanzicht weergeven en het gedrag van weggebruikers minimaal beïnvloeden (Khan, et al., 2017).

Naast de TTC is ook de 'Post-encroachment-time' (PET) een accurate maatstaaf voor de analyse van verkeersveiligheid (Allen, Shin, & Cooper, 1978). PET is de tijd tussen het moment dat een weggebruiker een potentieel conflictvlak verlaat en een andere weggebruiker dat conflictvlak betreedt (Chen, et al., 2017). Net zoals TTC wordt PET berekend aan de hand van trajectoriën van de weggebruikers. Ook voor de berekening van deze parameter biedt dronetechnologie bijgevolg verschillende voordelen ten opzichte van de klassieke cameraobservaties.

4.1.2 Verkeersmonitoring en verkeersmanagement

De tweede groep van toepassingen betreft verkeersmonitoring en verkeersmanagement aan de hand van dronetechnologie. Ook in deze categorie worden beelden verzameld aan de hand van een dronevlucht. Vervolgens worden deze beelden door middel van videoverwerkingssoftware geanalyseerd en worden parameters verkregen. Outay, Mengash en Adnan (2020) stellen dat ook deze groep kan onderverdeeld worden in twee subgroepen: de detectie van voertuigen en extractie van verkeersparameters en de analyse van verkeersstromen.

De eerste subgroep, de detectie van voertuigen en extractie van verkeersparameters, kan gezien worden als een fundamentele toepassing van dronetechnologie in verkeersonderzoek. Het is namelijk deze informatie die aan de basis ligt van meer specifieke en complexere analyses die gemaakt kunnen worden op basis van dronebeelden. Wetenschappelijk onderzoek op basis van dronetechnologie kadert dan ook voornamelijk binnen deze subgroep (Outay, Mengash, & Adnan, 2020). Doorheen de jaren hebben verschillende onderzoekers algoritmes en methodieken ontworpen en onderzocht voor de verzameling van deze data. Onder deze fundamentele data worden hoofdzakelijk de trajectoriën van weggebruikers verstaan. Een trajectorie is de positie van een weggebruiker in de ruimte, in functie van de tijd (Jacob & Violette, 2012). Grafisch kan dit voorgesteld worden als een x(t)-diagram met 'x' de positie en 't' de tijd. Binnen de verkeerskunde kan een trajectorie (de x(t) functie) ook gezien worden als kerngrootheid (TU Delft, sd.). Door middel van deze grootheid kunnen andere macroscopische en microscopische grootheden afgeleid worden. Voorbeelden van

dergelijke grootheden zijn: snelheid, versnelling, dichtheid, volgafstand, volgtijd, etc.

In Kaufmann et al. (2018) analyseren de onderzoekers het veranderen van rijstrook van voertuigen aan de hand van dronebeelden. Dit empirische werk heeft aangetoond dat met dronetechnologie spatiotemporele metingen van stadsverkeer kunnen worden uitgevoerd. De video-analyses met behulp van gesuperviseerde tracking, in combinatie met keyframetechnieken, bewezen een robuuste oplossing te zijn om volledige microscopische gegevens te verkrijgen voor empirisch verkeersonderzoek. Ze benadrukken de voordelen van het gebruik van dronebeelden in vergelijking met de analyse van GPS-gegevens.

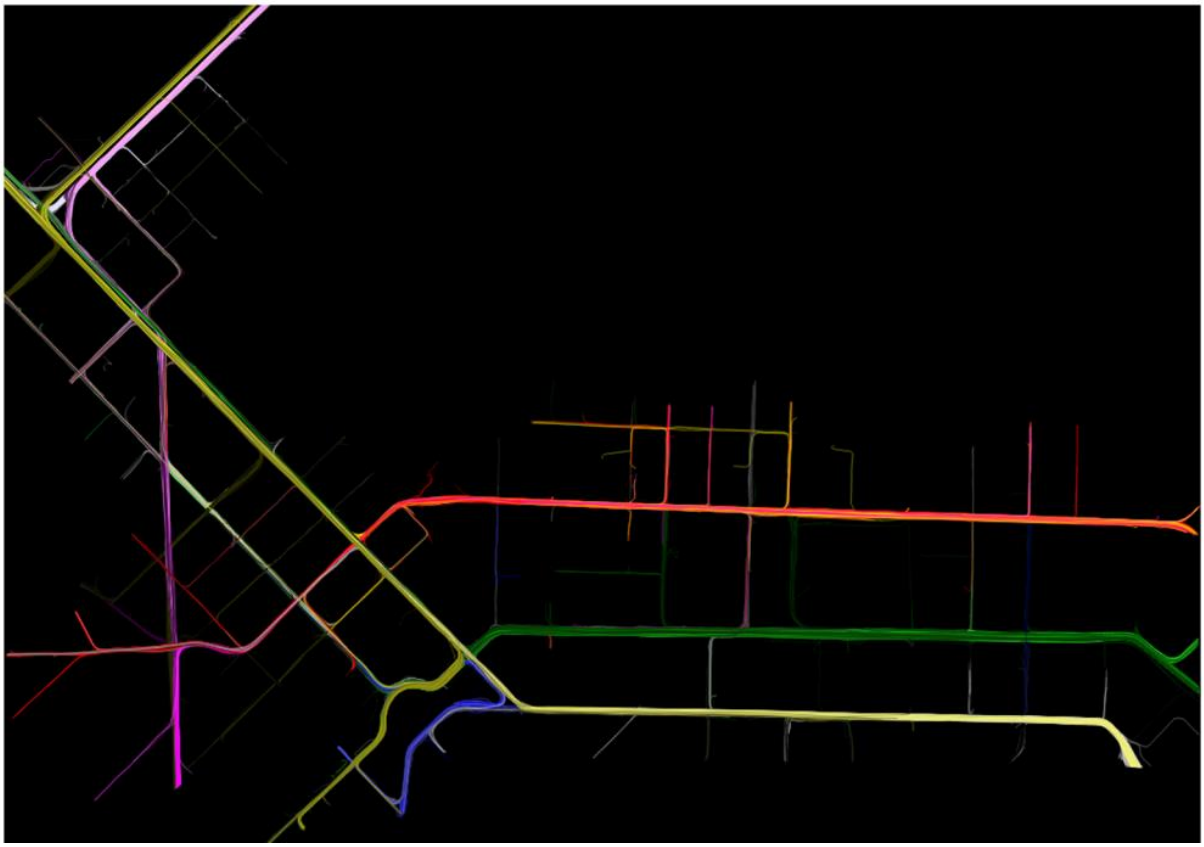
Barmpounakis en Geroliminis (2020) plaatsten virtuele detectielussen ('gates') op ieder kruispunt van een bepaald wegsegment om de reistijden en het verloop van de file in kaart te brengen. De gegevens uit de virtuele detectielussen werden op 2D diagrammen van reistijdverdelingen gepresenteerd. Aan de hand van de verschillende clusters op deze diagrammen die ontstaan tussen de reistijden kan onder meer bepaald worden wat de effectiviteit is van de groene golf[1], wat de variaties in reistijden per vervoersmodus zijn en de manier waarop congestie zich al dan niet ontwikkelt.

Naast de extractie van macroscopische en microscopische verkeersparameters zijn er nog verschillende andere parameters die kunnen worden verzameld in het kader van verkeersmonitoring en verkeersmanagement. Zo is het mogelijk om o.a. OD-matrices op te stellen aan de hand van trajectoriën. In het onderzoek van Khan et al. (2018) heeft men aan de hand van het zelfontworpen 'UAV Video Processing and Analysis Framework' verschillende analyses uitgevoerd op een rotonde, onder meer de extractie van OD-matrices. Deze OD-matrices geven de herkomstlocaties en bestemmingslocaties van een weggebruiker weer. Daarmee kon worden achterhaald in welke richting de grootste verkeersstromen zich situeren. Voor elke tak van de rotonde konden door middel van virtuele tellussen ook tellingen van weggebruikers worden uitgevoerd. Alle trajectoriën die over een bepaalde tak heen gaan in een bepaalde periode werden gedetecteerd.

Barmpounakis en Geroliminis (2020) stellen dat OD-matrices in stedelijke gebieden voor een groot aantal voertuigen enkel op kruispuntniveau werden geëxtraheerd, waarbij de in- en uitgangen van de kruispunten werden geobserveerd. Voor grotere gebieden werden OD-data voornamelijk bekomen aan de hand van interviews of GPS-apparaten. In hun onderzoek werden de beelden van tien drones aan elkaar gekoppeld, waardoor een stedelijk gebied van 1,3km² met meer dan 100 km aan wegen in kaart kon worden gebracht. Dit stelde de

[1] Groene golf: het verkeer op een wegsegment met meerdere verkeerslichten kan doorrijden zonder te hoeven stoppen, elk licht staat op groen bij het passeren. Dit wordt gerealiseerd door de cyclus van de verkeerslichten aan elkaar te koppelen en aan te passen aan de gemiddelde rijsnelheid.

onderzoekers in staat om enorme OD-matrices op netwerkniveau te extraheren. Ze concludeerden dat dronebeelden ervoor kunnen zorgen dat het onderzoek een minder duur en tijdrovend proces wordt en dat manuele fouten geëlimineerd kunnen worden.

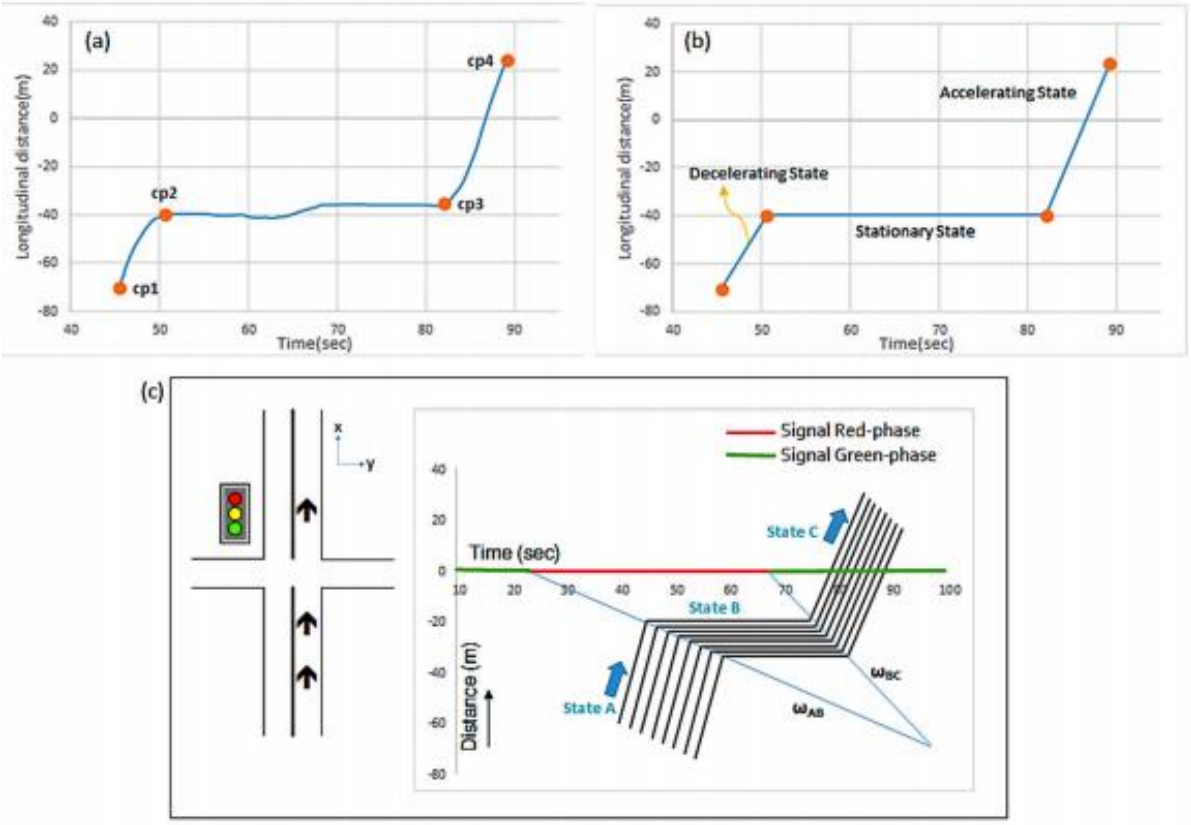


Figuur 9: OD-illustratie voor verschillende bewegingen (Barmpounakis & Geroliminis, 2020)

Buiten het detecteren van weggebruikers en de extractie van verkeersparameters kunnen drones ook gebruikt worden om verkeersstromen te analyseren. Het gaat hierbij over verschillende analyses die kunnen uitgevoerd worden, gaande van een analyse van de prestaties van een bepaalde geometrie van een wegsegment, een kruispuntanalyse of een analyse van het gedrag van een verkeersstroom tot de kalibratie en validatie van voertuigvolgmodellen (Outay, Mengash, & Adnan, 2020).

Onderzoek van Khan et al. (2018) toont aan dat dronebeelden van een lichtengeregeld kruispunt gebruikt kunnen worden om een schokgolfanalyse en een analyse van stroomparameters (wachtrijlengte, snelheid, intensiteit, densiteit, etc.) uit te voeren. Om een analyse van schokgolven en de bijhorende parameters mogelijk te maken wordt gewerkt met een uitgebreide methodologie. De input voor deze methodologie zijn de trajectoriën van de voertuigen die zijn gedetecteerd op de dronebeelden. Op basis van de trajectoriën worden vervolgens 'kritische punten' geselecteerd. Dit zijn punten van de trajectorie op het x(t)-diagram die een wijziging in de beweging van een voertuig aanduiden (bv. een acceleratie of deceleratie) (Chen, et al., 2010). Op basis van deze kritische punten

kunnen in een volgende stap de verschillende toestanden van de voertuigstroom bepaald worden. Eens dit is gebeurd kunnen schokgolven worden bepaald en geanalyseerd, hierdoor kan een fundamenteel diagram worden opgesteld. Dit vormt de basis voor verdere analyses.



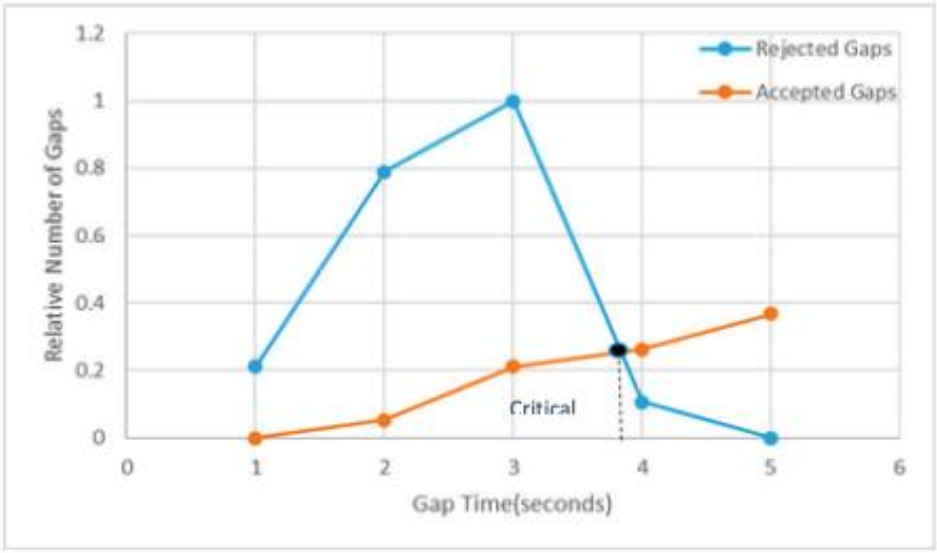
Figuur 10: Bepaling kritische punten en scholgolven (Khan et al., 2018)



Figuur 11: Gedetecteerde trajectoriën (Khan et al., 2018)

Naast de schokgolfanalyse kunnen ook andere parameters met betrekking tot voertuigstromen geanalyseerd worden. Dit zijn o.a. de zogenaamde 'measures of effectiveness' (MOEs) (Khan, et al., 2018). Onder deze MOEs vallen parameters zoals gataccceptatie, wachttijd en wachtrijlengte. In het onderzoek van Khan et al. (2018) is de kritische hiaatacceptatie geschat door middel van dronebeelden. Deze

kritische hiaatacceptatie kan beschreven worden als het minimale gat (in termen van tijd) tussen twee voertuigen op een rotonde dat een voertuig toelaat de rotonde op te rijden (Özuysal, et al., 2009). Om te komen tot de kritische hiaattijd is gebruik gemaakt van de gereviseerde Raff's methode. De kritische hiaattijd is hierbij de tijd waarbij het aantal geaccepteerde hiaten bij een bepaalde hiaattijd groter of gelijk is aan het aantal afgeslagen hiaten bij dezelfde hiaattijd (Guo, Wang, & Wang, 2014). Grafisch kan dit voorgesteld worden als het snijpunt van de geaccepteerde en afgeslagen hiaten, weergegeven in Figuur 12. Dergelijke methode is echter niet enkel te gebruiken om de kritische hiaattijd op een rotonde te berekenen, het kan ook gebruikt worden om bijvoorbeeld het oversteekgedrag aan zebrapaden te onderzoeken. Zo hebben Pawar en Partil (2016) de gereviseerde Raff's methode gebruikt om de kritische hiaattijd en hiaatafstand te berekenen voor overstekende voetgangers aan onbeveiligde voetgangersoversteken.



Figuur 12: Schatting kritische hiaattijd gebaseerd op gereviseerde Raff's methode (Khan et al., 2018)

De mogelijkheden van het toepassen van drones om verkeersstromen en verkeersparameters te analyseren zijn groot. De mogelijkheden eindigen echter niet bij het verzamelen en analyseren van deze gegevens. Deze gegevens kunnen namelijk verder gebruikt worden als input voor de kalibratie van microsimulatiemodellen. Deze simulatiemodellen worden gebruikt in het planningsproces om o.a. nieuwe maatregelen te evalueren. Om de accuraatheid van deze modellen te verhogen is een kalibratie van de parameters vereist. Vaak is het moeilijk om deze specifieke data te kunnen aanleveren als input voor het model, onderzoeken met drones laten zien dat deze data wel op relatief eenvoudige wijze verzameld kan worden (Khan, et al., 2018; Khan, et al., 2018; Pawar & Patil, 2016). Ahmed et al. (2020) hebben onderzoek gedaan naar 'queue jumping' door motorfietsen aan lichtengeregelde kruispunten. Dit onderzoek is uitgevoerd aan de hand van een microsimulatiemodel in het programma Vissim. Om de parameters in het model te calibreren is er gebruik gemaakt van dronebeelden van een lichtengeregeld kruispunt in Karachi (Pakistan). Op basis

van dit onderzoek kan geconcludeerd worden dat de gekalibreerde parameters significant lager liggen dan de standaard waarden voor de paramaters in Vissim. Dit geeft aan dat het kalibreren van parameters door dronebeelden noodzakelijk is en een meerwaarde vormt in het kader van de accuraatheid van microsimulatiemodellen.

4.1.3 Infrastructuurmanagement

De derde categorie van toepassingen van drones binnen de verkeerskunde is het infrastructuurmanagement. Anders dan bij de vorige twee categorieën wordt hier niet gewerkt met de detectie van verkeersdeelnemers. In deze categorie wordt een drone ingezet om inspecties uit te voeren aan de fysieke weginfrastructuur. Drones maken het mogelijk om de toestand van het wegdek te controleren vanuit de lucht (Al-Fadhli, et al., 2014). Zo is er in Minnesota (VS) een demonstratieproject opgezet om de mogelijkheden te onderzoeken van het toepassen van drones voor het uitvoeren van inspecties aan bruggen (Zink & Lovelace, 2015). Aan de hand van een drone met infraroodcamera werd een inspectie uitgevoerd aan vier bruggen. Het demonstratieproject toont aan dat er verschillende voordelen zijn om de inspecties uit te voeren aan de hand van een drone in plaats van manueel. Zo blijkt dit een kostenefficiënte manier te zijn, worden inspanningen voor het regelen van verkeer verlaagd, zijn er geen gespecialiseerde voertuigen en liften nodig en kan er meer gedetailleerde informatie verzameld worden.

Naast de inspectie van bruggen kunnen drones ook gebruikt worden om bijvoorbeeld de staat van het wegdek te inspecteren. Bij dergelijke toepassingen wordt voornamelijk fotogrammetrie gebruikt om 3D-modellen van het wegdek op te maken. Zhang (2008) heeft een systeem ontwikkeld waarbij dronebeelden worden gebruikt om een 3D-model en orthofoto’s van het wegdek te maken. Op basis van deze orthofoto’s en 3D-modellen kunnen achteraf automatisch afwijkingen en defecten aan het wegdek worden opgespoord en opgemeten. Ook is er reeds onderzoek verricht om dergelijke inspecties uit te voeren aan de hand van drone uitgerust met een LIDAR-scanner (light detection and ranging) (Li, et al., 2019). In Tsjechië worden drones ingezet voor het monitoren van ijsvorming op het wegdek (Czech and Slovak Intelligent Transport Systems & Services, 2010). Rekening houdend met de meteorologische situatie kunnen op die manier gevaarlijke situaties voorspeld worden.

4.1.4 Handhaving

Een efficiënte handhaving van de verkeersregels is een essentieel onderdeel in het verminderen van verkeersongevallen. De verkeershandhaving moet erop gericht zijn om bestuurders het gevoel te geven dat ze gesanctioneerd kunnen worden wanneer ze de verkeersregels overtreden (Elvik, et al., 2009). Voor deze toepassing bestaat de mogelijkheid om drones in te zetten. Het grote voordeel van

drones in vergelijking met traditionele verkeershandhaving (zoals flitspalen en politiepatrouilles) is het vogelperspectief ('bird's eye view') dat dronebeelden kunnen bieden. Verder zijn drones zeer flexibel, aangezien ze niet gebonden zijn aan de structuur van het wegennet en geen invloed ondervinden van congestie. Ten opzichte van helikopters, die een gelijkaardige luchtpositie aannemen, hebben drones een lagere kostprijs en een relatief eenvoudige bediening (Engberts & Gillissen, 2016).

Drones kunnen enerzijds door hun aanwezigheid ervoor zorgen dat bestuurders zich ervan weerhouden om overtredingen te begaan. Anderzijds kunnen drones ook overtredingen vastleggen en deze informatie doorsturen (eventueel op een later tijdstip), vergelijkbaar met stationaire flitspalen (Rosenfeld & Maksimov, 2019). Tot slot worden drones ook ingezet om overtredingen vanuit de lucht te detecteren waarna een politiepatrouille op de grond de overtreder kan benaderen en sanctioneren (Rosenfeld, 2019).

Uit onderzoek van Rosenfeld & Maksimov (2019) blijkt dat bestuurders hun snelheid aanzienlijk verminderen wanneer ze geconfronteerd worden met politiehandhaving. Het optreden van een drone zorgde gemiddeld voor een vertraging van 8,5 km/u op een interstedelijke weg met twee rijstroken waarop de maximale toegelaten snelheid 80 km/u was. Het optreden van een politiepatrouille zorgde echter voor een nog grotere gemiddelde vertraging, namelijk 13 km/u. Volgens het onderzoek worden drones door verkeersdeelnemers niet als een alternatief gezien voor menselijke handhaving, maar wel als een verbeterde geautomatiseerde tool die een aanzienlijke impact kan hebben op het verminderen van verkeersongevallen en het afschrikken van risicovol rijgedrag.

Een vervolgonderzoek van Rosenfeld (2019) ging dieper in op de publieke opinie met betrekking tot het inzetten van drones voor handhaving van verkeersregels. De resultaten wijzen uit dat drones als effectiever en afschrikwekkender worden gezien ten opzichte van helikopters en geautomatiseerde flitspalen. In vergelijking met verkeerslichtcamera's worden drones gezien als een even effectieve en afschrikwekkende methode. Uit de resultaten blijkt dat privacy de grootste bezorgdheid van de publieke opinie met betrekking tot drones in verkeershandhaving is. Er is echter geen significant verschil wat betreft de privacy bezorgdheden tussen particulier dronegebruik en dronegebruik door de verkeerspolitie. Ook problemen met de veiligheid vormen een grote bezorgdheid. Tot slot zijn de deelnemers van het onderzoek er in grote lijnen over eens dat wanneer drones worden ingezet voor handhaving, dit zou moeten dienen voor de identificatie van gestolen of ongeautoriseerde ('unauthorized') voertuigen en agressief en onverantwoord rijgedrag.

Drones kunnen op verschillende manieren worden ingezet ter bevordering van de verkeersveiligheid. De aanwezigheid van een drone kan echter ook een afleidend

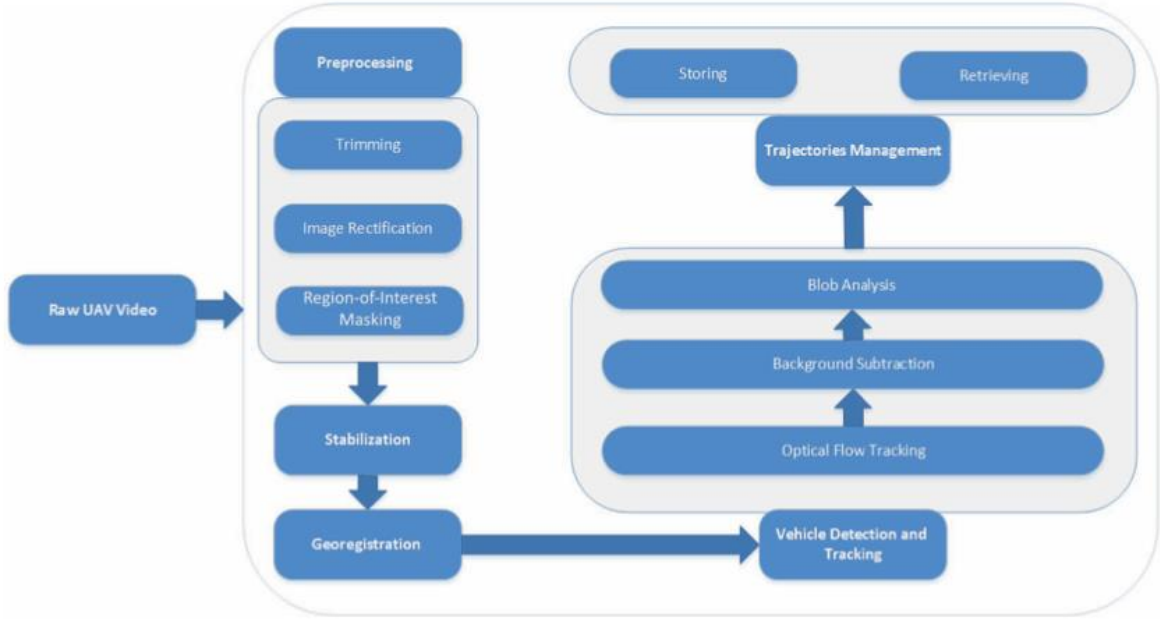
effect hebben voor de bestuurder waardoor er een risico is op gevaarlijke situaties. Hurwitz et al. (2018) onderzochten of drones voor afleiding kunnen zorgen bij bestuurders. Het onderzoek werd gevoerd in een rijsimulator. Er werden 3 verschillende bewegingen met de drone gedaan: opstijgen, parallel met de weg heen-en-weer vliegen en racen. Het vliegen langs de weg gebeurde op ongeveer 10 meter (32 voet) hoogte aan een constante snelheid. Bij het racen vloog de drone tussen 6,5 meter (21 voet) en 9,5 meter (31 voet) aan een variërende snelheid. Er werden geen verschillen gevonden op vlak van afleiding tussen de 3 bewegingen. Over het algemeen laten de resultaten zien dat drones voor afleiding kunnen zorgen bij bestuurders. De aanwezigheid van drones tot ongeveer 15 meter (50 voet) van de weg verhogen het risico op een ongeval dat geassocieerd kan worden met de aanwezigheid van de drone. De aanwezigheid van een drone wordt als zeer risicovol beschouwd wanneer deze ervoor zorgt dat een bestuurder meer dan 2 seconden zijn ogen van de weg houdt. Onderzoek van Klauer et al. (2006) wees uit dat het risico op een bijna-ongeval en ongeval verdubbelt wanneer een bestuurder meer dan 2 seconden afgeleid wordt. Zeer risicovolle situaties deden zich vaker voor wanneer de drone vlak langs de weg vloog dan respectievelijk op 7,5 meter (25 voet) en 15 meter (50 voet). De kans op afleiding door de aanwezigheid van een drone is groter in een landelijke omgeving dan in een stedelijke omgeving. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat drones prominenter aanwezig zijn in een rustige landelijke omgeving ten opzichte van een drukke stedelijke omgeving. Hurwitz et al. (2018) besluiten tot slot dat de aanwezigheid van de drone zelf even afleidend is als de aanwezigheid van de dronepiloot.

4.2 Detectie van weggebruikers

Gelet op de toepassingen van drones binnen de verkeerskunde kan gesteld worden dat bijna alle toepassingen staan of vallen bij de correcte detectie van weggebruikers en hun trajectoriën. Om de detectie van weggebruikers en de trajectoriën mogelijk te maken zijn doorheen de jaren verschillende werkkaders, algoritmes en methodieken ontwikkeld. Een veel gebruikte manier om voertuigen te detecteren en te volgen is ‘optical flow’ (Khan, et al., 2017; Yalcin, et al., 2005; Cao, et al., 2012). Een algoritme dat speciaal ontwikkeld is voor deze methode is de ‘KLT feature tracker’ (Lucas & Kanade, 1981). Dit algoritme focust op de hoekpunten van elementen in de frames van de videobeelden. Tussen de frames kunnen de hoekpunten, in dit geval pixels, bewegen (bewegend element in de video, bv. pixel van auto) of stilstaan (statisch element, bv. pixel van weg). Doorheen de opeenvolgende frames gaat het algoritme de bewegende pixels volgen. Tijdens dit proces wordt de snelheid en richting van de pixels tussen twee opeenvolgende frames steeds geschat aan de hand van een gewogen lineaire regressie.

Om te komen tot een zo accuraat mogelijke detectie en tracking van weggebruikers hebben Khan et al. (2017) een methodologisch framework

ontworpen voor een geautomatiseerde extractie van trajectoriën van meerdere voertuigen. Een schematische voorstelling van dit framework is te zien op Figuur 13. Alvorens weggebruikers gedetecteerd en gevolgd kunnen worden dienen de videobeelden van de drone drie stappen te doorlopen. Tijdens de 'preprocessing' worden de beelden indien nodig ingekort en bijgesneden tot er enkel bruikbare beelden overblijven. Deze beelden worden vervolgens verbeterd door software om distorsies door o.a. de gebruikte breedhoeklens te corrigeren. In de laatste stap van de voorbereiding worden irrelevante gebieden op de beelden verborgen om een efficiëntere beelverwerking mogelijk te maken, enkel de ROI (region of interest) wordt zo behouden. In de tweede stap worden de beelden gestabiliseerd. Met de huidige technologiën op drones (cfr. gimbal) worden trillingen en bewegingen van de drone al voor een groot stuk opgevangen. Toch blijven kleine bewegingen nog altijd zichtbaar op de beelden. Aan de hand van software worden de beelden gestabiliseerd. In de fase van georegistratie worden de pixels op de beelden gelinkt aan de coördinaten van de plek. Dit maakt het mogelijk om verkeersparameters in een latere fase op werkelijke schaal te schatten. Nadat deze drie stappen zijn doorlopen, kan het detecteren en tracken van weggebruikers starten.



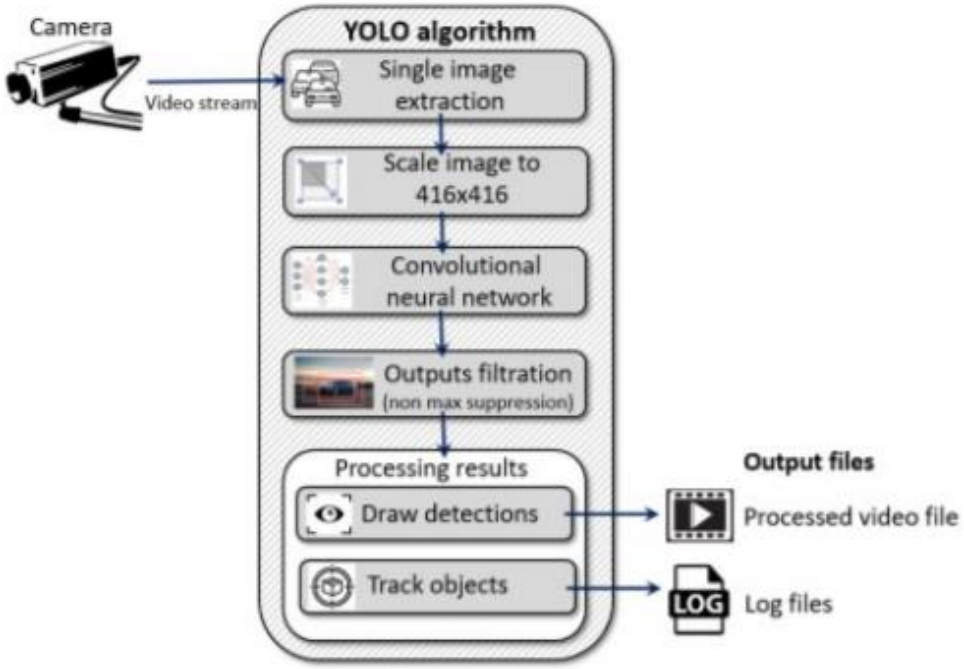
Figuur 13: Framework voor geautomatiseerde UAV-videoverwerking en analyse (Khan et al., 2017)

In de eerste paragraaf van dit deel werd al gesproken over optical flow algoritmes. Deze algoritmes zijn ontwikkeld voor het detecteren en tracken van elementen op videobeelden (Khan, et al., 2017). Om daadwerkelijk te komen tot trajectoriën en om een zo hoog mogelijke accuraatheid te bekomen wordt de optical flow tracking aangvuld met 'Background substraction' en 'Blob analysis'. Bij background substraction worden bewegende objecten gedetecteerd door de videobeelden te vergelijken met een statische referentieachtergrond. Deze stap resulteert in een opdeling van de videobeelden in twee lagen, de statische achtergrondlaag en een voorgrondlaag met bewegende objecten. In de blob analyse worden vervolgens de

bewegende pixels uit de voorgrondlaag die bij elkaar in de buurt liggen (neighboring pixels), ook wel blobs genoemd, geïdentificeerd als object en gevolgd doorheen alle frames. Als eindresultaat worden zo trajectoriën van weggebruikers gevormd. Deze trajectoriën dienen vervolgens als input voor verdere analyses.

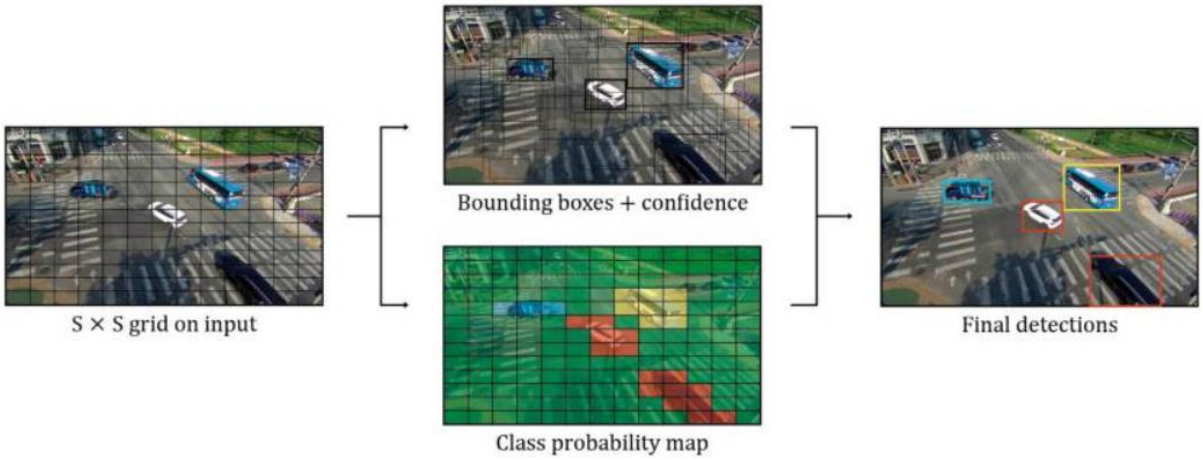
Op basis van de literatuur kan geconcludeerd worden dat voorgaande techniek reeds uitgebreid bestudeerd en toegepast is in het domein van de verkeerskunde. Toch zorgt de technologische voortuitgang ervoor dat er steeds nieuwe methodes voor het geautomatiseerd detecteren en volgen van weggebruikers ontstaan. Een van deze technieken is 'YOLO' (You only look once) (Redmon, et al., 2016). Deze AI-techniek, gebaseerd op een 'Convolutional Neural Network' (CNN), is een staat om objecten op videobeelden in real-time te detecteren en toe te wijzen aan een bepaalde objectklasse.

Zoals te zien op Figuur 14 bestaat het YOLO-algoritme, voor de detectie van verkeersdeelnemers, uit verschillende stappen (Ćorović, et al., 2018; Redmon, et al., 2016). Eenvoudig uitgelegd start het algoritme met de extractie van een foto uit de videobeelden. Deze foto wordt vervolgens verkleind en gerasteriseerd en dient als input voor het YOLO-netwerk. Dit YOLO-netwerk is een CNN dat getraind dient te worden op basis van voorbeeldafbeeldingen van objecten die men wil laten detecteren. In het onderzoek van Ćorović, et al. (2018) is deze training gebeurd op basis van 70 000 trainingsfoto's en 30 000 validatiefoto's van weggebruikers. Het CNN is door deze training in staat de input (de verkleinde foto) te analyseren op objecten en objecten te classificeren. Als output van het CNN wordt een 'tensor' verkregen. Deze tensor bevat de coördinaten en de posities van 'bounding boxes' (omsluitend kader rond een object) die een object moeten bevatten, de kans dat elke bounding box een object bevat en de kans dat een object binnen een bounding



Figuur 14: YOLO-algoritme (Ćorović, et al., 2018)

box behoort tot een bepaalde klasse. Een grafische weergave van dit proces is weergegeven op Figuur 15. Om de accuraatheid van dit proces te verhogen wordt dit proces meermaals herhaald op verschillende schaalgroottes van de afbeelding (Mandal, et al., 2020). Ook worden bounding boxes verwijderd waarbij de kans kleiner dan 50% is dat de bounding box een object bevat.



Figuur 15: Detectie van objecten d.m.v. YOLO (Seong, et al., 2019)

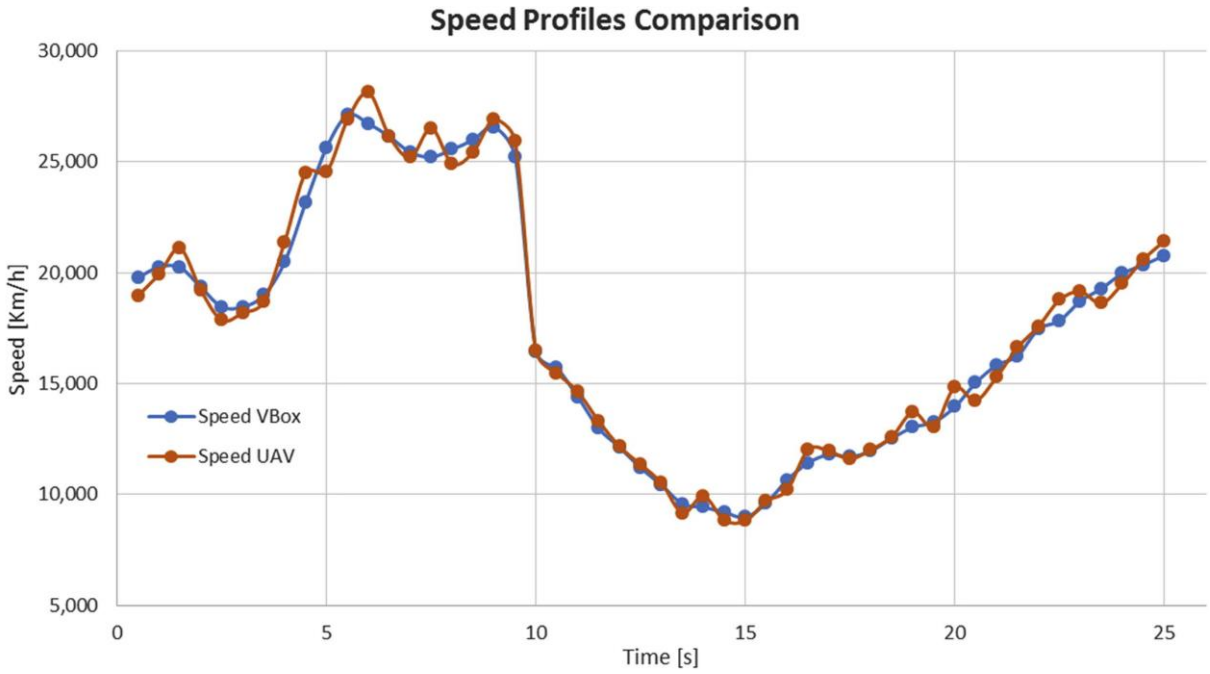
Om daadwerkelijk te komen tot een detectie en tracking van objecten, in dit geval verkeersdeelnemers, wordt het YOLO-algoritme doorheen alle frames van de video herhaald (Ćorović, et al., 2018). Echter is dit niet voldoende om weggebruikers te tracken doorheen de beelden. Seong et al. (2019) gebruiken YOLO in combinatie met een 'Kalman' filter en een 'Intersection over Union' (IOU) tracker. De Kalman filter wordt gebruikt als hulpmiddel om correcties uit te voeren indien de positie van een weggebruiker niet geheel accuraat is gedetecteerd door YOLO. Nadien wordt de IOU tracker toegepast om trajectoriën van voertuigen te bepalen. Dit tracker algoritme kijkt naar de overlap tussen objecten in twee opeenvolgende frames van de video. Tussen twee opeenvolgende frames is de tijdsprong dermate kort dat een object slechts beperkt van positie zal veranderen, hierdoor ontstaat overlap tussen de gedetecteerde objecten in de twee frames. Bij objecten met de grootste overlap wordt aangenomen dat dit dezelfde objecten zijn. Door dit algoritme op alle frames toe te passen wordt het mogelijk om objecten, en dus weggebruikers, te volgen en hun trajectoriën weer te geven.

Geconcludeerd kan worden dat het YOLO-algoritme veel mogelijkheden biedt om als alternatief voor de meer courante en oudere methodes ingezet te worden. Wel dient rekening gehouden te worden met het feit dat YOLO in grote mate is ontwikkeld om objectdetectie uit te voeren op beelden, verkregen van statische camera's. De toepassingen van YOLO op dronebeelden zijn tot op heden beperkt. Wel is er reeds onderzoek gedaan naar deze mogelijkheden. De onderzoeken van Liu et al. (2020) en Lu et al. (2018) geven beiden weer dat de toepassing wel mogelijk is. Het grootste verschil met de toepassingen gebaseerd op videobeelden van statische camera's is de training van het CNN. Door de verschillen in hoogte van de drone en de grootte van de gefilmde objecten op de grond dient extra

ingezet te worden op training in diversiteit in schaal van de objecten en in training op kleine objecten.

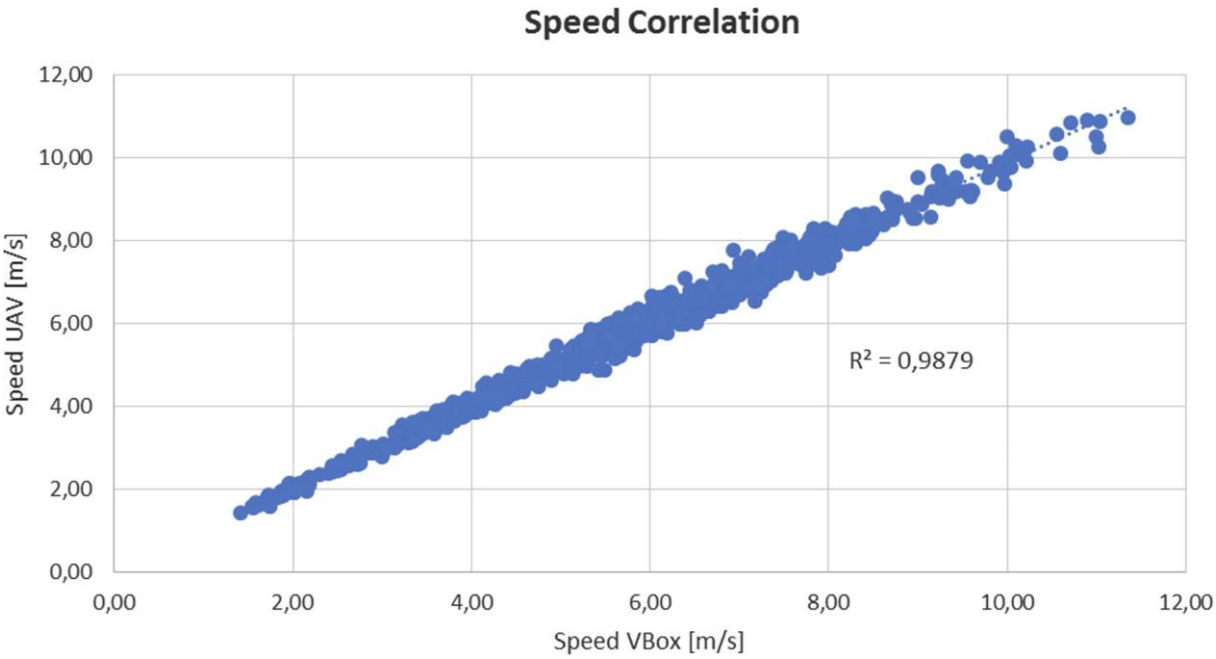
4.3 Accuraatheid data

Guido et al. (2016) onderzochten de accuraatheid van het bepalen van de locatie en de snelheid van een wagen door middel van dronetechnologie. De wagen werd uitgerust met een GPS die in staat is om de snelheid te meten met een foutmarge van minder dan 0,1 km/u en een foutenmarge van 0,05% wat betreft de nauwkeurigheid van de afstand. De trajectoriën van de GPS werden vergeleken met de trajectoriën die de dronebeelden opleverden. Het onderzoek leverde goede resultaten op (een *Normalized Root Mean Square Error value* van 0.55m) en de onderzoekers concludeerden dat dit het mogelijk maakt om individuele gedragingen van bestuurders en de interactie met andere wagens te analyseren. Ook de snelheidswaarden van de GPS en de dronebeelden werden vergeleken. Een voorbeeld van een vergelijking voor een specifiek traject is te zien op Figuur 16.



Figuur 16: Snelheidsvergelijking op een gedeelte van het traject tussen data van een VBox en een drone (Guido et al., 2016)

De correlatiecoëfficiënt voor snelheid bereikte een hoge waarde van 0,98, zoals getoond in Figuur 17. Het niveau van nauwkeurigheid van de snelheid werd ook uitgedrukt in termen van een 'Root Mean Square Percentage Error', die een waarde van 3,57% had. Volgens de onderzoekers is dit een indicatie van zeer goede nauwkeurigheid voor gewone stadsverkeercondities.



Figuur 17: Correlatie van de snelheid verkregen met een VBox en een drone (Guido et al., 2016)

Het algoritme van Ke et al. (2017) haalde met 5 datasets van dronebeelden een nauwkeurigheid van 96% met betrekking tot de gemiddelde snelheid en een nauwkeurigheid van 87% met betrekking tot het tellen van het aantal voertuigen. De dronebeelden werden in real time verwerkt en vervolgens ook achteraf manueel verwerkt om de resultaten te kunnen vergelijken met het algoritme.

Ook de resultaten uit onderzoek van Barmpounakis et al. (2019) tonen aan dat de snelheidsmetingen aan de hand van dronebeelden zeer accuraat kunnen worden uitgevoerd, met afwijkingen tot maximaal 3,1 km/u. De verschillen in gemiddelde snelheid tussen de OBD-data en de data uit DFS zijn ook niet significant op een betrouwbaarheidsinterval van 90%. Bovendien genereert de gebruikte software (DFS) ook voertuigtypes, trajectoriën en andere dynamische kenmerken. De accuraatheid van de data blijkt wel sterk afhankelijk te zijn van de stabiliteit van de videobeelden en van de geo-referentie procedure.

4.4 Drones voor veiligere schoolomgevingen

De verkeersveiligheid van schoolomgevingen is een zeer actuele, maar gevoelige kwestie. De reden hiervoor is tweeledig: jonge kwetsbare deelnemers en chaotische verkeerssituaties. In 2018 publiceerde de European Transport Safety Council (ETSC) een rapport over jonge verkeersslachtoffers op Europese wegen. Een derde van alle kinderen die op de Europese wegen om het leven komen, is een voetganger en meer dan 10 procent zijn fietsers (ETSC, 2018). De raad wijst erop dat een van de oorzaken een toename is van het aantal ouders dat naar school rijdt. Vanwege veiligheids- en beveiligingsoverwegingen gebruiken ouders vaker hun auto, wat leidt tot meer gevaarlijke situaties tussen voetgangers (en fietsers) en gemotoriseerde voertuigen. Dit kan gezien worden als een vicieuze cirkel. Om die cyclus te doorbreken, is ontwerp een belangrijke factor bij het

waarborgen van een veilige en geborgen omgeving voor kinderen. In het bijzonder een verbonden stratennetwerk dat veilige routes naar school aanbiedt (Giles-Corti, et al., 2011). De locatie van scholen en de inrichting van straten in schoolomgevingen spelen een belangrijke rol bij het verbeteren van de verkeersveiligheid. De nadruk moet liggen op de behoeften van de gebruikers van actieve vervoersmodi, die de meest kwetsbare deelnemers zijn. Het ontwerpen van toegankelijke scholen met een lage verkeersintensiteit, trottoirs en fietspaden kan de verkeersveiligheid verhogen.

Naast het ontwerp is ook het gedrag van adolescenten en kinderen een belangrijke factor. Het risicogedrag van adolescenten op de weg is aangetoond door een grote hoeveelheid studies (Elliott & Baughan, 2004; Sullman & Mann, 2009; Sullman, et al., 2011; Sullman, Thomas, & Stephens, 2012). Inzicht in het gedrag van jongeren is een essentiële schakel in het verbeteren van de verkeersveiligheid.

Het concept verkeersveiligheid kan worden onderscheiden in 'waargenomen veiligheid' en 'inhoudelijke veiligheid'. Dumbaugh & Frank (2009) definiëren het eerste als 'een subjectieve kijk op de kans om betrokken te raken bij een ongeval'. De inhoudelijke veiligheid is een meer objectieve kijk op 'de werkelijke kans om bij een ongeval betrokken te raken'. Deze laatste kan worden bepaald met behulp van objectieve meetinstrumenten. De gegevens zijn direct meetbaar en onbetwistbaar. De waargenomen veiligheid daarentegen hangt af van het gevoel dat mensen hebben over hun verkeersdeelname. De meeste ouders laten zich leiden door deze waargenomen veiligheid en baseren hun beslissing over de wijze van transportmodi van hun kinderen op deze perceptie (Timperio, et al., 2006). Het is het gevoel dat zij ervaren wanneer hen gevraagd wordt naar verkeersveiligheid. Beide benaderingen zijn zeer waardevol voor verkeersonderzoek. Zelfs met objectieve gegevens die stellen dat een bepaalde verkeerssituatie veilig is, kan de perceptie compleet het tegenovergestelde zijn.

4.4.1 Focus op kwetsbare weggebruikers

In de ontwikkelde wereld zijn ongevallen met voetgangers nog steeds een van de grootste oorzaken van letsel, invaliditeit en overlijden (Sullman, et al., 2011). Ondanks de daling van het aantal doden onder voetgangers de afgelopen jaren, ligt het EU-gemiddelde rond 21% van alle weggebruikers (European Commission, 2018). Ongevallen met voetgangers zijn nog steeds een groot verkeersveiligheidsprobleem (Ābele, Haustein, & Møller, 2018). Elke weggebruiker, ongeacht de gebruikte vervoerswijze, neemt als voetganger deel aan het verkeer. Zij het lopend van de parkeerplaats naar kantoor, van een bushalte naar de schoolingang, van een winkel naar je fiets, etc. Gesteld dat voetgangers een van de meest kwetsbare weggebruikers zijn, leidt dit vaak tot gevaarlijke situaties of conflicten met andere weggebruikers. De locatie die in deze studie centraal staat, is de omgeving van scholen. Het is een gebied dat wordt gedomineerd door jonge voetgangers die van en naar school gaan. De activiteit

van jonge voetgangers en fietsers is het hoogst tijdens de periodes voor en na schooltijd, waardoor het potentiële risico op ongevallen met jonge kwetsbare weggebruikers toeneemt (McArthur, Savolainen, & Gates, 2014). Bovendien heeft deze groep een hoger letselrisico als voetganger dan volwassenen. Volgens Europees onderzoek is letsel door verkeersongevallen "de belangrijkste oorzaak van overlijden en ernstig letsel onder kinderen van 0-14 jaar", ongeveer 34 % van de letseldoden onder kinderen per jaar (Connelly, et al., 1998). Meyer et al. (2014) stellen dat de gevaarperceptievaardigheden van kinderen lager zijn dan die van volwassenen. Kinderen hebben moeite om de afstand tussen henzelf en een auto te interpreteren (Connelly, et al., 1998). Bovendien blijkt uit onderzoek zelfs dat zij eerder geneigd zijn tot impulsief handelen (Briem & Bengtsson, 2000). Verder is uit onderzoek gebleken dat oversteken op straat tot de meest voorkomende verkeersongevallen onder kinderen behoort (Hamed, 2001; Jager, et al., 2015; (Schwebel, Davis, & O'neal, 2012)). Dit is in lijn met de verrassende conclusie van Poschadel (2006). Die stelt dat zelfs wanneer kinderen zichtbaar oversteken en opgemerkt worden, het een van de meest voorkomende ongevalssituaties is voor kinderen van 14 jaar of jonger.

In een grootschalige studie in Denemarken (COWI, 2020) werd onderzoek verricht naar de verkeerssituatie van voetgangers en fietsers in schoolomgevingen. Door middel van dronetechnologie werden de trajectoriën per transportmodi in beeld gebracht. Hierdoor kon een analyse worden gemaakt van de verschillende verkeersstromen. Vervolgens werden enkele ingrepen gedaan om de conflictsituatie in de schoolomgeving te reduceren. Hoewel er geen diepgaande analyse werd gemaakt van de beelden, toont dit onderzoek aan dat dronetechnologie een veelbelovende onderzoekstechniek kan zijn voor onderzoek naar verkeersveiligheid in schoolomgevingen.

4.5 Parameters uit de beeldanalyse

- Anton Renard -

4.5.1 Inleiding

Het gebruik van dronetechnologie kan een meerwaarde bieden om de verkeersveiligheid van schoolomgevingen te analyseren. De nieuwe technologie geeft een andere kijk op de huidige situatie en kan data genereren van complexe verkeerssituaties. Om na te gaan op welke manier deze onderzoekstechnologie kan bijdragen tot verkeersveiligere omgevingen zal een analyse worden gemaakt van de beschikbare parameters. Deze parameters zullen duidelijk worden omschreven en afgetoetst.

Er bestaat een verscheidenheid aan parameters, vaak ook terug te vinden onder de term indicator. De bruikbaarheid van deze indicatoren zal worden nagegaan. Bovendien zal eveneens worden onderzocht of het mogelijk is meerdere parameters te combineren in de analyse.

Om verkeersveiligheid te kunnen onderzoeken, is het noodzakelijk factoren vast te leggen die een indicatie geven van de verkeerssituatie. Deze indicatoren dienen als hulpmiddel om de verkeersveiligheidsanalyse te kunnen uitvoeren. Hiervoor moeten grenswaarden worden vastgelegd, die niet overschreden mogen worden om te kunnen spreken van een verkeersveilige omgeving, combinatie van parameters worden onderzocht en onderzoek naar de relevante parameters voor de analyse van schoolomgevingen.

Op basis van een literatuurstudie zal worden achterhaald welke grenswaarden zullen moeten worden aangehouden voor het vrijwaren van de verkeersveiligheid. Daarbij zal hoofdzakelijk gefocust worden op de situaties waarin bepaalde grenswaarden worden overschreden. Door grenswaarden vast te leggen wordt het mogelijk om de data die beschikbaar is na de dronevlucht te interpreteren en de problematiek beter te begrijpen. Hierdoor kan er aan de hand van een empirische analyse van de data, met vooropgestelde grenswaarden de situatie in kaart gebracht worden. Daarnaast zal er ook worden onderzocht welke parameters gecombineerd kunnen worden om een grondige analyse mogelijk te maken. Doorgaans zijn afzonderlijke parameters een te simplistische voorstelling van de gevaren, maar kunnen ze in combinatie met andere parameters een beter beeld geven van de ernst van de situatie.

Dit hoofdstuk is tweeledig: enerzijds wordt er gekeken naar de accuraatheid van de captatie van de parameters, anderzijds wordt er gekeken welke parameters in de analyse gehanteerd kunnen worden. Voor deze laatste wordt er hoofdzakelijk gefocust op surrogaat veiligheidsindicatoren die aan de basis zullen liggen voor de verkeersveiligheidsanalyse.

4.5.2 Onderzoekstechnieken verkeersveiligheid

In 2019 kwamen er op de Europese wegen 2019 22.660 mensen om. Daarbij is een stijging van het aantal dodelijke ongevallen bij kwetsbare weggebruikers en letselongevallen van voetgangers (ETSC, 2020). Deze ongevallencijfers geven een overzicht van de waargenomen verkeersveiligheid. Naast ongevallencijfers kunnen data van bijna-ongevallen, gevaarlijke situaties en conflicten een aanvulling bieden voor het onderzoeken van verkeersveiligheid. Ook verscheidene indicatoren kunnen mee bijdragen tot het beter in kaart brengen van de algemene verkeersveiligheid. Om deze data te verzamelen bestaat er een variëteit aan onderzoekstechnieken. In deze masterproef wordt gewerkt aan de hand van dronetechnologie om de verkeersveiligheid in kaart te brengen.

4.5.2.1 Dronetechnologie

Het verzamelen van gegevens met behulp van UAV's, of de meer algemeen gebruikte naam "drones", is relatief nieuw in het onderzoeksgebied van de vervoerswetenschappen. Het is een technologie waarbij een "onbemand luchtvaartuig op afstand wordt bestuurd" om verkeersgegevens te verzamelen. Het merendeel van het verkeersonderzoek wordt uitgevoerd met andere (oudere) technologieën en is vooral gericht op auto's. In deze studie zal een analyse worden gemaakt van de trajecten van alle verkeersdeelnemers, ook die van voetgangers en fietsers. Met de huidige meetinstrumenten is het echter zeer moeilijk om de bewegingen van deze laatste groep te traceren. Om alle verkeersdeelnemers in beeld te brengen, kunnen dronebeelden als een zeer nuttig hulpmiddel worden beschouwd.

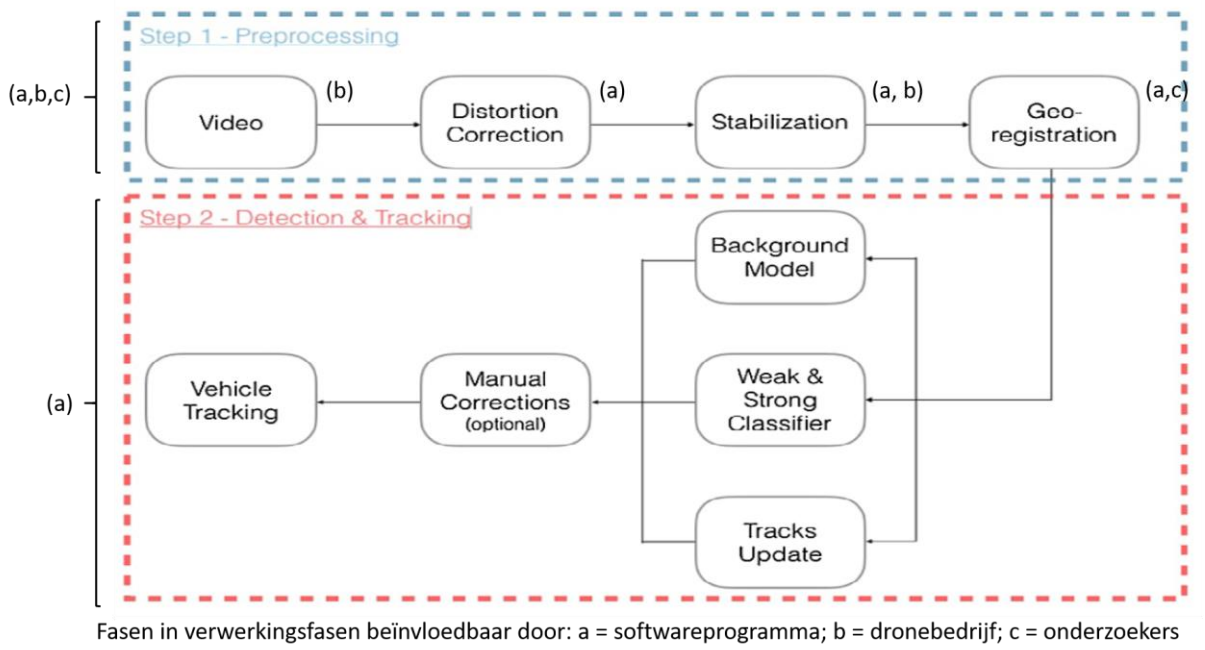
De bekomen drone-beelden bieden visueel een mooie weergave van de huidige verkeerssituatie. Om echter tot gefundeerde resultaten te komen is een grondige empirische analyse noodzakelijk. In deze masterproef zal worden nagegaan welke indicatoren beschikbaar zijn en welke noodzakelijk zijn om de verkeersveiligheid van de verkeersituatie rond schoolomgevingen na te gaan.

Deze studie is uniek omdat er wordt getracht om conflict indicators te extraheren en afwijkingen te detecteren op een volledig geautomatiseerde wijze. De werkwijze kan ten goede komen van verkeerskundigen die een snelle en objectieve verkeersveiligheidsanalyse van schoolomgevingen willen bekomen.

4.5.2.2 Captatie parameters dronetechnologie

Video analyse kan de betrouwbaarheid van de gegevensverzameling verbeteren. Daarbij moet echter rekening gehouden worden met de beperkingen bij het verkrijgen van nauwkeurige gegevens (Mahmud, et al., 2017). De onderzoekers wijzen op problemen in verband met de afstelling van de camera, de dekking van de camera, de transformatie van beeld van drie naar twee dimensies, en de

afhankelijkheid van menselijke waarnemingen bij het extraheren van gegevens uit video. Deze laatste stap (extraheren van gegevens) zal echter in dit onderzoek gebeuren aan de hand van computersoftware. De overgang van ruwe data (luchtbeelden) naar verwerkte (verkeers)data omhelst twee grote stappen: een manier vinden om de beeldinhoud te linken aan een coördinatensysteem (1); objecten vinden die van belang zijn (en deze kunnen lokaliseren) (2) (Barmpounakis, et al., 2019). In Figuur 18 worden deze twee stappen schematisch weergegeven. Daarbij wordt een onderscheid gemaakt tussen de verschillende actoren die invloed hebben op de fase(n) in het verwerkingsproces.



Figuur 18: Schema werkwijze omzetten videobeelden naar verkeersdata (eigen bewerking) (Barmpounakis, et al., 2019)

Vervormingscorrectie

De zwevende dronepositie heeft het voordeel dat er beelden worden bekomen zonder veel beeldvervorming (Kim, et al., 2019). Toch komt het regelmatig voor dat bij het filmen afwijkingen of vervormingen optreden op het uiteindelijke beeldmateriaal. Daarom dient de vervorming ('distortion correction') door het optische beeldvormingssysteem veroorzaakt te worden gecorrigeerd. Dit wordt gedaan door het beeld te transformeren op basis van een bekend vervormingsprofiel van het gebruikte beeldvormingssysteem. Daarbij wordt de veroorzaakte vervorming aangepast om een vlak beeld te krijgen. De la Escalera & Armingol (2010) hebben hiervoor een methode op basis van automatisch schaakbord patroonherkenning.

Stabilisatie

Daarnaast moet er ook rekening gehouden worden met de stabilisatie van de beelden. Daar waar er stationaire camera's stabiele beelden genereren, kan er bij dronebeeldmateriaal 'trilling' op de beelden zitten. De stabiliteit van de videobeelden wordt sterk beïnvloed door wind. Er zijn drie methodes om deze te beperken. Allereerst kunnen aan de hand van het gebruik van een 'gimbal' de grootste afwijkingen reeds worden voorkomen. Vaak zal deze 'gimbal' automatisch de bewegingen van de drone compenseren. Ook kan een grootte van de drone de sensitiviteit verminderen (Lee, et al., 2015). Ten tweede kan een videoanalyse worden uitgevoerd met een stabilisatiefilter die cameratrillingen elimineert, rotatie en zoomen vloeiender maakt. Hoewel er verschillende stabilisatiefilters zijn, wordt dit meestal bereikt door volledig geautomatiseerde matching van de frames van de video (in deze studie door DFS). Daarbij worden de pixels van elk frame vergeleken met de vorige frames en worden er vectoren berekend. Deze vectoren worden gebruikt om elk frame op het voorgaande frame te laten lijken. Vervolgens zal een tweede analyse de waarden op elk frame toepassen en wordt hierdoor de video gestabiliseerd. Niet elke software kan volledig stabiele beelden bekomen. Daarom kan een stationair object worden gekozen dat zal worden gevolgd doorheen heel de video. Dit maakt het mogelijk door middel van het stationaire object de verschillen na te gaan in die beelden. De trillingen die optreden wanneer de drone zich in zwevende positie bevindt hebben een grote invloed op de videostabilisatie en het matchen van de pixels van het onderzoeksgebied (Barmpounakis, et al., 2019).

Georegistratie

Ten slotte, dient de georegistratie te worden uitgevoerd. Hierbij moeten er punten met een georeferentie worden gemarkeerd, bij voorkeur verspreid over het studiegebied om de accuraatheid te vergroten en de afwijkingen te verkleinen. Op basis van de coördinaten en positie van de punten wordt het beeld vervormd om het cameraperspectief te compenseren. Deze transformaties maken het mogelijk om pixels te connecteren naar coördinaten in werkelijkheid (Kim, et al., 2019). De precisie van de dit proces hangt af van volgende factoren: (on)voldoende data, kwaliteit van de georeferenties, succespercentage van overeenstemming van kenmerken in de stabilisatiefase, subpixels van de bewegingen en de grootte van de pixels in het coördinatensysteem na de transformatie (Barmpounakis, et al., 2019). Op die manier is het mogelijk de snelheid van objecten te bepalen, veiligheidsanalyses uit te voeren, gegevens over de verkeersdeelnemers weer te geven, etc.

4.5.2.3 Dataverwerking

Du et al. (2017) omschrijven drone-technologie als een van de meest aantrekkelijke technologie om moeilijke taken uit te voeren en preciezere verkeersparameters te leveren dan andere observatietechnieken. Niettemin blijft gegevensverwerking een moeilijke procedure, zodanig dat het mogelijk wordt om een volledige analyse op de gegevens uit te voeren. De technologie vereist gegevensverwerking achteraf, die gewoonlijk wordt uitgevoerd met beelddetectietechnologieën of manueel (Kim, 2020). Er bestaan reeds enkele studies over methoden voor de gegevensverwerking: kalibratie van het beeldmateriaal (Kim, et al., 2019) en de procedure om auto's in het beeldmateriaal te detecteren (Wang, Chen, & Yin, 2016). Het grote voordeel van computervisietechnieken is het potentieel om microscopische gegevens over weggebruikers te verzamelen met een mate van automatisering en nauwkeurigheid die niet haalbaar is met handmatige of halfautomatische technieken. De objectiviteit en automatisering bij het gebruik van computervisietechnieken voor het uitvoeren van verkeersconflictanalyses maakt het mogelijk de twee belangrijkste uitdagingen van de traditionele, op waarnemers gebaseerde verkeersconflictanalyse aan te pakken: de kosten en de subjectiviteit (Ismail, Sayed, & Saunier, 2011).

4.5.3 Surrogaat veiligheidsindicatoren

In de meeste onderzoeken wordt er voor verkeersveiligheidsanalyses hoofdzakelijk gebruik gemaakt van ongevallenstatistieken als de belangrijkste gegevensbron. Hoewel deze methode lange tijd werd toegepast, kunnen er verscheidene tekortkomingen worden aan toegeschreven. Daarbij zijn volgende aspecten van groot belang: (i) ongevallen gebeuren in vergelijking met andere gebeurtenissen in het verkeer vrij zelden, ze zijn het gevolg van een reeks ongelukkige realisaties van vele kleine waarschijnlijkheden; (ii) ongevallen zijn zeldzame gebeurtenissen waardoor het moeilijk is om verkeersveiligheidsanalyses alleen te baseren op ongevallen; (ii) niet ongevallen worden gerapporteerd en de mate van onderrapportering hangt af van de ernst en het type weggebruiker; (iv) informatie over de gedragingen die vooraf gaan aan het ongeval zijn zelden beschikbaar.

Om aan deze tekortkomingen tegemoet te komen kan er worden geopteerd om met een alternatieve methode verkeersveiligheid in kaart te brengen. Eén van die methodes is het gebruik maken van surrogaat indicatoren. Surrogaat veiligheidsindicatoren (‘Surrogate Safety indicators’) leunen op het idee dat ongevallen plaatsvinden door interactie. Een interactie wordt gedefinieerd als een herkenbare toestand waarin twee weggebruikers elkaar in tijd en ruimte naderen op een zodanige manier dat er kans is op een botsing wanneer hun handelingen ongewijzigd blijven (Marisamynathan & Vedagiri, 2020). De term surrogaat impliceert dat de indicatoren niet gebaseerd zijn op ongevallencijfers, maar een

alternatief of aanvulling beiden voor verkeersveiligheidsanalyses die gebaseerd zijn op ongevallendata. Deze indicatoren worden gebruikt om kritische gebeurtenissen te onderzoeken. Het zijn proactieve indicatoren die de veiligheid van de weggebruikers weergeven. Door de hogere frequentie zijn surrogaatindicatoren makkelijker te analyseren. Daarnaast kunnen surrogaat indicatoren gebruikt worden in diverse situaties met verschillende weggebruikers en verschillende types infrastructuur. Maar niet alle indicatoren zijn even geschikt voor alle soorten omgevingen en gebeurtenissen. Uit een studie van Barmpounakis et al. (2019) blijkt dat data die wordt verzameld via dronebeelden veelbelovende mogelijkheden bieden voor het ontwikkelen en gebruiken van surrogaat indicatoren. In deze studie zal hoofdzakelijk gefocust worden op deze indicatoren. Bij de analyse van dronebeelden kunnen deze indicatoren gebruikt worden om de verkeersveiligheid van een bepaald gebied in kaart te brengen.

4.5.3.1 Trajectoriën

Om de bewegingen en verplaatsingen van verkeersdeelnemers in kaart te brengen zijn trajectoriën in empirisch verkeersonderzoek zeer bruikbaar. Een trajectorie is een 'spoor' dat wordt gegenereerd door de beweging van een entiteit (bijvoorbeeld een persoon of voertuig) gedurende een specifiek tijdsvenster (De Sousa, Boukerche, & Loureiro, 2020).

De trajectoriën van weggebruikers zijn waardevolle data voor een grondige verkeersanalyse (Kim, et al., 2019). Een nauwkeurige schatting van de blootstelling en van andere verkeersveiligheidsparameters, zoals de ernst van verkeersconflicten, kan worden gemaakt door de trajectoriën van weggebruikers, dat wil zeggen hun ruimtelijke en temporele posities, te analyseren (Zaki, et al., 2013). Daarnaast kunnen ze dienen om verkeerscongestie en ongevallen te reduceren. Deze gegevens kunnen worden gebruikt voor de analyse van verschillende verkeersfenomenen zoals rijstrookveranderingen gedrag, verkeersschommelingen, capaciteitsverminderingen en potentiële ongevallen (Kim, et al., 2019).

Khan et al. (2018) wijzen erop dat dronetechnologie snel is verbeterd en het data met een hoge resolutie (zowel in de ruimte als in de tijd) kan opleveren. Die gegevens kunnen verder worden gebruikt om voertuigtrajectoriën te extraheren en verkeersparameters te schatten. Onderzoek van Kim (2020) benadrukt dat de trajectoriën van voetgangers en fietsers waardevol zijn voor toekomstig onderzoek. De beschikbaarheid van deze trajectoriën faciliteert de analyse van en onderzoek naar deze weggebruikers. Oh & Kim (2010) wijzen erop dat veel indicatoren werden ontwikkeld om ongevallenrisico te onderzoeken. Daarbij is een van de grootste uitdagingen voor het gebruik van deze indicatoren de dataverzameling van trajectoriën aangezien de meeste indicatoren deze nodig hebben als input. Ook Saunier et al. (2010) gebruikten voor hun onderzoek naar

het gedrag van weggebruikers op kruispunten gedetailleerde trajectoriën. Zij duiden op het belang van deze parameter bij het interpreteren van conflicten.

In dit onderzoek zullen hoofdzakelijk op basis van trajectoriën analyses worden uitgevoerd. Door trajectoriën van weggebruikers te extraheren uit videobeelden kan verkeersveiligheid met een veel hogere ruimtelijke en temporele resolutie worden geanalyseerd dan met de huidige technieken mogelijk is (Ismail, Sayed, & Saunier, 2011). De trajectoriën zullen automatisch gegenereerd worden door de verkeerssoftware, waardoor deze van de verschillende weggebruikers beschikbaar zullen zijn voor analyse. Elke trajectorie bevat gedetailleerde informatie zoals locatie, snelheid, bewegingsrichting, ID en object type (voertuig/voetganger/fietser/…).

4.5.3.2 Bijna ongevallen

In de meeste onderzoeken worden gegevens van verkeersongevallen gebruikt om de verkeersveiligheid te analyseren. Deze data zijn vaak gedetailleerd, maar doorgaans schaars. Daarenboven is ook de afhankelijkheid van deze ongevallendata onvoldoende voor het onderzoeken van interacties tussen voetgangers en voertuigen, omdat de hoeveelheid en kwaliteit van de gegevens te beperkt is.

Geautomatiseerde methodes voor surrogaat veiligheidsanalyse zijn in opmars in de literatuur (Sayed, Zaki, & Autey, 2013; Kassim, Ismail, & Hassan, 2014; Sakshaug, et al., 2010) aangezien zij inzicht bieden in het faalmechanisme dat kan leiden tot een botsing. Surrogaatindicatoren vormen een geschikte indicator voor het evalueren van risico's van kop-staartbotsingen omdat ze zowel ruimtelijk nabijheid en snelheid bevatten (Das & Maurya, 2020). De onderzoekers stellen dat surrogaatindicatoren aan de ene kant de mogelijke causaliteit van de botsing tonen terwijl aan de andere kant deze indicatoren kunnen beschouwd worden als een proactieve houding, die de veiligheid beoordelen voordat er daadwerkelijk een ongeval plaatsvindt.

Surrogaatveiligheidsgegevens zoals verkeersconflicten en -overtredingen kunnen worden gebruikt om een beter inzicht te krijgen in de factoren die tot de botsing bijdragen en in het faalmechanisme van de botsing (Zaki, et al., 2013). Verkeersconflicttechnieken, hoewel oorspronkelijk ontwikkeld voor voertuigomgevingen, zijn aangepast voor kwetsbare gebruikers om een aantal van de uitdagingen met betrekking tot geautomatiseerde veiligheidsanalyse te overwinnen. Onder verkeersconflicten vallen gebeurtenissen die voldoende dicht bij echte ongevallen staan (Tarko, et al., 2009).

Wu et al. (2020) onderscheiden drie methoden om bijna-ongevallen data te verzamelen: rijsimulaties, veldonderzoek en naturalistisch rijonderzoek. Tot deze laatste categorie behoort dronetechnologie. Met behulp van drone-technologie is

het mogelijk om aanrijdingen die bijna hebben plaatsgevonden, de bijna ongevallen, vast te leggen. De geautomatiseerde analyse kan conflicten detecteren en zeer accuraat verschillende objectieve conflict indicatoren berekenen zoals 'Time-To-Collision' (TTC), 'Post-Encroachment-Time' (PET) en 'Heavy braking'. Deze conflictindicatoren kunnen de ernst van een verkeersconflict op een objectieve en kwantitatieve manier weergeven (Rahman, Abdel-Aty, Lee, & Rahman, 2019). Op deze manier zijn veel meer gegevens beschikbaar om te analyseren dan de meeste technologieën kunnen bieden. De meeste studies richten zich op conflicten tussen autobestuurders. In deze analyse worden echter de conflicten tussen automobilisten en kwetsbare weggebruikers (voetganger en fietser) onder de loep genomen.

Er zijn relatief weinig studies die aan de hand van surrogaat indicatoren analyse uitvoeren van conflicten tussen kwetsbare weggebruikers en voertuigen. Studies tonen hoofdzakelijk resultaten van conflicten tussen autobestuurders. Voetgangers en fietsers zijn echter kwetsbaarder en de gevolgen zijn doorgaans ernstiger. Met behulp van data verzameling via dronetechnologie kan dit hiaat in het onderzoeksveld worden opgevuld. Daarbij kunnen softwareprogramma's een aantal hulpmiddelen bieden om bijna-botsingen en verkeersconflicten te detecteren die statistisch gezien vaker voorkomen dan echte verkeersongevallen. Analyse kan licht werpen op het ontstaan van deze conflicten. Bovendien is het mogelijk de situatie en de exacte locatie te identificeren.

De software DataFromSky Viewer biedt drie types verkeersconflict indicatoren aan: tijd tot de botsing ('Time-To-Collision'), tijd na het inhaalmanoeuvre ('Post-Encroachment-Time') en hevig remmen ('Heavy braking'). Deze typen omvatten allemaal gevaarlijk gedrag tussen twee verkeersdeelnemers (DataFromSky, 2019):

Time-to-collision:

> "Calculates in how many seconds the vehicles would collide if they were moving at a constant speed and direction"

Post-encroachment-time

> "The difference between the time when the first vehicle enters the conflict point until the time another vehicle arrives at this point"

Heavy braking

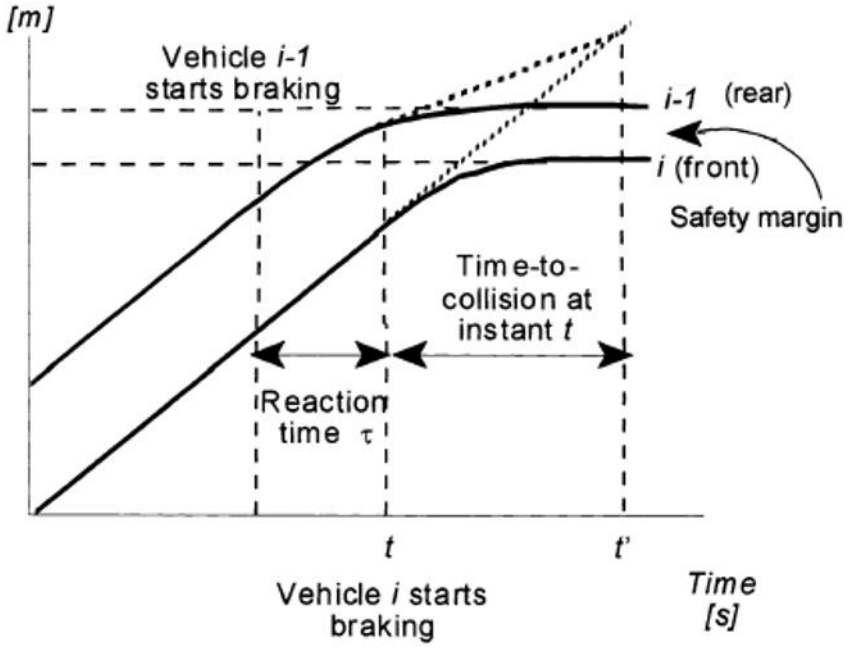
> "This is a detection of rapid deceleration, used to detect collisions or dangerous situations"

4.5.3.3 Time-To-collision

De term Time-To-Collision (TTC) werd voor het eerst door Hayward (1972) gehanteerd. In het onderzoek wordt TTC omschreven als 'the time that remains until a collision between two vehicles would have occurred if the collision course and speed difference are maintained'. Het is de tijd voordat een botsing zal plaatsvinden wanneer de conflicterende weggebruikers hun huidige traject blijven

aanhouden aan dezelfde snelheid. In Figuur 19 wordt dit schematisch weergegeven: TTC_i (t) duidt de TTC waarde aan van het volgende voertuig i op tijdstip t; x en v duiden de positie en de snelheid van de voertuigen aan; l_{i-1} is de lengte van de voorste wagen. Hoe kleiner de TTC waarde, hoe hoger het risico op een botsing op een bepaald tijdstip (Minderhoud & Bovy, 2001).

$$\mathrm{TTC_i}\,(t) = \begin{cases} \dfrac{x_{i-1}\,(t) - x_i\,(t) - l_{i-1}}{v_i\,(t) - v_{i-1}\,(t)}, & \text{if } v_i\,(t) > v_{i-1}\,(t) \\ \infty, & \text{if } v_i\,(t) \le v_{i-1}\,(t) \end{cases} \quad (1)$$



Figuur 19. Time-To-Collision geïllustreerd met voertuigtrajectoriën (Minderhoud & Bovy, 2001)

Hoewel over het begrip TTC algemene consensus bestaat, wat deze inhoudt is dat niet het geval wat betreft de grenswaarde die moet worden gehanteerd. Bij veiligheidsstudies op basis van de indicator TTC moet ook een geschikt drempelniveau worden bepaald om een onderscheid te maken tussen ernstige of "relevante" voorvallen die voor de veiligheid van belang zijn (Archer, 2005). Om het risico te analyseren van een voertuig volg model moet een drempelwaarde van de tijd tot botsing worden bepaald. Deze drempelwaarde dient een onderscheid te maken tussen onveilige en veilige voertuig-volg gebeurtenissen. Een minimale TTC-waarde (TTC_{min}) wordt vaak gebruikt als indicator om de ernst van een conflict in te schatten. In essentie komt het erop neer dat als de TTC_{min}-grens lager is, de ernst van een conflict hoger zal zijn (Das & Maurya, 2020). De drempelwaarde verschilt naargelang het onderzoek, waarbij het type weggebruiker, het wegtype en de verkeersituatie invloed hebben op deze waarde. Uit een synthese van eerdere studies kwamen Das & Maurya (2020) uit op een bereik van de drempelwaarde van 0,90-5s, die voor verschillende verkeers- en rijscenario's zijn vastgesteld.

Maretzke & Jacob (1992) hanteren een drempelwaarde van 5 seconden in stedelijk gebied, terwijl andere onderzoekers (Van der Horst & Hogema, 1993; Hirst & Graham, 1997) een drempelwaarde van 4 seconden hanteren om ongevallen te vermijden. Een lagere drempelwaarde van 3 seconden werd gerapporteerd door Brown, Lee & McGehee (2001). Bij een hogere waarde werden immers te veel bijna-ongevallen gegenereerd. Ook Tageldin & Sayed (2016) halen aan dat een grenswaarde van 3 seconde in vele studies als kritische drempelwaarde wordt aangenomen om conflicten vast te stellen. In hun onderzoek naar conflicten op een druk kruispunt met gemengd verkeer in India hanteerden ze echter een veel lagere grenswaarde (1,5 seconden), aangezien een grenswaarde van 3 seconden een extreem groot aantal gebeurtenissen oplevert. Hogema & Janssen (1996) stellen dat de minimumwaarde op 2.6 seconden dient te liggen. In een literatuurstudie van Johnson et al. (2018) naar de surrogaatindicatoren voor kwetsbare weggebruikers werden de bevindingen van verschillende onderzoekers gebundeld. Daarbij werden grenswaarden TTC_{min} (minimum TTC waarde) en TA (tijd tot het ongeval: TTC waarde op het ogenblik dat een betrokken weggebruiker een uitwijkmanoeuvre doet) gehanteerd, weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2: Valideringsstudies van op TTC gebaseerde indicatoren (Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018)

Reference	Indicator	Validation method	Number of locations	Duration of observation per location (h)	VRU included
Hydén (1977)	TA < 1.5s	Variance of conflict/accident ratio	115	8	Yes
Lord (1996)	TA < 1.5s	Correlation between accident model and observed number of conflicts	8	8	Yes
Sacchi et al. (2013)	TTC < 3s	Comparison between accident based and conflict based before and after study	3	16	No
El-Basyouny and Sayed (2013)	TTC < 1.5s	Correlation between SPF based on conflicts and recorded accidents	51	16	Yes
Sacchi and Sayed (2016)	TTC < 1.5s	Correlation between SPF based on conflicts and recorded accidents	49	16	Yes

Note: TA = time to accident, TTC = time to collision, SPF = safety performance function.

Doorgaans worden voor TTC voertuigtrajectoriën gehanteerd en geeft deze parameter de mogelijke gevaren weer tussen voertuigen. Een van de redenen is een tekort aan data van andere weggebruikers om de trajectoriën te bekomen. Met de opkomst van dronetechnologie in verkeersonderzoek wordt het mogelijk om trajectoriën van andere weggebruikers (voetgangers en fietsers) te verzamelen, die voordien niet werden gegenereerd. Voor de TTC tussen andere weggebruikers gelden andere drempelwaarden. In een studie van Matsui, Oikawa & Hitosugi (2016) waarbij benaderingspatronen werden geanalyseerd, werd geconcludeerd dat TTC voor bijna ongevallen (overstekende fietser en voorwaarts rijdende auto op een kruispunt of op een rechte weg) tussen voertuig en fietser significant lager ligt (3.26 s) dan bij bijna ongevallen tussen voertuig en voetganger (1.96 s). De gemiddelde TTC waarden van fietsers ligt ongeveer 1.5 keer zo hoog dan die van voetgangers. In een Canadees onderzoek van Sayed et al. (2013) werd gebruik gemaakt van een geautomatiseerde methode om TTC te bekomen om de ernst van interacties met fietsers te onderzoeken op een druk

kruispunt. Daarbij werd alleen gekeken naar conflictsituaties met een drempelwaarde minder dan 3 seconden.

De temporele parameter TTC wordt vaak in analyse van verkeerssituaties gebruikt vanwege de eenvoud en de betrouwbaarheid (Das & Maurya, 2020; Wu, et al., 2020). Toch wijst Archer (2005) erop dat de ernst van een bepaalde TTC gebeurtenis impliciet wordt weergegeven door de tijdswaarde die afgeleid wordt uit snelheid en afstand. Dat wil zeggen dat alle minimale TTC waarden worden beschouwd als even ernstig, ongeacht de snelheid (geen onderscheid tussen 10km/u of 100km/u). De TTC parameter gaat er vanuit dat er objecten een constante snelheid hebben en niet versnellen of vertragen (Wu, et al., 2020; Archer, 2005). De grenswaarde van TTC wordt voorgesteld als een vaste waarde in plaats van een functie die afhankelijk is van factoren zoals snelheid en rembewegingen. Het is geen realistische voorstelling van de werkelijke situatie. Daarom is een TTC waarde minder bruikbaar als vergelijkende maatstaf voor de ernst van een conflict. Voor de drempelwaarde wordt een vaste waarde gebruikt, in plaats van een functie afhankelijk van snelheid en vertraging. Ook Lenard, Welsh & Danton (2018) stellen de vraag of TTC, snelheid of beiden dienen te variëren naargelang de verkeerssituatie. Olszewski et al. (2020) gaan verder en stellen dat TTC geen praktische maatstaf is aangezien ze in veel gevallen niet kan berekend worden, voornamelijk in situaties waarbij een voetganger en een automobilist niet op ramkoers liggen. Dit is in lijn met Ismail, Sayed & Saunier (2011) die stellen dat TTC in het algemeen geschikter is om de ernst van verkeerssituaties met risico van een kop-staartbotsing te begrijpen.

4.5.3.4 Post-Encroachment-Time

De Post-Encroachment-Time (PET) wordt gebruikt om situaties te meten waarin twee weggebruikers een gemeenschappelijk ruimtelijk punt of gebied passeren met een tijdsverschil dat kleiner is dan een vooraf bepaalde drempelwaarde (Archer, 2005). De PET tussen twee weggebruikers kan gebruikt worden als surrogaat indicator en wordt gedefinieerd als de tijdsperiode vanaf het moment dat de eerste weggebruiker de conflict zone verlaat totdat de tweede weggebruiker deze bereikt (Marisamynathan & Vedagiri, 2020). Het is een waarde voor interacties met overlappende trajectoriën. Een PET-waarde gelijk aan nul wijst op geen marge, dat wil zeggen een crash.

Kraay & Van der Horst (1985) duiden een PET waarde van 1 seconde of minder aan als de grenswaarde voor een ernstig conflict. Sommige studies (Chen, Nakamura, & Asano, 2014) tonen aan dat PET de beste en meest gebruikte indicator is om oversteekconflicten tussen een voetganger en een voertuig te onderzoeken. Doordat PET afhankelijk is van de snelheid van de achteropkomende weggebruiker in plaats van zijn relatieve snelheid is deze beter geschikt om de ernst van kruisingen weer te geven dan TTC (Ismail, Sayed, & Saunier, 2011). Deze indicator heeft het voordeel dat ze eenvoudig te berekenen is, consistent is

in tijd, gerelateerd aan andere maatregelen en dat het geen schatting vereist van de resterende tijd tot het conflictpunt (zoals TTC). Hoe kleiner de PET waarde, hoe groter het risico op een voetganger-voertuig conflict. PET blijkt dus een significant en omgekeerd verband te vertonen met het risico op dodelijke ongevallen met voetgangers (Mukherjee & Mitra, 2020). Diezelfde onderzoekers concludeerden dat een vermindering van de gemiddelde PET met 1 seconde de kans op een dodelijk voetgangersongeval kan vergroten met 1,3 bij conflicten tussen voetgangers en voertuigen. Deze bevindingen toont aan dat bij afwezigheid van adequate ongevallendata, PET kan gehanteerd worden als proactieve maatregel om verkeersveiligheid van voetgangers te vergroten op kruispunten. De bevinding toont eveneens dat er een onderscheid dient gemaakt te worden tussen verschillende weggebruikers. Priyadarshini & Mitra (2018) bekwamen zeer gelijkaardige resultaten voor niet-gesignaleerde kruispunten in India. Olszewski et al. (2020) concludeerden in hun onderzoek naar het detecteren van conflicten dat PET, afstand tussen de weggebruikers en snelheid belangrijke indicatoren zijn. De reden voor deze laatste is dat de ernst van de voetgangersongevallen grotendeels afhankelijk is van de snelheid waarmee het voertuig de voetganger aanrijdt (Tefft, 2013; Kröyer, Johnsson, & Várhelyi, 2014). In onderzoek naar de verkeersveiligheid tussen voetgangers en fietsers gingen Beitel et al. (2018) na welke surrogaat veiligheidsindicatoren relevant zijn voor de analyse van risico's bij conflicten. Voor voertuigen werd de grenswaarde tussen 3 en 5 seconden voor conflicten en 1,5 seconde voor gevaarlijke conflicten vastgelegd. In een niet-gemotoriseerde ruimte liggen de snelheden lager en bevinden de interacties zich dichter bij elkaar. In deze situatie wordt een grenswaarde van 5 seconden aangenomen voor 'interacties tussen weggebruikers' en een grenswaarde van 2 seconden voor 'conflicterende weggebruikers'.

Onderzoeker Archer (2005) stelt zich de vraag of PET als surrogaat indicator representatief is voor processen die aan verkeersongevallen voorafgaan. Een studie naar de conflicten tussen voetgangers/fietsers en voertuigen toonde aan dat de indicatoren voor ontwijkende acties van voetgangers die gebruik maken van gangparameters beter presteren dan individuele indicatoren voor nabijheidsconflicten, zoals (PET) en TTC in minder georganiseerde verkeersomgevingen (Tageldin & Sayed, 2016). Hoewel Beitel et al. (2018) grenswaardes vastleggen voor PET, blijkt dat deze indicator niet voldoende is om het risico aan te duiden van conflicten. Vooral bij kwetsbare weggebruikers en de variëteit aan soorten interactie die kunnen optreden in gedeelde ruimte is de afzonderlijke PET waarde niet altijd een goede indicator. Toch kan de berekening van een PET eenvoudig geautomatiseerd worden uitgevoerd op basis van videobeelden.

4.5.3.5 Heavy braking

In verkeersveiligheidsanalyses wordt vaak ook de indicator is 'heavy braking' of 'deceleration rate' opgenomen. Het is een indicator die nagaat hoe snel een

voertuig moet afremmen om een ongeval te vermijden. Naast TTC en PET vormt deze indicator een derde categorie van surrogaat indicatoren. Deze parameter is gebaseerd op het meest voorkomende uitwijkmanoeuvre, namelijk afremmen. Het vertragingsvermogen werd voor het eerst vermeld door Hydén (1987) als een belangrijk aspect om de ernst van een conflict in te schatten. Tageldin et al. (2015) geven aan dat plotse snelheidswijzigingen (onder andere rembewegingen) een betere indicator zijn voor het identificeren van conflicten dan individuele nabijheids- en tijdsmetingen zoals TTC. Volgens Hupfer (1997) kan een vertragingsbeweging gebruikt worden als een indicator voor de ernst van het conflict. Een grenswaarde van 4m/s² is een indicatie van een ernstig conflict. In een situatie met grenswaarde 4m/s² of meer is een snelle respons van één van de verkeersdeelnemers nodig en wordt het moeilijk deze onder controle te krijgen. Rembewegingen boven 6 m/s² werden door de onderzoeker beschouwd als noodstop. Deze grenswaarden werden ook aangehouden door Olszewski et al. (2020) in hun onderzoek naar conflicten tussen voetgangers en automobilisten op niet-gesignaleerde kruispunten.

Archer (2005) wijst er echter op dat de meting met behulp van de huidige meetsystemen vaak moeilijk en veeleisend is. Doorheen de jaren zijn deze technieken echter sterk verbeterd en kan de berekening van deze parameter worden vereenvoudigd door het gebruik van dataverwerkingssoftware.

4.5.3.6 Snelheid

Naast de opgegeven indicatoren voor bijna-ongevallen vormt snelheid ook een relevante indicator bij de analyse van verkeerssituaties. Metingen van snelheid en snelheidsvariatie en hun relatie met ongevallen hebben veel aandacht gekregen in de literatuur over verkeersveiligheid (Archer, 2005). Snelheid wordt al jaren genoemd als een factor die in belangrijke mate bijdraagt aan meer dan 30 procent van alle dodelijke ongevallen en 12 procent van alle ongevallen in het verkeer (Bowie & Waltz, 1994).

Snelheid is een belangrijke parameter als men kijkt naar de verkeersveiligheid van schoolomgevingen. Zoals Rahman et al. (2019) constateerden zijn schoolomgevingen van groot belang op het gebied van verkeersveiligheid. In hun studie bepaalden ze welke maatregelen effect hebben op de verkeersveiligheid. Gezien de grote hoeveelheid studies die de effectiviteit van verkeersregulerende interventies evalueren, is er nog een tekort aan evaluaties over het effect op schoolzones. De onderzoekers definiëren drie doeltreffende tegenmaatregelen: snelheidsverlaging, vermindering van het aantal opritten en vervanging van de linksaf strook in twee richtingen. Snelheidsbeperking kwam naar voren als een van de meest significante behandelingen. Snelheidsbeperking met behulp van borden, knipperbakens en snelheidscontroledisplay leidde tot een verlaging van de maximumsnelheid om de kinderen te beschermen tegen botsingen in het verkeer. Het is een veelbelovende aanpak om de verkeersveiligheid van kinderen te

verhogen (Dumbaugh & Frank, 2009). In een rapport van Várhelyi, Hjälmdahl & Hagring (2003) over de snelheid in kritische verkeerssituaties, wordt als vuistregel gesuggereerd dat elke snelheidsverlaging met 1 km/h resulteert in een vermindering van het aantal ongevallen met letsel tot 3%. Het rapport van Tefft (2013) stelt dat het gemiddelde risico op een dodelijk of zwaar letsel 10% is bij een impact snelheid van 27,5km/u, 50% bij 53,1 km/u en 90% bij 77,4km/u.

Onderzoekers Barmpounakis et al. (2019) voerden in Athene een studie uit naar de accuraatheid van gebruik van kleine drones voor het meten van microscopische verkeersparameters. Daarin werd de focus hoofdzakelijk gelegd op snelheidsmetingen. Uit de resultaten bleek dat drone-technologie zeer nauwkeurige gegevens kan verkrijgen, waarbij snelheidsfouten niet groter zijn dan 1,2 km/u. In Figuur 20 wordt de snelheidskaart weergegeven waarbij de kleuren een indicatie geven van de snelheid.



Figuur 20: Snelheidskaart van een stedelijke verkeersader in Athene (Barmpounakis, et al., 2019)

Hoewel deze metingen op een drukke verkeersader werden gehouden, zijn de resultaten veelbelovend voor de veiligheidsanalyse in schoolomgevingen. Analyse van deze parameter - in het bijzonder de snelheid van auto's – kan een eerste zicht bieden op de verkeersveiligheid van schoolomgevingen. De verschillende snelheden kunnen worden afgelezen aan de hand van een heatmap. Zo is het mogelijk dieper in te gaan op de problematische situaties (situaties waarin de snelheid overschreden wordt). Op basis van deze gegevens is het mogelijk om te achterhalen of extra (snelheids)maatregelen noodzakelijk zijn.

4.5.3.7 Andere surrogaat indicatoren

De meest courante surrogaat indicatoren werden reeds opgesomd. Daarnaast bestaan er ook nog tal van andere indicatoren, al dan niet afgeleid van de reeds vermelde indicatoren. ‘Gap time’ (GT) is een veelgebruikte indicator, hoofdzakelijk bij onderzoek tussen voertuigen. Deze indicator is gebaseerd op de indicator PET. ‘Gap time’ kan worden omschreven als de tijd tussen het binnenrijden van het

conflictgebied van twee voertuigen (Ismail, Sayed, & Saunier, 2011). Een andere afgeleide indicator is 'Time to accident' (TA). Deze indicator is gebaseerd op een TTC waarde op het moment dat een weggebruiker een ontwijkende actie onderneemt. Een overzicht van de overige surrogaat indicatoren wordt weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3: Overzicht van surrogaatindicatoren voor verkeersveiligheid (Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018)

Abbreviation	Indicator name	Description	Reference
TTC	Time to collision	The time remaining before the collision if the road users continue with their respective speeds and trajectories.	Hayward (1971) and van der Horst (1990)
TTCmin	Minimum time to collision	The minimum TTC value calculated in an event	Hayward (1971) and van der Horst (1990)
TA	Time to accident	The TTC value the moment an involved road user takes an evasive action	Hydén (1977)
TTZ	Time to zebra	The time remaining before a road user reaches the zebra crossing	Várhelyi (1998)
TTL	Time to lane crossing	The time remaining before a road user	Chin et al. (1992)
	The reciprocal of TTC	One divided by the TTC value	Chin et al. (1992)
TET	time-exposed time to collision	The time during an encounter when the TTC is below a certain threshold value	Minderhoud and Bovy (2001)
TIT	time-integrated time to collision	The area between the threshold level and the TTC curve when it drops below a certain threshold value	Minderhoud and Bovy (2001)
T2	T2	The predicted arrival time of the second road user, calculated while the first road user has not left the conflict point yet.	Laureshyn et al. (2010)
PET	Post-encroachment time	The time between the moment when the first road user leaves the path of the second and the moment when the second reaches the path of the first	Allen and Cooper (1978)
GT	Gap time	The time between the entries into the conflict spot of two vehicles	Allen and Cooper (1978)
ET	Encroachment time	The time when the first vehicle entering the conflict area infringes on the predicted path of the second vehicle	Allen and Cooper (1978)
TAdv	Time advantage	The predicted PET value, provided that the road users continue with their paths and speeds	Hansson (1975)
CI	Conflict index	A combination of PET with the speed, mass and angle of the involved road users to estimate the released kinetic energy in a collision.	Alhajyaseen (2015)
DR	Deceleration rate	The magnitude of the deceleration action of a driver the moment he or she begins an evasive braking manoeuvre	Gettman and Head (2003)
DST	Deceleration to safety time	The minimal necessary deceleration for a driver to avoid the collision	Hupfer (1997)
	Maximum absolute rate of change in the step frequency	Maximum absolute rate of change in the step frequency	Tageldin and Sayed (2016)
	Jerk profile	The time derivative of acceleration	Tageldin et al. (2015)
	Yaw rate	The angular velocity of the road users' rotation	Tageldin et al. (2015)
PRI	Pedestrian risk index	A combination of TTZ with the driver's reaction time and the braking capabilities of the vehicle	Cafiso et al. (2011)
DeltaV	DeltaV	The change in velocity forced on the road users because of a collision	Shelby (2011)
CS	Conflict severity	A combination of the indicators DeltaV, TA and the assumed maximum average deceleration	Bagdadi (2013)
Extended DeltaV	Extended DeltaV	A combination of DeltaV with the T2 indicator and a deceleration constant	Laureshyn et al. (2017)
ACI	Aggregated crash index	A combination of several indicators meant to represent the overall crash risk.	Kuang et al. (2015)
	Space occupancy index	Incursions into a safety area which is calculated around each road user	Ogawa (2007)

4.5.4 Combinatie van indicatoren

Er werd reeds een verscheidenheid aan indicatoren weergegeven in dit onderzoek. Deze indicatoren worden vaak afzonderlijk toegepast in de desbetreffende analyses. Toch zijn deze indicatoren niet louter op zichzelf staand en kunnen deze met elkaar gecombineerd worden om tot een grondige(re) analyse te komen.
Het is zeer waarschijnlijk dat een combinatie van indicatoren noodzakelijk is om het niveau van verkeersveiligheid te omschrijven. Daarom benadrukt Van Haperen (2019) dat onderzoek naar welke indicatoren elkaar aanvullen en op welke gebeurtenissen deze kunnen worden toegepast hoge prioriteit moet krijgen. Verder onderzoek naar het combineren van de vele verschillende indicatoren zou kunnen helpen de theoretische basis voor surrogaatveiligheidsindicatoren te versterken (Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018).

Wu et al. (2020) stellen dat elke indicator zowel voordelen als nadelen heeft bij eenzijdig gebruik. Zo wordt TTC vaak gehanteerd bij de detectie van bijna-ongevallen aangezien deze makkelijk te berekenen en te interpreteren is. De TTC gaat er echter vanuit dat objecten zich aan constante snelheid voortbewegen (zonder vertraging of versnelling), wat niet overeenkomt met de praktijk. PET is zeer bruikbaar voor kruisende conflicten en kan (net zoals TTC) eenvoudig worden berekend. Desalniettemin kan deze indicator de dynamiek van veiligheidskritieke gebeurtenissen van grote gebieden niet weergeven. In gedeelde ruimte voldoet PET niet om conflicten aan te duiden. Beitel et al. (2018) stellen dat PET eenvoudig kan worden aangevuld met andere veiligheidsindicatoren om de ernst van het conflict te bepalen.
Gezien de beperkingen van de afzonderlijke indicatoren kan de combinatie van verschillende indicatoren de accuraatheid van het identificeren van bijna-ongevallen verhogen (Kaparias, et al., 2010; Laureshyn, Svensson, & Hydén, 2010). Het is dus aannemelijk dat verschillende indicatoren een gedeeltelijk beeld geven van de werkelijke ernst van een verkeerssituatie en soms zelfs verschillende aspecten weergeven (Ismail, Sayed, & Saunier, 2011). Uit onderzoek van Olszewski et al. (2020) kwamen gelijkaardige resultaten. In hun onderzoek naar voetganger-voertuig conflicten op basis van video analyse bleek geen enkele indicator afzonderlijk in staat om alle gevaarlijke interacties vast te leggen. Daarom geven de onderzoekers aanbevelingen om in toekomstig onderzoek gebruik te maken van een set indicatoren. Ook Ismail et al. (2009) geven aan dat verder onderzoek naar de combinatie en relatie van surrogaatindicatoren noodzakelijk is.

4.5.4.1 Letselrisico

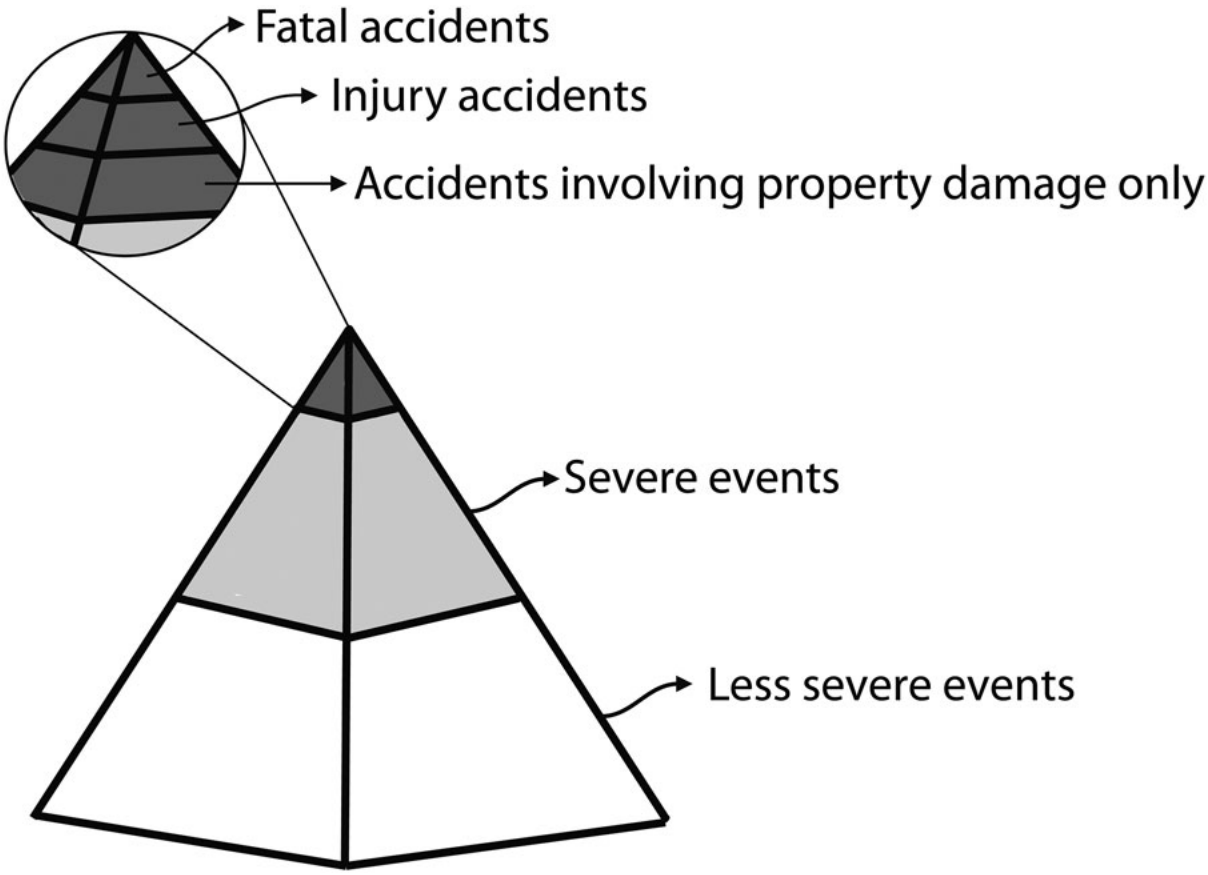
Bijna alle indicatoren beperken zich tot de inschatting van het risico op een ongeval. De ernst van het ongeval en de mogelijke gevolgen van een mogelijk ongeval worden meestal niet in aanmerking genomen (Mahmud, et al., 2017). Om de ernst van een potentieel conflict beter weer te geven kunnen indicatoren

worden gecombineerd met andere indicatoren of variabelen (zoals snelheid) die een beter inzicht in de situatie kunnen verschaffen (Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018). Laureshyn, Svensson & Hydén (2010) deden onderzoek naar de ernst van gebeurtenissen. Daarbij maakten ze een onderscheid in twee categorieën: ongevalsrisico en letselrisico. De ernst wordt berekend door de combinatie van beide aspecten (zie Tabel 4). De tabel geeft duidelijk weer dat de ernst van een (bijna)ongeval afhankelijk is van verschillende factoren of indicatoren.

Tabel 4: Factoren die de kans op letselrisico en ongevalsrisico beïnvloeden (Svensson, 1998)

Collison risk	Injury risk
• Closeness in time • Closeness in space • Speeds of the involved road users	• Speed differences • Mass differences • Relative angle • Fragility of the involved road users

De ernst van een ongeval wordt door Hydén (1987) en Svensson (1998) visueel weergegeven aan de hand van een piramide (zie Figuur 21). Aan de basis van deze piramide bevinden zicht de minst gevaarlijke situaties. De basis van de piramide wordt gevormd door normale verkeerssituaties die vrij veilig zijn en frequent voorkomen. Daarnaast zitten aan de top van de piramide de ernstige gebeurtenissen die eerder zelden voorkomen, zoals botsingen met gewonden of doden. Hoe hoger in de piramide, hoe hoger de ernst van de verkeerssituatie (letselongevallen en dodelijke ongevallen).



Figuur 21: Het niveau van de ernst van verkeerssituaties (Hydén, 1987; Svenson, 1998)

Johnson et al. (2018) geven in een beknopt overzicht de verschillen tussen de verschillende indicatoren weer die worden onderverdeeld naargelang het ongevallenrisico ('initial conditions': initiële omstandigheden, 'evasive actions': ontwijkende omstandigheden, 'outcomes': uitkomst) en letselrisico, zie Tabel 5. Daaruit blijkt dat indicatoren zoals TTC en PET uitkomsten zijn van een verkeersgebeurtenis, maar niets zeggen over het lestelrisico. Zoals af te lezen uit de tabel geven de vaak gebruikte indicatoren (TTC en PET) geen inzicht in het letselrisico. De meeste verkeersindicatoren houden onvoldoende rekening met de ernst van de letsels die het gevolg zijn van een botsing. Meestal geven deze indicatoren de ernst van het verkeersconflict weer als de nabijheid tot een botsing in termen van ruimte of tijd. Nabijheid is echter slechts één dimensie van de 'ernst' van het ongeval (Laureshyn, et al., 2017).

Tabel 5: Overzicht van surrogaatveiligheidsindicatoren en hun relatie tot ongevallenrisico en letselrisico (Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018)

	Collision risk				No. of validation studies	
	Initial conditions	Evasive actions	Outcomes	Injury risk	All	Including VRUs
TTC-based indicators (Hayward, 1971; Minderhoud & Bovy, 2001; van der Horst, 1990)	No	No	Yes	No	3	2
Time to accident (Hydén, 1977)	Yes	No	No	No	2	2
PET-based indicators (Allen & Cooper, 1978; Hansson, 1975; Laureshyn et al., 2010; Mohamed & Saunier, 2013)	No	No	Yes	No	7	1
Conflict index (Alhajyaseen, 2015)	No	No	Yes	Yes	1	0
Deceleration-based indicators (Balasha, Hakkert, & Livneh, 1979; Gettman & Head, 2003; Hupfer, 1997)	No	Yes	No	No	0	0
Yaw rate (Tageldin et al., 2015)	No	Yes, for motorcyclists	No	No	0	0
Pedestrian risk index (Cafiso et al., 2011)	Yes	Yes, for motor vehicles	-	Yes	0	0
Conflict severity (Bagdadi, 2013)	Yes	No	-	Yes	0	0
DeltaV (Shelby, 2011)	No	No	No	Yes	0	0
Extended DeltaV (Laureshyn et al., 2017)	No	No	Yes	Yes	0	0
Change in step frequency (Tageldin & Sayed, 2016)	No	Yes, for pedestrians	No	No	0	0
Aggregated crash index (Kuang et al., 2015)	Yes	Yes	–	No	0	0
Space occupancy index (Ogawa, 2007)	Yes	No	No	No	0	0
The American TCT (Parker & Zegeer, 1989; Perkins & Harris, 1967)	No	Yes	No	No	4	0
The Canadian TCT (Brown et al., 1984; Sayed & Zein, 1999)	No	Yes*	Yes	No	3	3
The Dutch TCT (Kraay, 1987; Kraay et al., 2013)	Yes*	Yes*	Yes	Yes*	2	2
The Swedish TCT (Hydén, 1987; Svensson, 1992)	Yes	No	–	No	3	3
The British TCT (Baguley, 1984; Kaparias et al., 2010)	Yes*	Yes*	–	Yes*	3	0

*The asterisk indicates that the indicator relies on a subjective component.

Een belangrijk type surrogaatveiligheidsanalyse is de verkeersconflicttechniek ('Traffic Conflict Technique', TCT), waarbij verkeerstechnieken of bijna-ongevallen worden geanalyseerd (Ismail, Sayed, & Saunier, 2011). Er zijn echter niet veel TCT's die zowel letselrisico als ongevallenrisico combineren. Enkele uitzonderingen zijn onder andere de Zweedse, Nederlandse en Canadese Traffic Conflict Technique (TCT) (zie 4.6.2, conflictobservaties). De Zweedse techniek (Svensson, 1992; Hydén, 1987) maakt zowel gebruik van nabijheid in de tijd als de snelheid waarmee het conflict plaatsvindt. Hierdoor worden indirect de gevolgen weergegeven. Andere technieken zijn de Nederlandse (Kraay, van der Horst, & Oppe, 2013) en Canadese TCT (Kaparias, et al., 2010; Baguley, 1984). Zij maken gebruik van een subjectieve score voor de mogelijke gevolgen van een conflict. Deze wordt opgeteld bij de objectieve indicatoren die nabijheid (in tijd en ruimte) meten. Hoewel deze technieken veelbelovend zijn, bieden ze geen objectiviteit in de berekening van letselrisico en zijn ze afhankelijk van de interpretatie van de onderzoeker.

Zoals ook uit Tabel 5 blijkt, zijn de surrogaat indicatoren voor kwetsbare weggebruikers vrij beperkt. Slechts zes indicatoren die kwetsbare weggebruikers mee inrekening brengen werden reeds gevalideerd door onderzoek.

4.5.4.2 Factoren letselrisico

Het is belangrijk om de ernst van een verkeersongeval te begrijpen. Hiervoor wordt in de literatuur vaak verwezen naar combinatie van factoren. In onderzoek van Laureshyn, Svensson & Hydén (2010) worden verschillende factoren aangehaald die de ernst van de afloop van een ongeval bepalen. Zo onderscheiden ze het type weggebruiker, de botsing hoek en de botssnelheid. Uit ander onderzoek komen gelijkaardige bevindingen. Doorgaans vormen de kinetische energie (snelheid en gewicht) (Tefft, 2013; Rosén & Sander, 2009) en het type weggebruiker (Tefft, 2013; Tay, et al., 2011; Kim, et al., 2010) de belangrijkste factoren die bepalend zijn voor de ernst van een ongeval. Uit analyse van Wang et al. (2019) is gebleken dat de manier waarop de botsenergie vrijkomt en de bescherming die de slachtoffers dragen, belangrijke variabelen zijn die bijdragen tot de ernst van de verkeersongevallen.

Snelheid

Snelheid is niet alleen een belangrijke parameter voor het bepalen van het risico op een ongeval, het heeft ook invloed op de ernst van het ongeval. Olszewski et al. (2020) hebben onderzoek verricht naar surrogaat veiligheidsindicatoren voor conflicten met voetgangers. Daarbij stelden ze vast de ernst van een ongeval grotendeels wordt bepaald door de snelheid. Ongevallen die gebeuren aan hoge snelheid veroorzaken zwaardere verwoningen dan ongevallen aan lage snelheid. Tefft (2013) suggereert dat het gemiddelde risico op een zwaar of dodelijk ongeval (tussen automobilist en voetganger) stijgt naarmate de snelheid van de betrokkenen (10% bij 27,5 km/u, 50% bij 53,1 km/u en 90% bij 77,4 km/u). Meer algemeen stellen Wang et al. (2019) dat de ernst van een ongeval rechtstreeks bepaald wordt door de energie van de botsing, die samenhangt met de snelheid van de botsing. Deze samenhang kan eenvoudig worden afgelezen uit de formule van kinetische energie: $E_{kin} = \frac{m\,x\,v^2}{2}$; $m = massa, v = snelheid$. De kinetische energie neemt kwadratisch toe met de snelheid. De statistische gegevens uit hun onderzoek tonen aan dat snelheid een van de meest essentiële determinerende factoren is bij een ongeval. Er zijn aanwijzingen dat de relatieve snelheid van de betrokken weggebruikers belangrijker is dan de absolute snelheden (Laureshyn, Svensson, & Hydén, 2010).

Massa

Naast snelheid heeft ook massa invloed op de vrijgekomen kinetische energie. De kinetische energie neemt namelijk lineair toe met de massa. Wang et al. (2014) constateerden dat de betrokkenheid van zware voertuigen de ernst van het ongeval positief beïnvloeden. Dit komt overeen met de intuïtie dat ongevallen met zware objecten (voertuigen) een hoger risico hebben op ernstige gevolgen. Daarbij kan worden aangestipt dat het verschil in gewicht tussen weggebruikers de ernst van het ongeval mee bepaalt, ten nadele van diegene met het laagste gewicht. Ongevallen tussen vrachtwagens en kleinere wagens, hebben vaak grotere gevolgen voor deze laatste categorie vanwege het verschil in gewicht. Daarom hebben personen die zich verplaatsen in een voertuig met kleine massa, doorgaans meer kans op zwaardere verwondingen dan zij die zich verplaatsen in een voertuig met een grote massa (Laureshyn, Svensson, & Hydén, 2010). Deze variabele hangt nauw samen met het type weggebruiker.

Type weggebruiker

De ernst van een ongeval is ook afhankelijk van de betrokken weggebruikers. Voetgangers en fietsers worden aanzien als kwetsbare weggebruikers in het verkeer (Wong, et al., 2002). Kong & Yang (2010) trokken gelijkaardige conclusies uit hun studie over het risico van verkeersongevallen bij voetgangers. Daarbij concludeerden ze dat wanneer een ongeval zich voordoet de overlevingskans van de betrokkenen (naast de kinetische energie) ook afhankelijk is van de bescherming van de weggebruiker. Op basis van het feit dat voetgangers en fietsers in de meeste gevallen weinig (lichaams)bescherming hebben, worden ze aanzien als een zeer kwetsbare groep. De bescherming die de slachtoffers al dan niet dragen zijn belangrijke variabelen die bijdragen tot de ernst van verkeersongevallen (Wang, et al., 2019). Laureshyn et al. (2010) concludeerden dat wanneer alle andere variabelen constant worden gehouden onbeschermde weggebruikers (zoals voetgangers, fietsers, bromfietsers en motorrijders) meer kans hebben op ernstige verwondingen en letsels dan beschermde weggebruikers (mensen die zich verplaatsen met de auto, bus, vrachtwagen).
Uit onderzoek van Laureshyn et al. (2017) blijkt dat ook leeftijd een invloed kan hebben op de ernst van het ongeval. De waarschijnlijkheid dat een voetganger die door een gemotoriseerd voertuig wordt aangereden, overlijdt, hangt af van een complexe relatie tussen verschillende factoren, zoals onder andere de leeftijd van de voetganger (Kim, et al., 2010; Tay, et al., 2011). Een weggebruiker met hoge leeftijd heeft meer kans op zwaardere verwondingen dan een weggebruiker met een lage leeftijd.

Impactpunt

Het impactpunt van de weggebruiker bij de botsing heeft ook een invloed op de ernst van een ongeval. Voor botsingen met beschermde weggebruikers heeft dit verschillende gevolgen qua impact. Bij frontale aanrijdingen is de kans kleiner dat er ernstige verwondingen optreden door de kreukelzones die zijn voorzien bij voertuigen. Hierdoor kan een groot deel van de vrijgekomen energie worden geabsorbeerd (Laureshyn, et al., 2017). Bij loodrechte aanrijdingen is de kans op zware letsels groter, aangezien de zijkant doorgaans minder bescherming biedt (Laureshyn, Svensson, & Hydén, 2010). Diezelfde onderzoekers stellen de invalshoek vermoedelijk niet hetzelfde effect op de botsing als er kwetsbare verkeersdeelnemers bij betrokken zijn.

4.5.5 Conclusie

De literatuurstudie geeft een beknopte samenvatting van de bestaande onderzoeken omtrent de parameters die relevant zijn voor de verkeersveiligheidsanalyse. Allereerst werd er gekeken naar de parameters die invloed hebben op de captatie van de dronebeelden. Vervormingscorrectie, stabilisatie en georegistratie vormen de belangrijkste stappen voor de beeldverwerking. Hierbij kan worden opgemerkt dat er een grote afhankelijkheid bestaat ten opzichte van de gebruikte software en uitvoering van de dronevlucht.

Daarnaast werd onderzocht welke paramaters kunnen gebruikt worden om een verkeersveiligheidsanalyse uit te voeren op de verzamelde data. De trajectoriën van de weggebruikers liggen aan de basis van de analyse. Deze zullen dienen in verdere analyse als input voor de surrogaat veiligheidsindicatoren. Onderzoek wijst uit dat er een verscheidenheid aan surrogaat indicatoren bestaat. Daarbij valt op dat er onder de onderzoekers geen consensus bestaat over de grenswaarden die moeten worden aangehouden voor de respectievelijke indicatoren. Zo bestaan er voor elke indicator verschillende grenswaarden.

Eveneens kan worden geconcludeerd dat geen enkele afzonderlijke indicator in staat is om alle gevaarlijke situaties weer te geven en is deze afhankelijk van de verkeerssituatie en de betrokken weggebruikers. Bovendien zijn er geen indicatoren die zowel letselrisico als ongevallenrisico kunnen meten. Het combineren van verschillende surrogaat indicatoren kan een oplossing bieden. Daarbij zal moeten worden getracht om deze combinatie te optimaliseren zodat een betrouwbare en valide methode kan worden bekomen om verkeersveiligheid te analyseren.

Voor de verkeersveiligheidsanalyse van de schoolomgeving zal voornamelijk worden gekeken naar de surrogaatindicatoren die rekening houden met voetgangers en fietsers. Deze weggebruikers vormen de meest kwetsbare groep.

4.6 Onderzoeksmethodieken

- Jannes Bottu -

Verkeersveiligheid kan opgevat worden als een complex systeem met verschillende componenten. Deze componenten zijn factoren die bijdragen aan enerzijds een verbetering van de verkeersveiligheid en anderzijds aan de vermindering van de verkeersveiligheid. Door middel van wetenschappelijk onderzoek worden deze componenten onderzocht en zo nodig bijgestuurd om de impact ervan enkel positief te beïnvloeden.

Doorheen de jaren zijn er verschillende theorieën ontwikkeld die de oorzaak van een verkeersongeval beschrijven (Toft, et al., 2012). Daar waar ongevallen in het begin vaak benaderd werden via een persoonsbenadering, wordt er nu gewerkt met systeemtheorieën. Dit gaat van systemen zoals de Haddon-matrix, de epidemiologische benaderingen tot het Swiss Cheese Model van Reason (2000) (Perneger, 2005; Runyan, 1999). Op basis van de literatuur kan geconcludeerd worden dat er geen eenduidige benadering bestaat. Er worden tot op vandaag nog verschillende benaderingen gebruikt. Al staat wel vast dat verkeersveiligheid kan gezien worden als een complex systeem waarbij factoren zoals de mens, het voertuig en de omgeving bijdragen aan een onveilig systeem.

Om wetenschappelijk onderzoek naar bovengenoemde factoren uit te voeren zijn verschillende methodieken beschikbaar. Een van de methodes is een verkeersanalyse aan de hand van drones. Echter zijn er nog veel andere mogelijkheden zoals: observaties, tellingen, bevragingen, etc. Vooraleer deze methodes kunnen besproken worden is er nood aan een verkennende literatuurstudie met betrekking tot de (verkeers-)parameters die belangrijk zijn voor schoolomgevingen. Deze parameters zijn rechtstreeks of onrechtstreeks gelinkt aan de factoren die al dan niet bijdragen aan de verkeersveiligheid. Nadien worden de toepasbare onderzoeksmethodieken om de indicatoren te analyseren besproken. De bespreking van deze methodieken zal eerder algemeen zijn aangezien deze in het verdere onderzoek gedetailleerd worden besproken en afgewogen ten opzichte van drone-onderzoek.

4.6.1 Parameters

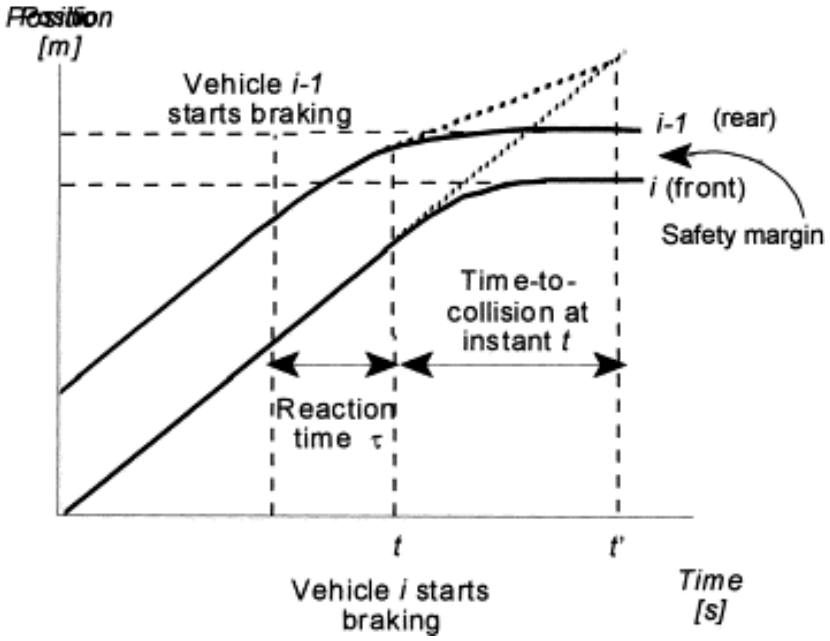
In deze literatuurstudie wordt specifiek gefocust op verkeersmonitoring en verkeersanalyses van schoolomgevingen. Hierbij wordt enerzijds gekeken naar parameters met betrekking tot verkeersveiligheid, anderzijds komen ook parameters over de verkeersstromen naar voren. Tot slot komt ook het gedrag van de weggebruikers aan bod.

4.6.1.1 Verkeersveiligheid

Verkeersveiligheid kan op verschillende manieren worden onderzocht. De meest directe manier is het uitvoeren van ongevalsanalyses (Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018). Het gaat hierbij over analyses die gemaakt worden op basis van ongevallendata verkregen door o.a. verkeersongevallenformulieren van de politie. Echter zijn er twee problemen met dergelijke analyses. Zonder een grote hoeveelheid aan data van ongevallen in een bepaald studiegebied is het moeilijk om echte analyses van de verkeersveiligheid te maken. Dit verklaart Elvik (2009) door de 'relatieve zeldzaamheid' en de willekeurigheid van ongevallen. Het tweede probleem valt toe te schrijven aan de onderrapportage van ongevallen, in het bijzonder van lichte ongevallen met zwakke weggebruikers (Elvik & Mysen, 1999). Om verkeersveiligheid te beschrijven zijn er dus andere methodes nodig. Een van deze methodes werkt via surrogaat veiligheidsindicatoren (Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018). Deze indicatoren voorspellen ongevallen en gelden als alternatief voor ongevallendata.

Time-To-Collision

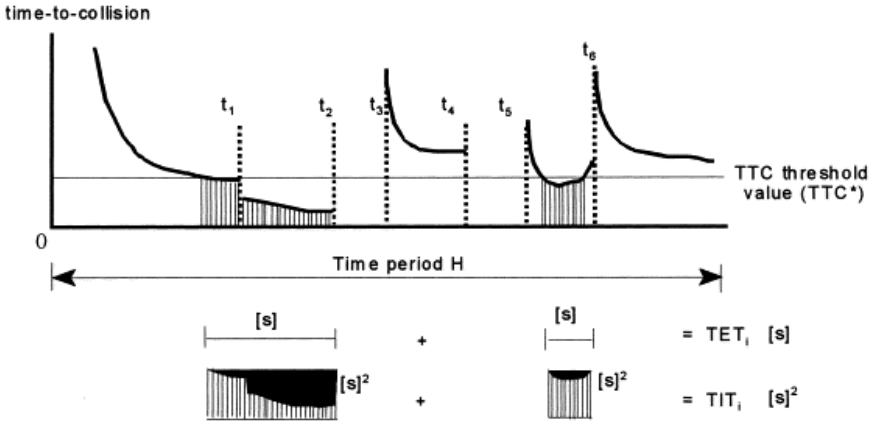
Een eerste voorbeeld van een surrogaat veiligheidsindicator is de 'Time-To-Collision' (TTC) (Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018). Deze indicator geeft de tijd weer tot een botsing van twee weggebruikers indien deze aan een constante snelheid en richting zouden blijven voortbewegen (Hydén C. , 1996). Hoe korter deze tijd is, hoe onveiliger een bepaalde situatie is. De TTC kan bijgevolg gebruikt worden als indicator voor potentiële botsingen, m.a.w. bijna-ongevallen (Minderhoud & Bovy, 2001). Een grafische weergave van de TTC is weergegeven op Figuur 22. Op deze figuur zijn de trajectoriën van twee voertuigen weergegeven. Op een bepaald moment begint het eerste voertuig (i-1) af te remmen. Voertuig i begint vervolgens na een reactietijd op moment t ook af te remmen. De TTC is op dat moment de tijd tot het moment dat voertuig i tegen voertuig i-1 zou botsen indien voertuig i niet zou afremmen.



Figuur 22: Grafische voorstelling TTC (Minderhoud & Bovy, 2001)

Om de ernst van een bepaalde situatie in te schatten aan de hand van de TTC dient gekeken te worden naar de minimale TTC (TTC_{min}) (Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018). Weggebruikers zijn voortdurend in beweging, de TTC is bijgevolg dus ook een dynamische indicator. Om een potentieel conflict in te schatten moet er gekeken worden naar de laagste waarde voor de TTC tijdens een bepaalde interactie tussen twee weggebruikers. Deze waarde kan vervolgens worden afgetoetst ten opzichte van de kritische waarde voor de TTC. Deze kritische TTC (TTC*) geeft een waarde voor de TTC weer die het onderscheid maakt tussen veilige en onveilige voertuigvolgsituaties (Saffarzadeh, et al., 2013). In de literatuur zijn verschillende waardes terug te vinden voor deze TTC*. Volgens een studie van Hirst en Graham (1997) kan de waarde van 4s voor de TTC* gebruikt worden om situaties te onderscheiden waarbij een bestuurder of de controle houdt (hoger dan 4s) of waarbij de bestuurder zich zonder intenties in een gevaarlijke situatie bevindt. Bella en Russo (2011) geven een waarde van 2,5s tot 3s op als TTC*. Nog een ander onderzoek geeft aan dat waardes onder de 1,5s als kritisch kunnen beschouwd worden (Van der Horst A. , 1990). Er kan geconcludeerd worden dat er doorheen wetenschappelijke studies verschillende waardes voor TTC* worden gebruikt. Op basis van peer-review van de bestaande literatuur zijn Das en Maurya (2020) tot de consensus gekomen om een TTC* van 3 seconden te hanteren.

Minderhoud en Bovy (2001) hebben naast de TTC nog twee andere indicatoren ontwikkeld om een beter inzicht te krijgen op de al dan niet potentiële conflicten. De eerste nieuwe indicator is de 'Time Exposed Time-to-collision' (TET). Deze indicator geeft de tijdsduur weer van alle blootstellingen aan waardes voor de TTC onder TTC* gedurende een tijdsinterval H op een bepaald wegsegment. Met andere woorden is dit de totale tijdsduur dat alle weggebruikers zich onder de kritische TTC bevinden gedurende een bepaalde periode H op een bepaald stuk van de openbare weg. Hoe groter de waarde voor TET, hoe gevaarlijker een bepaalde locatie is. Echter ontstaat er een nadeel bij de toepassing van TET. Door het gebruik van TET gaat het inzicht op de werkelijke waarde van de TTC verloren, er wordt nog enkel de tijd weergegeven wanneer de TTC onder de TTC* ligt. Om dit op te lossen hebben Minderhoud en Bovy (2001) ook de 'Time Integrated Time-to-collision' (TIT) ontwikkeld. Deze indicator staat voor de oppervlakte tussen de TTC-curve en de TTC*-constante en wordt uitgedrukt in s^2. Hoe groter de waardes voor de TIT, hoe langer de blootstelling aan tijdgewogen onveilige TTC-waardes. Bijgevolg kan gesteld worden dat een grote waarde voor TIT negatief is voor de verkeersveiligheid. Een grafische voorstelling is terug te vinden op Figuur 23.



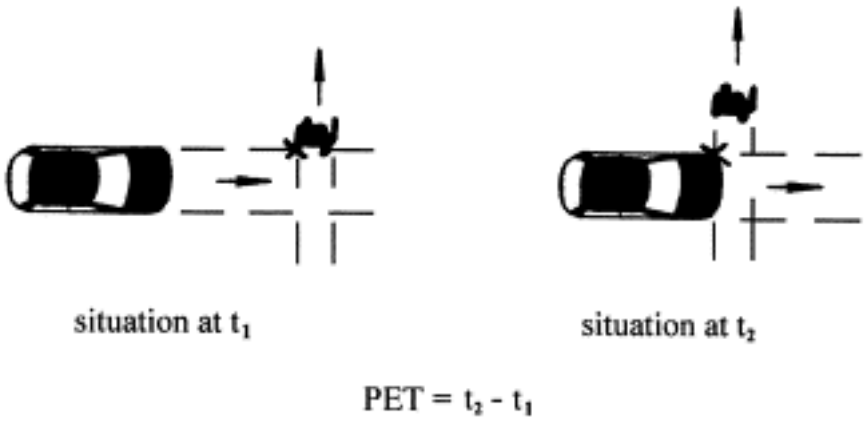
Figuur 23: Time Exposed TTC & Time Integrated TTC (Minderhoud & Bovy, 2001)

Doorheen de jaren zijn er nog verschillende andere indicatoren ontwikkeld die gedeeltelijk of helemaal gebaseerd zijn op de TTC (Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018). Enkele voorbeelden zijn 'Time-to-zebra' (tijd van een voertuig tot het zebrapad) en 'Time-to-accident' (TTC vanaf het moment dat men een uitwijkmanoeuvre start) (Várhelyi A. , 1998).

Post-encroachment-time

Ondanks dat de TTC een veel gebruikte indicator is voor verkeersveiligheid, kan deze indicator niet alle kritische interacties beschrijven. De TTC is namelijk nog altijd opgebouwd uit het fundament dat twee weggebruikers zouden botsen wanneer deze aan constante snelheid en in dezelfde richting blijven voortbewegen (Hydén C. , 1996). Echter als dit soort interactie niet plaatsvindt, dan kan de TTC niet gebruikt worden om een andere soort kritische interactie te beschrijven. Als oplossing hiervoor is de 'Post-encroachment-time' (PET) ontwikkeld. Deze

indicator geeft de tijd weer tussen het moment dat een eerste weggebruiker een virtueel conflictvak verlaat en een tweede weggebruiker dit virtueel conflictvak bereikt (Chen, et al., 2017; Várhelyi, 1998). De PET geeft dus het tijdsgebruik tussen twee voertuigen aan, waarbij een kleiner tijdsgebruik duidt op kritische situaties. Net zoals bij de TTC zijn ook voor de PET kritische waardes beschikbaar om onderscheid te maken tussen kritische en normale interacties. Van der Horst (1990) definieert waardes onder 1s voor PET als kritisch, waardes boven 2s worden als normaal beschouwd.



Figuur 24: Post-encroachment-time (Várhelyi, 1998)

Als gekeken wordt naar de validiteit van zowel de TTC als de PET kan gesteld worden dat beide indicatoren voor conflicten een correlatie vertonen met het aantal ongevallen (El-Basyouny & Sayed, 2013; Sacchi & Sayed, 2016; Ismail, Sayed, & Saunier, 2011).

Een variatie op de PET is de zogenaamde 'Gap time', ook wel tijdsgebruik genoemd (Ismail, et al., 2009). Anders dan de PET is de gap time een continue variabele die steeds het tijdsgebruik tussen een eerste weggebruiker en een tweede weggebruiker zal weergeven. Ook bij deze indicator geldt: hoe kleiner de gap time, hoe kritischer de interactie, hoe onveiliger de situatie.

Versnelling

Een andere belangrijke indicator die behandeld wordt in deze literatuurstudie is de deceleratie van weggebruikers. Een van de manieren om een conflict te vermijden is afremmen. Zowel voertuigen, fietsers, voetganger, etc. kunnen vertragen om een conflict te vermijden, het afremmen uit zich hierbij in negatieve versnellingen. Om rembewegingen te gebruiken als indicatoren van conflicten en bijgevolg onveilige verkeerssituaties worden over het algemeen twee indicatoren gebruikt: de 'decelaration rate' (DR) en de 'deceleration to safety time' (DST) (Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018; Ismail, et al., 2009). De DR geeft de waarde van de versnelling van de weggebruiker weer. Omdat er hier wordt gesproken over een deceleratie zijn de waardes voor de versnelling negatief. Net zoals bij de TTC en PET kunnen drempelwaardes worden toegepast die kritische van niet kritische

rembewegingen kunnen scheiden. Een tweede indicator die gebruikt kan worden is de DST (Hupfer, 1997; Ismail, et al., 2009). Deze indicator geeft weer hoeveel de minimale deceleratie moet bedragen om een botsing te vermijden. M.a.w., hoeveel een weggebruiker moet afremmen om een botsing om te zetten in een bijna-ongeval. Om vervolgens de conflicten te gaan classificeren volgens ernst heeft Hupfer (1997) een classificering op basis van DST opgesteld. Vanaf een DST van groter dan 1 m/s^2 is een reactie nodig, maar is de situatie onder controle. Vanaf het moment dat de DST gaat oplopen worden de situaties steeds kritieker en zijn aanpassingen (uitwijken, noodstop, ...) onvermijdelijk. De classificaties zijn weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6: Ernst van conflict gebaseerd op Deceleration to Safety Time (Hupfer, 1997)

$DST_x \leq 0$ m/s²:	Evasive action not necessary The predicted/reached safety time distance is bigger than *x*, an adaptation is not necessary.
$DST_0 < 1$ m/s²:	Adaptation necessary (interaction) The necessary evasive action is small, only a light adaptation has to be made.
$DST_0 < 2$ m/s²:	Reaction necessary (Conflict Level 1) The situation requires a noticeable deceleration of a road user. The situation is easy to control. There is time enough to consider other occurrences.
$DST_0 < 4$ m/s²:	Considerable reaction necessary (Conflict Level 2) The situation requires a considerable deceleration of one road user. The situation is controllable. Other occurrences can not be easy considered. (On a wet road this might be the maximum possible deceleration and is similar to an emergency breaking: Conflict Level 4)
$DST_0 < 6$ m/s²:	heavy reaction necessary (Conflict Level 3) The situation requires a heavy reaction of at least one road user involved in the conflict. The reaction is hardly controllable. Other traffic occurrences can not be considered.
$DST_0 \geq 6$ m/s²:	Emergency braking (Conflict Level 4) Uncontrollable reaction. Near miss accident.
Collision	

4.6.1.2 Verkeersmonitoring

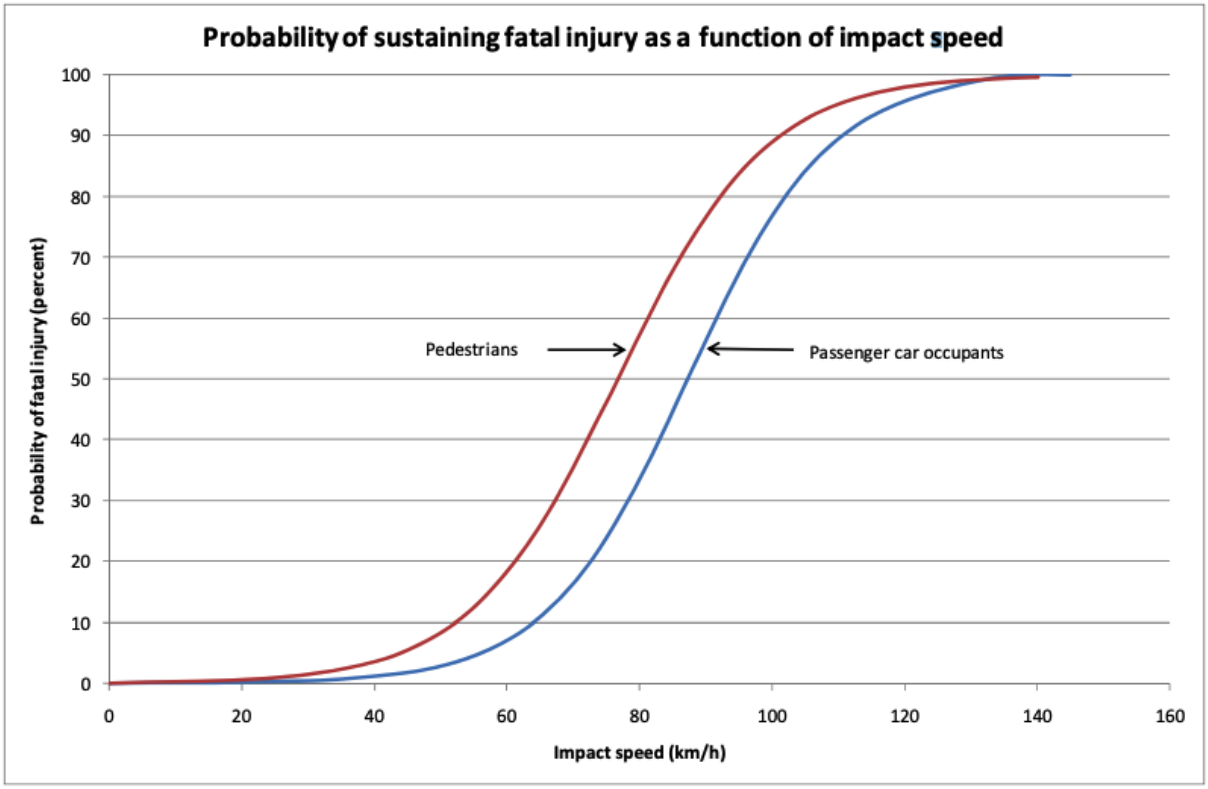
In de voorgaande paragraaf is specifiek gefocust op indicatoren en parameters die kritische situaties (bijna-ongevallen) en ongevallen kunnen beschrijven. Echter is een verkeersanalyse in schoolomgevingen veel breder dan enkel deze indicatoren. Naast indicatoren die rechtstreeks een onveilige situatie beschrijven moet ook gekeken worden naar indicatoren en parameters die al dan niet onrechtstreeks de verkeersveiligheid beschrijven. Ook elementen zoals verkeersafwikkeling, modal split, etc. zijn belangrijk om een algemeen beeld te krijgen op de verkeerssituatie en verkeersveiligheid in schoolomgevingen. In deze paragraaf worden dan ook de belangrijke parameters besproken die onder het luik van verkeersmonitoring vallen.

Snelheid

Een eerste belangrijke parameter is snelheid. Onderzoek toont aan dat er een belangrijke correlatie is tussen enerzijds de impactsnelheid van een ongeval en anderzijds de kans op een dodelijke afloop (Rosén & Sander, 2009; Elvik, 2009; Nilsson, 2004). Figuur 25 geeft een grafische weergave van de kans op een dodelijke verwonding in functie van de impactsnelheid. Op basis van het onderzoek van Rosén en Sander (2009) kan geconcludeerd worden dat de kans op een dodelijk afloop sterk toeneemt naarmate de impactsnelheid groter wordt. Voor zwakke weggebruikers stijgt deze kans nog sneller in vergelijking met inzittenden van een voertuig. Een dergelijk verband werd eerder ook al beschreven in de vorm van het Power Model (Nilsson, 2004). Dit model beschrijft de percentuele stijging of daling van het aantal ongevallen met gewonden en het aantal dodelijke ongevallen in functie van een percentuele stijging of daling van de gemiddelde snelheid. Een review van Elvik (2009) van het Power Model van Nillson (2004) bevestigt de conclusies, al blijkt de initiële snelheid en de omgeving (soort weg/gebied) ook een grote rol te spelen in de toepasbaarheid van het model. Wel kan met zekerheid gesteld worden dat er een positief verband is tussen de percentuele snelheidswijziging en de percentuele kans op een ongeval met gewonden.

Naast het bovengenoemde veiligheidsprobleem door snelheid is er ook nog een andere belangrijke factor die aanwezig is in schoolomgevingen. Onderzoek toont aan dat cognitieve vaardigheden van jonge kinderen nog niet volledig ontwikkeld zijn (Meyer, Sagberg, & Torquato, 2014). De gevarenperceptie van kinderen is tot een leeftijd van 11 tot 12 jaar bijgevolg niet effectief en compleet (Pettit & Janks, 1996). Specifiek gelet op snelheid blijkt ook uit onderzoek van Dewar (2002) dat jonge kinderen meer moeilijkheden hebben om snelheid en afstand van een voertuig in te schatten. Concluderend kan gesteld worden dat snelheid een zeer belangrijke factor is om mee op te nemen in het onderzoek.

Snelheid is verder ook een van de drie fundamentele grootheden van de verkeersstroomtheorie (Maerivoet & De Moor, 2008). Deze grootheden zijn belangrijk in het kader van beoordeling van doorstroming op wegsegmenten. Ook zijn deze grootheden de basis van macroscopische en microscopische verkeersmodellen. Echter valt deze toepassing niet binnen de scope van dit project. Wel kunnen de intensiteit en dichtheid mee opgenomen worden in het onderzoek aangezien deze grootheden een zicht bieden op de doorstroming.



Figuur 25: Kans op een dodelijke verwonding als een functie van de impactsnelheid (U.S. Department of Transportation, 2005; Rosén & Sander, 2009)

Verkeerstellingen en intensiteiten

Om te komen tot intensiteiten van weggebruikers op de wegsegmenten zijn tellingen nodig. Deze tellingen, opgedeeld per vervoersmodi, geven een zicht op de drukte op een bepaald wegsegment. Intensiteit wordt gezien als het aantal weggebruikers per tijdseenheid (Maerivoet & De Moor, 2008). Een veel gebruikte manier om deze grootheid uit te drukken is het aantal personenauto-equivalenten (pae) per uur. In tegenstelling tot intensiteit is dichtheid geen temporele maatstaf, maar een ruimtelijke maatstaf. De dichtheid beschrijft het aantal weggebruikers (vaak auto's) per afstand op een wegsegment (vaak per kilometer). Deze indicator geeft samen met de intensiteit een goed zicht op het druktebeeld.

Gelet op verkeersveiligheid kan gesteld worden dat intensiteit ook een invloed heeft op het aantal ongevallen. Over het algemeen kan gesteld worden dat een hogere intensiteit zorgt voor meer ongevallen, al verschilt de samenhang tussen beide elementen van onderzoek tot onderzoek en tussen soorten wegen en kruispunten (Duivenvoorden, 2010). Specifiek gekeken naar rotondes, belangrijk voor de ovonde in het onderzoeksgebied in Zonhoven, kan besloten worden op basis van een microsimulatie van Saccomanno et al. (2008) dat een hogere intensiteit leidt tot meer ongevallen.

Nauw aaneensluitend aan intensiteiten (pae/uur) kunnen ook gewone verkeerstellingen van weggebruikers worden opgenomen als belangrijke

parameters in het onderzoek. Een verkeerstelling is niks anders dan een telling van alle weggebruikers, idealiter onderverdeeld per vervoersmodi. Dit is dan ook de basis om te komen tot intensiteiten op een bepaald wegsegment. In verkeersanalyses kunnen tellingen gezien worden als een van de basiselementen van het plannings- en/of analyseproces (Schroeder, 2016). Een belangrijke factor bij verkeerstellingen is de betrouwbaarheid van een telling. Om te komen tot o.a. de 'average daily traffic' (ADT), het gemiddelde verkeersvolume per dag, is een telling van een dag niet voldoende. Om de ADT op een accurate manier te kunnen berekenen is een telperiode van op zijn minst een week wenselijk. Zoals aangehaald liggen tellingen aan de basis van de intensiteitsbepaling van een wegsegment en de bepaling van de ADT, echter kunnen ook nog andere belangrijke indicatoren worden bepaald. De dronevlucht in dit onderzoek zal twee keer een spitsmoment rond de schoolomgeving in beeld brengen. Voor de verkeersanalyse is het aangewezen om niet enkel te focussen op de spitsuurintensiteiten, maar ook op de variatie van de intensiteiten doorheen deze spitsuren. De Highway Capacity Manual (HCM) (2010) beschrijft een indicator om het niet-uniforme verloop van de spitsuurintensiteiten te beschrijven: de 'Peak Hour Factor' (PHF). Hierbij worden de intensiteiten per kwartier (uitgedrukt in pae/uur) als basis genomen. De berekening van de PHF is als volgt:

$$PHF = \frac{Peak\ Hour\ Volume}{4 * hoogste\ 15 - \min intensiteit\ (\frac{pae}{uur})}$$

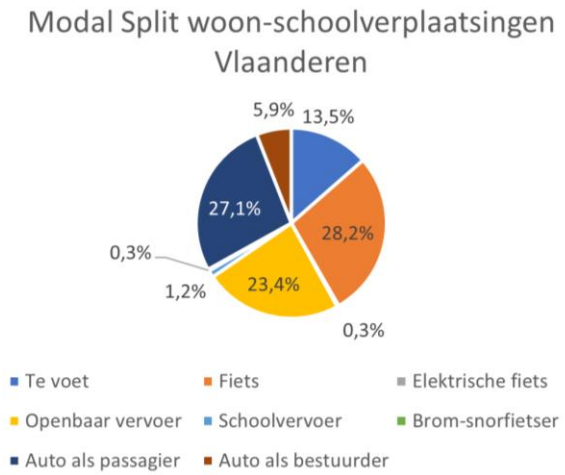
Als resultaat van bovenstaande berekening wordt een PHF tussen 0,25 en 1 bekomen. Hierbij duidt een waarde van 0,25 op een spitsuur waarbij alle weggebruikers geconcentreerd voorkomen in slechts een kwartier. Een waarde van 1 duidt op het tegenovergestelde, hierbij zijn de intensiteiten uniform verdeeld tussen de vier kwartieren van het spitsuur. In stedelijke en randstedelijke gebieden ligt de PHF meestal hoog (Schroeder, 2016).

Modal split

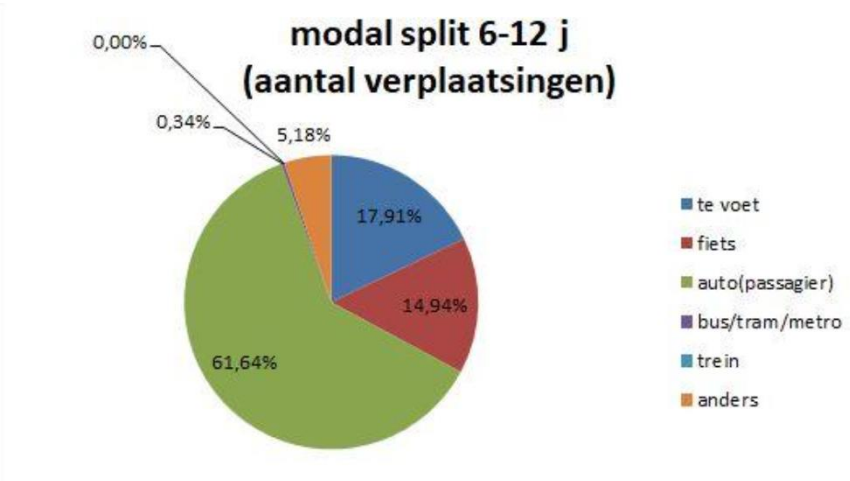
Naast verkeerstellingen en intensiteiten is het ook wenselijk om te kijken naar de verkeerssamenstelling. Deze verkeerssamenstelling wordt de modal split genoemd. Er kan gekeken worden naar de totale modal split in het studiegebied, echter is het met de focus op schoolomgevingen interessanter om te kijken naar de modal split van de schoolgaande kinderen. Doorheen de literatuur zijn verschillende definities terug te vinden van de modal split (Ungvarai, 2019). In dit onderzoek wordt voortgebouwd op volgende definitie: "De verdeling van het aantal verplaatsingen met een bepaalde vervoersmodi ten opzichte van het totaal aantal verplaatsingen" (European Commission, 2021).

Om de gegevens met betrekking tot de modal split van de schoolgaande kinderen te kunnen kaderen zijn er referentiecijfers nodig. Een eerste bron van data is de Gemeentemonitor van de gemeente Zonhoven (Statistiek Vlaanderen, 2018). Dit

onderzoek geeft de modal split weer van woon-werk- en woon-schoolverplaatsingen van de inwoners van Zonhoven. Uit het onderzoek blijkt volgende modal split: te voet (3%), met de fiets (10%), openbaar vervoer (8%), auto (72%) en andere vervoersmodi (7%). Hierbij moet wel rekening gehouden worden met het feit dat woon-werkverplaatsingen vaak op een minder duurzame manier worden afgelegd in vergelijking met woon-schoolverplaatsingen (Janssens, Paul, & Wets, 2020). Als er gekeken wordt naar Vlaamse cijfers over de modal split van woon-schoolverplaatsingen uit het onderzoek van Janssens, Paul en Wets (2020) zijn heel andere cijfers te zien. Een grafische weergave van de modal split is te zien op Figuur 26. Vergeleken met de cijfers uit de Gemeentemonitor van Zonhoven ligt het aandeel van de auto veel lager, terwijl het aandeel voor verplaatsingen met de fiets, te voet en met het openbaar vervoer hoger ligt. Wel moet ook hierbij vermeld worden dat deze cijfers gelden voor alle leerlingen en studenten, gaande van leerlingen vanaf 6 jaar tot studenten in het hoger onderwijs. Als er specifiek op leerlingen tussen 6 en 12 jaar (basisschool) wordt gefocust, dan kan er besloten worden op basis van het OVG 5.3 dat de cijfers voor het aandeel auto toch nog veel hoger liggen. De zwakke modi blijken een aandeel van 32,85% te vertegenwoordigen, te zien op Figuur 27.



Figuur 26: Modal split woon-schoolverplaatsingen Vlaanderen (OVG 5.5, eigen werk, 2021)



Figuur 27: Modal split 6 tot 12-jarigen op basis van OVG 5.3 (Netwerk duurzame mobiliteit, 2019)

Cijfers met betrekking tot de modal split zijn niet enkel bruikbaar om inzicht te krijgen in de samenstelling van het verkeer in schoolomgevingen, ze vormen ook een belangrijke input voor verder onderzoek aan de hand van o.a. macroscopische en microscopische verkeersmodellen (Cingel, Čelko, & Drličiak, 2019). Een voorbeeld van een toepassing van de modal split is de derde stap van het macroscopische vier stappen model (Ahmed, 2012). Hierbij ligt de focus niet op modal split cijfers die worden verkregen aan de hand van tellingen, er wordt in dergelijke toepassingen gebruik gemaakt van keuzemodellen (Bv. Een Logit-model). Echter is dit niet de focus van dit onderzoek, dit zal dan ook niet verder besproken worden.

Bewegingen van weggebruikers

Een volgend element dat interessant is om op te nemen in een verkeersanalyse rond schoolomgevingen zijn de bewegingen van weggebruikers. Het gaat hierbij o.a. over de herkomst-bestemmingsmatrices (OD-matrices). Een herkomst-bestemmingsmatrix is een matrix die de verschillende bewegingen van weggebruikers weergeeft tussen herkomstlocaties en bestemmingslocaties (Krishnakumari, et al., 2020). Over het algemeen kunnen OD-matrices op twee manieren bekomen worden: observationeel of via mathematische en andere soorten modellen (Viti, 2008). De benadering van de OD-matrices is veelal een keuze die gemaakt wordt in functie van het doel van het onderzoek. OD-matrices vormen een belangrijke schakel in macroscopische en microscopische modellen. Omdat het bij macroscopische modellen vaak gaat over grote gebieden is het quasi onmogelijk om via observaties OD-matrices op te stellen. Hierbij wordt dan ook gekozen om OD-matrices te schatten aan de hand van mathematische en andere soorten modellen. In het kader van schoolomgevingen, met een kleiner studiegebied, is het wel beter mogelijk om via observaties OD-matrices op te stellen. Het gaat hierbij dan over echte tellingen en voertuigvolgmethodes.

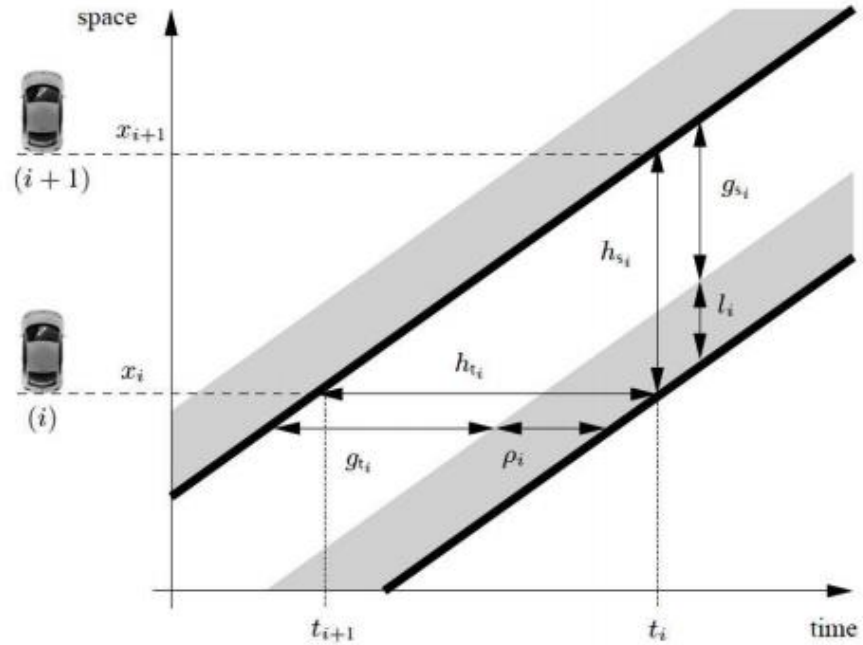
Het uiteindelijke doel van OD-matrices in verkeersanalyses rond schoolomgevingen is het zicht krijgen op voertuigstromen rond de school. Op basis van dergelijke data kunnen aanbevelingen opgesteld worden om bijvoorbeeld drukke voertuigstromen anders af te wikkelen etc.

Afgezien van de pure bewegingen van weggebruikers kan ook een temporele component toegevoegd worden in OD-matrices (Yang, et al., 2017). Hierbij gaat het dan over OD-travel-time-matrices tussen begin- en eindpunten. Dergelijke indicator heeft nut om enerzijds de wachttijden en de betrouwbaarheid van reistijden op een bepaald wegsegment in kaart te brengen. Anderzijds kunnen ook specifieke bewegingen tussen een herkomst en een bestemmingspunt met dergelijke methode worden gevolgd op het vlak van reistijd. Een voorbeeld van dergelijke toepassing is de bepaling van de parkeerduur tussen het inrijden van een parking (herkomstpunt) en het uitrijden van een parking (bestemmingspunt). De OD-travel-time-matrix laat dan de tijd zien tussen beide punten in het netwerk.

Andere mogelijke analyses

Doorheen de bovenstaande delen zijn verschillende belangrijke parameters besproken die gebruikt kunnen worden om een algemene verkeers- en verkeersveiligheidsanalyse uit te voeren rond een schoolomgeving. Echter zijn er nog verschillende andere mogelijke analyses die uitgevoerd kunnen. Enkele bijkomende mogelijkheden worden in deze paragraaf nog kort besproken.

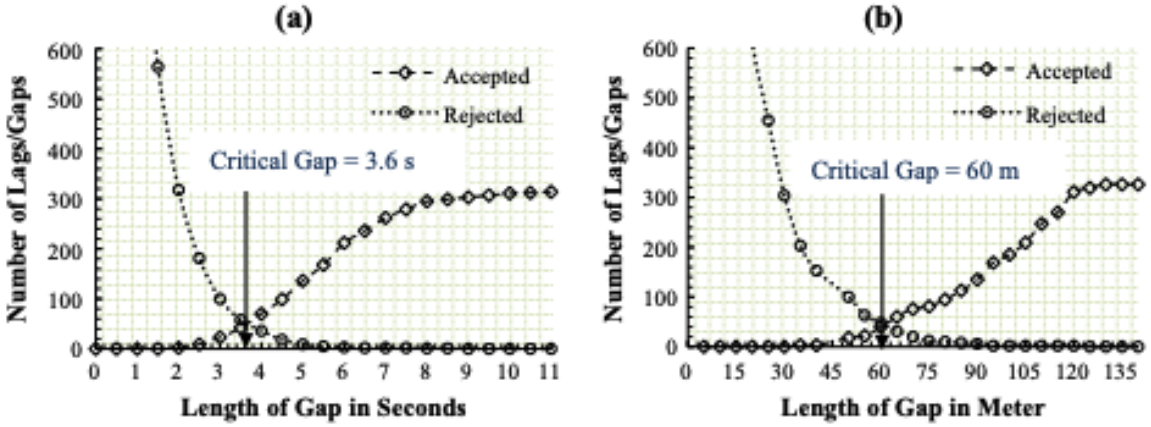
Een eerste indicator is de 'headway', zowel ruimtelijk (distance headway) als temporeel (time headway) te benaderen (Lücken, et al., 2018). De headway geeft het ruimtegebruik en/of het tijdsgebruik tussen twee opeenvolgende weggebruikers weer. Met andere woorden wordt het voertuigvolggedrag van een volger ten opzichte van een voorligger beschreven. Kleine waardes voor de time headway en distance headway duiden op een kort voertuigvolggedrag, wat kan leiden tot gevaarlijke situaties (zie ook PET). De twee soorten headway zijn weergegeven op Figuur 28 met h_{si} het ruimtegebruik en h_{ti} het tijdsgebruik tussen voertuig i en i+1. Het benodigde ruimtegebruik en tijdsgebruik om een veilig voertuigvolggedrag te vertonen hangt af van verschillende factoren, waaronder snelheid en reactietijd (Lamm, Psarianos, & Mailaender, 1999). Deze factoren zijn ook terug te vinden in de voertuigvolgmodellen van Forbes (1968) en Pipes (1953). Veldresultaten om beide voertuigvolgmodellen te valideren tonen aan dat een veilig tijdsgebruik bij 30 km/u (de snelheid in een schoolomgeving) tussen de twee en drie seconden ligt. Voor het ruimtegebruik ligt de veilige waarde tussen de 70 en 80 meter (Zhou, et al., 2015).



Figuur 28: Distance headway & time headway (Lücken et al., 2018)

Een andere reeks van indicatoren zijn de zogenaamde Measures of Effectiveness (MOE) (Khan, et al., 2018). Onder deze MOE vallen indicatoren zoals wachtrijlengte, wachttijd, hiaatacceptatie, hiaattijd, kritische hiaattijd. Deze

factoren werden eerder al in paragraaf 4.1.2 besproken. In 4.1.2 werd het voorbeeld van de bepaling van de kritische hiaattijd bij het oprijden van een rotonde besproken. Echter zijn er nog andere mogelijkheden zoals de berekening van de kritische hiaattijd voor overstekende voetgangers (Pawar & Patil, 2016). Dit is een belangrijke indicator om zicht te krijgen op het oversteekgedrag van de leerlingen de oversteekbaarheid in het onderzoeksgebied. Pawar en Patil (2016) hebben de kritische hiaattijd en hiaatafstand voor overstekende voetgangers bepaald aan de hand van verschillende methodes, waaronder de Raff's methode (zie Figuur 29). Hierbij wordt gezocht naar het snijpunt tussen geaccepteerde en afgewezen hiaten zodoende dat het aantal geaccepteerde hiaten groter of gelijk is aan het aantal afgewezen hiaten. De bijhorende tijd of afstand is hierbij de respectievelijke kritische hiaattijd (3,6s) en kritische hiaatafstand (60m) bij een gemiddelde snelheid van 60 km/u.



Figuur 29: Kritische hiaattijd en hiaatafstand gebaseerd op Raff's methode: a) temporeel & b) ruimtelijk (Pawar & Patil, 2016)

4.6.1.3 Gedrag

Doorheen de vorige paragrafen zijn reeds verschillende indicatoren en parameters besproken die betrekking hebben op het gedrag van weggebruikers. Snelheid is een belangrijk voorbeeld hiervan. Verder zijn er ook nog verschillende andere gedragingen die onderzocht kunnen worden in schoolomgevingen.

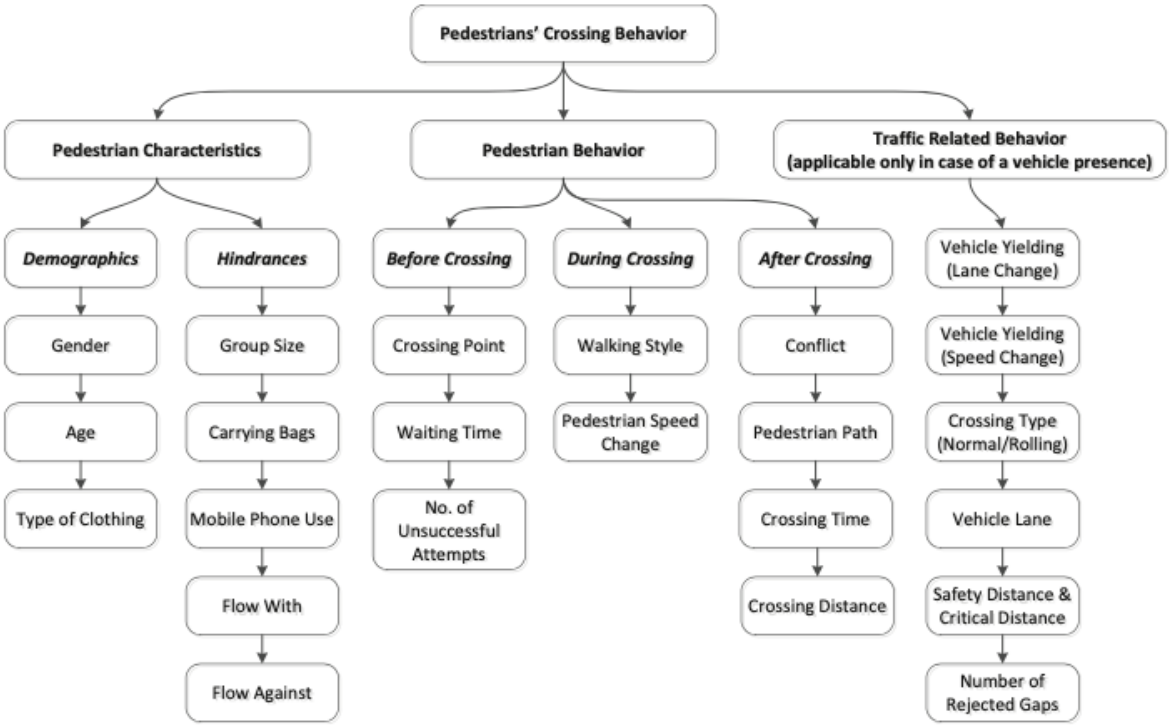
Van Haperen et al. (2019) hebben een literatuurstudie uitgevoerd aan de hand van 600 wetenschappelijke artikels om zicht te krijgen op de scope van gedragsobservaties van verkeersdeelnemers. Op basis van dit onderzoek kan geconcludeerd worden dat er enkele topics beduidend meer zijn onderzocht en ook een hogere relevantie kennen. Enkele voorbeelden zijn: snelheidsgedrag, kruisende paden, wachttijd, kijkgedrag, jaywalking, dragen van beschermende kledij, etc. Naast de voorgenoemde gedragingen zijn er nog veel andere mogelijkheden. Gezien de scope van dit onderzoek is het niet relevant om deze

allemaal te bespreken. Wel wordt er kort ingegaan op jaywalking, het dragen van beschermende kledij en kijkgedrag.

Jaywalking

Een van de gedragingen die in het verleden al uitgebreid bestudeerd is, is 'jaywalking'. Jaywalking kan beschreven worden als het oversteken/belopen van een weg met gemotoriseerd verkeer op een gedeelte dat hiervoor niet bestemd is (bv. locaties zonder een zebrapad) (Zaki & Sayed, 2014). Dit gedrag is vaak niet enkel illegaal, maar het geeft ook hoge veiligheidsrisico's voor de desbetreffende voetganger, mede door de verhoogde fysieke kwetsbaarheid. Voor jonge kinderen blijkt dit echter nog gevaarlijker aangezien zij de snelheid en afstand tot het verkeer nog niet accuraat kunnen inschatten (Dewar, 2002). Om zicht te krijgen op deze gedragingen in schoolomgevingen is verder onderzoek noodzakelijk. Zo is er in Iran, België, Nieuw-Zeeland, Verenigd Koninkrijk en in Spanje onderzoek gedaan naar dergelijke gedragingen aan de hand van de ARBQ (Adolescent Road-User Behaviour Questionnaire) (Nabipour, et al., 2015; Sullman, et al., 2011; Sullman, Thomas, & Stephens, 2012). Deze bevraging bij schoolgaande jongeren focust op drie latente variabelen, waaronder onveilig oversteekgedrag. Uit de toepassing van de ARBQ op Belgische schoolgaande jongeren kan besloten worden dat er enkele gevaarlijke gedragingen voorkomen zoals het niet kijken vooraleer over te steken indien men geen verkeer hoort aankomen, oversteken bij een te kleine hiaat tussen twee voertuigen, oversteken zonder dat men het verkeer goed kan zien aankomen, etc.

Het onveilig oversteken van een rijbaan kan zoals aangehaald benaderd worden door bevragingen, zelf-rapportage etc. Dit zijn voorbeelden van subjectieve data. Ook het verzamelen van objectieve data van dergelijke gedragingen is mogelijk. Shaaban, Muley en Mohammed (2018) hebben onderzoek gedaan naar het illegaal oversteekgedrag in Qatar. De volledige studie is gebaseerd op videobeelden. Aan de hand van deze videobeelden zijn achteraf gegevens verzameld voor verschillende variabelen, een overzicht is zichtbaar op Figuur 30. In de verdere analyses was het mogelijk om relaties tussen deze variabelen bloot te leggen. Zo hangt de wachttijd af van de groepsgrootte, is de oversteeksnelheid lager bij het gebruik van een smartphone en stak 90% van de voetgangers de weg over in hun eerste poging.



Figuur 30: Lijst van variabelen gedragsobservatie illegaal oversteken (Shaaban, Muley & Mohammed, 2018)

Kijkgedrag

Een andere gedragsvariabele die nuttig is om te onderzoeken in schoolomgevingen is het kijkgedrag van leerlingen. Deze variabele leunt sterk aan bij de variabele met betrekking tot het veilig oversteken van een weg, aangezien kijkgedrag hiervan een onderdeel is. Zeedyk, Wallace en Spry (2002) hebben onderzoek gedaan naar het kijkgedrag voor en tijdens het oversteken van een weg door middel van video-observaties. Naar analogie van voorgaande studie over het illegaal oversteken zijn ook hier gegevens verzameld over verschillende gedragsvariabelen. Op basis van dit onderzoek kan besloten worden dat het oversteekgedrag van kinderen tussen de vijf en zes jaar ondermaats en onveilig is. Zo bleek o.a. 40% niet te kijken naar het verkeer, 60% bleek niet te stoppen aan de rand van de weg en 75% was aan het lopen om over te steken. Dergelijke methode aan de hand van video-observaties is ook reeds in andere onderzoeken breed toegepast (Aghabayk, et al., 2021; Rosenboom, Ben-Eliyahu, & Nemrodov, 2008; ...).

Beschermende kledij en helmdracht

Een laatste gedragsvariabele die zal worden besproken is het al dan niet dragen van beschermende kledij en/of een fietshelm door kinderen in de schoolomgeving. Onderzoek van Høye (2018) toont aan dat het dragen van een fietshelm verwondingen aan het hoofd met 48% doet verminderen, traumatische verwondingen aan de hersenen doet verminderen met 53% en het totaal aantal

overleden en gewonde fietsers doet afnemen met 34%. Het dragen van fietshelm en andere beschermende kledij is dus nodig om het aantal slachtoffers te verminderen. Om de prevalentie van het dragen van dergelijke items te verhogen is onderzoek nodig naar de huidige prevalentie. Deze variabele is al uitgebreid onderzocht in het verleden. In de eerder aangehaalde ARBQ werden jongeren ook bevraagd naar het dragen van beschermende kledij (bv. fluohesje) en een fietshelm (Nabipour, et al., 2015; Sullman, et al., 2011; Sullman, Thomas, & Stephens, 2012). Het dragen van een fietshelm bleek in België, in vergelijking met het Verenigd Koninkrijk en Spanje, meer voor te komen. Het dragen van reflecterende kledij blijkt minder gedaan te worden in België, al scoort België hier wel beter dan Nieuw-Zeeland, het Verenigd Koninkrijk en Spanje.

Naast rechtstreekse bevragingen is de prevalentie van het dragen van een fietshelm en het dragen van beschermende en reflecterende kledij ook onderzocht aan de hand van observaties (Middaugh-Bonney, Brussoni, & Macpherson, 2010). Dit zijn relatief eenvoudige observaties met als variabele het al dan niet dragen van het desbetreffende item.

Tot slot is er ook gezocht naar richtcijfers. Gelet op de Vlaamse cijfers uit het project 'Helm Op Fluo Top' van de Vlaamse Stichting Verkeerskunde in 2017-2018 kan gesteld worden dat 36% van de leerlingen uit de lagere school iets van reflecterende kledij draagt om naar school te gaan (Dhondt, Loos, & Dergent, 2018). Ook draagt 50% van de leerlingen een fietshelm.

4.6.2 Onderzoekstechnieken

In de voorgaande delen zijn de verschillende belangrijke parameters voor verkeersanalyses van schoolomgevingen besproken. Om de data met betrekking tot deze parameters te verkrijgen is onderzoek nodig. Dataverzameling kan op verschillende manieren gedaan worden. Omdat het bij de beschreven parameters steeds gaat over de werkelijke gedragingen van weggebruikers kan er gesproken worden over naturalistische data (Van Haperen, et al., 2019). In dit deel van de literatuurstudie wordt een algemeen beeld gegeven van de beschikbare onderzoekstechnieken. De specifieke uitwerking per techniek komt later aan bod in de vergelijking per parameter tussen drone onderzoek en andere beschikbare technieken.

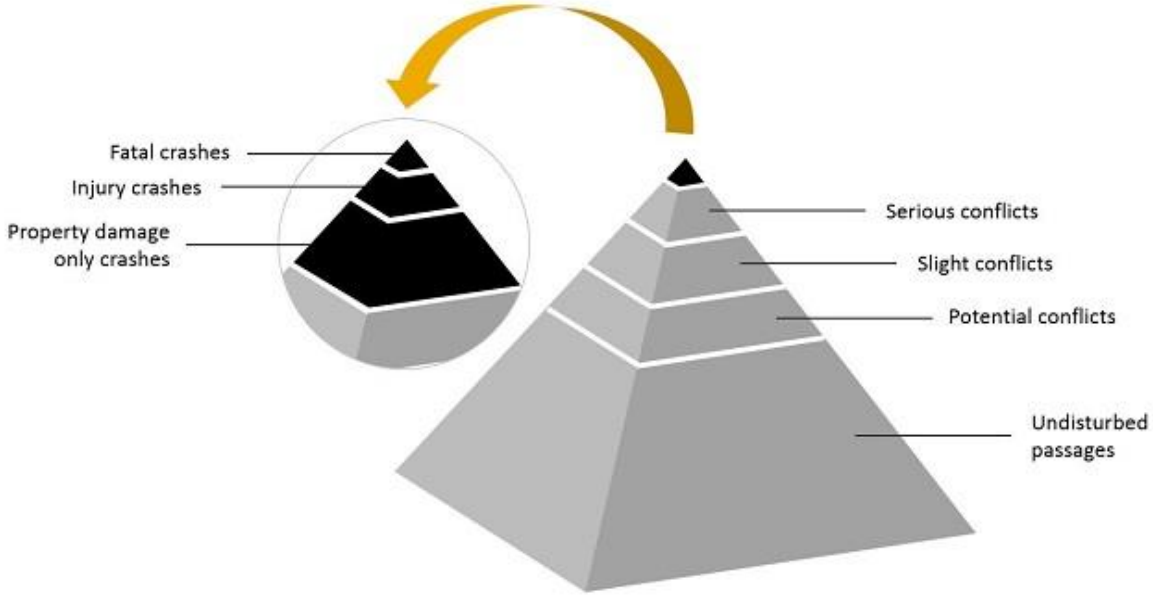
Doorheen de laatste decennia zijn er verschillende onderzoekstechnieken ontwikkeld om naturalistische data te verzamelen. Onderzoek aan de hand van drones is een goed voorbeeld van dergelijke ontwikkeling, al zijn er nog veel andere technieken die vandaag de dag (nog) veel gebruikt worden. Over het algemeen kan volgens Van Haperen et al. (2019) gesteld worden dat er twee overkoepelende soorten van onderzoekstechnieken zijn om verkeersveiligheid te evalueren: observationele studies en experimentele studies. De focus in dit onderzoek ligt voornamelijk op observationele studies, met name de

gedragsobservatie en conflictobservatie, al kunnen ook andere technieken aan bod komen voor het onderzoek naar een of meerdere specifieke parameters. Een overzicht van de technieken is te zien op Tabel 7.

Tabel 7: Soorten onderzoekstechnieken voor verkeersveiligheidsevaluatie (Van Haperen, et al., 2019)

OBSERVATIONELE STUDIES		**EXPERIMENTELE STUDIES**	
Gerapporteerd	**Geobserveerd**	**Gesimuleerd**	**Geïnterviewd**
Ongevallendata	Naturalistische rijstudie	Rijsimulator	Enquêtes
	Gedragsobservatie	Microsimulaties	Interviews
	Conflictobservatie	Virtual reality	Focusgroepen

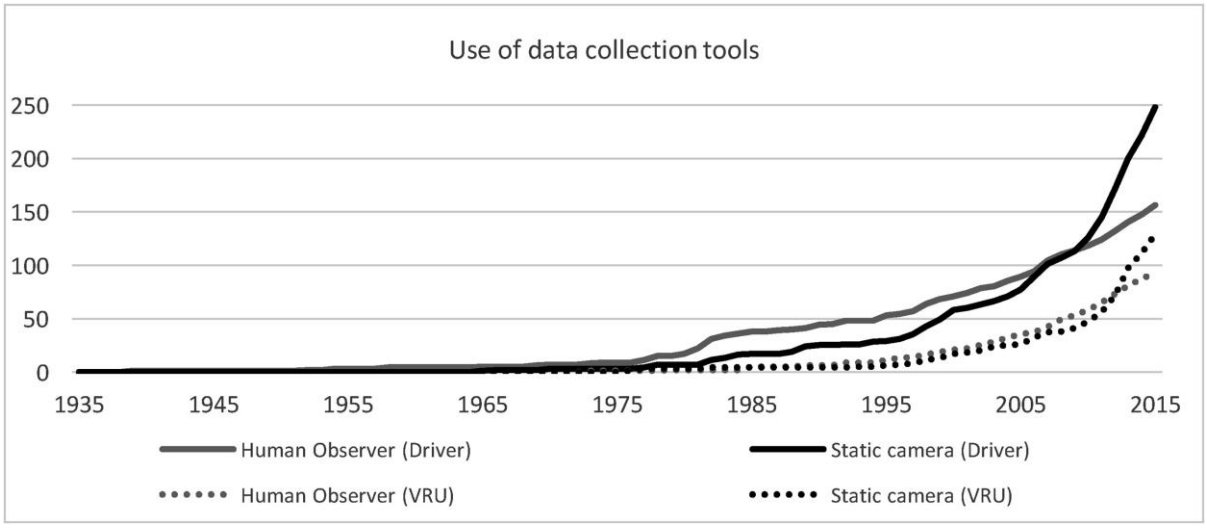
Zoals aangehaald ligt de focus in dit onderzoek voornamelijk op observationele studies. In de probleemstelling aan het begin van deze studie werd aangegeven dat er weinig tot geen ongevallendata beschikbaar is voor schoolomgevingen. Verder geven ongevallendata ook slechts een beperkt zicht op de werkelijke verkeersveiligheid. Zoals onderzocht door Heinrich (1931) en Bird (1966) zijn ongevallen maar de top van de verkeersveiligheidspiramide, een model opgebouwd volgens het ijsbergprincipe (Grech, Horberry, & Koester, 2019). Onderaan de piramide staan elementen zoals ongeregistreerde ongevallen, bijna-ongevallen/conflicten, etc. Het is belangrijk om ook hier onderzoek naar te doen om een volledig beeld van de verkeersveiligheid te vormen. Daarom is het belangrijk om te focussen op observationele studies aan de hand van observaties. Deze soorten technieken verzamelen naturalistische data in omgevingen (bv. een schoolomgeving) waar het verkeersgedrag zich daadwerkelijk voordoet (Eby, 2011).



Figuur 31: Verkeersveiligheidspiramide, aangepast aan Hyden, 1987 (EMBARQ, 2017)

Gedragsobservatie

Een eerste vorm van een observationele studie is de gedragsobservatie. Het gaat hierbij over observaties waarbij data wordt verzameld over het verkeersgedrag van de weggebruikers. Op basis van de literatuurstudie van Van Haperen et al. (2019), een scoping review van 600 wetenschappelijke artikels, kan gesteld worden dat manuele observaties (in het veld door een observant/onderzoeker) en video-observaties de twee meest gebruikte methodes zijn. Zoals te zien op Figuur 32 dateren de eerste observationele studies van 1939. Tot 1965 blijft het aantal studies in deze tak van de verkeerskunde laag. Vanaf 1965 beginnen de manuele observaties op te komen. Snel nadien volgen ook de observationele studies die gebruik maken van statische camera's. Vanaf 2005 nemen de video-observaties de bovenhand, dit blijkt tot op heden ook nog altijd de meest gebruikte techniek. Ook voor specifiek onderzoek naar zwakke weggebruikers blijkt video-observatie momenteel de meest gebruikte techniek.



Figuur 32: Evolutie gebruik van tools voor datacollectie (Van Haperen, et al., 2019)

Naast manuele observaties en video-observaties zijn er ook nog heel wat andere methodes terug te vinden in de literatuur. Daar waar manuele observaties vaak focussen op het verzamelen van categorische data gaat een observatie aan de hand van videobeelden of sensoren vaak focussen op de verzameling van continue variabelen (Van Haperen, et al., 2019). Voorbeelden van andere observatietechnieken zijn: video-observatie met een drone, inductieve tellussen, speedgun, pneumatische telslangen, radardetectoren, etc. (Wang, et al., 2020).

Belangrijk bij de selectie van de onderzoekstechniek is het doel van het onderzoek. Met andere woorden, er moet een techniek gezocht worden die in staat is de gewenste data te verzamelen. Ook moet er rekening gehouden worden met de voor- en nadelen van de beschikbare methodes. Eby (2011) stelt dat er twee grote voordelen zijn aan observationele technieken van dataverzameling: men is niet afhankelijke van interpretaties of zelfrapportage en de validiteit van deze methode is hoog (het gedrag komt overeen met de realiteit). Wel zijn er ook twee nadelen:

de generaliseerbaarheid van de resultaten (kleine steekproef) en een mogelijk 'observer bias'. Dit laatste zijn elementen die kunnen beïnvloeden wat een observant ziet en vastlegt (Hoeben, Steenbeek, & Pauwels, 2018). Een eerste vorm is het 'intra-observer bias'. Dit bias komt voor wanneer de waarnemingen van een observant verschillen overheen de tijd. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer een observant de ene situatie als gevaarlijk beschouwd, terwijl hij een eerdere gelijkaardige situatie als minder gevaarlijk heeft beschouwd. Ook kan het observer bias duiden op het feit dat een onderzoeker tijdens een observatie enkel rapporteert wat hij wil zien, terwijl dit niet of maar gedeeltelijk de werkelijkheid weerspiegeld. Verder bestaat ook het inter-observer bias. Hierbij verschillen observaties en de gerapporteerde data van dezelfde gedragingen tussen twee of meer observanten. Tot slot kan het ook voorkomen dat het bias niet te wijten is aan de observant, maar aan de geobserveerde subjecten. Dit is een voorbeeld van het Hawthorne effect of reactiviteitseffect waarbij de geobserveerde subjecten hun gedrag aanpassen omdat ze weten dat ze geobserveerd worden. Zowel het inter- en intra-observer bias kan vermeden worden door de juiste onderzoekstechnieken te selecteren. Bij video-observaties heeft men de mogelijkheid om de beelden nadien te herbekijken, een evaluatie van een bepaalde situatie kan zo dus door meerdere personen gebeuren. Bij observaties met sensoren is er zelfs geen sprake van een fysieke observant, de resultaten van de observaties zijn hierbij wel afhankelijk van de accuraatheid van de gebruikte sensoren.

Naast de selectie van de methodiek kan de praktische uitvoering van de dataverzameling ook sterk verschillen tussen en binnen observatiemethodes. Eerder werd al het onderscheid tussen categorische en continue variabelen aangehaald. Video-observatie is een voorbeeld waarbij er zowel continue als categorische variabelen verzameld kunnen worden. Categorische variabelen worden over het algemeen verzameld aan de hand van vooraf gedefinieerde indicatoren (Riaz, 2016). Zo bestudeerden Zeedyk, Wallace en Spry (2002) het kijkgedrag van kinderen aan de hand van video-observatie. Nadien werden de beelden bekeken en beoordeeld op het al dan niet stoppen aan de oversteekplaats, het kijken naar links en/of rechts, etc. Deze resultaten werden vervolgens gecodeerd (bv. 1 voor stoppen en 2 voor niet stoppen) om zo geanalyseerd te kunnen worden. Dergelijke techniek wordt veel gebruikt voor gedragsobservaties. Een ander voorbeeld van de toepassing van deze methode is het onderzoek van Middaugh-Bonney, Brussoni en Macpherson (2010) naar de helmdracht van kinderen.

Echter kunnen video-observaties en andere technieken ook gebruikt worden om data met betrekking tot continue variabelen te verzamelen. Zo hebben Fitzpatrick et al. (2009) doorheen hun onderzoek naar snelheden in schoolomgevingen drie technieken gebruikt om data met betrekking tot de snelheid van weggebruikers te verzamelen. Er werd zowel gebruik gemaakt van speed guns (LIDAR), draagbare verkeerssensoren en pneumatische telslangen. Waar mogelijk werd gebruik gemaakt van speed guns. Door beperkte zichtlijnen was dit niet overal mogelijk.

Op deze plaatsen werden er sensoren of telslangen geplaatst. De telslangen, in totaal twee per rijstrook, werden zo geplaatst dat niet enkel tellingen mogelijk waren, maar dat ook snelheden geregistreerd konden worden. Laurashyn et al. (2009) hebben gebruik gemaakt van video-observaties om o.a. snelheden te bepalen. Hierbij wordt een specifiek ontwikkeld algoritme toegepast op de videobeelden dat de snelheid bepaalt op basis van wijzigingen in de voertuigpositie tussen de frames van de video. Dezelfde soort technieken worden ook gebruikt bij de analyse van dronebeelden, reeds behandeld in 4.1.2. Het onderzoek van Zangenehpour, Miranda-Moreno en Saunier (2015) geeft dan weer aan hoe video-observaties kunnen gebruikt worden om geautomatiseerd weggebruikers in te delen volgens vervoersmodi. Hierbij wordt gekeken naar het fysieke uitzicht van een weggebruiker op de beelden, en worden ook snelheden verzameld om aan de hand van een kansenfunctie een weggebruiker in te delen in een bepaalde categorie of voertuigklasse.

Concluderend kan gesteld worden dat er verscheidene onderzoekstechnieken beschikbaar zijn om gedragsobservaties uit te voeren. Naast de veelvoorkomende technieken zoals manuele observaties en video-observaties worden ook steeds meer observaties uitgevoerd aan de hand van andere technieken, bv. met sensoren. Belangrijk is om steeds het doel van de dataverzameling centraal te zetten. Een onderzoekstechniek, met zijn voor- en nadelen, dient steeds afgestemd te worden op het doel, en niet omgekeerd.

Conflictobservaties

Naast gedragsobservaties zijn ook conflictobservaties essentieel om een beeld te vormen over de verkeersveiligheid in een bepaald studiegebied (bv. schoolomgevingen) (Laureshyn & Vàrhelyi, 2018). Een conflict kan gedefinieerd worden als: "Een verkeersconflict is een situatie met twee of meer weggebruikers waarbij een actie van een bepaalde weggebruiker ervoor zorgt dat een andere weggebruiker een uitwijkmanoeuvre moet maken om een botsing te vermijden" (Parker & Zegeer, 1989). In het onderzoek naar deze bijna-ongevallen worden surrogaat indicatoren (zie 4.6.1.1) gebruikt om een beeld te vormen op de verkeersveiligheid (Zheng, Ismail, & Meng, 2014; Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018).

Over het algemeen kunnen de onderzoekstechnieken om conflictobservaties uit te voeren onderverdeeld worden in twee grote categorieën: gebaseerd op echte verkeersconflicten of gebaseerd op simulatiemodellen (Zheng, Ismail, & Meng, 2014). In deze studie wordt er verder gegaan met de eerste benadering, de conflictobservaties die gebaseerd zijn op echte conflicten, geobserveerd in het studiegebied. Binnen deze onderzoekstechniek kan vervolgens nog een onderverdeling gemaakt worden, gebaseerd op de dataverzameling. Een eerste mogelijkheid zijn manuele observaties in het studiegebied of op basis van videobeelden van het studiegebied. Hierbij wordt er gebruik gemaakt van de

zogenaamde 'Traffic Conflict Techniques' (TCT) (Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018). De tweede aanpak baseert zich op conflictobservaties die via computeralgoritmes worden uitgevoerd op basis van videobeelden van het studiegebied. De derde manier zijn conflictobservaties aan de hand van naturalistische rijstudies. Hierbij wordt een voertuig uitgerust met verschillende sensoren en meetapparatuur, de data van deze apparatuur kan later gebruikt worden om gedetailleerde informatie te verkrijgen over de manoeuvres van het voertuig, het rijgedrag en de externe factoren.

De eerste onderzoekstechniek focust op manuale conflictobservaties op basis van veldwerk of videobeelden. In de jaren 70 en 80 zijn er verschillende TCT ontwikkeld om een gestandaardiseerde aanpak te bieden voor de manuele conflictobservaties (Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018). Een TCT kan gezien worden als een framework voor conflictobservaties waarbinnen observatiemethodes, een handleiding voor de desbetreffende techniek en een set van indicatoren worden gedefinieerd. Hoewel de verschillende TCT zich allemaal richten op verkeersveiligheid, zijn de gebruikte surrogaat indicatoren en methodieken vaak verschillend (Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018; Zheng, Ismail, & Meng, 2014). Hieronder wordt een korte samenvatting gegeven van veel gebruikte, succesvolle en breed aanvaarde TCT.

De Amerikaanse TCT is een van de relatief eenvoudige TCT. Een conflict is een deze methode gedefinieerd als een situatie met een uitwijkend manoeuvre, herkenbaar aan rembewegingen of laterale weefbewegingen (Parker & Zegeer, 1989). Anders dan bij de volgende TCT wordt er in deze TCT geen gebruik gemaakt van surrogaat indicatoren zoals TTC, PET, etc. De rapportage bij deze techniek focust voornamelijk op de aanwezigheid van conflicten, niet de ernst (Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018). Er wordt bij de observatie(s) vooraf een lijst met mogelijke conflicten opgesteld. Indien een van deze conflicten wordt waargenomen, dan wordt het nummer van het soort conflict gerapporteerd.

De Canadese TCT maakt in vergelijking met de Amerikaanse TCT wel gebruik van surrogaat verkeersveiligheidsindicatoren (Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018). In deze techniek wordt de TTC_{min} gebruikt in combinatie met een subjectieve maatstaf, de Risk of Collision (ROC). Op basis van observaties van getrainde observanten wordt de TTC_{min} ingeschat en wordt de ROC van het conflict subjectief ingedeeld in een van volgende categorieën: lage, gemiddelde of hoge ernst. De TTC_{min} wordt ingedeeld in de categorieën: minder dan 2 seconden, minder dan 1,6 seconden of minder dan 1 seconde.

Naast de Canadese en Amerikaanse TCT is ook in Nederland een TCT ontwikkeld. Het gaat hier over 'DOCTOR' (Dutch Objective TCT for Operation and Research) (Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018). Binnen de DOCTOR wordt een conflict (ook kritische situatie genoemd) gedefinieerd als een situatie waarbij de ruimte om een manoeuvre uit te voeren minder is dan de ruimte die nodig zou zijn

voor een normale reactie (van der Horst, et al., 2017). Indien op basis van een observatie een conflict, gebaseerd op de definitie, wordt waargenomen, dan krijgt de ernst van het conflict een score op een schaal van een tot vijf. Hierbij wordt zowel rekening gehouden met de kans op een aanrijding, de ernst, als met de grootte van de consequenties indien het conflict had geleid tot een aanrijding. De kans op een aanrijding wordt bepaald door de TTC en/of de PET. Hierbij worden waardes voor de TTC onder de 1,5 seconden en onder 1 seconde voor PET beschouwd als kritische waardes (Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018). De consequenties van een bepaald conflict, indien het tot een botsing was gekomen, worden bepaald op basis van een reeks van subjectief beoordeelde indicatoren: relatieve snelheid (snelheidsverschil tussen de weggebruikers), beschikbare ruimte om een uitwijkmanoeuvre in te zetten en de bepaling of een uitwijkmanoeuvre al dan niet gecontroleerd was. Door beide factoren (kans op een ongeval en de mogelijke consequenties) in rekening te brengen kunnen conflicten gequoteerd worden op een schaal van een tot vijf, met één een conflict met een lage ernst en vijf een hoge ernst (Kraay, van der Horst, & Oppe, 2013). De verschillende categorieën met bijhorende uitleg zijn te vinden in Tabel 8.

Tabel 8: Classificatie van conflicten volgens ernst op basis van Older & Spicer, 1976 (Kraay, van der Horst & Oppe, 2013)

Conflict severity	Class	Definition
Slight	1	Precautionary braking or changing lanes or other anticipatory braking or changing lanes with a low probability of a collision
	2	Controlled braking or changing lanes to avoid a collision with little manoeuvring time
Serious	3	Strong braking, rapid changing lanes or stopping to avoid a collision, resulting in a near-crash (No time left for a controlled manoeuvre)
	4	Emergency braking or strong swerving resulting in a near-crash or slight collision
	5	Emergency action followed by a collision

Een voorbeeld van de toepassing van DOCTOR is de studie van Van der Horst et al. (2014). In deze Nederlandse studie zijn conflicten op fietspaden geobserveerd en gerapporteerd volgens DOCTOR. Zowel in Amsterdam als in Eindhoven heeft men 18 uur video-observaties geanalyseerd volgens de voorgeschreven methode. Een samenvatting van de resultaten in Amsterdam is weergegeven in Tabel 9

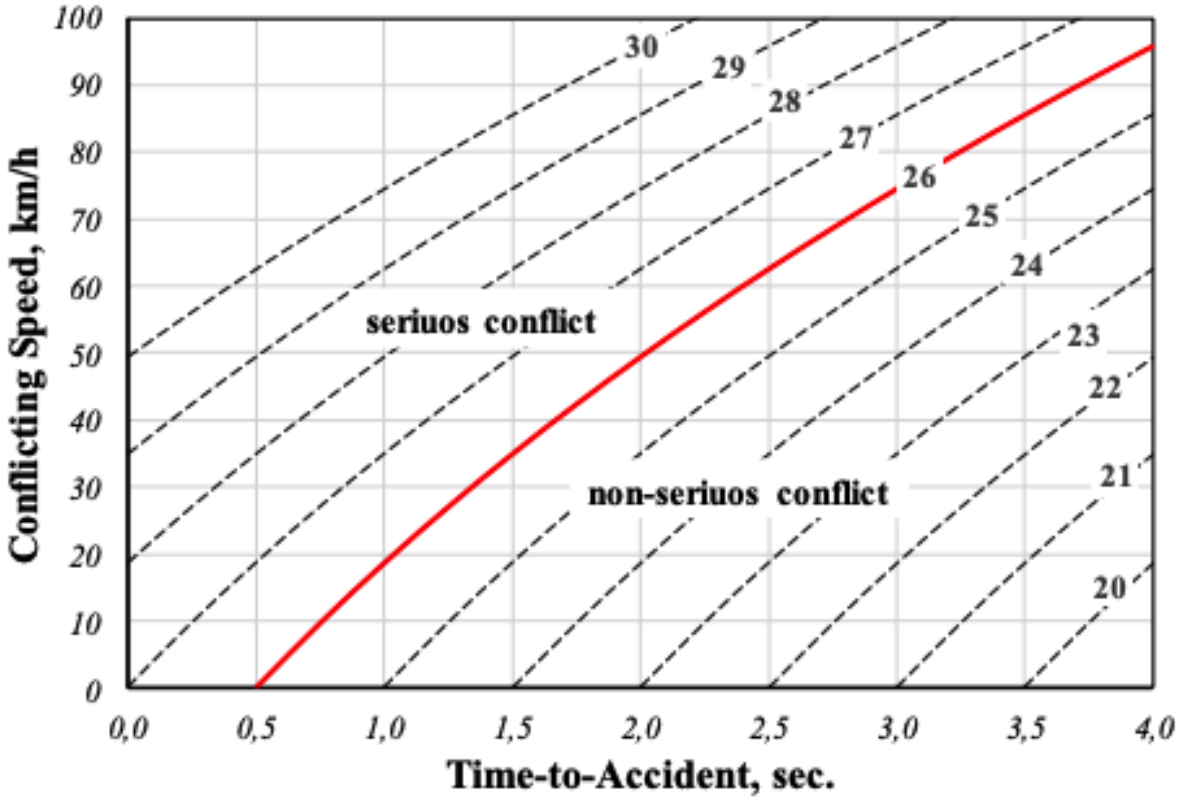
Tabel 9: Resultaten DOCTOR Amsterdam (Van der Horst, et al., 2014)

Location Amsterdam: traffic conflicts by type of conflict (type 1: same direction; type 2: crossing (gray shade column) and type 3: opposing traffic), type of road user (B: bicyclist; M: moped rider; P: pedestrian and C: car) and conflict severity according to the DOCTOR method (1 and 2: slight conflicts and 3–5 serious conflicts (gray shade rows)). The red rectangles reflect the dominant (serious) conflict types.

Amsterdam total								
Conflict type	1a	1b	1c	1d	1e	2	3	Total
Conflict parties								
B-B	2	0	2	1	1	5	9	20
B-M	0	0	0	0	1	0	8	9
B-C						2		2
B-P						25		25
M-M						0	1	1
M-P						6		6
TOTAL	2	0	2	1	2	38	18	63

Conflict Type	1a	1b	1c	1d	1e	2	3	Total
Conflict Severity								
1	0	0	0	0	0	3	0	3
2	0	0	1	0	2	12	5	20
3	2	0	1	1	0	19	8	31
4	0	0	0	0	0	3	5	8
5	0	0	0	0	0	1	0	1
TOTAL	2	0	2	1	2	38	18	63

Een laatste TCT die besproken zal worden, is de Zweedse TCT. Deze TCT beschrijft de ernst van een conflict als een combinatie van twee parameters: de Time-to-Accident (TA) en de conflictsnelheid (CS) (Laureshyn & Vàrhelyi, 2018). De TA kan beschreven worden als de tijd tot een aanrijding tussen twee weggebruikers vanaf het moment dat een uitwijkmanoeuvre is ingezet. De CS is de snelheid van de weggebruiker die het uitwijkmanoeuvre aanvat. Bij een geobserveerd conflict worden beide parameters geschat om zo, via een 'conflict severity diagram' de ernst in te schatten. Dit diagram is te zien op Figuur 33. Hierbij hebben conflicten die worden gequoteerd op 26 en meer een zwaardere ernst. Conflicten onder de rode lijn worden niet als kritisch beschouwd. Praktisch gezien is het relatief moeilijk om de TA in te schatten voor een observant, hierdoor wordt er ook gebruik gemaakt van de afstand tussen twee voertuigen. Deze afstand kan aan de hand van een conversietabel en op basis van de CS vervolgens omgezet worden naar een TA waarde.



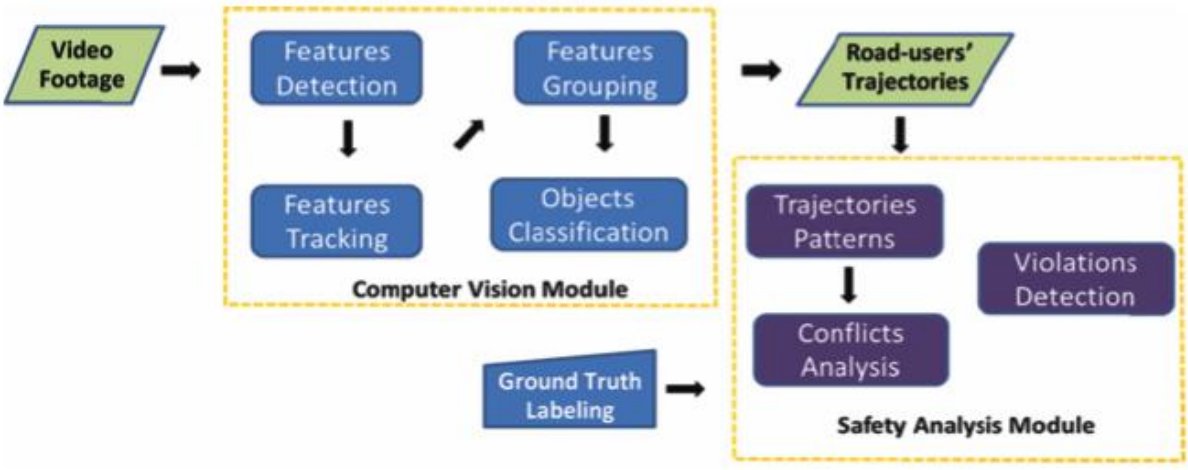
Figuur 33: Conflict severity diagram (Laureshyn & Vàrhelyi, 2018)

Over het algemeen kan gesteld worden dat er verschillende TCT beschikbaar zijn om manuele conflictobservaties uit te voeren. Het grote voordeel van deze methodes is dat er veel informatie kan verzameld worden (Zheng, Ismail, & Meng, 2014). Ook is dit een relatief eenvoudige methode om conflictobservaties uit te voeren. Naast deze voordelen blijkt ook uit de Malmö-studie van Grayson et al. (1984), een studie met betrekking tot de kalibratie van TCT, dat TCT een hogere validiteit hebben dan andere, meer objectieve maatstaven. Dit kan komen doordat een observant veel meer informatie opneemt in de beoordeling van een conflict in vergelijking met een enkele objectieve maatstaf zoals TTC. Naast deze voordelen zijn er ook nadelen bij het gebruik van een TCT. Zo is het observer-bias, behandeld in de vorige paragraaf, een niet te overzien nadeel. Het gaat hierbij voornamelijk over het inter- en intra-observer bias aangezien TCT zich, al dan niet volledig, baseren op subjectieve beoordelingen van een conflict. Naast dit nadeel is deze methode ook tijdsintensief, wat te wijten is aan het feit dat elke observatie manueel wordt uitgevoerd.

De laatste jaren is er een grote opkomst van geautomatiseerde conflictobservaties vast te stellen in de literatuur. Een van de drijfveren van dergelijke methodes is het wegvallen van de nadelen die ontstonden bij de toepassing van TCT (Zheng, Ismail, & Meng, 2014).

Geautomatiseerde conflictobservaties, ook wel de 'Computer vision technique' genoemd, kunnen beschreven worden als conflictobservaties waarbij een computer autonoom, op basis van verschillende algoritmes, weggebruikers en hun

trajectoriën gaat detecteren en vervolgens conflicten gaat analyseren (Zheng, Ismail, & Meng, 2014). Bij de analyse van deze conflicten worden parameters zoals TTC en PET berekend. Om te komen tot de extractie van deze laatste parameters op basis van videobeelden is een hele reeks van stappen nodig (Ismail, et al., 2009). Deze stappen werden eerder ook al gedeeltelijk behandeld in paragraaf 4.2 aangezien dat de analyse van dronebeelden ook onder deze methode valt. Doorheen de literatuur zijn verschillende frameworks terug te vinden voor geautomatiseerde conflictobservaties en andere geautomatiseerde analyses van videobeelden. Deze frameworks zijn over het algemeen sterk vergelijkbaar met elkaar, al verschilt de technische uitwerking van de componenten. Ismail et al. (2009) en Zaki et al. (2013) stellen dat er verschillende basiscomponenten zijn in de methodologie rond geautomatiseerde video-analyse en conflictobservatie, zie Figuur 34. De input voor de geautomatiseerde conflictobservaties komt van gekalibreerde videobeelden. Het doel van deze kallibratie is het vinden van een set van parameters die de relatie beschrijven tussen de coördinaten op de videobeelden en de coördinaten in de echte wereld. Eens dit gedaan is, wordt een computer vision module ingeschakeld. Op basis van algoritmes worden 'features' gedetecteerd op de beelden. Deze worden vervolgens doorheen de videobeelden gevolgd. Op basis van de beweging en de ruimtelijke posities van deze features worden features gegroepeerd. Deze groepering resulteert in de detectie van een bepaalde weggebruiker. Aan de hand van snelheden en/of uiterlijke kenmerken van dergelijk groep van features kan een bepaalde weggebruiker ingedeeld worden volgens de vervoersmodi. Dit proces wordt ook beschreven in het onderzoek van Zangenehpour, Miranda-Moreno en Saunier (2015), aangehaald bij de methodieken voor gedragsobservaties. De stappen binnen de computer vision module resulteren in trajectoriën van verschillende weggebruikers. Op basis van deze trajectoriën kan de software aan de hand van algoritmes conflictobservaties autonoom uitvoeren en conflictparameters berekenen. Dit gebeurt in de safety analysis module. Belangrijk om mee te geven is dat dit niet de enige mogelijke techniek is. De huidige technologische vooruitgang laat zien dat dergelijke analyse ook o.a. met behulp van AI kunnen uitgevoerd worden, zie YOLO in paragraaf 4.2.



Figuur 34: Geautomatiseerde video-analyse: een framework (Zaki, et al., 2013)

In de literatuur zijn al verschillende studies terug te vinden die gebruik hebben gemaakt van dergelijke methodes. Zo hebben Zaki et al. (2013) de hierboven besproken methodiek toegepast op conflictobservaties rond voetgangersoversteekplaatsen op een kruispunt in East Hastings (Vancouver, Canada). Aan de hand van videobeelden van het kruispunt werden zowel verkeersovertredingen als verkeersconflicten onderzocht. Voor de conflictobservaties werden zowel TTC en PET als conflictparameters gehanteerd. Uit het onderzoek kan geconcludeerd worden dat de technologie al een behoorlijke maturiteit vertoont, maar dat verdere ontwikkelingen zeker nog nodig zijn. Het gaat hierbij voornamelijk over de detectie en het volgen van de verkeersdeelnemers. Verder blijken ook de schaalbaarheid van dergelijke technieken en de hoge vraag naar rekenkracht van de computer nog belangrijke uitdagingen.

Het onderzoek van Reyad et al. (2017) toont aan hoe geautomatiseerde conflictobservaties kunnen bijdragen aan verkeersveiligheidsanalyses van schoolomgevingen. Aan de hand van TTC en PET, samen met andere indicatoren zoals snelheid, heeft men op basis van geautomatiseerde conflictobservaties conflicten tussen voetganger, auto's en bussen geanalyseerd. Er is ook gebruik gemaakt van een 'Severity Index' (SI) om ernst van de conflicten af te wegen ten opzichte van de frequentie. Deze SI is opgebouwd op basis van de TTC_{min} van het conflict. De formule is hieronder weergegeven:

$$SI = e^{-\left(\frac{TTC_{min}^{2}}{2*PRT^{2}}\right)}$$

Met TTC_{min} de minimale TTC van een conflict en PRT de tijd die nodig is voor een weggebruiker om een conflict waar te nemen en de reactietijd om de rembeweging te starten. Voor de PRT wordt een waarde van 1,5 seconden aangenomen. Deze SI geeft als resultaat een waarde tussen 0 en 1, met 0 een lage ernst en 1 een hoge ernst. Reyad et al. (2017) hebben vervolgens deze SI afgewogen ten opzichte van de frequenties van geobserveerde conflicten. Hierdoor werd het mogelijk om zicht te krijgen op het aantal conflicten en de ernst ervan in de schoolomgeving.

Concluderend kan gesteld worden dat geautomatiseerde conflictobservaties een goed alternatief bieden voor manuele observaties. Zo blijkt dit een kosteneffectieve, betrouwbare en efficiënte techniek te zijn (Zheng, Ismail, & Meng, 2014). Wel blijkt dat deze techniek nog steeds verder ontwikkeld dient te worden om de huidige tekortkomingen weg te werken. De detectie van weggebruikers, in het bijzonder de zwakke weggebruikers (voetganger, fietser), is nog niet voldoende uitgewerkt waardoor er fouten ontstaan zoals het foutief en/of niet detecteren van deze weggebruikers (Ismail, et al., 2009). Dit komt voornamelijk doordat voetgangers en fietsers vaak complexe gedragingen vertonen in vergelijking met autobestuurders en doordat zwakke weggebruikers minder gebonden zijn aan beperkingen in de omgeving (voertuigen zijn gebonden

aan de weg) (Zaki, et al., 2013). De detectie van voertuigen kan daarentegen wel beschouwd worden als een toepassing met een voldoende hoge maturiteit. Verder blijkt ook dat de algoritmes voor deze analyses enerzijds complex zijn en anderzijds veel rekenkracht van de computer vereisen (Zheng, Ismail, & Meng, 2014). De ontwikkeling van dergelijke software is daarom niet eenvoudig. Dit wordt wel opgevangen door de recente ontwikkelingen van commerciële softwareprogramma's zoals DataFromSky en GoodVision (Barmpounakis, et al., 2019). Tot slot geven Tageldin en Sayed (2016) aan dat er nog steeds een grotere correlatie is tussen subjectieve conflictobservaties (aan de hand van een TCT, cfr. Swedish TCT) en botsingen in vergelijking met objectieve conflictparameters (TTC, PET, ...) door geautomatiseerde conflictobservaties en botsingen. Dit werd eerder al besproken als een voordeel van de toepassing van TCC. Het is positief dat conflictparameters zoals TTC en PET op een kwantitatieve en objectieve manier worden berekend, al geven subjectieve beoordelingen vaak nog meer informatie met betrekking tot de conflicten weer.

Verkeerstellingen, OD-matrices & modal split

Naast gedragsobservaties en conflictobservaties is het belangrijk om ook zicht te krijgen op de aanwezige verkeersstromen in het studiegebied. Voertuigtellingen zijn hierbij essentieel. Hierbij wordt niet enkel informatie verzameld zoals het aantal weggebruikers, ook de vervoersmodi, de herkomst-bestemmingsrelatie van een weggebruiker, etc. worden verzameld.

Over het algemeen kunnen methodes voor tellingen worden onderverdeeld in twee categorieën: de intrusieve (datarecorder en sensor) en niet-intrusieve methodes (observatie op afstand) (Leduc, 2008). Onder de intrusieve methodes komen drie courante technieken voor: de pneumatische telslangen, de piëzo-elektrische sensoren en de magnetische/inductieve tellussen. De niet-intrusieve methodes bestaan uit: manuele tellingen, infraroodsensoren, passief magnetisme, microgolfradar, ultrasone/akoestische sensoren en video-observaties.

Pneumatische telslangen detecteren weggebruikers op basis van de luchtstroom binnenin de telslang (Leduc, 2008). Wanneer een weggebruiker over de telslang beweegt zal een luchtstroom binnen de telslang bewegen en gedetecteerd worden door een sensor. Door de inzet van een of meerdere telslangen op een gekende afstand van elkaar kan ook snelheid, bewegingsrichting, voertuigklasse, etc. bepaald worden. Een nadeel van deze methode is de beperkte mogelijkheid om een groot aantal rijstroken op te nemen in de telling. Ook blijkt uit een validatiestudie van Puan et al. (2019) dat pneumatische telslangen, in vergelijking met manuele tellingen op basis van video-observaties, minder accuraat zijn. Naast pneumatische telslangen worden ook vaak inductieve tellussen gebruikt. Dit zijn lussen in het wegdek die een magnetisch veld opwekken. Door het passeren van een voertuig wordt dit magnetisch veld verstoord en kan men voertuigen detecteren. Deze methode wordt niet beïnvloed door het weer, al blijkt dit wel een

kostelijke methode te zijn. Ook is de toepasbaarheid bij korte onderzoeken relatief moeilijk aangezien de lussen in het wegdek worden geplaatst. De laatste niet-intrusieve methode is de piëzo-elektrische sensor. Deze sensoren vangen signalen op door middel van de omzettingen van mechanische energie (vervorming van het piëzo-elektrisch materiaal door kracht van een voertuig) naar elektrische energie (Regtien & Dertien, 2018). De detectie van een voertuig is gebaseerd op het verschil in elektrische energie tussen twee elektroden.

Bij de niet-intrusieve methodes is de manuele telling de meest gebruikte methode. Hierbij worden voertuigintensiteiten, classificaties, etc. manueel bepaald op basis van veldobservaties of video-observaties (Leduc, 2008). Een groot voordeel is het feit dat er met deze methode intensiteiten van alle verkeersdeelnemers verzameld kunnen worden, ook van verkeersdeelnemers zoals voetgangers die onzichtbaar zijn voor de intrusieve methodes. Op het vlak van tellingen blijkt dit ook een betrouwbare methode (telfouten <1%), al zijn de classificatiefouten wel significant (gemiddeld 4-5%) (Zheng & Mike, 2012). De infraroodsensoren, microgolfradar, de ultrasone/akoestische sensoren en het passief magnetisme werken allemaal ongeveer volgens hetzelfde principe. Er wordt respectievelijk infraroodstraling, microgolven, geluidsgolven of een magnetisch veld uitgestuurd/gecreëerd door het apparaat. Door de aanwezigheid van een weggebruiker worden deze golven/velden onderbroken. Een sensor stelt vervolgens deze onderbreking vast en registreert het voertuig. Afhankelijk van de tijd en de omvang van de verstoring van de straling/veld kunnen andere gegevens zoals classificatie bepaald worden (niet bij geluidsgolven). Tot slot kunnen ook geautomatiseerde videotellingen worden ingezet voor de bepaling van intensiteiten, classificaties, etc. Het gaat hierbij over computer-algoritmes die toegepast worden op videobeelden om zo gegevens te verzamelen, deze techniek werd eerder uitgelegd in paragraaf 4.2.

Een overzicht van de technieken en de mogelijke parameters die kunnen berekend worden is weergegeven in Tabel 10.

Tabel 10: Datatype volgens teltechniek (Leduc, 2008)

Detector Type			Volume/Count	Speed	Classification	Occupancy	Presence
I	Inductive Loop		✓	✓ (1)	✓ (2)	✓	✓
	Magnetic		✓	✓ (3)	✓ (3)	✓	✓
	Pneumatic Road Tube		✓	✓	✓	×	×
N	Active Infrared		✓	✓	✓	×	×
	Passive Infrared		✓	✓ (4)	✓	✓	✓
	Microwave Radar	Doppler	✓	✓	✓	✓	
		True Presence	✓	✓	✓	✓	✓
	Ultrasonic		✓	×	×	×	✓
	Passive Acoustic		✓	✓	✓	✓	✓
	Video Image Processing		✓	✓	✓	✓	✓

Note: (1) Speed can be measured by dual-loops with a known distance apart, or by algorithms with a single-loop assuming the length of the detection zone and vehicle.
(2) Advanced detector cards can measure classification using "vehicle signature."
(3) Speed and classification measurement by magnetic detectors requires two units.
(4) Passive infrared detectors with multi-detection-zone capability can measure speed.
✓ - can provide the data type, × - cannot provide the data type

Om naast voertuigintensiteiten ook meer inzicht te krijgen in de herkomst-bestemmingsrelaties van voertuigstromen, de OD-matrices, kan men ook verschillende onderzoekstechnieken inzetten. Er kan onderscheid gemaakt worden in directe en indirecte technieken. Bij de direct technieken wordt er data verzameld die een directe relatie hebben met OD-data, zoals: manuele observaties, verplaatsingsdagboek, enquête, kentekenonderzoek, computer vision, etc. (Krishnakumari, et al., 2019; Kuwahara & Sullivan, 1987). Ook zijn er technieken die geen rechtstreekse relatie hebben met OD-data, dit zijn technieken zoals: OD-matrices gebaseerd op OBD-data, OD-matrices gebaseerd op telefoondata, etc. (Krishnakumari, et al., 2019; Wang & Mei, 2018; Savrasovs & Pticina, 2017). Aangezien de focus in dit onderzoek ligt op schoolomgevingen wordt het belang van enkele methodes kleiner. Het zijn vooral de kentekenonderzoeken, de manuele observaties en de computer vision die veel toegepast worden. Bij kentekenonderzoeken worden aan alle in- en uitgangen van het studiegebied manuele observanten en/of camera's geplaatst om de nummerplaten van de voorbijrijdende voertuigen te registreren. Wanneer een nummerplaat tweemaal wordt geregistreerd, eenmaal bij het inrijden van het projectgebied en eenmaal bij het verlaten, dan is de herkomst en bestemming gekend. Een groot nadeel van deze methode is het feit dat weggebruikers zonder nummerplaat (zwakke modi) niet opgenomen kunnen worden. Ook is dit een tijdsintensieve methode indien de nummerplaten manueel dienen geregistreerd te worden. Hiernaast blijkt de methode ook complex in studiegebieden met een groot aantal in-en uitgangen (Savrasovs & Pticina, 2017). De OD-matrices die met behulp van de computer vision techniek worden bepaald zijn gebaseerd op de trajectoriën van de voertuigen. Deze trajectoriën worden bepaald door verschillende algoritmes, zoals uitgelegd in paragraaf 4.2. Tot slot is het ook mogelijk om OD-matrices op te stellen op basis van manuele observaties. Hierbij registreert de observant de herkomst en bestemmingslocatie van een weggebruiker in het studiegebied of worden tellingen uitgevoerd van ingaande en uitgaande weggebruikers. Deze manuele observaties zijn echter enkel mogelijk bij kleine studiegebieden met een lage drukte.

Tot slot zijn er ook verschillende technieken beschikbaar voor het bepalen van de modal split. Zoals reeds aangegeven in paragraaf 4.6.1.2 is modal split de verdeling van het aantal verplaatsingen met een bepaalde vervoersmodi ten opzichte van het totaal aantal verplaatsingen (European Commission, 2021). Op basis van tellingen met een van de eerder beschreven technieken, waarbij ook de voertuigcategorie kan geregistreerd worden, kunnen cijfers met betrekking tot de modal split bepaald worden. In het kader van onderzoek naar schoolomgevingen, is het interessanter om de modal split van de school zelf te bepalen in plaats van de modal split van het gehele onderzoeksgebied. Sersli, Rothman en Winters (2019) beschrijven drie gangbare onderzoekstechnieken voor de bepaling van de modal split van scholen: observationele tellingen, onderzoek door middel van opsteken van de hand in de klas en familie- of verplaatsing-enquêtes. Bij observationele tellingen (al dan niet manueel of via computer vision) worden alle

aankomende kinderen aan de school geteld en ingedeeld volgens vervoersmodi. Een grote moeilijkheid hierbij blijkt het maken van onderscheid tussen leerlingen die met de auto of te voet zijn gekomen. Bevragingen in de klas of via een schriftelijke enquête blijken dan weer eenvoudigere methodes, al zorgt dit ook voor uitdagingen (de Wit, et al., 2012). Zo blijkt de non-respons een grote uitdaging voor schriftelijke enquêtes. Voor de klassikale bevragingen, vaak afgenomen door de leerkracht, zijn de instructies voor de leerkracht en eventuele training van de leerkracht belangrijk. De accuraatheid van deze eenvoudige en tijdsefficiënte methode blijkt wel hoog te zijn.

Bevragingen

De laatste onderzoekstechnieken die aan bod komen binnen deze literatuurstudie zijn de bevragingen. Onder bevragingen worden verschillende technieken van dataverzameling verstaan, gaande van enquêtes, interviews, tot focusgroepen (Van Haperen, et al., 2019). Deze methodes hebben allemaal met elkaar gemeen dat ze voortbouwen op percepties, meningen, bevindingen, opinies, etc. van al dan niet individuele personen. Dit zorgt voor een hoge mate van subjectiviteit (Geerts, 2015). Zo heeft Geerts (2015) de subjectieve veiligheid in schoolomgevingen onderzocht aan de hand van enquêtes. Ook Route2School is een voorbeeld van een subjectieve methode van dataverzameling. Binnen dit onderzoek ligt de focus echter meer bij onderzoekstechnieken die objectieve data opleveren. Hoewel er blijkt dat bevragingen overwegend leiden tot subjectieve data en zelf-gerapporteerd gedrag, kan het toch toegepast worden binnen dit onderzoek in het kader van o.a. bepaling van OD-matrices en de bepaling van de modal split (Krishnakumari, et al., 2020; Sersli, Rothman, & Winters, 2019). Voor deze toepassingen wordt verwezen naar voorgaande paragraaf.

4.6.3 Conclusie

Op basis van de literatuurstudie kan geconcludeerd worden dat er een hele reeks parameters beschikbaar zijn om het verkeer en de verkeersveiligheid in schoolomgevingen in kaart te brengen. Om de waardes van deze parameters te bepalen zijn specifieke onderzoekstechnieken nodig. Deze technieken zijn besproken in het tweede deel van de literatuurstudie. De manuele observaties en de computer vision technique vormen hierbij de belangrijkste methodes. Om een overzicht te creëren werd een samenvattende tabel opgesteld, te zien in Tabel 11. Per onderzoekstechniek wordt een korte uitleg gegeven, wordt een oplijsting gemaakt van welke parameters er bepaald kunnen worden, op welke weggebruikers de techniek toepasbaar is, of de techniek al dan niet manueel dient uitgevoerd te worden, of er sprake is van een objectieve of subjectieve dataverzameling en of de techniek wordt toegepast in de pilotstudie in Zonhoven.

Tabel 11: Samenvatting onderzoekstechnieken (Eigen werk, 2021)

CATEGORIE	ONDERZOEKS-TECHNIEK	MANUEEL / GEAUTOMATISEERD	SUBJECTIEF EN/OF OBJECTIEF	WEG-GEBRUIKKERS*	BESCHIKBARE PARAMETERS	GEBRUIK IN PILOTSTUDIE ZONHOVEN	UITLEG
CONFLICT-OBSERVATIES	Traffic Conflict Techniques	Manueel	Subjectief	A	Prevalentie bijna-ongevallen/conflicten; TTC; PET; ROC; Ernst van bijna-ongeval	Nee	Gestandaardiseerde technieken om de ernst van conflicten/bijna-ongevallen te onderzoeken aan de hand van manuele observaties. Afhankelijk van de TCT worden verschillende subjectieve en objectieve maatstaven gebruikt (bv. TTC, PET, ROC, ...). Voor TTC, PET, etc. wordt een subjectieve beoordeling gebruikt.
	Computer vision technique	Geautomatiseerd	Objectief	A**	TTC; PET; TET; TIT; DST; DR; TA; TTZ; CS; ...	Ja	Door middel van algoritmes (afhankelijk van de software), toegepast op videobeelden, worden conflicten automatisch geanalyseerd op basis conflictparameters (Bv. TTC, PET, TIT, TET, ...). Hierbij wordt gebruik gemaakt van de trajectoriën van de weggebruikers, ook bepaald door de software.
GEDRAGS-OBSERVATIES	Manuele gedragsobservatie on field	Manueel	Subjectief	A	Verkeersgedrag; Jaywalking; Prevalentie beschermende kledij; kijkgedrag; ...	Nee	Het gedrag van de verkeersdeelnemers wordt in het studiegebied door een of meerdere observanten geobserveerd en gerapporteerd aan de hand van een vooraf bepaalde lijst van variabelen.
	Manuele gedragsobservatie op videobeeld	Manueel	Subjectief	A	Verkeersgedrag; Jaywalking; Prevalentie beschermende kledij; kijkgedrag; ...	Nee (evt. voor validatie)	Het gedrag van de verkeersdeelnemers wordt op basis van videobeelden door een of meerdere observanten geobserveerd en gerapporteerd aan de hand van een vooraf bepaalde lijst van variabelen.
	Computer vision technique	Geautomatiseerd	Objectief	A**	Snelheid; Versnelling; Measures of Effectivness; time & distance headway; Laterale bewegingen;	Ja	Door middel van algoritmes, toegepast op videobeelden, wordt het gedrag van verkeersdeelnemers geanalyseerd. Deze toepassing spitst zich toe op de extractie van snelheden, hiaattijden, headway, laterale bewegingen, ... De analyses worden uitgevoerd op basis van de geëxtraheerde trajectoriën van de weggebruikers.
	Sensoren	Geautomatiseerd	Objectief	F***; G	Snelheid; time & distance headway;	Nee	Door middel van sensoren (pneumatische telslangen, inductieve tellussen, radars, ultrasone sensoren, infrarood sensoren, ...) worden verkeersparameters met betrekking tot snelheid en headway verzameld. De extractie van de parameters wordt gebaseerd op de verstoring van een specifiek signaal van de sensor door een verkeersdeelnemers.
VERKEERS-TELLINGEN	Manuele observatie on field	Manueel	Objectief	A	Intensiteit; Classificatie; Dichtheid; Aanwezigheid van weggebruiker;	Nee	Het verkeer wordt in het studiegebied geteld door observanten. Hierbij kan gebruik gemaakt worden van telformulieren, telramen, ... Afhankelijk van het doel kunnen ook voertuigcategorieën, dichtheden, etc. worden gerapporteerd. De parameters worden bepaald voor een of meerdere specifieke locaties in het studiegebied.
	Manuele observatie op videobeeld	Manueel	Objectief	A	Intensiteit; Classificatie; Dichtheid; Aanwezigheid van weggebruiker;	Nee (evt. voor validatie)	Het verkeer wordt op basis van videobeelden geteld door observanten. Hierbij kan gebruik gemaakt worden van telformulieren, telramen, ... Afhankelijk van het doel kunnen ook voertuigcategorieën, dichtheden, etc. worden gerapporteerd. De parameters worden bepaald voor een of meerdere specifieke locaties in het studiegebied.
	Computer vision technique	Geautomatiseerd	Objectief	A**	Intensitieit; Classificatie; Aanwezigheid van weggebruiker;	Ja	Door middel van algoritmes, toegepast op de videobeelden, worden verkeersdeelnemers geteld en geclassificeerd. Tellingen worden gebaseerd op de trajectorieën/visuele verschijning van de verkeersdeelnemers. Anders dan bij manuele verkeerstellingen kan het verkeer doorheen het gehele studiegebied (afhankelijk van de videobeelden) door de vrije plaatsing van telpoorten achteraf geteld worden.
	Sensoren	Geautomatiseerd	Objectief	F***; G	Intensiteit; Snelheid**; Classificatie**; Aanwezigheid van weggebruiker**;	Nee	Door middel van sensoren (pneumatische telslangen, inductieve tellussen, radars, ultrasone sensoren, infrarood sensoren, ...) worden verkeersrtellingen uitgevoerd. Aan de hand van een verstoring van een bepaald signaal, gecapteerd door de sensor en bijhorende algoritmes kunnen de parameters bepaald worden. De parameters worden bepaald voor een of meerdere specifieke locaties in het studiegebied.

VERKEERS-STROMEN	Manuele observatie	Manueel	Objectief	A	OD-matrices op microniveau	Nee	De herkomst en de bestemming van verkeersdeelnemers (op microniveau) wordt bepaald aan de hand van manuele observaties in het studiegebied/op basis van videobeelden. Hierbij worden voertuigen visueel gevolgd tussen het binnentreden en het verlaten van het studiegebied. Deze techniek is enkel toepasbaar op kleine studiegebieden met lage intensiteiten.
	Bevraging: Verplaatsings-dagboek	Manueel	Subjectief	A	OD-matrices op macroniveau en/of mesoniveau	Nee	Aan de hand van een verplaatsingsdagboek (bv. OVG Vlaanderen) worden herkomst- en bestemmingslocaties gerapporteerd door de verkeersdeelnemers zelf. Aangezien dit geen zicht geeft op de gekozen routes wordt dit over het algemeen enkel gebruikt worden op hogere niveaus (macro- en mesoniveau)
	Bevraging: Enquête	Manueel	Subjectief	A	OD-matrices op alle niveaus	Nee	Aan de hand van een enquête worden herkomst- en bestemmingslocaties gerapporteerd door de verkeersdeelnemers zelf. Afhankelijk van de vraagstelling en de manier van afname kunnen OD-matrices op verschillende niveaus bepaald worden. Door middel van een face-to-face enquête in het studiegebied kan dit zelfs op microniveau.
	Kenteken-onderzoek	Manueel / Geautomatiseerd	Objectief	G	OD-matrices op alle niveaus	Nee	OD-matrices worden bepaald op basis van de kentekens van de verkeersdeelnemers (niet mogelijk voor verkeersdeelnemers zonder kenteken). Aan alle ingangen van het studiegebied worden kentekens, manueel of geautomatiseerd (ANPR), gerapporteerd. Bij een match (kenteken zowel bij en in- als uitgang) is de herkomst en bestemming gekend.
	Computer vision technique	Geautomatiseerd	Objectief	A**	OD-matrices op microniveau	Ja	Door middel van algoritmes worden trajectoriën van verkeersdeelnemers bepaald. Deze trajectoriën geven de afgelegde weg van een verkeersdeelnemer weer. Hierdoor is het mogelijk om de herkomst en de bestemming van een verkeersdeelnemer te bepalen.
	Big data	Geautomatiseerd	Objectief	G (+V+F)	OD-matrices op macroniveau	Nee	Op basis van Big Data (OBU-data, telecomdata, GPS ...) kunnen herkomsten en bestemmingen van verkeersdelenemers genalyseerd worden. Dergelijke technieken worden over het algemeen enkel toegepast op macroniveau, mede door de complexiteit en beschikbaarheid van deze data.
MODAL SPLIT	Manuele observatie	Manueel	Objectief	A	Modal split op microniveau	Nee	Aan de hand van manuele tellingen in het studiegebied/op basis van videobeelden worden verkeersdeelnemers geteld en ingedeeld in voertuigcategorieën. De hoeveelheid verkeersdeelnemers in een categorie wordt afgewogen t.o.v. het totaalaantal verkeersdeelnemers. Met deze methode kunnen telfouten ontstaan door de aanwezigheid van voor- en naverplaatsingen (bv. auto en te voet van parking naar locatie).
	Computer vision technique	Geautomatiseerd	Objectief	A**	Modal split op microniveau	Ja	Door middel van algoritmes, toegepast op de videobeelden, worden verkeersdeelnemers geteld en geclassificeerd. Tellingen kunnen op elke locatie, zichtbaar op de videobeelden, worden uitgevoerd, dit wordt mogelijk gemaakt door de vrije plaatsing van telpoorten. Door middel van een strategische plaatsing van deze telpoorten kan de modal split van bv. een school bepaald worden.
	Bevraging: opsteken van hand	Manueel	Subjectief	A	Modal split op microniveau	Ja (validatie)	Er wordt door bijvoorbeeld een leerkracht in de klas gevraagd aan de leerlingen wie met welke vervoersmodus naar school is gekomen. Per vervoersmodus wordt vervolgens gerapporteerd hoeveel leerlingen hun hand opstaken bij de desbtreffende vervoersmodus.
	Bevraging: Enquête/Familie-vragenlijst	Manueel	Subjectief	A	Modal split op alle niveaus	Nee	Aan de hand van een familievragenlijst of enquête worden verkeersdeelnemers bevraagd over de vervoersmodus die zij gebruiken voor bv. hun woon-schoolverplaatsing. Afhankelijk van de steekproef van de enquête kan de modal split zo op verschillende niveaus bepaald worden.

* Voet:V; Fiets:F; Gemotoriseerd verkeer:G; Alle weggebruikers:A

** Afhankelijk van de accuraatheid van de detectie en tracking

*** Afhankelijk van de gekozen sensor: zie tabel 6

4.7 Quick wins en maatregelen

- Camille Lubon –

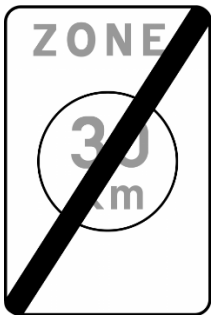
Het derde deelonderzoek heeft betrekking op maatregelen die genomen kunnen worden ter verbetering van de verkeersveiligheid in de schoolomgeving. Dit gedeelte van de literatuurstudie focust op veelvoorkomende problemen in de schoolomgeving, hoe deze gedetecteerd kunnen worden en welke maatregelen genomen kunnen worden om deze problemen op te lossen.

4.7.1 De schoolomgeving

De term schoolomgeving wordt gedefinieerd in artikel 2.37 van het Koninklijk Besluit van 14 mei 2002. Een schoolomgeving is "een zone van een of meerdere openbare wegen of gedeelten ervan, waarin de toegang tot een school is inbegrepen en waarvan het begin en het einde afgebakend zijn door de verkeersborden F4a en F4b". Verkeersbord F4a en F4b duiden respectievelijk het begin en het einde van de zone 30 aan (art. 12.1*bis* ministerieel besluit van 11 oktober 1976). De zone 30 is een zone met een snelheidsbeperking van 30 km per uur.



Figuur 35: Verkeersbord F4a (wegcode.be)



Figuur 36: Verkeersbord F4b (wegcode.be)

Om te bepalen welke maatregelen mogelijk zijn, moet er gekeken worden naar de schoolomgeving. Niet elke schoolomgeving is hetzelfde en vereist dezelfde maatregelen. Integendeel, dé schoolomgeving bestaat niet en er is voor elke schoolomgeving maatwerk nodig. Het Werkboek Schoolomgeving onderscheidt 13 verschillende types schoolomgevingen. De scholen worden ingedeeld naargelang de ligging: in een verblijfsgebied, aan een weg met een dominante verkeersfunctie of aan een weg met zowel een belangrijke verkeersfunctie als een verblijfsfunctie. Verder wordt er ook een onderscheid gemaakt tussen een ligging binnen de bebouwde kom (bibeko) of buiten de bebouwde kom (bubeko). Tot speelt ook het statuut of het snelheidsregime van de weg een rol (Vlaamse Overheid - Agentschap Wegen en Verkeer, 2010). In onderstaande tabel wordt iedere schoolomgeving getypeerd met een letter.

Tabel 12: Types schoolomgevingen (Vlaamse Overheid - Agentschap Wegen en Verkeer, 2010)

Omgeving → / Statuut / Snelheidsregime ↓	Verblijfsgebied	Verblijfs/verkeers- gebied	Verkeersgebied	Andere (groene omgeving, parken, industriezones, ...)
Voetgangerszone	o A			o M
Weg voorbehouden voor voetgangers en fietsers	o B			
(Woon)erf (20 km/uur)	o C			
Zone 30	o D	o G		
Statuut / Snelheidsregime buiten de 'schoolomgevingzone 30'	**Verblijfsgebied**	**Verblijfsverkeers-gebied**	**Verkeersgebied**	
50 km/uur - bibeko - zone 50 - bubeko, 50 km/uur	o E	o H	o J	
70 km/uur - bubeko, 70 km/uur - zone 70 - bibeko, 70 km/uur	o F	o I	o K	
90 km/uur - bubeko			o L	

De situaties E, F en I zijn problematisch, omdat de hoge maximumsnelheden niet passen bij de verblijfsfunctie van het gebied. Deze situaties vergen ingrijpende maatregelen. De situaties K en L zijn ongewenst. De verkeersfunctie is niet te verzoenen met de aanwezigheid van een langsliggende school. Als de dominante verkeersfunctie van de weg behouden blijft of als de maximumsnelheid niet verminderd wordt, is er eigenlijk geen andere optie dan de schooltoegang te verplaatsen. Niet iedere maatregel is geschikt voor ieder type schoolomgeving. In bepaalde gevallen zal het zelfs noodzakelijk zijn om het type schoolomgeving te veranderen om de schoolomgeving verkeersveiliger te maken (Vlaamse Overheid - Agentschap Wegen en Verkeer, 2010).

4.7.2 Schoolroutes

Sinds 2005 wordt de zone 30 ingevoerd in schoolomgevingen om het verkeer rond de schoolpoort veiliger te maken voor kinderen (koninklijk besluit van 26 april

2004). Ze zijn immers bijzonder kwetsbaar in het verkeer. Een studie uit 2002, waarbij er 190 doden en zwaargewonden konden worden opgetekend bij voetgangers onder 17 jaar en 216 doden en zwaargewonden bij de fietsers in dezelfde leeftijdscategorie, is de aanzet geweest om deze problematiek aan te pakken. Ongeveer een derde van die ongevallen gebeurde op weg van en naar school (Mobiel Vlaanderen, 2005).

Een latere studie van het BIVV, het huidige Vias Institute, toont aan dat de aanpak van de directe schoolomgeving geloond heeft, gezien de cijfers. De problematiek heeft zich echter verschoven naar de schoolroutes. De grootste problemen doen zich voor op het woon-schooltraject vanaf de zone 30 tot 300m rond de onderwijsinstellingen. In driekwart van de ongevallen met kinderen tijdens de schooltijden blijkt dit binnen deze zone te liggen (BIVV, 2015). De schoolomgeving uitbreiden of werken met een variabele zone 30 kan een oplossing zijn bij bijvoorbeeld drukke kruispunten. De oorzaken van ongevallen op deze locatie zijn uiteenlopend: oversteken zonder te kijken, de kleine gestalte van kinderen, de slechte gedragingen van de medebestuurders in relatie tot voetgangers en de snelheid van andere weggebruikers zijn de belangrijkste bevindingen. Bij fietsers gaat het vooral om het niet verlenen van voorrang of om fouten bij het nemen van een bocht.

De meeste ongevallen gebeuren dus op de schoolroutes en vaak op lokale wegen binnen de bebouwde kom met een snelheidslimiet van 50 km/u. Kinderen op deze wegen hebben een 3 maal hoger risico dan in 30km/u-zones. Het feit dat ze zich bevinden in een vertrouwde omgeving doet de aandacht ook afzwakken, omwille van een overschatting van de beheersing en controle over die bekende omgeving (BIVV, 2015). Een onderzoek van Schoeters (2018) naar de verkeersveiligheid van kinderen geeft ook aan dat het gaat om een heterogene groep die kampt met specifieke risico's. Een cognitieve en fysieke ontwikkeling die nog niet op punt staat, is de belangrijkste oorzaak. Bijkomend is de invloed van ouders, leerkrachten, etc. van belang omwille van hun beperkte zelfstandigheid.

De dronebeelden van de pilotstudie geven een overzicht van de directe schoolomgeving aangezien de drone 'slechts' 70m hoog vloog. Er is echter ook op schoolroutes een problematiek rond verkeersveiligheid. Door hoger te vliegen kan een groter gebied – en daardoor een gedeelte van de schoolroute – in beeld gebracht worden. Dit heeft echter mogelijk een negatieve impact op de herkenning van verkeersdeelnemers (zie 6.2 Detectie van weggebruikers).

4.7.3 Veelvoorkomende problemen in schoolomgevingen

Het Werkboek Schoolomgeving, opgemaakt door het agentschap Wegen en Verkeer, bestaat uit een inventarisatie van goede praktijken in schoolomgevingen (Vlaamse Overheid - Agentschap Wegen en Verkeer, 2010). Het beschrijft een groot aantal mogelijke problemen op vlak van verkeersveiligheid in

schoolomgevingen. Voor ieder probleem worden er een of meerdere maatregelen voorgesteld. Tabel 13 is een uittreksel uit de problemen en maatregel tabel van het Werkboek Schoolomgeving. Voor ieder probleem wordt er verwezen naar maatregelfiches. Deze fiches zijn eveneens opgenomen in het Werkboek Schoolomgeving. De maatregelen worden onderverdeeld in 4 categorieën (zie: 0): infrastructuurmaatregelen (I), educatiemogelijkheden (E), handhavingsinitiatieven (H) en maatregelen die betrekking hebben op organisatie en overleg (O). De eerste letter van het fiche nummer verwijst naar het type maatregel (I, E, H of O). Deze tabel is een 20-tal pagina's lang en wordt als bijlage toegevoegd. Deze tabel vormt de basis voor het detecteren van problemen en het voorstellen van concrete maatregelen in hoofdstuk 9.2.

Tabel 13: Uittreksel uit de problemen en maatregeltabel van het Werkboek Schoolomgeving (Agentschap Wegen en Verkeer, 2010)

Nr. probleem	Probleem	Maatregel – Verwijzing naar fiche
1.	**ALGEMENE PROBLEMEN**	
1.1	**Cognitieve en fysieke beperkingen van schoolgaande jeugd**	Bij een herinrichting kan u de infrastructuur van de openbare weg afstemmen op de gedragingen en eigenheden van kinderen (zie hiervoor de Infrastructuurmaatregelen)
1.1.1	**Impulsief gedrag van kinderen en jongeren (kinderen lopen straat op, ...)**	I-01 Voetgangersoversteekplaatsen aanleggen of verplaatsen I-02 Oversteek beschermen of verkorten H-01 Politioneel optreden bij impulsief gedrag van kinderen en jongeren E-01 Gemachtigd opzichter inschakelen E-02 Kinderen leren stoppen aan de stoeprand
1.1.2	**Kinderen vinden de situatie in de schoolomgeving chaotisch of onduidelijk**	O-01 Verschillende modi of leeftijdsgroepen spreiden in tijd of ruimte Schoolvervoerplan opstellen (Zie 2.2.3 Schoolvervoerplan)
1.1.3	**Kinderen zijn door hun geringe lengte niet goed zichtbaar / Kinderen kunnen door hun geringe lengte andere weggebruikers of verkeerssituaties niet goed zien**	I-03 Het parkeren organiseren I-04 Foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan fysiek tegengaan E-03 Kinderen leren een juiste oversteekplaats kiezen I-05 Groenvoorziening aanpassen (aanplanten, verplaatsen, weghalen, snoeien) (Kijk ook op http://www.priorite-vos-enfants.fr/index.php5?page=P6-9_40S#2 (en dan rechts op het beeld klikken)
1.1.4	**Voetpad is niet geschikt voor fietsers jonger dan 9 jaar met fietswiel tot diameter 50 cm**	I-06 Voet- en fietspaden obstakelvrij maken, I-31 Voetpad aanpassen volgens normen in Vademecum voetgangersvoorzieningen
1.1.5	**Routes naar school zijn niet aangepast aan kinderen**	I-07 Schoolroutes veilig en kindgericht inrichten (Zie ook voor voetgangers bij problemen 2.6.1 & 3.10 voor fietsers) E-05 Schoolroutekaart aanmaken en verspreiden Schoolvervoerplan opstellen (Zie 2.2.3 Schoolvervoerplan)
1.2	**Beperkte zichtbaarheid**	
1.2.1	**Beperkte zichtbaarheid door geen, onvoldoende of onaangepaste openbare verlichting**	I-16 Een gemeentelijk lichtplan opstellen

Categorieën maatregelen

Het Werkboek Schoolomgeving bundelt een groot aantal maatregelen die gebruikt kunnen worden om knelpunten in de schoolomgeving en op de schoolroutes op te lossen (Vlaamse Overheid - Agentschap Wegen en Verkeer, 2010). Het Werkboek beschrijft 4 categorieën maatregelen:

1. Infrastructuurmaatregelen;
2. Educatiemogelijkheden;
3. Handhavingsinitiatieven;
4. Maatregelen die betrekking hebben op organisatie en overleg.

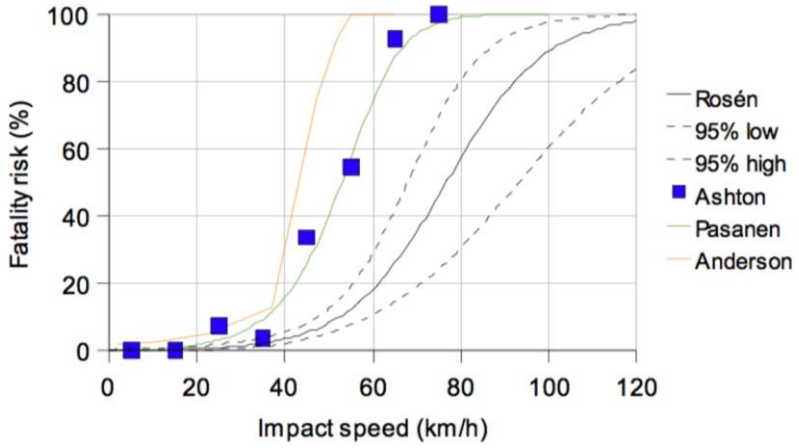
In de volgende paragrafen wordt elke categorie verder beschreven. Binnen iedere categorie worden voorbeelden besproken die mogelijk relevant zijn voor de specifieke schoolomgeving in Zonhoven, gebaseerd op het vooronderzoek. Later zal in de masterproef onderzocht worden welke problematische situaties gedetecteerd kunnen worden aan de hand van dronebeelden en welke maatregelen genomen kunnen worden om de verkeersveiligheid te verhogen.

4.7.4 Infrastructuurmaatregelen

De eerste categorie zijn de infrastructuurmaatregelen. Binnen deze categorie zijn de meeste maatregelen en ze variëren van kleine, kosteloze ingrepen zoals het afstellen van verlichting om verblinding te voorkomen tot grote en prijzige ingrepen zoals een weg als vaste zone 30 inrichten. De inrichting van de infrastructuur kan een belangrijke bijdrage leveren aan een veiligere schoolomgeving. Het verbeteren van de infrastructuur, zowel op openbaar domein als op het privédomein van de school, vergt vaak een combinatie van maatregelen en voorzieningen. Deze moeten gebaseerd op een grondige analyse van de noden en wensen van de verkeersdeelnemers. De infrastructurele maatregelen moeten immers leiden tot duurzame oplossingen.

4.7.4.1 Verlagen van de maximale snelheid

Snelheid wordt algemeen gezien als een belangrijke factor bij verkeersongevallen. Snelheid verhoogt de kans op een ongeval (De Mol, et al., 2012) en snelheid verhoogt de kans op ernstigere gevolgen bij een ongeval (Buylaert, et al., 1999). Rosén (2009) analyseerde verschillende onderzoeken die betrekking hadden op de impact van de voertuigsnelheid op de overlevingskans van voetgangers. Hij vatte het samen in onderstaande grafiek. Hoewel de curves verschillen, is er een duidelijk verband tussen de overlevingskans van een voetganger bij een aanrijding en de snelheid van het voertuig. Bij een snelheid tot 30 km/u is er een overlevingskans van ongeveer 95%. Bij een snelheid van 50 km/u bedraagt de overlevingskans ongeveer 55% en dit verlaagt tot ongeveer 10% bij een snelheid van 65 km/u en meer.



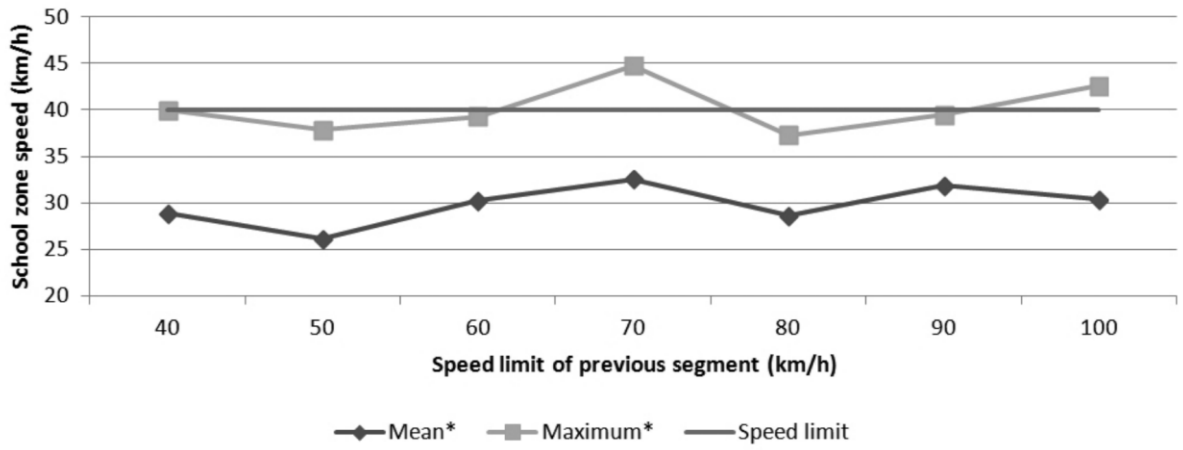
Figuur 37: Impact voertuigsnelheid op de overlevingskans van voetgangers (Rosén, 2009)

Eén van de belangrijkste infrastructuurmaatregelen die genomen wordt in schoolomgevingen is het verlagen van de maximaal toegalaten snelheid tijdens de schooluren. Dit gebeurt onder meer met verkeersborden, knipperlichten en snelheidsdisplays (Rahman, et al., 2019). In België is het sinds 2005 verplicht om een schoolomgeving in te richten als zone 30 (koninklijk besluit van 26 april 2004). Enkel in uitzonderlijke gevallen is dit niet verplicht, wanneer het gerechtvaardigd is door de plaatsgesteldheid[2]. Een 'zone 30' betekent echter veel meer dan louter een snelheidslimiet van 30 km/uur. Om effectief een zone 30 te bekomen is er meer nodig dan het plaatsen van de verkeersborden. Met behulp van infrastructuur en handhaving moet men het verlaagde snelheidsregime afdwingen (Vlaamse Overheid - Agentschap Wegen en Verkeer, 2010).

4.7.4.2 Stapsgewijze vermindering van de maximale snelheid

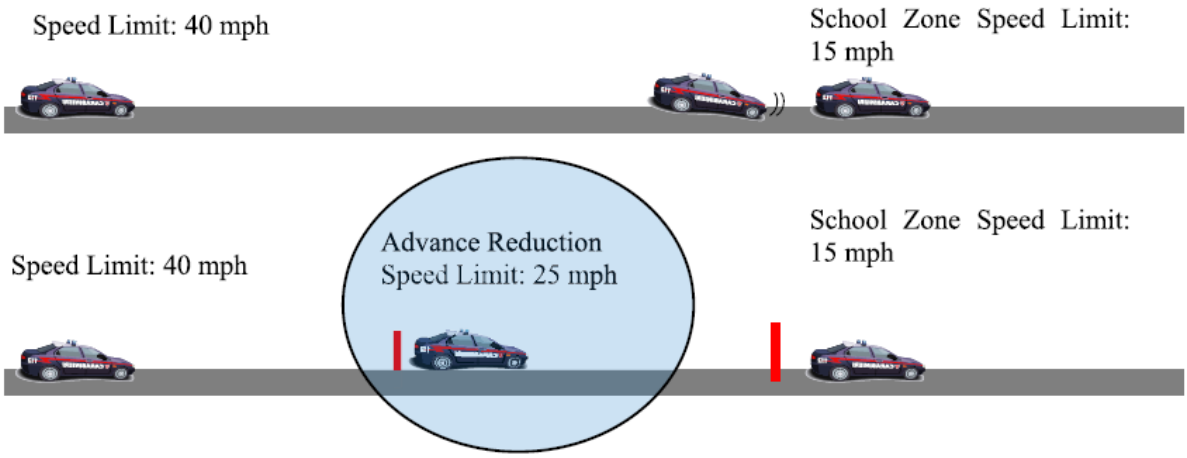
Het verlagen van de maximaal toegelaten snelheid kan een plotselinge snelheidsvermindering tot gevolg hebben. Wanneer de maximaal toegelaten snelheid van 45 mijl/u (±70 km/u) naar 15 mijl/u (±25 km/u) wordt gebracht, kan dat een groot verschil in snelheid veroorzaken tussen het eerste voertuig en de volgende voertuigen. Dit kan resulteren in kop-staartongevallen (Rahman, et al., 2019). Uit de bevindingen van Ellison et al. (2013) blijkt bestuurders in het algemeen vertragen in schoolomgevingen. Op Figuur 38 valt echter op dat wanneer de maximaal toegelaten snelheid op het segment vlak voor de schoolomgeving 70 km/u per is, de gemiddelde maximale snelheid in de schoolomgeving (45 km/u) boven de maximaal toegelaten snelheid ligt (40 km/u).

[2] Vraag nr. 37 om uitleg van mevrouw Els Sterckx tot mevrouw Lydia Peeters, Vlaams minister van Mobiliteit en Openbare Werken, over schoolomgevingen - zone 30 (Vlaams Parlement, 11 oktober 2019).



Figuur 38: Gemiddelde en maximale snelheden in schoolomgevingen op basis van de snelheidslimieten van het vorig segment (Ellison, Greaves, & Daniels, 2013)

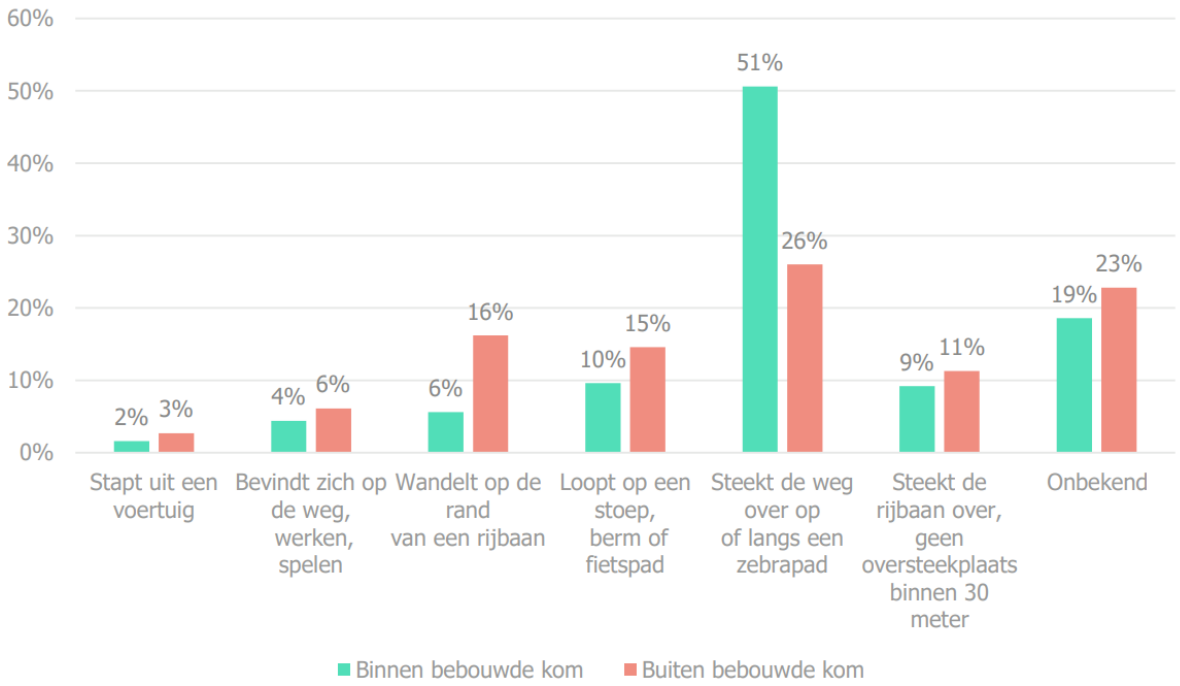
Deze gevaarlijke situaties kunnen vermeden worden door een stapsgewijze snelheidsvermindering in te voeren. Rahman et al. (2019) vonden dat een stapsgewijze snelheidsvermindering van 40 mijl/u naar 15 mijl/u in een schoolomgeving met een tussenstuk van 25 of 20 mijl/u ervoor zorgt dat er minder conflicten zijn en de bestuurders zich beter aan de snelheid houden in vergelijking met een directe snelheidsvermindering van 40 mijl/u naar 15 mijl/u.



Figuur 39: Stapsgewijze snelheidsvermindering (Rahman et al., 2019)

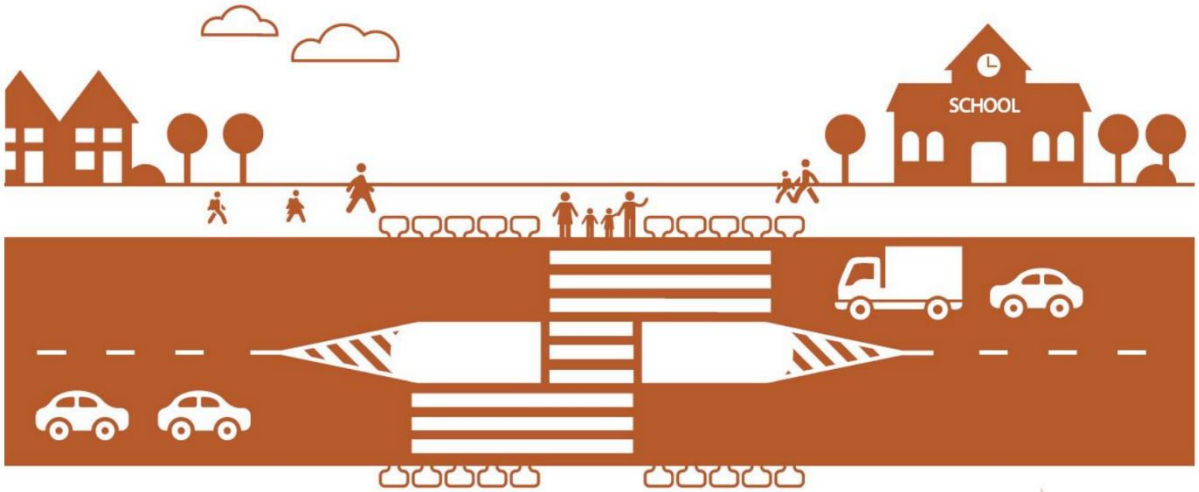
4.7.4.3 Gevleugelde oversteekplaatsen

Het oversteken van een weg is risicovolle beweging voor voetgangers (zie Figuur 40). Oversteekplaatsen zijn dus potentiële risicolocaties voor ongevallen met voetgangers. Eén van de voornaamste oorzaken van ongevallen is het niet-tijdig afremmen van de bestuurder voor de overstekende voetganger (Mitman, Cooper, & Dubose, 2010).



Figuur 40: Spreiding van verkeersongevallen met voetgangers volgens de positie van de voetgangers (2016-2018) (De Ceunynck, Pelssers, & Daniels, 2020)

Een maatregel die genomen kan worden om de verkeersveiligheid van voetgangers aan oversteekplaatsen te verbeteren, is het aanleggen van een gevleugelde voetgangersoversteek. Een gevleugelde voetgangersoversteek is "een zebrapad waarbij de witte stroken verlengd worden tegen de rijrichting van de dwarsende verkeersstroom in" (Agentschap Wegen en Verkeer, 2019). Deze gevleugdelde oversteekplaatsen zijn een uniek concept van het Agentschap Wegen en Verkeer (De Ceunynck, Pelssers, & Daniels, 2020). In 2019 werd een proefproject met gevleugelde oversteekplaatsen t.h.v. scholen uitgevoerd op twee locaties (MINT NV, 2019). Op één van de onderzochte oversteekplaatsen stopten voertuigen in de naperiode vroeger dan in de voorperiode. De gemiddelde stoppositie verschoof ongeveer 2 meter stroomopwaarts ten opzichte van de oversteekplaats. Op de andere oversteekplaats werd slechts een beperkt aantal stops waargenomen met een grote spreiding van de stoppositie. Voor deze locatie kon men geen conclusies trekken. De onderzoekers concluderen, binnen de beperkingen van het onderzoek, dat er voor één van de proeflocaties geen sluitende conclusies getrokken kunnen worden wegens de grote spreiding van de resultaten en het beperkt aantal waarnemingen. Voor de tweede proeflocatie concludeert men echter dat er een verbetering van de verkeersveiligheid wordt waargenomen. Een vervolgonderzoek in 2020 op 2x2 wegen met een snelheidslimiet van 50 km/u concludeert ook dat het aanleggen van gevleugelde oversteekplaatsen op 2x2 wegen een gunstig effect heeft op de veiligheid van de overstekende kwetsbare weggebruikers (De Ceunynck, Pelssers, & Daniels, 2020).



Figuur 41: Concept van een gevleugelde oversteekplaats (De Ceunynck, Pelssers, & Daniels, 2020)

4.7.4.4 Plaatsen van een biflash

In schoolomgevingen of op veelgebruikte oversteekplaatsen zonder verkeerslichten, kan een zogenaamde 'biflash' de attentie van de autobestuurder verhogen. Er bestaan systemen met detectors waarbij de biflash in werking treedt op het moment dat er voetgangers willen oversteken. Aan schooluitgangen kan een gemachtigde opzichter de lichten in werking stellen met behulp van een afstandsbediening. Ook combinaties met ledverlichting op het wegdek kunnen extra aandacht vestigen op de aanwezigheid van zebrapaden (Vilain, 2009).



Figuur 42: Een combinatie van biflash en wegdekverlichting verhoogt de aandacht van de autobestuurder ter hoogte van een schoolingang (Departement Mobiliteit en Openbare Werken, 2009)

Het Vademecum Voetgangersvoorzieningen raadt aan om zich niet te beperken tot de plaatsing van een biflash. Er dienen gelijktijdig, indien mogelijk, andere structurele veiligheidsmaatregelen onderzocht en eventueel genomen te worden zoals (Vademecum Voetgangersvoorzieningen, 2006):

- Het instellen van een snelheidsbeperking van 30 km/uur ter hoogte van de schoolomgeving;
- De verplaatsing van de uitgang van de school naar een naastgelegen secundaire straat;
- Het uitstulpen van de voetpaden t.h.v. de gemarkeerde voetgangersoversteek en deze niet recht tegenover de uitgang van de school aanbrengen (geleiding met bv. beugels);
- De aanleg van een voldoende breed plaatselijk middeneiland zodanig dat de oversteek van de gewestweg in tweemaal kan gebeuren;
- Het stilstaan en parkeren in de nabijheid van de oversteek (± 20 m) fysisch onmogelijk maken teneinde de zichtbaarheid te optimaliseren;
- De aanstelling van de wettelijk voorziene gemachtigde opzichters.
- Het beter zichtbaar maken van de schoolomgeving in de bebouwingsstructuur (door de school zelf).

4.7.4.5 Fietsenstallingen

Hoe meer leerlingen met de fiets komen, hoe minder auto's er zijn in de schoolomgeving. Een vermindering van het aantal auto's zorgt voor een verbetering van de verkeersveiligheid. Om leerlingen en ouders te overtuigen om met de fiets te komen, is de uitbouw van een hoogwaardige fietsinfrastructuur noodzakelijk. Mensen willen zich immers verplaatsen op een comfortabele en kwalitatieve manier. De uitbouw van een hoogwaardige fietsinfrastructuur draagt mee bij tot dit comfort. De fietser moet echter ook de kans krijgen zonder argwaan zijn beste fiets van stal te halen om er op een aangename manier zijn dagelijkse verplaatsingen mee te doen. Het voorzien van beveiligde fietsenstallingen is daarom belangrijk. In basisscholen wordt een lager percentage fietsenstallingen (30 tot 40 per 100 leerlingen) voorzien dan bij middelbare scholen (60 tot 70 per 100 leerlingen). Aan de schoolingang wordt best ook een aantal stallingen voorzien voor ouders die hun kinderen komen afhalen. Bij kinderdagverblijven of kleuterscholen gaat het enkel om ouders (2 tot 4 per 10 kinderen) (CROW, 2010).

4.7.4.6 Het parkeren organiseren

Kinderen kunnen schoolomgevingen als chaotisch ervaren. De infrastructuur rond de schoolomgeving kan bijvoorbeeld niet afgestemd zijn op de zwakke weggebruiker (Mobiel Vlaanderen, 2008). Een oplossing hiervoor is om het parkeren anders te organiseren. Het doel hierbij is om de omgeving rond de schoolpoort zoveel mogelijk parkeervrij te maken zodat zwakke weggebruikers meer ruimte krijgen om zich op een comfortabele en veilige manier te verplaatsen. De auto- en parkeerdruk in de onmiddellijke schoolomgeving kan verminderd worden door in de onmiddellijke schoolomgeving parkeerplaatsen af te schaffen en door het parkeren in de (ruimere) schoolomgeving te gaan organiseren (Vlaamse Overheid - Agentschap Wegen en Verkeer, 2010).

Verder kan ook het aanleggen van een Kiss & Ride strook een deeloplossing bieden om het parkeren beter georganiseerd te laten verlopen (Vlaamse Overheid - Agentschap Wegen en Verkeer, 2010). Een Kiss & Ride strook is een zone waar ouders stoppen met de wagen om er hun kinderen af te zetten of op te halen. In de wegcode is geen sprake van het begrip Kiss & Ride strook. Wel kan met het verkeersbord E1 het parkeren verboden worden terwijl het stilstaan toegelaten wordt (BIVV, 2008).

4.7.4.7 Overzicht infrastructurele maatregelen

Tabel 14 geeft een opsomming van alle infrastructurele maatregelen die opgenomen zijn in het Werkboek Schoolomgeving. Iedere maatregel krijgt een uniek nummer waaraan te herkennen is wat voor type maatregel het is: infrastructuurmaatregelen (I), educatiemogelijkheden (E), handhavingsinitiatieven (H) en maatregelen die betrekking hebben op organisatie en overleg (O). Per maatregel wordt vermeld wie de coördinator is voor het uitvoeren van de maatregelen en welke andere actoren betrokken moeten worden. De termijn waarbinnen de maatregelen uitgevoerd kunnen worden is ofwel kort (<1 jaar), middellang (1-4 jaar) of lang (>4 jaar). Tot slot wordt de kostprijs van de maatregel vermeld indien beschikbaar. Voor de meeste maatregelen is de kost afhankelijk van de specifieke situatie en is het niet mogelijk om een inschatting van de kostprijs weer te geven. Dit wordt aangeduid met 'afhankelijk'. Verder dient opgemerkt te worden dat er maatregelen zijn waarvoor de kosten €0 bedragen of minimaal zijn. Deze kosten betreffen enkel de financiële kosten voor de school en bedragen meestal maximaal enkele tientallen euro. Eventuele personeelskosten, maatschappelijke kosten en dergelijke worden niet meegeteld.

Tabel 14: Overzicht infrastructuurmaatregelen in schoolomgevingen (eigen werk op basis van Werkboek Schoolomgeving, 2021)

NR.	MAATREGEL	COÖRDINATOR	ANDERE ACTOREN	TERMIJN	KOST
I-01	Voetgangersoversteekplaatsen aanleggen of verplaatsen	Lokale overheid, wegbeheerder	School, buurt	Kort	Afhankelijk
I-02	Oversteek beschermen of verkorten	Lokale overheid, wegbeheerder	School	Middellang	Afhankelijk
I-03	Het parkeren organiseren	Lokale overheid	School, buurt	Middellang	Afhankelijk
I-04	Foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan fysiek tegengaan	Lokale overheid	School, wegbeheerder	Kort	Afhankelijk
I-05	Groenvoorziening aanpassen (aanplanten, verplaatsen, weghalen, snoeien)	Lokale overheid	Groendienst	Kort	Afhankelijk
I-06	Voet- en fietspaden obstakelvrij maken	Lokale overheid	Vlaams Gewest, nutsmaatschappijen, handelaars	Kort	Afhankelijk
I-07	Schoolroutes veilig en kindgericht inrichten	Lokale overheid		Lang	Afhankelijk
I-08	Verlichting plaatsen of aanpassen op een gemeenteweg	Gemeente	Distributienetbeheerder	Middellang	€75 000
I-09	Zebrapaden en fietsoversteken verlichten	Wegbeheerder	Beheerder van de verlichtingsinstallatie	Middellang	€8000
I-10	Aandachtspunten voor fietsenstallingen	School	Lokale overheid	Kort	Afhankelijk
I-11	Accentverlichting bij schooltoegang aanbrengen	Gemeente	Distributienetbeheerder	Middellang	€3000 per lichtzuil
I-12	Kruispunten en bochten goed zichtbaar maken met verlichting	Wegbeheerder	Distributienetbeheerder	Middellang	€50 000
I-13	Afstemmen van groen en verlichting	Gemeente		Middellang	Afhankelijk

I-14	Wegdekreflectoren plaatsen	Gemeente	Wegbeheerder	Kort	€120 per reflector
I-15	Verlichting aanpassen op prive-eigendom	School	Gemeente, eigenaar	Kort	€0
I-16	Een gemeentelijk lichtplan opstellen	Gemeente	Beheerder van de verlichtingsinstallatie	Middellang	Afhankelijk
I-17	De kijkhoeken voor voetgangers en fietsers vrijhouden	Wegbeheerder	Ontwerpers, eigenaars	Middellang	Afhankelijk
I-18	Gemengd verkeer invoeren	Lokale overheid	School	?	Afhankelijk
I-19	Aanliggende of vrijliggende fietspaden aanleggen	Wegbeheerder		Middellang	Afhankelijk
I-20	Fietsenstalling of bromfietsenstalling verplaatsen	School	Gemeente, politie	Kort	Afhankelijk
I-21	Ander materiaal en/of kleuren gebruiken voor de schooltoegang	School, wegbeheerder		Middellang	Afhankelijk
I-22	Schooltoegang verplaatsen	School, gemeente	AWV	Kort	Afhankelijk
I-23	Signalisatie aanpassen	Lokale overheid	Wegbeheerder	Kort	Afhankelijk
I-24	Aandachtstrekkers aanbrengen	Lokale overheid	School	Kort	Afhankelijk
I-25	Afzet- en ophaalplaatsen aanleggen op het schooldomein (voor auto's en/of schoolbussen)	School	Gemeente	Middellang	Afhankelijk
I-26	Dubbel gebruik van parkeerplaatsen invoeren	Gemeente	Eigenaars, buurt	Kort	Afhankelijk
I-27	Verkeerslichten aanpassen	Wegbeheerder	Gemeente, politie	Kort	Minimaal €1000

I-28	Aandachtspunten voor tweerichtingsfietspaden	Gewest of gemeente		Lang	Afhankelijk
I-29	Kiss & Ride strook voorzien	Lokale overheid		Kort, middellang	Afhankelijk
I-30	Aandachtspunten voor kruispunten die onveilig zijn door niet-conflictvrij (afslaand) verkeer	Wegbeheerder	Politie	Middellang	Afhankelijk
I-31	Voetpad aanpassen volgens normen in Vademecum Voetgangersvoorzieningen	Gemeente	Gewest, ontwerpers	Afhankelijk	Afhankelijk
I-32	Verlichting plaatsen of aanpassen op een gewestweg	Gemeente of gewest	Distributienetbeheerder	Middellang	€75 000
I-33	De weg herinrichten tot erf of voetgangersgebied	Wegbeheerder		Middellang	Afhankelijk
I-34	Weg als vaste zone 30 inrichten	Gemeente	Studiebureau, school, gewest	Middellang	€200 000 - €300 000
I-35	Opstelruimte voor wachtenden vergroten	School	Wegbeheerder	Lang	Afhankelijk
I-36	Een gemeentelijk onderhoudsplan opstellen	Lokale overheid	Andere wegbeheerders	Kort, middellang, lang	Afhankelijk
I-37	Wegencategorisering opstellen of aanpassen	Gemeente	Gewest, provincie, De Lijn	Middellang	€0 - €100 000
I-38	Binnen de school een route voorzien van en naar de (brom)fietsenstalling	School	Wegbeheerder	Middellang	Afhankelijk
I-39	Aandachtspunten voor bromfietsenstallingen	School of gemeente		Middellang	Afhankelijk
I-40	Voor bromfietsers een overgang creëren van rijbaan naar fietspad en van fietspad naar rijbaan	Wegbeheerder		Kort	Afhankelijk

I-41	Andere schooltoegang voorzien voor fietsers en/of bromfietsers	School	Politie, gemeente	Kort	Afhankelijk
I-42	Verkeerscirculatie verbeteren	Lokale overheid	Politie, buurt	Kort, middellang	Afhankelijk
I-43	Opstelruimte voor fietsers creëren aan verkeerslichten	Wegbeheerder		Kort	Afhankelijk
I-44	Trottoir en fietspad in verschillende kleuren en/of materiaal uitvoeren	Lokale overheid	Andere wegbeheerders	Middellang, lang	Afhankelijk
I-45	Doorlopend trottoir aanleggen	Wegbeheerder		Middellang, lang	Afhankelijk
I-46	Geleidende en beschermende infrastructuur aanbrengen	Gemeente, school		Kort	€93 per stuk
I-47	Openbaarvervoerhalte verplaatsen/herschikken naar een veilige locatie	Wegbeheerder	Lokale politie	Kort	Afhankelijk
I-48	Natuurlijke looproutes in kaart brengen en de infrastructuur erop afstemmen	School, gemeente		Kort, middellang, lang	Afhankelijk
I-49	Veilige doorsteek realiseren	School	Lokale overheid	Middellang	Afhankelijk
I-50	Rijbaan geschikt maken (en houden) voor openbaar vervoer	Wegbeheerder	Gemeente, De Lijn	Middellang	Afhankelijk
I-51	Rijbaan (visueel) versmallen	Wegbeheerder		Kort, middellang	€200.000/km
I-52	Verticale snelheidsremmers aanleggen	Lokale overheid	Wegbeheerder	Middellang	Afhankelijk
I-53	Horizontale snelheidsremmers aanleggen	Lokale overheid	Wegbeheerder	Middellang	Afhankelijk

I-54	Openbaarvervoerhalte goed toegankelijk maken	Wegbeheerder	De Lijn, school	Middellang	Afhankelijk
I-55	Voor voetgangers en fietsers de oversteekbaarheid van bus- en traminfrastructuur verhogen	Wegbeheerder	De Lijn, lokaal bestuur	Lang	Afhankelijk
I-56	Een ongelijkvloerse kruising (tunnel of brug) aanleggen	Gewest of gemeente		Lang	€1 000 000
I-57	Verlaagde boordstenen voorzien	Wegbeheerder		Kort, middellang, lang	Afhankelijk
I-58	Fietspad aanpassen	Gewest, provincie of gemeente		Middellang, lang	Afhankelijk
I-59	Snelheid verlagen	Gewest of gemeente	Lokale politie	Kort	€500
I-60	Aandachtspunten voor fietssuggestiestroken	Wegbeheerder		Middellang, lang	Afhankelijk
I-61	Bromfietsers (al dan niet) scheiden van fietsers	Wegbeheerder		Kort	€300
I-62	Rugdekkingsmaatregelen en uitritconstructies voorzien	Wegbeheerder		Kort	Afhankelijk
I-63	Wachtplekken voor fiets(pool)groepjes inrichten op de weg naar school	School	Fietspool	Middellang	Afhankelijk

4.7.5 Educatiemogelijkheden

Deelnemen aan het verkeer is complex en vraagt verschillende zaken van de verkeersdeelnemers. Ze moeten op de juiste manier de verkeersregels toepassen, ze moeten gevaarlijke situaties kunnen herkennen en er op een veilige manier mee omgaan en ze moeten anticiperen op het gedrag van de andere verkeersdeelnemers. Hiervoor is educatie en sensibilisatie nodig.

Verkeersveiligheidseducatie is elke permanente educatieve actie die ontwikkeling van kennis, vaardigheden, gewoonten, gedragingen, waarden en attitudes stimuleert zodat het gedrag van een potentiële verkeersdeelnemer verbetert. Het ultieme doel is om het potentiële risico van ongeval te verkleinen (Alonso, et al., 2016).

Verkeerseducatie is gebouwd op 3 pijlers. Enerzijds beoogt het theoretische kennis bij te brengen zoals het verkeersreglement en het behalen van een theoretisch rijbewijs. Anderzijds brengt verkeerseducatie ook vaardigheden en houdingen bij om op een veilige en positieve manier aan het verkeer deel te kunnen nemen. Ten derde verbetert of verandert het de attitude ten opzichte van risicobewustzijn, persoonlijke veiligheid en veiligheid van andere weggebruikers (Assaily, 2017). Verder is er ook nog mobiliteitseducatie dat een kritische bevraging van onze vervoersgewoonten beoogt. Het stelt de keuze voor een vervoerswijze in vraag. Zowel verkeers- als mobiliteitseducatie komt aan bod in het onderwijs.

4.7.5.1 Menselijke factor in verkeersongevallen

Onder de verschillende oorzaken van verkeersongevallen is de menselijke factor de meest voorkomende in het zogenaamde "MVE" systeem (man/vehicle/environment). In 90% van de ongevallen is een menselijke factor aanwezig, in 30% een omgevingsfactor en in 10% een voertuigfactor[3]. Het is dus zeer belangrijk om de menselijke factor te onderzoeken. Educatie zorgt ervoor dat mensen hun gedrag aanpassen (Assaily, 2017). Volgens het onderzoek van Assaily zijn de belangrijkste implicaties voor de praktijk dat verkeerseducatie gebaseerd moet zijn op kennis van de ongevallenanalyses. Het is belangrijk om het type programma te matchen met het type persoon. Verkeerseducatie voor jonge kinderen moet op een andere manier aangepakt worden dan verkeerseducatie voor tieners. Ook moeten de groepen die het meeste risico op een ongeval bereikt worden. Interventies met betrekking tot de risicogroepen zijn meestal efficiënter. Tot slot moet er ingezet worden op actieve participatie van leerlingen (rollenspel, simulaties, etc.) en interactie met volwassen.

[3] Het opgetelde percentage is meer dan 100% aangezien bij sommige ongevallen meerdere factoren aanwezig zijn.

4.7.5.2 Rol van de ouders

Bij verkeerseducatie is er ook een belangrijke rol voor de ouders weggelegd. Uit een studie van O'Toole en Christie (2019) blijkt dat verkeerseducatie van ouders een positieve invloed heeft op het gedrag en de kennis van zowel de ouders als de kinderen. Dit heeft betrekking op onder meer het correcte gebruik en de juiste installatie van kinderzitjes maar ook op de voetgangersvaardigheden van kinderen en volwassen, het fietsgedrag van ouders en hun kinderen en het helmgebruik van kinderen. Interventies die gericht zijn op ouders zijn het meest efficiënt wanneer deze meer praktische training boden.

4.7.5.3 Route2School Educatie

Het concept 'Route2School' (R2S) is bedacht en uitgewerkt door een samenwerking tussen het Instituut voor Mobiliteit van de Universiteit Hasselt en ABEONA Consult (Route2School, sd). De opzet van de tool is het verbeteren van de verkeersveiligheid van schoolgaande kinderen en jongeren. R2S focust hierbij op een tweeledige aanpak. Enerzijds worden gevaarlijke punten op schoolroutes in kaart gebracht en anderzijds wordt gefocust op educatie onder de noemer 'Route2School Educatie'.

Binnen R2S Educatie worden verschillende modules opgesteld om het verkeersinzicht en de kennis met betrekking tot het verkeer te verbeteren bij de kinderen (Route2School, sd). Het is voornamelijk gericht op kinderen in de 2de en 3de graad van het basisonderwijs en de 1ste graad van het secundair onderwijs. Door te werken met verschillende modules kunnen verschillende vaardigheden bijgestuurd en verbeterd worden. Dit zijn onder andere risicodetectie, kennis en situatiebewustzijn. Het unieke aan R2S Educatie is het feit dat dit als alleenstaand project kan worden aangeboden of in navolging van het basisproject met de schoolroutekaarten. Indien er wordt geopteerd voor de tweede optie worden de modules aangevuld met situaties uit de eigen omgeving van de leerlingen. De herkenbaarheid van situaties uit de omgeving moet bijdragen tot betere resultaten.

Binnen R2S Educatie kunnen dronebeelden dienen als hulpmiddel bij de lessen. Wel dient er dan nog verder onderzocht te worden of de beelden vanuit de lucht voldoende bijdragen aan de herkenbaarheid van de gevaarlijke situaties uit de omgeving. Er wordt namelijk een geheel ander perspectief aangereikt aan de leerlingen. Toch kan dit ook nuttig zijn om bijvoorbeeld te combineren met foto's vanop de begane grond.

4.7.5.4 Overzicht educatiemogelijkheden

Tabel 15 geeft een opsomming van alle educatiemogelijkheden die opgenomen zijn in het Werkboek Schoolomgeving. Iedere maatregel krijgt een uniek nummer waaraan te herkennen is wat voor type maatregel het is: infrastructuurmaatregelen (I), educatiemogelijkheden (E), handhavingsinitiatieven (H) en maatregelen die betrekking hebben op organisatie en overleg (O). Per maatregel wordt vermeld wie de coördinator is voor het uitvoeren van de maatregelen en welke andere actoren betrokken moeten worden. De termijn waarbinnen de maatregelen uitgevoerd kunnen worden is ofwel kort (<1 jaar), middellang (1-4 jaar) of lang (>4 jaar). Tot slot wordt de kostprijs van de maatregel vermeld indien beschikbaar. Voor de meeste maatregelen is de kost afhankelijk van de specifieke situatie en is het niet mogelijk om een inschatting van de kostprijs weer te geven. Dit wordt aangeduid met 'afhankelijk'. Verder dient opgemerkt te worden dat er maatregelen zijn waarvoor de kosten €0 bedragen of minimaal zijn. Deze kosten betreffen enkel de financiële kosten voor de school en bedragen meestal maximaal enkele tientallen euro. Eventuele personeelskosten, maatschappelijke kosten en dergelijke worden niet meegeteld.

Tabel 15: Overzicht educatiemogelijkheden voor een veiligere schoolomgeving (eigen werk op basis van Werkboek Schoolomgeving, 2021)

NR.	MAATREGEL	COÖRDINATOR	ANDERE ACTOREN	TERMIJN	KOST
E-01	Gemachtigd opzichter inschakelen	Gemeente, politie	Ouders, leerkrachten, vrijwilligers	Kort	Afhankelijk
E-02	Kinderen leren stoppen aan de stoeprand	Leerkrachten	Ouders	Kort	Minimaal
E-03	Kinderen leren een juiste oversteekplaats kiezen	Ouders, leerkrachten		Kort	Minimaal
E-04	Kinderen en jongeren veilig leren fietsen en stappen in groep	Leerkrachten		Kort	Minimaal
E-05	Schoolroutekaart aanmaken en verspreiden	Gemeente	School	Kort	€2500
E-06	Positie van de fietser op de rijbaan	Leerkrachten, politie		Kort	Minimaal
E-07	Fietsers en voetgangers stimuleren om opvallende kledij en fluoreflecterend materiaal te dragen	Leerkrachten	Ouders	Kort	Minimaal
E-08	Fietsers stimuleren om fietsverlichting te gebruiken wanneer nodig	Leerkrachten	Ouders, politie	Kort	Minimaal
E-09	Sensibilisering rond dode hoek	Leerkrachten		Kort	Minimaal
E-10	Kinderen leren veilig over te steken	Ouders, leerkrachten		Kort	Minimaal
E-11	Fietsers veilig leren fietsen op een kruispunt of rotonde	Leerkrachten	Ouders, politie	Kort	Minimaal
E-12	Fiets- en/of voetpool organiseren	Gemeente, school		Kort	Afhankelijk
E-13	Een begeleide rij organiseren	Leerkrachten		Kort	Afhankelijk
E-14	Voetgangerstraining en -kennis	Leerkrachten, politie		Kort	Afhankelijk
E-15	Een verkeerseducatieve route (vero) opmaken en gebruiken	Gemeente	School	Kort	Afhankelijk
E-16	Fietsers het verkeersreglement bijbrengen	Leerkrachten	Ouders	Kort	Minimaal

E-17	Fietsers hun plaats op de weg aanleren / Fietsers aanleren om anticiperend te fietsen	Leerkrachten	Ouders	Kort	Minimaal
E-18	Fietsvaardigheidstraining organiseren	Leerkrachten	SVS	Kort	Minimaal
E-19	Fietsen en stappen stimuleren	Mobiel21		Kort	Minimaal
E-20	Scholieren en ouders informeren over het openbaarvervoeraanbod	De Lijn	Lokaal bestuur, school	Kort	Afhankelijk
E-21	Verkeerscoaches	Leerkrachten, leerlingen laatste jaar secundair	Politie	Kort	Minimaal
E-22	Respect bijbrengen aan openbaarvervoergebruikers	De Lijn	School, politie, VSV	Kort	Afhankelijk
E-23	Bromfietsers de Wegcode leren respecteren	Leerkracht	Politie	Kort	Minimaal
E-24	Bromfietsvaardigheidstraining	MAG	Instructeur	Kort	€1340/dag
E-25	Bromfietsers sensibiliseren om een veilige uitrusting te dragen	Leerkrachten	Ouders, politie	Kort	Minimaal
E-26	Automobilisten sensibiliseren rond snelheid	Gemeente, politie		Kort	€5000
E-27	Sensibilisering over gordeldracht en kinderbeveiligingssysteem	Leerkrachten, ouders	Politie	Kort	Minimaal
E-28	Rijbewijs op School	VSV	School, rijscholen, examencentra	Lang	€0
E-29	Kinderen en ouders sensibiliseren om een fietshelm te dragen	Leerkrachten, politie	Ouders	Kort	Minimaal
E-30	Fietscontrole op school	Leerkrachten, politie	Ouders	Kort	Minimaal

4.7.6 Handhavingsinitiatieven

De derde categorie van maatregelen zijn de handhavingsinitiatieven. Met verkeershandhaving wordt het geheel aan maatregelen en middelen bedoeld om de naleving van de verkeersregels af te dwingen of om te voorkomen dat de verkeersregels worden overtreden. Deze maatregelen hebben te maken met het verkeerstoezicht (op het niveau van de politie), de vervolging (op het niveau van het parket) en de bestraffing (op het niveau van de rechtbank) (Scheers & Vlaminck, 2002).

Er zijn drie verschillende soorten handhaving: proactief, preventief en repressief. Proactieve handhaving vindt plaats nog voor er problemen zijn. Preventieve of ontradende handhaving gebeurt zonder te verbaliseren. Denk hierbij aan de loutere aanwezigheid van een politieagent in de schoolomgeving. Bestuurders zullen minder geneigd zijn zich op het voetpad, in dubbele file of aan een bushalte te parkeren waardoor de schoolomgeving veiliger wordt. Bij repressieve handhaving daarentegen wordt er wel geverbaliseerd (Vlaamse Overheid - Agentschap Wegen en Verkeer, 2010).

4.7.6.1 Handhaving van de maximaal toegelaten snelheid

Verschillende studies tonen aan dat een groot aantal (vaak meer dan 50%) van de bestuurders te snel rijdt in een schoolomgeving (Tay, 2009). Veel bestuurders houden zich dus niet aan de maximaal toegelaten snelheid in schoolomgevingen. Handhavingsinitiatieven kunnen bijdragen aan het beter naleven van de maximaal toegelaten snelheid. Zo onderzochten Freedman et al. (2006) de invloed van geautomatiseerde handhaving van snelheid op de snelheid in schoolomgevingen. De handhaving zorgde voor een vermindering van de gemiddelde snelheid van 26,5 mijl/u naar 21,7 mijl/u (maximaal toegelaten snelheid: 20 mijl/u = ±32 km/u). De geautomatiseerde handhaving van snelheid in combinatie met het plaatsen van flikkerende waarschuwingslichten leverde nog een beter resultaat op: de gemiddelde snelheid werd teruggebracht naar 18,5 mijl/u.

4.7.6.2 Overzicht handhavingsinitiatieven

Tabel 16 geeft een opsomming van alle handhavingsinitiatieven die opgenomen zijn in het Werkboek Schoolomgeving. Iedere maatregel krijgt een uniek nummer waaraan te herkennen is wat voor type maatregel het is: infrastructuurmaatregelen (I), educatiemogelijkheden (E), handhavingsinitiatieven (H) en maatregelen die betrekking hebben op organisatie en overleg (O). Per maatregel wordt vermeld wie de coördinator is voor het uitvoeren van de maatregelen en welke andere actoren betrokken moeten worden. De termijn waarbinnen de maatregelen uitgevoerd kunnen worden is ofwel kort (<1 jaar), middellang (1-4 jaar) of lang (>4 jaar). Tot slot wordt de kostprijs van de maatregel vermeld indien beschikbaar. Voor de meeste maatregelen is de kost

afhankelijk van de specifieke situatie en is het niet mogelijk om een inschatting van de kostprijs weer te geven. Dit wordt aangeduid met 'afhankelijk'. Verder dient opgemerkt te worden dat er maatregelen zijn waarvoor de kosten €0 bedragen of minimaal zijn. Deze kosten betreffen enkel de financiële kosten voor de school en bedragen meestal maximaal enkele tientallen euro. Eventuele personeelskosten, maatschappelijke kosten en dergelijke worden niet meegeteld.

Tabel 16: Overzicht handhavingsinitiatieven in schoolomgevingen (eigen werk op basis van Werkboek Schoolomgeving, 2021)

NR.	MAATREGEL	COÖRDINATOR	ANDERE ACTOREN	TERMIJN	KOST
H-01	Politioneel optreden bij impulsief gedrag van kinderen en jongeren	Politie	Ouders, school	Kort	€0
H-02	Politioneel optreden bij foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan	Politie	Parket	Kort	€0
H-03	Politioneel toezicht bij circulatieproblemen en hoge verkeersintensiteit	Politie		Kort	€0
H-04	Optreden tegen fietsers op het trottoir	Politie		Kort	€0
H-05	Zachte weggebruikers wijzen op de Wegcode	Politie		Kort	€0
H-06	Bemande snelheidscontroles uitvoeren in de schoolomgeving met medewerking van leerlingen	Politie	School	Kort	Minimaal
H-07	Snelheidscontrole uitvoeren in de schoolomgeving (zone 30)	Politie		Kort	€0
H-08	Bromfietscontroles uitvoeren in de schoolomgeving	Politie	School, ouders, parket	Kort	€0
H-09	Beveiligingssystemen controleren (gordeldracht, kinderzitjes)	Politie	Parket	Kort	Minimaal

4.7.7 Maatregelen die betrekking hebben op organisatie en overleg

De laatste categorie zijn de maatregelen die betrekking hebben op organisatie en overleg. Dit zijn veelal goedkope maatregelen die snel een oplossing kunnen bieden voor een bepaald probleem omdat er geen infrastructurele ingrepen zijn. De focus hierbij ligt hierbij enerzijds op overleg tussen de veroorzaker van een probleem of hinder en de school. Het is immers mogelijk dat de veroorzaker niet weet dat hij iets hinderlijk of storend doet. Anderzijds ligt de focus ook op organisatie van de school zelf.

4.7.7.1 Overleg met veroorzaker van problemen of hinder

Het is bijvoorbeeld niet gewenst dat er een huis-aan-huisophaling van afval plaatsvindt in de schoolomgeving bij het begin of einde van de schooltijd. Dergelijk zwaar vervoer tast onder meer de verblijfskwaliteit aan in de schoolomgeving en is zichtbelemmerend. Maar het is goed mogelijk dat de routeplanner van de afvalophaling niet beseft dat hij hinder veroorzaakt. Overleg tussen de school en de routeplanner kan leiden tot een re-routing van de ophaaldienst zodat de schoolomgeving vermeden wordt bij het begin en einde van de schooltijd. Ook overleg met de openbaarvervoermaatschappijen om de bedieningsuren af te stemmen op de schooluren is een eenvoudige maatregel om problemen op te lossen, zoals leerlingen die te laat komen. Het is hierbij belangrijk om de veroorzaker duidelijk te maken waarom bepaalde situaties niet wenselijk zijn voor de leerlingen. Dit geeft meer overtuigingskracht naar de veroorzaker om het probleem op te lossen (Vlaamse Overheid - Agentschap Wegen en Verkeer, 2010).

4.7.7.2 Organisatie van de school

De (her)organisatie van de school zelf kan ook een maatregel zijn om bepaalde problemen op te lossen. Het herorganiseren van bepaalde zaken kan een verschil maken voor een verhoogde verkeersveiligheid in de directe schoolomgeving. De school kan bijvoorbeeld verschillende vervoersmodi of leeftijdsgroepen spreiden in tijd of ruimte. Dat zorgt voor minder chaos en meer duidelijkheid. Ook het aanstellen van een aanspreekpunt voor verkeer en mobiliteit is een maatregel die een school kan nemen om problemen tijdig in kaart te brengen en ze op een structurele wijze te behandelen (Vlaamse Overheid - Agentschap Wegen en Verkeer, 2010).

4.7.7.3 Schoolvervoerplan opstellen

Een schoolvervoerplan brengt de mobiliteit rond een school in kaart en is dus de perfecte basis voor een al dan niet grondige herinrichting van de schoolomgeving. Een schoolvervoerplan omvat drie onderdelen (Departement MOW, 2005):

- Een inventarisatie van de verplaatsingen van en naar de school en de mobiliteitsknelpunten;
- Een actieplan dat ouders, leerlingen, leerkrachten en buurtbewoners aanzet om de knelpunten in de schoolomgeving en op de schoolroutes mee weg te werken. Er wordt getracht om de autodruk aan de schoolpoort te verminderen en om meer kinderen met het openbaar vervoer of met de fiets naar school te laten komen;
- Een evaluatiemoment.

Het opstellen van een schoolvervoerplan is niet verplicht maar wordt wel aangemoedigd door Vlaamse overheid (Departement Mobiliteit en Openbare Werken, 2021). De Brusselse overheid stelt allerhande materiaal (fietsparkings, optimove spel, fluohesjes, etc.) en financiële middelen ter beschikking om de acties te ondersteunen (Brussel Mobiliteit, 2021).

4.7.7.4 Overzicht maatregelen die betrekking hebben op organisatie en overleg

Tabel 17 geeft een opsomming van alle maatregelen die betrekking hebben op organisatie en overleg die opgenomen zijn in het Werkboek Schoolomgeving. Iedere maatregel krijgt een uniek nummer waaraan te herkennen is wat voor type maatregel het is: infrastructuurmaatregelen (I), educatiemogelijkheden (E), handhavingsinitiatieven (H) en maatregelen die betrekking hebben op organisatie en overleg (O). Per maatregel wordt vermeld wie de coördinator is voor het uitvoeren van de maatregelen en welke andere actoren betrokken moeten worden. De termijn waarbinnen de maatregelen uitgevoerd kunnen worden is ofwel kort (<1 jaar), middellang (1-4 jaar) of lang (>4 jaar). Tot slot wordt de kostprijs van de maatregel vermeld indien beschikbaar. Voor de meeste maatregelen is de kost afhankelijk van de specifieke situatie en is het niet mogelijk om een inschatting van de kostprijs weer te geven. Dit wordt aangeduid met ‘afhankelijk’. Verder dient opgemerkt te worden dat er maatregelen zijn waarvoor de kosten €0 bedragen of minimaal zijn. Deze kosten betreffen enkel de financiële kosten voor de school en bedragen meestal maximaal enkele tientallen euro. Eventuele personeelskosten, maatschappelijke kosten en dergelijke worden niet meegeteld.

Tabel 17: Overzicht maatregelen die betrekking hebben op organisatie en overleg in schoolomgevingen (eigen werk op basis van Werkboek Schoolomgeving, 2021)

NR.	MAATREGEL	COÖRDINATOR	ANDERE ACTOREN	TERMIJN	KOST
O-01	Verschillende modi of leeftijdsgroepen spreiden in tijd of ruimte	School	Wegbeheerder	Middellang	Afhankelijk
O-02	Busuren afstemmen op schooluren	School	De Lijn, gemeente	Kort	Afhankelijk
O-03	Onderhoud van de haltevoorzieningen voor het openbaar vervoer	Lokale overheid, wegbeheerder	School, buurt, De Lijn	Kort	Afhankelijk
O-04	Toegankelijkheidsanalyse uitvoeren	Gemeente		Kort	Afhankelijk
O-05	Aanspreekpunt aanstellen voor verkeer en mobiliteit in de school	School		Kort	Afhankelijk

4.7.8 Publiek draagvlak creëren

Om draagvlak te vinden voor zowel de resultaten van de analyse als voor de erkenning van de problemen die eruit naar voren komen, zijn samenwerking en communicatie tussen de vele diensten en organisaties die betrokken zijn van groot belang (school, buurt, gemeente, wegbeheerder, ouderraad, middenstandsvereniging, etc.). Samenwerking en communicatie vormen de pijlers van een kwaliteitsvolle schoolomgeving. De gedetecteerde problemen en kansen moeten niet alleen een antwoord krijgen, ze moeten ook opgevolgd worden en waar nodig bijgestuurd (Vlaamse Overheid - Agentschap Wegen en Verkeer, 2010).

4.7.8.1 Participatie van stakeholders

Werken aan een schoolomgeving is complex, omdat er véél behoeften van véél belanghebbenden samenkomen en omdat die behoeften eerst op elkaar afgestemd moeten worden. Het komt eropaan met alle relevante behoeften maximaal rekening te houden. Dit kan door middel van participatie. Participatie is een proces van overleg, gekenmerkt door een open communicatie en discussie, actie en interactie (Vlaamse Overheid - Agentschap Wegen en Verkeer, 2010). Het is dus belangrijk om verschillende stakeholders te betrekken bij het verbeteren van de verkeersveiligheid rond de schoolomgeving. Als eerste is de school (leerlingen, ouders, leerkrachten, ouderraad en personeel) een belangrijke stakeholder. Verder is ook er de lokale overheid, in dit geval gemeente Zonhoven, die betrokken moet worden. Voor eventuele aanpassingen aan het openbaar domein zal goedkeuring van de gemeente noodzakelijk zijn. Om voor bepaalde (infrastructurele) maatregelen draagvlak te creëren is het belangrijk om de buurt (bewoners, handelaars, etc.) te betrekken.

Een mooi voorbeeld van participatie van kinderen en jongeren in een mobiliteitsproject is dat van de bereikbaarheid van Bulka in Boechout (Canters, 2005). Het (voormalig) militair domein Bulka kreeg een nieuwe invulling en zou op termijn zal het een aantrekkingspool voor kinderen en jongeren worden. In het kader van de kinderparticipatie werd de bereikbaarheid van dit domein bekeken vanuit het standpunt van jongeren van 10 tot 13 jaar. De doelstelling van het participatietraject was om te weten te komen hoe kinderen de bereikbaarheid van het domein ervaren en wat er moet verbeterd worden. Met leerlingen van het 5de en 6de leerjaar, het 1ste jaar van het secundair onderwijs en met een groep scouts werden fietstochten gehouden om de routes en knelpunten in kaart te brengen. Het ging voornamelijk om jongeren die in de omgeving wonen en het gekozen traject nu al regelmatig per fiets afleggen.

4.7.8.2 Doelgroepen

Voor een effectieve verkeersveiligheidscampagne is het belangrijk om een specifieke doelgroep te definiëren (Delhomme, et al., 2009). Om effectieve maatregelen te nemen, is het belangrijk om voor iedere doelgroep apart te bepalen welke maatregelen genomen worden. In dit onderzoek worden 3 doelgroepen gedefinieerd. De dronevluchten hebben de schoolomgeving van basisschool de Zonnewijzer (Campus Kleine Hemmenweg) in Zonhoven in beeld gebracht. Deze campus huisvest de leerlingen van de 2de en 3de graad. De eerste doelgroep zijn de leerlingen van deze campus. R2S Educatie (Route2School, sd) focust zich op leerlingen van de 2de en 3de graad van het lager onderwijs en de 1e graad van het middelbaar onderwijs. De leerlingen van de 2de en 3de graad kunnen dus samengenomen worden binnen 1 doelgroep. Bij het bepalen van de modal split in hoofdstuk 6.5 is er echter een duidelijke trend naargelang de leeftijd waar te nemen op vlak van begeleiding in de verplaatsing van en naar school. Zo komen oudere leerlingen (3de graad) vaker alleen met de fiets naar school in vergelijking met de leerlingen uit de 2de graad. Hetzelfde patroon wordt ook waargenomen bij de verplaatsingen te voet, al is het hier minder uitgesproken. Op basis van deze cijfers is het belangrijk om voor de leerlingen van de 3de graad voldoende te focussen op de verplaatsingen die zij zonder begeleiding doen. De tweede doelgroep zijn de ouders van de leerlingen. Bij 77% van de woon-schoolverplaatsingen van de leerlingen zijn de ouders betrokken: 62% als bestuurder van de auto, 8% als begeleider met de fiets en 7% als begeleider te voet. Zij vormen dus een belangrijke doelgroep om de algemene verkeersveiligheid te verhogen. De laatste doelgroep is het personeel van de school. Zowel de leerkrachten, directie als andere medewerkers vormen samen deze doelgroep. Zij verplaatsen zich immers iedere schooldag naar de school en zijn dus ook belangrijk om als doelgroep geïdentificeerd te worden.

4.7.9 Voorbeelden van drone-onderzoek in schoolomgevingen

4.7.9.1 Kortessem: Schoolomgevingen onder de loep

De gemeente Kortessem heeft met haar project "Schoolomgevingen onder de loep" getracht de verkeersveiligheid rond scholen te evalueren (Timmermans, 2020). De dataverzameling was tweeledig: via beeldmateriaal (drone) en vragenlijsten (Mobitool). Er werden verschillende opnames gemaakt om de verkeersveiligheid en de verkeersafwikkeling voor en na schooltijd in kaart te brengen. Het beeldmateriaal werd manueel geanalyseerd. Het aantal en de verschillende verkeersdeelnemers konden worden onderscheiden. Deze gegevens werden ingegeven in een Excel bestand. De resultaten van het beeldmateriaal werden naast de resultaten van de Mobitool gelegd. Hierdoor werd het mogelijk de objectieve data van de dronebeelden en de subjectieve data van de vragenlijsten rond verkeersveiligheid met elkaar te vergelijken. Uit deze evaluatie kwamen belangrijke inzichten aan het licht die werden uitgewerkt in concrete maatregelen zoals snelheidsbeperkingen en flitsperiodes.

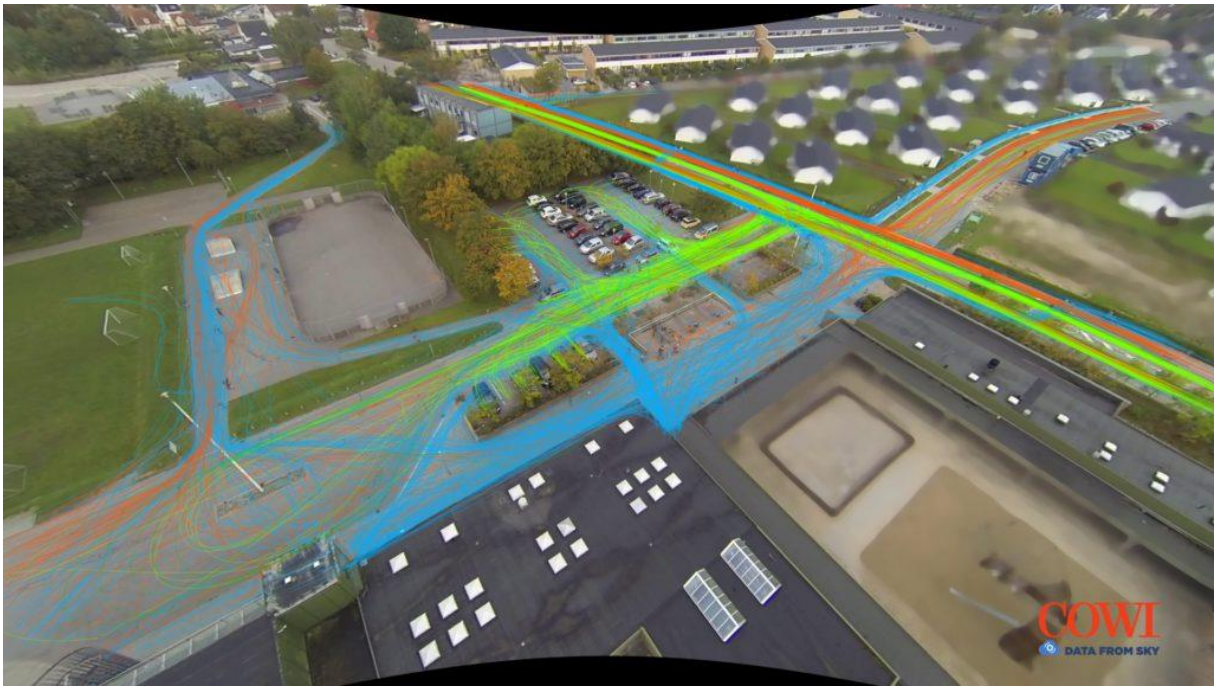
4.7.9.2 Heusden-Zolder: scholenplan

De gemeente Heusden-Zolder heeft een drone-onderzoek in schoolomgevingen uitgevoerd in het kader van een gemeentelijk scholenplan (Alders, 2020). Het onderzoek past dus in een breder kader dan louter het analyseren van de schoolomgeving. De bedoeling was om alle schoolomgevingen en verschillende schoolroutes data te verzamelen zodat de knelpunten in kaart gebracht kunnen worden. De beelden werden manueel geanalyseerd. Op basis van deze analyses werden de verkeersstromen in kaart gebracht. Er werd geen rapport opgemaakt van de analyse maar er werden wel enkele quick wins uitgevoerd. Zo werden er aan school een aantal gevaarlijke, dwarse parkeervakken in de buurt van de schoolpoort geschrapt om de autovrije wachtzone een stuk ruimer te maken. Het knelpunt van een stilstaande bus van de buitenschoolse opvang op de fietssuggestiestrook in de nabije schoolomgeving werd ook aangepakt. In overleg met de schooldirectie, de ouderraad, de buitenschoolse kinderopvang en de lokale politie werd een haltehaven ingericht buiten de rijweg (Heusden-Zolder, 2021).

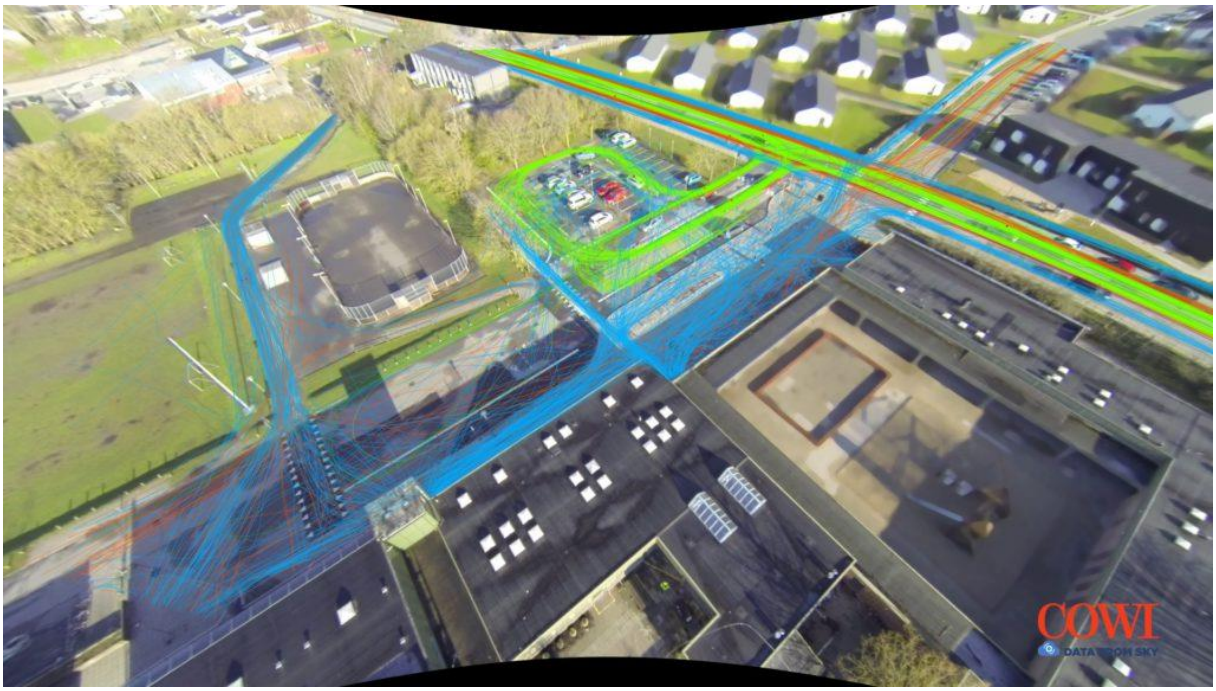
4.7.9.3 Screening verkeerssituatie van Deense scholen

Het onderzoeksbureau COWI heeft onderzoek gedaan naar de verkeerssituatie van verschillende Deense kleuter-, lagere en middelbare scholen (COWI, 2020). Dit onderzoek werd gefinancierd door de betrokken gemeenten. Op basis van dronebeelden werd de situatie van de schoolomgeving in kaart gebracht. De focus van het onderzoek lag op de verkeersveiligheid in de nabijheid van scholen en de eventuele conflicten die kunnen optreden tussen verkeersdeelnemers. Aan de hand van data-analyse met behulp van de software van DataFromSky was het mogelijk om de verkeersstroom aan elke schoolingang weer te geven, het aantal verkeersdeelnemers te onderscheiden en te tellen en conflictsituaties in kaart te brengen. Het geeft een uniek beeld van de verschillende verkeerstromen in een schoolomgeving.

Sommige rapporten gaan dieper in op bepaalde conflictsituaties. Daaruit bleek dat fietsers, voetgangers en automobilisten vaak met elkaar in conflict komen. In volgende figuren wordt dit duidelijk weergegeven aan de hand van de trajectoriën van de verkeersdeelnemers. Figuur 43 geeft de situatie weer voordat er ingrepen werden uitgevoerd. Uit het beeld valt af te lezen dat de verkeersstromen door elkaar lopen en er dus een gemengde verkeerssituatie is. Elke kleur geeft een ander type verkeersdeelnemer weer. Gebaseerd op deze gegevens werden bepaalde ingrepen geïmplementeerd. Vervolgens werd nieuw beeldmateriaal verzameld. In Figuur 44 worden de resultaten weergegeven. De verkeersstromen in deze figuur zijn significant gewijzigd en lopen minder door elkaar, met minder conflictsituaties tot gevolg.



Figuur 43: Voor de aanpassingen, elke lijn geeft een trajectorie weer: voetgangers (blauw), fietsers (rood), bestuurders (groen) (COWI, 2020)



Figuur 44: Na de aanpassingen, elke lijn geeft een trajectorie weer: voetgangers (blauw), fietsers (rood), bestuurders (groen) (COWI, 2020)

5 Uitvoering dronevlucht

Op dinsdag 23/02/2021 zijn de definitieve dronevluchten voor dit onderzoek uitgevoerd aan basisschool De Zonnewijzer in Zonhoven, door DroneMatrix. Er werd op twee momenten gevlogen, tijdens de ochtendspits van 7u50 tot 8u50 (47 minuten beeldmateriaal) en tijdens de avondspits van 14u50 tot 15u50 (49 minuten beeldmateriaal). Op basis van de resultaten van de testvlucht (zie 3.1.5) werden nog kleine aanpassingen gedaan aan de positie van de camera. Tijdens de testvlucht was de ingang van de school (zijingang voor leerlingen) niet voldoende in beeld. Door middel van de aanpassingen aan de positie van de camera werd dit probleem opgelost. Een weergave van het definitieve luchtbeeld is te zien op Figuur 45.



Figuur 45: Definitief luchtbeeld (Eigen werk, 2021)

De dronevlucht tijdens de ochtendspits is vlot verlopen, zonder enige problemen. De beelden zijn hierdoor optimaal om te gebruiken voor de analyse met DFS. De beelden van de avondspits zijn minder bruikbaar. Door hevige windstoten zijn de beelden minder stabiel. De drone had bijgevolg ook problemen met het aanhouden van eenzelfde hoogte, waardoor het luchtbeeld niet doorheen de gehele opname gelijk is. Verder zorgde de laagstaande zon voor schaduwvorming. Dit blijkt van invloed te zijn op de mate van detectie van objecten door de software van DFS. Als gevolg van deze problemen wordt dan ook geopteerd om de analyse in het volgende hoofdstuk voornamelijk te baseren op de beelden van de ochtendspits, aangezien deze een optimaler resultaat geven in de verwerking door DFS. Naar de toekomst toe, in een mogelijk vervolgonderzoek, dient extra aandacht besteed te worden aan bovengenoemde factoren om onbruikbaarheid van beelden te voorkomen. Het is dan ook aan te raden om de dataverzameling aan de hand van

een dronevlucht niet uit te voeren wanneer de windsnelheden te hoog liggen en/of tijdens momenten met een laagstaande zon. Voor optimale beelden is gebleken dat een lichte bewolking ideaal is.

Gelijktijdig met de dronevluchten is er ook een bevraging naar de modal split van de woon-schoolverplaatsingen uitgevoerd in de klassen. Aan elke leerkracht werd een formulier meegegeven om per klas te bepalen hoe de leerlingen naar school zijn gekomen op dinsdag 23 februari. Aan de hand van het opsteken van de handen door de leerlingen was het voor de leerkrachten mogelijk om de aantallen per vervoersmodus te rapporteren. Deze methode is gebaseerd op het onderzoek van Sersli, Rothman en Winters (2019) en blijkt een hoge betrouwbaarheid te hebben. Door middel van de gerapporteerde aantallen per vervoersmodus is een basisdataset opgesteld met betrekking tot de modal split.



Figuur 46: Collage dronevlucht 23/02/2021 (Eigen werk, 2021)

6 Algemene analyse dronebeelden

In deze paragraaf worden de dronebeelden geanalyseerd op basis van de analyses uit DFS. Hierbij worden volgende analyses uitgevoerd: tellingen, modal split, OD-matrices, conflictobservaties (TTC, PET, Heavy Braking), snelheid, parkeerduur en time en distance headway. De analyses binnen dit hoofdstuk zijn overwegend beschrijvend van aard. Afhankelijk van de onderzoeksvragen wordt de analyse verder uitgebreid en geïnterpreteerd in de deelonderzoeken. Zoals aangehaald in het vorige hoofdstuk zijn de beelden van de avondspits slechts in mindere mate bruikbaar door de onstabiliteit van de dronebeelden. Er wordt bijgevolg gekozen om voornamelijk te werken met de beelden van de ochtendspits.

6.1 Privacy

Het gebruik van een drone in het onderzoek mag geen onrechtmatige inbreuk maken op het recht op privacy. Dit is mogelijk door ervoor te zorgen dat er geen verwerking van persoonsgegevens is zodat Verordening (EU) 2016/679 of de Algemene verordening gegevensbescherming (AVG) niet van toepassing is (art. 2.1 AVG, 2016). Tijdens de voorbereiding van de pilotstudie werd de assumptie gemaakt dat dit mogelijk is door voldoende hoog te vliegen zodat de personen niet identificeerbaar zijn en er geen kentekens van voertuigen leesbaar zijn.

Op basis van de videobeelden kan gesteld worden dat het niet mogelijk is om persoonsgegevens te verwerken. De verkeersdeelnemers zijn niet identificeerbaar op de videobeelden. Door te vliegen op een hoogte van 70 meter zijn de beelden niet gedetailleerd genoeg om personen te herkennen. Het is verder ook niet mogelijk om nummerplaten te herkennen. DFS biedt de mogelijkheid om regio's te anonimiseren zonder dat dit invloed heeft op de analyse, zie Figuur 47. Dit kan gebruikt worden indien er privédomein, zoals een woning en tuin, in beeld is. Op basis van het adres van de woning zou het in principe mogelijk zijn om de gegevens van eventueel aanwezige personen te achterhalen. DFS kan dan de beelden zodanig anoniem maken zodat er geen verwerking van persoonsgegevens is (Overweging 26 AVG, 2016).

Er zijn zowel tijdens als na de vluchten geen klachten van burgers gekomen met betrekking tot privacy.



Figuur 47: Geanonimiseerde regio's in DFS (eigen werk, 2021)

6.2 Detectie van weggebruikers

De detectie van weggebruikers en hun trajectoriën vormen de basis voor de verschillende analyses. Met andere woorden: het onderzoek staat of valt bij de accuraatheid van de detectie en extractie van trajectoriën. De detectie zelf dient niet manueel uitgevoerd te worden, maar wordt automatisch gedaan aan de hand van DFS, op basis van AI.

In totaal werden er tijdens de ochtendspits 1359 unieke verkeersdeelnemers gedetecteerd. De absolute en relatieve frequenties per vervoersmodus zijn weergegeven in Tabel 18.

Tabel 18: Detectie van weggebruikers OS via DFS (Eigen werk, 2021)

DETECTIES IN HET STUDIEGEBIED (OS)		
VERVOERSMODUS	ABSOLUTE FREQUENTIE	RELATIEVE FREQUENTIE
Voetganger	403	29,65%
Fiets	297	21,85%
Auto	579	42,60%
Lichte vrachtwagen	19	1,40%
Vrachtwagen	28	2,06%
Bus	11	0,81%
Motorfiets	22*	1,63%
TOTAAL	1359	100,00%

*Na manuele verificatie blijken dit op één motorfiets na allemaal fietsers te zijn

Zoals eerder aangehaald is de detectie van weggebruikers essentieel voor verdere analyses. Op Figuur 48 is een momentopname tijdens de ochtendspits te zien met aanduiding van de gedetecteerde weggebruikers. Een manuele revisie van de detectie toont aan dat gemotoriseerde voertuigen (auto's, lichte en zware vrachtwagens en bussen) bijna altijd correct worden gedetecteerd wanneer deze in beweging zijn. Stilstaande of geparkeerde gemotoriseerde voertuigen worden minder goed gedetecteerd. De detectie van voetgangers en fietsers heeft een veel lagere betrouwbaarheid. Zoals te zien op Figuur 48 worden slechts kleine aantallen van de aanwezige voetgangers en fietsers gedetecteerd (zie linksonder ter hoogte van de schoolpoort). Dit patroon is duidelijk zichtbaar doorheen de gehele opname, zowel tijdens de ochtendspits als tijdens de avondspits.



Figuur 48: Detectie weggebruikers in DFS-viewer (Eigen werk, 2021)

Om een beeld te krijgen op de accuraatheid van de detectie door DFS is een manuele accuraatheidsmeting uitgevoerd aan de hand van stilstaande frames. In totaal zijn 30 frames random geselecteerd uit de videobeelden van de ochtendspits (in totaal zijn er 71172 frames). Op basis van deze 30 frames zijn steeds het aantal zichtbare verkeersdeelnemers per modi geteld. Vervolgens is het aantal gedetecteerde verkeersdeelnemers per modi afgewogen ten opzichte van het totaal aantal deelnemers per modi die zichtbaar zijn op de beelden. Dit geeft een indicatie van de accuraatheid van de detectie door DFS, per frame. Door het gewogen gemiddelde te nemen van de detectie accuraatheid overheen de 30 geanalyseerde frames wordt een gewogen gemiddelde accuraatheid bekomen. Deze gewogen gemiddelde accuraatheid ligt voor de OS op 39,78%. De accuraatheden per frame zijn terug te vinden in de bijlagen. Als er gefocust wordt op de detectie accuraatheid voor specifieke modi worden volgende gemiddelde accuraatheden behaald: auto (52,39%), fiets (25,42%), voetganger (18,00%), lichte vracht (80,00%), zware vracht (100,00%), bus (100,00%). De lage accuraatheid bij auto's is voornamelijk toe te schrijven aan het feit dat geparkeerde voertuigen minder goed worden gedetecteerd. Auto's die voortbewegen worden in de meeste gevallen wel gedetecteerd. Op het vlak van classificatie van weggebruikers worden ook fouten waargenomen, al zijn deze fouten eerder beperkt. Het gaat hierbij over fouten zoals een voetganger die geclassificeerd wordt als fietsers of een fietser die geclassificeerd wordt als motorfiets. Binnen DFS is er echter wel een mogelijkheid om de classificatie per gedetecteerde weggebruiker achteraf aan te passen, zodoende er juiste analyses gemaakt kunnen worden.

Tabel 19: Accuraatheid detectie DFS per vervoersmodus (Eigen werk, 2021)

DETECTIEACCURAATHEID	
VERVOERSMODUS	ACCURAATHEID DETECTIE
Voetganger	18,00%
Fietser	25,42%
Auto	52,39%
Lichte vracht	80,00%
Zware vracht	100,00%
Bus	100,00%
Motorfiets	NVT
GEWOGEN GEMIDDELDE	39,78%

Op Figuur 49 is een voorbeeld van de analyse van een frame (frame 16501) in de video weergegeven. Op dit frame wordt een totale accuraatheid van 36,00% waargenomen. Er worden door DFS geen voetgangers gedetecteerd, hoewel er toch 22 voetgangers op het frame zichtbaar zijn. Ook de detectie van fietsers is ondermaats, met in totaal slechts een van de zes fietsers gedetecteerd. Voor auto's ligt de accuraatheid op 55,32% (26 detecties op 47 auto's), hierbij worden voornamelijk de bewegende auto's accuraat gedetecteerd. De stilstaande en

geparkeerde auto's op de parking langs de school worden veel minder goed gedetecteerd.



Figuur 49: Voorbeeld 1: analyse accuraatheid per frame (Eigen werk, 2021)

Op Figuur 50 wordt de analyse van frame 20639 weergegeven. Zoals reeds aangegeven worden de voertuigtypes lichte vracht, zware vracht en bus zeer accuraat gedetecteerd door DFS. Deze types zijn duidelijk zichtbaar in de figuur en werden gedetecteerd in de videobeelden. De accuraatheid van de detectie van auto's ligt op 61,40%. De detectie van kwetsbare weggebruikers ligt echter aanzienlijk lager. De detectie accuraatheid voor fietsers is in dit frame 38,5%. Hoewel dit een laag percentage is ligt deze hoger dan het algemene gemiddelde van 25,4%. De detectie van voetgangers is echter zeer beperkt. Hoewel er 21



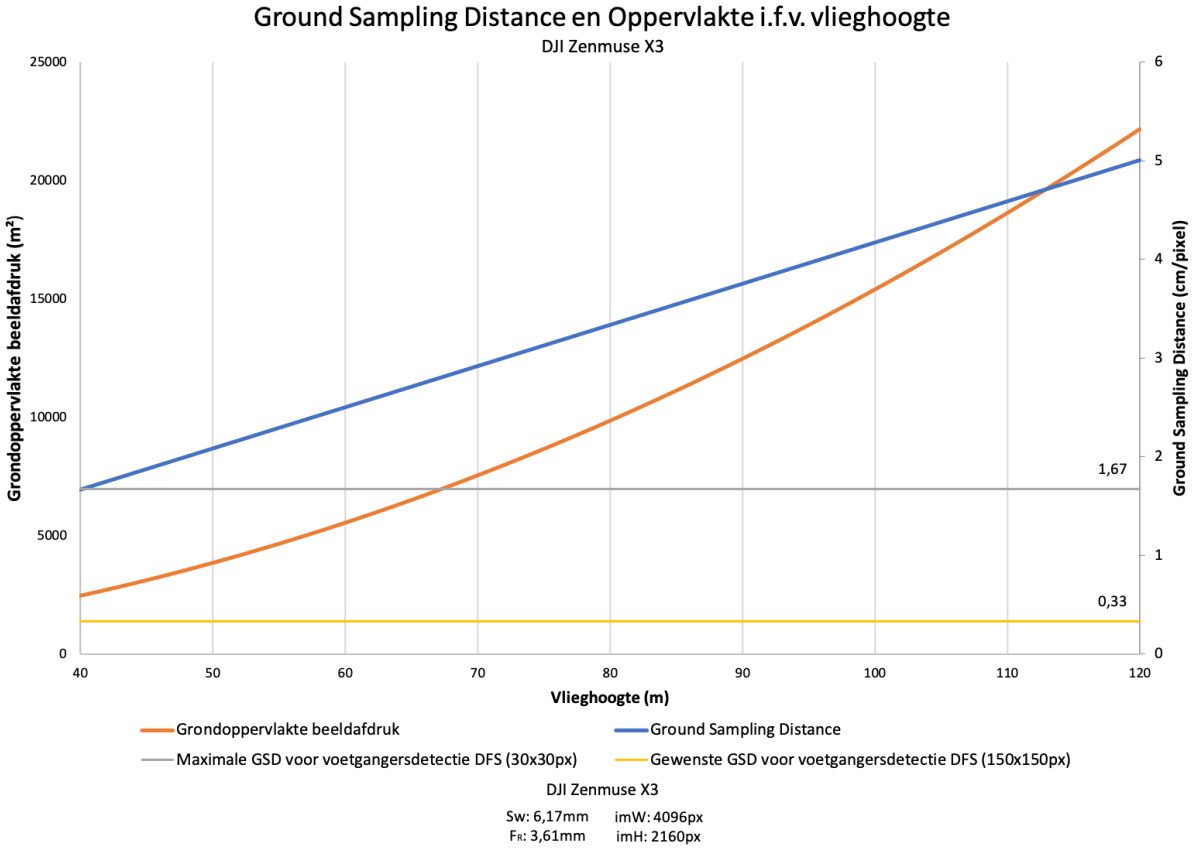
Figuur 50: Voorbeeld 2: analyse accuraatheid per frame (Eigen werk, 2021)

voetgangers aanwezig zijn in onderstaand frame, worden er geen voetgangers gedetecteerd door DFS.

Dezelfde detectieproblemen met DataFromSky werden ook al aangehaald in een onderzoek van Fitzpatrtick et al. (2019). In hun onderzoek werd 57% van de weggebruikers correct gedetecteerd (voornamelijk gemotoriseerde voertuigen). Bij het volgen van de weggebruikers werden echter ook problemen vastgesteld, slechts 5,7% werd correct gevolgd doorheen het gehele onderzoeksgebied. In dit onderzoek werd ook een eigen algoritme op basis van YOLO (zie paragraaf 4.2) toegepast, dit algoritme gaf een accuraatheid in detectie en tracking van gemiddeld 93%, met een minimum van 78%. Navraag bij DFS leert dat de fietsers en voetgangers op de beelden te klein zijn (Mozga, Detectie DFS, 2021). Om een detectie met een hoge betrouwbaarheid te bekomen moeten objecten minstens een grootte van 30x30 tot 150x150 pixels hebben. Op de dronebeelden in dit onderzoek, gebaseerd op een resolutie van 4K, zijn voetgangers en fietsers in veel gevallen beperkt tot een grootte van maximaal 25x30 pixels. Bij GoodVision, een andere software-aanbieder voor geautomatiseerde analyses van dronebeelden, wordt omwille van dezelfde problemen standaard geen detectie aangeboden voor voetgangers en fietsers op dronebeelden. Het gaat hier dus over een veelvoorkomende beperking van de huidige softwaremogelijkheden.

Een analyse van de 'Ground Sampling Distance' (GSD) van de gebruikte camera (DJI Zenmuse X3) brengt meer duidelijk met betrekking tot het geobserveerde probleem. De GSD is de afstand tussen de centra van twee aaneengrenzende pixels op het videobeeld, gemeten op de grond (Pix4D, 2019). Dit is met andere woorden de spatiale resolutie van de videobeelden. Naarmate de GSD hoger wordt (bv. hoger vliegen), wordt de spatiale resolutie lager en zijn er minder details zichtbaar. Zoals aangehaald vereist DFS dat objecten minimaal een grootte van 30x30 pixels moeten hebben om gedetecteerd te kunnen worden, dit komt overeen met een maximale GSD van 1,67 cm/px. Hierbij wordt een aanname gemaakt dat een voetganger vanuit een loodrecht bovenaanzicht een grootte van 0,5 meter op 0,5 meter heeft. Figuur 51 geeft een grafische voorstelling weer van de GSD en de oppervlakte van het filmgebied (loodrechte stand van de camera) in functie van de vlieghoogte. Op basis van deze analyse kan gesteld worden dat de GSD (2,92 cm/px) op een vlieghoogte van 70 meter (vlieghoogte tijdens de pilotstudie) te groot is voor DFS om voetgangers met een hoge accuraatheid te detecteren. Verder kan ook geconcludeerd worden dat de minimale objectgrootte voor voetgangers (30x30 pixels) enkel kan behaald worden door op een vlieghoogte van 40 meter of lager te vliegen. Indien men de gewenste objectgrootte van 150x150 pixels voor voetgangers wil bekomen, wat gelijk staat aan een GSD van 0,33 cm/px, dient men op 7,9 meter hoogte te vliegen. Echter is de grondoppervlakte die op deze hoogte kan gefilmd worden dan zeer beperkt, het is in deze gevallen beter om te werken met een andere camera. Zo wordt de GSD verkleind met een verlenging van de focuslengte van de gebruikte camera/lens. Wel dient er rekening gehouden te worden bij deze analyse dat het

telkens gaat over loodrechte beelden (top-down view), in werkelijkheid werden de beelden tijdens de pilotstudie gemaakt onder een hoek. Dit maakt dat voetgangers op de beelden wel groter zijn, er zijn dan ook andere vereisten voor de gewenste GSD. Aangezien dergelijke berekeningen van de GSD veel complexer zijn wordt hier niet dieper op ingegaan binnen deze studie.



Figuur 51: Ground Sampling Distance en oppervlakte in functie van vlieghoogte (Eigen werk, 2021)

Om in te spelen op de hiervoor benoemde problemen met betrekking tot de detectie van zwakke weggebruikers zijn wel andere softwaremogelijkheden beschikbaar. Zo is RetinaNet speciaal ontwikkeld om weggebruikers, met een grote focus op voetgangers en fietsers, te kunnen detecteren op basis van dronebeelden (Kochhar, 2019). RetinaNet is gebaseerd op een 'feature pyramid network' en op 'focal loss'. Verder geven Liu et al. (2020) aan een algoritme (UAV-YOLO) ontwikkeld te hebben op basis van YOLO (zie paragraaf 4.2) voor de detectie van personen op dronebeelden. Het grote voordeel van deze methodes is de verhoogde accuraatheid van de detectie van zwakke weggebruikers ten opzichte van softwarepakketten zoals DFS. Echter bieden RetinaNet en UAV-YOLO geen verdere analyses aan op de dronebeelden zoals in DFS. Ook is er geen integratie mogelijk binnen DFS. De enige mogelijkheid om de accuraatheid van de detectie binnen DFS te verhogen is met de optionele manuele detectie, uitgevoerd door DFS. Deze manuele verwerking komt echter met een hoge kostprijs, voor de beelden van de ochtendspits komt dit neer op een bedrag van ongeveer 3000 euro + 0,56 euro per correctie/detectie (Mozga, 2021).

6.3 Verkeerstellingen

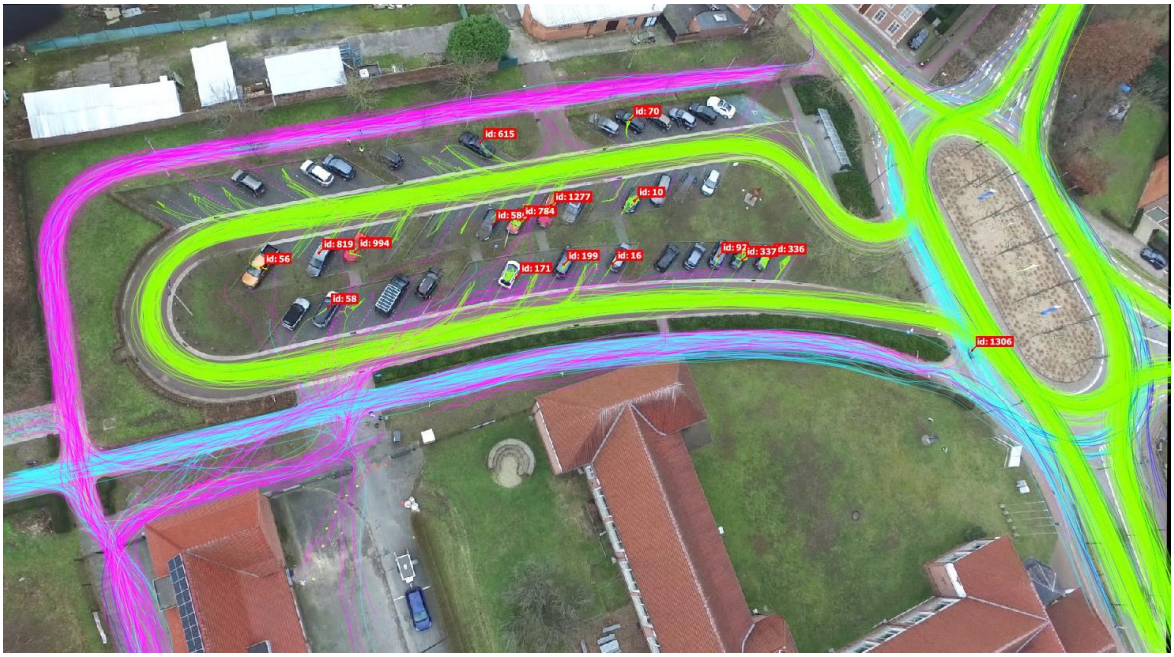
Verkeerstellingen geven inzicht in het druktebeeld in het studiegebied. Tellingen kunnen binnen DFS uitgevoerd worden aan de hand van telpoorten. Op locatie waarvan men de intensiteit wil meten kan een virtuele telpoort geplaatst worden. Deze telpoort geeft vervolgens het aantal weggebruikers weer, geclassificeerd volgens vervoersmodus. In het studiegebied van Zonhoven zijn op verschillende plaatsen telpoorten geplaatst, een van de resultaten wordt hieronder beschreven.

Een interessante locatie om voertuigintensiteiten te bepalen is de ovonde. Er is op de ovonde, tussen de in- en uitgang van de parking, een telpoort geplaatst. Gedurende het de dronevlucht in de OS (47 minuten beeldmateriaal) werden in totaal 294 weggebruikers geteld. Op basis van personenauto-equivalenten komt dit neer op 269,5 pae (205 auto's, 13 lichte vrachtwagens, 10 zware vrachtwagens, 5 bussen, 1 motorfiets, 58 fietsers en 2 voetgangers). De werkelijke waardes, in het bijzonder voor de kwetsbare modi, liggen iets hoger door het gebrek aan een accurate detectie van deze modi. Als de aanname wordt gemaakt dat het verkeer uniform verdeeld is over het gehele spitsuur, dan resulteert dit in een spitsuurintensiteit van 344,04 pae.

6.4 Verkeersstromen

De verkeerstromen rond de schoolomgeving kunnen een goede indicatie geven van de huidige verkeerssituatie. Bovendien is het mogelijk om na te gaan waar er eventuele gevaarlijke situaties kunnen optreden. Door een onderscheid te maken tussen de verschillende weggebruikers kunnen deze stromen afzonderlijk worden weergegeven. Dit maakt het mogelijk om de kruisingen tussen de verschillende stromen in kaart te brengen.

Op Figuur 52 worden de trajectoriën van de verschillende weggebruikers rond de schoolomgeving afgebeeld. Daarbij wordt een onderscheid gemaakt tussen voetgangers (paars), fietsers (blauw) en automobilisten (groen). Het merendeel van de voetgangers komt via het fietspad ten noorden van de parking naar de school. Daarnaast is er ook een groot aantal dat van de parking naar de schoolpoort wandelt. Deze voetgangers veranderen op de parking van vervoersmodi (voertuig) en zetten hun traject naar de school te voet verder. De blauwe lijnen representeren de fietsers. Hun trajectoriën bevinden zich hoofdzakelijk op de ovonde en ten oosten van de parking, waar een fietspad gelegen is.



Figuur 52: Trajectoriën van weggebruikers in DFS-Viewer (Eigen werk, 2021)

6.5 Modal split

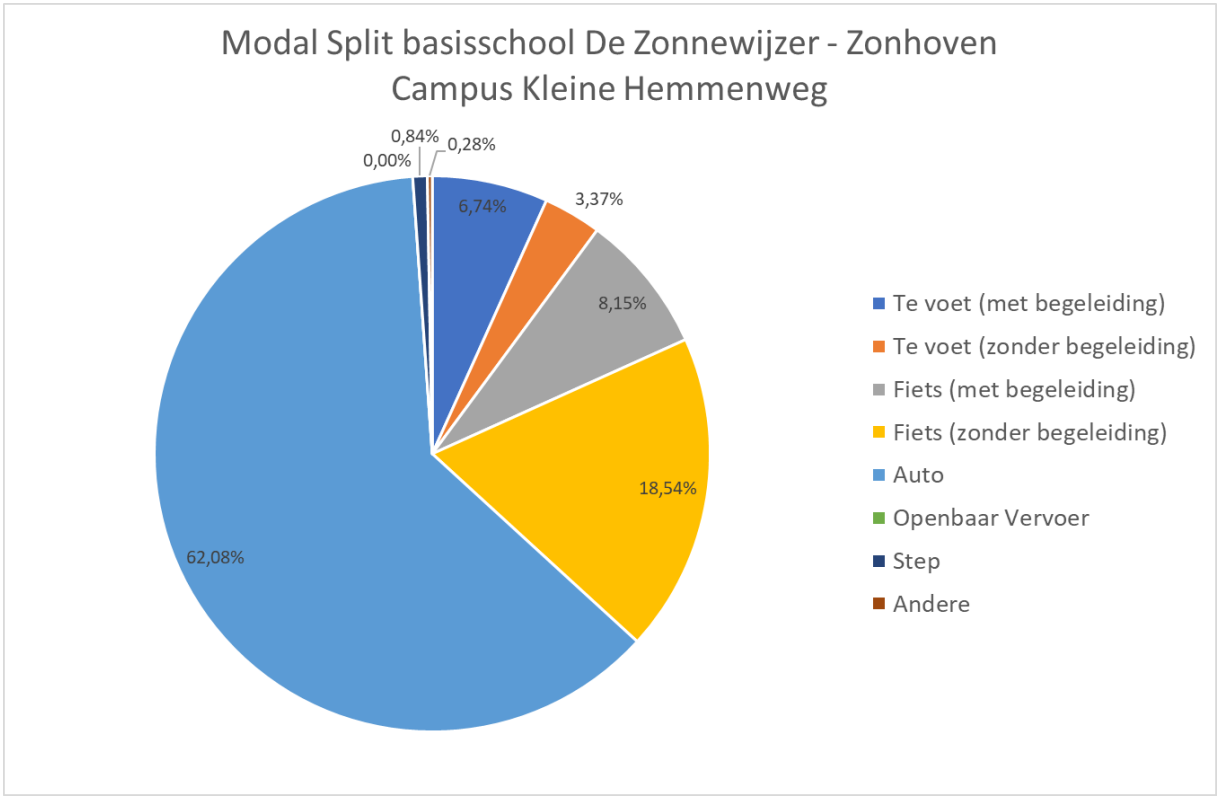
De modal split geeft het aandeel van verplaatsingen met een specifieke vervoersmodus weer ten opzichte van het totaalaantal verplaatsingen met alle vervoersmodi. Aangezien dit onderzoek specifiek focust op schoolomgevingen wordt de modal split van basisschool De Zonnewijzer in Zonhoven bepaald. Dit wordt gedaan op twee manieren: via een bevraging in de klas en op basis van de dronebeelden (DFS).

6.5.1 Bevraging in de klas

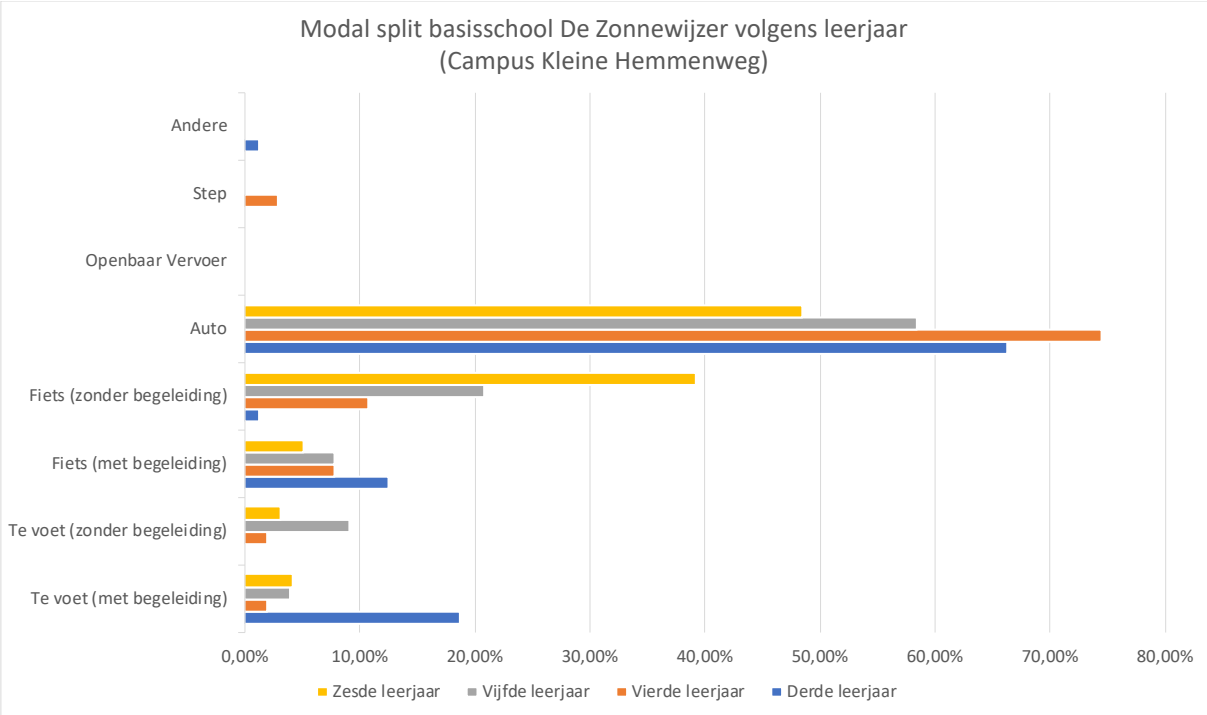
Zoals eerder al aangehaald werden gelijktijdig met de dronevluchten bevragingen naar de modal split voor de woon-schoolverplaatsing uitgevoerd in de klassen. Deze bevragingen werden gebaseerd op het opsteken van de handen van de leerlingen. De rapportage verliep via de leerkrachten.

De modal split van de campus op de Kleine Hemmenweg (n = 356 leerlingen) is weergegeven op Figuur 53. De modal split voor de hele school is terug te vinden in de bijlage. Het aandeel woon-schoolverplaatsingen met de auto ligt op 62,08%, in vergelijking met de cijfers voor de hele school is dit iets lager (62,08% t.o.v. 66,34%). Het aandeel fietsverplaatsingen, met en zonder begeleiding, ligt dan weer iets hoger op de Kleine Hemmenweg, met in totaal een aandeel van 26,72%. Dit is mogelijk te verklaren door de hogere leeftijd (2de en 3de graad) van de leerlingen op deze campus. Als er gekeken wordt naar de begeleiding valt een duidelijk trend waar te nemen naargelang de leeftijd. Zo komen oudere leerlingen (3de graad) vaker alleen met de fiets naar school in vergelijking met de leerlingen uit de 2de graad. Hetzelfde patroon wordt ook waargenomen bij de verplaatsingen

te voet, al is het hier minder uitgesproken. In totaal hebben de verplaatsingen te voet een aandeel van 10,11%, waarvan 66% met begeleiding naar school komt. De verplaatsingen met de step (0,84%) of met een andere vervoersmodus (0,28%) tonen samen een aandeel van 1,12%. Het openbaar vervoer wordt niet gebruikt. De verdeling van de modal split volgens leeftijd is weergegeven op Figuur 54.



Figuur 53: Modal split basisschool De Zonnewijzer, campus Kleine Hemmenweg, Zonhoven (Eigen werk, 2021)



Figuur 54: Modal split basisschool De Zonnewijzer, campus Kleine Hemmenweg, volgens leerjaar (Eigen werk, 2021)

6.5.2 DataFromSky

Met DFS wordt getracht de modal split van basisschool De Zonnewijzer (campus Kleine Hemmenweg) te berekenen aan de hand van telpoorten. Deze telpoorten kunnen op vrij gekozen locaties op de videobeelden geplaatst worden en geven inzicht in het aantal en soort weggebruikers dat deze poorten kruist. Een van de grootste uitdaging bij het bepalen van de modal split van een school, ook beschreven door Sersli, Rothman en Winters (2019), is het identificeren van personen die uitsluitend te voet zijn gekomen en personen die met de auto zijn gekomen en vanaf de auto te voet naar de schoolpoort wandelen. Om in te spelen op deze uitdaging is een strategische plaatsing van de voorgenoemde telpoorten essentieel. Aan de hand van OD-matrices tussen de verschillende telpoorten en de telpoort aan de ingang van de school kan zo onderscheid gemaakt worden tussen personen die via de parking komen (er wordt aangenomen dat deze leerlingen met de auto zijn gekomen) en personen die via andere wegen (fietspad/voetpad) zijn gekomen.

De plaatsing van de telpoorten voor het studiegebied in Zonhoven is weergegeven op Figuur 55. Er is gekozen om op alle takken van het fiets- en/of voetpad (de toegangswegen) een telpoort te plaatsen om alle verkeersdeelnemers te kunnen tellen. Ook op het verharde deel tussen het fietspad en de parking is een telpoort geplaatst om leerlingen die vanaf de parking komen (gebracht met de auto) te kunnen tellen. De leerlingen die van de parking op de Grote Hemmenweg komen worden ook geteld via de telpoort ‘Grote Hemmenweg’. Echter, doordat deze

parking niet in beeld is kan er geen onderscheid gemaakt worden tussen leerlingen die daadwerkelijk met de auto zijn gekomen en te voet naar school komen of leerlingen die vanaf de woonst te voet naar school komen. Om de berekening van de modal split uit te voeren wordt de functie met betrekking tot OD-matrices binnen DFS gebruikt. Deze functie laat toe alle verkeersdeelnemers te tellen die via een bepaalde telpoort het gebied binnen komen en het gebied verlaten via een andere telpoort, in dit geval de telpoort ter hoogte van de ingang van de school.



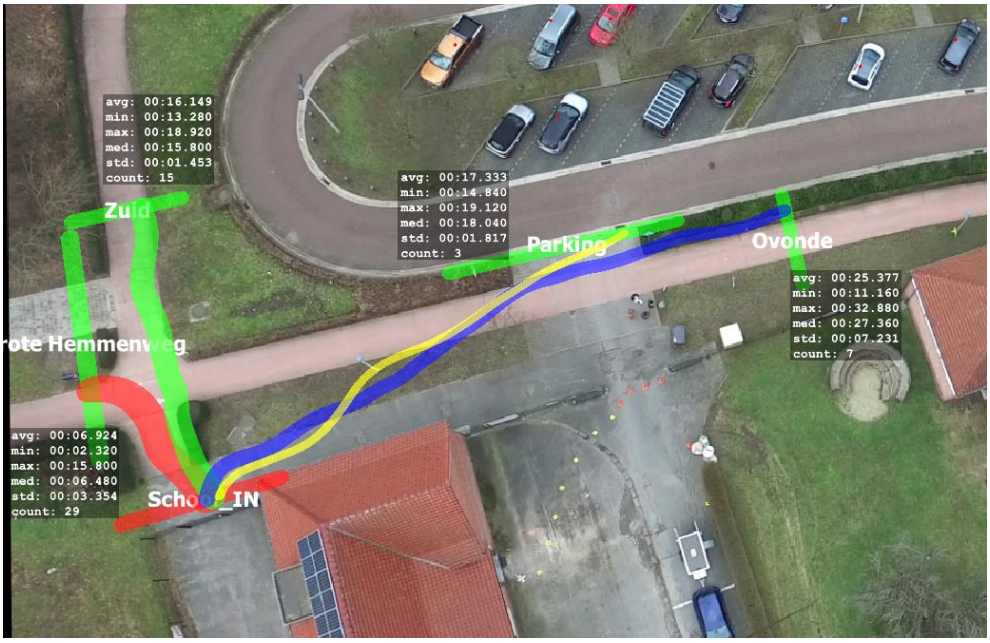
Figuur 55: Plaatsing telpoorten berekening Modal Split (Eigen werk, 2021)

Tabel 20 en Figuur 56 geven de resultaten van de eerder beschreven methodologie weer. In totaal bevat de OD-matrix telgegevens van 54 leerlingen. Dit is vergeleken met de werkelijkheid helemaal niet accuraat. De bevraging in de klas leverde in totaal 356 resultaten op, dit zijn er 302 meer in vergelijking met de berekening via DFS. Dit grote verschil valt volledig te verklaren door het gebrek aan accuraatheid bij de detectie van voetgangers en fietsers. De overgrote meerderheid van de zwakke weggebruikers worden door hun beperkte grootte op de dronebeelden niet gedetecteerd. Ook de grote drukte aan de schoolpoort, net voor de opening van de school, zorgt voor moeilijkheden. Degene die wel gedetecteerd worden, worden vaak ook niet accuraat gevolgd doorheen de videobeelden. Dit maakt dat trajectoriën onvolledig zijn, een voorbeeld is weergegeven op Figuur 57. Het werken met OD-matrices voor de bepaling van de volledige modal split is (momenteel) dan ook niet mogelijk.

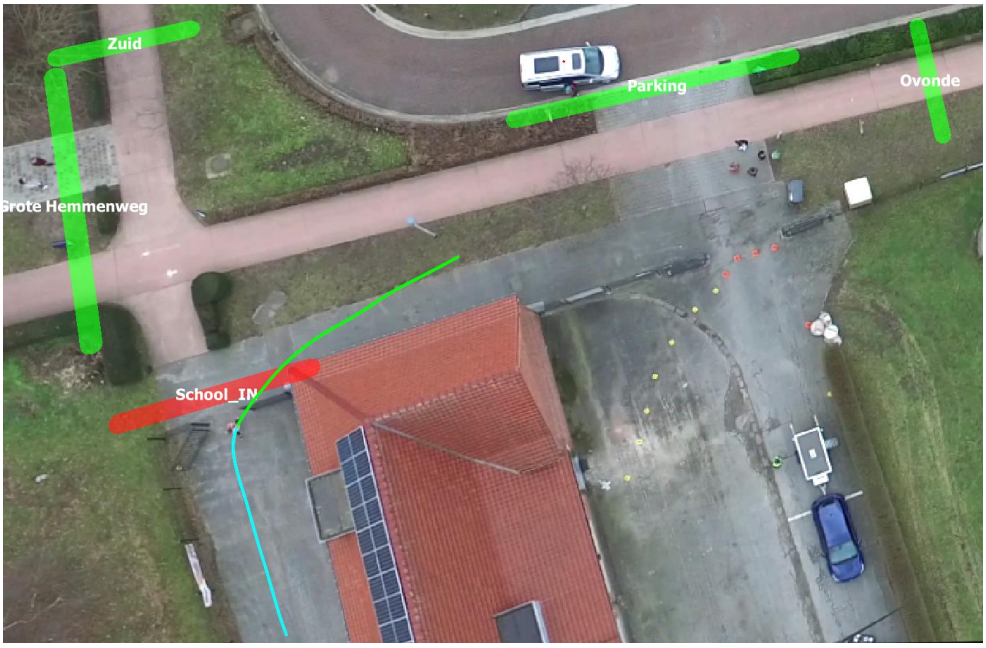
Tabel 20: OD-matrix Modal Split voetgangers en fietsers (Eigen werk, 2021)

Voetgangers	
Bestemming / Herkomst	Schoolpoort
Grote Hemmenweg	7
Ovonde	6
Zuid	15
Parking	3

Fietsers	
Bestemming / Herkomst	Schoolpoort
Grote Hemmenweg	22
Ovonde	1
Zuid	0
Parking	0



Figuur 56: Visualisatie OD-matrix Modal Split (Eigen werk, 2021)



Figuur 57:Voorbeeld beperkte trajectorie voetganger (Eigen werk, 2021)

Naast de methodologie aan de hand van OD-matrices is er ook gekeken naar de tellingen van weggebruikers ter hoogte van de schoolingang. Hiervoor is de telpoort 'School_IN' (zie Figuur 55) gebruikt. Een groot nadeel van deze methode is het feit dat er geen informatie wordt verkregen over de herkomst van de leerlingen. Onderscheid maken in personen die te voet zijn gekomen of met de auto zijn gekomen is dan ook niet mogelijk. Er kan enkel onderscheid gemaakt worden in de weggebruikers die ter hoogte van de telpoort worden gedetecteerd, in dit geval enkel fietsers en voetgangers.

In totaal worden aan de telpoort 'School_IN' 128 leerlingen geteld, waarvan 101 voetgangers en 27 fietsers. Vergeleken met de resultaten uit de bevraging is ook dit nog altijd veel te weinig. Ook bij deze methode zorgt een onvolledige en onjuiste detectie en tracking van zwakke weggebruikers voor inaccurate resultaten.

Er kan geconcludeerd worden dat met de huidige technologie voor de analyse van dronebeelden, in dit geval de software van DFS, het niet mogelijk is om op een accurate wijze de modal split van een bepaalde school te bepalen. Wel heeft de bevraging aangetoond dat de modal split op een zeer eenvoudige, tijdsefficiënte en kosteloze manier kan bepaald worden door middel van handopsteking in de klas. Dit blijkt tot op heden dan ook de beste manier voor het bepalen van de modal split in scholen.

6.6 OD-matrices

6.6.1 OD-matrix wegverkeer

Voor de OD-matrix van het gemotoriseerd wegverkeer (auto, lichte vracht en zware vracht) zijn de 4 takken van de ovonde geselecteerd als oorsprong en bestemming. De Dorpsstraat verbindt de ovonde met het centrum van Zonhoven, de Van Paesschenstraat met de N74 (Noord-Zuidverbinding), de Houtshalenseweg (N715) met de E314 en de Kleine Hemmenweg tot slot met Meulenberg. De in- en uitrit van de parking worden niet ogenomen in deze OD-matrix, aangezien dit gedeelte apart wordt behandeld in paragraaf 6.8.



Figuur 58: Locaties poorten OD-matrix wegverkeer (Eigen werk, 2021)

Tabel 21: OD-matrix wegverkeer (eigen werk, 2021)

Bestemming / Herkomst	Dorpsstraat	Van Paesschenstraat	Houthalenseweg (N715)	Kleine Hemmenweg
Dorpsstraat	4	14	52	59
Van Paesschenstraat	2	12	28	69
Houthalenseweg (N715)	31	47	9	13
Kleine Hemmenweg	46	84	18	5

Het meeste verkeer komt van de Kleine Hemmenweg en gaat richting het centrum van Zonhoven (Dorpsstraat) en de N74 (Van Paesschenstraat). Ook vanuit de Dorpsstraat komt relatief veel verkeer, voornamelijk richting Meulenberg (Kleine Hemmenweg) en richting E314 (Houthalenseweg). Vanuit de Van Paesschenstraat gaat relatief veel verkeer naar de Kleine Hemmenweg. Vanuit de Houthalenseweg gaat het grootste verkeer richting Zonhoven (centrum en N74). Het verkeer dat dezelfde oorsprong en bestemming heeft zijn hoofdzakelijk auto's die op de parking iemand afzetten en dan terug naar hun oorsprong rijden.

6.6.2 OD-matrix fietsers

DFS verliest de meerderheid van de trajectoriën van fietsers op de ovonde of wanneer ze tussen de beugels slalommen voor de ovonde. Daarom wordt er een poort gezet voor de beugels en zijn er geen poorten aan de takken van de ovonde.

De poort aan de school wordt enkel als bestemming aangeduid aangezien er geen fietsers de school als herkomst hebben.



Figuur 59: Locaties poorten OD-matrix fietsers (Eigen werk, 2021)

Tabel 22: OD-matrix fietsers (Eigen werk, 2021)

Bestemming / Herkomst	Ovonde	Grote Hemmenweg	Parking	School
Ovonde	0	6	0	1
Grote Hemmenweg	60	0	1	17
Parking	0	0	0	0

DFS detecteert voornamelijk fietsers op het fietspad dat de Grote Hemmenweg en de ovonde verbindt. Vanuit de Grote Hemmenweg rijden 60 fietsers naar de ovonde en 17 naar school. Vanuit de ovonde rijden 6 fietsers naar de Grote Hemmenweg en 1 naar school. Tot slot worden er vanaf de poort "Parking" geen fietsers gedetecteerd.

6.7 Snelheid

Snelheid is een belangrijke parameter om de verkeersveiligheid in een bepaalde omgeving na te gaan. In Figuur 60 zijn de lokale snelheidslimieten opgenomen voor de schoolomgeving. De Kleine Hemmenweg, de Kantoorweg en de Dorpsstraat behoren tot een zone 30 (Gemeente Zonhoven, 2020). In het centrum van Zonhoven is de snelheid overal maximaal 50 km/u, met uitzondering van andere schoolomgevingen waar ook een zone 30 wordt ingesteld. Op de Houthalenseweg (in het noorden op Figuur 60) en op de Grote Hemmenweg (ten

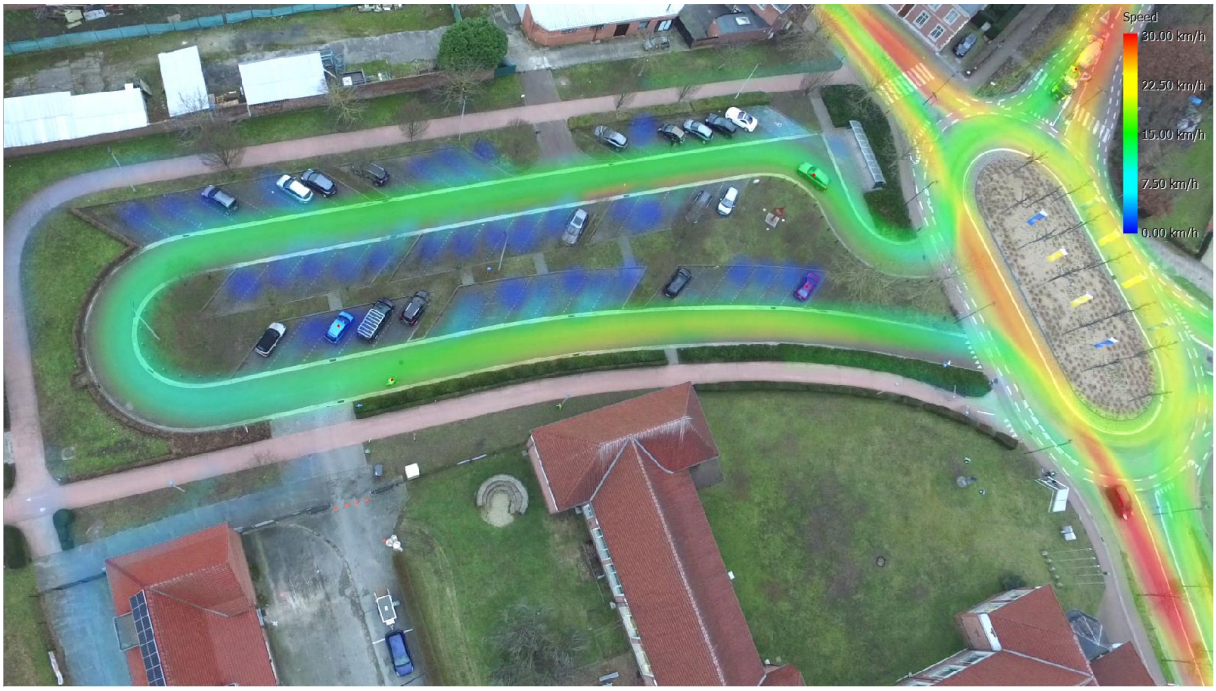
oosten van kruispunt met Kantoorweg) wordt een maximale snelheid van 70 km/u ingesteld.



Figuur 60: Microsituering studiegebied Zonhoven (Agentschap Geografische Informatie Vlaanderen, eigen werk, 2020)

Om de snelheden visueel in kaart te brengen is het mogelijk om aan de hand van een heatmap de gemiddelde snelheden weer te geven. De kleurschakeringen geven de verschillende gemiddelde snelheden weer op alle wegsegmenten.

In Figuur 61 wordt de snelheid weergegeven nabij de school 'De Zonnewijzer'. Op de heatmap werd een maximumsnelheid van 30 km/u ingesteld. Indien deze snelheid wordt overschreden, wordt deze in een rode kleur weergegeven. In de analyse van de snelheden wordt hoofdzakelijk de focus gelegd op de zone rond de ovonde.



Figuur 61: Heatmap van snelheden in DFS Viewer (Eigen werk, 2021)

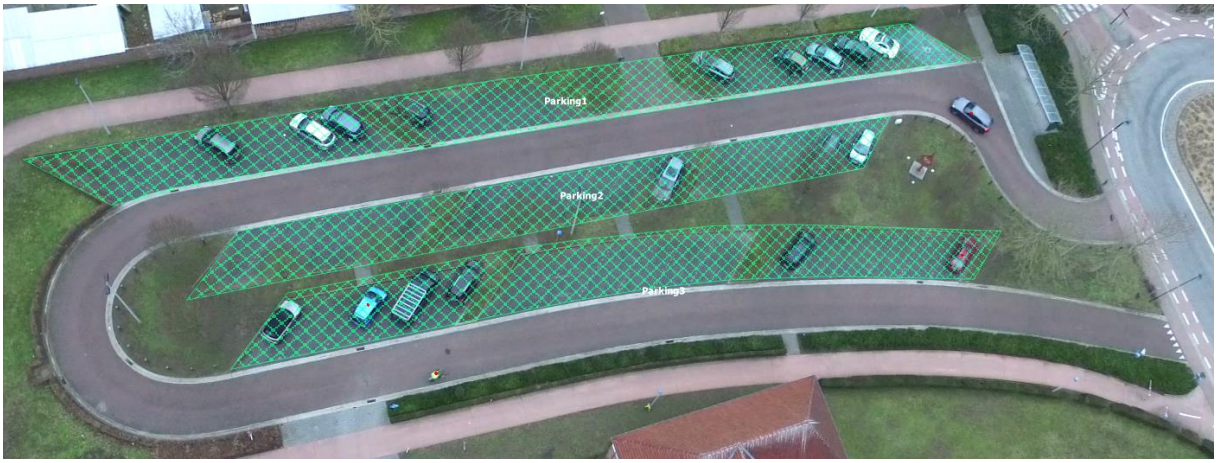
6.8 Parkeren

Langs de school is er een parking gelegen met 51 parkeerplaatsen (inclusief 1 parkeerplaats voor gehandicapten). Deze parking wordt voornamelijk gebruikt door het verkeer dat gerelateerd is aan de school. Er zijn dus 2 pieken per dag: 's morgens wanneer ouders de leerlingen brengen en 's avonds wanneer ouders de leerlingen ophalen.

6.8.1 Ochtendspits

6.8.1.1 Parkeerduur

De stationaire duur per voertuig kan bepaald worden door de parkeerplaatsen in te delen als "Traffic Region". Op onderstaande figuur is te zien hoe deze verdeling gemaakt is. De parking wordt onderverdeeld in 3 delen en per deel zijn er gegevens beschikbaar over de het moment dat een voertuig de Traffic Region inrijdt en weer uitrijdt. Ook de totale stationaire duur per voertuig is beschikbaar.



Figuur 62: Locatie van de parkings (ochtendspits) (Eigen werk, 2021)

Ter illustratie geeft Tabel 23 een overzicht van de gegevens die uit de Traffic Region Parking 1 tijdens de ochtendspits verzameld worden. Het nummer van de trajectorie is een uniek nummer dat gedetecteerde weggebruikers krijgen. 'Tijd in' (in seconden) is het tijdstip waarop het voertuig de Traffic Region inrijdt. 'Tijd uit' (in seconden) is het tijdstip waarom het voertuig de Traffic Region verlaat. De stationaire duur is het totaal aantal seconden of minuten dat het voertuig stil staat in de Traffic Region. Figuur 62 geeft de beginsituatie weer van de parking. Zoals visueel te zien, staan er op parking 1 reeds 9 auto's geparkeerd aan het begin van de videobeelden waardoor er in principe 9 auto's in de tabel moeten staan met als waarde voor "tijd in" 0 seconden. DFS detecteert echter geen enkele auto op parking 1 aan het begin waardoor er geen waarde 0 is bij 'tijd in'. Ook op parking 2 detecteert DFS geen enkel voertuig aan het begin. Op parking 3 worden 2 van de 6 voertuigen gedetecteerd door DFS. In totaal worden dus slechts 2 van de 18 voertuigen gedetecteerd die vanaf het begin op de parking staan. Aan het einde van de videobeelden detecteert DFS nog 17 voertuigen op de parking, terwijl het er in werkelijkheid 35 zijn.

Tabel 23: Gegevens Traffic Region Parking 1 (Eigen werk, 2021)

TRAJECTORIE NR.	VOERTUIGTYPE	TIJD IN [S]	TIJD UIT [S]	STATIONAIR [SECONDEN]	STATIONAIR [MINUTEN]
615	Auto	1255.16	2846.88	1587	26,5
70	Auto	1450.92	2846.88	1384	23,1
308	Auto	703.88	1722.08	1005	16,8
70	Auto	656.24	1377.44	714	11,9
593	Auto	1150.96	1837.84	679	11,3
302	Auto	684.28	1344.84	648	10,8
949	Auto	1557.96	2202.08	634	10,6
307	Auto	689.28	1252.28	553	9,2
70	Auto	209.64	656.04	425	7,1
347	Auto	794.48	1193.56	391	6,5
384	Auto	881.12	1276.52	384	6,4
358	Auto	819.44	1201.8	370	6,2

816	Auto	1373.84	1704	302	5,0
232	Auto	556.28	834.96	265	4,4
957	Auto	1584.28	1834.6	242	4,0
401	Auto	912.2	1126.76	207	3,5
634	Auto	1288.12	1513.08	196	3,3
1055	Auto	1706.76	1915.8	192	3,2
765	Auto	1357.76	1508.72	144	2,4
477	Auto	997.2	1122.96	121	2,0
1008	Auto	1659.36	1749	82	1,4
963	Auto	1563.52	1651.44	80	1,3
1132	Auto	1764.84	1810.08	41	0,7
723	Auto	1282.48	1325.48	36	0,6
1005	Auto	1644.76	1691.64	35	0,6
596	Auto	1237.6	1277.12	33	0,5
903	Auto	1474.48	1511.76	30	0,5
667	Auto	1299.48	1331.36	26	0,4
70	Auto	1435.04	1450.88	15	0,2
370	Auto	852.44	879.68	14	0,2
499	Auto	1009.8	1032.6	12	0,2
1055	Auto	1677.52	1703.88	9	0,2
1005	Auto	1621.28	1640.96	9	0,1

Op parking 1 detecteert DFS in totaal 35 voertuigen. De gemiddelde parkeerduur is 5 minuten en 30 seconden. De mediaan van de parkeerduur is 3 minuten en 16 seconden. Op parking 2 detecteert DFS in totaal 38 voertuigen. De gemiddelde parkeerduur is 9 minuten en 33 seconden. De mediaan van de parkeerduur is 5 minuten en 19 seconden. Op parking 3 detecteert DFS in totaal 24 voertuigen. De gemiddelde parkeerduur is 16 minuten en 1 seconde. De mediaan van de parkeerduur is 7 minuten en 37 seconden. In totaal detecteert DFS dus 97 voertuigen op de 3 parkings.

Een tweede mogelijkheid is om de gehele parking als 1 Traffic Region te analyseren. Het is dan ook mogelijk om de tijden te zien van de voertuigen wanneer deze in of uit de zone rijden. Op die manier kan bepaald worden hoe lang een voertuig op de parking is. DFS detecteert in totaal 132 voertuigen op de parking. Dat zijn er 35 meer dan wanneer de 3 parkings als aparte Traffic Region ingedeeld worden. Dit kan verklaard worden door het feit dat er een aantal voertuigen de parking inrijden, maar niet parkeren in een parkeervak en door een betere detectie van de voertuigen. Bij het begin detecteert DFS 4 van de 19 voertuigen die zich op de parking bevinden. Aan het einde detecteert DFS 17 van de 35 voertuigen op de parking. De gegevens met betrekking tot de bezetting die uit de Traffic Region gehaald kunnen worden zijn dus een onderschatting van de werkelijkheid.



Figuur 63: Visualistatie Traffic Region Parking (ochtendspits) (Eigen werk, 2021)

De gemiddelde tijd in de Traffic Region zonder voertuigen die er op het einde nog staan is 4 minuten en 41 seconden. De mediaan zonder voertuigen die er op het einde nog staan is 2 minuten en 28 seconden.

6.8.1.2 Bezetting

Manuele telling

Bij de start van het filmen om 8u00 stonden er reeds 18 auto's geparkeerd op de parking. Dat betekent dat de parking voor 35,3% bezet was. Onder meer enkele leerkrachten en personeelsleden hadden zich al geparkeerd op de parking. Om 8u15 bereikt de parking een bezetting van 100%. Alle parkeerplaatsen zijn in gebruik en er zijn op dat moment 4 auto's op de parking aan het rijden. De parkeerplaatsen hebben tot 8u30 een continue bezetting van bijna 100%, met een minimale bezetting van 88% op enkele momenten. Het totaal aantal aanwezige auto's op de parking is van 8u15 tot 8u30 continu hoger dan het aantal parkeerplaatsen. Tussen 8u15 en 8u30 is de capaciteit van de parking overschreden. Hierbij is er om 8u20 een piek van 67 auto's die tegelijkertijd op de parking aanwezig zijn. Dat is een bezetting van 131%. Aan het einde van het filmen, om 8u50, stonden er nog 35 auto's op de parking. Dat is een bezetting van 68,6%. 16 auto's staan zowel aan het begin als aan het einde op de parking. Van de 18 auto's die er aan het begin staan zijn er dus slechts 2 die de parking verlaten.



Figuur 64: Situatie parking 8u15 (Eigen werk, 2021)



Figuur 65: Situatie parking 8u20 (Eigen werk, 2021)

DataFromSky



Figuur 66: Visualistatie Poorten en Traffic Region Parking (ochtendspits) (Eigen werk, 2021)

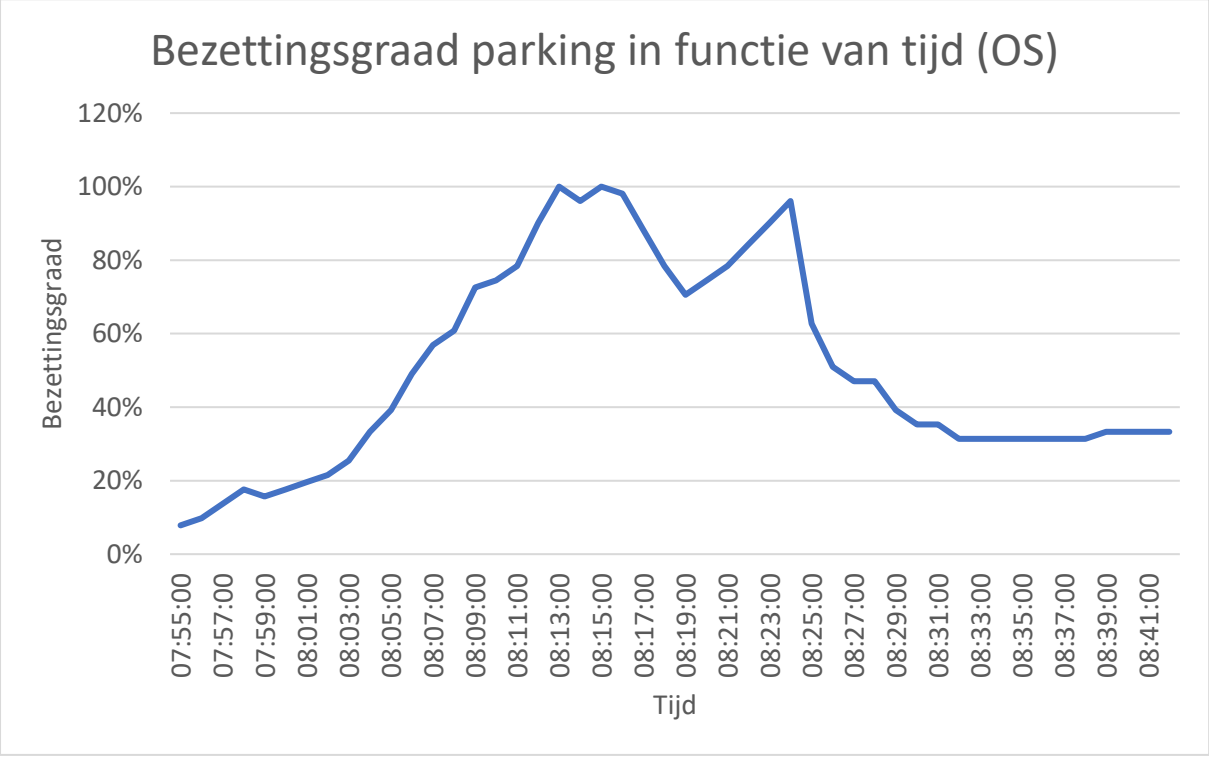
Telling via poorten

DFS detecteert 118 inrijdende voertuigen die voorbij de poort aan de ingang van de parking rijden en 94 uitrijdende voertuigen die voorbij de poort aan de uitgang van de parking rijden. Dat betekent dat er 24 voertuigen de parking niet verlaten voor het einde van de ochtendspits.

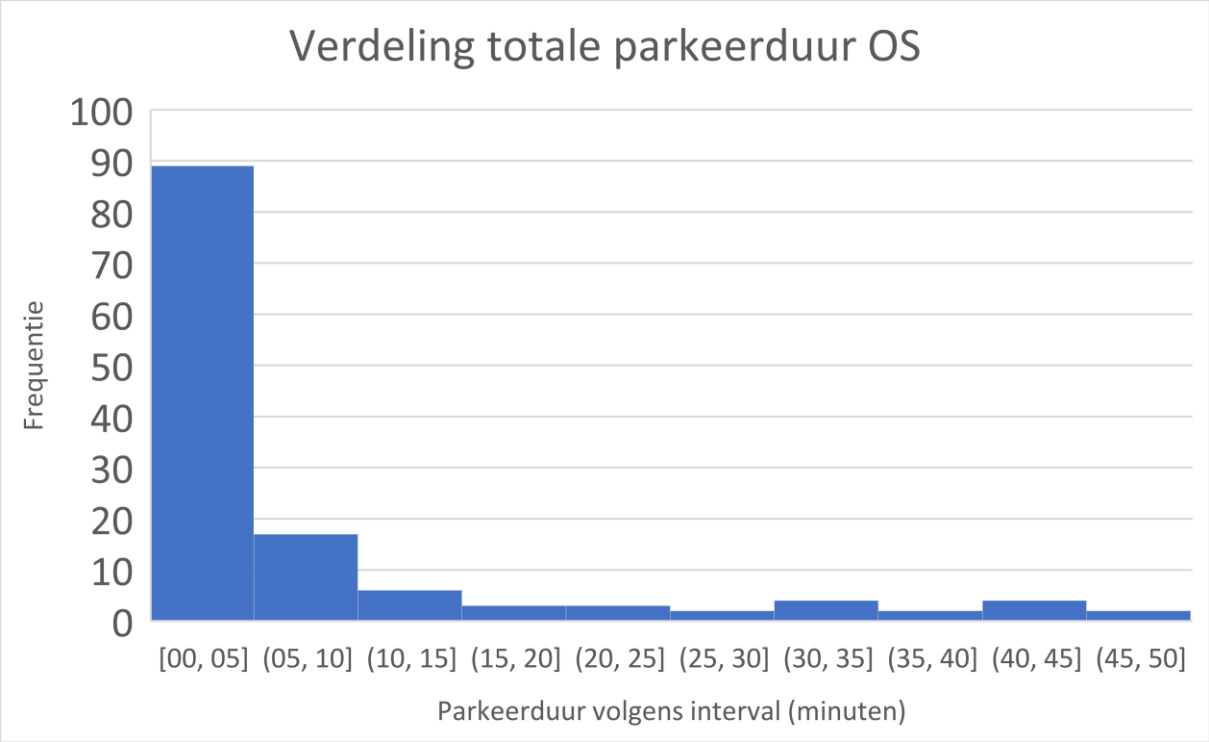
Telling via Traffic Region

DFS detecteert 131 voertuigen in de Traffic Region. In deze Traffic Region worden bij het begin van de video slechts 4 voertuigen gedetecteerd, terwijl het er in werkelijkheid 19 zijn. Aan het einde van de video worden er 17 voertuigen op de parking gedetecteerd, terwijl dit er in werkelijkheid 35 zijn. Uit de analyse van DFS blijkt dat er aan het einde van de video geen voertuig meer op de parking aanwezig is dat er vanaf het begin van de video geparkeerd staat. Uit de manuele analyse blijkt echter dat dit er in werkelijkheid 16 zijn. De tellingen via de Traffic Region vormen dus een onderschatting van de werkelijkheid.

Op basis van de tellingen in de Traffic Region toont Figuur 67 de bezettingsgraad van de parking in functie van de tijd. Op basis van deze data zijn er pieken tot 100% waar te nemen. Uit de manuele analyse blijkt echter dat er in werkelijkheid pieken tot 131% zijn. Figuur 68 toont de verdeling van de totale parkeerduur. 68% van de auto's bevinden zich minder dan 5 minuten op de parking. 81% van de auto's bevinden minder dan 10 minuten op de parking.



Figuur 67: Bezettingsgraad parking in functie van tijd (OS) (Eigen werk, 2021)



Figuur 68: Verdeling totale parkeerduur (OS) (Eigen werk, 2021)

6.8.1.3 OD-matrix auto's parking

Tabel 24: OD-matrix bestemming parking (ochtendspits) (Eigen werk, 2021)

Bestemming / Herkomst	Parking
Dorpsstraat	30
Van Paesschenstraat	41
Houthalenseweg (N715)	19
Kleine Hemmenweg	17

Tabel 25: OD-matrix herkomst parking (ochtendspits) (Eigen werk, 2021)

Bestemming / Herkomst	Dorpsstraat	Van Paesschenstraat	Houthalenseweg (N715)	Kleine Hemmenweg
Parking	11	31	25	18

6.8.2 Avondspits

6.8.2.1 Parkeerduur

De stationaire duur per voertuig kan bepaald worden door de parkeerplaatsen in te delen als "Traffic Region". Voor de analyse van de ochtendspits werd de parking onderverdeeld in 3 delen en per deel zijn er gegevens beschikbaar over de het moment dat een voertuig de Traffic Region inrijdt en weer uitrijdt. Ook de totale stationaire duur per voertuig is beschikbaar. De beelden van de avondspits zijn echter niet stabiel genoeg om deze analyse uit te voeren.

Een tweede mogelijkheid is om de gehele parking als 1 Traffic Region te analyseren. Het is dan mogelijk om de entry en exit time te zien van de voertuigen wanneer deze in of uit de zone rijden. Op die manier kan bepaald worden hoe lang een voertuig op de parking is.



Figuur 69: Visualisatie Traffic Region Parking (avondspits) (Eigen werk, 2021)

De gemiddelde tijd dat voertuigen zich in de Traffic Region bevinden is 5 minuten en 11 seconden. De mediaan is 2 minuten en 19 seconden.

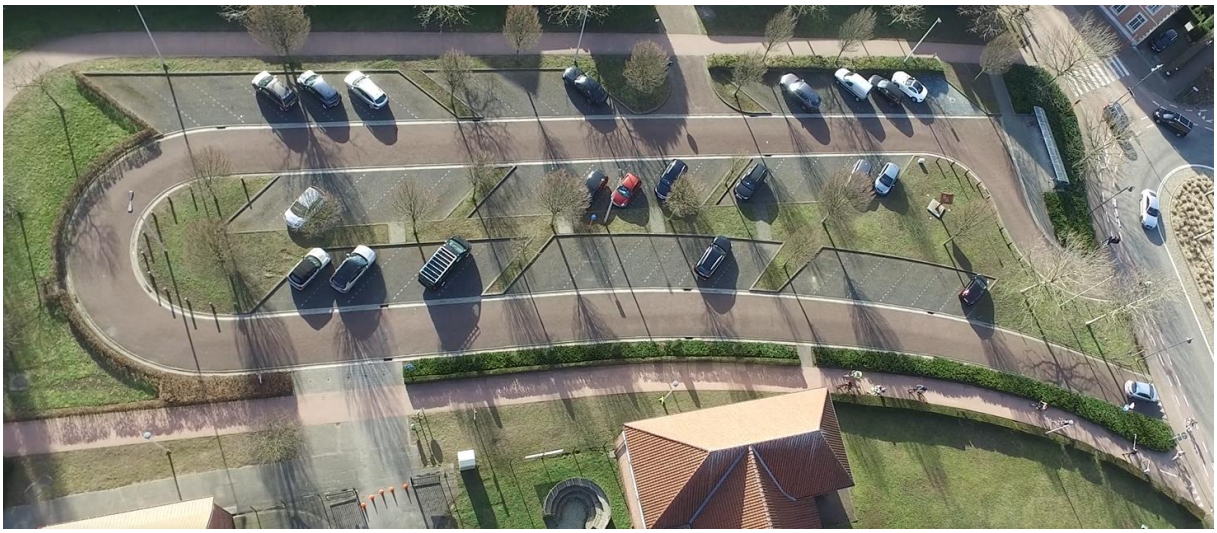
6.8.2.2 Bezetting

Manuele telling

Bij het begin van de video om 14u55 staan er reeds 50 auto's geparkeerd op de parking. Dat betekent dat de parking voor 100% bezet is. De parkeerplaatsen hebben tot 15u16 een continue bezetting van 100%. Het totaal aantal aanwezige auto's op de parking is van 14u55 tot 15u23 continu hoger dan het aantal parkeerplaatsen. Hierbij is er om 15u18 een piek van 78 auto's die tegelijkertijd op de parking aanwezig zijn. Dat is een bezetting van 153%. Aan het einde van het filmen om 15u45 stonden er nog 20 auto's op de parking. Dat is een bezetting van 39%.



Figuur 70: Situatie parking 14u55 (Eigen werk, 2021)



Figuur 71: Situatie parking 15u45 (Eigen werk, 2021)



Figuur 72: Situatie parking 15u18 (Eigen werk, 2021)

DataFromSky



Figuur 73: Visualisatie Poorten en Traffic Region Parking (avondspits) (Eigen werk, 2021)

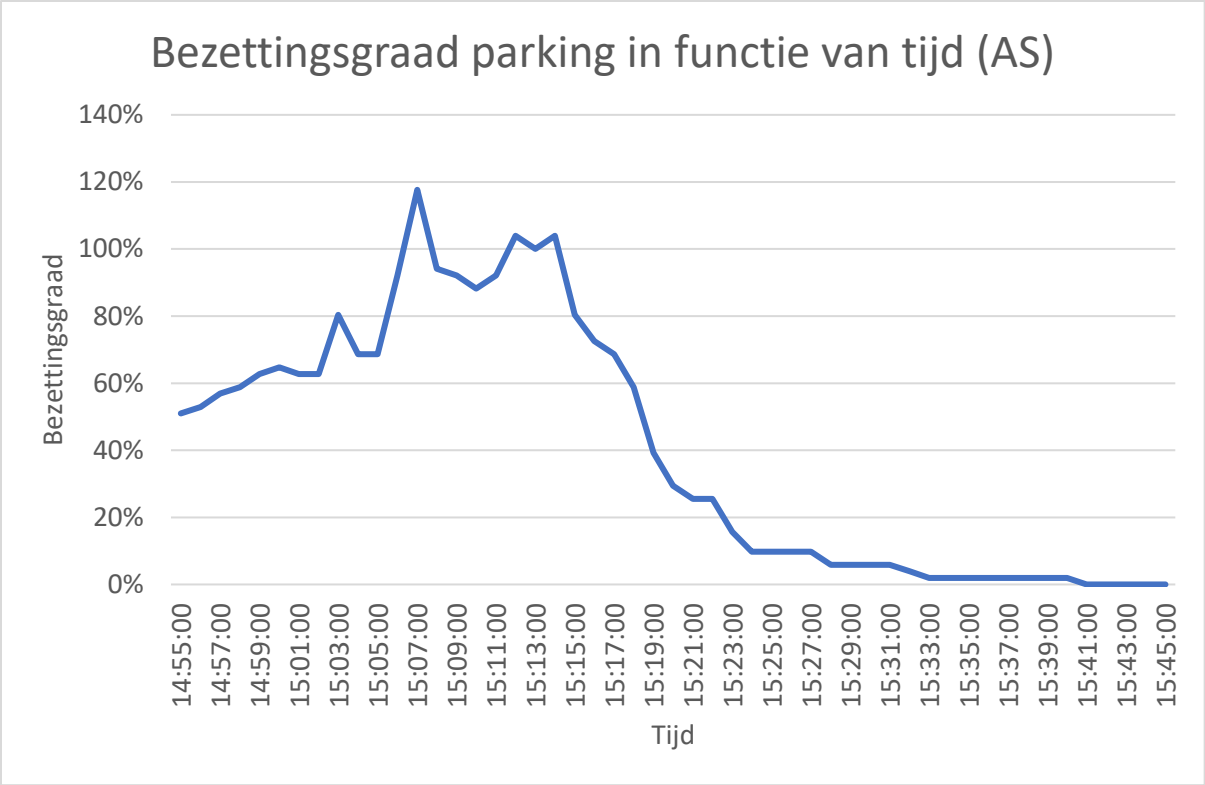
Telling via poorten

DFS detecteert 27 inrijdende voertuigen die voorbij de poort aan de ingang van de parking rijden en 85 uitrijdende voertuigen die voorbij de poort aan de uitgang van de parking rijden.

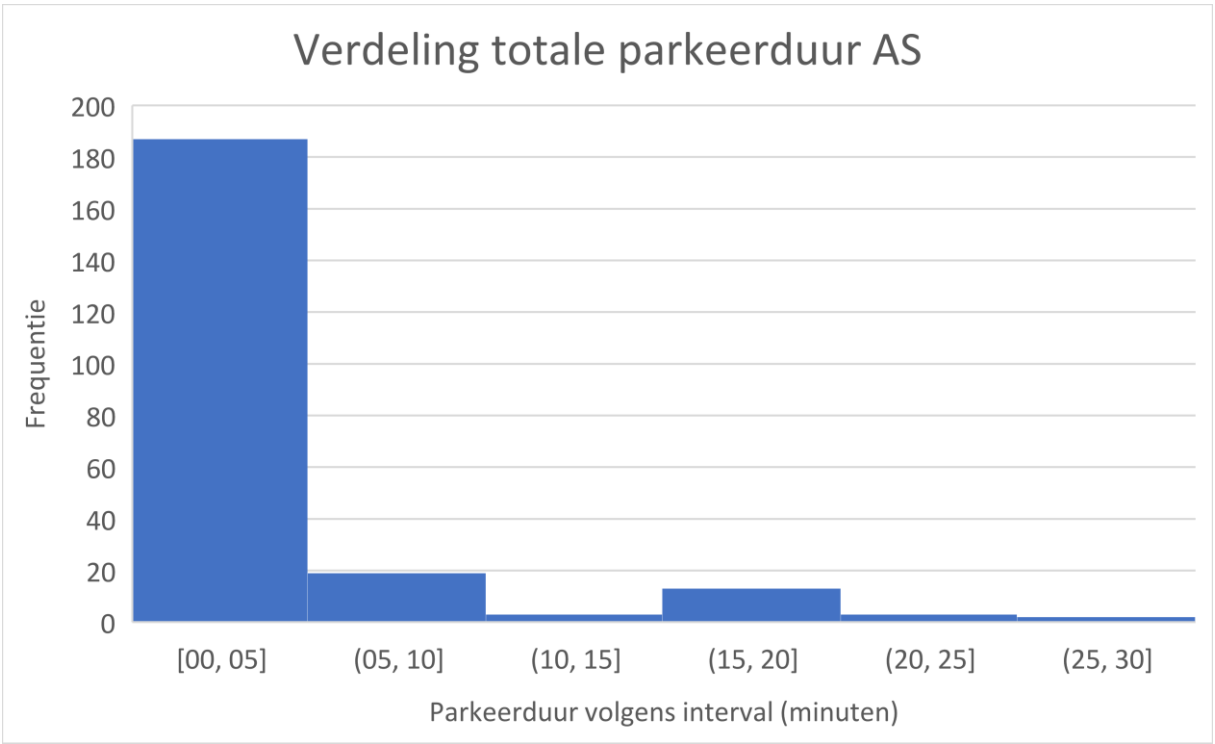
Telling via Traffic Region

DFS detecteert 228 voertuigen in de Traffic Region. In deze Traffic Region worden bij het begin van de video 24 voertuigen gedetecteerd, terwijl het er in werkelijkheid 51 zijn. Aan het einde van de video wordt er 1 voertuig op de parking gedetecteerd, terwijl er dit in werkelijkheid 20 zijn. Uit de analyse van DFS blijkt dat er aan het einde van de video geen voertuig meer op de parking aanwezig is dat er vanaf het begin van de video geparkeerd staat. Uit de manuele analyse blijkt echter dat dit er in werkelijkheid 19 zijn. De tellingen via de Traffic Region vormen dus ook hier een onderschatting van de werkelijkheid.

Op basis van de tellingen in de Traffic Region toont Figuur 74 de bezettingsgraad van de parking in functie van de tijd. Op basis van deze data is er een piek tot 118%. Uit de manuele analyse blijkt echter dat er in werkelijkheid piek tot 153% is. Figuur 75 toont de verdeling van de totale parkeerduur. 82% van de auto's bevinden zich minder dan 5 minuten op de parking. 90% van de auto's bevinden zich minder dan 10 minuten op de parking.



Figuur 74: Bezettingsgraad parking in functie van tijd (AS) (Eigen werk, 2021)



Figuur 75: Verdeling totale parkeerduur (AS) (Eigen werk, 2021)

6.8.2.3 OD-matrix auto’s parking

Tabel 26: OD-matrix bestemming parking (avondspits) (Eigen werk, 2021)

Bestemming / Herkomst	Parking
Dorpsstraat	5
Van Paesschenstraat	7
Houthalenseweg (N715)	7
Kleine Hemmenweg	6

Tabel 27: OD-matrix herkomst parking (avondspits) (Eigen werk, 2021)

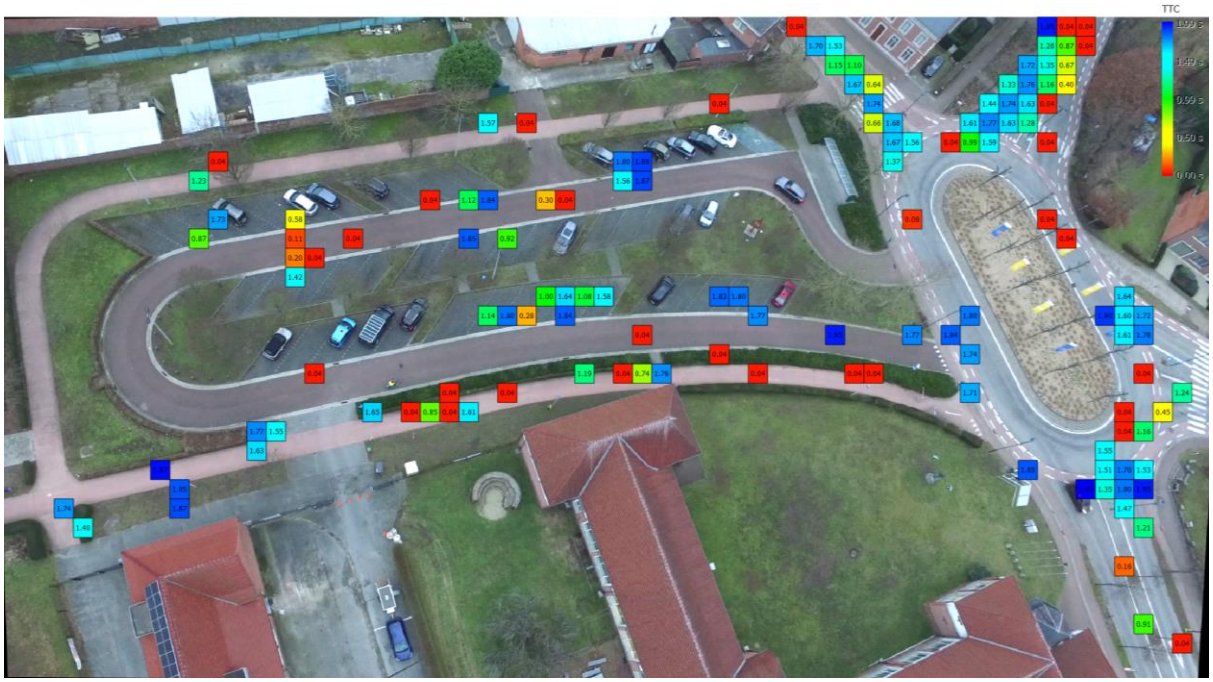
Bestemming / Herkomst	Dorpsstraat	Van Paesschenstraat	Houthalenseweg (N715)	Kleine Hemmenweg
Parking	9	19	26	12

6.9 Conflictobservaties

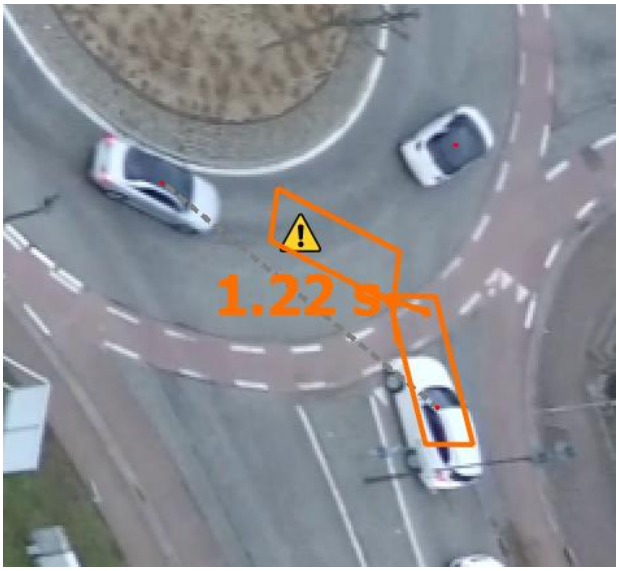
6.9.1 Time-to-collision

De parameter Time-to-collision (TTC) beschrijft de tijd tot een botsing zou plaatsvinden wanneer twee weggebruikers aan een constante snelheid en richting zouden blijven voortbewegen (Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018). Deze indicator wordt gebruikt om bijna-ongevallen (conflicten) te detecteren en de ernst ervan in te schatten. In de literatuur zijn verschillende kritische waardes terug te vinden voor de TTC. Das en Maurya (2020) geven aan, gebaseerd op een review van de literatuur, een waarde voor de TTC van drie seconden te hanteren als kritische waarde. Conflicten met een TTC lager dan drie seconden worden bijgevolg als kritische conflicten gerapporteerd. Echter, door toepassing van deze kritische waarde (als threshold) in DFS bleken er te veel conflicten gerapporteerd te worden. Er is dan ook gekozen om de definitieve threshold te verlagen naar twee seconden, de waarde die ook DFS voorschrijft.

Figuur 76 geeft een overzicht van gedetecteerde conflictlocaties met bijhorende waardes voor de TTC. In totaal zijn er 346 conflicten gedetecteerd met een TTC onder de kritische threshold van twee seconden, waarvan 84 met een TTC van 1 seconde of lager. Een groot aandeel van de conflicten situeren zich ter hoogte van inkomende takken van de ovonde. In de meeste gevallen zijn dit conflicten tussen een stilstaand voertuig op de inkomende tak en een rijdend voertuig op de ovonde (voorbeeld op Figuur 77). Gezien hun trajectoriën kruisen wordt dit gezien, bij een constante snelheid en richting, als mogelijke aanrijding. In werkelijkheid, na een manuele analyse op basis van de beelden, blijkt dit een normaal verkeersgedrag. Deze situaties dienen dan ook niet als kritische situaties beschreven te worden.

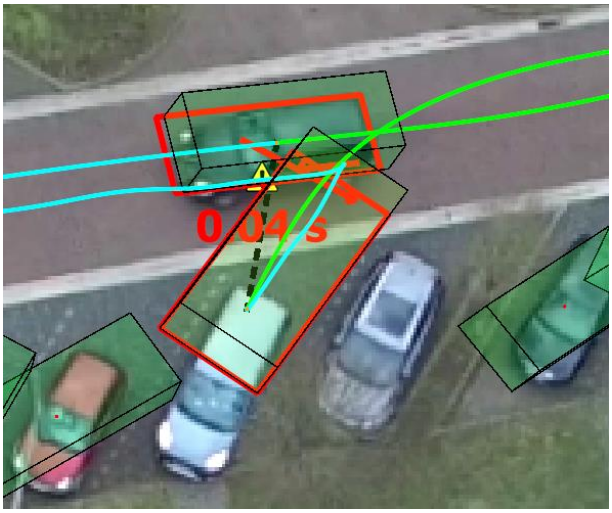


Figuur 76: Overzicht van gedetecteerde conflictsituaties volgens Time-to-collision (Eigen werk, 2021)



Figuur 77: Voorbeeld normaal verkeersgedrag op ovonde (Eigen werk, 2021)

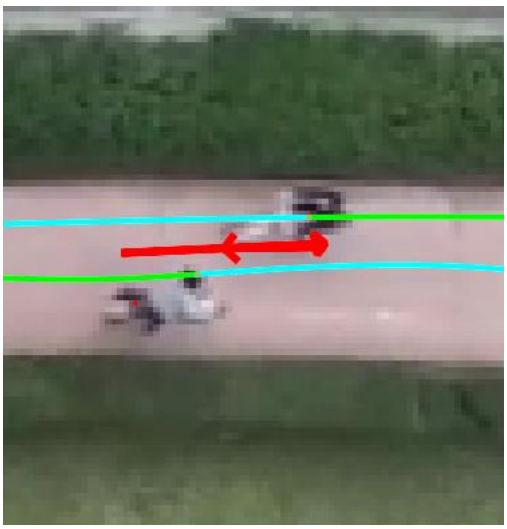
Op de parking worden ook verschillende kritische conflicten gerapporteerd door DFS, met extreme waardes voor de TTC tot 0,04 seconden. Bij dergelijke waardes zou een aanrijding onvermijdelijk zijn. Een manuele revisie toont aan dat de overgrote meerderheid van de conflicten op de parking een situatie beschrijven tussen een geparkeerd voertuig en een voertuig dat over de parking rijdt. Door de inaccurate toekenning van 'bounding boxes' (een allesomvattende balk rond een voertuig) door DFS worden foutieve waardes voor de TTC gerapporteerd. Een voorbeeld van dergelijke situatie is weergegeven op Figuur 78. Bij deze situatie, die meermaals voorkomt, kan geconcludeerd worden dat de bounding box van het geparkeerde voertuig foutief is weergegeven. Volgens de huidige weergave van de bounding box zou het geparkeerde voertuig half op de rijbaan staan. Dit maakt dan ook dat DFS dit meermaals rapporteert als kritische situatie met een extreem lage waarde voor TTC. In werkelijkheid is dit geen conflict.



Figuur 78: Foutieve detectie van een conflict op basis van TTC (Eigen werk, 2021)

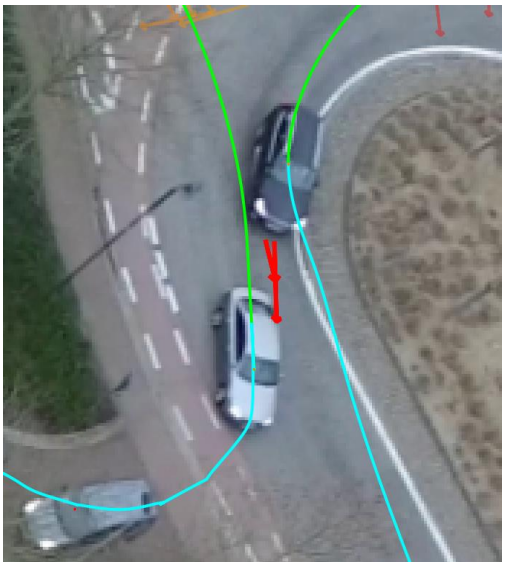
Ook gedetecteerde conflicten tussen zwakke weggebruikers onderling kunnen niet zomaar worden aangenomen als effectieve kritische situaties. Een manuele revisie

toont aan dat de gedetecteerde conflicten op het fietspad steeds situaties zijn waarbij twee of meerdere zwakke weggebruikers elkaar kruisen. Door de geringe breedte van het fietspad en bijgevolg de kleine afstand tussen weggebruikers worden deze situaties gedetecteerd met extreem lage waardes voor TTC. In werkelijkheid waren dit geen ernstige conflicten.



Figuur 79: Conflicten tussen zwakke weggebruikers volgens TTC (Eigen werk, 2021)

Naast de foutieve detectie en/of foutieve beoordeling van conflicten zijn er wel degelijk conflicten die correct worden gedetecteerd en beoordeeld. Op Figuur 80 is een conflict te zien met een TTC_{min} van 0,08 seconden. Deze situatie kan weldegelijk als conflict gerapporteerd worden aangezien het hierbij gaat over een inhaalmanoeuvre op de ovonde tussen een stilstaand voertuig (opgehouden door congestie op parking) en een rijdend voertuig dat het stilstaande voertuig gaat inhalen.

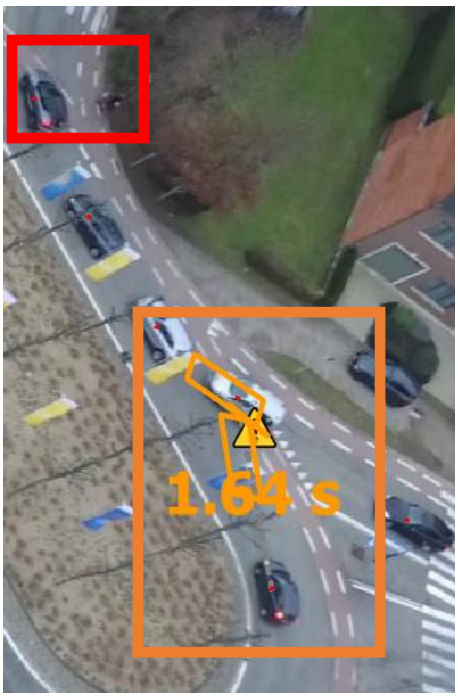


Figuur 80: Conflict met een minimale TTC van 0,08 seconden (Eigen werk, 2021)

Figuur 81 geeft een conflict weer tussen twee voertuigen op de ovonde. Het rode voertuig rijdt hierbij de ovonde op gedurende een relatief kleine hiaattijd en hiaatafstand. Dit manoeuvre zorgt voor een conflict tussen het oprijdende rode voertuig en het grijze voertuig op de ovonde. De TTC_{min} van dit conflict is 1,24 seconden, bijgevolg kan deze situatie als kritisch conflict gezien worden. Dezelfde soort situatie komt op deze plek meermaals voor, vaak ook als gevolg van oponthoud op de ovonde waarbij een voertuig al gedeeltelijk de ovonde oprijdt, te zien op Figuur 82.



Figuur 81: Conflict met een minimale TTC van 1,24 seconden (Eigen werk, 2021)



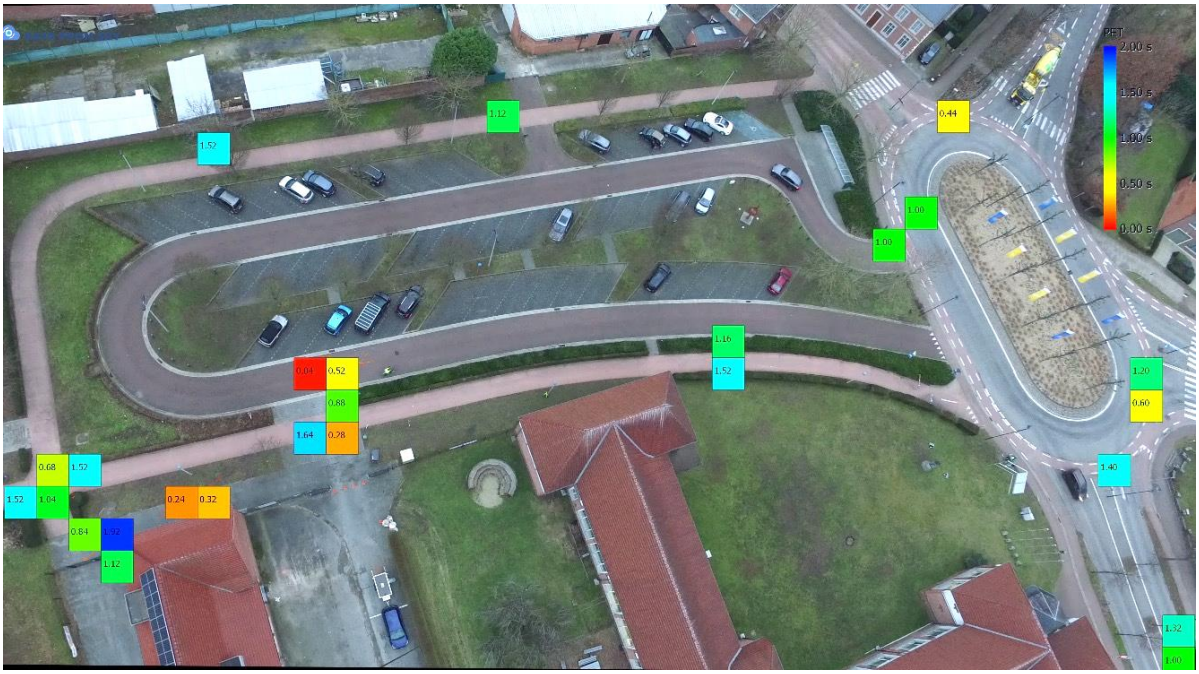
Figuur 82: Conflict (oranje) met een minimale TTC van 1,64 seconden, oponthoud op ovonde door voertuig dat afslaat en moet wachten op fiets (rood) (Eigen werk, 2021)

Er kan geconcludeerd worden op basis van de analyse door DFS en de manuele revisie van de resultaten dat er weinig echte conflicten kunnen vastgesteld worden. In totaal gaat het over ongeveer tien conflicten, waarbij de meeste zich situeren op de ovonde tussen twee gemotoriseerde weggebruikers. Tussen zwakke weggebruikers worden geen echte kritische conflicten vastgesteld, al kan dit ook te wijten zijn aan het feit dat veel zwakke weggebruikers niet worden gedetecteerd en bijgevolg niet worden opgenomen in de analyse rond TTC.

6.9.2 Post-encroachment-time

De indicator 'Post-encroachment-time' (PET) geeft de tijd weer tussen het moment dat een eerste weggebruiker een virtueel conflictvak verlaat en een tweede weggebruiker dit virtueel conflictvak betreedt (Chen, et al., 2017; Várhelyi, 1998). De PET geeft dus het tijdsgebruik tussen twee voertuigen aan, waarbij een kleiner tijdsgebruik duidt op een kritische situatie. Waardes onder 1 seconde worden als kritisch beschouwd, waardes boven 2 seconden worden als normaal beschouwd (Van der Horst A. , 1990).

DFS detecteert 33 conflictsituaties met betrekking tot de PET. 17 conflictsituaties hebben een PET waarde van 1s of minder, waardoor ze als kritisch beschouwd worden. De overige 16 conflictsituaties hebben een PET waarde van 1 tot 2s. Op Figuur 83 zijn de locaties van de gedetecteerde conflictsituaties en hun PET waarde weergegeven. Niet alle gedetecteerde conflictsituaties worden individueel weergegeven, aangezien er een aantal op conflictsituaties binnen dezelfde tegel liggen. In dat geval wordt de laagste, meest kritische PET waarde afgebeeld.



Figuur 83: Overzicht van de gedetecteerde conflictsituaties en hun PET waarde op basis van Post-encroachment-time (Eigen werk, 2021)

Er zijn een aantal locaties waar zich meerdere conflicten voordoen. De meeste conflictsituaties doen zich voor aan de toegang tot de parking tegenover de school. Verder zijn er op de kruising van de fietspaden ter hoogte van de schoolpoort en aan de schoolpoort zelf ook een aantal conflictsituaties gedetecteerd. Ook op de ovonde worden enkele gevaarlijke situaties gedetecteerd.

Uit een visuele analyse van iedere gedetecteerde conflictsituatie blijkt dat 19 situaties in werkelijkheid geen conflict betreffen. Het gaat onder meer over volgende situaties: voetgangers die elkaar kruisen, een groep voetgangers die kortbij elkaar wandelen, fietsers die dicht achter elkaar rijden en drukte aan de schoolpoort. Verder zijn er ook situaties waarbij DFS weggebruikers groter detecteert (bounding boxes) dan ze in werkelijkheid zijn waardoor het lijkt alsof ze bijna in aanraking komen met elkaar.

Als voorbeeld toont Figuur 84 een situatie waarbij de drukte ter hoogte van de schoolpoort gedetecteerd wordt als conflictsituatie, maar er in werkelijkheid geen conflict is.



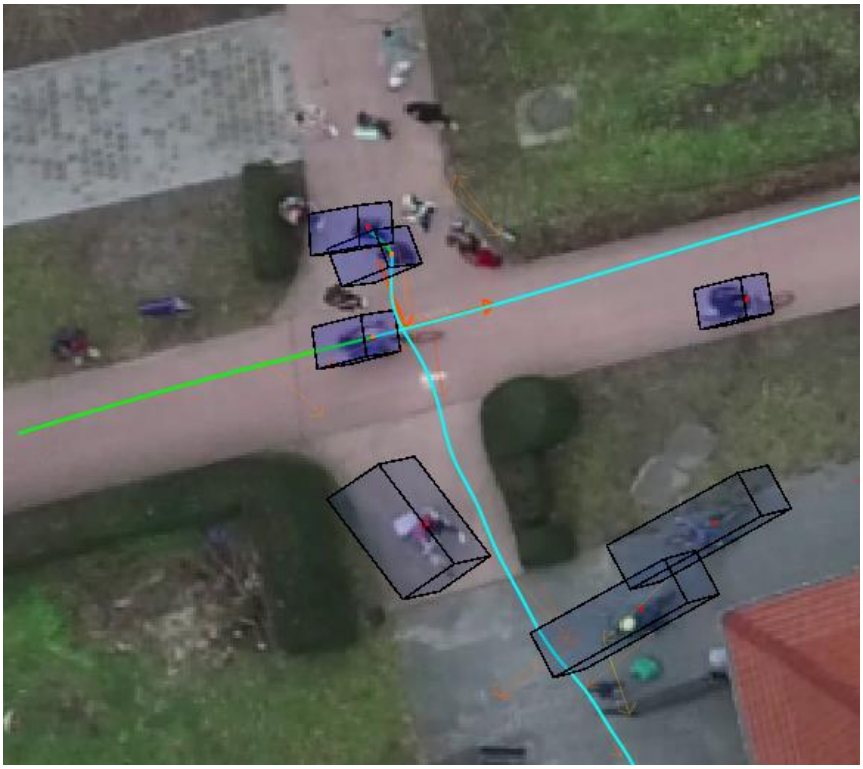
Figuur 84: Foutieve detectie van een conflict op basis van PET (Eigen werk, 2021)

Figuur 85 toon een situatie waarbij een voetganger direct achter een auto de straat oversteekt richting de ingang van de school. De situatie krijgt een PET waarde van 0,4s waardoor deze in principe zeer kritisch is. DFS ziet de auto echter groter dan hij in werkelijkheid is waardoor het lijkt dat de voetganger bijna in aanraking komt met de auto. In werkelijkheid is er meer ruimte tussen de auto en voetganger waardoor de situatie niet zo kritisch is.

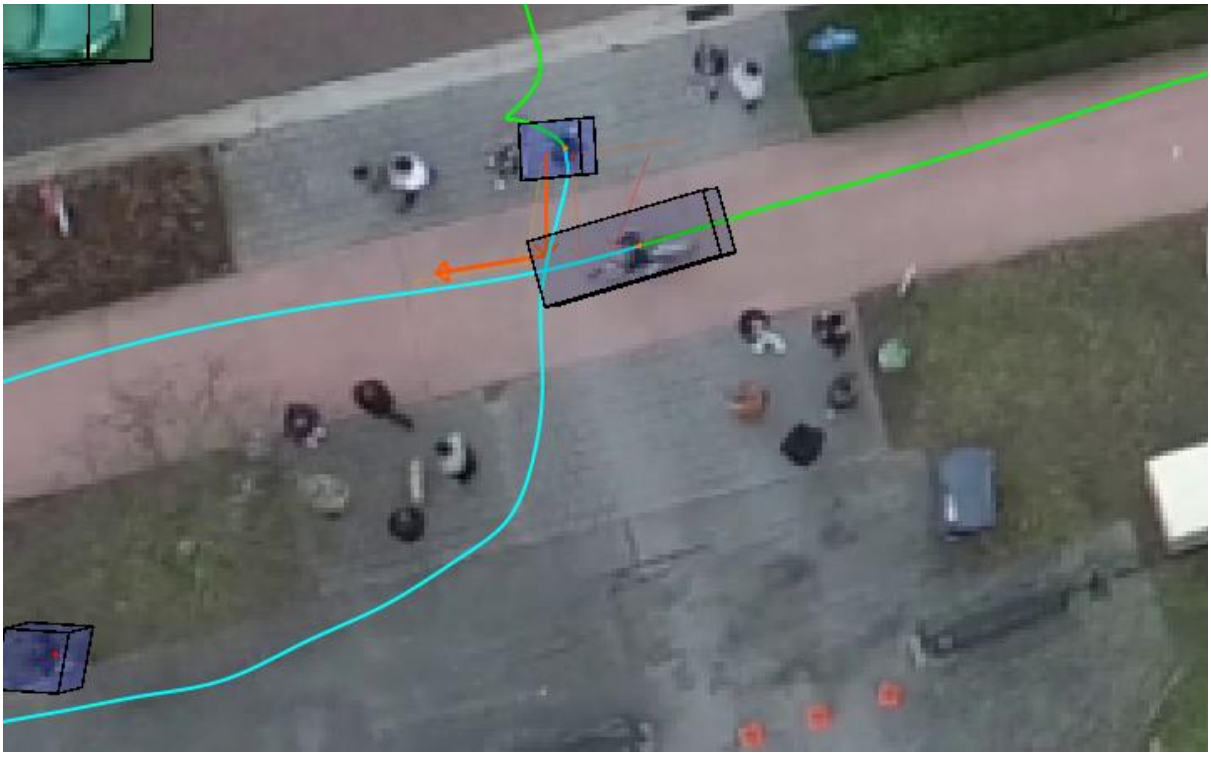


Figuur 85: Foutieve detectie van een conflict op basis van PET (Eigen werk, 2021)

De gevaarlijkste situaties doen zich voor op het fietspad ter hoogte van de schoolpoort en de toegang tot de parking tegenover de school. Op die plaatsen rijden fietsers in beide richtingen om van de Kleine Hemmenweg naar de Grote Hemmenweg of omgekeerd te gaan. Er werden 134 fietsers geteld op het stuk fietspad voor de school. Van deze fietsers zijn er 63 die de school niet als bestemming hebben en bijgevolg doorgaande fietsers zijn. Deze fietsers haalden snelheden tot 25 km/u ter hoogte van de school. De gevaarlijke situaties doen zich voor wanneer voetgangers (leerlingen, leerkrachten en ouders) het fietspad oversteken om naar de school te gaan.



Figuur 86: Detectie van een conflict op basis van PET op het fietspad ter hoogte van de schoolpoort (Eigen werk, 2021)



Figuur 87: Detectie van een conflict op basis van PET op het fietspad, ter hoogte van de toegang tot de parking tegenover de school (Eigen werk, 2021)

6.9.3 Heavy braking

Zoals reeds werd aangegeven in paragraaf 6.7 is snelheid een belangrijke factor op het vlak van verkeersveiligheid. Niet alleen de gemiddelde snelheid, maar ook plotse snelheidsveranderingen geven een goede indicatie van de desbetreffende verkeerssituatie. De indicator 'Heavy braking' geeft de snelle vertraging weer van een weggebruiker en wordt gebruikt om ongevallen en gevaarlijke situaties te detecteren (DataFromSky, 2019). Het vertragingsvermogen werd voor het eerst vermeld door Hydén (1987) als een belangrijk aspect om de ernst van een conflict in te schatten. In DFS-viewer wordt als grenswaarde een negatieve versnelling van -2.5 m/s^2 gehanteerd. Op Figuur 88 worden de conflicten op basis van 'Heavy braking' waarden weergegeven. In totaal werden er 1359 situaties gedetecteerd.



Figuur 88: Overzicht van de gedetecteerde conflictsituaties en hun 'Heavy braking' waarde (Eigen werk, 2021)

Het is opvallend dat voornamelijk bij het verlaten van de ovonde er grote snelheidsveranderingen (rembewegingen) optreden. Deze rembewegingen vinden in de meeste gevallen plaats voor een zebrapad. Dit is in lijn met de bevinden uit paragraaf over snelheid, waar werd geconstateerd dat de gemiddelde snelheid nabij de schoolomgeving te hoog ligt. Hierdoor moeten automobilisten hun snelheid plots drastisch aanpassen bij het naderen van deze oversteekplaatsen. Een tweede mogelijke verklaring voor deze hoge concentratie aan de uiteinden van de video, kan mogelijk ook de accuraatheid van de data zijn. In de hoeken van het beeld stoppen de trajectoriën en is er geen verdere informatie over deze weggebruikers beschikbaar (Mozga, 2021).

Daarnaast vinden ook rembewegingen plaats net voor het betreden van de ovonde. Deze bevinding kan verklaard worden door de voorrangsregels op een rotonde. Er dient namelijk voorrang verleend te worden aan de voertuigen die zich reeds op het kruispunt (de ovonde) bevinden.

6.10 Time & distance headway

Twee parameters die gebruikt kunnen worden om het voertuigvolggedrag van verkeersdeelnemers te beschrijven zijn de time en distance headway. Deze parameters geven respectievelijk het tijdsgebruik en ruimtegebruik weer tussen twee opeenvolgende weggebruikers. In het studiegebied is het tijds- en ruimtegebruik geanalyseerd op de ovonde, tussen de in- en uitgang van de parking (zie Figuur 89). Volgens de theorie zijn er verschillende factoren die het ruimtegebruik en het tijdgebruik beïnvloeden, snelheid en de reactietijd zijn hierbij de belangrijkste factoren (Lamm, Psarianos, & Mailaender, 1999). Verder is ook de drukte van de verkeersstroom bepalend voor het tijds- en ruimtegebruik. Zo worden o.a. kleinere waardes voor het ruimtegebruik waargenomen bij hoge dichtheden. Zhou et al. (2015) stelt dat een tijdsgebruik van twee tot drie seconden en een ruimtegebruik van 70 tot 80 meter bij snelheden van 30 km/u, de maximumsnelheid in de schoolomgeving, duiden op een veilig voertuigvolggedrag. Wel moet rekening gehouden worden met het feit dat deze waardes gelden op rechte wegsegmenten, op een ovonde zijn lagere waardes aanvaardbaar.



Figuur 89: Locatie bepaling time & distance headway (Eigen werk, 2021)

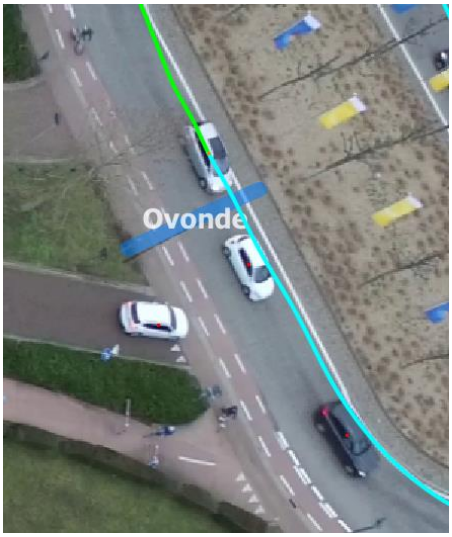
De waardes voor zowel het tijdsgebruik als ruimtegebruik van gemotoriseerde voertuigen op de ovonde in het studiegebied zijn weergegeven in Tabel 28. Als er gekeken wordt naar het gemiddelde ruimtegebruik valt te concluderen dat de waardes ver onder de voorgeschreven waardes van Zhou et al. (2015) liggen. Een manuele revisies op basis van de beelden geeft weer dat deze waardes niet allemaal als kritisch beschouwd moeten worden. De snelheden op de ovonde zijn vaak lager dan 30 km/u en het voertuigvolggedrag is zoals aangehaald ook verschillend op ovondes in vergelijking met rechte wegsegmenten. Ook geeft het tijdsgebruik aan, met een gemiddelde waarde van negen seconden, dat er

voldoende tijdsgebruik is tussen voertuigen om te anticiperen op onverwachte voertuigbeweging van een leider (voorgaand voertuig).

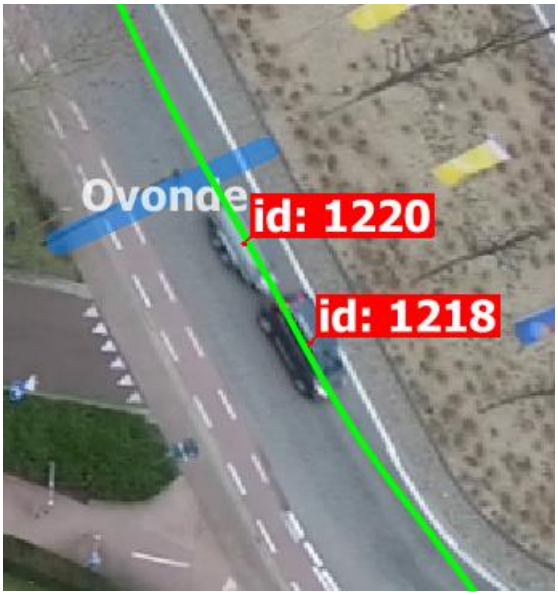
Tabel 28: Headway ovonde (Eigen werk, 2021)

	HEADWAY	
	Distance headway (m)	Time headway (s)
Gemiddelde	32,76	9,08
SD	20,11	9,94
Max.	84,51	86,88
Min.	0,93	0,20

Wel valt duidelijk op te merken dat de minimale waardes voor zowel de distance headway en time headway dermate laag liggen dat deze in sommige gevallen een kritische voertuigvolggedrag beschrijven. Op basis van een manuele beoordeling van de beelden kunnen dezelfde conclusies getrokken worden. Er zijn verschillende voertuigen die een volggedrag met een zeer klein ruimtegebruik en tijdsgebruik vertonen. Dit heeft tijdens het onderzoek niet geleid tot ongevallen. Echter, wanneer de leider een onverwachte beweging had gemaakt, dan was de kans op een aanrijding groot als gevolg van het gebrek aan tijd en ruimte tussen de voertuigen. Een voorbeeld van dergelijke situatie is te zien op Figuur 90. Ook valt op te merken, na de manuele revisie, dat er sommige foutieve voertuigvolgsituaties worden gerapporteerd door DFS. Een bepaalde foutieve situatie die meermaals voorkomt is de situatie op Figuur 91. Hier wordt een voertuig met aanhangwagen gedetecteerd als twee verschillende voertuigen. DFS rapporteert in deze situatie onterecht kritische waardes voor het tijds- en ruimtegebruik. Dit geeft dan ook het belang aan van een manuele revisie van de beelden.



Figuur 90: Kritische voertuigvolgsituatie: tijdsgebruik: 0,84s en ruimtegebruik: 1,7m (Eigen werk, 2021)



Figuur 91: Foutieve detectie voertuigvolgsituatie (Eigen werk, 2021)

7 Analyse surrogaat veiligheidsindicatoren

- Anton Renard -

In deze masterproef zal gebruik worden gemaakt van een dataset die werd verzameld aan de hand van een dronevlucht in de gemeente Zonhoven. Daarbij werd de verkeerssituatie van de basisschool De Zonnewijzer in beeld gebracht om de verkeersveiligheid in deze omgeving te onderzoeken. De focus van het onderzoek ligt op de kwetsbare weggebruikers. Met behulp van het dataverwerkingsplatform DataFromSky werden de beelden verwerkt op basis van kunstmatige intelligentie (Artificial Intelligence - AI). Na de verwerking is het mogelijk om aan de hand van de software 'DataFromSky Viewer' analyses uit te voeren op de verzamelde data.

In de analyse gebruik zal gebruik worden gemaakt van surrogaat indicatoren. Hierdoor kan er op microniveau onderzoek worden gedaan naar de (gedrags)indicatoren, die de bewegingen van weggebruikers beschrijven. In de software zijn slechts enkele indicatoren beschikbaar. De analyse zal daarom uitsluitend met volgende indicatoren worden uitgevoerd: trajectoriën, TTC, PET, heavy braking en snelheid. Daarnaast kan ook nog een onderscheid gemaakt worden tussen het type weggebruiker. Deze parameter zal ook mee in de analyse worden betrokken.

Zoals uit de literatuurstudie blijkt, geven de afzonderlijke indicatoren vaak geen volledig beeld van de verkeerssituatie en zorgt de variëteit aan indicatoren voor afwijkende resultaten. Om hieraan tegemoet te komen, wordt onderzocht of de combinatie van meerdere indicatoren een oplossing kan bieden. Daarbij wordt rekening gehouden met twee soorten risico's: letselrisico en ongevallenrisico. Voor beide soorten risico's zijn andere indicatoren noodzakelijk.

Alle resultaten van de analyse zullen in het verdere onderzoek op basis van de videobeelden worden weergegeven. De resultaten zullen visueel in kaart worden gebracht.

7.1 Visualisatie parameters

Een onderzoekstechniek waarbij videobeelden worden verzameld, biedt de mogelijkheid om resultaten visueel weer te geven. De grote meerwaarde van dronebeelden is de mogelijkheid tot visualisatie van de verkeersdata. In tegenstelling tot andere onderzoekstechnieken waar de uitkomst vaak cijfermatig is, kan met behulp van dronetechnologie een ruime oppervlakte worden weergegeven. Bovendien kunnen de verkeersdata, verzameld in de vorm van video-opnamen, door mensen (zelfs niet-deskundigen) gemakkelijk worden begrepen en zijn daarom bijzonder aantrekkelijk (Olszewski, et al., 2020).

Hierdoor kunnen de resultaten locatie gebonden worden afgebeeld. Op basis van de beeldanalyse kan een overzichtelijke weergave worden bekomen van de huidige verkeerssituatie.

Alle resultaten werden bekomen met behulp van de software DFS Viewer. De resultaten, afkomstig van de bewerkte frames uit de software, zullen aan de hand afbeeldingen worden weergegeven. Een beknopte weergave van de mogelijkheden wordt hieronder weergegeven.

7.1.1 Snelheid

Snelheid is een belangrijke verkeersparameter. Om deze visueel zichtbaar te maken is een heatmap zeer bruikbaar. Wanneer de dataverzameling van de weggebruikers in een verkeerssituatie goed verloopt, is het mogelijk om een heatmap te maken waarbij de snelheden door middel van kleuraccenten worden weergegeven. Door een snelheidslimiet in te stellen kunnen de locaties waar afwijkende snelheden worden vastgesteld worden getoond.

7.1.2 Trajectoriën

Ook de trajectoriën kunnen visueel worden weergegeven in de software. Daarbij kan een onderscheid gemaakt worden tussen verschillende weggebruikers. Hierdoor is het mogelijk de afgelegde weg op basis van het type weggebruikers te genereren en de interacties onderling te analyseren. Daarnaast is het ook mogelijk om de onregelmatige trajectoriën te detecteren en deze in kaart te brengen.

7.1.3 TTC, PET en Heavy Braking

De locaties waar deze indicatoren een bepaalde grenswaarde overschrijden kunnen worden weergegeven. Aan de hand van een visuele indicatie op de verwerkte dronebeelden kunnen deze surrogaat indicatoren overzichtelijk worden getoond. Doordat deze waarden locatie gebonden zijn, kunnen er zones worden geïdentificeerd en gevisualiseerd waar de grenswaarden worden overschreden.

7.2 Resultaten

Het gebruik van videobeelden heeft het voordeel dat er veel data wordt gegenereerd. Om deze weer te geven zal gebruik worden gemaakt van een nieuwe onderzoeksmethode. De videobeelden zullen stapsgewijs worden geanalyseerd, waardoor overbodige data kan worden gefilterd. Dit wil zeggen dat het combineren van verschillende indicatoren zal gebeuren in een sequentiële procedure. In iedere stap worden er nieuwe indicatoren toegevoegd, waarbij wordt voortgegaan op de resultaten uit de vorige stap. Dit wel zeggen dat er per stap extra indicatoren bijdragen aan de analyse.

De resultaten worden weergegeven aan de hand van 'areas of interest'. Met deze term worden de relevante zones aangeduid in de videobeelden waarop verdere analyse zal gebeuren. Door het toepassen van areas of interest wordt het mogelijk om specifieke zones te onderzoeken waar meerdere indicatoren een kritische waarde overschrijden, zowel voor indicatoren die het lestelrisico in kaart brengen als diegenen die het ongevallenrisico weergeven. Op deze zones zal bijgevolg de focus worden gelegd.

Bij deze methode dient meteen te worden opgemerkt dat door deze sequentiële procedure reeds op voorhand wordt vastgelegd welke focus eerst zal plaatsvinden. Dit heeft gevolgen voor de finaal bekomen areas of interest. In het stappenplan zal deze verantwoording verder worden toegelicht.

7.2.1 Stappenplan

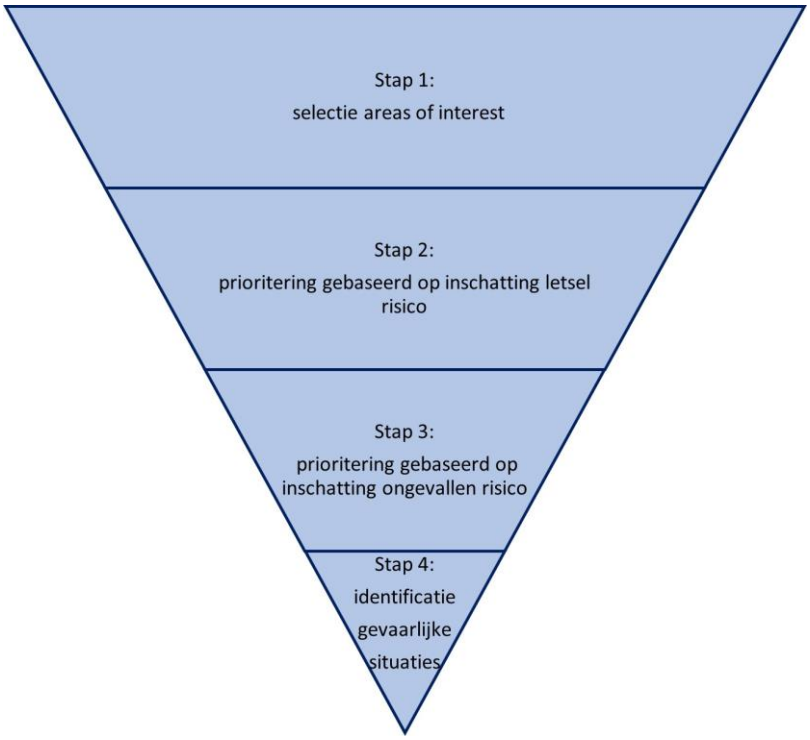
Het stappenplan biedt een raamwerk voor de interpretatie van de drone videobeelden. Om de analyse van de dronebeelden te vereenvoudigen worden verscheidene stappen voorgesteld die kunnen worden toegepast. In deze studie is getracht het stappenplan zo algemeen mogelijk te houden, zodat deze breed toepasbaar is.

Nadat de dronebeelden werden gegenereerd, moeten deze worden geanalyseerd om tot resultaten en bevindingen te komen. Om dit proces te vergemakkelijken wordt een stappenplan uitgewerkt waardoor een selectie kan worden bekomen van de meest kritische verkeerssituaties. Hierdoor kunnen de videobeelden efficiënter worden geanalyseerd. Aan de hand van dit stappenplan zullen de meest problematische verkeerssituaties worden geïdentificeerd.

In het stappenplan wordt steeds voortgewerkt op de voorgaande stap(pen), waardoor de volgorde van cruciaal belang is voor de analyse. In dit onderzoek wordt gekozen om de focus te leggen op kwetsbare weggebruikers en de ernst van de mogelijke conflicten die kunnen optreden. De keuze voor kwetsbare weggebruikers werd ingegeven door de oververtegenwoordiging van jonge weggebruikers in het onderzoeksgebied (een schoolomgeving). De focus op deze

groep zal aan de hand van stap 1 en 2 worden gelegd. Een tweede reden om voor deze volgorde te kiezen, is de accuraatheid van de parameters in het stappenplan. Bij de eerste twee stappen zit namelijk niet veel ruis op de data, de parameters worden accuraat berekend. In de daaropvolgende stap (stap 3) bevatten de indicatoren een hogere mate van inaccuraatheid. Indien toch wordt geopteerd om stap 3 eerst uit te voeren, bestaat de kans dat de focus op verkeerde situaties wordt gelegd, waardoor veel situaties worden genegeerd. Dit kan leiden tot foutieve interpretatie van de resultaten.

Om het stappenplan visueel weer te geven werd geopteerd voor trechtervorm. In elke stap wordt het aantal data gereduceerd. Het stappenplan ziet er als volgt uit:



Figuur 92: Stappenplan verkeersveiligheidsanalyse (Eigen werk, 2021)

- *Stap 1: selectie areas of interest a.d.h.v. trajectoriën*

  In deze stap wordt de eerste selectie gemaakt van de zones die onderzocht dienen te worden. Daarbij zal gebruik worden gemaakt van de indicator '*trajectorie'*. Deze indicator geeft de afgelegde weg weer van de verschillende types weggebruikers. De focus in deze stap ligt op de situaties waar weggebruikers elkaar kruisen. Door na te gaan waar de trajectoriën van weggebruikers kruisen, kunnen potentieel gevaarlijke interacties worden geselecteerd.

- *Stap 2: prioritering gebaseerd op inschatting letselrisico*

  In de tweede stap worden de indicatoren onderzocht die het risico op een letsel bepalen. Daarvoor zullen in lijn met de literatuurstudie (Tefft, 2013; Laureshyn, Svensson, & Hydén, 2010; Olszewski, et al., 2020) de indicatoren '*snelheid'*, '*type weggebruiker*' en '*'massa'* worden gebruikt. In de verzamelde data zijn er echter geen specifieke gegevens beschikbaar over de massa van de weggebruikers. Het is wel mogelijk om onderscheid te maken tussen de verschillende type weggebruikers: voertuigen, zware voertuigen, motorvoertuigen, bussen, voetgangers en fietsers. Hierdoor kan er alsnog een, eerder ruwe, opdeling gemaakt worden tussen de weggebruikers qua massa. De indicator '*type weggebruiker*' zal bijgevolg zowel de kwetsbaarheid als de massa bevatten. De parameter snelheid kan accuraat worden gemeten aan de hand van dronetechnologie. Deze zal worden weergegeven met behulp van een heatmap om de zones met overdreven snelheid aan te duiden.

- *Stap 3: prioritering gebaseerd op inschatting ongevallenrisico*

  In de derde stap wordt ook het risico op een ongeval toegevoegd aan de analyse. Hiervoor zijn er drie indicatoren beschikbaar die kunnen worden gehanteerd. Het betreft de indicatoren '*TTC'*, '*PET'* en '*Heavy braking'*. Deze surrogaat indicatoren kunnen een indicatie geven van het risico op een ongeval. Er zullen naar analogie met de literatuurstudie bepaalde grenswaarden worden aangehouden per indicator. Op die manier kan op zoek worden gegaan naar de kritische grenswaarden. Deze zones waar de kritische waarden worden overschreden zullen worden weergegeven.

- *Stap 4: identificatie gevaarlijke situaties*

  Tot slot volgt een synthese van stap 1 tot en met 3. Waar in voorgaande stappen de analyse voornamelijk visueel werd uitgevoerd, wordt in stap 4 een diepgaande analyse gemaakt van de bekomen areas of interest. In deze stap wordt voor de eerste keer in het stappenplan manueel onderzocht welke situaties gevaarlijk zijn. Vervolgens wordt een overzicht gegeven van de meest kritische situaties.

7.2.1.1 Stap 1: selectie areas of interest a.d.h.v. trajectoriën

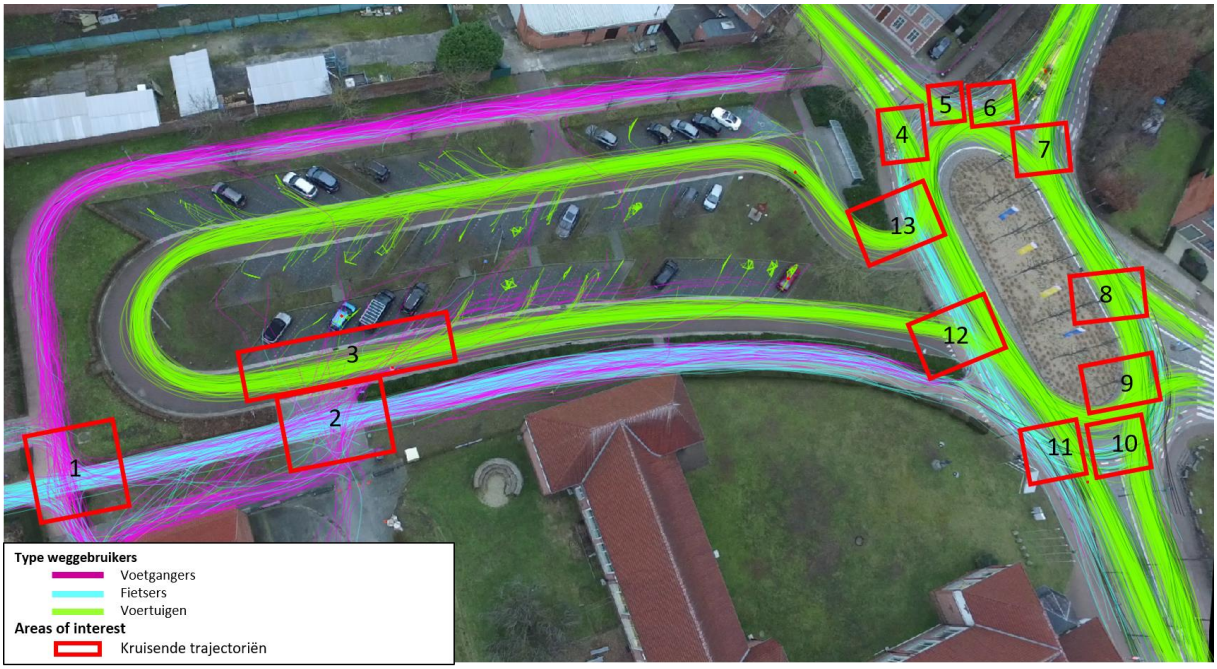
Trajectoriën vormen de input voor de surrogaat indicatoren. Daarnaast zijn ze ook waardevol om een eerste overzicht te geven van de huidige verkeerssituatie. Ze tonen namelijk de bewegingen en verplaatsingen van verkeersdeelnemers. Door de trajectoriën visueel zichtbaar te maken, wordt het mogelijk de afgelegde weg van de weggebruikers in beeld te brengen. In eerder Deens onderzoek (COWI, 2020) werd deze indicator gehanteerd om de verkeersstromen van een schoolomgeving weer te geven. Daarbij werd uitsluitend met deze indicator gewerkt om een analyse te maken van de verkeersituatie rondom de school. Er werd geen diepgaandere analyse uitgevoerd.

In het stappenplan zullen de trajectoriën eveneens worden gebruikt om een selectie te maken, maar eerder als eerste stap binnen de analyse. Trajectoriën bieden een eerste zicht op de potentieel relevante verkeerssituaties. Vervolgens zal er dieper worden ingegaan op deze gebieden en stopt de analyse niet na de selectie van deze areas of interest. Bijgevolg zal worden achterhaald welke situaties als kritisch kunnen worden beschouwd binnen de desbetreffende gebieden. De selectie op basis van de trajectoriën vormt de eerste stap van het stappenplan.

Weergave areas of interest: trajectoriën

In het softwareprogramma kunnen zowel de geselecteerde als de niet-geselecteerde trajectoriën worden gevisualiseerd. Dit maakt het mogelijk om alle trajectoriën in één frame te bundelen en overzicht te krijgen van de alle verkeerstromen in het onderzochte gebied. In Figuur 93 worden de trajectoriën weergegeven van alle weggebruikers. Elke kleur geeft een ander type weggebruiker weer (groen= voertuigen, blauw= fietsers, paars= voetgangers). Het onderscheid aan de hand van kleuren geeft de verkeerssituatie visueel weer.

In Figuur 93 worden de zones aangeduid waar de trajectoriën van verschillende types weggebruikers elkaar kruisen. Hoewel deze opdeling louter gebaseerd is op visuele waarnemingen, kan het reeds een eerste indicatie zijn voor eventuele verkeersconflicten in te onderzoeken gebied. Er werden 13 areas of interest onderscheiden. De meeste (4 tot en met 13) zones bevinden zich rond de ovonde. De overige (1 tot en met 3) situeren zich voor de schoolpoort. Het is geen verrassing dat de meeste situaties zich aan de ovonde bevinden. Het doel van deze verkeersinfrastructuur is namelijk om verschillende verkeersstromen veilig met elkaar te laten kruisen. Het is echter interessant om na te gaan of dat in de verschillende zones wel degelijk het geval is. In deze eerste stap werd door de focus te leggen op trajectoriën, reeds een eerste selectie gemaakt van bepaalde zones. Deze zullen in de volgende stappen verder worden onderzocht door telkens andere indicatoren te betrekken in de analyse.



Figuur 93. Areas of interest: zones waar trajectoriën elkaar kruisen, op basis van bewerkingen in DFS-Viewer (Eigen werk, 2021)

7.2.1.2 Stap 2: prioritering gebaseerd op inschatting letselrisico

Een tweede stap in de analyse is het prioriteren van parameters die de ernst van een ongeval beïnvloeden. Zoals reeds aangegeven bepaalt de keuze voor deze focus de resultaten in de volgende stappen. Het risico op een letsel is afhankelijk van verschillende parameters. In de literatuur wordt hierbij vaak het onderscheid gemaakt tussen kwetsbare weggebruikers (o.a. voetgangers en fietsers) en voertuigen (o.a. auto's, bussen en vrachtwagens). Beide groepen zijn verschillend op het vlak van massa, bescherming en snelheden.

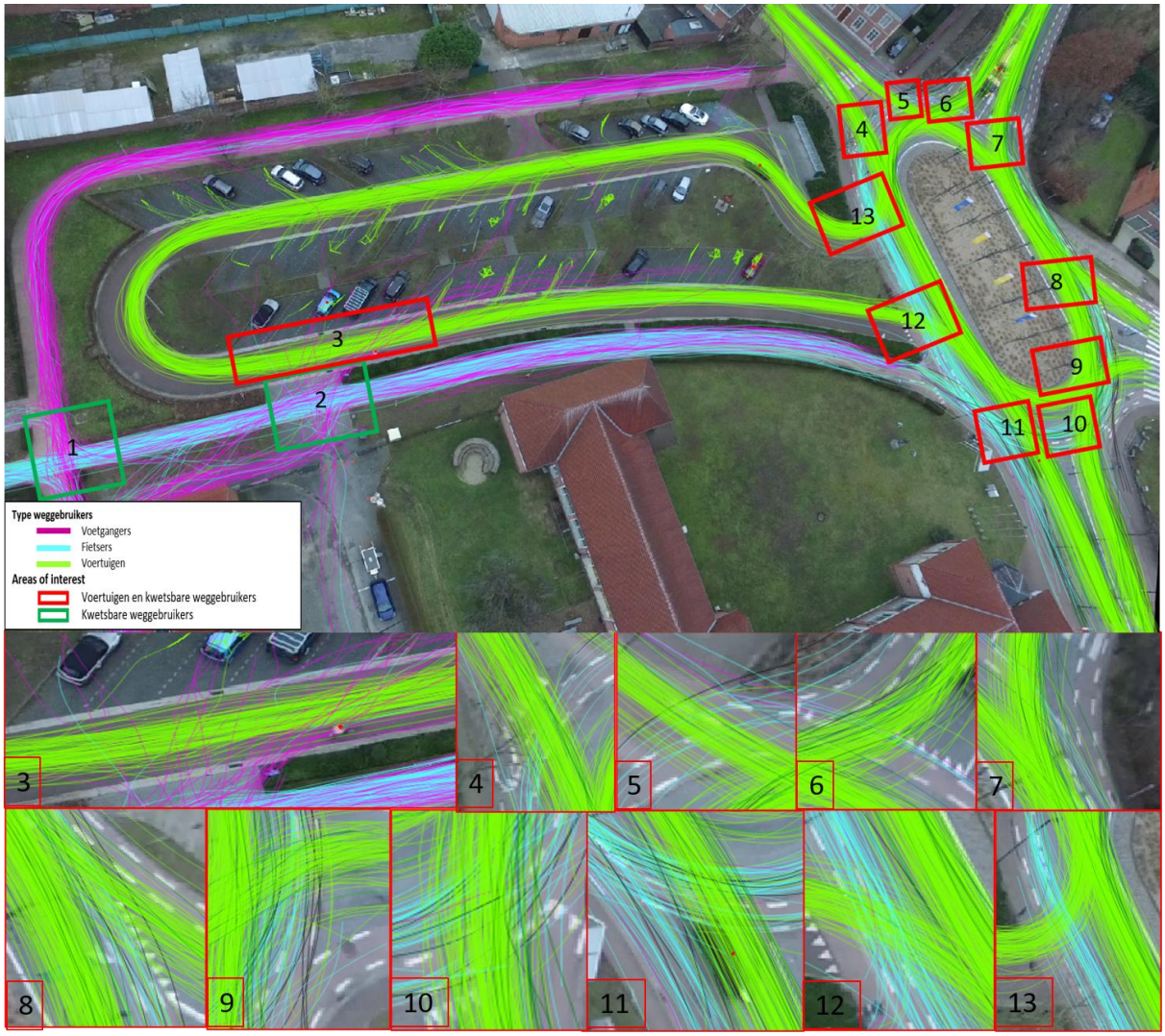
In het softwareprogramma kunnen volgende indicatoren worden onderscheiden: het type weggebruiker en de snelheid. Daarbij dient worden opgemerkt dat de parameter gewicht en bescherming ontbreken en dus niet als aparte parameter mee kunnen worden opgenomen. Deze parameters kunnen echter wel worden gelinkt aan een andere, beschikbare parameter, namelijk het type weggebruiker.

De analyse is stap 2 is tweeledig, er zal een opdeling worden gemaakt tussen het type weggebruiker en de snelheid. Allereerst zal worden nagegaan in welke zones kwetsbare weggebruikers en voertuigen elkaar kruisen. Dit maakt het mogelijk om de focus te leggen op de interactie tussen beiden. Vervolgens worden de zones waar de snelheid overschreden wordt in het beeld gebracht. In een laatste fase worden beide resultaten over elkaar gelegd en wordt er gezocht naar zones die elkaar overlappen

Weergave areas of interest: type weggebruiker

Op basis van voorgaande selectie kan dieper worden ingegaan op de betrokken weggebruikers. Bij stap 1 werd reeds een onderscheid gemaakt tussen de trajectoriën van de verschillende weggebruikers. Daarin werden alle situaties weergegeven waarbij trajectoriën elkaar kruisen. Om een onderscheid te maken naar type weggebruiker wordt ervoor gekozen om de weggebruikers te verdelen in twee groepen: kwetsbare weggebruikers en voertuigen. Hierdoor wordt het mogelijk om de area of interest te verdelen op basis van twee soorten situaties: situaties tussen kwetsbare weggebruikers onderling en situaties met kwetsbare weggebruikers en voertuigen. Er zal voornamelijk dieper worden ingegaan op deze waarbij kwetsbare weggebruikers en voertuigen elkaar kruisen. Deze worden aangeduid aan de hand van de rode rechthoeken (zie Figuur 94). De verkeerstromen in deze zones vormen de focus van dit onderzoek. Het zijn de zones waar verschillende groepen weggebruikers elkaar kruisen. Deze situaties zijn relevant bij het bestuderen van het risico op letsel. Tussen deze twee soorten weggebruikers zitten namelijk grote verschillen qua massa. Bij een eventuele botsing is de vrijgekomen energie afhankelijk van het massa en de snelheid (zie verder). De verhouding tussen massa en kinetische energie is lineair. Hoe hoger de massa, hoe groter de vrijgekomen kinetische energie.

Specifiek voor de situaties in Figuur 94 wil dit zeggen dat impact op een voetganger of fietser veel groter is wanneer een voertuig is betrokken. Deze situaties doen zich voor in zones 3 tot en met 13. Zone 1 en 2 zullen niet verder worden onderzocht aangezien er hier alleen kwetsbare weggebruikers betrokken zijn (groene markering) en de verschillen in massa niet heel groot. Dit impliceert niet dat er geen kans is op een letsel bij een mogelijk botsing, maar wel dat het letselrisico veel lager ligt.



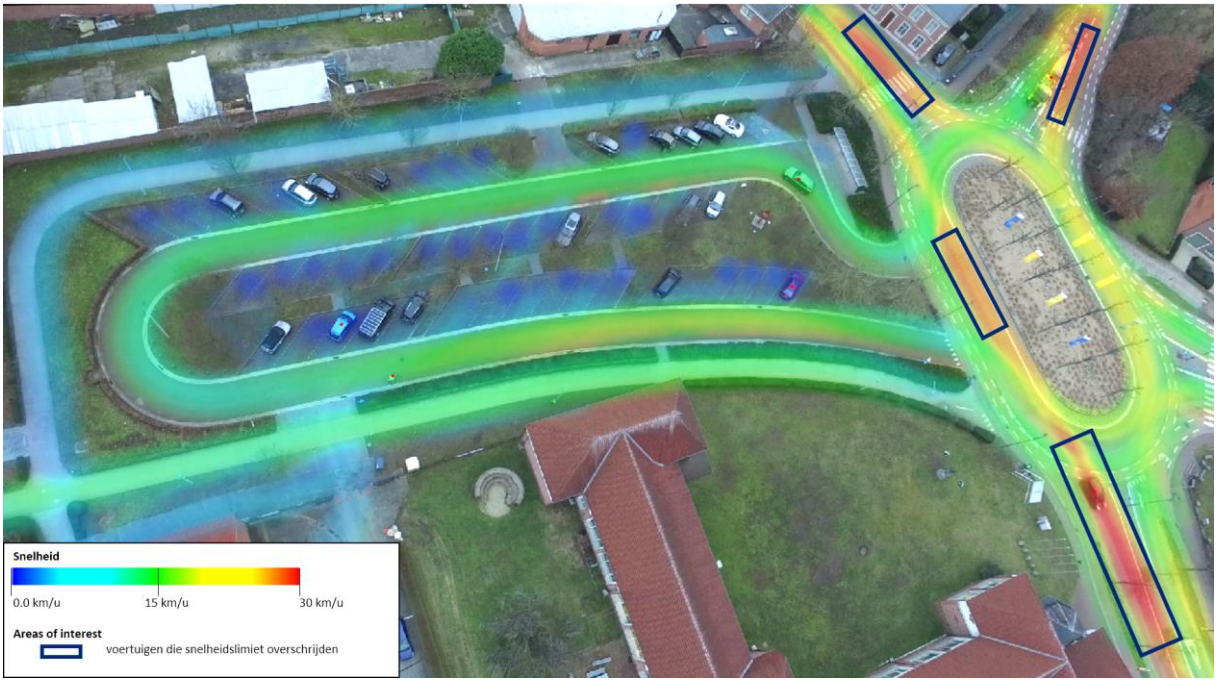
Figuur 94. Areas of interest: onderscheid naar type weggebruikers, op basis van bewerkingen in DFS-Viewer (Eigen werk, 2021)

Weergave areas of interest: snelheid

Naast het massa en het type weggebruiker heeft ook snelheid invloed op het letselrisico. Snelheid kent een kwadratisch verband met vrijgekomen kinetische energie bij een botsing. Het is dus een zeer belangrijke factor als er wordt gekeken naar de mogelijke impact van een ongeval.

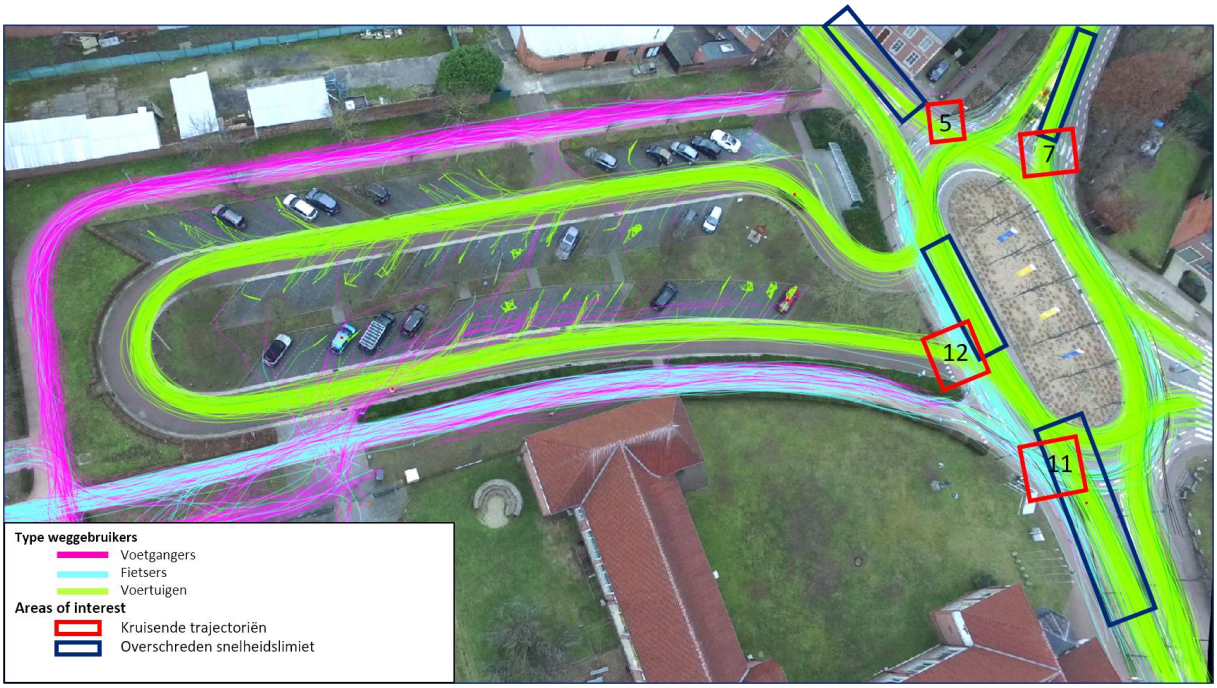
Om de snelheid in de videobeelden in kaart te brengen wordt gebruik gemaakt van een heatmap. Deze techniek laat het toe om gegevens te visualiseren, in dit geval de hoogte van de snelheid. Op basis van kleurenvariatie kunnen de resultaten worden afgebeeld. In Figuur 95 worden de snelheden weergegeven. Deze variëren van blauw (lage snelheid) tot rood (hoge snelheid). Voor de snelheidsanalyse werd een snelheidslimiet ingesteld van 30 km/u. Dit is de maximumsnelheid op de ovonde. Er worden 4 zones onderscheiden waar de snelheidslimiet van 30 km/u overschreden wordt. Het is niet verwonderlijk dat deze zones allemaal op en rond de ovonde liggen, aangezien de overige verkeerstromen zich op de parking bevinden. De meeste snelheidsovertredingen doen zich voor bij het verlaten van de ovonde. Een uitzondering is de zone voor de parking van de school. Tussen de op- en afrit van deze parking werden eveneens te hoge snelheden geconstateerd.

Aangezien de snelheid werd ingesteld op 30 km/u worden alleen de zones aangeduid waar voertuigen de maximumsnelheid overtreden. De snelheden van de andere weggebruikers (zoals weergegeven op Figuur 95) gaan niet boven 15 km/u en behoren bijgevolg niet tot de te onderzoeken zones in deze studie.



Figuur 95: Areas of interest: onderscheid naar snelheid, op basis van bewerkingen in DFS-Viewer (Eigen werk, 2021)

Wanneer de resultaten van beide parameters op elkaar worden gelegd wordt het beeld in Figuur 96 bekomen. Met deze selectie wordt het mogelijk om de meest kritische situaties weer te geven op het vlak van letselrisico. De selectie werd in deze stap beperkt tot zones waar de snelheidslimiet wordt overschreden en waar kwetsbare weggebruikers zijn betrokken. Er blijven slechts 4 zones over uit stap 1 (zone 5, 7, 11, 12). In Figuur 96 is duidelijk zichtbaar dat voornamelijk zone 11 een grote overlap vertoond. Deze zone wordt gekenmerkt door kruisende weggebruikers (voertuigen en kwetsbare weggebruikers) en een hoge snelheid van deze voertuigen. In de verkeerssituaties van deze zone bestaat er een grote kans op een lestelrisico. Bij de zones 5 en 7 wordt de snelheid pas overschreden nadat de weggebruikers elkaar hebben gekruist. In zone 12 is de snelheid parallel met deze zone te hoog, maar kruisen deze voertuigen de kwetsbare weggebruiker niet. Deze situaties worden daarom ook niet opgenomen in verdere analyse.



Figuur 96: Areas of interest: onderscheid naar snelheid, op basis van bewerkingen in DFS-Viewer (Eigen werk, 2021)

7.2.1.3 Stap 3: prioritering gebaseerd op inschatting ongevallenrisico

In stap 2 werden de parameters die invloed hebben op het letsel risico toegevoegd aan de analyse. Daarbij werden parameters type weggebruiker en snelheid gehanteerd. In stap 3, wordt er dieper ingegaan op de surrogaatindicatoren die worden gebruikt om het ongevallenrisico te onderzoeken. Daarbij zullen 3 surrogaat veiligheidsindicatoren worden onderzocht: TTC, PET en Heavy Braking. Deze surrogaat indicatoren zijn beschikbaar in het softwareprogramma en kunnen worden gegenereerd. Voor elke indicator dient de kritische grenswaarde te worden opgegeven. De keuze van deze grenswaarden is cruciaal. Zoals Van Haperen (2019) terecht aangeeft, dienen deze grenswaarden zorgvuldig worden gekozen, aangezien het gebruik van andere grenswaarden kan resulteren in andere

bevindingen. Nadat elke indicator afzonderlijk wordt geanalyseerd, worden de resultaten (net analogie in stap 2) met elkaar gecombineerd.

Weergave areas of interest: TTC

In onderzoek naar de grenswaarde voor TTC bestaat geen eenduidigheid omtrent de exacte waarde die moet worden aangehouden. Om geen overvloed aan kritische TTC waarden te creëren zal in de analyse worden geopteerd om de waarde duidelijk af te bakenen. Indien dit niet wordt gedaan, schuilt het gevaar erin dat er een overvloed aan kritische TTC waarden ontstaat. De standaardwaarde die in de software wordt gehanteerd is 2 seconden. In Figuur 76 worden de resultaten getoond bij het hanteren van deze waarde. Met een grenswaarde van 2 seconden werden 346 conflicten gedetecteerd. Dit is een zeer hoog aantal mogelijke conflictsituaties. In totaal werden er 1359 unieke verkeersdeelnemers gedetecteerd.

Wanneer de grenswaarde van 2 seconden zou worden aangehouden zou maar liefst 1 op 4 weggebruikers zich in een gevaarlijke verkeerssituatie bevinden. Daarom wordt ervoor geopteerd om de grenswaarde van TTC te verlagen. Hierdoor kan de overvloed aan potentieel kritische situaties worden gereduceerd en kan er worden ingezoomd op de meest kritische. Figuur 97 geeft alle situaties weer met een grenswaarde van 1,5 seconde. Het gaat in totaal over 155 mogelijke conflicten. Zoals af te lezen uit de figuur is er een duidelijke spreiding van de situaties waarin de grenswaarden worden overschreden. Daar waar in de vorige stappen de focus op het zuiden van de ovonde kwam te liggen, is deze heel gespreid wanneer naar TTC wordt gekeken. Op de armen van de ovonde vormen zich zones waar kritische grenswaarden geconcentreerd voorkomen.



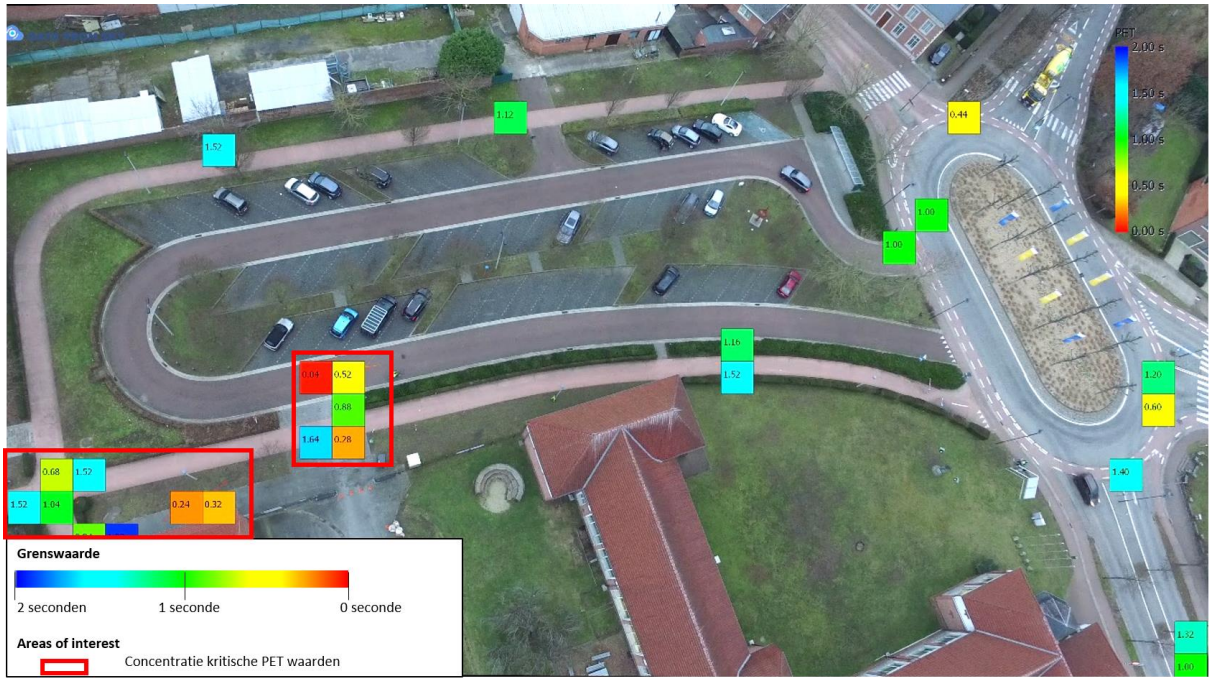
Figuur 97: Areas of interest: onderscheid naar TTC (grenswaarde: 1.5 seconde), op basis van bewerkingen in DFS-Viewer (Eigen werk, 2021)

Weergave areas of interest: PET

In de algemene analyse werden de kritische PET waarden reeds in beeld gebracht. Net zoals bij TTC komt een kleinere waarde overeen met een meer kritische situatie. Voor de analyse in deze stap zal opnieuw gebruik worden gemaakt van de resultaten uit de algemene conclusie. In plaats van alle conflicten in rekening te brengen, wordt in deze stap gefocust op de conflicten tussen zwakke weggebruikers en voertuigen. De grenswaarde van 2 seconden wordt ook hier aangehouden. Dit is in lijn met onderzoek van onder meer Beitel et al. (2018) die stellen dat een grenswaarde van 2 seconden situaties aangeeft met conflicterende weggebruikers. In totaal werden er 33 conflictsituaties vastgesteld. Deze situaties worden visueel weergegeven in Figuur 98.

Daar waar in stap 2 de areas of interest zich voornamelijk situeren op de ovonde, is dit voor PET waarden niet het geval. De PET waarden liggen zeer verspreid in de videobeelden. Een concentratie van kritische waarden wordt waargenomen voor de schoolpoort. Zoals in alinea 6.9.1 weergegeven betreft dit situaties tussen kwetsbare weggebruikers. Daarin werd ook reeds aangetoond dat meer dan de helft (in totaal 19) van de situaties geen werkelijke conflicten zijn.

Op de ovonde zijn maar enkele kritische grenswaarden waar te nemen, maar het is niet mogelijk een zone te onderscheiden waarin een concentratie optreedt. Daarenboven bevindt geen enkele kritische waarde zich in de zone die in stap 2 werd bekomen. Er is bijgevolg geen overlapping tussen de areas of interest.



Figuur 98: Areas of interest: onderscheid naar PET (grenswaarde: 2 seconden), op basis van bewerkingen in DFS-Viewer (Eigen werk, 2021)

Weergave areas of interest: Heavy braking

Om de rembewegingen van de voertuigen weer te geven kan gebruik worden gemaakt van de parameter 'heavy braking', waarbij grenswaarden kunnen worden vastgelegd. In de algemene analyse werd de standaard grenswaarde van DFS (-2.5m/s²) gehanteerd. Deze grenswaarde genereerde 1359 situaties die deze grenswaarde overschreden. Om de meest kritische waarden verder te onderzoeken, wordt geopteerd om een grenswaarde van -6 m/s² aan te nemen in lijn met eerder onderzoek. Deze grenswaarde genereert 207 situaties (zie Figuur 88). Indien de grenswaarde wordt opgetrokken naar -8m/s² zijn er 125 situaties die de kritische waarde overschrijden. In onderzoek van Olszewski et al. (2020) werden grenswaarden boven -6 m/s² gedefinieerd als een noodstop. Het is een situatie waarbij het voertuig zeer sterk met vertragen om een conflict te voorkomen.

In de video analyse blijkt dat er 207 situaties voorkomen die deze grenswaarde overschrijden en zelfs 125 die de grenswaarde van -8m/s² overschrijden. De frequentie van deze voorvallen komt echter niet overeen met het verwachtingspatroon en onderzoek aangehaald in de literatuurstudie. Een grenswaarde van -6m/s² wordt gehanteerd om een noodstop aan te duiden. In deze analyse zou dit neerkomen op onderzoeksgebied waarin maar liefst 15% van de weggebruikers een noodstop uitvoert.

In Figuur 99 worden de zones waarin kritische waarden voorkomen weergegeven. Daarbij valt op dat de concentratie van de meetresultaten zich aan de rand van de videobeelden bevindt. De uitgaande voertuigen, dat wil zeggen de voertuigen die

het beeld verlaten, zijn oververtegenwoordigd in de huidige analyse. Op alle vier de armen van het kruispunt is deze constatering merkbaar. De zuidelijke arm kent de hoogste frequentie van overschrijdende grenswaarden. Deze weg wordt gekenmerkt door een hoge verkeersintensiteit, waardoor er meer voertuigen deze afslag nemen en de kans groter is dat de grenswaarden hier vaker worden overschreden.

Wanneer de individuele situaties dieper worden geanalyseerd blijkt dat inaccuraatheid van de data aan de basis ligt van de hoge rapportering van de surrogaat indicator heavy braking. Een veelvoorkomend probleem zijn de onvolledige trajectoriën. Hierdoor komt het regelmatig voor dat trajectoriën plots worden afgebroken, wat leidt tot (foutieve) waarden boven de kritische grenswaarde voor deze indicator (zie alinea 7.4).



Figuur 99: Areas of interest: onderscheid naar Heavy Braking (grenswaarde: -6m/s², 207 situaties), op basis van bewerkingen in DFS-Viewer (Eigen werk, 2021)

Alleen voor heavy braking werd een concentratie van waarden vastgesteld in de zones die in stap 2 werden bekomen. De waarden van TTC en PET liggen veel meer gespreid. Voor deze indicatoren werden bijvoorbeeld geen kritische waarden geconstateerd op de zuidelijke arm voor het uitgaande verkeer. In tegenstelling tot stap 1 en 2 is het in stap 3 meer gecompliceerd om bepaalde zones te onderscheiden.

De keuze van de grenswaarden is hierbij een belangrijke factor. In deze stap werd er gekozen voor een binaire situatie op basis van de grenswaarden. Hierdoor wordt het mogelijk om de focus te leggen op de meest gevaarlijke situaties. Een andere

mogelijkheid is om verschillende categorieën af te bakenen, waardoor verschillende grenswaarden andere situaties kunnen weergeven.

7.2.1.4 Stap 4: identificatie gevaarlijke situaties

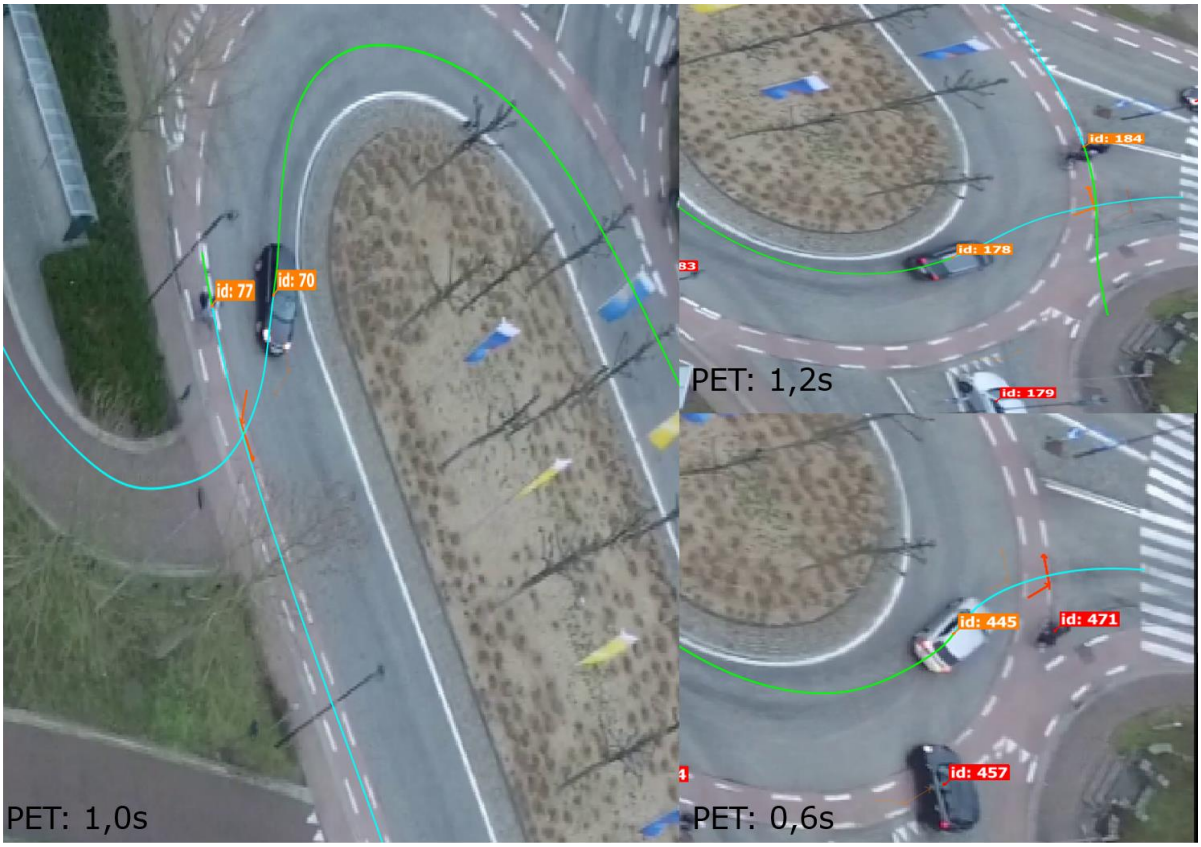
De laatste stap dient om de gevaarlijke situaties te identificeren. Op basis van de preselectie van stap 1 tot en met stap 3 werd uit de overvloed aan data in de videobeelden de grootste selectie reeds doorgevoerd. Daarbij werd gewerkt met het afbakenen van areas of interest. Om deze zones verder te analyseren wordt manuele controle uitgevoerd. De geselecteerde zones kunnen hierdoor verder worden onderzocht, waarbij specifiek kan worden nagegaan welke verkeerssituaties als gevaarlijk kunnen worden beschouwd. Het is pas in deze laatste stap dat er manueel gecontroleerd dient te worden. Dit heeft tot gevolg dat tijd die moet worden besteed aan de analyse aanzienlijk kan worden gereduceerd.

Wanneer wordt gekeken naar stap 2 en 3 kan worden vastgesteld dat tussen de zones geen overlapping aanwezig is. In tegenstelling tot wat intuïtief plausibel lijkt, blijken beide type risico's niet in dezelfde zones te liggen. Dit zou kunnen impliceren dat de kans op ongeval en de kans op een letsel verschillend is qua zones. Bijgevolg kan hieruit worden besloten dat beide type risico apart dienen te worden bekeken.

In stap 2 werden alle relevante situaties visueel weergegeven. Daarbij werden de zones onderscheiden die de nodige aandacht verdienen wanneer wordt gekeken naar het letselrisico. Deze zones kunnen op het vlak van letselrisico met de huidige parameters niet gedetailleerder worden geanalyseerd. Dit is anders voor de analyse van de resultaten in stap 3. Zoals reeds aangegeven zorgen de foutieve kritische waarden ervoor dat een vertekend beeld ontstaat. De focus op de kritische waarden kan leiden tot het verdringen van andere (juiste) waarden worden, waardoor afwijkende resultaten worden bekomen. De resultaten die uit het stappenplan voortkomen zijn daarom niet eenduidig. Om hieraan tegemoet te komen werd een manuele analyse gemaakt van de ovonde voor de indicatoren. De indicatoren heavy braking en TTC werden niet verder opgenomen in stap 4. Er werden bij de analyse namelijk geen gevaarlijke situaties waargenomen, maar alleen foutieve waarden (zie beperkingen).

In een ideaal scenario kan een manuele selectie worden gemaakt van de meest significante situaties die optreden. Daarbij dient de focus te worden gelegd op conflicten tussen kwetsbare weggebruikers en voertuigen. Deze worden vervolgens weergegeven per indicator.

Alleen voor de indicator PET werden 3 gevaarlijke situaties waargenomen op de ovonde. Deze conflicten deden zich steeds voor tussen een fietser en een voertuig. Bij alle drie de situaties werd een zeer lage PET vastgesteld, wat resulteert in een kritische situatie (respectievelijk 0,6s; 1,0s en 1,2 s).



Figuur 100: Gevaarlijke situaties a.d.h.v. PET grenswaarde (2 seconden), op basis van bewerkingen in DFS-Viewer (Eigen werk, 2021)

Hoewel in deze stap niet het beoogde eindresultaat werd bekomen, geeft het duidelijk aan dat manuele analyse van cruciaal belang blijft bij de analyse van de dronebeelden. Indien deze analyse niet zou worden uitgevoerd, kunnen foutieve conclusies worden getrokken.

7.3 Conclusie en discussie

In dit onderzoek werd nagegaan welke parameters kunnen gebruikt worden voor de verkeersveiligheidsanalyse van een schoolomgeving aan de hand van dronebeelden. Er werd een antwoord gezocht op volgende vragen: *"Welke parameters zijn er beschikbaar in de huidige analyse software? Zijn deze parameters bruikbaar voor de analyse van verkeerssituaties in schoolomgevingen?"*

Allereerst werd er onderzocht welke parameters en indicatoren het meest geschikt zijn voor de analyse. Daarbij werd een onderscheid gemaakt op basis van het type risico: letselrisico en ongevallenrisico. De meeste onderzoeken focussen op deze laatste, waarbij voornamelijk de indicatoren TTC, PET en heavy braking worden aangehaald. Door ook het letselrisico in het onderzoek te betrekken, kon er een meer algemeen beeld worden gegeven van de gevaarlijke verkeersituaties en de mogelijke gevolgen. Deze keuze werd gemaakt op basis van de kwetsbaarheid van de jonge verkeersdeelnemers in de schoolomgeving. In de analyse naar het letselrisico werd gebruik gemaakt van de parameters type weggebruiker en snelheid.

De resultaten van de analyse werden bekomen door de toepassing van een stappenplan. Dit stappenplan werd uitgewerkt om de grote set aan data te reduceren en de analyse te vereenvoudigen. Het is een sequentiële procedure, waarbij de meest kritische situaties in kaart werden gebracht aan de hand van verschillende parameters. De focus van het onderzoek lag hierbij op de procedure die werd gevolgd.

Desalniettemin moet worden opgemerkt dat door de inaccuraatheid van de data niet de gewenste resultaten werden bekomen. De resultaten moeten daarom kritisch worden bekeken. Allereerst heeft de volgorde van het stappenplan invloed op de resultaten. Een andere volgorde levert mogelijk ook andere resultaten op. In dit onderzoek werd er gekozen om de focus te leggen op het letselrisico en vervolgens te kijken naar het ongevallenrisico. Indien de volgorde van het stappenplan zou wijzigen zullen andere resultaten worden bekomen. Bovendien werd vanaf stap 1 gewerkt met areas of interest. Hierdoor werden incidentele situaties niet mee opgenomen in de analyse.

De beschikbaarheid van surrogaat indicatoren en parameters is eerder limitatief in de gebruikte software. Toch was het in het kader van dit onderzoek voldoende voor de verkeersveiligheidsanalyse, aangezien deze de meest voorkomende en meest gebruikte parameters zijn. Aan de hand van deze parameters was het mogelijk om een analyse te maken van de huidige verkeerssituatie.

Er kan worden geconcludeerd dat de verwerking van dronebeelden aan de hand van de gehanteerde parameters zeer nuttig kan zijn voor verkeerskundig

onderzoek. In toekomstig onderzoek kan de verdere ontwikkeling van de technologie leiden tot accuratere data, waarop een zeer gedetailleerde analyse kan worden uitgevoerd. Het stappenplan kan hierbij een leidraad vormen voor het proces dat dient gevolgd te worden om gevaarlijke verkeerssituaties in kaart te brengen. Het is een eerste stap richting een vereenvoudigde methode om data van dronebeelden overzichtelijk te maken en te analyseren.

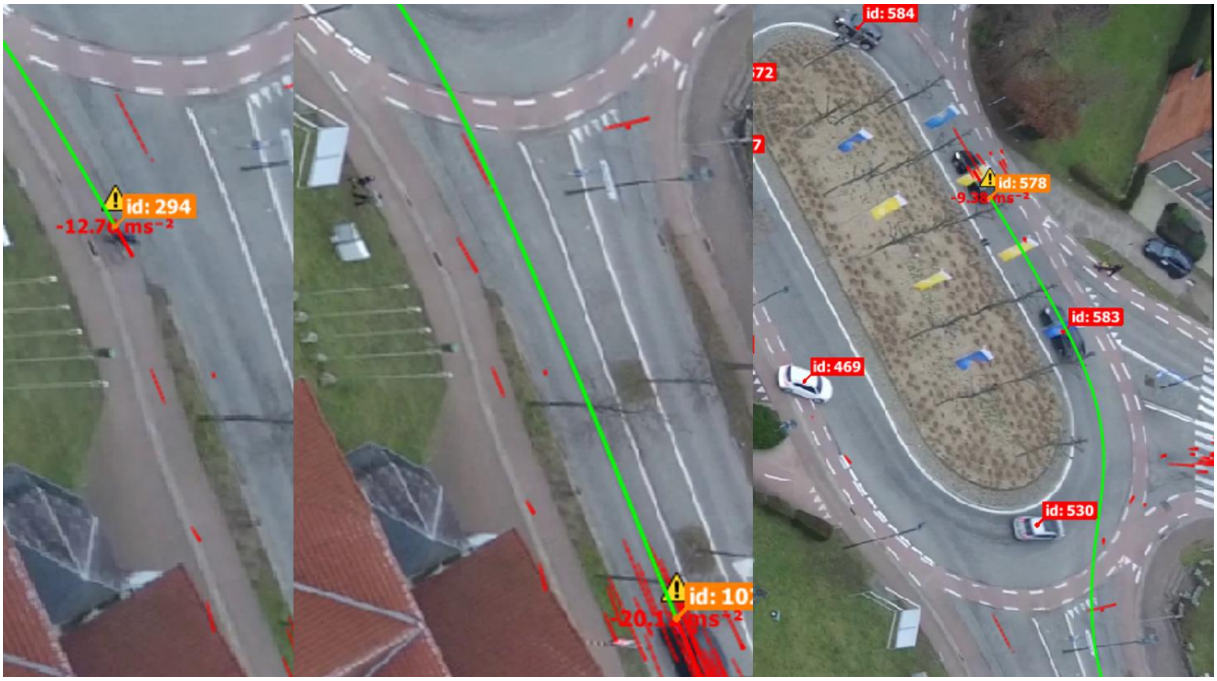
7.4 Beperkingen

Verschillende indicatoren kunnen een beter beeld geven bij een verkeersveiligheidsanalyse. Door het gebruik van dronetechnologie in combinatie met een softwareprogramma kan het analyse proces aanzienlijk vereenvoudigd worden, waarbij de berekeningen automatisch worden uitgevoerd. Toch kent het gebruik van deze nieuwe onderzoekstechnologie enkele cruciale beperkingen. Deze beperkingen zijn voornamelijk toe te schrijven aan de inaccuraatheid van de data en kunnen worden opgedeeld in twee groepen: trajectoriën en bounding boxes. Daarnaast worden ook de tijdsduur van de berekening en de focus van de beelden kort besproken.

Trajectoriën

De trajectoriën vormen de input voor de indicatoren die beschikbaar zijn in de software. Zoals eerder (zie paragraaf 6.3) reeds aangegeven werden niet alle aanwezige weggebruikers gedetecteerd in de videobeelden. Bijgevolg werden ook geen trajectoriën gegenereerd van deze weggebruikers. Hierdoor werd een groot deel van de deelnemers niet mee opgenomen in de analyse. Voornamelijk bij de detectie van de kwetsbare weggebruikers ontbreken de trajectoriën.

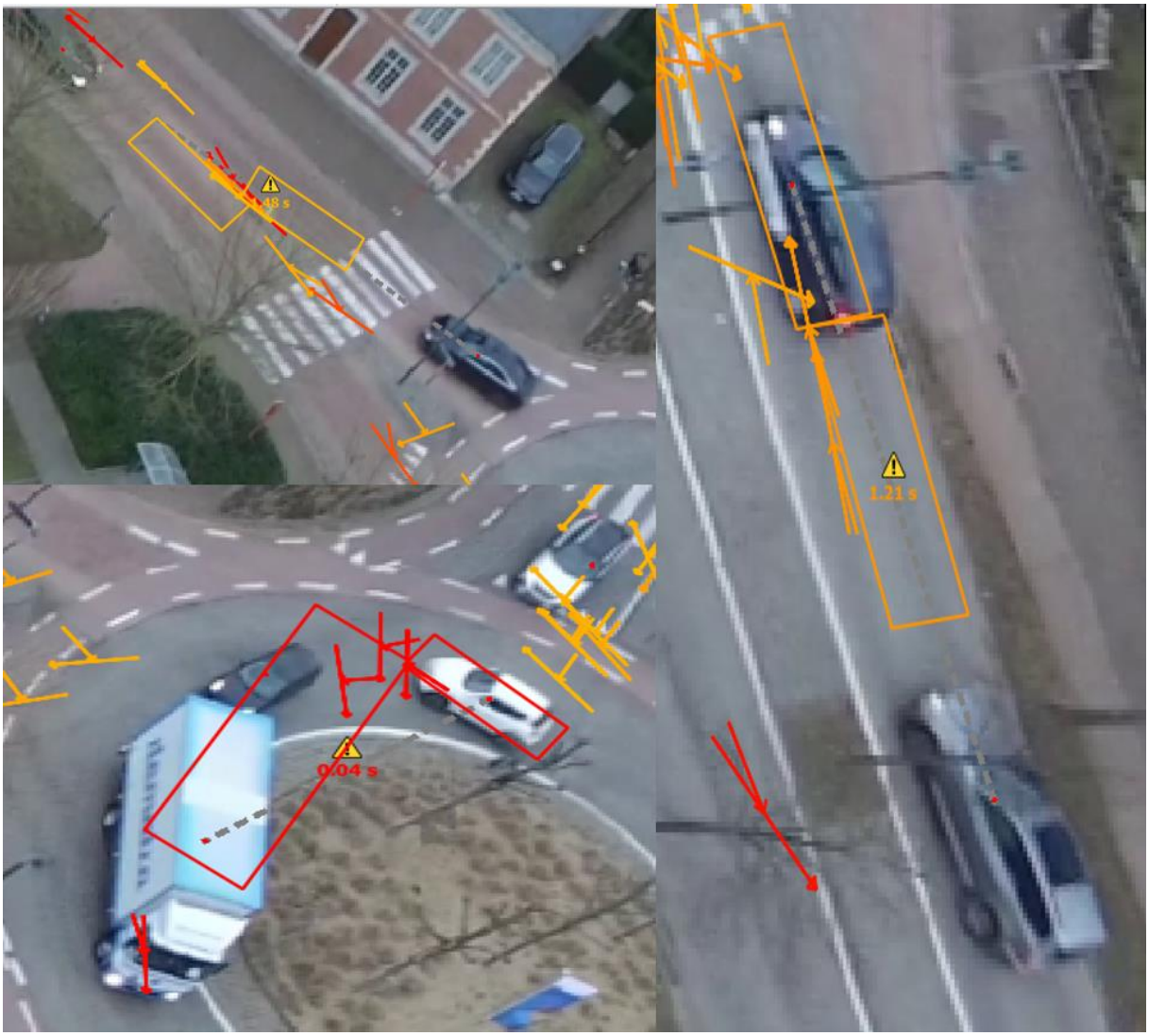
Daarnaast werd bij verdere analyse vastgesteld dat ook de trajectoriën die werden waargenomen vaak onvolledig zijn. Het afgelegde traject wordt niet volledig weergegeven in de videobeelden. Zo komt het vaak voor dat trajectoriën worden onderbroken, deels worden weergegeven of plots verdwijnen. Deze onnauwkeurigheden hebben invloed op de uiteindelijke analyse en de resultaten.



Figuur 101: Onvolledige en onderbroken trajectoriën, op basis van bewerkingen in DFS-Viewer (Eigen werk, 2021)

Bounding boxes

Bij de berekening van de surrogaat indicatoren (TTC, PET en heavy braking) wordt door het softwareprogramma gebruik gemaakt van 'bounding boxes'. Deze kaders vormen een de afbakening van een object en geven de omtrek van een object weer, in deze analyse de verschillende weggebruikers. Op basis van deze afbakening worden de berekeningen uitgevoerd. Door de inaccurate toekenning van bounding boxes worden echter foutieve waardes gerapporteerd. Het toewijzen van foutieve bounding boxes leidt ertoe dat er afwijkende resultaten optreden.



Figuur 102. Foutieve detectie van een conflict op basis van TTC en PET (Eigen werk, 2021)

Een andere oorzaak voor deze afwijkende resultaten is terug te vinden bij de locatie van de bounding boxes van de voertuigen die uit de videobeelden verdwijnen. Dit resulteert in foutieve resultaten. Zo worden er voor de indicator heavy braking voor veel uitgaande voertuigen hogere rembewegingen geconstateerd. Bij de indicatoren TTC en PET vormen niet alleen de voertuigen aan de randen van de beelden problemen. Ook in het midden van de videobeelden werden onregelmatigheden waargenomen met bounding boxes, waardoor verkeerdelijk gevaarlijke situaties worden gedetecteerd.

De inaccurate dataverwerking heeft gevolgen voor de resultaten. Wanneer er foutieve waarden voor de indicatoren worden bekomen, kunnen er bijgevolg afwijkende resultaten worden bekomen. Daarbij bestaat de kans dat door te focussen op de meest kritische waarden, alleen foutieve detecties worden weerhouden en de meest kritische niet worden opgenomen. Deze tekortkoming is bekend bij het softwarebedrijf (Mozga, 2021). Zij stellen dat deze situaties gelokaliseerd aan de rand van de videobeelden niet representatief zijn en mogen worden genegeerd. Een mogelijke oplossing om dit probleem te verhelpen is

tussen stap 2 en 3 een optionele stap toe te voegen. In deze stap kan een filter worden toegepast op de randen van de videobeelden. Hierdoor kunnen deze foutieve waarden uit de analyse worden verwijderd.

Tijdsduur berekening PET

Het laten runnen van de verkeersveiligheidsanalyse voor PET neemt aanzienlijk veel tijd in beslag (meer dan 44 uur). In het onderzoek is het maar één keer gelukt om dit proces uit te voeren. Hierdoor was het niet mogelijk om voor deze indicator de verschillende grenswaarden te controleren. Bij de overige pogingen werden er steeds problemen ondervonden met het softwareprogramma waardoor de analyse niet kon worden uitgevoerd. Ook deze tekortkoming is bekend bij het bedrijf.

8 Drones t.o.v. andere onderzoekstechnieken

- Jannes Bottu -

In hoofdstuk vier van deze masterproef zijn aan de hand van een literatuurstudie de mogelijkheden van dronetechnieken voor verkeers- en verkeersveiligheidsanalyses onderzocht. Nadien, in een tweede gedeelte van de literatuurstudie, is er specifiek onderzocht welke parameters belangrijk zijn voor verkeersanalyses in schoolomgevingen en met behulp van welke onderzoekstechnieken deze parameters onderzocht kunnen worden. Dit heeft geleid tot een samenvattende conclusie, te zien in Tabel 11. Als volgende stap is er in hoofdstuk vijf een analyse uitgevoerd op basis van de beelden uit de pilotstudie in Zonhoven. Hierbij worden parameters geëxtraheerd uit de dronebeelden aan de hand van een computer vision technique (DFS). Het doel van dit hoofdstuk is het opstellen van een multicriteria-analyse (MCA) om het drone-onderzoek ten opzichte van andere onderzoekstechnieken af te wegen op basis van:

- Praktische haalbaarheid;
- Juridische haalbaarheid;
- Commerciële haalbaarheid.

Deze MCA vormt ook de input om in een laatste stap een business case uit te werken. Hierin wordt het uitgevoerde drone-onderzoek in de pilotstudie concreet afgewogen ten opzichte van een combinatie van andere bruikbare onderzoekstechnieken om tot hetzelfde onderzoeksresultaat te komen.

In de volgende paragrafen worden de onderzoekstechnieken met betrekking tot volgende parameters/analyses afgewogen ten opzichte van elkaar:

- Verkeerstellingen;
- Gedragsobservaties (snelheid);
- Verkeersstromen;
- Modal split;
- Conflictobservaties.

De praktische haalbaarheid wordt per parameter/analyse besproken. De juridische en commerciële haalbaarheid worden voor alle technieken gezamenlijk besproken, aangezien de hoge mate van samenhang.

8.1 Praktische haalbaarheid

In dit deel wordt de praktische haalbaarheid van de verschillende onderzoekstechnieken per parameter besproken. Er wordt hierbij per onderzoekstechniek gefocust op zeven elementen, namelijk:

1. De beschikbare parameters;
2. De benodigde voorbereiding;
3. De dataverzameling;
4. De dataverwerking;
5. De accuraatheid;
6. De complexiteit;
7. De mate van toepasbaarheid van de technieken.

8.1.1 Verkeerstellingen

Het doel van verkeerstellingen is een beeld vormen van de verkeersdrukte in een bepaald onderzoeksgebied. Hierbij is het aantal weggebruikers per tijdseenheid, de intensiteit, de belangrijkste parameter. Naast intensiteit zijn ook dichtheid en verkeerssamenstelling belangrijke parameters. Zoals aangehaald in de literatuurstudie (zie 4.6.2) zijn er verschillende onderzoekstechnieken beschikbaar om parameters zoals de intensiteit te onderzoeken. Deze kunnen onderverdeeld worden in intrusieve (datarecorder en sensoren) en niet-intrusieve methodes (op afstand) (Leduc, 2008). De belangrijkste onderzoekstechnieken zijn: pneumatische telslangen, inductieve lussen, radars (Doppler), piëzo-elektrische sensoren, infraroodsensoren, manuele tellingen en video-observaties. In de pilotstudie zijn verkeerstellingen uitgevoerd aan de hand van de computer vision technique op basis van dronebeelden, dit valt bijgevolg onder video-observaties.

8.1.1.1 Beschikbare parameters

Van de hierboven beschreven onderzoekstechnieken kunnen met de computer vision technique, afhankelijk van de toegepaste software voor analyse, de meeste parameters verkregen worden. Deze parameters beperken zich niet enkel tot intensiteiten, ook snelheden, conflictanalyses, verkeersgedragingen, etc. kunnen onderzocht worden. De beschikbare parameters bij de andere onderzoekstechnieken zijn beperkter. Zo zijn technieken zoals de pneumatische telslangen, inductieve lussen en radars beperkt tot een of meerdere specifieke parameters zoals intensiteit, voertuigclassificatie en snelheid (Leduc, 2008). Manuele veldobservaties (manuele tellingen) en manuele observaties op basis van videobeelden kunnen ingezet worden om intensiteiten, verkeerssamenstelling en dichtheden te bepalen, al kunnen de beschikbare parameters/analyses uitgebreid worden naar o.a. gedragsobservaties en conflictobservaties.

8.1.1.2 Voorbereiding

De benodigde voorbereiding voor de effectieve dataverzameling is sterk verschillend tussen de onderzoekstechnieken. Zoals ervaren in de pilotstudie vraagt een video-observatie aan de hand van een drone een uitgebreide en complexe voorbereiding. Zowel het juridische luik van de voorbereiding (vergunningen, toestemmingen, kennisgevingen, privacy, etc.) alsook het praktische luik (bepaling opstijglocatie, bepaling filmgebied, etc.) vereisen veel inspanningen van de onderzoeker. Naar de toekomst toe, bij een veelvuldig gebruik van deze methode, worden de voorbereidingen wel eenvoudiger. Momenteel is de grote hoeveelheid aan inspanningen voornamelijk te danken aan de beperkte kennis en ervaring met betrekking tot de techniek.

In vergelijking met een drone-observatie zijn manuele tellingen in het veld veel eenvoudiger wat betreft de voorbereiding. Belangrijk is om op voorhand de locaties te bepalen waar tellingen dienen uitgevoerd te worden. Eens de locatie of meerdere locaties voor de telling bekend zijn, kan het aantal benodigde observanten bepaald worden. Spack en Moreland (2019) geven aan dat een persoon in staat is om tot 2500 voertuigen (combinatie van twee rijrichtingen) per uur te tellen. Een inschatting van de verkeersdrukte in het onderzoeksgebied kan dus gebruikt worden om het aantal observanten te bepalen. Indien ook voertuigclassificaties worden gerapporteerd ligt het maximale aantal voertuigen dat geteld kan worden per uur lager, er is dus sneller nood aan een extra observant. Verder is het ook van belang om observanten te trainen om adequate verkeerstellingen uit te voeren. Tot slot dient ook de methode van rapportage vastgesteld/opgesteld te worden. Het kan hier gaan over telramen, formulieren, etc.

Voor video-observaties aan de hand van een vaste camera is de plaatsing van de camera een van de belangrijkste voorbereidingen. Alvorens de plaatsing moet de precieze locatie vastgesteld te worden, dit is belangrijk aangezien de beeldhoek vaak beperkt is. Ook is bij een plaatsing op openbaar domein een toestemming nodig van de desbetreffende gemeente voor het plaatsen van een of meerdere camera's, hier wordt later verder op ingegaan in paragraaf 8.2.2.

Tot slot zijn de voorbereidingen van een verkeerstelling aan de hand van sensoren gelijkaardig aan die van de video-observaties. Ook hiervoor dient een toestemming gevraagd te worden aan de gemeente en/of wegbeheerder. Belangrijk is ook om de precieze locatie vast te stellen aangezien er per sensor slechts op een locatie geteld kan worden. De onderzoeker heeft ook de keuzemogelijkheid om het type sensor te bepalen. Voor tijdelijke tellingen zijn de pneumatische telslangen en radars (Doppler) het meest geschikt. Inductieve lussen en piëzo-elektrische sensoren zijn hiervoor minder aangewezen aangezien deze vaak in het wegdek dienen aangelegd te worden. De keuze van sensor heeft bijgevolg een grote invloed op de complexiteit van de installatie van de sensor. Colonna et al. (2007)

geven ook aan dat correcte plaatsing en kalibratie van sensoren essentieel is voor een goede accuraatheid. Zo moeten radars onder een specifieke hoek en op een vastgestelde afstand en hoogte ten opzichte van de rijbaan worden geplaatst. Voor pneumatische telslangen is de afstand tussen de telslangen dan weer belangrijk om accurate resultaten te verkrijgen.

8.1.1.3 Dataverzameling

De procedures voor dataverzameling met de beschreven onderzoekstechnieken kunnen onderverdeeld worden in twee groepen, de manuele en de geautomatiseerde dataverzameling. Onder de manuele dataverzameling vallen de manuele tellingen in het studiegebied of tellingen op basis van videobeelden. Bij tellingen in het studiegebied dienen steeds observanten fysiek aanwezig te zijn om tellingen uit te voeren. Bij manuele tellingen op basis van videobeelden worden verkeersdeelnemers achteraf geteld. De andere beschreven onderzoekstechnieken gebeuren op een meer autonome basis. Enkel bij observaties door een drone, zoals toegepast in de pilotstudie, dienen onderzoekers fysiek ter plaatse te zijn om de drone te besturen. Bij observaties door middel van vaste camera's is dit niet het geval. Deze camera's worden voor het onderzoek geplaatst en kunnen tijdens het onderzoek voor een langere tijd worden ingezet om beelden te verzamelen van het studiegebied. Bij voertuigtellingen aan de hand van sensoren (Doppler radar, infrarood, pneumatische telslang, etc.) vindt ook eerst een plaatsing van de apparatuur plaats, tijdens het onderzoek kan de data volledig geautomatiseerd worden verzameld. De data worden in dit geval gecapteerd door de sensor en vervolgens opgeslagen in een apparaat langs de rijbaan.

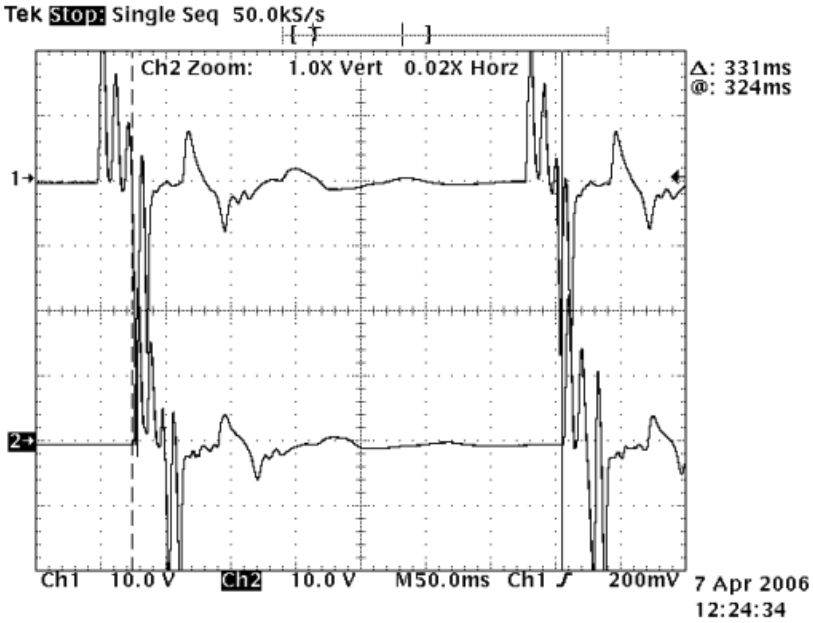
Een heel belangrijke factor bij het verzamelen van telgegevens is de duurtijd van de meting. Deze duurtijd is afhankelijk van het soort data dat nodig is voor het onderzoek. Over het algemeen kan gesteld worden dat de representativiteit van een verkeerstelling stijgt naarmate de duurtijd van een telling stijgt. Een statistische analyse van verkeerstellingen in Noorwegen wijst uit dat het betrouwbaarheidsinterval van 90% en 95% respectievelijk daalt van 16,2% naar 4,9% en van 19,3% naar 5,8% tussen een telperiode van 1 week en 6 weken (Engeset & Keitheile, 2004). Om tellingen met een hoge betrouwbaarheid ten opzichte van de werkelijkheid te bekomen zijn bijgevolg tellingen gedurende verschillende dagen nodig. Voor geautomatiseerde voertuigtellingen aan de hand van sensoren en vaste videocamera's is dit geen probleem. Deze toestellen worden over het algemeen voor een langere tijd geplaatst. Voor manuele tellingen en tellingen op basis van dronebeelden zorgt dit wel voor moeilijkheden. Om tellingen gedurende een langere periode uit te voeren zijn dagelijks verschillende observanten nodig, de fysieke input voor dergelijk onderzoek is dus hoog. Voor drones zijn er nog bijkomende beperkingen. In de pilotstudie werd gebruik gemaakt van een bekabelde drone. Door de bekabeling kan de drone voor langere tijd in de lucht blijven. Met de huidige commerciële drones is dit vaak niet mogelijk. De vliegtijd is dan ook vaak beperkt tot ongeveer 20 minuten. Het is dan bijna

onmogelijk om tellingen over een langere tijd uit te voeren. Bij de bekabelde drone is het wel mogelijk om gedurende meerdere uren tellingen uit te voeren, met een hoge kost tot gevolg. Manuele tellingen en tellingen op basis van dronebeelden zijn door deze beperkingen enkel geschikt om tellingen voor korte tijdsintervallen uit te voeren. Wanneer er data nodig is met betrekking tot o.a. het jaarlijkse gemiddelde dagelijkse verkeer (Annual Average Daily Traffic, AADT), gebruikt voor o.a. het ontwerp van wegen, dan zijn tellingen van 12 tot 16 uur per dag gedurende minimaal vijf dagen nodig (Engeset & Keitheile, 2004). Voor dergelijke toepassingen worden idealiter sensoren of vaste camera's geïnstalleerd.

In de pilotstudie zijn er twee dronevluchten uitgevoerd, in de ochtend- en avondspits. Beide vluchten hebben ongeveer 50 minuten aan beeldmateriaal opgeleverd. Op basis van beide fragmenten kunnen tellingen uitgevoerd worden op o.a. de ovonde. Deze tellingen geven inzicht in het druktebeeld op dinsdag 23 februari 2021. Er kunnen bijgevolg specifieke uitspraken gedaan worden voor deze dinsdag, al zijn algemene uitspraken over de intensiteiten in het studiegebied niet mogelijk omwille van de beperkte duurtijd van de meting. De representativiteit van de meting kan hierdoor in vraag gesteld worden en dient in rekening gebracht te worden bij een mogelijke toekomstige toepassing van drones voor verkeerstellingen.

8.1.1.4 Dataverwerking

Ook in het kader van dataverwerking kan de opdeling gemaakt worden tussen een manuele dataverwerking en een geautomatiseerde dataverwerking. Tellingen uitgevoerd door middel van sensoren worden automatisch, met behulp van algoritmes, geanalyseerd. Zo is de dataverwerking van voertuigtellingen door middel van pneumatische telslangen gebaseerd op een opeenvolging van pulsenreeksen. Wanneer een voertuig over een telslang rijdt zorgen de banden van het voertuig/fiets voor een verplaatsing van de luchtstroom in de telslang (Goossens, et al., 2007). Deze verplaatsing van de luchtstroom wordt waargenomen door een sensor in het telapparaat en wordt opgeslagen voor latere verwerking. Een voorbeeld van een pulsenreeks op basis van een dubbele telslang is weergegeven op Figuur 103. Op basis van algoritmes kunnen de pulsenreeksen worden geanalyseerd en wordt het aantal verkeersdeelnemers geteld. Voor snelheden en voertuigcategorisaties wordt ook de tijd tussen twee pulsen (een op elke slang van de dubbele telslang) geanalyseerd. Door de tijd tussen twee pulsen in rekening te brengen kan de as-afstand van de verkeersdeelnemer berekend worden, op basis van deze as-afstand is een bepaling van de voertuigcategorie mogelijk. Bij de toepassing van andere sensoren voor voertuigtellingen (bv. de Doppler radar) is de data die verkregen wordt tijdens de telling van een andere vorm, al worden ook hierbij algoritmes gebruikt om intensiteiten te extraheren op basis van signalen van de sensor die werden opgeslagen tijdens het onderzoek.



Figuur 103: Voorbeeld pulsenreeks dubbele telslang: Honda Accord aan 42 km/u (Goossens, et al., 2007)

Voor de dataverwerking van videobeelden (met een vaste camera of met een drone) zijn er twee opties. Er kan geopteerd worden om verkeersdeelnemers op basis van de beelden manueel te tellen. Hierbij rapporteert de onderzoeker aan de hand van bijvoorbeeld een telformulier het aantal verkeersdeelnemers. Indien nodig kan ook de voertuigcategorie gerapporteerd worden. Anderzijds kunnen de beelden ook verwerkt worden aan de hand van een computer vision technique. Hierbij worden de beelden aan de hand van algoritmes geanalyseerd om verkeersdeelnemers te detecteren en te volgen op de beelden. Na de detectie kunnen telpoorten geplaatst worden om verkeersdeelnemers op een gewenste locatie te tellen en te categoriseren. Deze laatste techniek is gebruikt in de pilotstudie. Door middel van DFS zijn de dronebeelden van het studiegebied in Zonhoven geanalyseerd (zie paragraaf 6.2). Nadien, in DFS Viewer, kan er op elke gewenste plek een telpoort geplaatst worden om het aantal weggebruikers ter hoogte van de telpoort te tellen. Een groot voordeel van deze techniek is de vrije keuze van plaatsing van de telpoort. Ook het aantal telpoorten is ongelimiteerd. Daar waar sensoren en manuele tellingen in het studiegebied vaak beperkt zijn tot een locatie biedt de computer vision technique mogelijkheden om het aantal tellocaties eenvoudig uit te breiden. Tot op heden zijn de meer geavanceerde analyses van tellingen binnen DFS wel nog beperkt. Er wordt enkel een oplijsting gemaakt van het aantal verkeersdeelnemers, de categorie, de snelheid, de acceleratie en het moment van passeren aan de telpoort. Analyses zoals de PHF, het AADT, etc. dienen nog manueel uitgevoerd te worden.

Tot slot is er nog de dataverwerking van manuele tellingen die zijn uitgevoerd in het studiegebied door fysieke observanten. Tijdens de manuele tellingen wordt een rapportage uitgevoerd van het aantal verkeersdeelnemers, de voertuigcategorie, etc. Deze data dienen na afloop van de tellingen geanalyseerd te worden door de onderzoeker. Dit is een relatief eenvoudige analyse, al kan dit

bij een grote hoeveelheid aan data (kleine tijdsintervallen, uitgebreide telperiode, etc.) een tijdrovend proces zijn.

8.1.1.5 Accuraatheid

Een belangrijke onderscheidende factor tussen de verschillende beschreven onderzoekstechnieken voor verkeerstellingen is de accuraatheid van de methodes. Deze accuraatheid geeft aan in welke mate een bepaalde onderzoekstechniek het juiste aantal weggebruikers telt. In Tabel 29 is de accuraatheid van verschillende onderzoekstechnieken voor tellingen, snelheid en categorisatie van weggebruikers weergegeven. De Dopplerradar, de actieve infrarood, de inductieve lussen, de ultrasone sensor en de magnetometer geven de beste accuraatheid, met afwijkingen van minder dan 5%. De pneumatische telslang scoort hier minder goed, met een afwijking kleiner dan 10%. De geautomatiseerde tellingen op basis van videobeelden blijken het slechtste, met een accuraatheid kleiner dan 90%. Deze cijfers geven een goede indicatie van de accuraatheid. De cijfers zijn echter gebaseerd op een onderzoek uit 2003 (Colonna, et al., 2007). Huidige technologieën hebben een hele vooruitgang laten zien waardoor de accuraatheden van de respectievelijke onderzoekstechnieken sterk zijn verbeterd. Zo hebben McGowen en Sanderson (2011) onderzocht dat de accuraatheid van pneumatische telslangen voor dagelijkse intensiteiten net geen 100% is. Voor het typische 15 minuten-interval blijkt de afwijking groter, met afwijkingen rond de 10%. In het onderzoek werd vastgesteld dat de afwijkingen tijdens de 15 minuten-intervallen elkaar in evenwicht brengen (te veel geteld en te weinig geteld) en zo tot een hoge accuraatheid op dagniveau komen. Voor tellingen van fietsers met deze pneumatische telslangen liggen de accuraatheden lager, dit resulteert in telfouten gaande van 6% tot 57% (Brosnan, et al., 2015). Op basis van voorgaande onderzoeken kan geconcludeerd worden dat de accuraatheid van sensoren ook sterk afhankelijk is van het meettoestel, de verkeersdrukte en de opstelling.

Tabel 29: Accuraatheid onderzoekstechnieken voor verkeerstellingen (Colonna, et al., 2007)

Detector technologies		Count accuracy		Speed accuracy	Classification accuracy
		Low vol.	High vol.		
Inductive loop		<5%	<5%	<10%	<10%
Magnetometer		<5%x	<5%	<5%x	N/A
Pneumatic road tube		<10%	>10%	>10%	N/A
Infrared	*Active*	<5%	<5%	<10%	<5%
	Passive	<10%	>10%	>10%	>10%
Ultrasonic		<5%	<5%	>10%	>10%
Passive acoustic		<10%	<10%	<5%	>10%
Video image processing		>10%	<5%	<10%x	>10%
Radar - doppler		<5%	<10%	<5%	>10%

Er kan gesteld worden dat de accuraatheid van automatische verkeerstellingen aan de hand van sensoren vrij hoog ligt. Naast de accuraatheid van deze

technieken is het ook van belang om de accuraatheid van andere technieken, zoals de manuele tellingen en tellingen met behulp van de computer vision technique, te analyseren. Onderzoek van Zheng en Mike (2012) toont aan dat de telfouten van een manuele telling over het algemeen kleiner dan 1% zijn. Op het vlak van voertuigcategorisering ligt de classificatiefout wel hoger, met gemiddeld 4 tot 5%. Deze classificeringsfouten zijn voornamelijk te wijten aan de moeilijkheid om een voertuiglengte in te schatten (bv. groter of kleiner dan bv. 5,2 meter). Een studie van Puan et al. (2019) toont ook aan dat er geen significante verschillen zijn op een 95% betrouwbaarheidsinterval tussen manuele tellingen op basis van videobeelden en tellingen aan de hand van pneumatische telslangen.

Voor geautomatiseerde tellingen aan de hand van een computer vision technique zijn de accuraatheden sterk afhankelijk van de gebruikte software/algoritmes. Het onderzoek van Allamehzadeh et al. (2018) toont aan dat er met een computer vision technique, toegepast op videobeelden van een vaste camera, een accuraatheid van 94% behaald kan worden. Een ander onderzoek in Pittsburgh (VS) toont een accuraatheid van 95% voor het tellen van zwakke weggebruikers op basis van een computer vision technique, toegepast op beelden van een vaste camera (Kocamaz, Gong, & Pires, 2016). Voor geautomatiseerde verkeerstellingen op basis van dronebeelden staat of valt de accuraatheid bij de detectie van verkeersdeelnemers. De accuraatheid van deze detectie wordt voornamelijk bepaald door de toegepaste algoritmes/software. In het onderzoek van Xu et al. (2017) toont een toepassing van R-CNN (region based convolutional neural network), een computer vision technique, op dronebeelden een accuraatheid van 98,26% (enkel vals positieve detectie in rekening genomen) en een kwaliteit van 94,94% (zowel vals positief als vals negatief opgenomen) voor de detectie van gemotoriseerde voertuigen. De accuraatheid van de detectie van zwakke weggebruikers, zoals eerder ook aangehaald in de analyse van de pilotstudie (zie 6.2) is in het geval van DFS ondermaats. Onderzoek van Xiang et al. (2020) toont aan dat er betere alternatieven voor DFS bestaan (in het kader van detectie van zwakke weggebruikers). Zij hebben op basis van RetinaNet een model ontwikkeld dat resulteert in een detectie accuraatheid van 84,05%. Hoewel dit een grote verbetering is ten opzichte van DFS blijft de accuraatheid nog altijd veel lager in vergelijking met andere technieken. Verder onderzoek op dit vlak is dus zeker nodig.

Als er gekeken wordt naar de resultaten uit de pilotstudie kan gesteld worden dat de accuraatheid van DFS de vooropgestelde 95% accuraatheid in detectie van weggebruikers niet kan behalen (DataFromSky, 2021). Een accuraatheidsanalyse op basis van de beelden uit de pilotstudie (OS) toont een gewogen gemiddelde accuraatheid van 39,78%, bijgevolg is dit veel lager dan de beoogde 95% accuraatheid. Op basis van een manuele revisie van de beelden kan wel gesteld worden dat de accuraatheid van verkeerstellingen van gemotoriseerd verkeer redelijk hoog ligt. Dit is te danken aan de relatief goede detectie van bewegende gemotoriseerde voertuigen. De accuraatheid van tellingen van zwakke

weggebruikers is echter ondermaats. Dit valt toe te schrijven aan de gebrekkige detectie van deze zwakke modi met een gemiddelde accuraatheid van 18% voor voetgangers en 25,42% voor fietsers. Door de beperkte grootte van voetgangers en fietsers op de dronebeelden kunnen deze niet optimaal worden gedetecteerd op de beelden. Dit is te danken aan onder andere een te hoge ground sampling distance, te zien op Figuur 51. Daar waar zwakke modi wel gedetecteerd worden ontstaat een nieuw probleem, het gebrek aan een adequate tracking van deze modi. Voetgangers en fietsers worden dus maar voor een gedeelte gevolgd op de beelden. Aangezien de telpoorten werken op basis van de trajectoriën die de telpoorten kruisen is een goede extractie van trajectoriën essentieel om accurate tellingen uit te voeren. Er kan besloten worden dat de toepasbaarheid van DFS voor verkeerstellingen vandaag de dag nog niet optimaal is. Verder is er ook nog een probleem met de categorisatie. In de meeste gevallen kan DFS een juist onderscheid maken tussen auto's, vrachtwagens en zwakke modi. Toch zijn er ter hoogte van de schoolpoort ongeveer 10 fietsers geclassificeerd als auto. Ook worden fietsers in 21 gevallen geclassificeerd als motorfietsen. Bijgevolg blijkt dat een manuele verificatie steeds nodig is om juiste conclusies te kunnen trekken.

8.1.1.6 Complexiteit

Manuele tellingen in het studiegebied, uitgevoerd door observanten, hebben veruit de laagste complexiteit in vergelijking met de andere onderzoekstechnieken. Ook de verwerking van de gerapporteerde data is hierbij, ondanks de vaak lange duurtijd, niet complex. Hetzelfde kan gesteld worden bij manuele observaties op basis van videobeelden, al is het plaatsen van een vaste camera in sommige gevallen wel complex in verband met de geldende (privacy)regelgeving. Bij verkeerstellingen aan de hand van sensoren hangt de complexiteit af van het type van de gebruikte sensor. Voor pneumatische telslangen kan gesteld worden dat de complexiteit van de plaatsingen en kalibratie relatief laag ligt (Colonna, et al., 2007). Net hetzelfde kan gesteld worden voor infraroodsensoren. Bij de dopplerradar ligt de complexiteit van installatie hoger, aangezien de plaatsing en kalibratie niet eenvoudig zijn. Ook voor piëzo-elektrische sensoren en inductieve tellussen ligt de complexiteit hoger aangezien deze sensoren in het wegdek aangebracht moeten worden. Voor tellingen op korte termijn zijn deze toestellen bijgevolg te complex en niet aan te raden. Op het vlak van de verwerking van de data, verkregen door de sensoren, kan gesteld worden dat de analyse zeer laagdrempelig is. Afhankelijk van de fabrikant van het teltoestel wordt een softwarepakket aangeleverd waarin de verkregen data meteen worden gevisualiseerd (MetroCount, 2015). Er is dus geen nood om te kunnen werken met bijvoorbeeld de complexe pulsenreeksen die worden gecapteerd door de sensor van de pneumatische telslangen.

De computer vision technique kan gezien worden, in het kader van verkeerstellingen, als de meeste complexe techniek. Het plaatsen van een vaste camera is zoals aangehaald onderhevig aan plaatselijke wetgeving. Het uitvoeren

van een dronevlucht is in veel gevallen complexer doordat een dronevlucht heel wat juridische en organisatorische voorbereidingen vereist. Naast de voorbereidingen speelt ook de dataverwerking een grote rol in de verhoging van de complexiteit. Indien men algoritmes zoals YOLO, R-CNN, RetinaNet, etc. wil toepassen, is een grote technische kennis vereist, specifiek op het vlak van coderen. Wel zijn er commerciële softwarepakketten zoals DFS en GoodVision beschikbaar waardoor de vereiste technische kennis sterk wordt gereduceerd.

8.1.1.7 Toepasbaarheid

Als laatste criterium binnen de praktische haalbaarheid dient gekeken te worden naar de toepasbaarheid van de verschillende onderzoekstechnieken. Uit de pilotstudie is gebleken dat er randvoorwaarden aanwezig zijn bij het gebruik van drones. Deze randvoorwaarden zijn zowel juridisch als praktisch. De juridische randvoorwaarden hebben vooral betrekking op het al de niet verkrijgen van een vergunning om op een bepaalde locatie een dronevlucht uit te voeren. Zeker in drukke gebieden kan dit voor bijkomende problemen zorgen. Ook dient rekening gehouden te worden met de geografische UAS-zones. Het ministerieel besluit tot vaststelling van vaste geografische UAS-zones en toegangsvoorwaarden voor vaste geografische UAS-zones van 21 december 2020 regelt de toegang tot deze zones en bepaalt of een vlucht, al dan niet met beperkingen, kan uitgevoerd worden.

Mits er toestemming wordt verkregen van de desbetreffende gemeente en/of wegbeheerder zijn er bij de andere onderzoekstechnieken geen beperkingen voor eventuele plaatsing van meettoestellen en uitvoering van tellingen. Bij video-observaties dient wel rekening gehouden te worden met de geldende privacywetgeving.

Een tweede element binnen de toepasbaarheid is het type onderzoeksgebied. Zo kunnen onderzoeksgebieden sterk verschillen tussen studies. In de pilotstudie was er sprake van een relatief rustige stedelijke omgeving. Het is ook mogelijk dat een school is gelegen langs een drukke steenweg. Het studiegebied heeft dan ook een belangrijke invloed op de beschikbare onderzoekstechnieken. Met drones kan er, ten opzichte van een vaste camera, een relatief groot studiegebied worden gefilmd. Dit heeft als voordeel dat een brede toepasbaarheid wordt bekomen. Bij vaste camera’s is het filmgebied kleiner, afhankelijk van het onderzoeksgebied dienen dus meerdere camera’s geïnstalleerd te worden. Hetzelfde geldt ook voor sensoren, pneumatische telslangen, inductieve lussen, etc. Wanneer men intensiteiten op meer dan een locatie wil verkrijgen is er nood aan meerdere meettoestellen. Voor manuele veldobservaties zijn er meer observanten nodig naarmate het aantal tellocaties stijgt. Ook het aantal rijstroken is bepalend voor de toepasbaarheid van de onderzoekstechnieken. Manuele observaties, video-observaties en de dopplerradar kunnen ingezet worden om tellingen op meerdere rijstroken tegelijk uit te voeren (Colonna, et al., 2007). Voor inductieve tellussen

en pneumatische telslangen is dit slechts in mindere mate mogelijk door een verlaagde accuraatheid (Puan, et al., 2019). Dit maakt dan ook dat video-observaties, de dopplerradar en manuele observaties beter geschkit zijn om naast tellingen van een of meerdere wegvakken, ook kruispunttellingen, al dan niet met meerdere meettoestellen, uit te voeren.

Ook de omstandigheden tijdens de verkeerstelling hebben invloed op de toepasbaarheid van de beschreven onderzoekstechnieken. Pneumatische telslangen worden vanuit het oogpunt van accuraatheid en levensduur van de telslangen best niet ingezet op wegen met een grote verkeersdrukte en/of hoge snelheid. Door een grote verkeersdrukte en/of hoge snelheid kunnen de telslangen beschadigd of losgerukt worden (Cocu, 2019b). Een hoge verkeersdrukte blijkt ook negatief voor de prestaties van een radarsysteem, mede door mogelijke valse detectie door reflecties en detectiefouten door afscherming van voertuigen op rijbanen met meerdere rijstroken (occlusie) (Cocu, 2019a). Ook de weersomstandigheden hebben een invloed. Een dopplerradar wordt idealiter niet gebruikt in omstandigheden met hevige regenval (valse detectie). Voor onderzoeken aan de hand van videobeelden gemaakt door drones en vaste camera's hebben de weersomstandigheden ook een grote invloed. Hevige regenval kan zorgen voor een verminderde zichtbaarheid. Ook spelen hierbij lichtomstandigheden een belangrijke rol. Uit de pilotstudie blijkt ook dat een hevige wind en een laagstaande zon een negatieve invloed hebben op de stabiliteit van de dronebeelden en op de detectiemogelijkheden op de beelden.

Tot slot is het ook van belang de onderzoekstechniek af te stemmen op de weggebruikers die geteld moeten worden. De beschreven onderzoekstechnieken zijn namelijk niet allemaal geschikt om alle weggebruikers te tellen. Dopplerradars zijn slechts in mindere mate toepasbaar op tellingen van voetgangers (Bartsch, Rasshofer, & Fitzek, 2012). Ook pneumatische telslangen en inductieve lussen zijn niet toepasbaar op voetgangers. Deze laatste twee technieken zijn, naast infraroodsensoren, manuele observaties en video-observaties door vaste camera's, wel toepasbaar op fietsers (Martin & Feng, 2003). Theoretisch is het ook mogelijk om verkeerstellingen van alle soorten weggebruikers, inclusies zwakke weggebruikers, uit te voeren aan de hand van dronebeelden en de computer vision technique. De pilotstudie toont aan dat de huidige software (DFS) nog niet in staat is om zwakke weggebruikers met een hoge accuraatheid te detecteren door de beperkte grootte op de videobeelden. Binnen de paragraaf met betrekking tot accuraatheid zijn wel mogelijke alternatieven met een hogere accuraatheid aangehaald (bv. RetinaNet). Tot op heden is het dus aangewezen om te stellen dat drone-observaties voor verkeerstellingen nog voornamelijk beperkt zijn tot tellingen van gemotoriseerd verkeer.

8.1.2 Gedragsobservaties

Gedragsobservatie is een zeer breed onderzoeksdomein dat focust op alle aspecten van verkeersgedragingen van weggebruikers. Het wordt binnen de verkeerskunde, zoals aangehaald in Tabel 11, ingezet voor een groot aantal mogelijke onderzoeken, gaande van snelheid, voertuigvolggedrag, foutief oversteken (jaywalking), prevalentie van een bepaald fenomeen, parkeergedrag, etc. In dit gedeelte zal specifiek worden gekeken naar snelheidsgedrag aangezien dit ook in de pilotstudie een belangrijke analyse was. Over het algemeen zijn er voor snelheidsmetingen twee onderzoekstechnieken voor handen, enerzijds kan er gewerkt worden met sensoren (intrusief en niet-intrusief), anderzijds is het ook mogelijk om snelheden van weggebruikers te berekenen op basis van videobeelden (vaste camera en/of drone) (Fitzpatrick, et al., 2009; Laureshyn, et al., 2009). Hierbij wordt gebruik gemaakt van een computer vision technique.

8.1.2.1 Beschikbare parameters

Zoals aangehaald in de voorgaande paragraaf zijn gedragsobservaties zeer breed en hebben ze betrekking tot verschillende parameters. Manuele gedragsobservaties in het veld en op basis van videobeelden zijn twee technieken die hier niet besproken worden, al zijn deze technieken ook toepasbaar in het kader van gedragsobservaties. Deze technieken spitsen zich meer toe op kijkgedrag bij oversteken, jaywalking, etc. Voor snelheid zijn deze manuele observatietechnieken niet gebruikelijk. De computer vision techique kan ingezet worden voor snelheidsmetingen, al zijn de mogelijkheden nog veel breder (Laureshyn, et al., 2009). Voor andere beschikbare parameters van deze techniek wordt verwezen naar de andere paragrafen in dit onderzoek aangezien de computer vision technique bij elke analyse wordt toegepast en besproken.

Naast de computer vision technique is het ook zeer gebruikelijk om sensoren in te zetten voor het bepalen van snelheden. Sensoren zoals pneumatische telslangen, radars, infraroodsensoren en inductieve lussen worden hoofdzakelijk ingezet voor een combinatie van voertuigtellingen (zie paragraaf 8.1.1) en snelheidsmetingen. Ook zijn er sensoren die specifiek werden ontwikkeld voor de parameter snelheid. Een voorbeeld hiervan is de speed gun op basis van LIDAR-technologie of radartechnologie (Fitzpatrick, et al., 2009).

8.1.2.2 Voorbereiding

Aangezien voor snelheidsmetingen dezelfde technieken worden gebruikt als voor verkeerstellingen wordt voor de voorbereidingen verwezen naar paragraaf 8.1.1.2.

Het gebruik van de onderzoekstechniek aan de hand van een speed gun is wel nieuw. Ten opzichte van sensoren zoals pneumatische telslangen en vaste radars wordt een speed gun niet op eenzelfde vaste plek gemonteerd. De onderzoeker

heeft de vrijheid om zelf de speed gun te richten naar een weggebruiker. Hierbij kan er steeds een snelheidsmeting van een enkele weggebruiker worden uitgevoerd. Anders dan bij andere sensoren is dit meer een vorm van een manuele observatie aan de hand van een technologisch hulpmiddel. Er dienen dan ook steeds een of meerdere observanten met een speed gun aanwezig te zijn in het studiegebied om snelheidsmetingen uit te voeren. Tijdens de voorbereidingen is het van belang om het aantal observanten te selecteren en de locaties te bepalen waar de snelheidsmetingen zullen worden uitgevoerd.

8.1.2.3 Dataverzameling

Ook deze stap van het onderzoeksproces voor snelheidsmetingen is sterk gelijkend aan die van verkeerstellingen, hiervoor wordt dus ook verwezen naar vorig hoofdstuk, specifiek naar paragraaf 8.1.1.3.

Een groot verschil tussen de methodes is de duurtijd van de metingen. Zoals aangehaald bij verkeerstellingen stijgt de representativiteit van een verkeerstelling sterk naarmate er over een langere periode wordt geteld. Hetzelfde is van toepassing op snelheidsmetingen. Hoe groter de sample, met andere woorden het aantal voertuigen waarvan de snelheid wordt gemeten, hoe hoger de betrouwbaarheid van de resultaten met betrekking tot onder andere de V_{85} (het 85-percentiel) (Oppenlander, Bunte, & Kadakia, 1961). Zo is een steekproef van 150 voertuigen nodig bij een standaarddeviatie van de snelheid van 5 mijl/per uur (8 km/u) voor de bepaling van de V_{85} op een betrouwbaarheidsinterval van 95%. Dit is ook visueel weergegeven op Figuur 104. Gelet op de beoogde steekproefgroottes kan gesteld worden dat de benodigde duurtijd van snelheidsmetingen veel lager ligt in vergelijking met de verkeerstellingen. Dit speelt dan ook in het voordeel van drone-onderzoek, aangezien er met een uur filmen al een relatief grote steekproef aan weggebruikers in beeld gebracht kan worden.

In de pilotstudie is er gebruik gemaakt van dronebeelden om achteraf met DFS, een computer vision technique, onderzoek te doen naar o.a. de snelheid. In totaal zijn er op de beelden van de OS 1359 weggebruikers achteraf gedetecteerd door DFS, waarvan 579 auto’s. Dit maakt dat een redelijk uitgebreide steekproef werd verkregen om snelheidsmetingen op uit te voeren.

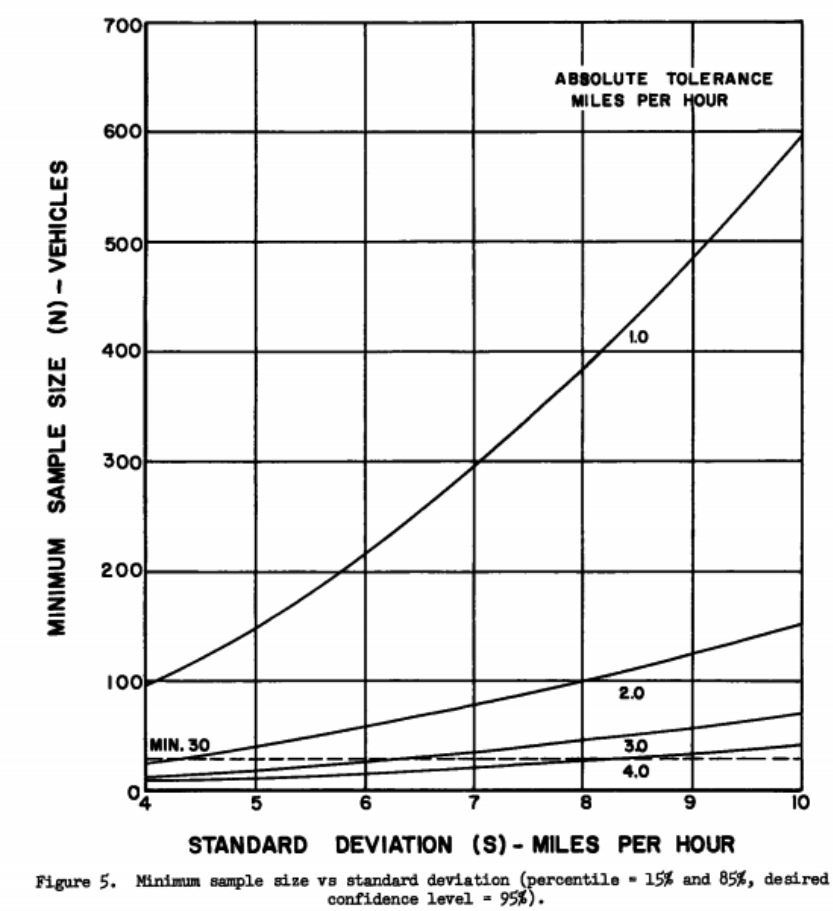


Figure 5. Minimum sample size vs standard deviation (percentile = 15% and 85%, desired confidence level = 95%).

Figuur 104: Steekproefgrootte snelheidsmeting in functie van standaarddeviatie van snelheid (Oppenlander, Bunte, & Kadakia, 1961)

Zoals aangehaald in 8.1.1.3 vindt de dataverzameling bij de meeste technieken die gebruik maken van sensoren geautomatiseerd plaats. Enkel bij het gebruik van een speed gun vindt er een manuele dataverzameling plaats. De observant richt hierbij de speed gun manueel op een weggebruiker (Dwarampudi & Kkakumanu, 2013). Vervolgens stuurt de speed gun een bepaalde soort golf uit, meestal infraroodgolven. Deze straling wordt vervolgens door de bewegende weggebruiker gereflecteerd en terug opgevangen door de speed gun. Door de reflectie van de golven door de weggebruiker treedt een wijziging op van de frequentie van de golf, dit is het Dopplereffect. Deze wijziging kan opgevangen worden door de speed gun, aan de hand van deze data wordt de snelheid berekend. Deze snelheid is meteen zichtbaar voor de observant en dient gerapporteerd en/of opgeslagen te worden om later gebruikt te worden in de dataverwerkingsfase.

8.1.2.4 Dataverwerking

De dataverwerking bij zowel de onderzoekstechnieken op basis van sensoren alsook op basis van videobeelden loopt volledig geautomatiseerd via verschillende algoritmes. Zoals getoond op Figuur 103, een voorbeeld van een pulsenreeks, bestaat de ruwe data van een pneumatische telslang uit data met betrekking tot pulsenreeksen die worden gecreëerd indien een weggebruiker over de telslang

rijdt. Voor een snelheidsmeting worden twee telslangen op een gekende afstand geplaatst van elkaar (Goossens, et al., 2007). Aan de hand van algoritmes kan zo de snelheid berekend worden door de afstand tussen de telslangen te delen door het tijdsverschil tussen twee opeenvolgende pulsen op beide telslangen. Bij een radar of infraroodsensor wordt niet gewerkt met pulsenreeksen, wel met het zenden en ontvangen van golven. Door de aanwezigheid van het Dopplereffect zal de frequentie van deze golven wijzigen en kan de snelheid bepaald worden (Dwarampudi & Kkakumanu, 2013). Aan de hand van algoritmes wordt dus bepaald wat het verschil is tussen de uitgezonden en ontvangen frequenties en worden snelheden bepaald. Deze kunnen vervolgens verder worden geanalyseerd op basis van beschrijvende en/of toetsende statistiek.

In de pilotstudie is er geen gebruik gemaakt van sensoren, maar zijn snelheden onderzocht aan de hand van dronebeelden die geanalyseerd werden door DFS. Dit is een voorbeeld van een computer vision technique waarmee een onderzoeker op een volledig geautomatiseerde manier data kan verkrijgen met betrekking tot o.a. de snelheid. Binnen DFS zijn er enkele methodes om data met betrekking tot snelheden te verwerken. Er kan geopteerd worden om snelheden ter hoogte van telpoorten weer te geven. Het gaat hierbij over puntmetingen, vergelijkbaar met metingen door sensoren. Een andere mogelijkheid is om snelheden te analyseren aan de hand van een heatmap. Hierbij berekent DFS de gemiddelde snelheid op elke punt van het videobeeld. Aan de hand van een kleurschakering, zoals te zien op Figuur 61, worden locaties met hogere en lagere snelheden voor een of meerdere vervoersmodi weergegeven. Tot slot kan er ook gewerkt worden met actiezones. Hierbij heeft de onderzoeker een mogelijkheid om een actiezone te tekenen op de beelden. Indien voertuigen deze actiezone op de beelden betreden, dan wordt o.a. hun gemiddelde, minimale en maximale snelheid gerapporteerd.

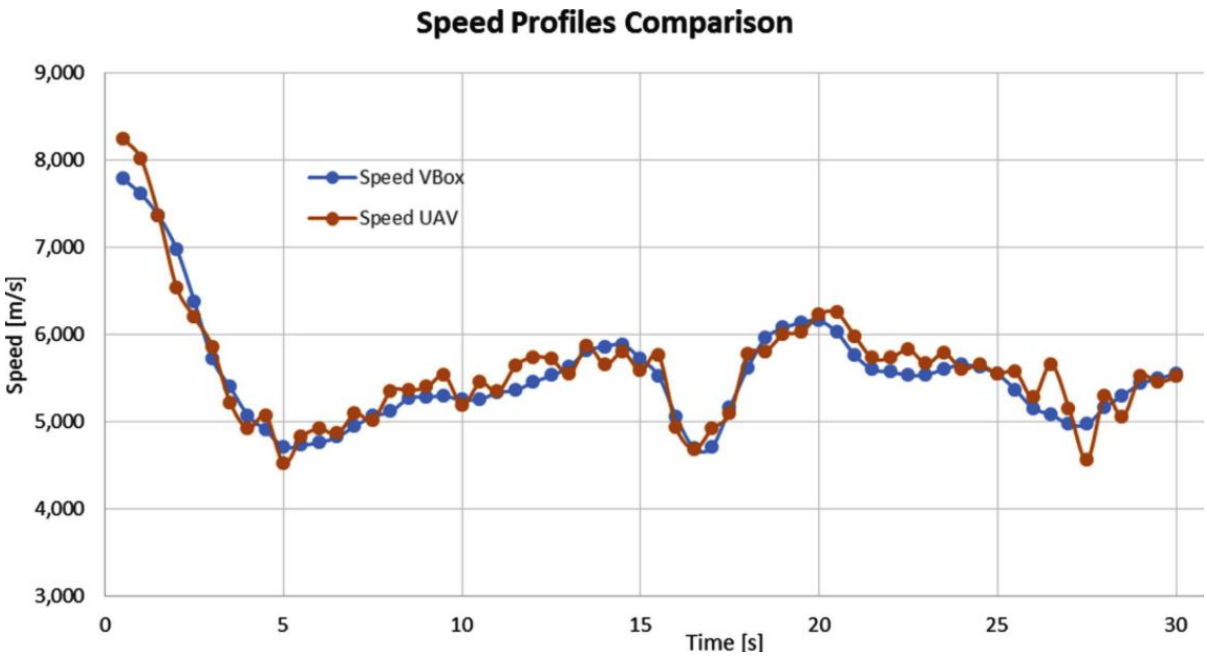
Op het vlak van dataverwerking voor snelheden van de gedetecteerde weggebruikers doet DFS het redelijk goed. Een grote troef van DFS is de mogelijkheid om visueel snelheden weer te geven op een heatmap. Dit is niet alleen zeer handig in het analyseproces, ook op het vlak van communicatie richting stakeholders biedt dit een grote meerwaarde. Wel dient ook hierbij vermeld te worden dat DFS slechts snelheden kan analyseren van de weggebruikers die in een vorige stap werden gedetecteerd en gevolgd. Indien men dus op zoek is naar specifieke data met betrekking tot zwakke weggebruikers kiest men idealiter voor een video-observatie met een vaste camera. De voornaamste reden hiervoor is dat de accuraatheid van detectie van zwakke modi bij vaste camera's hoger is door een lagere hoogte en een zijaanzicht op de beelden.

8.1.2.5 Accuraatheid

De accuraatheid van de verschillende onderzoekstechnieken voor snelheid van weggebruikers is belangrijk om de prestaties van de technieken te kunnen afwegen ten opzichte van elkaar. In Tabel 29, aangehaald in paragraaf 8.1.1.5,

werden de accuraatheden van snelheidsmetingen aan de hand van sensoren en videobeelden al kort aangehaald. Volgens onderzoek van Colonna et al. (2007) zijn de percentuele meetfouten voor de snelheid het kleinste bij radars op basis van het Dopplereffect, bij passieve akoestische sensoren en bij een magnetometer. Inductieve lussen blijken samen met actieve infraroodsensoren en de computer vision technique een meetfout van kleiner dan 10% op te leveren. Pneumatische tellussen daarentegen scoren minder goed volgens dit onderzoek. Recenter onderzoek van Adnan et al. (2013) stelt dat de accuraatheid van pneumatische tellussen wel hoger ligt dan vermeld door Colonna et al. (2007). Een vergelijking tussen snelheidsdata via GPS en via pneumatische telslangen levert een gemiddelde absolute percentuele fout (MAPE) van 7,12% op. Uitgedrukt in de grootheid van snelheid is dit een gemiddelde absolute fout (MAE) van 1,5 km/u en een gemiddelde kwadratische afwijking van 2,74 km/u (RMSE). Adnan et al. (2013) hebben verder ook snelheidsdata via GPS vergeleken met snelheidsdata van een speed gun (LIDAR). Dit leverde een MAPE van 9,35%, een MAE van 3,36 km/u en een RMSE van 4,4 km/u. Ten opzichte van de pneumatische telslang is dit iets slechter.

Naast de accuraatheid van snelheidsmetingen met sensoren dient de accuraatheid van de computer vision techniques ook onderzocht te worden. In de literatuurstudie met betrekking tot drone-onderzoek werd al dieper ingegaan op de accuraatheid van snelheidsmetingen (zie paragraaf 4.3). Uit onderzoek van Guido et al. (2016) blijkt dat snelheid met een hoge accuraatheid kan bepaald worden door gebruik te maken van een computer vision technique. Resultaten van een test naar de correlatie tussen snelheidsdata via GPS en via de toegepaste computer vision technique (op basis van ruimte-tijd diagram) tonen correlatiecoëfficiënten tussen 0,96 en 0,98. De gemiddelde percentuele kwadratische afwijking ligt tussen de 3,57% en 3,96%. Een vergelijking tussen de snelheidsprofielen van de VBOX (GPS) en de data op basis van dronebeelden is weergegeven op Figuur 105. Verder hebben Barmpounakis et al. (2019) een vergelijkende studie gemaakt tussen OBD-data (On-Board Diagnostics poort van het voertuig) en snelheidsdata gegenereerd door DFS op basis van dronebeelden. Op basis van het onderzoek kan gesteld worden dat de accuraatheid van snelheidsmeting in DFS sterk afhankelijk is van de georeferentie en de stabilisatie van de beelden. Hoewel er wordt verwacht dat ook de hoogte van de drone een effect zou hebben op eventueel aanwezige meetfouten blijkt dit in werkelijkheid niet zo te zijn. Doorheen het onderzoek wordt een maximaal percentueel snelheidsverschil van 6,71% waargenomen. Dit komt overeen met een maximale meetfout van 3,1 km/u. Een statistische t-test laat echter zien dat de data van de OBD en van DFS niet significant verschillen op een betrouwbaarheidsinterval van 90%.



Figuur 105: Vergelijking snelheidsprofiel VBOX en computer vision technique o.b.v. UAV (Guido, et al., 2016)

Verder toont een studie van Javadi, Dahl en Pettersson (2019) aan dat de accuraatheid van snelheidsmetingen op basis van videobeelden van een vaste camera, ten opzichte van de dronebeelden, nog hoger ligt met gemiddelde meetfouten van 2,17% en 1,77% voor beelden met respectievelijk 30 en 50 frames per seconden. Dit toont aan dat ook de framerate van de beelden een invloed heeft op de accuraatheid van de snelheidsmeting. In de studie werden ook andere computer vision technieken toegepast zoals een model op basis van 'optical flow', dit gaf resultaten met gemiddelde meetfouten tussen 6,1% en 1,12% (Lan, et al., 2014).

8.1.2.6 Complexiteit

In paragraaf 8.1.1.6 werd aangehaald dat de complexiteit bij verkeerstellingen met sensoren sterk afhangt van het type sensor dat wordt gebruikt. Dezelfde conclusies op het vlak van complexiteit kunnen getrokken worden bij het gebruik van sensoren voor het uitvoeren van snelheidsmetingen. Over het algemeen kan gesteld worden dat snelheidsmetingen met sensoren relatief eenvoudig in de uitvoering zijn. Gedurende de dataverzameling zijn er weinig inspanningen nodig van de onderzoeker. Ook achteraf, tijdens de dataverwerking, zorgt specifieke software voor het inlezen en het analyseren van de data voor een lage complexiteit. Het enige aandachtspunt bij deze onderzoekstechnieken is het feit dat de installatie van de sensoren en andere apparatuur de nodige handelingen vereisen. De kallibratie van de sensoren kan hierbij zorgen voor een verhoging van de complexiteit.

In dit hoofdstuk werd ook het gebruik van speed guns aangewend als bruikbare onderzoekstechniek om snelheidsmetingen uit te voeren. Ook deze methode heeft

een lage complexiteit. Een speed gun is eenvoudig om te hanteren waardoor de onderzoeker op een snelle en eenvoudige manier snelheidsmetingen kan uitvoeren. Er zijn voor deze methode ook geen voorafgaande installaties en andere handelingen nodig.

De computer vision technique wordt ook voor snelheidsmetingen als een van de meer complexe technieken gezien omwille van de combinatie tussen complexe juridische en organisatorische procedures voor de beeldverzameling (vaste camera of drone) en de verwerking door complexe algoritmes en modellen. Met de pilotstudie kan wel aangetoond worden dat de beeldverwerking met DFS, in het kader van snelheidsmetingen, relatief vlot verloopt. Voor de analyse van snelheden kunnen grafische voorstellingen zoals een heatmap van snelheden gebruikt worden, dit toont aan dat er ook steeds meer gebruiksvriendelijke computer vision technieken beschikbaar zijn.

8.1.2.7 Toepasbaarheid

Sensoren en computer vision technieken vormen in het kader van gedragsobservaties een brede toepasbaarheid. Wel moet rekening gehouden worden met randvoorwaarden die eerder ook al in paragraaf 8.1.1.7 werden beschreven. Voor vaste camera's en drones zijn deze randvoorwaarden voornamelijk van juridische, ruimtelijke en organisatorische aard. In theorie kunnen vaste camera's en drones praktisch op elke locatie worden toegepast, gaande van scholen in stedelijke gebieden tot scholen langs drukke gewestwegen. Het waarborgen van de veiligheid, vooral in het kader van een dronevlucht, is hierbij wel steeds belangrijk. De praktische toepasbaarheid van drones in het kader van snelheidsmetingen, ten opzichte van o.a. verkeerstellingen, blijkt wel groter aangezien de lengte van het vereiste beeldmateriaal kleiner is.

Op het vlak van sensoren kan ook gesteld worden dat de toepasbaarheid relatief breed is. Afhankelijk van de gekozen sensortechniek zijn er verschillen in toepasbaarheid naargelang het aantal rijstroken, de verkeersintensiteit, snelheid, het type onderzoeksgebied (rechte rijbaan vs. kruispunt), de weersomstandigheden, het type weggebruiker, etc. (Cocu, 2019a; Cocu, 2019b; Bartsch, Rasshofer, & Fitzek, 2012; Martin & Feng, 2003). Voor een nadere toelichting van deze factoren wordt verwezen naar paragraaf 8.1.1.7. Specifiek gelet op de toepasbaarheid van speed guns kan geconcludeerd worden dat ook deze techniek een brede toepasbaarheid kent, al wordt deze ook beperkt door enkele randvoorwaarden. Zo stellen Adnan et al. (2013) dat er bij hoge verkeersintensiteiten moeilijkheden onstaan om de snelheden van alle weggebruikers op te meten, mede doordat de speed gun telkens manueel op een weggebruiker moet gericht worden. Ook is het belangrijk dat er in het studiegebied duidelijke en open zichtlijnen aanwezig zijn om snelheden te kunnen opmeten met de speed gun. Naast duidelijke zichtlijnen is ook de afstand tot de weggebruiker belangrijk. Afhankelijk van het type speedgun en de gebruikte techniek, LIDAR of

radar, ligt de effectieve meetafstand tussen de 60 meter en 3 kilometer, al is de meetafstand voor normale personenwagens vaak beperkt tot maximaal 1 kilometer. Verder moet ook nog rekening gehouden worden met het feit dat ook bij speedguns occlusie en valse detecties kunnen voorkomen, een nadeel dat ook van toepassing is op vaste radarsystemen (Cocu, 2019a).

Tot slot wordt ook nog gekeken naar de toepasbaarheid van dronebeelden voor andere soorten gedragsobservaties, denk hierbij aan bijvoorbeeld de prevalentie van het dragen van een helm door fietsers of het fenomeen jaywalking. Tot op heden worden de mogelijkheden voor dergelijke geautomatiseerde analyses binnen DFS beperkt door het gebrek aan een accurate detectie en tracking van (zwakke) weggebruikers. Huidige technologische ontwikkelingen zoals o.a. YOLO, UAV-YOLO, RetinaNet, R-CNN, etc. tonen wel sterke verbeteringen in de detectie en tracking van weggebruikers op videobeelden (vaste camera en drone). Op basis van deze trends kan er naar de toekomst toe met een relatief grote zekerheid worden voorspeld dat ook meer geavanceerde en geautomatiseerde gedragsobservaties met behulp van computer vision technieken mogelijk zullen worden.

8.1.3 Verkeersstromen

Het doel van een onderzoek naar verkeersstromen is het verkrijgen van data met betrekking tot herkomst-bestemmingsrelaties van verkeersdeelnemers (Krishnakumari, et al., 2020). Deze data geeft inzicht in het verloop van de verkeersstromen. Rond scholen is dit een belangrijke analyse aangezien verkeersstromen met een hoge intensiteit kunnen zorgen voor een verlaging van de verkeersveiligheid, in het bijzonder voor zwakke weggebruikers. Als resultaat van deze analyse worden herkomst-bestemmingsmatrices (OD-matrices) bekomen. Daarnaast is het ook mogelijk om doorstroming te onderzoeken aan de hand van deze methode. Hierbij worden de OD-matrices uitgebreid met reistijddata tussen herkomst- en bestemmingslocaties (Yang, et al., 2017). Aan de hand van variaties in deze reistijd kan het effect van bijvoorbeeld het einde van de schooldag geanalyseerd worden.

In Tabel 11 werd een samenvatting gegeven van de onderzoekstechnieken die kunnen toegepast worden om een OD-matrix van een onderzoeksgebied te bepalen. Dit kan onder andere met volgende onderzoekstechnieken: manuele observaties, bevragingen (enquête of verplaatsingsdagboek), kentekenonderzoek, computer vision technique of big data (Krishnakumari, et al., 2019; Kuwahara & Sullivan, 1987; Wang & Mei, 2018; Savrasovs & Pticina, 2017). Aangezien een verkeersanalyse rond scholen over het algemeen focust op een studiegebied op microniveau zijn technieken zoals bevragingen aan de hand van een verplaatsingsdagboek en big data minder gebruikelijk. In dit hoofdstuk is dan ook geopteerd om verder te werken met courante en breed geaccepteerde technieken zoals manuele observaties, kentekenonderzoek en de computer vision technique (toegepast op dronebeelden).

8.1.3.1 Beschikbare parameters

Zoals aangehaald in de vorige paragraaf is het belangrijkste, vaak ook enige resultaat van alle beschreven technieken, de OD-matrix van het studiegebied. Deze matrix geeft een duidelijk beeld op de herkomst- en bestemmingsrelaties van de verschillende weggebruikers (Krishnakumari, et al., 2020). Door de OD-relaties van individuele weggebruikers te aggregeren kunnen de aanwezige verkeersstromen in het studiegebied geanalyseerd worden. Hiernaast is het zoals eerder aangehaald ook mogelijk om OD-travel-time-matrices op te stellen (Yang, et al., 2017). Deze matrices hebben dezelfde vorm als de standaard OD-matrices, al wordt hier ook de reistijd en variatie van de reistijd mee in opgenomen.

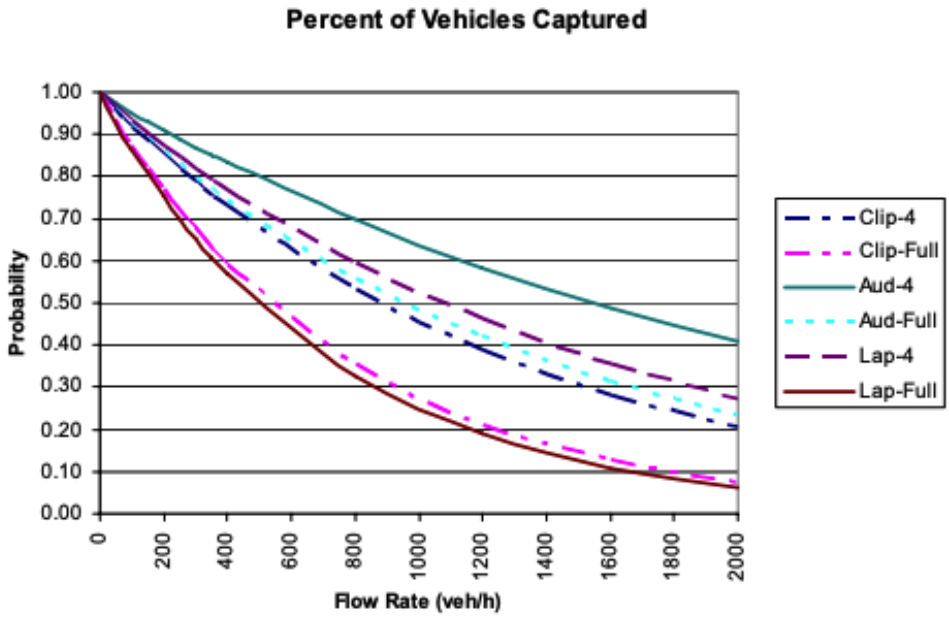
Enkele bij manuele observaties en bij de computer vision technique kunnen er buiten OD-matrices ook andere parameters onderzocht worden. Dit is in werkelijkheid niet gebruikelijk aangezien manuele observaties voor het opstellen van OD-matrices een relatief complexe methode is in grotere en/of complexe studiegebieden.

8.1.3.2 Voorbereiding

Alvorens de voorbereidingen voor het onderzoek te kunnen starten is het belangrijk om de keuze van de onderzoekstechniek af te stemmen ten opzichte van het studiegebied. Zowel bij manuele observaties als bij de computer vision technique op basis van dronebeelden, is het te bestuderen onderzoeksgebied beperkt in grootte. Bij manuele observaties dient een observant steeds zicht te hebben op de herkomst- en bestemmingslocaties van weggebruiker omwille van het feit dat de observant de OD-relatie van een weggebruikers visueel moet kunnen waarnemen om deze te rapporteren. Ook kan er geopteerd worden om in- en uitgaande weggebruikers te tellen, hierbij is een specificatie van de in- en uitgangen van het studiegebied nodig. Bij een drone-onderzoek wordt het studiegebied over het algemeen beperkt door de beeldhoek van de gebruikte camera, al kan er geopteerd worden om beelden van meerdere drones te combineren. De benodigde voorbereidingen voor voorgaande technieken zijn eerder al beschreven in paragraaf 8.1.1.2. Tijdens de pilotstudie werd duidelijk dat enkel de ovonde en de parking langs de school in eenzelfde beeld ondergebracht kon worden. Delen zoals de Grote Hemmenweg etc. werden niet gefilmd. Indien men OD-matrices voor een groter studiegebied wil bepalen, is men aangewezen op een kentekenonderzoek.

Indien er wordt geopteerd voor een kentekenonderzoek moeten er bijkomende keuzes gemaakt worden. Een kentekenonderzoek is gebaseerd op het linken van kentekens die worden gerapporteerd aan een herkomstlocatie en aan een bestemmingslocatie. Bijgevolg is er nood aan een methode om deze kentekenplaten te registreren. Dit is mogelijk aan de hand van verschillende methodes, namelijk: manueel op papier, manueel via audio, manueel op een laptop, manueel op basis van videobeelden en geautomatiseerd op basis van videobeelden (ANPR) (Guy & Fricker, 2005; Turner, et al., 1998). De keuze van methode en de benodigde voorbereiding hangt voornamelijk af van de voertuigintensiteiten in het studiegebied. Figuur 106 geeft de rapportageratio van kentekenplaten aan in functie van de verkeersintensiteit. Een audiorapportage blijkt de methode te zijn waarmee het meeste kentekenplaten, ongeacht de verkeersintensiteit, kunnen gerapporteerd worden. De manuele rapportage op papier of op een laptop kennen gelijkaardige prestaties. Op Figuur 106 wordt ook een onderverdeling gemaakt naar aantal karakters van de kentekenplaat die gerapporteerd worden. Voor een kentekenonderzoek op microniveau is het niet nodig om de volledige kentekenplaat te rapporteren. Een totaal van vier karakters (telkens dezelfde vier) is voldoende om kentekenplaten achteraf te kunnen linken aan elkaar. Naar privacywetgeving, zie ook paragraaf 8.2, geeft dit ook voordelen aangezien er met slechts vier karakters geen sprake is van een verwerking van persoonsgegevens. Naast vorige methodes kan er ook geopteerd worden om te werken met manuele kentekenrapportage op basis van videobeelden, hiervoor dient op elke herkomst- en bestemmingslocatie een vaste videocamera te worden geplaatst om de passerende weggebruikers met kentekenplaat vast te leggen op

beeld. Dergelijk techniek met vaste videocamera's kan ook uitgebreid worden naar een geautomatiseerde kentekenplaatherkenning. Hiervoor is men aangewezen op zogenaamde ANPR-systemen (Automatic Number Plate Recognition) (Patel, Shah, & Patel, 2013).



Figuur 106: Rapportageratio in functie van verkeersvolume voor kentekenonderzoek (Guy, & Fricker, 2005)

De benodigde voorbereidingen zijn bijgevolg sterk afhankelijk van de gekozen techniek. Indien er wordt gewerkt met vaste videocamera's moeten verschillende juridische en organisatorische stappen, gelijkaardig aan de voorbereiding van een dronevlucht, doorlopen worden. Bij manuele observaties is het belangrijk om de verschillende locaties waar observanten dienen plaats te nemen af te bakenen. Het aantal observatielocaties heeft vervolgens ook invloed op het benodigde aantal observanten, aangezien op elke locatie minimaal een observant moet plaatsnemen. Ook moet het materiaal voor rapportage van kentekenplaten (papieren formulieren, laptop, audiorecorder) beschikbaar gesteld worden.

8.1.3.3 Dataverzameling

Het verloop van de dataverzameling kan, afhankelijk van de gekozen techniek, onderverdeeld worden in een manuele dataverzameling en in een geautomatiseerde dataverzameling. Bij een kentekenonderzoek aan de hand van een ANPR-systeem is er sprake van een geautomatiseerde dataverzameling. Dit is ook het geval indien er wordt gewerkt met de computer vision technique, al is er bij deze techniek wel nood aan een fysieke aanwezigheid in het studiegebied voor het besturen van de drone. De dataverwerking achteraf is daarentegen wel volledig geautomatiseerd. Bij de andere beschreven technieken, zowel bij de manuele observaties als bij de manuele kentekenonderzoeken, gebeurt de dataverzameling

wel volledig manueel, al dan niet op de locatie (manuele kentekenrapportage op basis van videobeelden).

Bij een manuele dataverzameling bepaalt de keuze voor al dan niet een kentekenonderzoek het verloop. Bij manuele observaties zonder kentekenregistratie observeren de observanten in het studiegebied de route die een individuele weggebruiker aflegt of worden in- en uitgaande bewegingen doorheen het studiegebied geteld. Afhankelijk van de gekozen methode wordt een rapportage opgesteld die per individuele weggebruiker aangeeft wat de herkomst- en bestemmingslocatie van de desbetreffende weggebruiker is. Dit is vergelijkbaar met de werkwijze van een kruispunttelling, al kan er in dit geval ook sprake zijn van meerdere kruispunten en/of rotondes. Indien er wordt geopteerd voor een manueel kentekenonderzoek rapporteert elke observant de kentekenplaat van de passerende voertuigen aan zijn of haar observatiepunt. Het aantal karakters dat genoteerd wordt is afhankelijk van eerder gemaakte keuzes, al is het voldoende om vier karakters te noteren. De methode van rapportage kan hierbij, zoals eerder aangehaald, ook verschillen tussen een rapportage op papier, op een laptop of een auditieve rapportage aan de hand van een audiorecorder.

Bij de technieken op basis van videobeelden worden op de mogelijke herkomst- en bestemmingslocaties passerende weggebruikers, inclusief hun kentekenplaat, gefilmd. Op basis van de videobeelden kan de onderzoeker achteraf de kentekenplaten van de passerende weggebruikers rapporteren. Indien er wordt gekozen voor een geautomatiseerde dataverzameling worden de beelden voorbereid om verwerkt te worden aan de hand van specifieke software voor de extractie van kentekens.

Een belangrijke factor die bepalend is voor de representativiteit van de bekomen OD-matrices en/of OD-travel-time-matrices is de duurtijd van de dataverzameling. In het kader van deze analyse wordt er niet gewerkt met voorgeschreven duurtijden, wel met een voorgeschreven aantal weggebruikers in de steekproef. Het minimaal aantal observaties voor het bepalen van de proportie van de weggebruikers die een bepaalde herkomst-bestemmingsrelatie hebben kan volgens Schaefer (1988) met volgende statistische formule bepaald worden:

$$n = \frac{p * q * z^2}{e^2}$$

Met:

- n = aantal benodigde kentekenobservaties
- p = geschatte proportie van een verkeersstroom (vaak op 0,5)
- z = betrouwbaarheidsniveau (95%, z=1,96, tweezijdig)
- q = 1-p
- e = foutenmarge (5%)

Op basis van deze formule, met een aangenomen proportie van 0,5 en met een betrouwbaarheidsniveau van 95%, wordt een minimaal aantal kentekenobservaties van 384 kentekens bekomen (Guy & Fricker, 2005). Hierbij wordt wel geen rekening gehouden met de verkeersintensiteiten in het studiegebied. Guy & Fricker (2005) halen aan dat het aantal benodigde kentekenobservaties daalt naarmate de verkeersintensiteit stijgt. Hetzelfde minimale aantal is ook van toepassing op andere onderzoekstechnieken die worden ingezet om OD-matrices te bepalen. Hieruit volgt dan ook dat de OD-matrices in de pilotstudie, gezien er op de ovonde voertuigintensiteiten tot 470 pae/uur werden waargenomen, als representatief beschouwd kunnen worden in het kader van voertuigstromen. Voor OD-travel-time-matrices ligt het statistisch minimum voor het aantal kentekenobservaties over het algemeen lager. Zo geven Shuldiner, D'Agostino en Woodson (1996) aan dat een minimum van 50 gelinkte kentekens nodig is om de variatie in reistijden op een statistisch correctie manier te kunnen bepalen (Turner, et al., 1998).

8.1.3.4 Dataverwerking

Bij manuele observaties zonder kentekenregistratie focust de dataverwerking op het analyseren van de gerapporteerde herkomst-bestemmingsrelaties van individuele weggebruikers. Hierop kunnen verschillende analyses worden uitgevoerd. Om een totaalbeeld te verkrijgen van de verkeersstromen kan o.a. het totaal aantal weggebruikers op een bepaalde herkomst-bestemmingsrelatie worden bepaald. Door dit toe te passen op elke herkomst-bestemmingsrelatie krijgt de onderzoeker zicht op de omvang van de verschillende verkeersstromen. Enkel wanneer er geopteerd wordt voor tellingen van in- en uitgaande weggebruikers is het niet mogelijk om specifieke OD-relaties te analyseren, hierbij kan enkel data met betrekking tot in- en uitgaande weggebruikers geanalyseerd worden.

Bij een kentekenonderzoek is het proces van dataverwerking uitgebreider. Een eerste belangrijke stap is de transcriptie van de kentekens die werden gerapporteerd. Hierbij worden de gerapporteerde karakters van iedere kentekenplaat ingegeven op een computer (bv. in MS Excel). Guy en Fricker (2005) geven aan dat dit een zeer tijdrovend proces is bij grote hoeveelheden aan kentekens, zeker wanneer kentekens worden getranscribeerd op basis van videobeelden. Eens de transcriptie is afgerond wordt een volledig lijst aan kentekens per herkomst- en bestemmingslocatie bekomen. Hetzelfde proces vindt ook plaats bij kentekenonderzoeken aan de hand van een ANPR-systeem, al is hier geen sprake van een manuele transcriptie. Op basis van technieken zoals artificiële neurale netwerken, optische karakterherkenning (OCR), fuzzy based algoritmes, etc. worden karakters van kentekenplaten automatisch herkend op basis van videobeelden en gerapporteerd in een lijst (Patel, Shah, & Patel, 2013). Om op basis van deze lijsten een OD-matrix samen te stellen dient er gezocht te worden naar overeenkomstige kentekens tussen herkomstlocaties en

bestemmingslocaties. Hiervoor is gespecialiseerde software beschikbaar. Een voorbeeld van dergelijke software is het programma 'Kenteko' van de Nederlandse softwareleverancier Trenso (Trenso, 2021).

Voor de bepaling van OD-matrices met behulp van een computer vision technique worden verschillende algoritmes toegepast op de verzamelde dronebeelden van het studiegebied. In DFS worden OD-matrices opgesteld op basis van trajectoriën van weggebruikers (DataFromSky, 2021). Deze trajectoriën geven de afgelegde weg doorheen de tijd weer van een bepaalde weggebruiker. Om een OD-matrix op te stellen kan een onderzoeker binnen DFS op elke gewenste plaats een telpoort plaatsen. Deze telpoorten worden vervolgens geannoteerd als herkomstpoort (Entry) of bestemmingspoort (Exit). De plaatsing van deze poorten wordt door DFS gebruikt om trajectoriën van weggebruikers te zoeken die aan een bepaalde herkomstpoort het studiegebied binnenkomen en aan een andere bestemmingspoort het gebied verlaten. Een groot voordeel van DFS hierbij is het feit dat niet enkel het aantal weggebruikers op een bepaalde herkomst-bestemmingsrelatie wordt weergegeven, ook data zoals de gemiddelde verplaatsingstijd, de minimale en maximale verplaatsingstijd, de mediaan van de verplaatsingstijd en de standaarddeviatie van de verplaatsingstijd worden berekend. Hierdoor wordt het ook mogelijk om variaties in verplaatsingstijden te analyseren en uitspraken te doen over mogelijke doorstromingsproblemen.

In de analyse van de pilotstudie, terug te vinden in paragraaf 6.6, zijn er ook OD-matrices opgesteld voor het gemotoriseerde verkeer en voor fietsers. Voor het gemotoriseerde verkeer is geopteerd om de inkomende en uitgaande takken van de ovonde telkens als respectievelijk herkomst- en bestemmingspoort op te nemen. Hierdoor kunnen de stromen op de ovonde, een kritisch punt in het onderzoeksgebied, geanalyseerd worden. Aangezien de detectie van bewegende gemotoriseerde voertuigen relatief goed is in DFS heeft deze analyse goede en bruikbare resultaten opgeleverd. Dezelfde methode is ook toegepast voor fietsers, hierbij is er geopteerd om de herkomst- en bestemmingspoorten te situeren op de fietspaden langs de school. In paragraaf 6.2 werd al aangehaald dat de detectie van zwakke weggebruikers binnen DFS niet betrouwbaar is. Ook werden problemen met het tracken van zwakke weggebruikers aangehaald. Aangezien OD-matrices in DFS gebaseerd zijn op trajectoriën is het niet mogelijk om betrouwbare OD-matrices van zwakke weggebruikers op te stellen. Uit de OD-matrix van fietsers is wel gebleken, op basis van de trajectoriën die wel zijn geëxtraheerd door DFS, dat er een grote stroom aan fietsers gesitueerd is tussen de Grote Hemmenweg en de Kleine Hemmenweg/Ovonde. Dergelijke data kunnen gebruikt worden om eventuele onveilige situaties op het fietspad te verklaren en om verdere aanbeveling naar verkeersveiligheid te doen.

8.1.3.5 Accuraatheid

Voor OD-matrices gebaseerd op manuele observaties zonder gerapporteerde kentekens is in de literatuur weinig tot geen informatie te vinden met betrekking tot accuraatheden. Een verklaring hiervoor is het feit dat deze techniek enkel kan worden toegepast in kleine, niet complexe studiegebieden waarbij observanten de herkomst-bestemmingsrelaties van individuele verkeersdeelnemers volledig kunnen waarnemen. Dit beperkt de toepasbaarheid van dergelijke methode waardoor deze ook niet veel voorkomt in wetenschappelijk onderzoek. Gelet op de accuraatheid kan gesteld worden dat deze visuele methode gevoelig is aan fouten, bijgevolg zullen naar verwachting dan ook lagere accuraatheden in vergelijking tot andere technieken bekomen worden.

De accuraatheid van OD-matrices aan de hand van een kentekenonderzoek hangt af van verschillende factoren. Bij manuele rapportages van kentekens (op papier, auditief of via een laptop) kunnen op twee momenten in het proces fouten optreden. Dit is enerzijds bij de rapportage van de kentekenplaten die visueel worden waargenomen door de observanten (in het studiegebied of op basis van videobeelden), anderzijds kunnen ook fouten optreden bij het transcriberen van de kentekens. Guy en Fricker (2005) hebben onderzoek gedaan naar dergelijke fouten die kunnen optreden, de resultaten zijn weergegeven in Tabel 30. Op basis van deze resultaten kan geconcludeerd worden dat rapportages van kentekens (4 karakters) op papier weinig tot geen fouten opleveren. Ook de transcriptie ervan blijkt geen fouten op te leveren in het onderzoek. Er wordt wel aangehaald dat in werkelijkheid wel kleine fouten kunnen optreden, een voorbeeld hiervan is het verwisselen van een "O" en "Q" of een "6" en "8". De methode aan de hand van audio-opnames blijkt het grootste percentage aan fouten op te leveren, al is dit nog altijd beperkt. Tabel 30 toont ook aan dat er bij een rapportage aan de hand van een laptop geen transcriptie meer nodig is nadien, dit reduceert eventuele fouten die kunnen voorkomen bij de transcriptie. Bij videobeelden wordt er vooraf geen rapportage van kentekens uitgevoerd, hierbij wordt er meteen overgegaan tot een transcriptie van kentekens die visueel worden waargenomen op videobeelden. De fouten hierbij blijken zeer laag te zijn voor zowel vier karakters als volledige kentekens, dit toont aan dat ook deze methode zeer betrouwbaar in gebruik is.

Tabel 30: Fouten als gevolg van veldrapportage en transcriptie van kentekens (Guy, & Fricker, 2005)

	Field		Transcription	
Method	4-Char	Full	4-Char	Full
Clipboard	0.0%	3.0%	0.0%	1.5%
Audio	3.0%	4.0%	1.5%	0.5%
Laptop	2.9%	3.7%	n/a	n/a
Video	n/a	n/a	0.3%	0.7%

Als er wordt gekeken naar de accuraatheid van geautomatiseerde systemen voor nummerplaatherkenning kan besloten worden dat de accuraatheid van de extractie

van de kentekens afhangt van de gebruikte algoritmes. In totaal kunnen er op drie momenten fouten optreden, bij de detectie van een voertuig, bij de detectie van de kentekenplaat en bij de extractie van karakters op de kentekenplaat (Gnanaprakash, Kanthimathi, & Saranya, 2021). Aan de hand van een ImageAI framework hebben Gnanaprakashn, Kanthimanthi & Saranya (2021) een model getraind voor automatische kentekenregistratie. Gelet op de accuraatheid van het model kan geconcludeerd worden dat de detectie van voertuigen een accuraatheid had van 98,5%, de kentekenplaatdetectie een accuraatheid van 97% en de optische karakter herkenning een accuraatheid van 96,7%. Het onderzoek van Jørgensen (2017) toont op basis van YOLOv2 systeem een accuraatheid van 99,8% in kentekenplaatdetectie en 97,8% voor karakterherkenning. Nog een ander systeem, op basis van een Raspberry Pi en een SSD-MobileNet systeem toont een accuraatheid van de karakterherkenning van 98,57% (Ghadage & Khedkar, 2020). Op basis van deze resultaten kan geconcludeerd worden dat de accuraatheden van huidige ANPR-systemen zeer hoog liggen, al is er enige variatie zichtbaar naargelang het gebruikte model.

Zoals aangehaald zijn OD-matrices die bepaald worden op basis van dronebeelden en een computer vision technique gebaseerd op geëxtraheerde trajectoriën van weggebruikers. De accuraatheid wordt bijgevolg bepaald door de accuraatheid van de detectie en tracking van deze weggebruikers. In paragraaf 8.1.3.4 werd al aangehaald dat de OD-matrix voor gemotoriseerde voertuigen in de pilotstudie, opgemaakt aan de hand van DFS, relatief goed is. De OD-matrix voor fietsers heeft een beduidend lagere betrouwbaarheid door een gebrek aan accuraatheid in detectie en tracking van zwakke weggebruikers. Specifieke cijfers met betrekking tot accuraatheden van het volgen van weggebruikers door DFS zijn niet beschikbaar. Wel kan gekeken worden naar wetenschappelijk onderzoek rond dit topic. Voor de accuraatheid van trajectoriën kunnen verschillende evaluatiemethodes gebruikt worden. Een daarvan is de 'multiobject-tracking accuracy' (MOTA) (Kim, et al., 2019). MOTA wordt opgebouwd op basis van drie fouten: ratio van gemiste voertuigen/trajectoriën, vals positieve trajectoriën (een trajectorie wordt gegenereerd terwijl dit niet overeenkomt met de werkelijkheid) en mismatches (trajectorie wordt opengebroken en een nieuwe trajectorie wordt gestart). In het onderzoek van Kim et al. (2019) wordt de MOTA van hun zelf ontwikkelde model, gebaseerd op een R-CNN, berekend, dit levert een MOTA van 89,9% op. Dit kan als een redelijk resultaat beschouwd worden, al blijken de vals positieve detecties en mismatches de accuraatheid omlaag te halen.

8.1.3.6 Complexiteit

Op het vlak van complexiteit is het niet eenvoudig om uitspraken te doen over een rangschikking van de verschillende technieken. Voor kleine en eenvoudige studiegebieden is de manuele observaties zonder kentekenregistratie de meest eenvoudige methode. Hierbij dienen observanten enkel visuele waarnemingen of in- en uitgaande tellingen uit te voeren en deze te rapporteren. Echter, bij grotere

en/of bij drukkere en/of bij complexe studiegebieden ligt de complexiteit beduidend hoger. In dit geval is het bijna onmogelijk om als observant alle herkomst-bestemmingsrelaties van voertuigen waar te nemen. Bij dergelijke toepassing kan er gesproken worden over een zeer hoge complexiteit en zal deze methode niet geschikt zijn. Gelet op verdere analyses blijkt deze methode wel te beschikken over een lage complexiteit aangezien een onderzoeker op een relatief korte tijd zonder al te veel inspanningen zicht kan krijgen op de verkeersstromen.

Bij een kentekenonderzoek hangt de complexiteit af van factoren zoals: de methode van dataverzameling, de transcriptie, de gebruikte software en/of technieken voor het linken van kentekens, het al dan niet gebruiken van vaste camera's en het al dan niet gebruiken van een ANPR-systeem. Bij manuele kentekenonderzoeken kan geconcludeerd worden dat de complexiteit van de dataverzameling laag is, al is er afhankelijk van het studiegebied een groot aantal observanten nodig (Turner, Eisele, et al., 1998). Enkel bij een manuele dataverzameling op basis van videobeelden wordt de complexiteit verhoogd door juridische en praktische werkzaamheden voor het plaatsen van de camera's aan elke herkomst- en bestemmingslocatie. Ook de transcriptie van kentekens bij een manuele dataverzameling betreft een methode met een lage complexiteit, dit proces is wel tijdrovend. Voor ANPR-systemen is het ook nodig om bij elke ingang en uitgang van het studiegebied camera's te plaatsen. Dit is een eerste factor die zorgt voor een verhoogde complexiteit. Verder moeten de videobeelden ook geanalyseerd worden door specifieke software of eigen ontwikkelde modellen. Afhankelijk van het feit of er gebruik gemaakt wordt van een commercieel softwarepakket is de kentekenplaatherkenning een complex proces. Tot slot dienen kentekenplaten ook nog worden gelinkt aan elkaar om te komen tot een OD-matrix. Dit proces kan ook uitgevoerd worden door commerciële software (bv. Kenteko) of door middel van een eigen model. Afhankelijk van de keuze is een degelijke technische kennis vereist.

De complexiteit van drone-onderzoek aan de hand van een computer vision technique werd eerder al besproken in paragraaf 8.1.1.6. Voor drone-onderzoek in het kader van een analyse van verkeersstromen rond o.a. scholen is dit gelijkaardig aan de complexiteit van deze toepassing voor verkeerstellingen. Specifiek gelet op de toepassing voor onderzoek naar verkeersstromen is de kwaliteit van videobeelden nog belangrijker. Om bruikbare OD-matrices op te stellen dient een zo groot mogelijk studiegebied in beeld gebracht te worden. Ook is het belangrijk dat alle gewenste in- en uitgangen duidelijk in beeld worden gebracht, aangezien hier virtuele poorten moeten geplaatst worden, in sommige gevallen kan dit de complexiteit verhogen. Gelet op de pilotstudie bleek dit niet eenvoudig omdat de beeldhoek van de gebruikte camera beperkt is. Daardoor moest er nauwkeurig gezocht worden naar een goede camerahoek om alle gewenste in- en uitgangen in beeld te brengen.

8.1.3.7 Toepasbaarheid

Over het algemeen kan men besluiten dat de toepasbaarheid van manuele observaties van herkomst-bestemmingsrelaties zonder kentekenregistratie laag is. Voor kleine studiegebieden, zoals een kruispunt of rotonde, kan deze techniek toegepast worden. In grote en/of in complexe studiegebieden is de haalbaarheid te laag om toegepast te kunnen worden. Over het algemeen kan dan ook gesteld worden dat een kentekenonderzoek of een onderzoek met een computer vision technique geschikter is.

Kentekenonderzoeken kennen een brede toepasbaarheid. Kentekenonderzoeken kunnen op elk niveau worden toegepast, gaande van een analyse van de verkeersstromen in een schoolomgeving tot de verkeersstromen van een stad tot nationale verkeersstromen. De gebruikte methode van het kentekenonderzoek verschilt wel volgens het niveau van het studiegebied. Turner et al. (1998) en Savrasovs en Pticina (2017) stellen dat manuele kentekenonderzoeken op basis van kentekenobservaties in het veld zeer geschikt zijn voor lokale studies op microniveau. Voor grotere studiegebieden zou het aantal benodigde observanten te hoog worden, wat nadelig is voor de haalbaarheid. In dergelijke gevallen is men aangewezen op methodes zoals manuele transcripties van kentekens op basis van videobeelden of op geautomatiseerde systemen. Voor onderzoeken op nationaal niveau zijn dergelijke technieken niet toepasbaar, dan is men aangewezen op bevragingen (bv. verplaatsingsdagboek) of op analyses met behulp van big data. De praktische haalbaarheid van deze laatste twee technieken is niet onderzocht, aangezien dit niet van toepassing is op onderzoek rond schoolomgevingen.

Een van de enige grote nadelen van een kentekenonderzoek is de toepasbaarheid op verschillende transportmodi. Aangezien de techniek is gebaseerd op kentekens kan het enkel en alleen toegepast worden op weggebruikers met een kentekenplaat. Het is daarom uiterst geschikt voor de bepaling van OD-matrices van gemotoriseerde voertuigen (auto, vrachtwagen, bus, motorfiets, bromfiets, speed pedelec, etc.). Op zwakke weggebruikers is deze techniek niet toepasbaar. Dit is een niet te overzien nadeel dat zeker in rekening gebracht dient te worden bij de keuze van onderzoekstechniek. Indien men OD-matrices van zwakke weggebruikers wenst te bepalen is men aangewezen op manuele observaties (lage toepasbaarheid) of computer vision technieken.

De toepasbaarheid van drone-onderzoeken aan de hand van computer vision technieken is al eerder besproken in paragraaf 8.1.1.7. Geconcludeerd kan worden dat de praktische haalbaarheid, mits de juiste veiligheidsvoorzieningen en juridische administratie, gemiddeld tot goed is. Een beperking van de methode is de grootte van het studiegebied. De methode is dan ook niet toepasbaar om verkeersstromen in grotere studiegebieden te onderzoeken. Het gebied dat in de pilotstudie werd onderzocht heeft een maximale grootte, gegeven de gebruikte camera. Er kan geopteerd worden om met een breedhoeklens te filmen, al dient

rekening gehouden te worden voor vervormingen van het beeld en een verhogende ground sampling distance (zie 6.2). Ook wordt het filmgebied vergroot wanneer men op grotere hoogte gaat filmen. Er kan ook geopteerd worden om te werken met twee of meer drones die tegelijk delen van het studiegebied filmen, al moeten de beelden dan achteraf aan elkaar geplakt worden om verwerkt te kunnen worden in DFS (Rolink & Baudet, 2020). Hier is ook een beperking die van toepassing is, namelijk de huidige beperkte accuraatheid van detectie en tracking van zwakke weggebruikers. De pilotstudie en ander wetenschappelijk onderzoek heeft aangetoond dat de extractie van trajectoriën van bewegende gemotoriseerde voertuigen relatief goed is (Kim, et al., 2019). Er kan bijgevolg gesteld worden dat drone-onderzoek voor analyses van verkeersstromen van gemotoriseerde voertuigen toepasbaar is. Tot op heden is de toepasbaarheid op zwakke weggebruikers met DFS matig tot slecht. Hiervoor dient men terug te gaan naar andere onderzoekstechnieken, met inbegrip van o.a. manuele veldobservaties en/of bevragingen.

8.1.4 Modal split

Voor de bepaling van de modal split van een school zijn over het algemeen drie onderzoekstechnieken beschikbaar: manuele observaties (in het veld of op basis van videocamera's), bevragingen (handopsteking of enquête) en de computer vision technique (Sersli, Rothman, & Winters, 2019). Deze onderzoekstechnieken hebben allemaal het doel om data met betrekking tot het verplaatsingsgedrag van de woon-schoolverplaatsingen te verkrijgen. Het gaat hierbij voornamelijk om de verdeling van het gebruik van specifieke vervoersmodi ten opzichte van het totaal aantal verplaatsingen (European Commission, 2021).

8.1.4.1 Beschikbare parameters

De verdeling van het aantal verplaatsingen per vervoersmodi ten opzichte van het totaalaantal verplaatsingen is de voornaamste paramater binnen de toepassing van de beschreven onderzoekstechnieken voor de modal split. Het aantal beschikbare parameters die onderzocht kunnen worden met de beschreven onderzoekstechnieken ligt hoger. Zo kunnen manuele observaties voor andere doeleinden worden ingezet, denk hierbij aan verkeerstellingen, gedragsobservaties, conflictobservaties, etc. Ook bevragingen aan de hand van enquêtes of handopsteking kunnen gebruikt worden om data met betrekking tot andere parameters te verzamelen. Net hetzelfde is van toepassing op de computer vision technique. Het is wel zo dat de onderzoekstechnieken een specifieke aanpak vereisen voor specifieke parameters. Een manuele veldobservatie die wordt ingezet voor de bepaling van de modal split zal over het algemeen enkel voor deze parameter gebruikt kunnen worden. Bij enquêtes en handopsteking heeft de vraagstelling een grote invloed op de parameters die verzameld kunnen worden. De bevraging kan bijgevolg uitgebreid worden om extra gegevens te verzamelen. Ook bij manuele observaties op basis van videobeelden en bij de computer vision technique op basis van videobeelden kunnen er op basis van dezelfde videobeelden analyses worden uitgevoerd om extra parameters te extraheren.

8.1.4.2 Voorbereiding

Er zijn sterke verschillen in de benodigde voorbereiding tussen de beschreven technieken. Voor een onderzoek aan de hand van drones en de computer vision technique zijn er verschillende juridische en organisatorische procedures die dienen doorlopen te worden. Aangezien deze net hetzelfde zijn als bij andere analyses wordt verwezen naar paragraaf 8.1.1.2 en naar het hoofdstuk met betrekking tot de opzet van de pilotstudie (3.1).

Bij het gebruik van manuele observaties voor de bepaling van de modal split bestaat de voorbereiding voornamelijk uit het bepalen van de locaties waar observanten dienen plaats te nemen om de verkeersstromen te observeren. Aangezien het belangrijk is dat, in het geval van scholen, alle leerlingen worden

geobserveerd, dienen alle toegangswegen richting de schoolpoort geobserveerd te worden. Observanten moeten dan ook zo gepositioneerd worden dat deze goede zichtlijnen hebben op deze toegangswegen. Het aantal observanten wordt voornamelijk bepaald door het aantal toegangswegen en de ruimtelijk indeling van het studiegebied. Verder moet ook een briefing/training voor observanten worden uitgewerkt zodoende een correcte observatie kan plaatsvinden.

De voorbereidingen met betrekking tot bevragingen van de modal split spitsen zich toe op het uitwerken van een vragenlijst/formulier. Indien er wordt gewerkt met handopsteking in de klas volstaat een formulier waarop de onderzoeker/leerkracht het aantal leerlingen per modi kan rapporteren. Bij een rechtstreekse bevraging van leerlingen of ouders dient een vragenlijst (op papier of online) opgesteld te worden. In enkele gevallen, bij studie op een hoger niveau, kan gewerkt worden met een steekproeftrekking. Dit vormt dan ook een onderdeel van de voorbereiding. In het kader van een enkele school is de steekproef vaak gelijk aan de populatie waardoor deze stap niet aan de orde is. Tot slot is het van groot belang om de toestemming en medewerking te verkrijgen van de betrokken school. In het geval van een handopsteking in de klas is het van belang om leerkrachten van de juiste instructies te voorzien.

8.1.4.3 Dataverzameling

Bij zowel de manuele observaties als bij de bevragingen wordt de data met betrekking tot de modal split rechtstreeks verzameld tijdens de uitvoering van het onderzoek. Bij manuele observaties rapporteren de observanten het aantal leerlingen die met een bepaalde vervoersmodus naar school komen. Zoals eerder aangehaald is het van groot belang om alle toegangswegen richting de schoolpoort te observeren zodat de vervoersmodus van alle leerlingen wordt gerapporteerd. Dit is ook van belang bij het uitvoeren van een onderzoek aan de hand van een drone. De drone dient gedurende de vlucht zo gepositioneerd te worden dat een zo groot mogelijk gebied rond de school gefilmd kan worden. Idealiter worden alle toegangswegen, inclusief parkings, in de buurt van de school gefilmd om zo alle stromen te kunnen analyseren en om onderscheid te kunnen maken tussen een voetganger en een leerling die met de auto is afgezet. In de pilotstudie was dit echter niet helemaal mogelijk door het beperkte filmgebied van de drone. Zo kon de parking langs de Grote Hemmenweg niet in beeld gebracht worden. Dit is een huidige beperking waarmee zeker rekening moet gehouden worden in de toekomst om zo strategische keuzes te maken bij de positionering van de drone.

Enkele belangrijke factoren tijdens de dataverzameling zijn de duurtijd en frequenties van de observaties. Afhankelijk van de school komen leerlingen vroeg of laat aan in de ochtend. Om alle leerlingen te kunnen observeren dient de observatieperiode afgestemd te worden op deze tijdstippen. In de pilotstudie werd geopteerd om een half uur voor de start van de school de dronevlucht aan te vatten. Op basis van de analyse blijkt dit een goed startpunt om alle leerlingen te

observeren. Idealiter wordt de observatie pas 10 tot 20 minuten nadat de lessen zijn begonnen gestopt, dit om laatkomers ook te kunnen observeren. Naast duurtijd is ook de frequentie van de observaties belangrijk. Onderzoek van Macdonald et al. (2019) toont aan dat de keuze van vervoersmodus voor de woon-schoolverplaatsing sterk afhankelijk is van factoren zoals het weer en het seizoen. Bij droog weer en hogere temperaturen is de kans dat een leerling een actieve vervoersmodus (fiets, te voet, ...) kiest, hoger. Om de representativiteit van de modal split te verhogen is het dus aan te raden om op meerdere dagen, gedurende een langere periode, modal split metingen uit te voeren.

De dataverzameling aan de hand van handopsteking in de klas is een zeer eenvoudige methode van dataverzameling. De leerkracht vraagt hierbij aan de leerlingen om hun hand op te steken wanneer hun gebruikte vervoersmodus wordt aangehaald door de leerkracht. Door middel van deze methode kan de modal split per klas op minder dan vijf minuten worden achterhaald. Bij bevragingen aan de hand van een papieren of online vragenlijst worden leerlingen en/of ouders aangeschreven om de modal split van de leerling door te geven. Een belangrijk aandachtspunt hierbij is het vermijden van een hoge non-responsgraad, een veelvoorkomend bias dat kan resulteren in een vertekening van de resultaten (Alvarez & VanBeselaere, 2005; Sersli, Rothman, & Winters, 2019).

8.1.4.4 Dataverwerking

Bij manuele observaties en bij bevragingen zijn de data die verkregen worden uit de dataverzameling meteen bruikbaar om hiermee verdere analyses uit te voeren. Het gaat hierbij voornamelijk over het ordenen van de data, het uitrekenen van de modal split op basis van de verkregen cijfers en het visueel voorstellen van de verkregen resultaten aan de hand van o.a. grafische voorstellingen.

De dataverwerking aan de hand van de dronebeelden met de computer vision technique is veel complexer in vergelijking met de vorige methodes. In de pilotstudie is hiervoor de software van DFS gebruikt. Uit de resultaten kan geconcludeerd worden dat het tot op heden niet mogelijk is om een correcte modal split te bepalen aan de hand van DFS. Aan de grondslag hiervan ligt de lage accuraatheid van de detectie van fietsers en voetgangers. Ook is de accuraatheid van de tracking van deze zwakke modi niet voldoende om te kunnen werken met OD-matrices ter hoogte van de schoolpoort, dit is nochtans nodig om inschattingen te kunnen maken met betrekking tot leerlingen die volledig te voet komen of met de auto afgezet worden. Indien de accuraatheden van de detectie en tracking van zwakke modi naar de toekomst toe gaat verbeteren, dan zal het wel mogelijk worden om een correcte modal split te bepalen. Er kan dan gebruik gemaakt worden van de methode aan de hand van OD-matrices, beschreven in paragraaf 6.5.2.

8.1.4.5 Accuraatheid

Binnen de wetenschappelijke literatuur is weinig terug te vinden omtrent de accuraatheid van de modal split van bijvoorbeeld scholen op basis van manuele observaties. Het is dus niet eenvoudig hierover uitspraken te doen. Wat wel al veelvuldig is onderzocht is de accuraatheid van manuele verkeerstellingen. De data voor de modal split is in theorie niks anders dan een combinatie van tellingen en classificaties van weggebruikers. Zheng en Mike (2012) tonen aan dat telfouten over het algemeen kleiner dan 1% zijn bij manuele tellingen. Voor classificaties van weggebruikers ligt de fout op 4 tot 5%. Dit komt voornamelijk door moeilijkheden in het classificeren van gemotoriseerde voertuigen. Echter is de classificatie tussen verschillende gemotoriseerde voertuigen bij de berekening van de modal split van scholen minder van belang, de classificatiefouten zullen hierdoor ook lager liggen.

Bij de onderzoekstechniek die gebruik maakt van een computer vision technique op basis van dronebeelden wordt de accuraatheid voornamelijk bepaald door de detectie en tracking van weggebruikers. Hiervoor wordt verwezen naar de uiteenzetting in paragraaf 8.1.1.5. Specifiek voor de modal split kan gesteld worden, op basis van de pilotstudie, dat de detectie accuraatheden en de accuraatheden van de tracking tot op heden veel te laag liggen met DFS om een correcte modal split te bepalen. Verder wordt de accuraatheid van de modal split ook bepaald door het onderzoeksgebied dat te zien is op de beelden. Bij een beperkt zichtbaar onderzoeksgebied is het vaak moeilijk om duidelijk te bepalen met welke vervoersmodi een leerling naar school is gekomen (cfr. parking Grote Hemmenweg). Hierdoor kunnen de cijfers onterecht in het voordeel van bv. voetgangers uitdraaien.

Bij bevragingen (handopsteking, enquête, etc.) wordt de accuraatheid van de modal split bepaald door de rapportage van de respondenten. De betrouwbaarheid en validiteit van de specifieke methode voor de bevraging zijn hierbij dus belangrijk. Onderzoek van De Wit et al. (2012) toont aan dat bevragingen aan de hand van handopsteking een hoge betrouwbaarheid en validiteit kennen. De Cohen's kappa test, een maat voor overeenkomst tussen antwoorden, toont een bijna perfecte overeenkomst tussen gegevens van twee afzonderlijke bevragingen van dezelfde leerlingen met handopstekingen (κ = 0,96, 95% [CI] = 0,92-1,00) en tussen een bevraging van leerlingen met handopsteking en een bevraging van hun ouders (κ = 0,91, 95% [CI] = 0,85-0,98). Verder hebben Sersli, Rothman en Winters (2019) onderzoek gedaan naar het niveau van overeenkomst (Bland-Altman Limits of Agreement for Paired Comparisons) tussen bevragingen met handopsteking, familie-enquêtes en manuele observaties. Hieruit blijkt een goede overeenkomst tussen handopstekingen en familie-enquêtes. Tussen handopstekingen en manuele observaties en tussen familie-enquêtes en manuele observaties blijken minder goede overeenkomsten, te wijten aan o.a.

moeilijkheden rond het onderscheid tussen auto en te voet. De resultaten van dit onderzoek zijn weergegeven in Tabel 31.

Tabel 31: Resultaten Bland-Altman Limits of Agreement for Paired Comparisons: Handopsteking, familie-enquête en manuele observaties (Sersli, Rothman, & Winters, 2019)

Mode	N†	Mean difference (95% CI)	95% limits of agreement	
			Lower limit	Upper limit
Hands Up and family survey methods				
Walk	29	−4.1 (−6.4, −1.9)	−15.6	7.3
Car	29	3.9 (1.6, 6.2)	−7.8	15.7
Bicycle	29	0.2 (−0.5, 1.0)	−3.7	4.1
Hands Up and observational count methods				
Walk	29	−8.0 (−14.2, −1.9)	−40.0	23.9
Car	29	7.4 (1.0,13.8)	−25.6	40.5
Bicycle	29	0.6 (−0.1, 1.3)	−2.9	4.2
Family survey and observational count methods				
Walk	32	−4.2 (−9.8, 1.5)	−34.9	26.6
Car	32	3.7 (−2.2, 9.7)	−28.6	36.1
Bicycle	32	0.5 (−0.5, 1.4)	−4.5	5.5

CI, confidence interval.
†N = 29 where 3 schools did not return Hands Up data in Year 1.

8.1.4.6 Complexiteit

Zoals eerder beschreven in paragraaf 8.1.1.6 hebben onderzoeken met behulp van drones en de computer vision technique in de meeste gevallen een hogere complexiteit in vergelijking met manuele observaties. Ook de complexiteit van bevragingen ligt over het algemeen lager. Bij een drone-onderzoek zorgen de juridische en organisatorische voorbereidingen voor een hogere complexiteit. Ook de analyses aan de hand van computer vision technieken dragen bij aan de complexiteit, al is dit beperkt met een commercieel softwarepakket zoals DFS. De methode met de laagste complexiteit voor de bepaling van de modal split is overduidelijk de handopsteking in de klas. Deze eenvoudige methode geeft op zeer korte tijd (maximaal 5 minuten per klas) een betrouwbaar resultaat. Hierbij worden ook veel minder moeilijkheden ondervonden die bij de andere methodes wel duidelijk aanwezig zijn. Bij bevragingen aan de hand van een enquête moeten alle leerlingen en/of ouders bereikt worden, dit is niet altijd even eenvoudig. Ook het participatie bias (non-respons) speelt mee in de complexiteit van deze methode. Tot slot is de locatiebepaling van observanten en telpoorten voor respectievelijk manuele observaties en drone-observaties (met de computer vision technique) niet eenvoudig in grote studiegebieden met veel toegangswegen. Nochtans is een strategische locatiebepaling essentieel om accurate resultaten te bekomen. In de pilotstudie was dit laatste argument echter niet van toepassing, de bepaling van de locaties van telpoorten was relatief duidelijk. Wel zijn er

toegevingen gedaan door o.a. de parking op de Grote Hemmenweg niet te filmen door het beperkte filmgebied.

8.1.4.7 Toepasbaarheid

Een groot voordeel van bevragingen (handopsteking, enquêtes, etc.) voor de bepaling van de modal split van een school is de brede toepasbaarheid. Deze techniek is namelijk niet gebonden aan een specifiek onderzoeksgebied. In eender welke school kan een bevraging worden uitgevoerd met dezelfde vragenlijst of hetzelfde rapportageformulier voor handopstekingen. Dit maakt dat deze techniek ook uiterst geschikt is om ingezet te worden in een onderzoek op grotere schaal (meerdere scholen tegelijk).

Zoals aangehaald in paragraaf 8.1.1.7 bestaan er verschillende juridische en praktische randvoorwaarden die, al dan niet in grote mate, de toepasbaarheid van een drone-onderzoek beperken. Onder juridische randvoorwaarden wordt het verkrijgen van een vergunning en toestemming voor het vliegen in een geografische UAS-zone verstaan. De praktische randvoorwaarden hebben meer betrekking op het studiegebied. Zo moet het mogelijk zijn om veilig te kunnen opstijgen en landen met de drone. Hiervoor is voldoende open ruimte nodig. Ook zorgt een beperkt filmgebied ervoor dat de grootte van het studiegebied beperkt is. Voor zeer grote scholen/campussen met verschillende ingangen en/of veel toegangswegen kan dit voor serieuze beperkingen zorgen. Niettegenstaande kan er met een dronevlucht wel een veel groter studiegebied worden afgebakend ten opzichte van een enkele fysieke observant. Een ander probleem dat momenteel nog bijdraagt aan een lagere toepasbaarheid van drone-onderzoek voor de bepaling van de modal split is de ondermaatse detectie en tracking van zwakke weggebruikers. Op basis van de pilotstudie kan geconcludeerd worden dat drone-onderzoek, gezien de huidige capaciteit van DFS, nog niet toepasbaar is voor een correcte bepaling van de modal split.

Tot slot wordt de toepasbaarheid van manuele observaties in het kader van de modal split bepaald door o.a. de complexiteit van het onderzoeksgebied. Naarmate er meer toegangswegen richting de school zijn en/of de school meer ingangen heeft zijn meerdere observanten nodig. Voor observanten zijn duidelijke en open zichtlijnen belangrijk om adequate observaties uit te voeren. Wel kan over het algemeen gesteld worden dat manuele observaties praktisch in elk studiegebied kunnen toegepast worden, wat maakt dat dit een breed toepasbare methode is voor de bepaling van de modal split. Er moet wel rekening mee gehouden worden dat dit een tijdsintensieve methode is, wat de toepasbaarheid in een onderzoek op grotere schaal (meerdere scholen) bemoeilijkt.

8.1.5 Conflictobservaties

Zoals onderzocht in de literatuurstudie (zie 4.6.1.1) worden conflictobservaties gebruikt om ongevallen op een bepaalde locatie te voorspellen. Deze voorspellingen zijn gebaseerd op surrogaat verkeersveiligheidsindicatoren (Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018). Het doel van conflictobservaties is bijgevolg het bepalen van waardes voor deze surrogaat verkeersveiligheidsindicatoren om zo het aantal ongevallen te kunnen voorspellen. Zoals geconcludeerd in Tabel 11 zijn er twee breed geaccepteerde manieren om conflictobservaties uit te voeren, enerzijds aan de hand van traffic conflict techniques (TCT) (manuele observaties in het veld of op basis van videobeelden) en anderzijds door middel van de computer vision technique.

8.1.5.1 Beschikbare parameters

Zoals aangehaald worden conflictobservaties gebaseerd op surrogaat verkeersveiligheidsindicatoren om zo het aantal ongevallen te kunnen voorspellen. Zowel de TCT als de computer vision technique maken gebruik van dergelijke surrogaat indicatoren. Afhankelijk van de gebruikte TCT of computer vision technique worden andere indicatoren gebruikt. Zo wordt er bij de DOCTOR gebruik gemaakt van time-to-collision (TTC) en/of post-encroachment-time (PET), in combinatie met een subjectieve beoordeling van de consequenties die er zouden zijn mocht een bijna-ongeval resulteren in een daadwerkelijke aanrijding (Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018). Bij de Zweedse TCT wordt dan weer gebruik gemaakt van de time-to-accident (TA), een adaptatie van de TTC en de conflictsnelheid (CS) (Laureshyn & Vàrhelyi, 2018). In de wetenschappelijke literatuur zijn echter nog veel andere surrogaat indicatoren terug te vinden die gebruikt worden voor conflictobservaties, denk hierbij aan de TIT, TET, TTZ, DST, DR, etc. Binnen een onderzoek op basis van manuele observaties kunnen de observaties echter ook verder worden uitgebreid naar andere analyses/parameters. Deze zijn beschreven in de voorgaande paragrafen.

Net zoals bij de manuele observaties kunnen computer vision technieken ingezet worden in het onderzoek naar verschillende facetten van de verkeersveiligheid. Er zijn met andere woorden veel verschillende beschikbare parameters. In het kader van conflictobservaties zijn TTC en PET de meest gebruikte indicatoren bij de computer vision technique, al kan dit uitgebreid worden naargelang de gebruikte algoritmes en/of software. In DFS, de gebruikte software binnen de pilotstudie, is een verkeersveiligheidstool beschikbaar waarmee volgende surrogaat indicatoren onderzocht kunnen worden: TTC, PET, Heavy Braking, TIT en TET. Zowel TTC, PET als Heavy Braking zijn onderzocht in de pilotstudie, terug te vinden in paragraaf 6.9.

8.1.5.2 Voorbereiding

Om te starten met het onderzoek aan de hand van conflictobservaties dient beslist te worden met welke onderzoekstechniek er zal worden gewerkt. Er zijn namelijk grote verschillen in de voorbereiding tussen de manuele conflictobservaties en de geautomatiseerde conflictobservaties aan de hand van een computer vision technique.

Geautomatiseerde conflictobservaties worden gebaseerd op videobeelden van het studiegebied. Hiervoor kan er gebruik gemaakt worden van vaste camera's, of kan men opteren om te werken met dronebeelden. Deze laatste techniek is toegepast in de pilotstudie. Zoals aangehaald in paragraaf 8.1.1.2 zijn er verschillende praktische en juridische stappen in het proces die moeten worden doorlopen alvorens een dronevlucht kan uitgevoerd worden. Het is van groot belang om deze stappen voldoende diepgaand te doorlopen om een veilige en doelgerichte dronevlucht te kunnen uitvoeren. Indien er wordt geopteerd voor observaties aan de hand van een vaste camera dienen ook juridische en praktische stappen doorlopen te worden. Er moet enerzijds toestemming van een lokale en/of publieke overheid zijn om vaste camera's te plaatsen op een niet besloten plaats. Ook dient rekening gehouden te worden met privacywetgeving aangezien er een verwerking van persoonsgegevens is doordat men mensen herkenbaar in beeld brengt (zie ook 8.2.4.7). Dit proces is ook van toepassing indien er manuele observaties worden uitgevoerd op basis van videobeelden.

Voor manuele conflictobservaties zijn andere voorbereidingen vereist. Een eerste belangrijke stap is het bestuderen van het onderzoeksgebied. Aangezien observanten in vergelijking met drones een beperkter studiegebied kunnen analyseren is het van belang om te bepalen op welke precieze locaties een conflictobservatie zal worden uitgevoerd. Idealiter wordt hierbij rekening gehouden met factoren zoals intensiteit, wegtype, eventuele verkeerslichtenregelingen, historische ongevallendata, etc. (Laureshyn & Vàrhelyi, 2018). Een andere belangrijke keuze die dient gemaakt te worden is het aantal observanten. Indien geopteerd wordt voor video-observaties is het benodigde aantal observanten laag. Als er gekozen wordt voor manuele veldobservaties, dan is het aantal observanten afhankelijk van eerder beschreven factoren zoals intensiteit, complexiteit van het studiegebied, etc. Laurenshyn en Vàrhelyi (2018) geven aan dat een enkele observant in staat is om conflictobservaties uit te voeren op een kruispunt met een intensiteit tot 22 000 voertuigen per dag, al is dit ook afhankelijk van eerder beschreven factoren.

Naast de praktische organisatie van manuele conflictobservaties is een training van de observanten essentieel om adequate resultaten te verkrijgen. Bij TCT wordt zowel gebruik gemaakt van objectieve als subjectieve indicatoren (Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018). Onder de objectieve indicatoren worden indicatoren zoals TTC, TA, PET, CS, etc. verstaan. Een observant dient dus in staat

te zijn om deze waardes te kunnen inschatten op basis van visuele waarnemingen. Voor een ongetrainde observant is dit niet evident en kan dit zorgen voor fouten in de rapportage. Een training is dus essentieel om deze inschattingen te kunnen maken. Wel heeft men bij de Zweedse TCT een omrekentabel opgesteld om op basis van snelheid en afstand tussen weggebruikers de TA in te schatten, dit blijkt een eenvoudigere manier in vergelijking met een rechtstreekse inschatting van de TA (Laureshyn & Vàrhelyi, 2018). Naast een objectieve beoordeling worden in verschillende TCT ook subjectieve beoordelingen gebruikt, een voorbeeld is de ongevalsernst in DOCTOR. Deze indicatoren vereisen dat een observant een subjectieve inschatting maakt van de ernst indien een conflict zou resulteren in een aanrijding. Ook voor dit aspect is training belangrijk om een zo goed mogelijke inschatting te maken en om te komen tot een hoge inter- en intrabeoordeler overeenkomst. Dit is van belang om veelvoorkomende problemen zoals het inter- en intra-observer bias te voorkomen (Grayson, et al., 1984).

8.1.5.3 Dataverzameling

De dataverzameling bij conflictobservaties aan de hand van dronebeelden of beelden van een vaste camera is gelijklopend met de dataverzameling bij andere analyses zoals verkeerstellingen, verkeersstromen, etc. Tijdens het onderzoek verzamelen vaste camera's en camera's gemonteerd op de drone, videobeelden van het studiegebied die nadien geanalyseerd kunnen worden.

Een belangrijke wijziging ten opzichte van andere analyses is de benodigde duurtijd aan videomateriaal of manuele observaties om conflictobservaties uit te voeren. Hydén en Vàrhelyi (2000) stellen dat een effectieve observatielengte van 30 uur voldoende is om een goed inzicht te krijgen in de conflicten in een studiegebied. Dit is echter weerlegd in recenter onderzoek dat stelt dat een minimum van 75-80 uur aan observaties nodig is om een adequaat en representatief onderzoek te verrichten naar conflicten en ongevallen (Laurenshyn, et al., 2017). Gezien de ervaringen met drone-onderzoek in de pilotstudie kan geconcludeerd worden dat een totaal van 75 tot 80 uur aan conflictobservaties quasi onmogelijk is met een drone, zowel op praktisch vlak als op financieel vlak, dit komt later nog aan bod in de business case in paragraaf 8.5. Voor vaste camera's is dit wel mogelijk aangezien deze voor een langere termijn zonder veel extra inspanningen kunnen worden geplaatst. Naast de totale duurtijd worden individuele observaties door observanten best opgesplitst in blokken van een tot twee uur (Laureshyn & Vàrhelyi, 2018). Een manuele conflictobservatie vereist een hoge staat van concentratie van de observant. Dit is zeer intensief wanneer dit moet volgehouden worden voor een langere tijd. Een te lange individuele observatieperiode kan ook zorgen voor onbetrouwbare rapportages. Daarom is het aan te raden om te pauzeren tussen blokken van observatieperiodes.

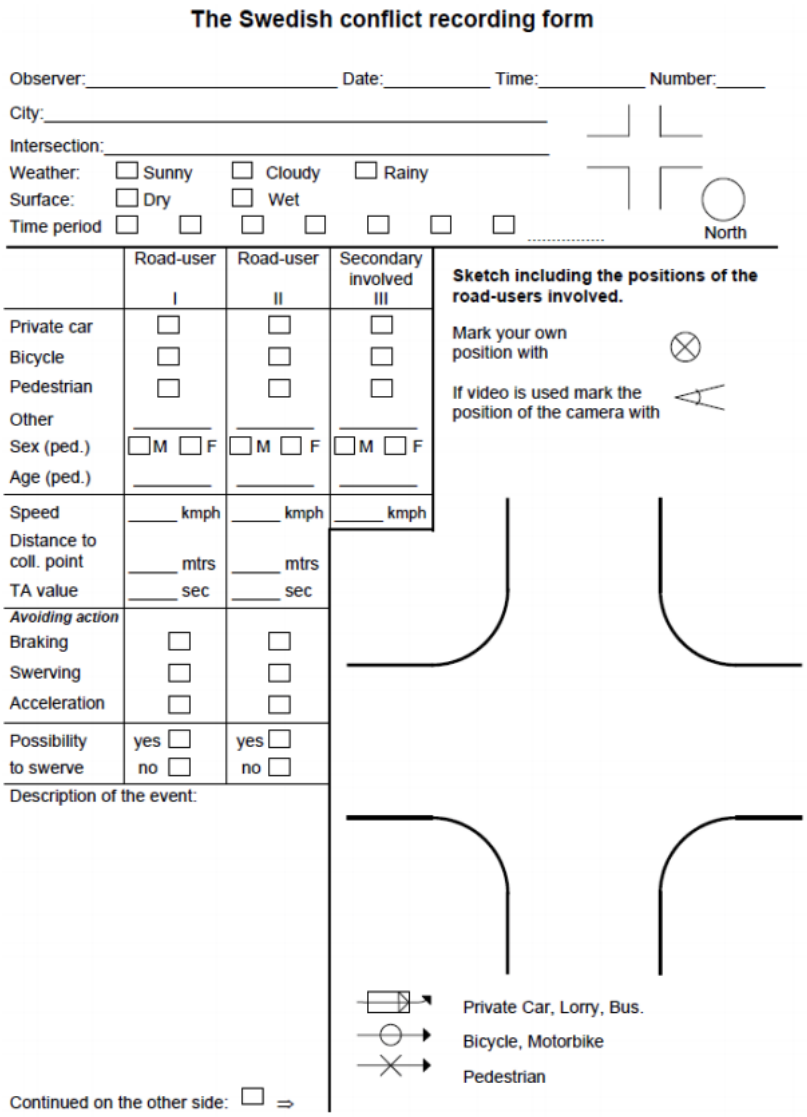
Tijdens de pilotstudie is tweemaal ongeveer 50 minuten aan beeldmateriaal verzameld met behulp van een drone. Gelet op de vereiste duurtijd van

beeldmateriaal om conflictobservaties uit te voeren kan gesteld worden dat dit veel te weinig is om een goed beeld te vormen op de conflicten. Mogelijke inschattingen van het aantal ongevallen op basis van de analyse van deze beelden zijn bijgevolg dan ook onvoldoende betrouwbaar.

De dataverzameling tijdens manuele conflictobservaties in het veld of achteraf aan de hand van videobeelden focust op een rapportage van de waargenomen conflicten in het studiegebied. Hiervoor gebruiken de getrainde observanten idealiter een rapportageformulier, een voorbeeld is te zien op Figuur 107. Om analyses achteraf mogelijk te maken zijn verschillende gegevens nodig. Laurenshyn en Vàrhelyi (2018) geven aan dat volgende gegevens dienen gerapporteerd te worden in het kader van de toepassing van de Zweedse TCT:

- Tijd;
- Type van betrokken weggebruikers;
- Type van mogelijk secundaire betrokken weggebruikers;
- Conflictsnelheid;
- Afstand tot conflictpunt;
- TA (op basis van CS en de afstand tot het conflictpunt);
- Type van uitwijkmanoeuvre;
- Een schets van de situatie;
- Een beschrijving van het conflict (al dan niet verbaal);
- Eventuele verkeersovertredingen en/of gevaarlijke gedragingen.

De hierboven beschreven gegevens zijn specifiek van toepassing op de Zweedse TCT. Afhankelijk van de gekozen TCT zullen de benodigde gegevens verschillen. Zo is er bij DOCTOR bijvoorbeeld nood aan een beoordeling van de TTC en/of PET en zijn er subjectieve beoordelingen nodig over de consequenties van het desbetreffende conflict indien dat zou evolueren naar een aanrijding. Hiervoor worden gegevens zoals het relatief snelheidsverschil tussen de betrokken weggebruikers en de beschikbare ruimte om een uitwijkmanoeuvre in te zetten gebruikt (Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018).



Figuur 107: Voorbeeld rapportageformulier Zweedse TCT (Laurenshyn, & Vàrhelyi, 2018)

8.1.5.4 Dataverwerking

Het proces van de dataverwerking is afhankelijk van de gekozen onderzoekstechniek. Bij manuele observaties worden de rapportageformulieren na afloop van de observaties (in het veld of via videobeelden) geanalyseerd. Hierbij wordt door de onderzoeker eerst een selectie gemaakt van ernstige conflicten aan de hand van bepaalde vooropgestelde randvoorwaarden, bv. een threshold voor de minimale TTC. Dit is nodig aangezien tijdens de observaties alle conflicten, ongeacht de ernst, worden gerapporteerd. Vervolgens kunnen de ernstige conflicten verder worden geanalyseerd. Hierbij gaat het o.a. over analyses naar veelvoorkomende conflicttypes, de identificatie van locaties waar veel conflicten gebeuren, de identificatie van factoren die zorgen voor conflicten, gemiddelde conflictsnelheden, etc. (Laureshyn & Vàrhelyi, 2018). In een volgende fase kunnen op basis van deze analyses conclusies worden getrokken. De analyses worden ook gebruikt om het aantal ongevallen in een bepaald studiegebied te schatten.

Indien er in het onderzoek gebruik gemaakt wordt van geautomatiseerde conflictobservaties staat deze stap, net zoals bij andere onderzoeken met de computer vision technique, in het teken van het toepassen van software/algoritmes op de videobeelden. Zoals eerder aangehaald is in de pilotstudie gebruik gemaakt van de verkeersveiligheidstool in DFS Viewer. Aan de hand van deze tool kunnen parameters zoals TTC, PET en heavy braking berekend worden. Vergeleken met bv. snelheden zijn parameters zoals TTC en PET niet meteen beschikbaar in DFS. Hiervoor dient de onderzoeker de rekenkracht van de eigen computer in te zetten. Dit maakt dat analyses voor TTC en PET een lange tijd in beslag nemen om berekend te worden. Bij de analyse van de beelden uit de pilotstudie (OS, 50 minuten beeldmateriaal) werd een totale berekentijd van ongeveer 1 minuut vastgesteld voor heavy braking. Dit is zeer snel in vergelijking tot de rekentijd die benodigd was voor TTC en PET. Op een relatief nieuwe computer werd een tijd van ongeveer 1 uur voor de TTC en 40 uur voor de PET vastgesteld. Deze lange berekeningstijd voor PET is niet te overzien en moet momenteel nog in rekening gebracht worden in de haalbaarheid voor toepassingen op langere videobeelden, zeker indien er 75-80 uur aan beeldmateriaal moet geanalyseerd worden. Naar de toekomst toe, met een verdere evolutie van de software, kan deze rekentijd naar verwachting wel ingekort worden.

Als resultaat van de berekeningen binnen de verkeersveiligheidstool van DFS wordt een lijst met conflicten verkregen. De conflicten op de lijst voldoen allemaal aan de randvoorwaarden die voor de berekening werden ingevoerd. In de analyse tijdens de pilotstudie werd zowel voor TTC als voor PET een threshold van twee seconden gebruikt. Afhankelijk van het studiegebied kunnen ook lagere of hogere waardes worden gebruikt. Voor TTC werd ook een criterium (minimaal relatief snelheidsverschil) gebruikt dat ervoor zorgt dat enkel conflicten tussen bewegende weggebruikers worden opgenomen. Voor heavy braking ligt de gebruikte threshold op -2,5 m/s^2. Door het toepassen van deze randvoorwaarden werden aan de hand van TTC, PET en heavy braking respectievelijk 346, 33 en 1359 conflictsituaties opgelijst. Er zitten tussen deze conflictsituaties ook veel situaties waarbij er geen sprake is van een echt conflict, maar eerder een normale voertuigvolgsituatie. Na een manuele revisie van de conflictenlijst kan geconcludeerd worden dat slechts 10 conflicten op basis van TTC en 14 conflicten op basis van PET als echte conflicten dienen geclassificeerd te worden. Een van de factoren die heeft gezorgd voor een onterechte classificatie van conflicten aan de hand van TTC is de foute bepaling van de bounding boxes rond de weggebruikers (zie Figuur 78). In de vorige paragrafen werd ook aangehaald dat de detectie en tracking van zwakke weggebruikers in DFS ondermaats is. Dat heeft dan ook als gevolg dat deze weggebruikers sterk ondervertegenwoordigd zijn in de geautomatiseerde conflictobservaties, dit kan dus voor een vertekening van de resultaten zorgen. Voorgaand probleem is echter minder van toepassing bij geautomatiseerde conflictobservaties op basis van beelden van een vaste camera, aangezien de accuraatheid van detectie bij dergelijke beelden hoger ligt. Op basis van deze elementen kan geconcludeerd worden dat een manuele revisie van de

conflictenlijsten steeds nodig is om echte conflicten te onderscheiden van normale verkeerssituaties. Enkel zo kan verder worden gewerkt met echte conflicten en kunnen verdere conflictanalyses worden uitgevoerd, naar analogie van het dataverwerkingsproces bij manuele conflictobservaties.

8.1.5.5 Accuraatheid

In de wetenschappelijke literatuur is zeer weinig onderzoek beschikbaar naar de accuraatheid van manuele conflictobservaties (de beoordeling van parameters zoals TTC). Het is daarom moeilijk om hier rechtstreekse uitspraken over te doen. Ook over de accuraatheden van achterliggende processen zoals het inschatten van snelheden en afstanden is weinig onderzoek beschikbaar. Wel kan er gekeken worden naar de betrouwbaarheid van beoordelingen van conflicten. Hierbij is de aan- of afwezigheid van het inter- en intra-observer bias een belangrijk element (Zheng, Ismail, & Meng, 2014). Aangezien verschillende TCT een beoordeling van zowel een objectieve indicator zoals TTC of TA vereisen in combinatie met subjectieve indicatoren zoals de consequenties is het van groot belang dat rapportages van conflicten steeds op dezelfde manier worden uitgevoerd (Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018). Zo focust het intra-observer bias op verschillen in rapportages van conflicten van een individuele observant doorheen de tijd (Hoeben, Steenbeek, & Pauwels, 2018). Het kan dus voorkomen dat een observant een specifieke situatie die meerdere keren voorkomt niet op dezelfde manier zal indelen volgens bv. ernst. Dit dient door middel van training zoveel mogelijk vermeden te worden om onbetrouwbaarheid van de resultaten te vermijden. Ook kan het voorkomen dat twee of meer verschillende observanten hetzelfde conflict anders gaan beoordelen. Hierbij wordt gesproken van het inter-observer bias, wat ook leidt tot onbetrouwbare resultaten. Om dergelijke fouten in het onderzoeksproces te vermijden kan er geopteerd worden om niet te kiezen voor manuele veldobservaties. Manuele video-observaties blijken beter geschikt aangezien zo conflictsituaties meerdere keren opnieuw bekeken kunnen worden en dit ook door meerdere onderzoekers (Zheng, Ismail, & Meng, 2014). Rapportages kunnen zo afgestemd worden tussen meerdere personen om een hogere betrouwbaarheid van de resultaten te bekomen.

Net zoals bij de accuraatheid van manuele conflictobservaties is er tot op heden weinig wetenschappelijk onderzoek naar de accuraatheden van geëxtraheerde conflictparameters op basis van de computer vision technique. De analyse van de pilotstudie laat zien dat er veel situaties onterecht als conflict worden beschouwd in DFS. Ook treden er problemen op met betrekking tot conflicten tussen zwakke weggebruikers onderling en tussen zwakke weggebruikers en gemotoriseerde voertuigen, aangezien de detectie en tracking van zwakke weggebruikers op basis van dronebeelden nog ondermaats is. Bij een toepassing op basis van een vaste camera zijn deze problemen minder prominent aanwezig als gevolg van een betere detectie en tracking.

De berekening van TTC binnen DFS is gebaseerd op snelheidsvectoren. Hierbij wordt aangenomen dat een weggebruiker aan een constante snelheid en richting blijft voortbewegen (DataFromSky, 2021). Aan de basis van de analyse ligt met andere woorden de snelheid van de verschillende weggebruikers en de richting. In paragraaf 8.1.2.5 omtrent de accuraatheid van snelheidsmetingen werd al aangehaald dat de snelheidsbepalingen van weggebruikers in DFS zeer accuraat is. In het onderzoek van Barmpounakis et al. (2019) werden verschillen in gemiddelde snelheid tot 3,1 km/u waargenomen, al waren de gemiddelde snelheden tussen de OBD-data en DFS niet significant verschillend op een betrouwbaarheidsinterval van 90%. Verdere verbeteringen van de georeferentie en videostabilisatie van de dronebeelden kunnen nog zorgen voor verbeteringen waarbij fouten in de snelheidsbepaling tot maximaal 1,2 km/u worden gereduceerd. Vanuit dit opzicht kan gesteld worden dat de snelheidsbepaling binnen DFS goed is, hierdoor zal de accuraatheid van de snelheidsvectoren ook toenemen. Wel dient opgemerkt te worden dat de accuraatheid van o.a. TTC ook afhangt van een goede detectie, een goede plaatsing van bounding boxes, etc.

Tot slot wordt er gekeken naar een vergelijking in validiteit tussen de twee besproken onderzoekstechnieken. Onder validiteit wordt de mogelijkheid om ongevallen op een betrouwbare manier te kunnen voorspellen verstaan. Een belangrijk onderzoek naar deze validiteit is de Malmö-studie van Grayson et al. (1984). Men is in deze studie tot de conclusie gekomen dat de validiteit van TCT hoger ligt in vergelijking met conflictobservaties die slechts focussen op een enkele objectieve conflictparameter (bv. TTC, PET, ...), zoals van toepassing op geautomatiseerde conflictobservaties. Dit wordt beargumenteerd doordat er aan de hand van een TCT veel rijkere informatie wordt gerapporteerd met betrekking tot het conflict (Zheng, Ismail, & Meng, 2014). Onderzoekers hebben dan ook meer data om te analyseren en om conclusies te trekken.

8.1.5.6 Complexiteit

In vergelijking tot de voorgaande analyses zijn conflictobservaties veel complexer. Inschattingen van het aantal ongevallen worden hierbij gemaakt op basis van surrogaat verkeersveiligheidsindicatoren. Deze zijn relatief complex en vereisen voldoende inzicht en kennis van onderzoekers om deze te begrijpen en te kunnen toepassen. Ook is het inschatten van bepaalde parameters zoals snelheid, afstand, beoordeling van consequenties, uitwijkmanoeuvres, etc. helemaal niet eenvoudig bij manuele observaties. Dit is dan ook de reden waarom observanten een intensieve training moeten krijgen alvorens manuele conflictobservaties kunnen worden uitgevoerd. Doorheen de jaren zijn er wel evoluties in complexiteit zichtbaar afhankelijk van de TCT, zo is de Zweedse TCT zo eenvoudig mogelijk opgesteld.

Bij een toepassing van geautomatiseerde conflictobservaties ligt de complexiteit, wanneer gebruik gemaakt wordt van commerciële software zoals DFS, lager ten

opzichte van manuele observaties. DFS berekent de gewenste surrogaat indicator en lijst deze vervolgens op volgens waarde. De onderzoeker kan zo, op basis van bepaalde thresholds, de lijst met conflicten filteren en verder analyseren. Ook wordt bij ieder conflict het bijhorende videofragment getoond, dit maakt de analyse nog eenvoudiger. Indien er gekozen wordt om via andere algoritmes/eigen modellen te werken, ligt de complexiteit wel veel hoger. Achter de berekening van TTC, PET, etc. zitten veel geavanceerdere algoritmes in vergelijking met bv. voertuigtellingen. Binnen een onderzoek moet dus bepaald worden of deze technische kennis en capaciteit aanwezig is om dergelijk model te ontwikkelen. Indien niet, dan is men aangewezen op software zoals DFS en/of manuele conflictobservaties.

Voor de complexiteit van de plaatsing van vaste camera's en het uitvoeren van een dronevlucht wordt verwezen naar paragraaf 8.1.1.6 aangezien dit betrekking heeft tot hetzelfde aspect.

8.1.5.7 Toepasbaarheid

De toepasbaarheid van manuele veldobservaties, observaties gebaseerd op videobeelden en van drone-onderzoek is al uitvoerig besproken in het kader van andere analyses. Zie hiervoor o.a. paragraaf 8.1.1.7. Specifiek gelet op conflictobservaties kennen conflictobservaties op basis van videobeelden (vaste camera) tot op heden de grootste toepasbaarheid. Dit komt doordat er met een vaste camera voor een lange aaneengesloten tijd opnames kunnen gemaakt worden zonder veel inspanningen. Ook blijkt de accuraatheid van detectie van zwakke weggebruikers veel beter op videobeelden van vaste camera's. Zwakke weggebruikers worden hierdoor beter opgenomen in conflictanalyses. Bijgevolg zijn de resultaten betrouwbaarder. Op basis van de conflictobservaties uit de pilotstudie kan gesteld worden dat dronebeelden ook een relatief hoge toepasbaarheid kennen voor conflictobservaties met gemotoriseerde voertuigen. Hierbij worden wel nog veel situaties onterecht als conflict beschouwd. Voor conflictobservaties met het oog op zwakke weggebruikers blijken de analysemogelijkheden tot op heden nog beperkt (lage accuraatheid detectie). Om de toepasbaarheid te verhogen is verder onderzoek naar de benodigde algoritmes vereist.

Wat betreft de manuele conflictobservaties in het studiegebied kan besloten worden dat deze onderzoekstechniek een hoge toepasbaarheid heeft. Quasi overal, mits er adequate zichtlijnen aanwezig zijn, kunnen dergelijke observaties worden uitgevoerd, gaande van een recht wegsegment tot een complex kruispunt. Wat wel dient opgemerkt te worden bij deze methode is dat dit een zeer tijdsintensieve onderzoekstechniek is. Ook zijn voor grote en/of complexe studiegebieden meerdere getrainde observanten nodig, wat maakt dat deze methode ook veel menselijke input vereist.

Tot slot blijkt de rol van het weer ook belangrijk te zijn. Idealiter worden conflictobservaties (indien er geen effect van weer wordt onderzocht) uitgevoerd op dagen zonder regenval (Laureshyn & Vàrhelyi, 2018). Regenval is niet enkel nadelig voor de dataverzameling (zichtbaarheid op videobeelden), ook is dit een beïnvloedende factor voor het rijgedrag van personen. Om de representativiteit van de observaties te verhogen dienen dergelijke slechte weersomstandigheden dan ook vermeden te worden.

8.2 Juridische haalbaarheid

De juridische haalbaarheid is een belangrijke bepalende factor voor de haalbaarheid van een onderzoekstechniek. Afhankelijk van lokale, nationale en internationale wetgeving wordt het gebruik van een bepaalde onderzoekstechniek al dan niet beperkt. In dit hoofdstuk wordt een kort overzicht gegeven met betrekking tot de wetgeving die het gebruik van bepaalde onderzoekstechnieken regelt. Er wordt ook gekeken naar de invloed van de onderzoekstechnieken op de privacy en de bijhorende conformiteit aan de Algemene Verordening Gegevensbescherming.

8.2.1 Wetgevend kader drones

Het wetgevend kader voor drones wordt sinds 01/01/2021 geregeld op Europees niveau met de in werking getreden Europese Uitvoeringsverordening nr. 2019/947 (Uitvoeringsverord.Comm. nr. 2019/947). Deze verordening dient door de lidstaten van de Europese Unie verplicht nageleefd te worden en omgezet te worden naar nationale wetgeving, voor België het KB van 8 november 2020 tot uitvoering van uitvoeringsverordening (EU) 2019/947 van de Commissie van 24 mei 2019 inzake de regels en procedures voor de exploitatie van onbemande luchtvaartuigen. De Belgische wetgeving die tot 31/12/2020 van kracht was is hierdoor vervallen.

Binnen de Europese Uitvoeringsverordening nr. 2019/947 worden drie categorieën van dronevluchten onderscheiden: de open categorie, de specifieke categorie en de gecertificeerde categorie. Deze categorieën zijn opgesteld volgens de risico's tijdens de vluchtuitvoering. Zo hebben vluchten in de categorie 'open' het laagste risico, hierbij moet de drone steeds in het zicht van de piloot zijn, is de hoogte beperkt tot 120 meter, mag er niet boven bijeenkomsten van personen gevlogen worden en moet de startmassa van de drone minder dan 25 kg bedragen. Enkel met drones tot 250 gram mag er in beperkte mate boven individuele, niet betrokken personen gevlogen worden, al mag dit niet boven een bijeenkomst van personen zijn. De specifieke categorie is ontwikkeld voor dronevluchten met een verhoogd risico. Deze categorie is dan ook van toepassing op vluchten boven bevolkte gebieden, boven bijeenkomsten, in de buurt van luchtvaartterreinen, etc. Tot slot is de gecertificeerde categorie ontwikkeld voor vluchten met een te hoog risico om binnen de specifieke categorie te vliegen, dit geldt o.a. voor het vervoeren van gevaarlijke goederen en/of voor drones met een spanwijdte van meer dan drie meter. Binnen de toepassing van drones als onderzoektechniek voor verkeersanalyses in schoolomgevingen is de specifieke categorie van toepassing. Dit komt o.a. voort uit het feit dat er boven een grote groep personen (bijeenkomst van leerlingen) wordt gevlogen, iets wat voor een verhoogd risico zorgt (EUKA, 2019). Hierdoor is het bijgevolg ook niet mogelijk om met een lichte drone in de open categorie (A1) te vliegen.

8.2.1.1 Vergunningen

Aangezien dronevluchten in schoolomgevingen vallen onder de specifieke categorie is er in principe een vergunning nodig van het Directoraat-Generaal Luchtvaart (DGLV) (art. 12 EU-verordening 2019/947). Ook kan er geopteerd worden om te vliegen onder een standaardscenario, hierbij kan er volgens een declaratieregelgeving gevlogen worden zonder vergunning (art. 2 (6) EU-verordening 2019/947). Dergelijke standaardscenario's worden door nationale of internationale overheden ontwikkeld en regelen het verloop van een specifiek type dronevlucht. Binnen deze standaardscenario's worden ook beperkingen met betrekking tot de vluchtuitvoering opgelegd. Afhankelijk van het specifieke verloop van de dronevlucht in de schoolomgeving kan er dus gebruik gemaakt worden van dergelijk standaardscenario waardoor een vergunning niet nodig is.

Voor de dronevlucht in de pilotstudie is nagegaan of de dronevluchten al dan niet konden uitgevoerd worden binnen standaardscenario 1 (STS-01), opgesteld door het Europees Agentschap voor de veiligheid van de luchtvaart (EASA, 2020). Dit standaardscenario heeft betrekking op vluchten in het zicht, boven een gecontroleerd grondoppervlakte en in een bevolkte omgeving. Hierbij moet voldaan worden aan volgende voorwaarden:

- Maximaal 120 meter boven de grond of 15 meter boven een obstakel vliegen;
- Luchtsnelheid van maximaal 5 m/s;
- Voldoende afstand houden tot de grondrisicobuffer;
- Drone moet klasse C5 zijn;
- De piloot beschikt over de vereiste vaardigheden.

Tijdens de voorbereidingen van de dronevlucht is geconcludeerd dat dit scenario echter niet toepasbaar is voor het soort vluchtuitvoering van de pilotstudie. Het probleem hierbij is de noodzaak om boven een gecontroleerd grondoppervlakte te vliegen. Dit impliceert dat er enkel mag gevlogen worden boven 'betrokken' personen. Om als betrokken persoon beschouwd te worden dient een persoon expliciete toestemming te geven of veiligheidsinstructies te ontvangen (art. 2 (18) Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems). Aangezien dergelijke kennisgeving aan personen het verloop van het onderzoek zou verstoren is STS-01 slecht in mindere mate toepasbaar voor onderzoeken in schoolomgevingen.

Gezien de huidige stand van zaken, er niet kan gevlogen worden onder een standaardscenario is het noodzakelijk om een vergunning aan te vragen bij DGLV. Deze vergunning wordt afgeleverd op basis van een Specific Operations Risk Assessment (SORA) (EASA, 2020). Deze risicoanalyse bepaalt op basis van o.a. de kenmerken van de dronevlucht, de passende operationele veiligheidsdoelstellingen, de risico's op de grond en in de lucht en de risicobeperkende maatregelen of een vlucht al dan niet veilig kan worden

uitgevoerd. Dergelijke SORA is redelijk complex en tijdsintensief waardoor de juridische haalbaarheid afneemt. Wel is het mogelijk dat er naar de toekomst toe bijkomende standaardscenario's worden ontwikkeld door o.a. het DGLV waardoor een SORA overbodig wordt.

Er dient opgemerkt te worden dat er, zoals aangegeven in 3.1.3.4, tijdens de pilotstudie niet is gevlogen onder de nieuwe Europese wetgeving. Gedurende de periode van 31/12/2020 tot 31/12/2021 is een overgangsregeling van toepassing om de omschakeling van de voormalige Belgische wetgeving naar de nieuwe Europese wetgeving te versoepelen (FOD Mobiliteit, 2021). Door deze overgangsregeling is er tijdens de pilotstudie gevlogen onder de voormalige Belgische wetgeving. Zo is er gebruik gemaakt van een vergunning klasse 1A die het mogelijk maakt om boven een groep mensen te vliegen zonder een voorafgaande bijkomende vergunningsaanvraag of kennisgeving bij DGLV (FOD Mobiliteit, 2021).

8.2.1.2 Geografische UAS-zones

Naast vergunningsverplichtingen, registratieverplichtingen van de exploitant en de drone, etc. kunnen Europese lidstaten ook geografische UAS-zones afbakenen op basis van redenen zoals veiligheid, beveiliging, privacy of milieu (art. 15 EU-verordening 2019/947). De mogelijkheden voor de lidstaten hieromtrent zijn:

- Bepaalde of alle UAS-vluchtuitvoeringen verbieden, bijzondere voorwaarden opleggen voor bepaalde of alle UAS-vluchtuitvoeringen of UAS-exploitanten verplichten een voorafgaande vergunning aan te vragen voor bepaalde of alle UAS-vluchtuitvoeringen;
- Bepaalde milieunormen opleggen voor UAS-vluchtuitvoeringen;
- Alleen toegang verlenen tot bepaalde UAS-klassen;
- Alleen toegang verlenen tot UAS die met bepaalde technische functies zijn uitgerust, met name systemen voor identificatie op afstand of geobewustzijnssystemen.

Alvorens een vluchtuitvoering dient dus bepaald te worden of een vlucht al dan niet plaatsvindt in een specifieke UAS-zone en of er beperkingen van toepassing zijn in de desbetreffende zone. De vluchtuitvoeringen in de pilotstudie vonden plaats in de geografische UAS-zone "EBZH – HASSELT – Kiewit (UGZ) (EBZH)", vastgesteld op basis van het Ministerieel besluit tot vaststelling van vaste geografische UAS-zones en toegangsvoorwaarden voor vaste geografische UAS-zones van 21 december 2020. Deze UAS-zone betreft een civiele ongecontroleerde luchthaven (Luchthaven Kiewit). Op basis van de bijhorende voorwaarden van de desbetreffende UAS-zone moest een toestemming verkregen worden van de manager van de geografische zone. Het is dus steeds belangrijk om de vluchtuitvoering af te toetsen ten opzichte van de voorwaarden van de UAS-zone.

In het slechtste geval kan dit ook betekenen dat een dronevlucht niet mogelijk is, dan zal er geopteerd moeten worden voor een andere onderzoekstechniek.

8.2.1.3 Toestemming lokale overheid

Tot slot kan een lokale overheid ook voorwaarden en/of beperkingen opleggen ten aanzien van (niet-recreatieve) vluchtuitvoeringen met een drone op het grondgebied van de lokale overheid (De Roo, De Pauw, & Hardyns, 2017). Vaak beperken deze voorwaarden zich tot een kennisgeving van de vluchtuitvoering aan de burgemeester en/of lokale politiezone, zoals ook van toepassing op de vluchtuitvoeringen in Zonhoven (Politie Limburg Regio Hoofdstad, 2021). Voor deze niet-recreatieve vluchten moest de burgemeester op de hoogte worden gesteld aan de hand van een meldingsformulier, zoals beschreven in het GAS-reglement van de politiezone Limburg Regio Hoofdstad.

8.2.2 Wetgevend kader tijdelijke vaste (slimme) camera

Het wetgevend kader voor tijdelijke vaste camera's is sterk verschillend van het wetgevend kader voor drones. Tot 2007 werd het wetgevend kader geregeld door de Belgische privacywetgeving (Gegevensbeschermingsautoriteit, 2021). Het is gebleken dat er een specifiek wetgevend kader nodig was om de plaatsing en het gebruik van camera's te regelen. Momenteel wordt in België het plaatsen en het gebruik van camera's geregeld via de Wet van 21 maart 2007 tot regeling van de plaatsing en het gebruik van bewakingscamera's, ook de Camerawet genoemd (Camerawet, 2007). Deze wet is van toepassing op bewakingscamera's met als doel:

- Misdrijven tegen personen of goederen te voorkomen, vast te stellen of op te sporen (art. 3(1) Camerawet, 2007);
- Overlast, in de zin van artikel 135 van de nieuwe gemeentewet, te voorkomen, vast te stellen of op te sporen, de naleving van gemeentelijke reglementen te controleren of de openbare orde te handhaven (art. 3(2) Camerawet, 2007).

De wetgeving is tot op heden niet duidelijk of camera's met een verkeerstoezicht als doel behoren tot deze wet. Hierbij is het begrip "Handhaving van de openbare orde" voor interpretatie vatbaar. Volgens de Lokale Politie behoort verkeersveiligheid tot het handhaven van de openbare orde (Lokale Politie Aalter, 2021). Hierdoor kan gesteld worden dat de Camerawet van toepassing is op camera's voor verkeerstoezicht.

Binnen de Camerawet wordt een onderscheid gemaakt tussen verschillende plaatsen waar een camera geplaats wordt: niet-besloten plaats, voor het publiek toegankelijke besloten plaats en een niet voor het publiek toegankelijke besloten plaats (art. 2 Camerawet, 2007). De ressorterende wetgeving wordt afgestemd op

deze specifieke plaatsen. Voor een cameratoezicht (observatie) met het oog op verkeersveiligheid worden camera's geplaatst die gericht worden op de openbare weg, volgens de Camerawet gaat het hierbij over een niet-besloten plaats (art. 2(1) Camerawet, 2007).

Naast een opdeling naar plaats maakt de Camerawet ook een opdeling naar type camera. Zo worden bewakingscamera's gedefinieerd als: "Elke vast, tijdelijk vast of mobiel observatiesysteem dat de bewaking en het toezicht van de plaatsen tot doel heeft en dat hiervoor beelden verwerkt" (art 2(4) Camerawet, 2007). Gezien deze definitie kunnen vier types onderscheiden worden: de vaste camera, de tijdelijk vaste camera, de mobiele camera en de intelligente, al dan niet vaste, camera. In een verkeersonderzoek worden vaste camera's over het algemeen slechts geplaatst voor een relatief korte periode, het gaat hier bijgevolg over een of meerdere tijdelijke vaste camera's (art. 2 (4/2) Camerawet, 2007).

8.2.2.1 Plaatsing van een tijdelijke vaste camera

Voor de plaatsing van een tijdelijke vaste camera in een niet-besloten plaats (de openbare weg) is een toestemming verplicht. De beslissing om een tijdelijke camera te plaatsen in een niet-besloten plaats kan enkel en alleen worden genomen door de verantwoordelijke voor de verwerking (art. 5 (2/1) Camerawet, 2007). Deze verantwoordelijke voor verwerking is een natuurlijke persoon, een rechtspersoon, een feitelijke vereniging of een openbaar bestuur die alleen of samen met anderen het doel en de middelen voor de verwerking van de persoonsgegevens bepaalt. Voor camera's in niet-besloten plaatsen kan de verantwoordelijke voor verwerking echter enkel maar een openbare overheid zijn. Een andere organisatie of de onderzoeker kan hierbij wel optreden als verwerker van de beelden.

Een beslissing tot het plaatsen van een tijdelijke vaste camera kan enkel na een positief advies door de gemeenteraad van de desbetreffende locatie (art. 5 (2/1) Camerawet, 2007). De gemeenteraad moet voor dit advies ook steeds de korpschef van de lokale politiezone raadplegen. Indien het gaat over een plaatsing van een camera langs een weg waarvoor een andere openbare overheid dan de desbetreffende gemeente verantwoordelijke is (bv. een gewestweg met als wegbeheerder AWV), dan is er geen positief advies nodig van de gemeenteraad. In dergelijke gevallen moet enkel de korpschef van de politiezone waarin de camera wordt geplaatst, worden geraadpleegd.

Naast de toestemming tot plaatsing van de camera dient de verantwoordelijke voor verwerking ook nog andere formaliteiten te volbrengen. Zo moet een register worden bijgehouden van alle beeldverwerkingsactiviteiten (art. 5 (3) Camerawet, 2007). Ook moet de verantwoordelijke voor verwerking bij de toegang tot de niet-besloten plaats een pictogram aanbrengen dat wijst op de aanwezigheid van camerabewaking.

Verder wordt ook het gebruik van camera's met een ANPR-systeem, met het oog op automatische nummerplaatherkenning, geregeld door de Camerawet (art. 8/1 Camerawet, 2007). Zo is het gebruik van intelligente camera's mogelijk voor lokale overheden en politionele diensten, al dient de verantwoordelijke voor verwerking er steeds op toe te zien dat de regelgeving met betrekking tot de bescherming van de levenssfeer (o.a. Algemene Verordening Gegevensbescherming) in acht wordt genomen.

8.2.3 Andere onderzoekstechnieken

Voor de andere onderzoekstechnieken in dit onderzoek zijn geen wetgevende kaders beschikbaar die het plaatsen en/of het gebruik regelen. Indien er persoonsgegevens worden verwerkt dient men wel steeds de Europese Verordening 2016/679 (Algemene Verordening Gegevensbescherming), alsook de omzetting naar de Belgische Wet betreffende de bescherming van natuurlijke personen met betrekking tot de verwerking van persoonsgegevens, na te leven. Dit betekent dat deze onderzoekstechnieken zonder voorafgaande juridische handelingen kunnen worden toegepast met de inachtneming van de geldende privacyregelgeving.

Enkel de onderzoekstechnieken met behulp van sensoren maken hierop een uitzondering. Afhankelijk van de gekozen sensor worden sensoren of andere delen van het meetapparaat op of langs de openbare weg aangebracht. Hiervoor dient steeds toestemming verkregen te worden van de wegbeheerder, al is dit niet geheel duidelijk. Voor lokale wegen is dit de lokale overheid, voor gewestwegen en autosnelwegen ligt de verantwoordelijkheid bij een andere wegbeheerder, bijvoorbeeld het Agentschap Wegen en Verkeer.

8.2.4 Privacy

Privacy is een zeer belangrijk aspect in het kader van de juridische haalbaarheid van onderzoekstechnieken. Bij wetenschappelijk onderzoek naar verkeersveiligheid worden zeer veel gegevens verzameld en verwerkt van natuurlijke personen. Dergelijke gegevensverzameling en gegevensverwerking mag geen inbreuk doen op fundamentele grondrechten zoals artikel 22 van de Belgische Grondwet. Dit artikel bepaalt dat: "ieder het recht heeft op eerbiediging van zijn privéleven en zijn gezinsleven, behoudens in de gevallen en onder de voorwaarden door de wet bepaald" (Gecoördineerde Grondwet, 1994). Het recht op privacy wordt echter ook op Europees niveau gezien als een grondrecht, gekaderd in het Europees Verdrag voor de Rechten van de Mens (art. 8 EVRM, 1950).

Sinds 2016 is er met Verordening (EU) 2016/679 een nieuw wetgevend kader van kracht met het oog op de verwerking van persoonsgegevens, dit is de Algemene

Verordening Gegevensbescherming (AVG). Deze verordening is van toepassing op een geheel of gedeeltelijk geautomatiseerde verwerking, alsmede op de verwerking van persoonsgegevens die in een bestand zijn opgenomen of die bestemd zijn om daarin opgenomen te worden (art 2.1 AVG, 2016). De AVG is automatisch van toepassing op alle lidstaten van de Europese Unie. In specifieke gevallen dienen er wel verplichtingen worden omgezet naar nationale wetgeving. Hierdoor is in 2018 de Belgische Wet betreffende de bescherming van natuurlijke personen met betrekking tot de verwerking van persoonsgegevens gepubliceerd en van kracht gegaan. Een belangrijk element van deze wet is de oprichting van de Belgische Gegevensbeschermingsautoriteit (GBA). Dit is een onafhankelijk orgaan dat erop toeziet dat de grondbeginselen van de bescherming van de persoonsgegevens correct worden nageleefd (Gegevensbeschermingsautoriteit, 2021).

8.2.4.1 Toepassingsgebied

De AVG is van toepassing op de verwerking van persoonsgegevens. De verordening geeft volgende definities aan de begrippen persoonsgegevens en verwerking (art. 4 (1) & (2) AVG, 2016):

- Persoonsgegevens: "alle informatie over een geïdentificeerde of identificeerbare natuurlijke persoon ("de betrokkene"); als identificeerbaar wordt beschouwd een natuurlijke persoon die direct of indirect kan worden geïdentificeerd, met name aan de hand van een identificator zoals een naam, een identificatienummer, locatiegegevens, een online identificator of van een of meer elementen die kenmerkend zijn voor de fysieke, fysiologische, genetische, psychische, economische, culturele of sociale identiteit van die natuurlijke persoon";
- Verwerking: "een bewerking of een geheel van bewerkingen met betrekking tot persoonsgegevens of een geheel van persoonsgegevens, al dan niet uitgevoerd via geautomatiseerde procedés, zoals het verzamelen, vastleggen, ordenen, structureren, opslaan, bijwerken of wijzigen, opvragen, raadplegen, gebruiken, verstrekken door middel van doorzending, verspreiden of op andere wijze ter beschikking stellen, aligneren of combineren, afschermen, wissen of vernietigen van gegevens".

8.2.4.2 Basisbeginselen

Binnen de AVG zijn zes basisbeginselen opgesteld die moeten worden nageleefd wanneer er sprake is van een verwerking van persoonsgegevens. Deze basisbeginselen zijn (art. 5 AVG, 2016):

- Rechtmatigheid, behoorlijkheid en transparantie;
- Doelbeding;
- Minimale gegevensverwerking;

- Juistheid;
- Opslagbeperking;
- Integriteit en vertrouwelijkheid.

In het kader van een verwerking van persoonsgegevens dient steeds een verwerkingsverantwoordelijke aangesteld te worden die toezicht moet houden op de naleving van deze basisbeginselen. Deze verwerkingsverantwoordelijke moet deze naleving kunnen aantonen, dit zit vervat in een verantwoordingsplicht. Binnen een onderzoek naar verkeersveiligheid wordt er vaak gewerkt met externe partijen. Bij bijvoorbeeld de plaatsing van een bewakingscamera is de verwerkingsverantwoordelijke altijd een openbare overheid. De aangestelde openbare overheid is hierbij verantwoordelijk om toe te zien op de naleving van de basisbeginselen, ook al wordt de verkeersstudie uitgevoerd door een externe partij. Hierbij treedt de externe partij op als een verwerker.

8.2.4.3 Rechtmatigheid van de verwerking

In artikel 6 (1) van de AVG worden zes grondslagen aangewend die de rechtmatigheid van een verwerking van persoonsgegevens kunnen verklaren. Om persoonsgegevens te verwerken moet er minimaal aan een van deze zes grondslagen voldaan worden (art. 6(1) AVG, 2016):

- Er is toestemming van de betrokkene voor het verwerken voor een of meer specifieke doeleinden;
- Het is noodzakelijk om gegevens te verwerken om een overeenkomst uit te voeren waarbij de betrokkene partij is;
- Het is noodzakelijk om gegevens te verwerken omdat dit een wettelijke verplichting is;
- Het is noodzakelijk om gegevens te verwerken om vitale belangen te beschermen;
- Het is noodzakelijk om gegevens te verwerken om een taak van algemeen belang of openbaar gezag uit te oefenen;
- Het is noodzakelijk om gegevens te verwerken om het gerechtvaardigde belang van de verwerkingsverantwoordelijke of een derde te behartigen.

Aangezien een wetenschappelijk onderzoek kadert in een taak van algemeen belang, in dit geval het verbeteren van de verkeersveiligheid, kunnen verwerkingen van persoonsgegevens gerechtvaardigd worden op basis van de vijfde grondslag: “Het is noodzakelijk om gegevens te verwerken om een taak van algemeen belang of openbaar gezag uit te oefenen” (art. 6(1) AVG, 2016).

8.2.4.4 Wetenschappelijk onderzoek

Zoals aangehaald kan wetenschappelijk onderzoek naar verkeersveiligheid kaderen binnen de vijfde grondslag van de AVG, een taak van algemeen belang.

Binnen overweging 159 van de AVG wordt wetenschappelijk onderzoek ruim ingevuld (Gegevensbeschermingsautoriteit, 2021). Dit maakt dat er een versoepeling is van de regelgeving met betrekking tot de verwerking van persoonsgegevens ten opzichte van andere grondslagen. Enkele versoepelingen zijn: de mogelijkheid tot hergebruik van eerder verzamelde gegevens, langere bewaartermijnen, mogelijkheid tot beperking van de rechten van de betrokkenen, etc.

Hoewel een verwerking van persoonsgegevens onder de grondslag 'Algemeen belang' zorgt voor versoepelingen op verschillende vlakken van de AVG zijn er steeds blijvende voorwaarden en plichten die vervuld moeten worden.

Een onderzoeker kan optreden als verwerkingsverantwoordelijke of als verwerker (Gegevensbeschermingsautoriteit, 2021). Zoals eerder aangegeven bij het wetgevend kader van vaste camera's bepaalt de verwerkingsverantwoordelijke het doel en de middelen van de gegevensverwerking. Indien een onderzoeker niet optreedt als verwerkingsverantwoordelijke kan hij ook optreden als verwerker (art. 4.8 AVG, 2016). Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer een onderzoeker op vraag van een onderneming of overheid onderzoek gaat uitvoeren. Het is belangrijk om de rol van de onderzoeker en eventueel andere partijen aan de start van het onderzoek te bepalen om een verder verloop van het onderzoek inzake de privacywetgeving mogelijk te maken.

Naast het bepalen van de verwerkingsverantwoordelijke en eventuele verwerkers is het in sommige gevallen ook nodig om een functionaris voor gegevensbescherming (DPO) aan te stellen. Dit wordt vereist indien de onderzoeker/onderzoeksinstellingen een overheid is of hoofdzakelijk belast is met de verwerkingen die regelmatige en stelselmatige observatie op grote schaal van betrokkenen vereist, of hoofdzakelijk belast is met grootschalige verwerking van bijzondere categorieën van gevoelige persoonsgegevens (art. 37 AVG, 2016). De voornaamste rol van een DPO is ervoor zorgen dat een organisatie de persoonsgegevens van hun werknemers, klanten, leveranciers en elke ander individu, in overeenstemming met de AVG verwerkt (European Data Protection Supervisor, sd).

Zoals eerder aangehaald is er binnen de grondslag van het algemeen belang een mogelijkheid tot inperking van rechten van de betrokkenen. Artikel 89.2 van de AVG voorziet dat het recht op inzage (art. 15 AVG), het recht op rectificatie (art. 16 AVG), het recht op beperking van de verwerking (art. 18 AVG) en het recht van bezwaar (art. 21 AVG) kunnen worden beperkt voor zover dit noodzakelijk is voor het onderzoek. Aangezien er ook niet gewerkt wordt op basis van de grondslag 'toestemming' is er ook geen specifieke toestemming nodig van een betrokkenen om zijn of haar gegevens te verwerken.

Een belangrijke plicht die wel steeds dient nageleefd te worden is de transparantieplicht (art. 12 AVG, 2016). Deze plicht vereist dat er communicatie plaatsvindt richting de betrokkenen omtrent de gegevensverwerking. Deze communicatie moet eenvoudig, begrijpelijk, gemakkelijk toegankelijk en beknopt zijn, zodoende dat elke betrokkene voldoende is geïnformeerd. Concreet wordt onder transparantie volgende informatie verstaan (art. 13 en 14 AVG, 2016):

- Identiteit en contactgegevens van de onderzoeker en, in voorkomend geval, van de vertegenwoordiger van de verwerkingsverantwoordelijke
- In voorkomend geval, de contactgegevens van de functionaris voor gegevensbescherming (de DPO);
- De verwerkingsdoeleinden waarvoor de persoonsgegevens zijn bestemd, alsook de rechtsgrond voor de verwerking (in dit geval de rechtsgrond 'Algemeen belang');
- De persoonsgegevens (of categorieën van persoonsgegevens) die verzameld worden;
- De ontvangers van de gegevens;
- De opslagperiode;
- De bron van de persoonsgegevens (wanneer niet rechtstreeks verzameld bij de betrokkenen);
- De rechten van de betrokkenen.

Verder dient de onderzoeker of verwerkingsverantwoordelijke ook voldoende technische en organisatorische maatregelen te nemen om zo weinig mogelijk persoonsgegevens te verwerken (art. 5.1.c AVG, 2016). Er bestaat dus een verplichting om anonieme gegevens te verwerken waar dit mogelijk is. In andere gevallen kan men ook persoonsgegevens pseudonimiseren. De verwerkingsverantwoordelijke dient ook gepaste maatregelen te nemen in het kader van de bescherming van persoonsgegevens. Hierbij gaat het over maatregelen met betrekking tot o.a. de opslag van gegevens, het overdragen van gegevens, het opstellen van een evaluatieprocedure voor de doeltreffendheid van beveiligingsmaatregelen, etc. (art. 32 AVG, 2016).

Tot slot is er in sommige gevallen een verplichting voor de uitvoering van een 'Gegevensbeschermingseffectbeoordeling' (GEB) (art. 35 AVG, 2016). Deze GEB wordt uitgevoerd in de vorm van een DPIA (Data Protection Impact Assessment). Dit is een ex-ante evaluatieprocedure waarbij risico's op het vlak van verwerking van persoonsgegevens vooraf de dataverzameling worden onderzocht (Vlaamse Overheid, sd). Binnen een DPIA brengt de verwerkingsverantwoordelijke alle risico's met betrekking tot de verwerking van persoonsgegevens in kaart en worden er maatregelen ten behoeve van het voorkomen van deze risico's opgesteld. Afhankelijk van het risico van de dataverwerking binnen een onderzoek is een DPIA verplicht. Gelet op de besproken onderzoekstechnieken binnen deze masterproef kan geconcludeerd worden dat een DPIA verplicht is voor video-observaties (vaste camera's en drones), onafhankelijk van een verwerking met

een computer vision technique, en voor een kentekenonderzoek aan de hand van videobeelden (met of zonder ANPR). Deze verplichting wordt gebaseerd op art. 35 van de AVG dat stelt dat een DPIA verplicht is wanneer er een verwerking van gegevens op grote schaal, vanwege het grote aantal gegevens en/of het aantal betrokkenen, wordt uitgevoerd. Het begrip 'grote schaal' is hierbij wel voor interpretatie vatbaar. Maar op basis van een beslissing van de Vlaamse Toezichtcommissie geldt dit in de meeste gevallen voor verwerkingen van gegevens binnen steden en gemeenten (Vlaamse Toezichtcommissie, 2020).

8.2.4.5 Manuele veldobservaties en sensoren

Onder manuele veldobservaties en sensoren vallen onderzoeken zoals verkeerstellingen in het studiegebied, manuele observaties van verkeersstromen zonder kentekenregistratie, geautomatiseerde tellingen met sensoren, manuele observaties van de modal split in het studiegebied, geautomatiseerde gedragsobservaties met betrekking tot snelheid, etc. Bij dergelijk observaties worden er geen persoonsgegevens verzameld. Er worden enkel gegevens verzameld met betrekking tot o.a. aantal weggebruikers, categorie van de weggebruiker, verkeersstromen, etc. Binnen de verzamelde gegevens is dan ook geen mogelijkheid om eventuele betrokkenen te kunnen identificeren. Op basis van deze conclusie kan gesteld worden dat de AVG niet van toepassing is op deze onderzoekstechnieken. Voor de uitvoering ervan zijn dan ook geen juridische verplichtingen aan de orde.

8.2.4.6 Drone

Naast het wetgevend kader met betrekking tot het gebruik van drones moet er ook rekening gehouden worden met de geldende privacyregelgeving. Dit komt doordat er tijdens de vluchtuitvoering video-opnames worden gemaakt om later verwerkt te worden door o.a. een computer vision technique. Afhankelijk van de vlieghoogte zijn de objecten (personen, voertuigen, etc.) groter of kleiner. Wanneer objecten identificeerbaar zijn (zie definiëring in paragraaf 8.2.4.1) of kunnen geïdentificeerd worden aan de hand van middelen waarvan redelijkerwijs worden verwacht dat ze gebruikt worden om een natuurlijk persoon te identificeren, dan wordt er gesproken over een verwerking van persoonsgegevens (Overweging 26 AVG, 2016). Dit kan voorkomen wanneer een persoon herkenbaar is op de beelden of wanneer een kentekenplaat van een voertuig zichtbaar is. In dergelijke gevallen valt de gegevensverwerking binnen het toepassingsgebied van de AVG. De gegevenswerking dient dan ook te gebeuren conform de voorwaarden en plichten van de AVG, zoals besproken in paragraaf 8.2.4.4 voor de rechtsgrond algemeen belang.

Indien er sprake is van een verwerking van persoonsgegevens is de uitvoering van een DPIA verplicht wanneer er een grootschalige en/of stelselmatige monitoring van openbare toegankelijke ruimten plaatsvindt (art. 35 (3) AVG, 2016).

Aangezien een drone-onderzoek in schoolomgevingen focust op de verzameling van beelden van de openbare ruimte omheen de school, is deze verplichting van toepassing. Binnen de DPIA dient vervolgens geëvalueerd te worden wat de risico's en eventuele maatregelen zijn om deze risico's te verminderen. Hierbij worden volgende elementen opgenomen (DroneRules PRO, sd):

- Een systematische beschrijving van de gegevensstromen van de dronevlucht en persoonsgegevens;
- Een identificatie van de noodzaak en de proportionaliteit van de gegevensverwerking en de risico's ervan;
- Identificatie en beoordeling van de risico's van de dataverwerking;
- Identificatie en beoordeling van maatregelen om de risico's te verminderen/verhelpen.

Op basis van de pilotstudie is echter gebleken dat er geen sprake was van een verwerking van persoonsgegevens. Gedurende de dronevluchten werd op een voldoende grote vlieghoogte (70m) gevlogen waardoor objecten zoals personen niet identificeerbaar zijn of geïdentificeerd kunnen worden (zie paragraaf 6.1). Verder geeft DFS ook aan dat hun dienst volledig conform de AVG is (DataFromSky, 2021). Het gebruik van DFS betreft dan ook geen probleem. Binnen DFS is er verder ook nog een optie om anonimisatieregio's toe te voegen op de beelden indien er toch sprake is van een verwerking van persoonsgegevens. Hiermee kunnen delen van het videobeelden (bv. een tuin) worden geanonimiseerd om later gedeeld te kunnen worden in o.a. onderzoeksrapporten, een voorbeeld is te zien op Figuur 47.

8.2.4.7 Vaste camera

Vaste camera's met het oog op verkeersobservaties (tellingen, gedragsobservaties, modal split, conflictobservaties, etc.) zijn wel steeds onderhevig aan de AVG. Dit komt voort uit de plaatsing van de camera's. Vaste en tijdelijk vaste camera's voor verkeersonderzoek worden veelal naast de rijbaan op o.a. een lantaarnpaal bevestigd. Hierdoor worden verkeersdeelnemers overwegend vanaf een zijaanzicht gefilmd. Ten opzichte van een drone wordt er bijgevolg op een veel lagere hoogte gefilmd. Dit maakt dat objecten op de videobeelden (personen, kentekenplaten, etc.) identificeerbaar zijn. Hieruit volgt dan ook dat video-observaties met vaste camera's binnen het toepassingsgebied van de AVG vallen.

Omdat vaste camera's binnen het toepassingsgebied van de AVG vallen moeten de basisbeginselen voor de verwerking van persoonsgegevens, in combinatie met de plichten, rechten en voorwaarden van de AVG, in acht genomen worden door de onderzoeker (zie o.a. 8.2.4.4). De verwerkingsverantwoordelijke is in het geval van camera's op een niet-besloten plaats, een overheid (zie ook 8.2.2). Deze overheid moet erop toezien dat de gegevensverwerking in regel is met de AVG.

Deze verwerkingsverantwoordelijke is ook verantwoordelijk voor de opstelling van de verplichte DPIA, het garanderen van voldoende transparantie door informatieverstrekking, etc.

8.2.4.8 Kentekenonderzoek

Kentekenonderzoeken vallen, afhankelijk van de gebruikte techniek, binnen of buiten het toepassingsgebied van de AVG. Zoals aangehaald in paragraaf 8.1.3 zijn er over het algemeen drie methodes voor het uitvoeren van een kentekenonderzoek beschikbaar: een manuele kentekenregistratie op basis van veldobservaties, een manuele kentekenregistratie op basis van videobeelden en een geautomatiseerde kentekenregistratie op basis van videobeelden (ANPR).

Manuele kentekenonderzoeken op basis van veldobservaties vallen onder het toepassingsgebied van de AVG wanneer volledige kentekens worden geregistreerd. De GBA stelt dat een kenteken een persoonsgegeven is aangezien een persoon hierdoor onrechtstreeks kan worden geïdentificeerd (Gegevensbeschermingsautoriteit, 2021). Wanneer er dus een volledige registratie van kentekens plaatsvindt, is er bijgevolg sprake van een verwerking van persoonsgegevens. In paragraaf 8.1.3 werd aangehaald dat het ook mogelijk is om een kentekenonderzoek uit te voeren indien er slechts vier karakters van de kentekenplaat worden geregistreerd. In dat geval is het geregistreerde deel van de kentekenplaat geen persoonsgegeven, het is immers niet mogelijk om een persoon op basis van slechts vier karakters van de kentekenplaat te identificeren. In dergelijke gevallen valt een kentekenonderzoek dus niet onder het toepassingsgebied van de AVG. Het onderzoek kan hierdoor zonder enige privacy risico’s worden uitgevoerd. Indien er toch wordt geopteerd om de volledige kentekens te registreren is men wel onderhevig aan de AVG en zal de gegevensverwerking hierop moeten worden afgestemd.

Voor kentekenonderzoeken op basis van videobeelden van herkomst- en bestemmingslocaties wordt er gebruik gemaakt van vaste camera’s. Kentekens worden hierbij geregistreerd door een of meerder verwerkers (observanten) op basis van de videobeelden. Aangezien objecten identificeerbaar zijn of geïdentificeerd kunnen worden op de beelden valt deze techniek binnen het toepassingsgebied van de AVG. Hierbij maakt het in het eerste geval niet uit of kentekens al dan niet volledig worden geregistreerd. Artikel 5.1.c van de AVG bepaalt dat een verwerkingsverantwoordelijke zoveel mogelijk organisatorische en technische maatregelen dient te nemen om zo weinig mogelijk persoonsgegevens te verwerken. Vanuit dit opzicht is het wel aangewezen om de kentekenregistratie te beperken tot vier karakters. Hierdoor zijn gegevens die verder worden verwerkt voor het linken van kentekens in bijvoorbeeld Kenteko geen persoonsgegevens meer.

Een laatste vorm van kentekenonderzoek is het geautomatiseerd kentekenonderzoek. Hierbij wordt een ANPR-systeem, gebaseerd op videobeelden, gebruikt om kentekens volledig autonoom te registreren en op te slaan. De privacyregelgeving omtrent deze toepassing is redelijk complex. Het gebruik van ANPR-systemen/camera's wordt geregeld door de Camerawet (Camerawet, 2007). Hierin wordt bepaald dat ANPR-systemen enkel door gemeentes (overheden) en politiediensten gebruikt mogen worden. Voor gemeenten is het gebruik van dergelijk systemen beperkt tot automatische kentekenplaatherkenning. Politiediensten mogen deze systemen inzetten voor bredere bestuurlijke en politionele doeleinden (De Schepper, 2020). In het kader van een kentekenonderzoek zal de lokale overheid optreden als verwerkingsverantwoordelijke, hierdoor is enkel automatische nummerplaatherkenning mogelijk. Op de verwerking van de verzamelde persoonsgegevens (beelden, kentekens, etc.) is de AVG van toepassing. Voor een kentekenonderzoek zijn dan ook volgende elementen verplicht: DPIA, transparantie (informatieverplichting), toegang en opslag volgens regelgeving AVG, pictogram ANPR-camera, etc.

Net zoals bij manuele kentekenregistraties op basis van videobeelden kunnen kentekens bij ANPR-systemen ook geanonimiseerd worden. Dit is nodig om de hoeveelheid aan verzamelde persoonsgegevens te verminderen. Bij de anonimisatie van kentekens bij ANPR-systemen wordt er niet gewerkt met een gedeeltelijke registratie (bv. vier karakters) van kentekens, wel kan een proces zoals 'Hashing' toegepast worden (TitanHz, 2013). Dit is een proces van pseudonimisering waarbij een kenteken op basis van een mathematisch proces wordt omgezet in een niet-uniek referentienummer. Door middel van dit proces kunnen personen niet meer worden geïdentificeerd aan de hand van het kenteken. Wel moet er onderzocht worden in welke mate re-identificatie van het originele kenteken mogelijk is. Ook voor verdere analyses is hashing nadelig aangezien er niet-unieke referentienummers worden bekomen en het linken van deze referentienummers voor het opstellen van OD-matrices wordt daarom moeilijk. Dit kan opgelost worden door een 'salt' toe te voegen. In dit proces wordt er aan het referentienummer willekeurige data toegevoegd waardoor elk gepseudonimiseerd kenteken uniek is en kan gebruikt worden om herkomst-bestemmingsrelaties te onderzoeken. Een kritische vraag die hierbij wel nog gesteld kan worden, is of hier nog sprake is van een verwerking van persoonsgegevens indien het ANPR-systeem in real-time, zonder opslag van beelden, kentekens gaat herkennen, hashen en salten om zo opgeslagen te worden in een database voor verdere verwerking. Theoretisch gezien is er dan geen sprake van een verwerking van persoonsgegevens, al kan dit niet met volledige zekerheid worden geconcludeerd.

8.2.4.9 Bevragingen

Bevragingen behoren tot het toepassingsgebied van de AVG indien er met de bevraging persoonsgegevens worden verzameld. Bij handopsteking in de klas met

het oog op een bepaling van de modal split kan gesteld worden dat er geen persoonsgegevens worden verwerkt aangezien er enkel cijfers met betrekking tot het gebruik van vervoersmodi worden gerapporteerd. Hierbij is het wel van belang dat dit niet rechtstreeks door een onderzoeker wordt bevraagd maar door bijvoorbeeld een leerkracht. Indien een onderzoeker rechtstreeks de leerlingen gaat bevragen is er wel sprake van een verwerking van persoonsgegevens aangezien een onderzoeker in dat geval antwoorden kan linken aan specifieke personen. Bij een bevraging door een leerkracht is dus geen mogelijkheid om een natuurlijk persoon te identificeren. De AVG is hierop dan ook niet van toepassing.

Een andere vorm van bevragingen die besproken is binnen dit onderzoek, is de enquête in de vorm van bijvoorbeeld een verplaatsingsdagboek. Ook hierbij is het belangrijk om na te gaan indien er wel of geen persoonsgegevens worden verwerkt. Als er in een enquête, al dan niet online, een bevraging wordt gedaan naar specifieke verplaatsingen, verkeersgedragingen, etc. kan men wel spreken van een verwerking van persoonsgegevens. In dit geval is de AVG van toepassing. Bij bevragingen in het kader van wetenschappelijk onderzoek kan de gegevensverwerking gebaseerd worden op twee wettelijke grondslagen van de AVG: de toestemming van de betrokkene en een taak van algemeen belang (art. 6 (1) AVG, 2016). De mogelijkheid om de verwerking ook te baseren op de grondslag van toestemming komt voort uit het feit dat er in een bevraging een expliciete toestemming tot verwerking van de persoonsgegevens gevraagd kan worden. Dit gebeurt in de vorm van een 'informed consent' (geïnformeerde toestemming). Hierbij is het wel belangrijk om te weten dat er duidelijke verschillen aanwezig zijn tussen beide aangehaalde grondslagen. Zo zijn de rechten van de betrokkenen groter in het geval er gekozen wordt om de gegevensverwerking te baseren op de grondslag van toestemming. De betrokkenen hebben in dit geval de mogelijkheid om o.a. hun toestemming in te trekken (art. 7 (3) AVG, 2016). Bij een intrekking van de toestemming moeten alle gegevens van de desbetreffende persoon die werden verzameld verwijderd worden. Dit is niet het geval bij de grondslag van algemeen belang. Hierbij kan een betrokkene wel zijn toestemming tot deelname aan het onderzoek intrekken. Eerder verzamelde gegevens moeten in dit geval niet verwijderd worden.

Afhankelijk van de gekozen grondslag waarop de gegevensverwerking gebaseerd zal worden dient de specifieke regelgeving van de AVG per grondslag gevolgd te worden. Dit betekent dan ook dat er in een (online) bevraging steeds een informatieverplichting (transparantie) is. Voor de inhoud van deze informatieverplichting wordt verwezen naar paragraaf 8.2.4.4. Ook moet de verdere verwerking van de gegevens, na afname van de enquête, conform de AVG gebeuren. De verwerkingsverantwoordelijke, in veel gevallen de onderzoeker zelf, bepaalt het doel en de middelen van de verwerking en moet dus zelf beslissen over de grondslag en bijgevolg de regelgeving die moet worden toegepast.

Een laatste belangrijk element, indien er gekozen wordt voor de grondslag toestemming is de leeftijd van de betrokkene. Aangezien het in dit onderzoek gaat over verkeersonderzoek in een schoolomgeving kan het voorkomen dat een bevraging van o.a. de modal split wordt uitgevoerd aan de hand van een schriftelijke of online enquête. Volgens artikel 8.1 van de AVG en artikel 7 van de Belgische Wet betreffende de bescherming van natuurlijke personen met betrekking tot de verwerking van persoonsgegevens kunnen kinderen tot 13 jaar zelf geen toestemming geven met betrekking tot de verwerking van eigen persoonsgegevens. Hiervoor is steeds een toestemming nodig van een ouder of voogd. Deze beperking is aangebracht binnen de AVG aangezien het risicobewustzijn van kinderen lager is (Europese Commissie, sd). Voor bevragingen in de klas aan de hand van handopsteking kan geconcludeerd worden dat er geen verwerking van persoonsgegevens plaatsvindt (mits de onderzoeker zelf niet de bevraging zal uitvoeren), een expliciete toestemming van een ouder of voogd is dan ook niet vereist.

8.3 Commerciële haalbaarheid

Een laatste component van de haalbaarheidsstudie is de commerciële haalbaarheid. Centraal binnen de commerciële haalbaarheid staan de kosten en baten van de verschillende onderzoekstechnieken. Het is natuurlijk belangrijk om de kosten van een onderzoekstechniek te rechtvaardigen en af te wegen ten opzichte van de baten die bekomen worden. Verder wordt ook kort gekeken naar de schaalbaarheid van de onderzochte onderzoekstechnieken. Hierbij zijn voornamelijk zaken zoals automatisatie, toepasbaarheid, etc. van de onderzoekstechnieken belangrijk.

8.3.1 Kostprijs

Tabel 32 geeft een overzicht van indicatieve kostprijzen per onderzoekstechniek. Bij de interpretatie van deze kostprijzen is het belangrijk om rekening te houden met het feit dat dit indicatieve kostprijzen zijn, werkelijke kostprijzen zijn sterk afhankelijk van verschillende factoren zoals de leverancier, het studiegebied etc. Tabel 32 toont aan dat drone-onderzoeken tot op heden de hoogste kostprijs hebben. De reden hiervoor ligt bij het feit dat de voorbereidingen (vergunningen, SORA, ...) relatief veel tijd in beslag nemen. Ook dient er tijdens de vluchtuitvoering steeds een piloot en eventueel andere personen aanwezig te zijn. Dit is bij een vaste camera bijvoorbeeld niet het geval. Deze camera's worden aan het begin van het onderzoek in het onderzoeksgebied geplaatst en achteraf verwijderd. Voor de dataverzameling (de videobeelden) is dus geen interventie nodig van een onderzoeker. Dit is een verklarende factor waarom onderzoeken met vaste camera's, met een kostprijs van ongeveer € 2300 per twee weken, goedkoper zijn dan een dronevlucht van een tot enkele uren, al behoren deze ook tot de duurdere onderzoekstechnieken (ADHETEC, 2015; Connection Systems, 2015).

Manuele onderzoekstechnieken op basis van veldobservaties blijken de goedkoopste technieken te zijn gelet op de kostprijs per uur. Voor o.a. verkeerstellingen, metingen van de modal split, een kentekenonderzoek etc. worden vaak studenten ingezet aangezien dergelijke observaties niet veel kennis vereisen. Door de lage loonkost van studenten, gemiddeld 8,78 euro/uur (UHasselt), ligt de kostprijs per uur per observant laag (Personeelsdienst UHasselt, 2020). Wanneer de benodigde duurtijd van bv. tellingen lang is en/of er veel observanten nodig zijn, dan stijgt de kostprijs wel sterk. Om een voorbeeld te geven, indien men de ADTT van een studiegebied wil bepalen zijn op minstens vijf dagen (12-16 uur/dag) tellingen nodig (Engeset & Keitheile, 2004). De totale kostprijs zou in dit geval rond de 600 euro per observant liggen. In dergelijke gevallen kan men beter opteren voor andere onderzoekstechnieken met een lagere kostprijs. De onderzoekstechnieken aan de hand van sensoren zouden in dit geval voordeliger uitkomen. Hetzelfde kan ook besloten worden voor manuele conflictobservaties. Doordat kennis en ervaring vereist is om manuele

conflictobservaties uit te voeren wordt de indicatieve kostprijs per uur vastgesteld op 24 euro per uur (Personeelsdienst UHasselt, 2020). Dit is een indicatie van de loonkost van een onderzoeker. Laurenshyn et al. (2017) stellen dat er 75 tot 80 uur aan conflictobservaties nodig zijn om een betrouwbare inschatting te kunnen maken van het aantal ongevallen in een studiegebied. Gelet op de loonkost per uur (24 euro/uur) komt dit neer op ongeveer 1900 euro per observant (Personeelsdienst UHasselt, 2020). Op het vlak van tijdsefficiëntie kan er beter gewerkt worden met conflictobservaties op basis van videobeelden. Hierbij dient een onderzoeker niet de volledige 75 tot 80 uur te bekijken omdat beelden steeds versneld kunnen worden afgespeeld om te zoeken naar conflicten. De loonkost voor een onderzoeker zal in dit geval lager zijn, al moet de kostprijs van de plaatsing van vaste camera's, ongeveer € 2300 per twee weken, per camera, wel opgenomen worden (ADHETEC, 2015; Connection Systems, 2015). De totale kostprijs zal hierdoor wel hoger uitvallen.

Voor de bepaling van de modal split zijn de bevragingen veruit de goedkoopste onderzoekstechnieken. Een handopsteking in de klas, uitgevoerd door leerkrachten, is volledig gratis en de benodigde tijd is minimaal. Ook het afnemen van enquêtes kan in veel gevallen gratis via onlinediensten, al zijn meer geavanceerde diensten zoals Qualtrics wel betalend. Ook ligt de kostprijs voor de afname van een grootschalige enquête, indien deze wordt uitbesteed, vaak hoog. Naast bevragingen kunnen manuele observaties in het kader van de modal split ook met een relatief lage kostprijs worden uitgevoerd. De duurtijd van de observatie is vaak beperkt tot minder dan een uur voor een bepaling van de modal split van een school (30 minuten voor de start van de school tot 20 minuten na de start). Het aantal observanten ligt wel hoger aangezien er op alle toegangswegen minstens een observant moet plaatsnemen. Ook is het vaak nodig dat deze observaties meerdere keren worden uitgevoerd doorheen het jaar om een representatiever beeld te verkrijgen. Dit zorgt ook voor een verhoging van de kostprijs.

Naast de specifieke kostprijs van een onderzoekstechniek dient ook gekeken te worden naar de beschikbare parameters van de desbetreffende techniek. Zo kunnen dronebeelden van een enkele vluchtuitvoering ingezet worden voor alle beschreven analyses. Er is dus slechts een onderzoekstechniek nodig om onderzoek te doen naar voertuigintensiteiten, gedragingen van weggebruikers, verkeersstromen, de modal split (indien een betere detectie en tracking mogelijk wordt) en conflicten. Hierdoor kan een hoge prijs van 2500 euro per vluchtuitvoering (1 uur, 100 euro per extra uur) enigszins gerechtvaardigd worden (Vanwelkenhuyzen & Vandebergh, 2020). Hetzelfde geldt ook voor video-observaties waarbij er op basis van de videobeelden verschillende analyses kunnen worden uitgevoerd. Ook kunnen sensoren ingezet worden voor een reeks aan analyses, gaande van voertuigtellingen tot samenstellingen van het verkeer en snelheden.

Verder dient er in de bepaling van de volledige kostprijs ook rekening gehouden te worden met een verdere verwerking van de verzamelde data. Dit kan enerzijds via gespecialiseerde software zoals DFS, anderzijds kan dit ook manueel gebeuren. Vaak is een combinatie van beiden nodig om tot interpreteerbare resultaten te komen. Binnen DFS zijn er twee opties beschikbaar om beelden van vaste camera's en dronebeelden te analyseren (DataFromSky, 2021). Dit zijn respectievelijk DFS Light en DFS Aerial. DFS Light komt heeft een kost van 4,20 euro per uur en is daardoor beduidend goedkoper dan de kost van 21 euro per uur voor analyses met DFS Aerial. Binnen DFS zijn er ook nog geavanceerde opties beschikbaar die de totale kostprijs verhogen. Zo kan er in DFS Light, in het kader van een kentekenonderzoek, geopteerd worden voor kentekenplaatherkenning. Dit kost 0,42 euro per uur extra, wat de totale kostprijs op 4,62 euro per uur brengt. Voor DFS Aerial kan een gebruiker ook opteren om de georegistratie van de video te laten uitvoeren door een gespecialiseerd team van DFS in plaats van dit manueel uit te voeren binnen DFS Viewer. De kostprijs hiervan is 176,40 euro voor de eerste drie uren aan beeldmateriaal, extra uren kosten 29,40 euro per uur (DataFromSky, 2021). In paragraaf 6.2 werd ook al aangehaald dat er binnen DFS een optie is om de accuraatheid van de detectie te verhogen naar 100%. In het kader van de geobserveerde detectieproblemen is dergelijke optie interessant, al komt dit ook tegen een hoge kostprijs aangezien dit manueel door het team van DFS wordt uitgevoerd. Een navraag van de kostprijs bij DFS voor een 100% accuraatheid op de beelden van de ochtendspits uit de pilotstudie toont aan dat deze optie een zeer hoge basisprijs van 3000 euro heeft (Mozga, 2021). Deze basisprijs wordt echter verder nog vermeerderd met 0,56 euro per correctie die wordt uitgevoerd. Aangezien de detectie op de dronebeelden dermate slecht was ligt het aantal benodigde correcties hoog. Vanuit dit opzicht kan besloten worden dat een 100% accuraatheid zeer duur is.

Tot slot dient ook de laatste component, de kostprijs van verwerking door een onderzoeker, mee opgenomen te worden in de totale kostprijs van een onderzoekstechniek. Afhankelijk van de methode van dataverzameling is de data op een geautomatiseerde of manuele manier verzameld. Het aantal benodigde uren voor de manuele dataverwerking hangt hiermee samen. Bij een manueel kentekenonderzoek moeten de kentekens getranscribeerd worden. Dit is een tijdrovend proces dat gebeurd door de onderzoeker. Bij de modal split is de benodigde tijd veel kleiner aangezien er enkel simpele wiskundige formules moeten worden toegepast op de verzamelde data. Bij geautomatiseerde dataverzamelingen worden de gegevens veelal geanalyseerd op basis van software. De taak van de onderzoeker bestaat hier voornamelijk uit het analyseren en interpreteren van de softwarematige analyses. De indicatieve kostprijs van dergelijke manuele dataverwerking is 24,00 euro per uur (Personeelsdienst UHasselt, 2020). Hierbij wordt uitgegaan van een indicatie van de loonkost voor een navorser aan de Universiteit Hasselt.

Tabel 32: Indicatieve kostprijzen per onderzoekstechniek (Eigen werk, 2021)

KOSTPRIJS ONDERZOEKSTECHNIEKEN					
Onderzoekstechniek	Methode van dataverzameling	Indicatie kostprijs dataverzameling	Indicatie kostprijs dataverwerking door software	Indicatie kostprijs verdere verwerking door onderzoeker	Bronnen
Verkeerstelling	Manuele observatie on field	€ 8,78/uur/observant*	NVT	€24,00/uur/onderzoeker*	(Personeelsdienst UHasselt, 2020)
	Manuele observatie op videobeeld	€ 2300/2 weken	NVT	€24,00/uur/onderzoeker*	(ADHETEC, 2015) (Connection Systems, 2015) (Personeelsdienst UHasselt, 2020)
	Sensoren	Pneumatische telslang: € 250-€ 350/2 weken Radar: € 250- € 350/2 weken	NVT (inclusief bij data-verzameling)	€24,00/uur/onderzoeker*	(Hulsman, & Hengelveld, 2014) (Personeelsdienst UHasselt, 2020)
	Computer vision technique	Vaste camera: €2300 euro/2 weken Dronevlucht: € 2500 (1 uur) + €100/extra uur	DFS Light: € 4,20/uur DFS Aerial: € 21,00/uur	€24,00/uur/onderzoeker*	(ADHETEC, 2015) (Connection Systems, 2015) (DroneMatrix, 2020) (DataFromSky, 2021) (Personeelsdienst UHasselt, 2020)
Gedragsobservaties - Snelheid	Sensoren	Pneumatische telslang: € 250-€ 350/2 weken Radar: € 250- € 350/2 weken	NVT (inclusief bij dataverzameling)	€24,00/uur/onderzoeker*	(Hulsman, & Hengelveld, 2014) (Personeelsdienst UHasselt, 2020)
	Computer vision technique	Vaste camera: €2300 euro/2 weken Dronevlucht: € 2500 (1 uur) + €100/extra uur	DFS Light: € 4,20/uur DFS Aerial: € 21,00/uur	€24,00/uur/onderzoeker*	(ADHETEC, 2015) (Connection Systems, 2015) (DroneMatrix, 2020) (DataFromSky, 2021) (Personeelsdienst UHasselt, 2020)
Verkeersstromen	Manuele observatie on field	€ 8,78/uur/uur/observant*	NVT	€24,00/uur/onderzoeker*	(Personeelsdienst UHasselt, 2020)
	Kentekenonderzoek - Manueel	€ 8,78/uur/uur/observant*	Kenteko: € 1495 (Eenmalige gebruiksrechtprijs)	€24,00/uur/onderzoeker*	(Personeelsdienst UHasselt, 2020) (Trenso, 2021)
	Kentekenonderzoek - Manueel - Video	€ 2300/2 weken/camera	Kenteko: € 1495 (Eenmalige gebruiksrechtprijs)	€24,00/uur/onderzoeker*	(ADHETEC, 2015) (Connection Systems, 2015) (Trenso, 2021) (Personeelsdienst UHasselt, 2020)
	Kentekenonderzoek - Geautomatiseerd	€ 2300/2 weken/camera	DFS Light met kentekendetectie: € 4,62/uur/camera	€24,00/uur/onderzoeker*	(ADHETEC, 2015) (Connection Systems, 2015) (DataFromSky, 2021) (Personeelsdienst UHasselt, 2020)
	Computer vision technique	Dronevlucht: € 2500 (1 uur) + €100/extra uur	DFS Light: € 4,20/uur DFS Aerial: € 21,00/uur	€24,00/uur/onderzoeker*	(DroneMatrix, 2020) (DataFromSky, 2021) (Personeelsdienst UHasselt, 2020)
Modal Split	Manuele observaties on field	€ 8,78/uur/uur/observant*	NVT	€24,00/uur/onderzoeker*	(Personeelsdienst UHasselt, 2020)
	Handopsteking	€ 0,00	NVT	€24,00/uur/onderzoeker*	(Personeelsdienst UHasselt, 2020)
	Enquête	€ 0,00*	NVT	€24,00/uur/onderzoeker*	(Personeelsdienst UHasselt, 2020)
	Computer vision technique	Vaste camera: €2300 euro/2 weken Dronevlucht: € 2500 (1 uur) + €100/extra uur	DFS Light: € 4,20/uur DFS Aerial: € 21,00/uur	€24,00/uur/onderzoeker*	(ADHETEC, 2015) (Connection Systems, 2015) (DroneMatrix, 2020) (DataFromSky, 2021) (Personeelsdienst UHasselt, 2020)
Conflictobservaties	Manuele observatie - TCT	€24,00/uur/observant*	NVT	€24,00/uur/onderzoeker*	(Personeelsdienst UHasselt, 2020)
	Computer vision technique	Vaste camera: €2300 euro/2 weken Dronevlucht: € 2500 (1 uur) + €100/extra uur	DFS Aerial: € 21,00/uur	€24,00/uur/onderzoeker*	(ADHETEC, 2015) (Connection Systems, 2015) (DroneMatrix, 2020) (DataFromSky, 2021) (Personeelsdienst UHasselt, 2020)

*Indicatie loonkost jobstudent (UHasselt)

*Werkelijke kostprijs afhankelijk van verschillende factoren (methode van afname, steekproefgrootte, ...); Gratis enquêtesoftware beschikbaar (bv. Google Forms)

*Indicatie loonkost navorser (UHasselt)

8.3.2 Baten

Een kwantificering van baten is zeer complex in het kader van onderzoekstechnieken. Het zijn voornamelijk de maatregelen die worden genomen op basis van verkeersdata die resulteren in directe baten op het vlak van verkeersveiligheid. De baten van onderzoekstechnieken kunnen veelal beschouwd worden als indirecte baten op het vlak van verkeersveiligheid. Er kan bijgevolg gekeken worden naar de bijdragen van de verschillende onderzoekstechnieken aan het onderzoeksproces voor een verbetering van de verkeersveiligheid in schoolomgevingen.

Gelet op het hele onderzoek kan gesteld worden dat een onderzoek aan de hand van dronetechnologie en een computer vision technique grote baten geeft, mits er wordt voldaan aan een hoge accuraatheid van detectie en tracking van weggebruikers. Dit kan geconcludeerd worden op basis van verschillende factoren. Zoals aangehaald in Tabel 11 en in hoofdstuk 8.1 kunnen er met de computer vision technique op basis van dronebeelden zeer veel parameters op een objectieve wijze bepaald worden en kunnen er veel analyses worden uitgevoerd, gaande van verkeerstellingen tot OD-matrices en conflictobservaties. Dit is een zeer grote meerwaarde van de techniek waardoor andere onderzoekstechnieken, naar de toekomst toe, overbodig worden. Ook het feit dat de analyses op een objectieve wijze worden uitgevoerd zorgt voor een meerwaarde, hierdoor kunnen subjectieve knelpunten gestaafd worden met de werkelijkheid. Wel is er met dit onderzoek duidelijk geworden dat de accuraatheden van analyses met deze methode nog niet optimaal zijn. Naar de toekomst toe, gezien de technologische trends, gaat dit naar alle waarschijnlijkheid alleen maar verbeteren.

Een tweede factor die kan worden opgenomen in de baten van drone-onderzoek is het visuele aspect. Doordat er met dronebeelden wordt gewerkt kunnen analyses visueel worden weergegeven. Een voorbeeld hiervan zijn de heatmaps van o.a. snelheden die kunnen gemaakt worden in DFS. Ook kunnen bijvoorbeeld conflictsituaties visueel worden getoond. Dit is niet alleen zeer inzichtelijk om conclusies te vormen en resultaten samen te stellen, ook voor communicatie biedt dergelijke visuele weergaven een grote meerwaarde. Gelet op de communicatie van een onderzoeker richting de stakeholders kan gesteld worden dat een visuele weergave van een bepaald knelpunt veel helderder is voor een probleemomschrijving ten opzichte van communicatie in tekstvorm. Hiernaast is het ook mogelijk om de beelden, indien conform de AVG, te gebruiken voor andere doeleinden. Hierbij is een implementatie in R2S Education bijvoorbeeld mogelijk. Leerlingen kunnen in dit geval de beelden in de klas bekijken en zo gevaarlijke situaties identificeren en erover bijleren.

De baten van onderzoeken met vaste camera’s situeren zich in dezelfde orde als die van een drone-onderzoek. Zo kan er ook een hele reeks aan parameters worden geëxtraheerd op basis van videobeelden van vaste camera’s. Ook het

visuele aspect is bij deze techniek aanwezig. Een groot verschil hierbij is wel het onderzoeksgebied dat onderzocht kan worden met een enkele vaste camera. Aangezien het filmgebied veel kleiner is ten opzichte van dronebeelden moeten er meerdere camera's ingezet worden om een studiegebied van dezelfde grootorde te onderzoeken. Het is wel zo dat vaste camera's voor een veel langere tijd zonder extra inspanningen kunnen worden geplaatst. Daar waar een droneonderzoek beperkt in tijd is en steeds een piloot vereist, is dit bij vaste camera's niet het geval. Mede door langere observaties stijgt de representativiteit van de verzamelde gegevens. Verder is ook onderzocht dat de validiteit van observaties stijgt door het werken met videobeelden in plaats van met rechtstreekse veldobservaties. Een videobeeld kan in tegenstelling tot veldobservaties verschillende keren worden afgespeeld. Hierdoor kunnen observaties die gemaakt worden herbekeken worden door een observant om zo eventueel rapportages aan te passen (Zheng, Ismail, & Meng, 2014). Met het oog op het intra-observer bias is dit een grote meerwaarde. Ook kunnen observaties door middel van videobeelden door meerdere onderzoekers/observanten worden beoordeeld, dit verhelpt het zogenaamde inter-observer bias en dit verhoogt het niveau van objectiviteit. Camera-observaties kunnen ook bijdragen aan een vermindering van reactiviteitseffecten (Hawthorne effect) aangezien camera's minder opvallend aanwezig zijn in een studiegebied ten opzichte van fysieke observanten.

De baten van de manuele onderzoekstechnieken op basis van veldobservaties situeren zich op andere vlakken. Aangezien er geen sprake is van beeldopnames ontbreekt de meerwaarde van het visuele aspect (videobeelden) bij deze methode. Daarentegen bieden veldobservaties wel de mogelijkheid om rijkere informatie te verzamelen met betrekking tot een bepaalde parameter. Zo werd al aangehaald dat de validiteit van conflictobservaties voor het voorspellen van ongevallen groter is bij veldobservaties ten opzichte van conflictobservaties die enkel focussen op een enkele objectieve parameter zoals TTC (Grayson, et al., 1984). Dit komt voornamelijk doordat er gewerkt wordt in TCT met zowel subjectieve als objectieve beoordelingen van conflicten. Een aandachtspunt hierbij is wel het inter-observer bias aangezien een conflict in real-time wordt gerapporteerd en er geen mogelijkheid is om dit conflict achteraf te laten beoordelen door andere onderzoekers. Verder bieden manuele veldobservaties ook de mogelijkheid om ingezet te worden voor de bepaling van een hele reeks aan parameters. Het is wel zo dat de capaciteit van een enkele observant om gelijktijdig observaties met betrekking tot verschillende parameters uit te voeren beperkt is. In werkelijkheid is een veldobservatie dan ook vaak beperkt tot een of enkele parameters, zoals bijvoorbeeld het registreren van kentekens of het tellen en classificeren van weggebruikers.

Voor bevragingen zijn de baten sterk afhankelijk aan de manier van bevraging en aan de vraagstelling. Met een bevraging kan zeer gedetailleerde data met betrekking tot het verkeers- en/of verplaatsingsgedrag van personen onderzocht worden. Over het algemeen gaat het hierbij wel over een subjectieve benadering

van het gedrag aangezien data rechtstreeks van de respondenten komt. Om dit op te nemen in objectieve verkeersveiligheidsanalyses is dit minder geschikt, al kan deze techniek wel een grote meerwaarde bieden in bijvoorbeeld de bevraging van de modal split. De onderzoekstechniek aan de hand van handopsteking in de klas heeft aangetoond op basis van de pilotstudie dat er met een minimale tijdsbesteding en zonder echte kosten een modal split van een school bepaald kan worden. De tijdsefficiëntie van deze methode kan dan ook als een van de grote baten gezien worden.

Tot slot wordt kort gekeken naar de baten van het inzetten van sensoren om data met betrekking tot intensiteiten, verkeerssamenstellingen, snelheden, etc. te verkrijgen. Sensoren kunnen gezien worden als een eenvoudige geautomatiseerde methode van dataverzameling. Mits de juiste kalibratie van de sensor bij de plaatsing van het toestel, kunnen sensoren zoals pneumatische telslangen voor een lange tijd worden ingezet om gegevens te verzamelen. Met andere woorden is het dus mogelijk om op eenvoudige wijze representatieve data te verzamelen. Ook de dataverwerking achteraf kan op een tijdsefficiënte wijze gebeuren. De data van het meetapparaat kan ingelezen worden aan de hand van bijhorende software en kan vervolgens rechtstreeks geïnterpreteerd worden. Een onderzoek naar verkeersintensiteiten en dergelijke kan bijgevolg zonder veel inspanningen worden uitgevoerd.

8.3.3 Schaalbaarheid

Schaalbaarheid is het laatste aspect dat wordt besproken binnen de commerciële haalbaarheid. Het gaat in deze paragraaf over de mogelijkheid om onderzoekstechnieken in te zetten in grotere onderzoeken en onderzoeksprogramma's rond meerdere scholen. De schaalbaarheid van een onderzoekstechniek wordt bepaald door verschillende factoren. Een van de belangrijke factoren is de toepasbaarheid, besproken in hoofdstuk 8.1. Hiernaast zijn ook factoren zoals de mate van automatisatie, het juridische kader, de kostprijs, de kwaliteit van resultaten etc. van belang.

Over het algemeen kan gesteld worden dat alle beschreven onderzoekstechnieken een potentieel hebben om opgeschaald te worden naar grotere onderzoeken in meerdere schoolomgevingen. Toch zijn er wel nog wezenlijke verschillen die van invloed zijn op dit potentieel. Drone-onderzoeken en onderzoeken aan de hand van vaste camera's hebben een relatief hoge toepasbaarheid op het vlak van het type onderzoeksgebied. De grootte van het studiegebied is voornamelijk een meerwaarde van het drone-onderzoek, aangezien er met een vlucht een relatief groot studiegebied kan worden afgebakend. Bij vaste camera's is dit minder, al kunnen er wel meerdere camera's worden geplaatst, net zoals er meerdere observanten kunnen worden ingezet bij manuele observaties. Bij te grote onderzoeken treedt dit wel op als een beperking aangezien er dan tot tientallen camera's dienen geplaatst te worden. Gelet op het type weggebruiker kan gesteld

worden dat manuele observaties de grootste toepasbaarheid hebben aangezien elk type weggebruiker kan worden opgenomen in het onderzoek. Dit is (nog) niet het geval bij toepassingen van computer vision technieken, bij kentekenonderzoeken en bij onderzoeken aan de hand van sensoren.

Een tweede factor is de mate van automatisatie. Om onderzoekstechnieken te commercialiseren en op te schalen is het van belang dat deze zonder al te veel bijkomende inspanningen van de onderzoeker kunnen worden toegepast. Technieken gebaseerd op videobeelden of sensoren bieden binnen dit aspect een meerwaarde. Zowel vaste camera's en sensoren worden geplaatst voor een langere periode van dataverzameling. Tijdens deze periode dient een onderzoeker geen extra werkzaamheden uit te voeren met betrekking tot de dataverzameling. Ook de dataverwerking achteraf kan in veel vallen geautomatiseerd plaatsvinden aan de hand van een computer vision technique of andere software. Bij onderzoeken aan de hand van drones dient er steeds een piloot en eventueel andere personen aanwezig te zijn voor het uitvoeren van de dronevluchten, de mate van automatisatie is hierdoor lager. Daarentegen kan de dataverwerking wel geautomatiseerd worden uitgevoerd door o.a. DFS, al is er nog steeds een onderzoeker nodig om de resultaten te reviseren en te interpreteren. Hetzelfde kan besloten worden voor manuele onderzoekstechnieken. Hierbij dienen steeds een of meerdere observanten fysiek aanwezig te zijn in het studiegebied voor de dataverzameling. Enkel bij manuele observaties op basis van videobeelden is er een hogere mate van automatisatie, al dienen de beelden wel steeds manueel bekeken te worden door een onderzoeker. Ten slotte wordt de mate van automatisatie bij bevragingen sterk bepaald door de methode die wordt gebruikt voor het uitvoeren van de bevragingen. Handopstekingen in de klas moeten manueel worden uitgevoerd, al kan dit zeer snel waardoor dit geen echte beperking vormt voor de schaalbaarheid. Verder worden enquêtes tegenwoordig vaak online afgenomen, dit gebeurt dan ook veelal geautomatiseerd.

Daarnaast is ook het wetgevend kader van belang voor de schaalbaarheid. Het wetgevend kader rond drones wordt geregeld op Europees niveau. Deze wetgeving legt enerzijds rechten en plichten op aan drone-exploitanten, anderzijds legt deze ook beperkingen op aan de vluchtuitvoeringen. Verder kunnen lidstaten ook geografische UAS-zones afbakenen met bijkomende verplichtingen en beperkingen. Een vluchtuitvoering dient bijgevolg steeds conform te zijn aan dit wetgevend kader. In sommige gevallen kan het dus voorkomen dat een dronevlucht niet kan worden uitgevoerd door beperkingen indien een studiegebied bijvoorbeeld is gelegen in een UAS-zone met veel restricties. Ook is er tot op heden, met een gebrek aan een standaardscenario, een verplichting voor de uitvoering van een SORA. Dit is een tijdsintensieve risico-evaluatie die specifiek per vluchtuitvoering moet worden opgesteld. Gelet op de schaalbaarheid kan dit als een beperking optreden. Voor vaste en tijdelijk vaste camera's, al dan niet met een ANPR-systeem, ligt het wetgevend kader anders. Hierbij dient de plaatsing van een camera conform de camerawet te gebeuren. Zo is er steeds een

toestemming nodig van de desbetreffende gemeente waar de camera's worden geïnstalleerd. Dit kan dus ook als een beperking optreden voor de schaalbaarheid, al zal een toestemming in het kader van studies naar de verkeersveiligheid naar verwachting relatief vlot worden gegeven, al vormt dit geen zekerheid. Voor de andere onderzoekstechnieken is er geen specifiek wetgevend kader van toepassing, dit vormt dan ook geen beperking. Wel dienen de verzamelde gegevens steeds verwerkt te worden volgens de Algemene Verordening Gegevensbescherming. Dit is van toepassing op alle onderzoektechnieken die persoonsgegevens verwerken, dus ook voor vaste camera's en in sommige gevallen voor drones. Hierdoor zijn in bepaalde gevallen ook nog extra werkzaamheden nodig, bijvoorbeeld voor de opmaak van een DPIA in het geval van drone-onderzoeken en camera-observaties.

Nog een andere factor is de mate van acceptatie en draagvlak van een bepaalde onderzoekstechniek. In het onderzoek van Hulsman en Hengeveld (2014) is in de provincie Antwerpen navraag gedaan bij de lokale overheden met betrekking tot het gebruik van onderzoekstechnieken voor fiets- en voertuigtellingen. Hieruit kan besloten worden dat er voor periodieke tellingen van weggebruikers voornamelijk manuele observaties en sensoren (telslang en radar) worden gebruikt. Occasioneel wordt er ook gebruik gemaakt van camera's, al is dit nog beperkt. Er wordt ook aangegeven dat het Agentschap Wegen en Verkeer voornamelijk gebruik maakt van pneumatische telslangen. Vanuit deze opzichten kan geconcludeerd worden dat sensoren en manuele observaties voor verkeerstellingen breed geaccepteerd zijn en daadwerkelijk gebruikt worden. Dit is dan ook een verklarende factor voor een goede schaalbaarheid van deze technieken. Het algemene draagvlak van onderzoeken aan de hand van vaste camera's en drones is tot op heden nog lager. Zeker indien er computer vision technieken worden toegepast. Deze technieken zijn relatief nieuw en experimenteel waardoor het vertrouwen in deze technieken nog lager ligt. Verder is ook de publieke opinie een mogelijk knelpunt. Een recente inzet van drones voor het opsporen van overtredingen van de COVID-19-maatregelen resulteerde op veel verzet van de bevolking (Hiroux & Goedgebeur, 2020). Hierbij stelt de bevolking voornamelijk de impact van drones op hun privacy in vraag. Hoewel de pilotstudie heeft aangetoond dat er geen inbreuken zijn vastgesteld op de privacy van personen blijft dit nog steeds een knelpunt. Communicatie is hierbij dus essentieel om het draagvlak en vervolgens het schaalbaarheidspotentieel te verhogen.

Tot slot zijn natuurlijk ook de kostprijzen van de verschillende technieken bepalend voor de schaalbaarheid ervan. Er kan gesteld worden op basis van Tabel 32 dat onderzoeken met drones veruit de hoogste kostprijs hebben. Dit gaat vervolgens ook nog gepaard met een zeer korte periode van dataverzameling. Daarentegen kunnen er met drones wel de meeste verkeersanalyses worden uitgevoerd, iets waarvoor er bij andere onderzoekstechnieken steeds een combinatie van verschillende technieken vereist is. Aan de hand van tijdelijke vaste camera's kunnen er ook relatief veel analyses worden uitgevoerd tegen een lagere prijs en

voor een langere periode. Hetzelfde geldt voor sensoren, deze blijken de goedkoopste methode voor het uitvoeren van tellingen en snelheidsmetingen gedurende een langere periode. Manuele veldobservaties worden gezien als goedkope methode voor kleine en korte onderzoeken, al stijgt de prijs sterk wanneer er meer observanten worden ingezet voor langere periodes. Op het vlak van kostprijs kan bijgevolg gesteld worden dat sensoren het hoogste schaalbaarheidspotentieel hebben. De laatste techniek, een bevraging, biedt een zeer goedkoop alternatief voor onderzoek naar bepaalde parameters. Zeker wanneer geopteerd wordt voor handopstekingen in de klas is er sprake van een kosteloze en tevens zeer snelle techniek van dataverzameling.

8.4 Conclusie a.d.h.v. MCA

Dit onderzoek is uitgevoerd om een antwoord te kunnen geven op de volgende onderzoeksvragen:

"Wat zijn de voor- en nadelen van het toepassen van dronetechnologie in verkeersonderzoek rond schoolomgevingen?"

- Hoe verhouden deze voor- en nadelen zich t.o.v. andere vormen van verkeerskundig onderzoek? (Cfr. Video-observatie, tellingen, manuele observaties, etc.)
- Zijn er verschillen in praktische, commerciële en juridische haalbaarheid tussen observaties met drones en andere onderzoekstechnieken?
- Biedt dronetechnologie een voldoende grote haalbaarheid t.o.v. van andere soorten observaties om in de toekomst verder ingezet te worden?

In de voorgaande delen is de haalbaarheid van verschillende onderzoekstechnieken tegen elkaar afgewogen op het vlak van praktische, juridische en commerciële haalbaarheid. Doorheen deze delen zijn grote verschillen op het vlak van haalbaarheid waargenomen. Om te kunnen bepalen welke onderzoekstechniek daadwerkelijk de hoogste haalbaarheid heeft voor een bepaalde verkeerskundige analyse wordt in dit deel een concluderende multicriteria-analyse (MCA) opgesteld.

Tabel 33 geeft de MCA weer voor de onderzochte verkeerskundige analyses met hun bijhorende onderzoekstechnieken. Deze MCA is onderverdeeld in drie aspecten van de haalbaarheid: de praktische, de juridische en de commerciële haalbaarheid. Binnen deze subcategorieën zijn de belangrijkste criteria opgelijst die een invloed hebben op de haalbaarheid. De scores in de tabel zijn een resultaat van een subjectieve beoordeling op basis van het onderzoek in de voorgaande hoofdstukken. Voor het criterium 'beoordeling o.b.v. pilotstudie' is er wel geopteerd om de scores gezamenlijk, met de medestudenten te bepalen. Binnen elk aspect van de totale haalbaarheid wordt er ook een concluderende score gegeven per onderzoekstechniek. Deze scores reflecteren de gemiddelde beoordeling op alle criteria van een bepaalde onderzoekstechniek. Tot slot is er ook een totale score per onderzoekstechniek weergegeven. Dit is het gemiddelde van de individuele gemiddelden per aspect van de haalbaarheid. Er is geopteerd om niet te werken met een gewogen MCA aangezien de gewichten van individuele criteria zeer subjectief zijn. Zo weegt de kostprijs in bepaalde gevallen sterker door terwijl het kan voorkomen dat de praktische haalbaarheid in een ander onderzoek belangrijker is. Het is wel steeds mogelijk om in verdere onderzoeken zelf gewichten toe te kennen aan de criteria om een gewogen MCA te bekomen.

Op basis van de MCA kan geconcludeerd worden dat onderzoeken aan de hand van drones en computer vision technieken voor geen enkele verkeerskundige analyse de hoogste haalbaarheid kennen. Detectieproblemen, een ingewikkeld

juridisch kader en een hoge kostprijs zijn enkele verklarende factoren voor deze vaststelling. Voor verkeerstellingen hebben manuele veldobservaties (tellingen) de hoogste haalbaarheid. Voor snelheidsmetingen blijken sensoren het meest geschikt. Gelet op een onderzoek naar verkeersstromen kan gesteld worden dat manuele kentekenonderzoeken de hoogste haalbaarheid hebben in schoolomgevingen. Voor de modal split wordt idealiter geopteerd voor handopstekingen in de klas, dit is een snelle en goedkope methode met een zeer hoge haalbaarheid. Tot slot zijn de verschillen in haalbaarheid tussen manuele conflictobservaties en conflictobservaties aan de hand van computer vision technieken niet heel groot, al gaat de voorkeur uit naar manuele conflictobservaties, bij voorkeur op basis van videobeelden, omwille van een hogere validiteit, een grotere toepasbaarheid, een hogere representativiteit en een lagere kostprijs.

Tabel 33: Multicriteria-analyse onderzoekstechnieken (Eigen werk, 2021)

	MULTICRITERIA-ANALYSE ONDERZOEKSTECHNIEKEN										
Criterium	**Verkeerstellingen**				**Gedragsobservaties - Snelheid**		**Verkeersstromen**				
	Manuele observatie on field	Manuele observatie op videobeeld	Sensoren (bv. pneumatische telslang)	Computer vision technique*	Sensoren (bv. pneumatische telslang)	Computer vision technique*	Manuele observatie on field	Kentekenonderzoek - Manueel	Kentekenonderzoek - Manueel - Video	Kentekenonderzoek - Geautomatiseerd	Computer vision technique*
Praktische haalbaarheid	3,6	3,0	3,4	2,9	3,4	3,1	3,0	3,4	3,0	3,1	3,1
Beschikbare parameters	3	3	3	4	3	4	3	3	3	3	4
Voorbereiding	4	2	3	2	3	2	4	3	2	2	2
Dataverzameling	3	3	4	3	4	4	2	3	3	4	4
Automatisatie	1	3	5	4	5	4	1	1	3	5	4
Representativiteit	2	3	4	2	4	4	2	3	4	4	4
Dataverwerking	3	3	4	3	4	4	4	3	3	4	4
Accuraatheid	4	4	4	2	4	2	3	4	4	4	2
Gemotoriseerd verkeer	4	4	4*	3	4*	4	3	4	4	4	3
Zwakke weggebruikers	4	4	3*	1	3*	2	3	NVT	NVT	NVT	1
Complexiteit	4	3	3	3	3	3	3	4	3	2	3
Toepasbaarheid	4	3	3	3	3	3	2	4	3	3	3
Grootte onderzoeksgebied	3	2	2	3	2	3	2	4	4	4	3
Type onderzoeksgebied	5	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4
Type weggebruiker	5	5	4*	2	4*	2	4	2	2	2	2
Invloed externe factoren	5	3	3	3	3	3	5	4	3	3	3
Beoordeling o.b.v. pilotstudie	NVT	NVT	NVT	3	NVT	3	NVT	NVT	NVT	NVT	3
Juridische haalbaarheid	5	2,5	4	2,5	4	2,5	5	5	2,5	2,5	2,5
Wetgevend kader	NVT	3	4	2	4	2	NVT	NVT	3	3	2
Gegevensverwerking/Privacy	NVT	2	NVT	3	NVT	3	NVT	5	2	2	3
Beoordeling o.b.v. pilotstudie	NVT	NVT	NVT	3	NVT	3	NVT	NVT	NVT	NVT	3
Commerciële haalbaarheid	3,3	3,0	3,7	2,7	3,7	3,0	2,7	3,0	2,3	2,7	2,7
Kosten	3	2	4	1	4	2	4	3	1	1	2
Baten	3	4	3	4	3	4	2	3	3	3	4
Schaalbaarheid	4	3	4	3	4	3	2	3	3	4	2
CONCLUSIE	**4,0**	**2,8**	**3,7**	**2,7**	**3,7**	**2,9**	**3,6**	**3,8**	**2,6**	**2,8**	**2,8**

Beoordeling: 2: slecht 4: goed
1: zeer slecht 3: gemiddeld 5: zeer goed

*Afhankelijk van de gekozen sensor (pneumatische telslang, radar, inductieve lus, etc.)

*Gebaseerd op toepassingen op dronebeelden (enkele criteria verschillend t.o.v. vaste camera)

*Geen specifieke gegevens beschikbaar

*Indien uitgevoerd op basis van videobeelden

Criterium	MULTICRITERIA-ANALYSE ONDERZOEKSTECHNIEKEN					
	Modal Split				Conflictobservaties	
	Manuele observaties on field	Handopsteking	Enquête	Computer vision technique*	Manuele observaties - TCT	Computer vision technique*
Praktische haalbaarheid	3,3	4,1	3,7	2,9	3,1	2,6
Beschikbare parameters	3	3	4	3	4	3
Voorbereiding	4	5	4	2	3	2
Dataverzameling	3	4	3	4	2	3
Automatisatie	1	1	3	4	1	4
Representativiteit	3	4	4	3	4	2
Dataverwerking	4	4	4	3	4	2
Accuraatheid	3	4	4	2	3	2
Gemotoriseerd verkeer	4	NVT	NVT	2	*	2
Zwakke weggebruikers	4	NVT	NVT	1	*	1
Complexiteit	3	5	3	3	2	3
Toepasbaarheid	3	4	4	3	4	3
Grootte onderzoeksgebied	3	NVT	NVT	3	3	3
Type onderzoeksgebied	4	NVT	NVT	4	4	4
Type weggebruiker	4	NVT	NVT	2	5	2
Invloed externe factoren	5	5	4	3	4	3
Beoordeling o.b.v. pilotstudie	NVT	5	NVT	1	NVT	2
Juridische haalbaarheid	5	5	4	2,5	2,5	2,5
Wetgevend kader	NVT	NVT	NVT	2	3*	2
Gegevensverwerking/Privacy	NVT	NVT	4	3	2*	3
Beoordeling o.b.v. pilotstudie	NVT	NVT	NVT	3	NVT	3
Commerciële haalbaarheid	3,0	5,0	4,3	1,7	3,3	2,3
Kosten	4	5	5	2	2	1
Baten	3	5	4	2	4	3
Schaalbaarheid	2	5	4	1	4	3
CONCLUSIE	**3,8**	**4,7**	**4,0**	**2,3**	**3,0**	**2,5**

Beoordeling:
1: zeer slecht
2: slecht
3: gemiddeld
4: goed
5: zeer goed

*Afhankelijk van de gekozen sensor (pneumatische telslang, radar, inductieve lus, etc.)

*Gebaseerd op toepassingen op dronebeelden (enkele criteria verschillend t.o.v. vaste camera)

*Geen specifieke gegevens beschikbaar

*Indien uitgevoerd op basis van videobeelden

8.5 Business case Zonhoven

Om de haalbaarheidsstudie naar verschillende onderzoekstechnieken in dit hoofdstuk af te sluiten wordt een korte business case uitgewerkt. Met deze business case worden de inzichten en de conclusies uit de voorgaande delen en uit de MCA, te zien in Tabel 33, toegepast op de uitgevoerde pilotstudie rond basisschool De Zonnewijzer in Zonhoven. Het doel van deze business case is het afwegen van een combinatie van verschillende onderzoekstechnieken ten opzichte van het uitgevoerde drone-onderzoek in de pilotstudie. Het resultaat is weergegeven in Tabel 34.

Zoals weergegeven in Tabel 34 wordt het drone-onderzoek van de pilotstudie afgewogen tegen een combinatie van verschillende andere onderzoekstechnieken, namelijk: een radar, een manueel kentekenonderzoek, een manuele observatie van verkeersstromen van zwakke weggebruikers, handopsteking en manuele conflictobservaties op basis van videobeelden. De bepaling van deze combinatie van onderzoekstechnieken voor het alternatief onderzoek is gebeurd op basis van enkele elementen. Zo is er rekening gehouden met het feit dat de belangrijkste parameters moeten kunnen worden verzameld met de geselecteerde onderzoekstechnieken. Ook is er rekening gehouden met de conclusies uit de MCA met betrekking tot de algemene haalbaarheid van de individuele onderzoekstechnieken. Zo kon eerder al geconcludeerd worden dat sensoren, in dit geval een radar, een hoge haalbaarheid hebben voor zowel verkeerstellingen als snelheidsmetingen. Daarnaast werd gesteld dat een manueel kentekenonderzoek de hoogste haalbaarheid kent voor onderzoek naar verkeersstromen. Deze techniek kan wel enkel worden toegepast op gemotoriseerde voertuigen met een kenteken. Voor verkeersstromen van zwakke weggebruikers is er nood aan manuele observaties van verkeersstromen door middel van tellingen van het aantal inkomende en uitgaande zwakke weggebruikers aan verschillende in- en uitgangen van het studiegebied. Voor onderzoek naar de modal split wordt geopteerd voor handopsteking in de klas, de onderzoekstechniek met veruit de hoogste haalbaarheid. Tot slot wordt ook geopteerd voor manuele conflictobservaties op basis van videobeelden aan de hand van een traffic conflict technique. Belangrijk om hierbij te vermelden is het feit dat deze selectie niet limitatief is. Er kan steeds worden geopteerd voor een andere combinatie van onderzoekstechnieken naargelang het onderzoek.

Voor elk criterium in Tabel 34 wordt een korte uitleg voorzien, dit gaat onder andere over: specifieke benodigde voorbereiding, de duurtijd, het aantal meetlocaties, de accuraatheid, de kostprijs, etc. In de laatste kolom van de tabel wordt ook steeds per criterium een afweging gemaakt van de prestatie van het alternatieve onderzoek (de combinatie van de geselecteerde onderzoekstechnieken) ten opzichte van het uitgevoerde drone-onderzoek in Zonhoven. Deze quotering wordt subjectief bepaald op basis van verschillende elementen die van toepassing zijn op een bepaald criterium. Belangrijke

elementen hierbij zijn de benodigde tijd, de inspanningen, de hoeveelheid werk, de complexiteit, de bekomen resultaten, etc. Aangezien het hier gaat over een subjectieve beoordeling kan deze beoordeling verschillen tussen personen. De beoordeling is wel gebaseerd op de inzichten en conclusies uit de voorgaande delen van dit hoofdstuk.

Op basis van Tabel 34 kan geconcludeerd worden dat zowel het drone-onderzoek als het alternatief onderzoek voor- en nadelen hebben bij een toepassing op het onderzoeksgebied in Zonhoven. Het onderzoek met drones een relatief snelle manier van dataverzameling, maar de representativiteit voor verkeerstellingen en conflictobservaties blijft laag. In het alternatief onderzoek is de mogelijkheid er wel om over langere periodes data te verzamelen. Ook blijken de accuraatheden van de analyses bij het drone-onderzoek nog veel lager te liggen in vergelijking met het alternatieve onderzoek. Daarentegen is de totale kostprijs van het drone-onderzoek wel lager ten opzichte van het alternatieve onderzoek, al is dit voor een veel kortere periode (2 uur) van dataverzameling. Indien er wordt geopteerd voor een 100% accuraatheid, een dienst van DFS, dan ligt de totale kostprijs van een drone-onderzoek wel beduidend hoger, dit zou neerkomen op ongeveer 9300 euro (2 x 3000 euro extra) (Mozga, 2021). Afhankelijk van het onderzoek zal de keuze voor al dan niet het drone-onderzoek of het alternatieve onderzoek bijgevolg afhangen van de prioriteiten van de desbetreffende onderzoeker. Op basis van de verkregen inzichten in dit onderzoek kan wel gesteld worden dat voor een onderzoek in schoolomgevingen de voorkeur momenteel, ondanks de hogere kostprijs, toch nog uitgaat naar het alternatieve onderzoek. De pilotstudie heeft aangetoond dat de accuraatheid van de detectie en het volgen van weggebruikers, in het bijzonder bij zwakke weggebruikers, nog te laag is in commerciële software zoals DFS. Voor onderzoeken in schoolomgevingen, waarbij zwakke weggebruikers centraal staan, is dit een niet te overzien knelpunt. Dit maakt dat analyses niet of niet geheel correct kunnen worden uitgevoerd. Resultaten zullen hierdoor ook niet volledig correct kunnen worden gerapporteerd, hetgeen het opstellen van adequate maatregelen ook zal verhinderen. Aangezien de technologie in de toekomst naar alle waarschijnlijkheid nog sterk zal verbeteren, zal ook het potentieel van een drone-onderzoek sterk toenemen. In dit geval is een heroverweging van een drone-onderzoek aan de orde om nieuwe conclusies te kunnen stellen. Ook bij andere soorten onderzoeken, bijvoorbeeld een onderzoek naar de doorstroming op een kruispunt, is een heroverweging nodig om de meest aangewezen onderzoekstechniek(en) te selecteren.

Tabel 34: Business case Zonhoven (Eigen werk, 2021)

BUSINESS CASE ZONHOVEN							
CRITERIUM	PILOTSTUDIE ZONHOVEN Computer vision technique o.b.v. dronebeelden	ALTERNATIEF ONDERZOEK					
		Radar	Manueel kentekenonderzoek	Manuele observatie verkeersstromen	Handopsteking	Manuele conflictobservaties (TCT) o.b.v. videobeelden (vaste camera)	Combinatie t.o.v. Pilotstudie
Beschikbare parameters	- Verkeersintensiteiten - Classificering van weggebruikers - Snelheid - Versnelling - OD-matrices - (Modal split) - Headway - Conflictobservaties (PET, TTC, Heavy Breaking) - ...	- Verkeersintensiteit - Classificering van weggebruikers - Snelheid	- OD-matrices (gemotoriseerde voertuigen) - OD-travel-time-matrices	OD-matrices (zwakke weggebruikers)	Modal split	Conflictobservaties: - PET - TTC - TA - CS - Conflicternst - Consequenties - Uitwijkmanoeuvre - ...	+/-
Voorbereiding	Organisatie van vluchtuitvoering	Plaatsing en activering radar	Organisatie kentekenonderzoek	Organisatie onderzoek verkeersstromen zwakke weggebruiker	Organisatie bevraging a.d.h.v. handopsteking	- Organisatie plaatsing tijdelijke vaste camera - Organisatie gebruik traffic conflict technique (TCT)	-
Praktisch	- Contact met school - Contact met gemeente - Contact DroneMatrix - Bepaling locatie opstijgen en landen	- Bepaling meetlocatie - Plaatsing en kallibratie radar	- Opmaak rapportageformulier - Bepaling in- en uitgangen	- Opmaak rapportageformulier - Bepaling in- en uitgangen	- Opmaak rapportageformulier - Contact met school Inlichting leerkrachten	- Opmaak rapportageformulier i.f.v. TCT - Bepaling locatie camera - Plaatsing camera - Training observant(en) gebruik TCT	-
Juridisch	- Vergunning vluchtuitvoering (evt. SORA) - Toestemming geo-zonemanager - Toestemming burgemeester - (DPIA) - (Transparantieplicht)	Toestemming wegbeheerder	Maximaal vier karakters van het kenteken rapporteren => Geen verwerking van persoonsgegevens	NVT	NVT	- Toestemming gemeenteraad - DPIA - Transparantieplicht	+/-
Dataverzameling	Uitvoering dronevlucht	Datacaptatie door toestel en sensor	Registratie kentekens in- en uitgangen studiegebied	Tellingen zwakke weggebruikers in- en uitgangen studiegebied	Registratie gebruikte modi door leerkracht	Verzameling videobeelden studiegebied	-
Duurtijd	2 keer 1 uur (OS & AS)	2 weken	2 keer 1 uur (OS & AS)	2 keer 1 uur (OS & AS)	(Eenmalig) alle klassen	80 uur (2 weken)	- -
Representativiteit	Niet representatief voor verkeerstellingen (min. 5 dagen, 12-16u/dag) en conflictobservaties (min. 75-80 uur)	- Verkeerstelling: Representatief - Snelheid: Representatief	Representatief (afh. van aantal voertuigen)	Representatief (afh. van aantal zwakke weggebruikers)	Lage representativiteit (herhaling doorheen schooljaar gewenst)	Representatief	++
Aantal meetlocaties	1 (analyses over heel studiegebied op dronebeelden mogelijk)	1	5	5	NVT (alle klassen)	1	-
Type weggebruiker	- Gemotoriseerd voertuigen - (Zwakke weggebruikers)	- Gemotoriseerde voertuigen - Fietsers	Gemotoriseerde voertuigen	Zwakke weggebruikers	Alle vervoersmodi	Alle vervoersmodi	++
Automatisatie	Dronepiloot moet steeds aanwezig zijn	Volledig geautomatiseerd	Manuele registratie kentekens per locatie	Manuele telling zwakke weggebruikers per locatie	Rapportage door leerkracht	Geautomatiseerde beeldverzameling a.d.h.v. tijdelijke vaste camera	-
Invloed interne/externe factoren	- Weersomstandigheden - Lichtomstandigheden - Vlieghoogte - Occlusie - (Hawthorne-effect)	- Weersomstandigheden - Occlusie	/	/	/	- Weersomstandigheden - Lichtomstandigheden - Hawthorne-effect - (Inter- en intra-observer bias)	+/-

BUSINESS CASE ZONHOVEN (vervolg)							
CRITERIUM	PILOTSTUDIE ZONHOVEN Computer vision technique o.b.v. dronebeelden	ALTERNATIEF ONDERZOEK Radar	Manueel kentekenonderzoek	Manuele observatie verkeersstromen	Handopsteking	Manuele conflictobservaties (TCT) o.b.v. videobeelden (vaste camera)	Combinatie t.o.v. Pilotstudie
Dataverwerking	Dataverwerking aan de hand van DFS Viewer - Snelheidsmetingen - Verkeersveiligheidstoolbox (conflicten) - Verkeerstellingen - Analyse verkeersstromen - …	Manuele verwerking automatisch gecapteerde telgegevens	- Manuele transcriptie kentekens - Koppelen van kentekens tussen in- en uitgang	Manuele verwerking gerapporteerde telgegevens	Manuele verwerking gerapporteerde gegevens	Toepassing TCT op videobeelden	-
Software	DFS Aerial & DFS Viewer	Afhankelijk van producent	Bv. Kenteko	/	/	/	+/-
Automatisatie	- Analayses volledig geautomatiseerd - Interpretatie manueel	- Analayses volledig geautomatiseerd - Manuele interpretatie	- Analayses volledig geautomatiseerd - Manuele interpretatie	Manueel	Manueel	Manueel	-
Accuraatheid	- Detectie: 39,78% - Algemene beoordeling accuraatheid van analyses: matig tot slecht	- Voertuigtelling: > 95% - Snelheid: > 95%	≈ 100%	≈ 99% (accuraatheid manuele telling)	Zeer goed	Goed tot zeer goed	++
Privacy	Geen verwerking van persoonsgegevens	Geen verwerking van persoonsgegevens	Geen verwerking van persoonsgegevens	Geen verwerking van persoonsgegevens	Geen verwerking van persoonsgegevens (indien bevraging is uitgevoerd door leerkracht)	Verwerking van persoonsgegevens => AVG van toepassing	-
Resultaten	- Verkeerstellingen: cijfermatig - Verkeersstromen: OD-matrices, visuele weergave verkeersstromen - Modal split: (nog) niet mogelijk - Snelheid: Cijfermatig en heatmap - Time & distance heaway: cijfermatig - Conflicten (PET, TTC, Heavy Breaking): cijfermatig, conflictenlijst, heatmap	- Cijfermatig - Grafisch	- Cijfermatig (OD-matrices) - Grafisch	- Cijfermatig - Grafisch	- Cijfermatig - Grafisch	- Cijfermatig - Visueel - Grafisch	+
Communicatie	- Visuele weergave van resultaten - Objectieve cijfers	Objectieve cijfers	Objectieve cijfers	Objectieve cijfers	Objectieve cijfers	- Visuele weergave van resultaten - Objectieve cijfers	-
Mogelijkheid voor educatie	Dronebeelden als visuele weergave van knelpunten	NVT	NVT	NVT	NVT	Mogelijkheid tot gebruik van beelden	-
Kosten	€ 3.218	€ 348,00	€ 621,3 (inclusief 1/10 kostprijs software)	€ 279,80	€ 24,00	€ 3260,00	€ 4533,10
Dataverzameling	€ 2.600 / 2 uur	€ 300 / 2 weken	(5 x € 8,78/u) x 2	(5 x € 8,78/u) x 2	€ 0,00	€ 2300 / 2 weken (inclusief installatie)	-
Dataverwerking software	€ 42 / 2 uur beeldmateriaal*	Inclusief	€ 149,5 (1/10 kostprijs software)	/	/	/	+/-
Dataverwerking onderzoeker	€ 576 (3 dagen, 8u/dag)	€ 48 (2 uur)	€ 384 (2 dagen, 8u/dag)	€ 192 (8 uur)	€ 24,00 (1 uur)	€ 960 (5 dagen, 8u/dag)	- -

- - Prestatie is veel slechter
- Prestatie is slechter
+/- Prestatie is gelijkaardig/ niet slechter en niet beter
+ Prestatie is beter
++ Prestatie is veel beter
*Exclusief dienst DFS 100% accuraatheid (± € 3000/uur beeldmateriaal)

9 Quick wins en maatregelen

- Camille Lubon –

Het derde deelonderzoek heeft betrekking op maatregelen die genomen kunnen worden ter verbetering van de verkeersveiligheid in de schoolomgeving. Dit hoofdstuk geeft een overzicht van veelvoorkomende (verkeersveiligheids)problemen en bijhorende maatregelen om deze problemen op te lossen. Vervolgens volgt er een meer gedetailleerde analyse van de dronebeelden. Op basis van deze analyse worden 3 problemen gedetecteerd waarvoor verschillende maatregelen worden voorgesteld. Dit hoofdstuk besteed eveneens aandacht aan de implementatie van dronebeelden binnen Route2School Educatie. Tot slot volgt er een conclusie en discussie.

9.1 Overzicht veelvoorkomende problemen en maatregelen in schoolomgeving

In onderstaande tabel worden veelvoorkomende problemen in schoolomgevingen opgesomd die op basis van dronebeelden gedetecteerd kunnen worden. Voor iedere probleem worden er ook maatregelen voorgesteld. Achter de maatregel staat tussen haakjes het type maatregel: infrastructuurmaatregelen (I), educatiemogelijkheden (E), handhavingsinitiatieven (H) en maatregelen die betrekking hebben op organisatie en overleg (O).

Tabel 35: Overzichtstabel problemen en maatregelen (eigen werk, 2021)

PROBLEMEN	MAATREGELEN
Algemene problemen	
Impulsief gedrag van kinderen en jongeren (kinderen lopen de straat op, etc.)	- Voetgangersoversteekplaatsen aanleggen of verplaatsen (I) - Oversteek beschermen of verkorten (I) - Politioneel optreden bij impulsief gedrag van kinderen en jongeren (H) - Gemachtigd opzichter inschakelen (E) - Kinderen leren stoppen aan de stoeprand (E)
Kinderen vinden de situatie in de schoolomgeving chaotisch of onduidelijk	- Verschillende modi of leeftijdsgroepen spreiden in tijd of ruimte (O) - Schoolvervoerplan opstellen
Beperkte zichtbaarheid van en voor kinderen door (fout)geparkeerde motorvoertuigen, straatmeubilair, obstakels, halterende bussen, etc.	- Kinderen leren een juiste oversteekplaats kiezen (E) - Het parkeren organiseren (I) - Politioneel optreden bij foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan (H)

	- Foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan fysiek tegengaan (I) - Voet- en fietspaden obstakelvrij maken (I) - Openbaarvervoerhalte verplaatsen (I) - Groenvoorziening aanpassen (I)
Routes naar school zijn niet aangepast aan kinderen	- Schoolroutes veilig en kindgericht inrichten (I) - Schoolroutekaart aanmaken en verspreiden (E)
Verkeersonveilig kruispunt door niet-conflictvrij afslaand verkeer	- Aandachtspunten voor kruispunten die onveilig zijn door niet-conflictvrij (afslaand) verkeer (I) - Kinderen leren veilig over te steken (E) - Fietsers veilig leren fietsen op een kruispunt of rotonde (E)
Circulatieproblemen in de schoolomgeving	- Openbare weg herinrichten (I) - Verkeerscirculatie verbeteren (I) - Politioneel toezicht bij circulatieproblemen en hoge verkeersintensiteiten (H) - Gemachtigd opzichter inschakelen (E) - Verschillende modi of leeftijdsgroepen verspreiden in tijd of ruimte (O) - Het parkeren organiseren (I) - Kiss & Ride strook voorzien (I) - Dubbel gebruik van parkeerplaatsen invoeren (I) - Afzet- en ophaalplaatsen aanleggen op het schooldomein (voor auto's en/of schoolbussen) (I)
Dodehoekproblematiek (gevaarlijk gedrag)	- Sensibilisering rond dode hoek (E)
Problemen i.v.m. voetgangers	
Er is geen of onvoldoende plaats voor voetgangers	- Voet- en fietspaden obstakelvrij maken (I) - Schooltoegang verplaatsen (I) - Voetpad aanpassen volgens normen in Vademecum voetgangersvoorzieningen (I) - De weg herinrichten tot erf of voetgangersgebied (I) - Verkeerscirculatie verbeteren (I) - Toegankelijkheidsanalyse uitvoeren (O)
Obstakels op de voetgangersruimte door foutparkeerders	- Foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan fysiek tegengaan (I)
Obstakels op de voetgangersruimte door fietsers	- Verkeerscirculatie verbeteren (I) - Fietspad aanpassen (I) - Trottoir en fietspad in verschillende kleuren en/of materiaal uitvoeren (I) - Optreden tegen fietsers op het trottoir (H)
Er is geen verkeersveilige voetgangersroute	- Schoolroutes veilig en kindgericht inrichten (I) - Voetpad aanpassen volgens normen in Vademecum Voetgangersvoorzieningen (I)

	- Natuurlijke looproutes in kaart brengen en de infrastructuur erop afstemmen (I) - Veilige doorsteek realiseren (I) - Schoolroutekaart aanmaken en verspreiden (E) - Fiets- en/of voetpool organiseren (E)
Voetgangers kunnen niet veilig oversteken	- Gemachtigd opzichter inschakelen (E) - Verticale snelheidsremmers aanleggen (I) - Horizontale snelheidsremmers aanleggen (I) - Snelheid verlagen (I)
Voetgangers kunnen niet veilig oversteken door geen of onveilige oversteekplaats	- Schooltoegang verplaatsen (I) - Doorlopend trottoir aanleggen (I) - Oversteekplaatsen verbreden (waardoor oversteekcapaciteit toeneemt) (I) - Voetgangersoversteekplaatsen aanleggen of verplaatsen (I) - Geleidende en beschermende infrastructuur aanbrengen (I) - Opstelruimte voor wachtenden vergroten (I) - Rijbaan (visueel) versmallen (I)
Voetgangers kunnen niet veilig oversteken want oversteek is te lang	- Oversteek beschermen of verkorten (I)
Voetgangers kunnen niet veilig oversteken door andere weggebruikers	- Verticale snelheidsremmers aanleggen (I) - Horizontale snelheidsremmers aanleggen (I) - Snelheid verlagen (I)
Voetgangers kunnen niet veilig oversteken door hoge verkeersintensiteit	- Een ongelijkvloerse kruising (tunnel of brug) aanleggen (I) - Politioneel toezicht bij circulatieproblemen en hoge verkeersintensiteiten (H) - Gemachtigd opzichter inschakelen (E)
Voetgangers kunnen niet veilig oversteken door parkeerproblemen	- Foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan fysiek tegengaan (I) - Rijbaan (visueel) versmallen (I)
Voetgangers respecteren de wegcode niet	- Fiets- en/of voetpool organiseren (E) - Een verkeerseducatieve route opmaken en gebruiken (E) - Fietsen en stappen stimuleren (E)
Leerlingen gaan te weinig te voet en met de fiets naar school	- Fietsen en stappen stimuleren (E) - Fiets- en/of voetpool organiseren (E) - Schoolroutekaart aanmaken en verspreiden (E)
Problemen i.v.m. fietsers	
Geen of onvoldoende plaats voor fietsers	- Fietspad aanpassen (I) - Verkeerscirculatie verbeteren (I) - Schooltoegang verplaatsen (I) - Gemengd verkeer invoeren (I) - Snelheid verlagen (I)

	- Aandachtspunten voor fietssuggestiestroken (I)
Obstakels op de fietsvoorziening door foutparkeerders	- Foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan fysiek tegengaan (I) - Geleidende en beschermende infrastructuur aanbrengen (I) - Politioneel optreden bij foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan (H) - Sensibilisering van de ouders (E)
Obstakels op de fietsvoorziening door voetgangers op het fietspad	- Trottoir en fietspad in verschillende kleuren en/of materiaal uitvoeren (I) - Gemengd verkeer invoeren (I)
Fietsers kunnen niet veilig oversteken	- Schooltoegang verplaatsen (I) - Geleidende en beschermende infrastructuur aanbrengen (I) - Politioneel toezicht bij circulatieproblemen en hoge verkeersintensiteiten (H) - Gemachtigd opzichter inschakelen (E)
Slechte locatie van de fietsenstallingen	- Fietsenstalling of bromfietsenstalling verplaatsen (I) - Binnen de school een route voorzien van en naar de (brom)fietsenstalling (I)
Conflicten tussen fietsers onderling en/of tussen fietsers en voetgangers/bromfietsers	- Verschillende modi of leeftijdsgroepen spreiden in tijd of ruimte (O)
Fietsers respecteren/kennen de Wegcode niet	- Fietsers het verkeersreglement bijbrengen (E) - Verkeersklassen voor fietsers (door politie) (E) - Fiets- en/of voetpool organiseren (E) - Een verkeerseducatieve route opmaken en gebruiken (E) - Fietsvaardigheidstraining organiseren (E) - Fietsen en stappen stimuleren (E)
Fietsers worden gehinderd door openslaande portieren	- Aanliggende of vrijliggende fietspaden aanleggen (I) - Fietspad aanpassen (I) - Fiets- schoolroutekaart waarop stukken waarop het conflict zich voordoet worden aangeduid of waar alternatieven op zijn aangeduid (O) - Politioneel toezicht bij circulatieproblemen en hoge verkeersintensiteiten (H) - Fietsers hun plaats op de weg aanleren (E) - Fietsers aanleren om anticiperend te fietsen (E)
Problemen i.v.m. openbaar vervoer en gemeenschappelijk vervoer	
Onaangepaste breedte van de rijbaan	- Rijbaan geschikt maken (en houden) voor openbaar vervoer (I)
Er is geen halte of deze is onveilig door slechte locatie	- Openbaarvervoerhalte verplaatsen/herschikken naar een veilige locatie (I)

Opstappers/afstappers worden gehinderd	- Politioneel optreden (H) - Educatieve acties organiseren vanuit school (E) - Openbaarvervoerhalte verplaatsen/herschikken naar een veilige locatie (I)
Geen of geen veilige (comfortabele) parkeervoorziening voor bussen leerlingenvervoer	- Betere wachtplaats voor bussen (I) - Kiss & Ride strook voorzien (I) - Een begeleide rij organiseren (E)
Onaangepaste snelheid	- Bemande snelheidscontroles uitvoeren in de schoolomgeving met medewerking van leerlingen (H) - Snelheidscontrole uitvoeren in de schoolomgeving (zone 30) (H)
Problemen i.v.m. autobestuurders en autopassagiers	
Onaangepaste snelheid	- Bemande snelheidscontroles uitvoeren in de schoolomgeving met medewerking van leerlingen (H) - Snelheidscontrole uitvoeren in de schoolomgeving (zone 30) (H) - Horizontale snelheidsremmers aanleggen (I) - Verticale snelheidsremmers aanleggen (I) - Verkeerscoaches (E) - Automobilisten sensibiliseren rond snelheid (E) - Weg als vaste zone 30 inrichten (I)
Onaangepaste breedte van de rijbaan: te breed	- Rijbaan (visueel) versmallen (I) - Snelheid verlagen (I)
Onaangepaste breedte van de rijbaan: te smal	- Verkeerscirculatie verbeteren (I) - Het parkeren organiseren (I)
Te hoge autodruk in de schoolomgeving	- Wegencategorisering opstellen of aanpassen (I) - Verkeerscirculatie verbeteren (I) - Schooltoegang verplaatsen (I) - Met (betere) bewegwijzering verkeer dat niet in schoolomgeving moet zijn uit schoolomgeving houden (I) - Fietsen en stappen stimuleren (E)
Onaangepast parkeeraanbod (tijdsduur, plaatsen, etc.)	- Sensibilisering leerkrachten en directie (E) - Verkeerscoaches (E) - Politioneel optreden bij foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan (H) - Infrastructurele noden inwilligen van educatieve en sensibiliserende acties rond parkeren (I) - Parkeeraanbod conform Vademecum Duurzaam Parkeerbeleid maken
Slechte inplanting van parkeerplaatsen en/of Kiss & Ride	- Het parkeren organiseren (I) - Kiss & Ride strook voorzien (I)
Foutparkeren	- Politioneel optreden bij foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan (H)

Problemen i.v.m. vrachtwagens	
Dode hoek	- Sensibilisering rond dode hoek (E)
Aanwezigheid (te hoge druk) van vrachtwagens in de schoolomgeving	- Bereikbaarheidsroutes naar bedrijven uitwerken (O) - Schoolroutekaart aanmaken en verspreiden (E) - Tonnagebeperking (met uitgezonderd plaatselijk verkeer) om doorgaand vrachtverkeer te weren (I)
Onaangepaste snelheid	- Bemande snelheidscontroles uitvoeren in de schoolomgeving met medewerking van leerlingen (H) - Snelheidscontrole uitvoeren in de schoolomgeving (zone 30) (H)

9.2 Analyse dronebeelden

In hoofdstuk 6 is een algemene analyse van de dronebeelden uitgevoerd. In dit hoofdstuk worden de dronebeelden meer gedetailleerd geanalyseerd waarbij gefocust wordt op verkeersveiligheidsproblemen in de schoolomgeving. Op basis van deze analyse kunnen knelpunten en problemen gedetecteerd worden. In hoofdstuk 9.3 worden deze problemen verder besproken en worden er maatregelen voorgesteld om deze problemen op te lossen. Merk op dat dit hoofdstuk dus niet het stappenplan van hoofdstuk 7 gebruikt.

9.2.1 Verkeerstellingen

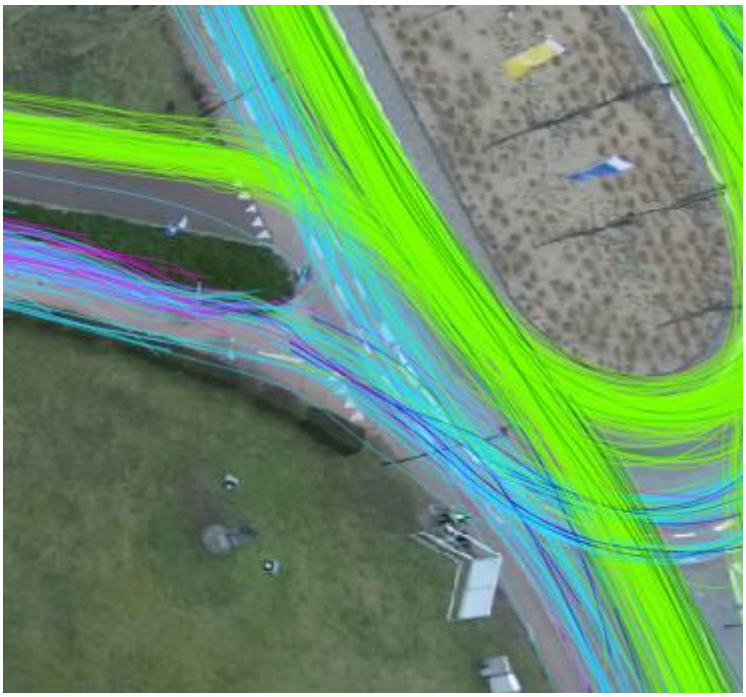
Het Agentschap Wegen en Verkeer (2009) geeft aan dat de conflictbelasting van een eenstrooksrotonde gelijk is aan ongeveer 1500 pae per uur. Deze waarde ligt ver boven de waargenomen intensiteit op de ovonde in Zonhoven, dit vormt dan ook geen probleem in het kader van afwikkeling door een eventueel capaciteitstekort. Wel moet rekening gehouden worden met het feit dat er is aangenomen dat het verkeer uniform is verdeeld over het spitsuur. Echter is dit niet geheel de realiteit. Om de werkelijke verdeling te kennen kan gebruik gemaakt worden van de Peak Hour Factor (PHF) (TRB, 2010). Indien berekend voor de ovonde in Zonhoven komt dit neer op een waarde voor de PHF van 0,85 (met een spitsuurintensiteit van 323 pae). De spitsuurintensiteit is bepaald door de gemiddelde voertuigintensiteit van de laatste vijf minuten op het beeld in rekening te brengen voor de ontbrekende minuten (minuut 47 tot minuut 60), dit maakt dat de intensiteit voor een volledig uur bekomen wordt. Op basis van dit resultaat kan geconcludeerd worden dat de spitsuurintensiteiten niet geheel uniform verlopen, al zijn de verschillen tussen de vier kwartieren niet groot. De intensiteiten per kwartier geven aan dat het eerste kwartier het drukste is (7u50-8u05; 94,8 pae), gevolgd door tweede (8u05-8u20; 86,5 pae), derde (8u20-8u35; 77,5 pae) en vierde kwartier (8u35-8u50; 64,2 pae).

Voor de volledigheid is ook de intensiteit aan de andere kant op de ovonde, tussen de Houthalenseweg en de Van Paesschenstraat, berekend aangezien dit verschillend kan zijn met de voorgaande intensiteiten, afhankelijk van de verkeersstromen op de ovonde. In totaal worden gedurende de gefilmde periode aan deze telpoort 356 voertuigen geteld. Dit komt neer op 368,4 pae. Dit volume is met 100 pae meer fors hoger dan aan de overzijde van de ovonde. Gelet op een uniforme verdeling resulteert dit in een intensiteit van 470,30 pae/uur, dewelke ook nog steeds ver onder richtcapaciteit zit (Agentschap Wegen en Verkeer, 2009). Er kan dus met enige zekerheid geconcludeerd worden dat er geen capaciteitsprobleem is op de plaatselijke ovonde in Zonhoven. Om volledig zeker te zijn dient de representativiteit van de meting verhoogd te worden door tellingen over een langere periode uit te voeren.

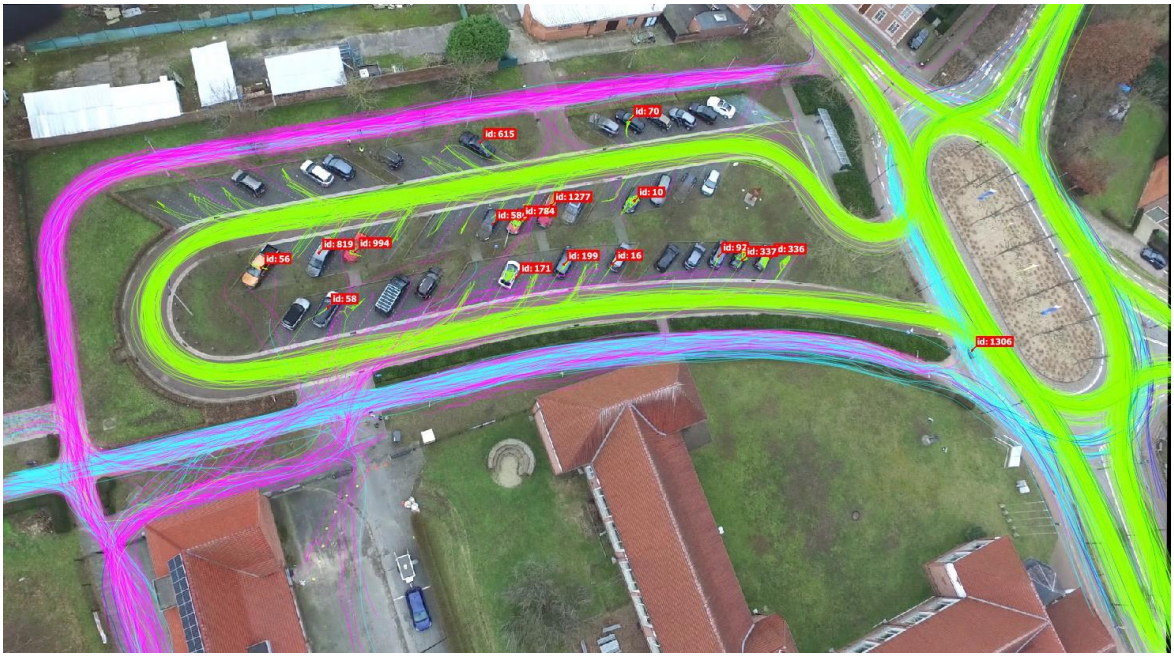
9.2.2 Verkeersstromen

In Figuur 52 worden de trajectoriën van de verschillende weggebruikers rond de schoolomgeving afgebeeld. Daarbij wordt een onderscheid gemaakt tussen voetgangers (paars), fietsers (blauw) en automobilisten (groen).

De meerderheid van de situaties waar verschillende trajectoriën elkaar kruisen, vinden plaats tussen kwetsbare weggebruikers onderling (voor de schoolpoort). Daar komen de voetgangers en fietsers samen om de school binnen te gaan. Extra aandacht dient uit te gaan naar situaties waarbij automobilisten en kwetsbare weggebruikers betrokken zijn. Een dergelijke situatie wordt weergegeven in Figuur 108, waarbij de trajectoriën van fietsers en voetgangers de trajectoriën van automobilisten kruisen.



Figuur 108: Kruisen van trajectoriën aan ovonde (Eigen werk, 2021)



Figuur 109: Trajectoriën van weggebruikers in DFS-Viewer (Eigen werk, 2021)

9.2.2.1 Voetgangers

Het merendeel van de voetgangers komt via het fietspad ten westen van de parking naar de school. Dit zijn enerzijds voetgangers die vanuit de Dorpsstraat komen en anderzijds voetgangers die van de parking komen. Deze laatste groep verandert op de parking van vervoersmodi (auto) en zet zijn traject naar de school te voet verder. Daarnaast is er ook een groot aantal dat over de parking naar de schoolpoort wandelt. Ook deze voetgangers veranderen op de parking van vervoersmodi (auto) en zetten hun traject naar de school te voet verder. Zij nemen voornamelijk de doorgang in de groenvoorziening ter hoogte van de personeelsparking om vervolgens via het fietspad of een verhard pad tegen het schoolgebouw naar de schoolpoort te wandelen.

9.2.2.2 Fietsers

De leerlingen die met de fiets komen nemen voornamelijk het fietspad ten zuiden van de school. Dit fietspad verbindt de school met de Grote Hemmenweg. Dit is te verklaren door het feit dat deze verbinding vanuit Zonhoven-centrum de kortste fietsroute is en mogelijk als veiliger wordt beschouwd in vergelijking met de route over de Kleine Hemmenweg en de ovonde. Verder valt op dat er een grote stroom fietsers is die de school voorbijrijdt en het fietspad ter hoogte van school gebruikt als verbinding tussen de Grote Hemmenweg en de ovonde. Het fietspad ten westen van de parking wordt bijna niet gebruikt door fietsers.

9.2.2.3 Auto’s

De stromen van de auto’s zijn ongeveer gelijk verdeeld over de verschillende takken van de ovonde en de parking. Het is duidelijk te zien dat verschillende

trajectoriën stoppen en beginnen op een parkeerplaats wat aangeeft dat de auto waarschijnlijk heeft geparkeerd om een leerling af te zetten.

9.2.2.4 Kruisen van verkeersstromen

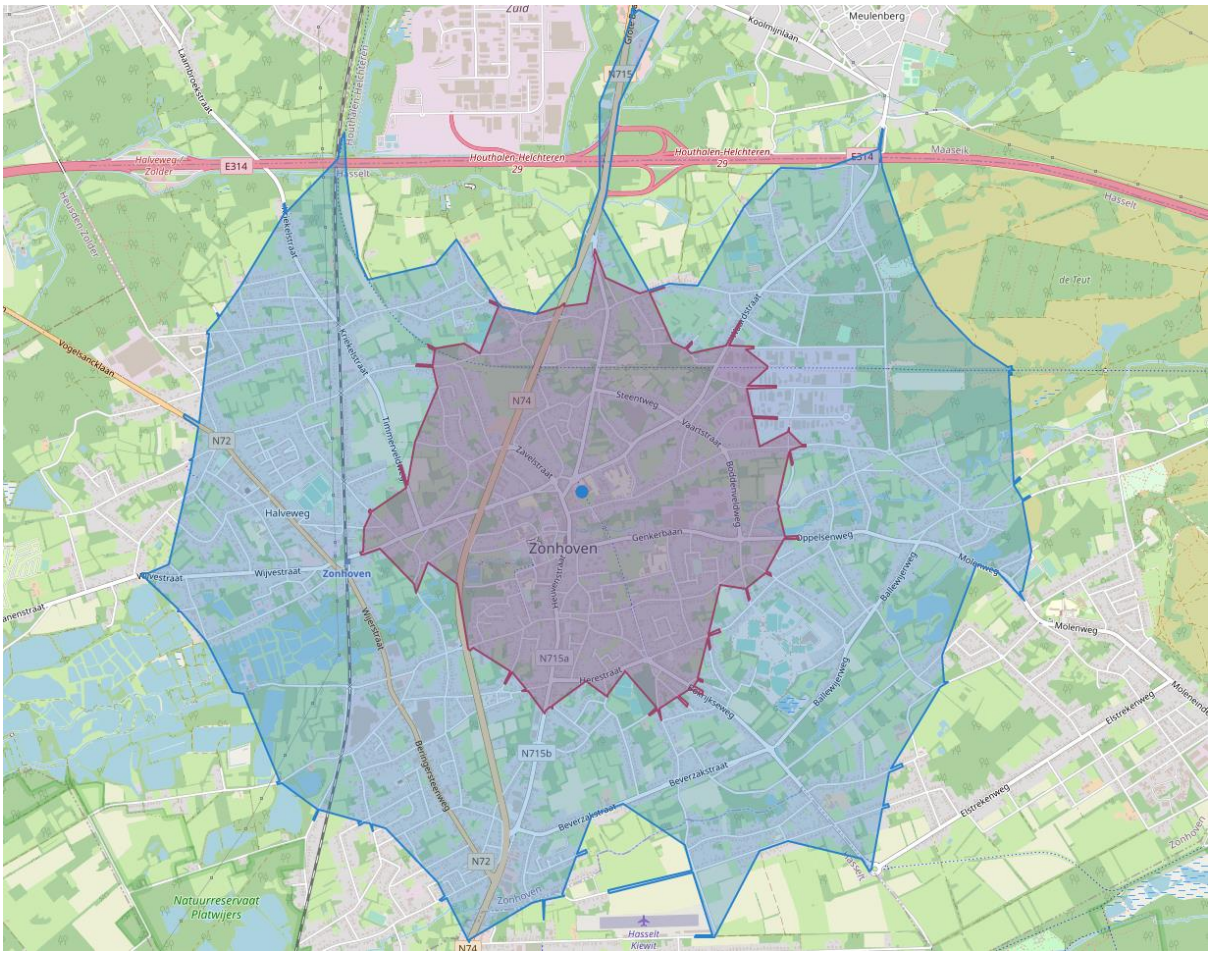
Op basis van de stromen is het duidelijk dat er op een aantal plaatsen stromen van verschillende vervoersmodi elkaar kruisen. Het kruisen van de verschillende stromen zorgt voor chaotische en gevaarlijke situaties. Deze situaties doen zich voor op de parking waar er kruisingen tussen auto's en voetgangers zijn, voornamelijk ter hoogte van de doorgang aan de personeelsparking. Vervolgens kruisen dezelfde voetgangersstromen de fietsersstromen op het fietspad voor de school. Ook net voor de schoolpoort is er een kruispunt van twee fietspaden waar verschillende stromen elkaar kruisen. Voetgangers en fietsers op het fietspad ten zuiden en westen van de parking en op het voetpad tussen de parking en de Grote Hemmenweg kruisen met fietsers op het fietspad tussen de ovonde en de Grote Hemmenweg. Tot slot zijn er op de ovonde aan elke tak kruisingen tussen fietsers en auto's.

9.2.3 Modal split

Uit de analyse van de beelden blijkt dat het niet mogelijk is om de modal split te bepalen. Uit een bevraging in de klassen kan de modal split echter wel bepaald worden. De modal split bedraagt 62/38 (zie Figuur 53). Dat betekent dat 62% van de leerlingen zich met de auto naar school verplaatst en 38% op duurzame wijze. De modal split geeft indirect een idee van hoe veilig een schoolomgeving is: een hoog aandeel autoverplaatsingen duidt op weinig aantrekkelijke alternatieven. De kans is groot dat dit voor een behoorlijk deel met objectieve of subjectieve onveiligheid te maken heeft (Vlaamse Overheid - Agentschap Wegen en Verkeer, 2010). Het is niet evident om te bepalen wat een goede of slechte modal split is. Dit is per school verschillend en afhankelijk van verschillende factoren zoals de ligging en de gemiddelde afstand die de leerlingen moeten afleggen naar school. Veranderingen van de modal split in de richting van hogere scores voor alternatieve modi zijn echter wel een stap in de goede richting, ongeacht van wat de startcijfers zijn.

Rekening houdend met verschillende factoren kan de modal split van 62/38 voor de school in Zonhoven eerder als slecht beschouwd worden. De school is dicht bij het centrum van Zonhoven gelegen en is goed bereikbaar te voet en met de fiets. Een onderzoek van D'Haese et al. (2011) bij 11- en 12-jarige West-Vlaamse en Oost-Vlaamse leerlingen onderzocht welke afstand voor fietsers en voetgangers als redelijk beschouwd kan worden voor het afleggen van het woon-schooltraject. Het onderzoek concludeerde dat 1,5 km als maximale redelijke afstand kan worden beschouwd voor voetgangers en 3 km als maximale redelijke afstand voor fietsers. Op Figuur 110 is te zien dat er binnen een straal van 1,5 km (blauw) en 3 km

(rood) de meeste inwoners van Zonhoven wonen. Dit zijn allemaal potentiële leerlingen voor bassischool De Zonnewijzer.



Figuur 110: Isochrone kaart met een afstand van 1,5 km (rood) en 3 km (blauw) rond basisschool De Zonnewijzer (Eigen werk, Open Street Maps 2021)

Tot slot meldden verschillende leerkrachten en ouders dat het goede weer op de dag van het onderzoek ervoor zorgde dat er minder leerlingen zich met de auto van en naar school verplaatsten dan gemiddeld. Dit betekent dat de gemiddelde modal split over heel het jaar nog negatiever kan zijn.

9.2.4 OD-matrices

9.2.4.1 Wegverkeer

Een eerste analyse van OD-matrices voor het wegverkeer in hoofdstuk 6.6 vertoont geen gevaarlijke of uitzonderlijke situaties. De OD-matrices voor het wegverkeer zullen bijgevolg niet verder bestudeerd worden.

9.2.4.2 Fietsers

In de OD-matrix worden 85 fietsers gedetecteerd. DFS detecteert voornamelijk fietsers op het fietspad dat de Grote Hemmenweg en de ovonde verbindt. Vanuit

de Grote Hemmenweg rijden 60 fietsers naar de ovonde en 17 naar school. Vanuit de ovonde rijden 6 fietsers naar de Grote Hemmenweg en 1 naar school. Deze cijfers vormen een onderschatting aangezien er in werkelijkheid 95 leerlingen met de fiets naar school kwamen.

Uit de OD-matrix blijkt dat er 66 van de 85 fietsers de school voorbijrijden zonder de school als bestemming te hebben. Zowel procentueel als in absolute getallen is dit een hoog aantal.

Het onderzoek werd uitgevoerd tijdens COVID-19 crisis in 2020-2021. De nabijgelegen middelbare school zorgt in normale omstandigheden voor meer fietsers aangezien slechts de helft van leerlingen van de middelbare school aanwezig was op de dag van de dronevluchten. Dit was in het kader van de maatregelen ter bestrijding van het COVID-19 virus (Schouppe, 2021).

9.2.5 Snelheid

Op Figuur 111 zijn de lokale snelheidslimieten opgenomen voor de schoolomgeving. De Kleine Hemmenweg, de Kantoorweg en de Dorpsstraat behoren tot een zone 30 (Gemeente Zonhoven, 2020). In het centrum van Zonhoven is de snelheid overal maximaal 50 km/u, met uitzondering van andere schoolomgevingen waar ook een zone 30 wordt ingesteld. Op de Houthalenseweg, het vervolg van de Kleine Hemmenweg (in het noordoosten op Figuur 111) en op de Grote Hemmenweg (ten oosten van kruispunt met Kantoorweg) wordt een maximale snelheid van 70 km/u ingesteld.



Figuur 111: Lokale snelheidslimieten schoolomgeving (Agentschap Geografische Informatie Vlaanderen, eigen werk, 2020)

De parking en de vrijliggende fiets- en voetpaden zijn voor deze parameter niet relevant. De hoge snelheden worden waargenomen bij het verlaten van de ovonde. De snelheid wordt op drie afslagen overschreden. Alleen richting de Houthalenseweg is het niet duidelijk of de snelheid overschreden wordt aangezien deze zone buiten het onderzoeksgebied valt. Bij het verlaten van de ovonde naar de Kleine Hemmenweg is duidelijk zichtbaar dat de snelheid wordt overschreden (donkerrode kleur). Ook op de ovonde worden aan de zijde van de schoolparking te hoge snelheden geconstateerd. Deze twee waarnemingen zijn zorgwekkend aangezien dit de zone is waar veel kinderen te voet of met de fiets aan het verkeer deelnemen.



Figuur 112: Heatmap van de snelheden in DFS Viewer (Eigen werk, 2021)

9.2.6 Parkeren

9.2.6.1 Ochtendspits

Parkeerduur

Om te bepalen hoe lang auto's op de parking zijn om leerlingen af te zetten, worden enkel auto's meegeteld die tussen 7u50 en 8u50 de parking op en af rijden. De gemiddelde tijd dat deze auto's op de parking zijn, is 4 minuten en 41 seconden. De mediaan is 2 minuten en 28 seconden. Het betreft dus een relatief korte parkeerduur. De hogere gemiddelde parkeerduur kan verklaard worden door een aantal ouders die hun kinderen vanaf de parking te voet begeleiden naar de schoolpoort. Op de beelden is te zien dat de ouders niet altijd direct terug naar de auto gaan maar nog enkele minuten in de buurt van de schoolpoort blijven wachten, bijvoorbeeld om met andere ouders te praten. De mediaan van 2 minuten en 28 seconden toont aan dat ouders die hun kind niet begeleiden naar de schoolpoort relatief snel terug van de parking af kunnen rijden.

Bezetting parking

Om 8u00 stonden er al 18 auto's geparkeerd op de parking. Van deze 18 auto's staan er om 8u50 nog steeds 16 geparkeerd. Daaruit kan geconcludeerd worden dat het langparkeerders betreft. Om 8u50 staan er nog 35 auto's op de parking wat wilt zeggen dat er tijdens de ochtendspits 19 langparkeerders bijkomen. In totaal zijn er dus 35 langparkeerders. Tijdens de ochtendspits is er dus behoefte aan 35 parkeerplaatsen voor langparkeerders. Er zijn slechts 15 parkeerplaatsen over voor auto's die leerlingen naar school brengen.

Om 8u15 bereikt de parking een bezetting van 100%. Alle parkeerplaatsen zijn in gebruik en daarbovenop zijn er op dat moment 4 auto's op de parking aan het rijden. De parkeerplaatsen hebben tot 8u30 continu een bezetting van bijna 100% met een minimale bezetting van 88% op enkele momenten. Het totaal aanwezige auto's op de parking is van 8u15 tot 8u30 continu hoger dan het aantal parkeerplaatsen. Tussen 8u15 en 8u30 is de capaciteit van de parking dus overschreden. Hierbij is er om 8u20 een piek van 67 auto's die tegelijkertijd op de parking aanwezig zijn. Dat is een bezetting van 131%.

Tijdens de ochtendspits is er een duidelijke piek in bezetting tussen 8u15 en 8u30. Dit is logisch aangezien het toezicht op school begint om 8u15 en de lessen beginnen om 8u30. Gedurende deze piek wordt de capaciteit van de parking bijna continu overschreden met een piek tot een bezetting van 131%. Hierdoor zijn auto's genoodzaakt zich voor parkeerplaatsen te parkeren waardoor ze enerzijds verhinderen dat auto's uit de parkeerplaats kunnen rijden en anderzijds doorrijdende auto's sterk hinderen. Een ander gevolg is dat auto's rijden tot aan de doorgang van de parking naar de schoolpoort om daar even stil te staan zodat de leerlingen uit kunnen stappen.

9.2.6.2 Avondspits

Parkeerduur

Om te bepalen hoe lang auto's op de parking zijn om leerlingen op te halen, worden enkel auto's meegeteld die tussen 14u55 en 15u45 de parking op en af rijden. De gemiddelde tijd dat deze auto's op de parking zijn, is 5 minuten en 11 seconden. De mediaan is 2 minuten en 19 seconden. Het betreft dus een relatief korte parkeerduur. De hogere gemiddelde parkeerduur kan verklaard worden door een aantal ouders die geruime tijd voor het einde van de school reeds parkeren en hun kinderen opwachten aan de schoolpoort. De mediaan van 2 minuten en 19 seconden toont aan dat ouders die hun kind niet begeleiden naar de schoolpoort relatief snel terug van de parking af kunnen rijden.

Bezetting parking

Om 14u55 staan er reeds 50 auto's geparkeerd op de parking. Dat betekent dat de parking voor 100% bezet is. De parkeerplaatsen hebben tot 15u16 continu een bezetting van 100%. Het totaal aanwezige auto's op de parking is van 14u55 tot 15u23 continu hoger dan het aantal parkeerplaatsen. Hierbij is er om 15u18 een piek van 78 auto's die tegelijkertijd op de parking aanwezig zijn. Dat is een bezetting van 153%. Om 15u45 stonden er nog 20 auto's op de parking. Dat is een bezetting van 39%.

Het is opvallend dat de parkeerplaatsen om 14u55, 20 minuten voor het einde van de lessen, al voor 100% bezet zijn. De volgende 28 minuten blijft de bezetting van de parking steeds minimaal 100%. Dit leidt tot auto's die stilstaan en parkeren voor geparkeerde auto's waardoor ze verhinderen dat deze kunnen uitrijden en ze de doorrijdende auto's sterk hinderen. Op bepaalde momenten heeft dit zelfs voor terugslag tot op de ovonde zodat het verkeer volledig stilstaat op de ovonde.

9.2.7 Conflictobservaties

Uit de analyse van de parameters Time-to-collision en Post-encroachment-time blijkt dat de meest gevaarlijke situaties zich voordoen op het fietspad ter hoogte van de schoolpoort en de toegang tot de parking tegenover de school. Op die plaatsen rijden fietsers tussen de Kleine Hemmenweg en de Grote Hemmenweg. Er werden 134 fietsers geteld op het stuk fietspad voor de school. Van deze fietsers zijn er 63 die de school niet als bestemming hebben en dus doorrijdende fietsers zijn. Deze fietsers halen snelheden tot 25 km/u ter hoogte van de school. De gevaarlijke situaties doen zich voor wanneer voetgangers (leerlingen, leerkrachten en ouders) het fietspad oversteken om naar de school te gaan. De resultaten die volgen uit de parameter Heavy braking blijken niet accuraat genoeg om conclusies uit te trekken en worden niet verder behandeld.

9.2.8 Visuele detectie gevaarlijke situaties

De dronebeelden tonen tot slot verschillende situaties die mogelijk gevaarlijk kunnen zijn of op zijn minst niet wenselijk. Deze worden niet herkend door de software maar worden manueel gedetecteerd.

Zwaar verkeer op de ovonde

Een eerste mogelijk gevaarlijke situatie is wanneer er zwaar verkeer in de buurt van de schoolomgeving is. Bij zwaar verkeer is er onder andere het gevaar van de dode hoek. Ook de massa van zware voertuigen kan voor een onveiligheidsgevoel zorgen en maakt het oncomfortabel voor kwetsbare weggebruikers.

Onderstaande figuren tonen enkele situaties waarbij er zwaar verkeer op de ovonde is. Onder meer vrachtwagens, bussen, tractors en een graafmachine rijden over de ovonde voorbij de school. De gele vrachtwagen die te zien is op Figuur 113 is gedurende de ochtend- en avondspits meerdere keren te zien op de ovonde, verspreid over verschillende momenten.



Figuur 113: Zwaar verkeer op de ovonde tijdens de ochtendspits (eigen werk, 2021)

Gevaarlijke inhaalbewegingen

Op de ovonde gebeuren enkele gevaarlijke inhaalbewegingen. Deze inhaalbewegingen vinden plaats wanneer een voertuig dat de parking op wil rijden stil staat op de ovonde. Er is op die momenten geen plaats om de parking op te rijden waardoor de wachtrij zich verderzet op de ovonde. Enkele voertuigen halen dan het wachtende voertuig in en rijden over een volle witte lijn.

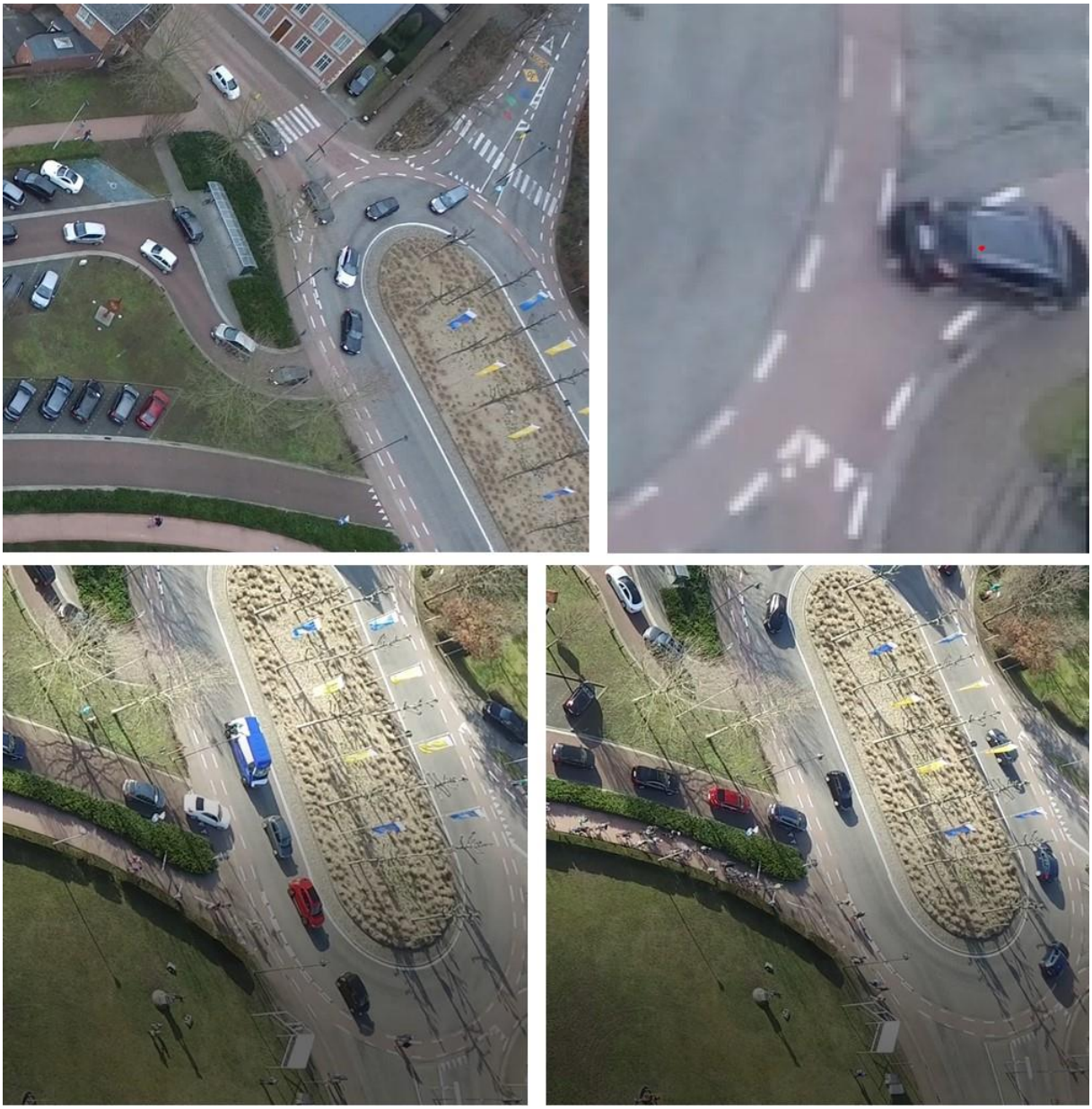
Op Figuur 114 is dergelijke situatie duidelijk zichtbaar. Een auto haalt een auto in die aan het wachten is om de parking op te rijden. Hierbij rijdt hij over een volle witte lijn en de borduur aan de binnenkant van de ovonde. Op hetzelfde moment rijdt een auto van de parking af omdat de ovonde vrij is. Net op het moment dat de auto de ovonde op wil rijden moet deze stoppen omdat de andere auto de illegale inhaalbeweging doet. Dit zorgt ervoor dat de auto stilstaat op het voetpad.



Figuur 114: Gevaarlijke inhaalbeweging op de ovonde tijdens de ochtendspits (eigen werk, 2021)

Blokkeren van fiets- en voetpaden

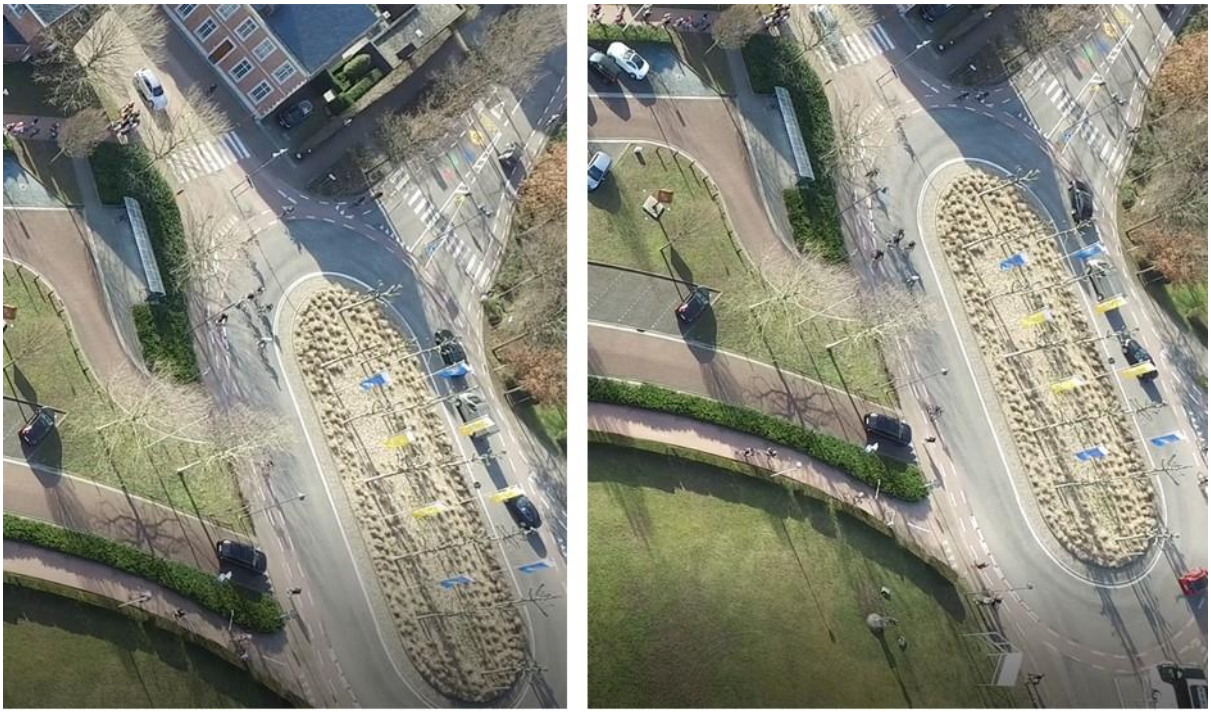
Er zijn enkele drukke momenten waarop het verkeer stilstaat op de ovonde en de parking. Hierdoor worden regelmatig fiets- of voetpaden geblokkeerd.



Figuur 115: Blokkeren van fiets- en voetpaden (eigen werk, 2021)

Fietsers op de ovonde

Tijdens de avondspits is er een groep fietsers die op de ovonde over de rijbaan rijdt en niet op het fietspad.



Figuur 116: Fietsers op de rijbaan (eigen werk, 2021)

9.3 Identificatie van problemen

9.3.1 Meldingen Route2School

In Zonhoven is recent (in 2020) een vervolgproject van R2S opgestart (Route2School, 2020). Met dit project wordt getracht de subjectieve verkeersveiligheid op schoolroutes te onderzoeken en te verbeteren. Dit wordt gedaan aan de hand van een online platform waarop ouders en leerlingen melding kunnen maken van gevaarlijke situaties op hun schoolroute. Wat opvalt is de concentratie van meldingen in de nabijheid van de school. In het projectgebied, ter hoogte van basisschool De Zonnewijzer, komen enkele gevaarlijke situaties en punten voor.

In dit deel worden de meldingen in R2S getoetst aan de dronebeelden. De dronebeelden geven de situatie objectief weer en worden gebruikt om de meldingen van subjectieve onveiligheid te bevestigen of te ontkrachten. Sommige meldingen kunnen noch bevestigd, noch ontkracht worden door de dronebeelden. Er zijn 8 meldingen binnen het bereik van de dronebeelden. Op Figuur 117 zijn de meldingen weergeven op kaart.



Figuur 117: Schoolroutekaart Route2School aan basisschool De Zonnewijzer (Route2School, eigen werk 2021)

Meldingen die noch bevestigd noch ontkracht kunnen worden door de dronebeelden

1. "Dynamische zone 30 in een statische zone 30. Hierdoor is het niet duidelijk welke snelheid je mag rijden als het dynamisch bord uitgeschakeld is."

Deze melding heeft 2 componenten. De eerste component houdt in dat er een dynamische zone 30 is in een statische zone 30. Dit kan noch bevestigd noch ontkracht worden door de dronebeelden. De analyse van de snelheid op basis van de dronebeelden toont aan dat er ter hoogte van de melding sneller dan 30 km/u gereden wordt. De verwarrende situatie kan een mogelijke oorzaak zijn van de te hoge snelheid maar dit kan niet bevestigd worden.

2. "Van aan de Bekerveldweg tot aan de Zonnewijzer ligt er een prachtig en veilig fietspad. Helaas is het zowat onmogelijk om hierlangs te voet naar school te gaan: we lopen in de weg van de fietsers (druk fietsverkeer bij momenten) of lopen tussen de hondendrollen in de grasstrook erlangs."

Deze melding dateert uit 2018 en is reeds opgelost: er werd een apart voetpad aangelegd tussen de Grote Hemmenweg en de school. Indien de oplossing nog niet voorzien was, zou deze melding waarschijnlijk wel aan de hand van de dronebeelden bevestigd kunnen worden. De voetgangers die tussen de fietsers over het fietspad naar school gaan zouden op de beelden duidelijk te zien zijn.

Meldingen die bevestigd worden aan de hand van de dronebeelden

3. “Drukte oprijden van de parking De Zonnewijzer - gevaar voor fietsers op de rotonde voor de school.”

De drukte op de parking en rotonde is te zien op de dronebeelden. Bij de manuele analyse van de dronebeelden (zie 9.2.8) wordt dit knelpunt reeds vastgesteld.

4. “Aan de schoolpoort van de Zonnewijzer loopt een drukbezocht fietspad. De kinderen die de school binnengaan en uitkomen moeten dit fietspad oversteken. Er 'vliegen' daar ook tieners met de fiets langs en op andere momenten zorgen snelle mountainbikers of wielertoeristen voor veel bijna-ongelukken!”

Verschillende parameters tonen aan dat er veel fietsers het fietspad voor de school gebruiken als verbinding tussen de ovonde en de Grote Hemmenweg. In 9.2.4.2 en 9.2.7 wordt dit knelpunt reeds besproken.

5. “Gevaarlijke weg om bij begin en einde van school voor fietsende kinderen omwille van drukte door auto's en bussen.”

De dronebeelden bevestigen het beeld van drukte door auto’s en zwaar verkeer op de ovonde en in de schoolomgeving (zie 9.2.8).

6. “Voor en na school is het altijd druk op dit ronde punt. Het zijn automobilisten die geen rekening houden met de schoolgaande jeugd die hier soms gevaarlijk rijden zoals de fietser op het ronde punt geen voorrang verlenen.”

De dronebeelden bevestigen dat fietsers soms gevaarlijk rijden op de ovonde en zelfs op de rijweg rijden (zie 9.2.8).

7. “Voor en na school is het altijd druk op deze ovonde, vooral het oprijden (en afrijden) door auto's van de parking levert nogal eens gevaar op voor de jonge fietsers en voetgangers.”

De dronebeelden bevestigen de drukte op de ovonde (zie 9.2.8).

Meldingen die ontkracht worden door de dronebeelden

8. “Aanliggend fietspad op rotonde. Deze bevat veel op- en afritten waardoor er gegokt wordt door de auto's dat de fietsers er afslaan of niet.”

Op de beelden zijn er geen gevaarlijke situaties te zien met betrekking tot het afslaan van fietsers op de ovonde.

9.3.2 Knelpunten en maatregelen op basis van dronebeelden

Op basis van de dronebeelden worden knelpunten geïdentificeerd. De knelpunten worden in Tabel 36 opgesomd en kort besproken. Voor ieder knelpunt worden maatregelen opgesomd, conform Tabel 35. Ook de parameters waarmee een knelpunt gedetecteerd kan worden, wordt vermeld in onderstaande tabel. Enkele knelpunten en maatregelen worden verder in dit hoofdstuk grondiger geanalyseerd en besproken.

Tabel 36: Overzicht problemen en mogelijke maatregelen schoolomgeving De Zonnewijzer (Eigen werk, 2021)

PROBLEMEN	PARAMETERS	MOGELIJKE MAATREGELEN
De verkeerssituatie in de schoolomgeving is chaotisch (ochtendspits) door: - (snel) voorbijrijdende fietsers - verkeersstromen die kruisen - voetgangers die door elkaar wandelen over de parking - voetgangers die stilstaan op het fietspad	- OD-matrices - Snelheid - Trajectoriën - Visuele detectie - Melding R2S	- Verschillende modi of leeftijdsgroepen spreiden in tijd of ruimte (O) - Schoolvervoerplan opstellen
De verkeerssituatie in de schoolomgeving is chaotisch (avondspits) door: - overbezette parking - chaotische en slecht georganiseerde parkeersituatie - voetgangers die door elkaar wandelen over de parking - voetgangers die stilstaan op het fietspad	- Traffic Region - Trajectoriën - Melding R2S	- Verschillende modi of leeftijdsgroepen spreiden in tijd of ruimte (O) - Schoolvervoerplan opstellen
Beperkte zichtbaarheid van en voor kinderen door (fout)geparkeerde motorvoertuigen	- Visuele detectie	- Kinderen leren een juiste oversteekplaats kiezen (E) - Het parkeren organiseren (I) - Politioneel optreden bij foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan (H) - Foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan fysiek tegengaan (I) - Voet- en fietspaden obstakelvrij maken (I) - Openbaarvervoerhalte verplaatsen (I) - Groenvoorziening aanpassen (I)

Circulatieproblemen in de schoolomgeving door: - overbezette parking - dubbel geparkeerde auto's - auto's die parkeerplaatsen blokkeren	- Traffic Region - Visuele detectie - Melding R2S	- Openbare weg herinrichten (I) - Verkeerscirculatie verbeteren (I) - Politioneel toezicht bij circulatieproblemen en hoge verkeersintensiteiten (H) - Gemachtigd opzichter inschakelen (E) - Verschillende modi of leeftijdsgroepen verspreiden in tijd of ruimte (O) - Het parkeren organiseren (I) - Kiss & Ride strook voorzien (I) - Dubbel gebruik van parkeerplaatsen invoeren (I) - Afzet- en ophaalplaatsen aanleggen op het schooldomein (voor auto's en/of schoolbussen) (I)
Dodehoekproblematiek door: - vrachtwagens op de ovonde	- Verkeerstelling - Visuele detectie	- Sensibilisering rond dode hoek (E)
Onvoldoende plaats voor voetgangers: - er is geen voetpad - voetgangers gebruiken het fietspad - voetgangers wandelen door elkaar over de parking	- Trajectoriën - Visuele detectie	- Voet- en fietspaden obstakelvrij maken (I) - Schooltoegang verplaatsen (I) - Voetpad aanpassen volgens normen in Vademecum voetgangersvoorzieningen (I) - De weg herinrichten tot erf of voetgangersgebied (I) - Verkeerscirculatie verbeteren (I) - Toegankelijkheidsanalyse uitvoeren (O)
Leerlingen gaan te weinig te voet en met de fiets naar school: - slechts 26,5% met de fiets - slechts 10% te voet	- Modal split	- Fietsen en stappen stimuleren (E) - Fiets- en/of voetpool organiseren (E) - Schoolroutekaart aanmaken en verspreiden (E)
Obstakels op de fietsvoorziening: - voetgangers - andere fietsers (niet-leerlingen) - auto's t.h.v. de ovonde	- Visuele detectie - Melding R2S	- Trottoir en fietspad in verschillende kleuren en/of materiaal uitvoeren (I) - Gemengd verkeer invoeren (I)
Conflicten tussen de fietsers onderling en tussen fietsers en voetgangers: - aan de schoolpoort en aan de doorgang naar de parking	- Trajectoriën	- Verschillende modi of leeftijdsgroepen spreiden in tijd of ruimte (O)
Onaangepaste snelheid: - op de ovonde t.h.v. de parking - aan 3 takken van de ovonde	- Snelheid	- Bemande snelheidscontroles uitvoeren in de schoolomgeving met medewerking van leerlingen (H)

		- Snelheidscontrole uitvoeren in de schoolomgeving (zone 30) (H) - Horizontale snelheidsremmers aanleggen (I) - Verticale snelheidsremmers aanleggen (I) - Verkeerscoaches (E) - Automobilisten sensibiliseren rond snelheid (E) - Weg als vaste zone 30 inrichten (I)
Autoparkeerproblemen: - overbezetting van de parking	- Traffic Region	- Het parkeren organiseren (I) - Kiss & Ride strook voorzien (I)
Aanwezigheid (te hoge druk) van vrachtwagens in de schoolomgeving: - op de ovonde rijden onder meer vrachtwagens, bussen, tractors en een graafmachine	- Verkeerstelling - Melding R2S	- Bereikbaarheidsroutes naar bedrijven uitwerken (O) - Schoolroutekaart aanmaken en verspreiden (E) - Tonnagebeperking (met uitgezonderd plaatselijk verkeer) om doorgaand vrachtverkeer te weren (I)
Ongeoorloofd gebruik van de gehandicaptenparking *De beelden geven een vermoeden. Dit kan echter niet bevestigd worden puur op basis van de beelden.*	- Visuele detectie	- Sensibiliseringsactie (E)

9.3.3 Probleem 1: De verkeerssituatie in de schoolomgeving is chaotisch

Zowel tijdens de ochtendspits als tijdens de avondspits is de verkeerssituatie in de schoolomgeving chaotisch. Verschillende problemen liggen aan de basis van deze chaotische situatie. Tijdens de ochtendspits worden er gevaarlijke situaties geïdentificeerd door conflicten tussen fietsers onderling en tussen fietsers en voetgangers, obstakels op de fietsvoorziening, autoparkeer- en circulatieproblemen, onvoldoende plaats voor voetgangers en beperkte zichtbaarheid van en voor kinderen door (fout)geparkeerde motorvoertuigen. Iedere probleemsituatie wordt verder uitgelegd en er worden maatregelen voor gezocht. De input voor de maatregelen wordt grotendeels gehaald uit Tabel 35. De maatregelen worden eerst algemeen toegelicht en vervolgens toegepast op de specifieke schoolomgeving in Zonhoven indien mogelijk. Iedere maatregel wordt overzichtelijk weergegeven in een fiche. Deze fiche geeft de belangrijkste informatie weer over de maatregel, zoals het type maatregel, de doelgroep en de uitvoeringstermijn en -kost. Tot slot geeft de fiche beknopt enkele voor- en nadelen weer van de maatregel.



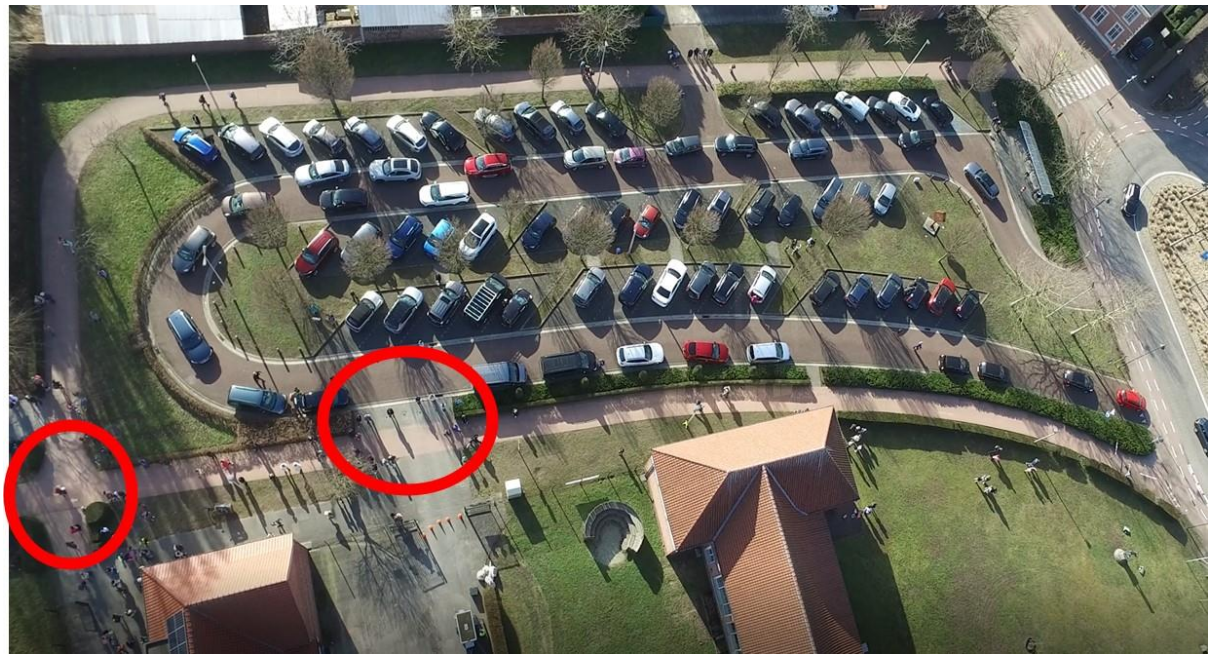
Figuur 118: Chaotische avondspits (Eigen werk, 2021)

9.3.3.1 Conflicten tussen fietsers onderling en tussen fietsers en voetgangers

Het eerste probleem dat voor onveilige en chaotische situaties zorgt zijn de conflicten tussen fietsers onderling en tussen fietsers en voetgangers. Op 2 locaties komen verschillende conflicten voor tussen fietsers onderling en tussen fietsers en voetgangers. Zowel voor de schoolpoort, waar de fietspaden elkaar kruisen als aan de doorgang naar de parking kunnen gevaarlijke situaties ontstaan. De precieze locaties worden weergegeven op Figuur 119.

De gevaarlijke situaties ontstaan door 2 redenen: het kruisen van verkeersstromen (voetgangers en fietsers) en (snel) voorbijrijdende fietsers de school niet als

bestemming hebben. Voor deze problemen worden volgende maatregelen voorgesteld en besproken: verschillende modi spreiden in tijd en ruimte en de (voetgangers)oversteek beschermen.



Figuur 119: Conflictsituaties tussen fietsers onderling en tussen fietsers en voetgangers (Eigen werk, 2021)

Verschillende modi spreiden in tijd en ruimte

Tabel 37: Verschillende modi spreiden in tijd en ruimte (Eigen werk, 2021)

VERSCHILLENDE MODI SPREIDEN IN TIJD EN RUIMTE	
Nr.	O-01
Type maatregel	Overleg en organisatie
Coördinator	School
Andere actoren	Wegbeheerder
Doelgroep (soort weggebruiker)	Voetgangers, (school)buschauffeurs, bromfietsers, automobilisten en openbaarvervoergebruikers.
Doelgroep (specifiek)	Leerlingen/studenten, leerkrachten en ouders.
Uitvoeringstermijn	Middellang (1 tot 4 jaar)
Kost	Afhankelijk
Voordelen	- Scheiden in de ruimte van de modi is gemakkelijker dan scheiden in de tijd. De school begint voor alle leerlingen op hetzelfde moment. - Ouders weten waar hun kinderen de school in- en uitgaan wanneer ze hen te voet of met de auto brengen. - Andere modi krijgen ene aparte uitgang en maken zo ook plaats voor vlotte verkeersafwikkeling. - Het realiseren van het STOP-principe is mogelijk: parkeerplaatsen liggen verder van de schoolpoort.

Nadelen	- Het scheiden van de modi in ruimte vergt de nodige infrastructuur, zoals meerdere (veilige) uitgangen. Dit kunnen grote investeringen zijn.

Het scheiden van de verschillende modi zorgt voor meer duidelijkheid en minder chaos in de schoolomgeving. Kinderen en jongeren weten wat van hen verwacht wordt en wat ze kunnen verwachten wanneer ze buiten het schooldomein plots verkeersdeelnemer worden.

Meer structuur in de schoolomgeving neemt de chaos weg. Wanneer er geen andere modi zijn, is er ook weinig verwarring. Chaos aan de school kan wel een goede zaak zijn voor ouders en grootouders, omdat ze dan weten dat ze voorzichtig moeten zijn met de auto waardoor de verkeersveiligheid in de schoolomgeving verhoogt. Kinderen hebben echter nood aan duidelijke afspraken, zodat ze de juiste keuzes maken. Het verdelen van de verkeersstromen van leerlingen in tijd en/of ruimte kan hierbij helpen. Fietsers verlaten de school best via een andere poort of op een later tijdstip dan de voetgangers. De autoparking van het personeel ligt best afgescheiden van de uitgangen voor kinderen. Deze verkeersstroom wordt best iets later dan de kwetsbare weggebruikers in gang gezet.

Het verder scheiden in tijd voor de school begint is niet mogelijk. De meerderheid van leerlingen komt op school aan tussen 8u10 en 8u30 met verschillende modi. Na schooltijd is het scheiden in tijd echter wel mogelijk en dit wordt reeds gedaan door de school. De leerlingen die met de fiets naar huis gaan verzamelen op het schoolterrein, enkele meters voor de schoolpoort. Ongeveer 3 minuten nadat de eerste leerlingen de school te voet verlaten, vertrekken de fietsers in groep en begeleid door gemachtigde opzichters. Op de beelden is echter te zien dat er nog steeds voetgangers op het fietspad aanwezig zijn wanneer de fietsers vertrekken (zie Figuur 120). Een oplossing hiervoor is om de fietsers nog enkele minuten te laten wachten.



Figuur 120: Fietsers verlaten de school (Eigen werk, 2021)

Het scheiden van modi in ruimte kan een oplossing zijn voor de chaotische situatie. Voetgangers maken gebruik van het fietspad en lopen over de parking tussen stilstaande en rijdende auto's. Door de verschillende modi te spreiden in de ruimte kunnen de gevaarlijke en chaotische situaties beperkt worden tot 2 locaties waar de modi kruisen. Figuur 121 geeft een mogelijke herinrichting weer waarbij de modi zoveel mogelijk gescheiden zijn in de ruimte. Op een plaats steken voetgangers het fietspad over en op een andere plaats steken voetgangers de parking over. Het fietspad bovenaan wordt zeer weinig gebruikt door fietsers en kan dus heringericht worden als voetpad. Zoals te zien op de figuur kruisen de voetgangers het fietspad dan slechts op 1 locatie, ter hoogte van de schoolpoort. Om deze kruising te beveiligen, kunnen er beugels op het fietspad geplaatst worden om de fietsers af te remmen (zie Oversteek beschermen). Het fietspad herinrichten als voetpad zorgt er tevens voor dat de voetgangersverbinding met de Grote Hemmenweg verbeterd wordt. De oversteek op de parking kan beveiligd worden door een zebrapad te voorzien. Verder moeten de huidige 2 toegangen tot de parking voor de school afgesloten worden. Op die manier worden de voetgangers verplicht om het voetpad te gebruiken.



Figuur 121: herinrichting schoolomgeving om de modi te spreiden in de ruimte (Eigen werk, 2021)

Tot slot dient opgemerkt te worden dat afspraken over het scheiden van de modi bij het begin van elk schooljaar vernieuwd moeten worden, want er komen steeds nieuwe leerlingen (en ouders) bij. De modi scheiden is ook alleen mogelijk met engagement en discipline, vanuit de school en bij (wachtende) ouders.

Oversteek beschermen

Tabel 38: Oversteek beschermen of verkorten (Eigen werk, 2021)

OVERSTEEK BESCHERMEN OF VERKORTEN	
Nr.	I-02
Type maatregel	Infrastructuur
Coördinator	Lokale overheid
Andere actoren	School en wegbeheerder.
Doelgroep	Voetgangers en fietsers.
Uitvoeringstermijn	Middellang (1 tot 4 jaar)
Kost	Afhankelijk
Voordelen	- Het oversteken kan veiliger gebeuren.
Nadelen	- De doorstroming van de fietsers kan verminderen. - Fietsers moeten afremmen.

Om de doorrijdende fietsers af te remmen en zo de voetgangersoversteek over het fietspad veiliger te maken, kunnen er (omega)beugels op het fietspad geplaatst worden. Deze zorgen ervoor dat de fietsers een slalombeweging moeten maken.

9.3.3.2 Obstakels op de fietsvoorziening

Fietsers worden gehinderd door obstakels op de fietsvoorziening. In deze schoolomgeving staan er voetgangers stil op de fietsvoorziening, bevinden zich andere fietsers (niet-leerlingen) op de fietsvoorziening en rijden er auto's op de fietsvoorziening aan de ovonde.

Trottoir en fietspad in verschillende kleuren en/of materiaal uitvoeren

Tabel 39: Trottoir en fietspad in verschillende kleuren en/of materiaal uitvoeren (Eigen werk, 2021)

TROTTOIR EN FIETSPAD IN VERSCHILLENDE KLEUREN EN/OF MATERIAAL UITVOEREN	
Nr.	I-44
Type maatregel	Infrastructuur
Coördinator	Lokale overheid
Andere actoren	Andere wegbeheerders
Doelgroep	Voetgangers, openbaarvervoergebruikers en fietsers.
Uitvoeringstermijn	Middellang (1 tot 4 jaar) en lang (+ 4 jaar).
Kost	Afhankelijk
Voordelen	- Bij beperkte ruimte is dit een oplossing als de snelheid laag genoeg ligt en er nood is aan een fietspad.
Nadelen	- Conflicten tussen voetgangers en fietsers blijven.

Het aanleggen van een voet- en fietspad naast elkaar op hetzelfde niveau heeft zorgt ervoor dat fietsers en voetgangers gebruik kunnen maken van "elkaars terrein" wanneer dat nodig zou zijn. Het is echter aangeraden om het voor de voetgangers en fietsers duidelijk te maken waar ze precies thuishoren. Dit onderscheid kan gemaakt worden door een tint- of textuurverschil in het bestratingsmateriaal, een lineair element tussen het voet- en fietspad en verticale elementen.

9.3.3.3 Autoparkeerproblemen + circulatieproblemen

Door een overbezetting van de parking zijn er autoparkeerproblemen en circulatieproblemen. Hierdoor zijn auto's genoodzaakt zich voor parkeerplaatsen te parkeren waardoor ze enerzijds verhinderen dat auto's uit de parkeerplaats kunnen rijden en anderzijds doorrijdende auto's sterk hinderen. Op bepaalde momenten zorgt dit zelfs voor terugslag tot op de ovonde zodat het verkeer volledig stilstaat op de ovonde. Een ander gevolg is dat auto's rijden tot aan de doorgang van de parking naar de schoolpoort om daar even stil te staan zodat de leerlingen uit kunnen stappen.

9.3.3.4 Verschillende modi of leeftijdsgroepen spreiden in tijd of ruimte

Deze maatregel wordt uitgewerkt in 9.3.3.1.

Afzet- en ophaalplaatsen aanleggen op het schooldomein

Tabel 40: Afzet- en ophaalplaatsen aanleggen op het schooldomein (Eigen werk, 2021)

AFZET- EN OPHAALPLAATSEN AANLEGGEN OP HET SCHOOLDOMEIN	
Nr.	I-25
Type maatregel	Infrastructuur
Coördinator	School
Andere actoren	Lokale overheid
Doelgroep (weggebruikers)	Automobilisten
Doelgroep (specifiek)	Ouders en leerkrachten.
Uitvoeringstermijn	Middellang (1 tot 4 jaar)
Kost	Afhankelijk
Voordelen	- De school kan het gebruik en de regels doelgericht communiceren omdat de potentiële gebruikers gekend zijn.
Nadelen	- Auto's op het schooldomein zijn eerder ongewenst. - Extra autovoorzieningen kunnen een auto-aanzuigeffect creëren.

Om circulatieproblemen in de schoolomgeving aan te pakken kan overwogen worden om afzet- en ophaalplaatsen te voorzien op het domein van de school,

aanvullend op maatregelen op het publiek domein. Er kan bijvoorbeeld gedacht worden aan een keerzone met een Kiss & Ride zone of een aantal parkeerplaatsen, al dan niet voor de schoolbus. Het is aan te raden dit enkel te overwegen in drukke verkeersgebieden omdat extra afzet- en ophaalplaatsen ook weer extra autoverkeer kunnen aanzuigen. Bij voorkeur wordt er gezorgd voor een multifunctioneel gebruik van deze zone. Zo kan ze tijdens de schooluren gebruikt worden als speelplaats of sportplein. Om ongewenst gebruik te vermijden is een fysieke afsluiting overdag noodzakelijk.

Het schooldomein laat niet toe om er afzet- en ophaalplaatsen te voorzien. Het schoolterrein werd recent omgevormd tot een groene speelplaats (Lieben, 2020). De nieuwe inrichting met speeltuigen en andere elementen verspreid over het terrein maakt het onmogelijk om afzet- en ophaalplaatsen voor auto's te voorzien.

Het parkeren organiseren

Tabel 41: Het parkeren organiseren (Eigen werk, 2021)

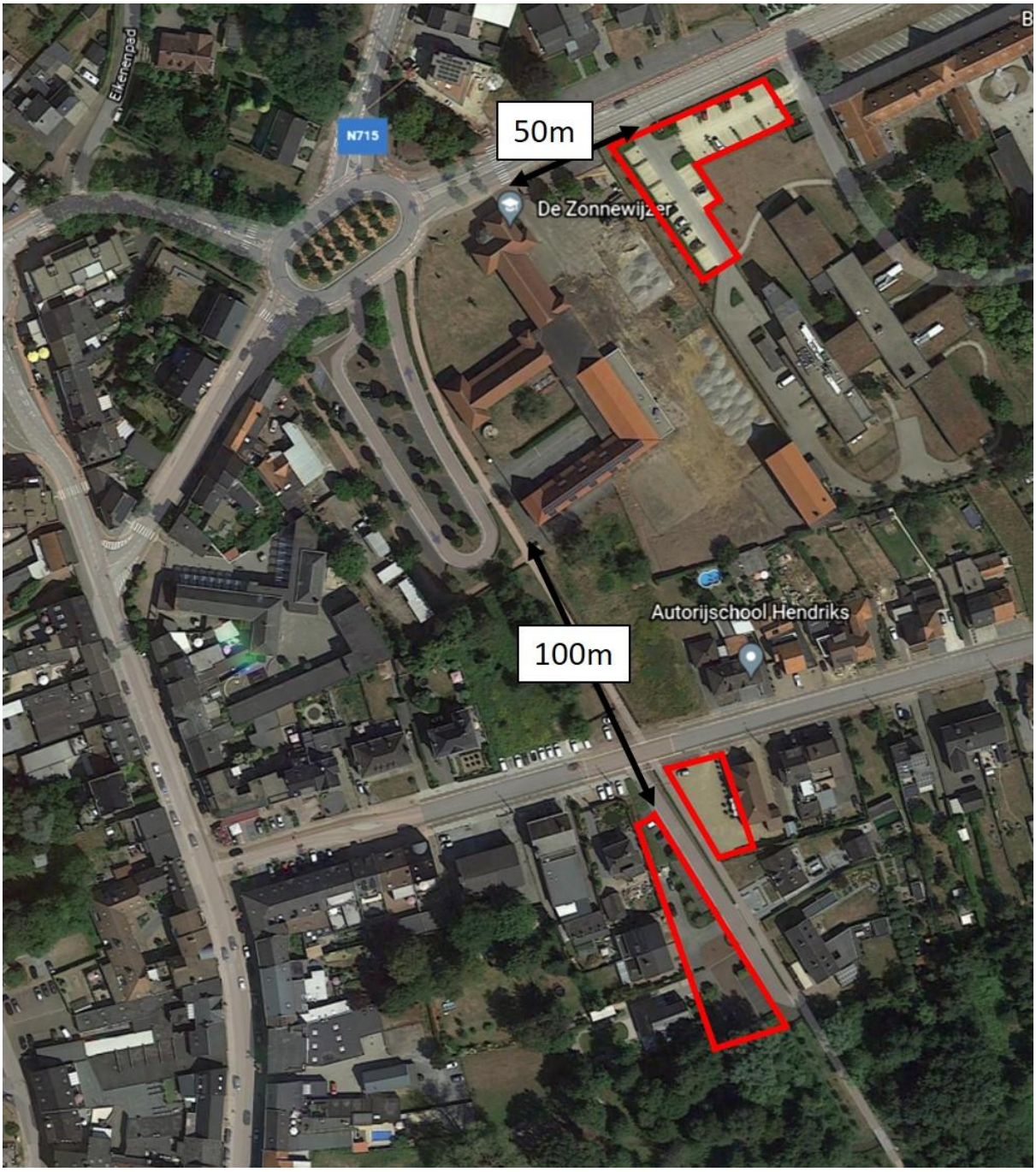
HET PARKEREN ORGANISEREN	
Nr.	I-03
Type maatregel	Infrastructuur
Coördinator	Lokale overheid
Andere actoren	School (directie, ouderraad) en buurt (bewoners, handelaars).
Doelgroep (weggebruikers)	Automobilisten
Doelgroep (specifiek)	Leerlingen/studenten, ouders en leerkrachten.
Uitvoeringstermijn	Middellang (1 tot 4 jaar)
Kost	Afhankelijk
Voordelen	- De schoolomgeving wordt rustiger. - Er is meer ruimte voor zachte weggebruikers.
Nadelen	- Mogelijke weerstand bij buurtbewoners en handelaars.

De auto- en parkeerdruk in de onmiddellijke schoolomgeving kan verminderd worden door in de onmiddellijke schoolomgeving parkeerplaatsen af te schaffen en door het parkeren in de (ruimere) schoolomgeving te organiseren. Streefdoel is om in de omgeving van de schoolpoort het parkeren zoveel mogelijk af te schaffen zodat de zachte weggebruikers meer ruimte krijgen om zich comfortabel en veilig te bewegen. Door het afschaffen van parkeerplaatsen wordt niet alleen de overlast tegengegaan van aankomende en vertrekkende auto's en het open- en dichtgaan van portieren, maar kan ook het zoekverkeer van wagens naar een parkeerplaats zo dicht mogelijk bij de schoolpoort vermeden worden. Het afschaffen van parkeerplaatsen op de parking aan de school wordt verder besproken onder "Kiss & Ride strook voorzien". Bij die maatregel worden parkeerplaatsen afgeschaft om plaats te maken voor een Kiss & Ride strook.

Aansluitend kan bekeken worden of er in de ruimere omgeving ruimte voorhanden is waar het op- en afhalen van leerlingen kan worden georganiseerd. Er kan hierbij gedacht worden aan een (eventueel overdekte) ophaalplaats voor leerlingen in de buurt van de school en aan het organiseren van begeleide rijen van en naar die ophaalplaats. Ook het Vademecum Duurzaam Parkeerbeleid suggereert deze matregel om de autodruk en parkeerdruk in de schoolomgeving te verminderen (Departement Mobiliteit en Openbare Werken, 2008).

Ook met de leerkrachten kunnen afspraken gemaakt worden over waar zij parkeren en dat zij bijvoorbeeld gebruik maken van parkeerplaatsen die verder verwijderd zijn van de schoolpoort. Leerkrachten komen wat vroeger aan op school dan de leerlingen. De meest aantrekkelijke parkeerplaatsen zijn dan nog vrij. Het is normaal dat zij die plaatsen innemen. Ouders kunnen er dan geen gebruik meer van maken. Met de leerkrachten kan men afspreken dat zij bijvoorbeeld plaatsen innemen achteraan op de parking (Departement Mobiliteit en Openbare Werken, 2008). Als er geen infrastructurele ingrepen gebeuren aan de huidige parking dan kunnen de leerkrachten aangemoedigd worden om de minst aantrekkelijke parkeerplaatsen te gebruiken.

In de buurt van de school zijn 3 parkings die mogelijk voor bovenstaande maatregelen kunnen functioneren (zie Figuur 122). Twee parkings zijn gelegen op 100 meter van de schoolpoort en bereikbaar via het voetpad. Het voetpad is op onderstaande figuur niet te zien omdat de satellietbeelden gemaakt zijn voor de aanleg van het voetpad. De eerste parking is een openbare parkeerplaats met 24 parkeerplaatsen. De bezettingsgraad van de parking is niet bekend. Afhankelijk van de bezettingsgraad kan deze parking gebruikt worden door de leerkrachten of als ruimte waar het op- en afhalen van kinderen kan worden georganiseerd. De school kan dan een begeleide rij organiseren van en naar de parking. De 2 overige parkings zijn private parkings. De parking op 50 meter van de school is van een woonzorgcentrum en telt een 50-tal parkeerplaatsen. De andere parking telt een 15-tal parkeerplaatsen en is van een uitvaartcentrum. Indien de parkings bij het begin van de school en/of aan het einde van de school een lage bezetting hebben, kunnen deze gebruikt worden als ruimte waar het op- en afhalen van kinderen kan worden georganiseerd. De eigenaars van de parking moeten hier natuurlijk akkoord mee gaan en er zullen duidelijke afspraken gemaakt moeten worden.



Figuur 122: Mogelijke externe parkings (Eigen werk, 2021)

Kiss & Ride strook voorzien

Tabel 42: Kiss & Ride strook voorzien (Eigen werk, 2021)

KISS & RIDE STROOK VOORZIEN	
Nr.	I-29
Type maatregel	Infrastructuur
Coördinator	Lokale overheid
Andere actoren	/
Doelgroep (weggebruikers)	Automobilisten

Doelgroep (specifiek)	Leerlingen/studenten en ouders.
Uitvoeringstermijn	Kort (0 tot 1 jaar)
Kost	Afhankelijk
Voordelen	- Omdat het wegbeeld wordt gestructureerd treedt sneller gewenst gedrag op, wat tot een veiligere situatie leidt.
Nadelen	- Indien er een fietspad langs de Kiss & Ride is: kans op portierongevallen.

De laatste maatregel om het parkeren minder chaotisch te laten verlopen, is het voorzien van een Kiss & Ride strook. Dit lost echter slechts gedeeltelijk de problemen op. Zo vermindert de autodruk aan de schoolpoort er niet door, het autoverkeer wordt enkel beter georganiseerd. Het brengen van de kinderen tijdens de ochtendspits gebeurt min of meer gespreid tussen 8u10 en 8u30, waardoor er meestal wel een plaatsje vrij zal zijn de Kiss & Ride strook. Bij het ophalen als de school gedaan is staan alle ouders evenwel tegelijk aan de schoolpoort. Slechts enkelen kunnen wachten in de Kiss & Ride strook.

Er bestaan 3 types Kiss & Ride stroken. Alle types zijn mogelijk in de schoolomgeving van de Zonnewijzer. Het eerste type is een "drive in" systeem waarbij het onmogelijk is om stilstaande voertuigen voorbij te rijden. De eerste auto die aankomt stelt zich op de eerste plaats van de strook op. De volgende auto's sluiten aan. Het tweede type is een zone waarbij het mogelijk is de stilstaande voertuigen op de Kiss & Ride strook voorbij te rijden en in te voegen op een vrije plaats. Het laatste type is een combinatie van beide waarbij het mogelijk is om achteraan aan te sluiten maar waarbij ook de stilstaande auto's voorbij gereden kunnen worden. Het is dan niet mogelijk om in te voegen op een vrijgekomen plaats.

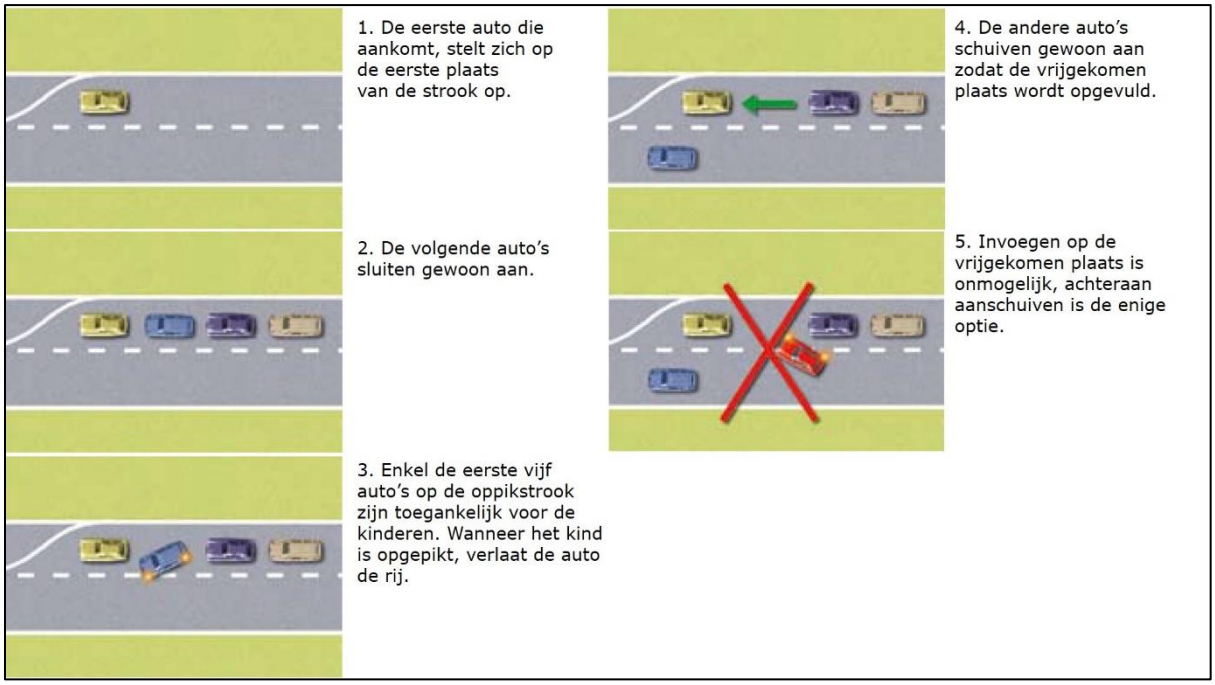
Elk type heeft door zijn kenmerken voor- en nadelen. Zo neemt een "drive in" Kiss & Ride strook minder plaats in dan het tweede type. Voor een drive in volstaat het immers om per voertuig een lengte van 4 meter te voorzien, tegenover 7 tot 8 meter per voertuig voor type 2. Dat is nodig om vlot op- en afrijden toe te laten (Jadoul, 2008).

Om een Kiss & Ride strook optimaal te laten functioneren moeten een aantal afspraken worden gemaakt met ouders en kinderen. In de zone geldt eenrichtingsverkeer. Het moet snel vooruitgaan dus boekentassen moeten mee op de achterbank en worden niet in de koffer van de auto geplaatst. Ouders stappen niet uit en gaan zeker niet mee tot aan de schoolpoort.

Om alles vlot te laten verlopen, is het essentieel dat het aantal voertuigen op de Kiss & Ride strook beperkt blijft. Het percentage leerlingen dat met de auto naar school komt moet daarom tot een minimum herleid worden (zie ook 9.3.5) (Jadoul, 2008). Een Kiss & Ride strook maakt indien mogelijk deel uit van een

schoolvervoerplan dat de leerlingen aanzet tot het gebruik van alternatieve vervoermiddelen of carpooling (zie ook pagina 319: Een schoolvervoerplan opstellen). Om ouders aan te sporen om verschillende kinderen mee te nemen kan de Kiss & Ride strook uitsluitend voorbehouden worden voor carpoolers.

Ook de locatie van de Kiss & Ride is belangrijk om deze goed te laten functioneren. Ten eerste moeten kinderen veilig kunnen in- en uitstappen. Vervolgens moet hun weg van en naar de schoolpoort veilig zijn zodat de kinderen dat traject zelfstandig kunnen afleggen. Om deze reden wordt aangeraden de Kiss & Ride strook op een afstand van maximum 30 meter van de schoolpoort aan te leggen. Tot slot dient er voldoende plaats te zijn, een Kiss & Ride is liefst minimaal 30 meter lang (Jadoul, 2008).



Figuur 123: Kiss & Ride systeem (type 3) (Mobiel Vlaanderen, 2008)

Rekening houdend met de voorwaarden voor een goed functionerende Kiss & Ride strook wordt de strook best voorzien aan de achterkant van de parking (gezien vanaf de school). Vanaf daar kan een veilig traject van ongeveer 30m naar de school voorzien worden indien het fietspad wordt omgevormd tot voetpad (zie 9.3.3.1). Ook kunnen de kinderen veilig uitstappen aan de rechterkant, aan het voetpad/fietspad. Tot slot is er plaats genoeg, de totale lengte van de parkeerstrook bedraagt 80 meter.

Uit de analyse van de parkeerbezetting blijkt dat er aan het einde van de ochtendspits nog 35 auto's op de parking geparkeerd staan. De parking heeft in totaal 51 parkeerplaatsen. Om deze capaciteit te behouden, moeten er na de aanleg van de Kiss & Ride strook dus nog 35 parkeerplaatsen zijn. Indien de volledige strook, zoals aangeduid op Figuur 124, wordt gebruikt dan verdwijnen er 17 parkeerplaatsen. Dat betekent dat er nog 34 parkeerplaatsen overblijven. In

combinatie met de maatregelen waarbij de leerkrachten gebruik maken van een externe parking vormt dit geen probleem voor de capaciteit van de parking.

De volledige strook kan dus ingericht worden als Kiss & Ride zone. Hierbij dient wel rekening gehouden te worden met de voetgangersoversteek die voorzien wordt over de parking in 9.3.3.1. De lengte van de strook maakt het mogelijk om een lange Kiss & Ride te voorzien. Aangezien de strook 80 meter lang is, is er plaats voor een 20-tal auto's. In deze situatie kiest men best voor een drive in systeem waarbij de auto's op de Kiss & Ride strook wel kunnen uitrijden. Wanneer er een auto uitrijdt kunnen de auto's erachter doorschuiven. Auto's die gebruik willen maken van de Kiss & Ride sluiten achteraan de rij aan. De locatie biedt de mogelijkheid om de rij voorbij te rijden. Dit is handig voor ouders die willen parkeren zodat ze hun kind tot aan de schoolpoort kunnen begeleiden.



Figuur 124: Inplanting Kiss & Ride strook (Eigen werk, 2021)

Om bewoners of bezoekers in staat te stellen toch te parkeren wanneer er geen nood is aan de Kiss & Ride, kan een onderbord aangebracht worden met een beperking in de tijd. Op die manier kan de strook bijvoorbeeld enkel van maandag tot vrijdag, van 7u30 u tot 08u30 en 15u00 tot 16u00, tijdens schoolperiodes dienen als Kiss & Ride. Buiten deze uren kan er gewoon geparkeerd worden.

9.3.3.5 Onvoldoende plaats voor voetgangers

Een van de redenen van de chaotische schoolomgeving is het gebrek aan plaats voor voetgangers. Ongeveer 10% van de leerlingen komt te voet naar school. Er komt echter ook meer dan 60% van de leerlingen met de auto waarvan de grote meerderheid te voet van de parking aan de school naar de schoolpoort wandelt. Op de parking zelf en van de parking tot aan de schoolpoort zijn er geen

voetgangersvoorzieningen. De voetgangers wandelen over de parking en/of over het fietspad om de schoolpoort te bereiken. Dit zorgt voor conflictsituaties die worden besproken in 9.3.3.1. Vanaf de Grote Hemmenweg is er een voetpad aangelegd tot aan de schoolomgeving. Het voetpad stopt echter aan het fietspad en om de schoolpoort te bereiken moeten de voetgangers over het fietspad wandelen en het fietspad kruisen.

Voet- en fietspaden obstakelvrij maken

De voet- en fietspaden zijn in principe obstakelvrij. De enige "obstakels" die zich op het fietspad bevinden zijn voetgangers. Hier wordt een oplossing voor uitgewerkt in 9.3.3.1.

Schooltoegang verplaatsen

Het verplaatsen van de schoolingang creëert een nieuwe situatie waarbij het de bedoeling is om doorgaand verkeer en de verblijfsfunctie ruimtelijk van elkaar te scheiden. Dit vergt infrastructuuraanpassingen, zowel aan de afgeschafte ingang als aan de nieuwe ingang. Het verplaatsen van de schooltoegang is voor basisschool De Zonnewijzer niet mogelijk. De meeste voetgangers in de schoolomgeving zijn immers leerlingen die met de auto gebracht en gehaald worden. Vanaf de parking is de huidige schooltoegang de dichtstbijzijnde en de meest logische.

Voetpad aanpassen volgens normen in Vademecum voetgangersvoorzieningen

Tabel 43: Voetpad aanpassen volgens normen in Vademecum voetgangersvoorzieningen (Eigen werk, 2021)

VOETPAD AANPASSEN VOLGENS NORMEN IN VADEMECUM VOETGANGERSVOORZIENINGEN	
Nr.	I-31
Type maatregel	Infrastructuur
Coördinator	Gemeente
Andere actoren	/
Doelgroep (weggebruikers)	Voetgangers, fietsers en bromfietsers.
Doelgroep (specifiek)	Leerlingen/studenten, buurtbewoners en handelaars.
Uitvoeringstermijn	Afhankelijk
Kost	Afhankelijk
Voordelen	- Goede voetgangersvoorzieningen nodigen uit tot gebruik en geven een gevoel van veiligheid.
Nadelen	/

Het Vademecum Voetgangersvoorzieningen noemt 3 belangrijke onderdelen voor een goed toegankelijk, veilig en comfortabel voetpad. Het voetpad moet drempelloos zijn, een effen oppervlak hebben en er moet een goede doorgang zijn voor de voetgangers. Onder een goede doorgang wordt verstaan dat het voetpad minimum 2 meter breed is waarbij er steeds een minimale obstakelvrije doorgang van 1,5 meter breedte moet worden gegarandeerd (Agentschap Wegen en Verkeer, 2003).

Momenteel ligt er geen voetpad tot aan de schoolpoort. Vanaf de Grote Hemmenweg tot aan het fietspad voor de school ligt een voetpad dat voldoet aan de eisen van het Vademecum Voetgangersvoorzieningen. Voor voetgangers die van de Kleine Hemmenweg, de ovonde en de parking komen is er geen voetpad. Deze voetgangers gebruiken het fietspad om tot aan de schoolpoort te geraken.

Indien het fietspad rond de parking wordt ingericht als voetpad, zoals voorgesteld in 9.3.3.1 dan voldoet dit aan de vereisten die het Vademecum Voetgangersvoorzieningen voorschrijft.

De weg herinrichten tot erf of voetgangersgebied

Om een volledig veilige verkeersomgeving te creëren in de schoolomgeving kan de weg aan de school ingericht worden als erf of voetgangersgebied. In de schoolomgeving van de Zonnewijzer is het niet mogelijk en niet aangeraden om de omgeving in te richten als een erf of voetgangersgebied. De ovonde en aansluitende wegen hebben een belangrijke lokale verkeersfunctie. De parking inrichten als erf of voetgangersgebied zorgt ervoor dat er geen auto's mogen parkeren waardoor ouders de leerlingen niet kunnen afzetten en leerkrachten er niet kunnen parkeren.

Verkeerscirculatie verbeteren

Het verbeteren van de verkeerscirculatie wordt besproken in 9.3.3.3.

Toegankelijkheidsanalyse uitvoeren

Tabel 44: Toegankelijkheidsanalyse uitvoeren (Eigen werk, 2021)

TOEGANKELIJKHEIDSANALYSE UITVOEREN	
Nr.	0-04
Type maatregel	Organisatie en overleg
Coördinator	Gemeente
Doelgroep (weggebruikers)	Voetgangers
Uitvoeringstermijn	Afhankelijk
Kost	Afhankelijk

Voordelen	- Het openbaar domein wordt toegankelijker voor voetgangers.
Nadelen	- Een toegankelijkheidsanalyse heeft enkel betrekking op de directe schoolomgeving. Dit kan best uitgebreid worden naar een globaal (gemeentelijk) beleid rond schoolroutes.

Verschillende (infrastructurele) maatregelen dragen bij tot het toegankelijk maken van openbaar domein in de schoolomgeving. Het toegankelijk maken van een omgeving is echter meer dan het bij elkaar voegen van een aantal maatregelen. Het is aanbevolen om bij een herinrichting expliciet na te gaan hoe het gesteld is met de toegankelijkheid van de schoolomgeving. In eerste instantie denkt men vaak aan de rolstoelgebruiker die zonder ongemak de school moet kunnen bereiken. Toegankelijkheid gaat echter veel verder. Zo heeft elke soort gebruiker zijn eigen randvoorwaarden: kinderen, ouderen, ouders met kinderwagens, buren met tassen, etc. Een toegankelijkheidsanalyse probeert voor zoveel mogelijk gebruikers een ruimte te creëren waar het makkelijk bewegen en vertoeven is.

9.3.3.6 Beperkte zichtbaarheid van en voor kinderen door (fout)geparkeerde motorvoertuigen

Leerlingen die afgezet of opgehaald worden op de parking lopen van en naar de schoolpoort vaak tussen de auto's die parkeren buiten de voorziene parkeerplaatsen. Dit zorgt voor een beperkte zichtbaarheid van en voor de leerlingen. De maatregelen om dit probleem op te lessen hebben voornamelijk te maken met het organiseren van het parkeren. Hierbij kan het foutief, hinderlijk of gevaarlijk parkeren op met handhaving of infrastructurele maatregelen worden tegengegaan.

Het parkeren organiseren

Het organiseren van het parkeren wordt besproken in 9.3.3.3.

Politioneel optreden bij foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan

Tabel 45: Politioneel optreden bij foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan (Eigen werk, 2021)

POLITIONEEL OPTREDEN BIJ FOUTIEF, GEVAARLIJK OF HINDERLIJK PARKEREN OF STILSTAAN	
Nr.	H-02
Type maatregel	Handhaving
Coördinator	Politie
Andere actoren	Parket
Doelgroep	Automobilisten
Uitvoeringstermijn	Kort (0 tot 1 jaar)
Kost	Afhankelijk
Voordelen	- Betere zichtbaarheid van en voor de kinderen.

Nadelen	- Het is een voornamelijk repressieve maatregel. Voor een duurzamer effect wordt deze maatregel best gecombineerd met infrastructurele en educatieve maatregelen.

De politie verbaliseert de foutgeparkeerde voertuigen, zodat in de toekomst het foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan vermindert.

Foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan fysiek tegengaan

Tabel 46: Foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan fysiek tegengaan (Eigen werk, 2021)

FOUTIEF, GEVAARLIJK OF HINDERLIJK PARKEREN OF STILSTAAN FYSIEK TEGENGAAN	
Nr.	I-04
Type maatregel	Infrastructuur
Coördinator	Lokale overheid
Andere actoren	Wegbeheerder, school
Doelgroep (weggebruikers)	Automobilisten, voetgangers en fietsen.
Doelgroep (specifiek)	Leerlingen/studenten, ouders en leerkrachten.
Uitvoeringstermijn	Kort (0 tot 1 jaar)
Kost	Afhankelijk
Voordelen	- Veilige en reglementaire parkeerplaatsen voor de automobilisten maken de schoolomgeving veilig voor alle weggebruikers.
Nadelen	- Indien er een clustering van problemen is zal enkel deze maatregel onvoldoende zijn.

9.3.4 Probleem 2: Onaangepaste snelheid

Bij het verlaten van de ovonde worden te hoge snelheden waargenomen. De maximaal toegelaten snelheid wordt op drie afslagen overschreden. Bij het verlaten van de ovonde naar de Kleine Hemmenweg is duidelijk zichtbaar dat de snelheid wordt overschreden. Ook op de ovonde aan de zijde van de schoolparking worden te hoge snelheden geconstateerd.

Automobilisten sensibiliseren rond snelheid

Tabel 47: Automobilisten sensibiliseren rond snelheid (Eigen werk, 2021)

AUTOMOBILISTEN SENSIBILISEREN ROND SNELHEID	
Nr.	E-26
Type maatregel	Educatie
Coördinator	Gemeente of politie
Andere actoren	/
Doelgroep	Automobilisten en gemotoriseerd verkeer.
Uitvoeringstermijn	Kort (0 tot 1 jaar)
Kost	€5000
Voordelen	- Gemotoriseerd verkeer wordt aangesproken op zijn werkelijke snelheid. Automobilisten worden zich pas bewust van hun snelheid bij het passeren van de indicator en dan past men de snelheid aan.
Nadelen	- Het gebruik van een snelheidsindicator geeft een zekere afleiding van de aandacht van de bestuurder op de rest van het verkeer. - Het permanent gebruiken is niet aangeraden omdat er in de schoolomgeving veel gewoontegebruikers zijn. Bij deze categorie vervaagt het effect als de maatregel er permanent is.

Een eerste manier om de onaangepaste snelheid aan te pakken is sensibilisering. Een eenvoudige manier om automobilisten te sensibiliseren is door middel van een snelheidsindicator. Dat toestel kan verschillende boodschappen weergeven bij het naderen, zoals de werkelijke snelheid en knipperen indien de maximumsnelheid overschreden wordt. Ook een andere boodschap zoals "U rijdt te snel" of "Dank U" kan worden weergegeven. Indien sensibiliseren alleen niet voldoende is, kan men overgaan tot handhaving en snelheidscontroles uitvoeren.

Snelheidscontroles uitvoeren

Tabel 48: Snelheidscontroles uitvoeren (Eigen werk, 2021)

SNELHEIDSCONTROLES UITVOEREN	
Nr.	H-07
Type maatregel	Handhaving
Coördinator	Politie

Andere actoren	/
Doelgroep	Bromfietsers, autobestuurders, bestuurders zwaar vervoer en (school)buschauffeurs.
Uitvoeringstermijn	Kort (0 tot 1 jaar)
Kost	Afhankelijk
Voordelen	- Deze aanpak heeft tot gevolg dat de bestraffing onmiddellijk volgt op de overtreding. Hierdoor is het effect van de maatregel wellicht groter en wordt de straf beter aanvaard. - Door te werken met een ondergrens worden 'toevallige' overtreders niet meteen zwaar beboet. Dat moet leiden tot meer draagvlak voor dit soort controles.
Nadelen	- De 'lichte' overtreders worden niet bestraft wat kan leiden tot ongenoegen van mensen die geloven in nultolerantie.

Indien sensibilisering niet voldoende is om de onaangepaste snelheden aan te pakken, kan de politie snelheidscontroles uitvoeren in de schoolomgeving. Die controles zijn best gekoppeld aan een interceptie wanneer een automobilist te snel rijdt. Dit is omdat de bestraffing van de overtreding beter aanvaard wordt wanneer deze onmiddellijk volgt op de overtreding.

Horizontale snelheidsremmers aanleggen

Tabel 49: Horizontale snelheidsremmers aanleggen (Eigen werk, 2021)

HORIZONTALE SNELHEIDSREMMERS AANLEGGEN	
Nr.	I-53
Type maatregel	Infrastructuur
Coördinator	Lokale overheid
Andere actoren	Wegbeheerder
Doelgroep	Automobilisten en bestuurders zwaar vervoer
Uitvoeringstermijn	Middellang (1 tot 4 jaar)
Kost	Afhankelijk
Voordelen	- Horizontale snelheidsremmers kunnen ook op wegen met een overwegend doorgaande functie toegepast worden. - Horizontale snelheidsremmers vormen een poorteffect naar een wegsegment met duidelijke verblijfsfunctie.
Nadelen	- Op routes voor uitzonderlijk vervoer is maatwerk nodig.

Om de snelheid te remmen is een snelheidsbeperking op zich vaak niet voldoende. Sensibilisering en handhaving kan helpen maar men kan best ook de omgeving afstemmen op de opgelegde snelheidsbeperking. Een van de manieren om dit te doen is het aanleggen van horizontale snelheidsremmers. Er zijn verschillende mogelijkheden om horizontale snelheidsremmers aan te leggen. Hoe grootser de horizontale snelheidsremmer eruitziet voor de weggebruiker, hoe meer effect hij

zal hebben. De automobilist zal dan sneller de neiging hebben om snelheid te verminderen.

Op de ovonde zelf wordt er een te hoge snelheid gemeten op het rechte stuk ter hoogte van de in- en uitrit van de parking. Voor bestuurder die de afslag naar de Kleine Hemmenweg nemen, is er bijna geen bocht of asverschuiving waardoor ze niet geneigd zijn af te remmen (Figuur 125). Om iets meer kromming (bocht) te creëren aan de uitrit van de Kleine Hemmenweg kan er gewerkt met belijning. Door een verdrijvingsvlak te schilderen aan de binnenkant van de ovonde, kan het verkeer in een bocht geleid worden. De ovonde lijkt daardoor ook smaller. Dit zal ervoor zorgen dat bestuurders geneigd zijn om af te remmen. Verder laat die ingreep nog steeds zwaar verkeer, zoals bussen en vrachtwagens, toe op de ovonde.



Figuur 125: Zicht op de ovonde richting Kleine Hemmenweg (Google Maps, 2021)

Een tweede mogelijkheid om de snelheid op de ovonde te verminderen is het verplaatsen en verlengen van de biggenruggen ter hoogte van de afslag naar de Kleine Hemmenweg (Figuur 126). De biggenruggen zorgen voor een fysieke afscheiding tussen de rijbaan en het fietspad. Momenteel zijn ze geplaatst op het fietspad. Door ze te verplaatsen en op de rijbaan te leggen, wordt de rijbaan iets smaller waardoor de bestuurders mogelijk hun snelheid aanpassen. Het zorgt tevens voor meer plaats voor de fietsers. Ten tweede kan er een extra biggenrug geplaats worden aan het einde van de reeks biggenruggen aan de afslag naar de Kleine Hemmenweg. Dit zorgt ervoor dat bestuurders niet meer rechtdoor over de kasseien kunnen rijden maar verplicht worden om een bocht te maken zodat ze de biggenruggen niet raken.



Figuur 126: Zicht op de ovonde t.h.v. de afslag naar de Kleine Hemmenweg (Google Maps, 2021)

Verticale snelheidsremmers aanleggen

Tabel 50: Verticale snelheidsremmers aanleggen (Eigen werk, 2021)

VERTICALE SNELHEIDSREMMERS AANLEGGEN	
Nr.	I-52
Type maatregel	Infrastructuur
Coördinator	Lokale overheid
Andere actoren	Wegbeheerder
Doelgroep	Automobilisten en bestuurders zwaar vervoer.
Uitvoeringstermijn	Middellang (1 tot 4 jaar)
Kost	Afhankelijk
Voordelen	- Verticale snelheidsremmers werken altijd en voor iedereen.
Nadelen	- Verticale snelheidsremmers (verkeersdrempels) zijn niet praktisch voor zwaar en groot vervoer. - Drempels en plateaus zijn gevoelig voor beschadigingen.

Om de snelheid te remmen is een snelheidsbeperking op zich vaak niet voldoende. Sensibilisering en handhaving kunnen helpen maar men kan best ook de omgeving afstemmen op de opgelegde snelheidsbeperking. Een van de manieren om dit te doen is door het aanleggen van verticale snelheidsremmers. Er moet echter eerst worden nagegaan of deze aangelegd mogen worden. Zo mogen verkeersdrempels niet voorzien worden op routes van het openbaar vervoer (KB 9 oktober 1998).

Op de ovonde zelf wordt er een te hoge snelheid gemeten op het rechte stuk ter hoogte van de in- en uitrit van de parking. Voor bestuurder die de afslag naar de Kleine Hemmenweg nemen, is er bijna geen bocht of asverschuiving waardoor ze niet geneigd zijn af te remmen (Figuur 125). Om de snelheid op dit stuk weg te beperken kan er een verticale snelheidsremmer aangelegd worden. Een

verkeersdrempel is niet mogelijk aangezien de ovonde op een route voor het openbaar vervoer gelegen is (De Lijn, 2021). Een rijbaankussen is een goed alternatief. Ze zijn comfortabeler voor bussen en prioritaire voertuigen en even efficiënt voor het afremmen van autoverkeer (De Lijn, 2021). Rijbaankussens kunnen in bijkomende orde gebruikt worden in een zone 30, zoals het geval is in Zonhoven (Ministeriële omzendbrief 3 mei 2002).

9.3.5 Probleem 3: Leerlingen gaan te weinig te voet en met de fiets naar school

Een beknopte analyse van de modal split wordt gemaakt in hoofdstuk 6.5. Daaruit blijkt dat slechts 26,5% van de leerlingen met de fiets naar school komt en slechts 10% te voet. Om een volledige analyse te doen zou onder meer onderzocht moeten worden hoeveel procent van de leerlingen op wandelbare en fietsbare afstand van de school woont. Daarbovenop is de modal split in deze studie slechts een momentopname. Verschillende factoren zoals het weer en de tijd van het jaar kunnen een invloed hebben op de modal split. De maatregelen die voorgesteld worden hebben voornamelijk als doel om duurzame verkeersmodi te stimuleren.

Fietsen en stappen stimuleren

Tabel 51: Fietsen en stappen stimuleren (Eigen werk, 2021)

FIETSEN EN STAPPEN STIMULEREN	
Nr.	E-19
Type maatregel	Educatie
Coördinator	School
Andere actoren	Organisaties en aanbieders van pakketten.
Doelgroep (weggebruikers)	Voetgangers, fietsers en automobilisten.
Doelgroep (specifiek)	Leerlingen/studenten, ouders en leerkrachten.
Uitvoeringstermijn	Kort (0 tot 1 jaar)
Kost	Minimaal
Voordelen	- Er worden verschillende kant-en-klare (spel)pakketten aangeboden door verschillende organisaties. - De meeste pakketten vragen niet veel werk van de school om het te organiseren.
Nadelen	- De campagnes worden best ieder jaar herhaald.

Verschillende organisatie zoals Mobiel21, Vlaamse Stichting Verkeerskunde en MOEV bieden campagnes en/of pakketten aan om stappen en fietsen te stimuleren (Mobiel21, 2021; VSV, 2021; MOEV, 2021). Deze campagnes bestaan meestal uit een spel maar ook uit de mogelijke begeleiding bij het uitwerken van inhoudelijke verkeers- en mobiliteitsprojecten, inhoudelijke publicaties en verkeersveiligheid.

Fiets- en/of voetpool organiseren

Tabel 52: Fiets- en/of voetpool organiseren (Eigen werk, 2021)

FIETS- EN/OF VOETPOOL ORGANISEREN	
Nr.	E-12
Type maatregel	Educatie
Coördinator	School of gemeente
Andere actoren	/
Doelgroep (weggebruikers)	Voetgangers, fietsers en automobilisten.
Doelgroep (specifiek)	Leerlingen/studenten en leerkrachten.
Uitvoeringstermijn	Kort (0 tot 1 jaar)
Kost	Minimaal
Voordelen	- Het autoverkeer en de parkeerdruk in de schoolomgeving vermindert. - Stappen en fietsen zet aan tot meer stappen en fietsen (sneeuwbaleffect).
Nadelen	- Het vergt inspanning om het te organiseren en een goede opvolging is noodzakelijk.

Bij fietspoolen of voetpoolen stappen of fietsen leerlingen in een kleine, duidelijk herkenbare groep kinderen en een begeleider van huis naar school en omgekeerd. Kinderen uit dezelfde buurt spreken af op een bepaald punt en stappen of fietsen onder begeleiding van een volwassene via een afgesproken route naar school. Fietspoolers dragen een fietshelm en een reflecterend fluohesje.

Een schoolvervoerplan opstellen

Een schoolvervoerplan is een geheel van maatregelen en initiatieven die een school uitwerkt in samenwerking met externe partners zoals de gemeente, de politie en vervoersaanbieders. Het doel van een schoolvervoerplan is om het aantal duurzame en milieuvriendelijke woon-schoolverplaatsingen te verhogen en de verkeersveiligheid in de schoolomgeving en op schoolroutes bevorderen. Een drone-onderzoek kan passen in het opstellen van een schoolvervoerplan om problemen en knelpunten op te sporen. Tevens kunnen de beelden gebruikt worden voor educatiedoeleinden (zie 9.5). Schoolvervoerplannen worden ook besproken in 4.7.7.

Fietsvaardigheidstraining organiseren

Tabel 53: Fietsvaardigheidstraining organiseren (Eigen werk, 2021)

FIETSVAARDIGHEIDSTRAINING ORGANISEREN	
Nr.	E-18
Type maatregel	Educatie
Coördinator	Organisaties die trainingen aanbieden
Andere actoren	Leerkrachten, ouders en vrijwilligers.
Doelgroep (weggebruikers)	Fietsers.
Doelgroep (specifiek)	Leerlingen/studenten, ouders en leerkrachten.
Uitvoeringstermijn	Kort (0 tot 1 jaar)
Kost	Minimaal
Voordelen	- Leerlingen worden fietsvaardiger en gaan bewuster om met fietsgevaren.
Nadelen	/

Verschillende organisaties zoals SVS, VIAS en Mobiel21 bieden fietsvaardigheidstrainingen aan. Sommige gemeenten en provincies bieden dit ook aan. Tijdens een fietsvaardigheidstraining oefenen de leerlingen zowel op technische vaardigheden als op verkeersvaardigheden.

Schoolroutekaart aanmaken en verspreiden

Tabel 54: Schoolroutekaart aanmaken en verspreiden (Eigen werk, 2021)

SCHOOLROUTEKAART AANMAKEN EN VERSPREIDEN	
Nr.	E-05
Type maatregel	Educatie
Coördinator	Gemeente
Andere actoren	School en mogelijk professionele organisaties
Doelgroep (weggebruikers)	Voetgangers, fietsers en openbaarvervoergebruikers.
Doelgroep (specifiek)	Leerlingen/studenten en ouders.
Uitvoeringstermijn	Kort (0 tot 1 jaar)
Kost	Afhankelijk
Voordelen	- Een schoolroutekaart stimuleert een multimodale en veilige bereikbaarheid van scholen.
Nadelen	- Een kwalitatieve kaart op maat van de gemeente en scholen kost geld.

Een schoolroutekaart geeft de meest veilige schoolroutes aan. Op deze kaart staan fietsers centraal maar de kaart kan ook wandelroutes, openbaarvervoerfaciliteiten en duurzame parkeeropties in de schoolomgeving in opnemen. De sterkte van een schoolroutekaart is dat het kaart visueel en/of tekstueel de aandacht op onvermijdelijke knelpunten en op beveiligde verkeerssituaties. Een aangename en veilige weg naar school ligt zo binnen ieders bereik.

Carpool stimuleren

Het probleem kan ook anders gesteld worden, namelijk dat er te veel auto's in de schoolomgeving zijn bij het begin en einde van de school. Door meer leerlingen aan te zetten om zich met andere modi te verplaatsen verdwijnen er auto's uit de schoolomgeving. Een andere manier om minder auto's in de schoolomgeving te hebben is door meer leerlingen te laten carpoolen. Het stimuleren van carpoolen kan dus ook bijdragen aan minder auto's in de schoolomgeving.

Het stimuleren van carpoolen maakt indien mogelijk deel uit van een schoolvervoerplan (zie 4.7.7). Een manier om ouders aan te zetten om verschillende kinderen mee te nemen in de auto, is om de Kiss & Ride strook (zie 9.3.3.3) uitsluitend voor te behouden voor carpoolers.

9.4 Evaluatie van maatregelen

Een belangrijk onderdeel in het verkeersveiliger maken van een schoolomgeving is het evalueren van de genomen maatregelen. Een evaluatie zorgt ervoor dat men kan (bij)leren over het geleverde werk en het kan motiverend werken voor al de personen die betrokken waren om achteraf een (positieve) evaluatie te maken. Een evaluatie kan enerzijds dienen om verantwoording af te leggen voor de bestede middelen en anderzijds om het project te verbeteren.

Er bestaan vier verschillende soorten evaluaties: procesevaluatie, productevaluatie, effectevaluatie en economische evaluatie. Een procesevaluatie onderzoek hoe het project verlopen is. Een producevaluatie peilt naar de kwaliteit van de producten die afgeleverd worden aan het einde van het project. De effectevaluatie bekijkt in welke mate de doelen van het project behaald werden. Tot slot vergelijkt de economische evaluatie de baten van het project met de kosten ervan (Vlaamse Overheid - Agentschap Wegen en Verkeer, 2010).

Dronebeelden kunnen ingezet worden voor de evaluatie van de effecten. Een effectevaluatie meet de veranderingen die het project heeft veroorzaakt binnen de doelgroep. Volgende zaken kunnen geëvalueerd worden:

- De determinanten van het gedrag zoals kennis, attitudes, vaardigheden en omgevingsfactoren;
- Het gedrag zelf zoals het dragen van reflecterende kledij, snelheid in het verkeer en de fiets nemen in plaats van de auto;
- Het aantal ongevallen en bijna-ongevallen.

De beelden die gemaakt zijn voor het nemen van de maatregelen kunnen vergeleken worden met beelden die gemaakt worden na het implementeren en uitvoeren van de maatregelen. Er dient dan uiteraard een extra dronevlucht uitgevoerd te worden op een moment na de implementatie van de maatregelen.

9.4.1 Determinanten van het gedrag

De determinanten van het gedrag kunnen moeilijk geëvalueerd worden aan de hand van dronebeelden. Deze determinanten kunnen indirect wel bijdragen aan verbeteringen die te zien zijn op de beelden. Dit kan bijvoorbeeld zijn wanneer de leerlingen extra vaardigheden hebben opgedaan en veiliger de straat oversteken.

9.4.2 Gedrag

Bepaalde onderdelen van het gedrag kunnen geëvalueerd worden aan de hand van dronebeelden. Dit kan opgesplitst worden in twee delen. Enerzijds zijn er de cijfers van de verkeerstellingen, die van de parkeerduur- en bezetting, de modal split en

de OD-matrices. Deze cijfers kunnen objectief vergeleken worden. De verkeerstellingen en modal split kunnen aantonen of de maatregelen om meer leerlingen te voet en met de fiets naar school te laten gaan effect hebben. De parkeersituatie kan vergeleken worden op basis van de parkeerduur en bezetting van de parking. Als de maatregelen het gewenste effect hebben, moet de parkeerduur aan de schoolpoort korter zijn en de bezetting van de parking lager. De OD-matrices kunnen bijvoorbeeld aantonen of het weren van doorgaand verkeer gelukt is en of leerlingen gebruik maken van de juiste schoolingang indien er meerdere worden gebruikt. Anderzijds kunnen de verkeersstromen, snelheid en conflicten visueel vergeleken worden. Door de verkeersstromen te vergelijken kan bepaald worden of de maatregelen ervoor gezorgd hebben dat de schoolomgeving minder chaotisch is. Figuur 43 en Figuur 44 geven de kracht van dergelijke visualisatie goed weer. Een vergelijking van de heat maps van de snelheden kan eveneens visueel gemaakt worden. Indien de maatregelen om de snelheid te verminderen effectief zijn, zullen er minder donkere (rode) zones zijn op de heat map in vergelijking met de heat map van de eerste dronevlucht. Ook het al dan niet dragen van reflecterende kledij kan manueel gecontroleerd worden.

9.4.3 Aantal ongevallen en bijna-ongevallen

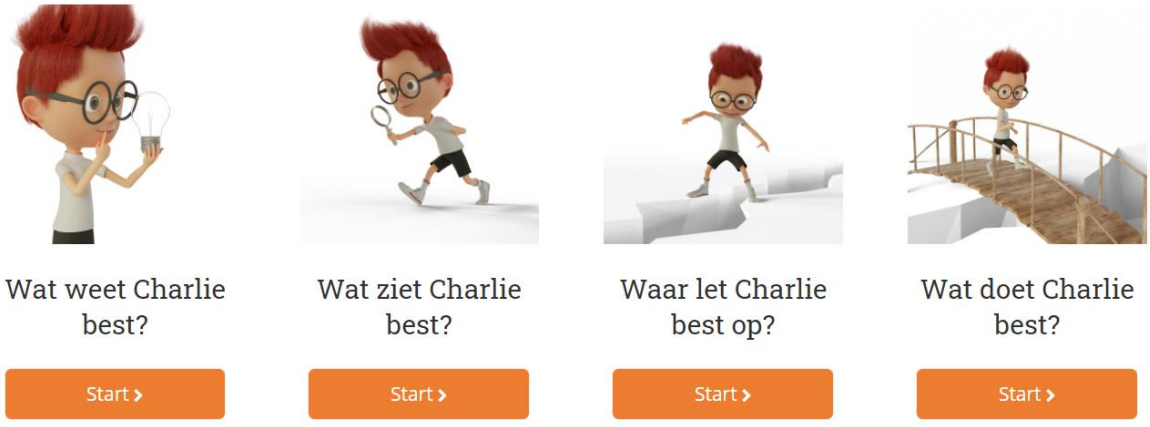
Indien de parameters TTC en PET accurate gegevens zouden leveren, dan is het mogelijk om het aantal bijna-ongevallen te vergelijken. Deze kunnen dan ook visueel weergegeven worden op een kaart. Daaruit kan afgeleid worden of gevaarlijke situaties zich minder vaak voordoen op de punten of locaties waar maatregelen genomen zijn. Ook de parameter Heavy braking kan een indicatie geven van bijna-ongevallen indien deze accuraat genoeg zou werken. Deze parameter geeft immers situaties weer waarin een voertuig een noodstop heeft uitgevoerd.

9.5 Route2School Educatie

Tot slot wordt onderzocht of dronebeelden gebruikt kunnen worden binnen Route2School Educatie. Er worden enkele suggesties geformuleerd van wijzen waarop dronebeelden toegepast kunnen worden binnen R2S Educatie.

Binnen R2S Educatie worden verschillende modules opgesteld om het verkeersinzicht en de kennis met betrekking tot het verkeer te verbeteren bij de kinderen (Route2School, sd). Het is voornamelijk gericht op kinderen in de 2de en 3de graad van het basisonderwijs en de 1ste graad van het secundair onderwijs. Door te werken met verschillende modules kunnen verschillende vaardigheden bijgestuurd en verbeterd worden. Dit zijn onder andere risicodetectie, kennis en situatiebewustzijn. Het unieke aan R2S Educatie is het feit dat dit als alleenstaand project kan worden aangeboden of in navolging van het basisproject met de schoolroutekaarten. Indien er wordt geopteerd voor de tweede optie worden de modules aangevuld met situaties uit de eigen omgeving van de leerlingen. De herkenbaarheid van situaties uit de omgeving moet bijdragen tot betere resultaten.

R2S Educatie focust op veiligheid waarbij zowel de vaardigheden als de kennis van de leerlingen wordt getest. Er zijn 4 online modules die ieder op een ander aspect focussen. De leerlingen volgen doorheen alle modules Charlie, een fictief personage waarin de leerlingen zichzelf kunnen herkennen. De eerste module "Wat weet Charlie best?" is gericht op kennis van het verkeersreglement. Leerlingen zien een werkelijke verkeerssituatie waarover een vraag wordt gesteld. Er worden meerdere antwoorden gegeven waarvan er 1 juist is. Enkel met kennis van het verkeersreglement kunnen de leerlingen het juiste antwoord weten. De 3 andere modules zijn voornamelijk gericht op vaardigheden. De leerlingen krijgen een werkelijke situatie te zien en moeten aangeven wat Charlie best ziet, waar Charlie best op let of wat Charlie best doet. Zo kan het bijvoorbeeld zijn dat de leerling als fietser wel voorrang heeft op een auto, maar toch best eerst moet kijken of de auto wel effectief stopt en voorrang verleent aan de leerling op de fiets.



Figuur 127: De 4 modules binnen R2S Educatie (Route2School, 2021)

Binnen R2S Educatie kunnen dronebeelden dienen als hulpmiddel bij de lessen. Er kunnen 3 verschillende opties onderscheiden worden om dronebeelden te introduceren in de lessen: de beelden van het verkeerskundig onderzoek gebruiken, nieuwe video's maken in de schoolomgeving en op de schoolroute of er kunnen algemene video's gemaakt worden die aan iedere school worden aangeboden.

9.5.1 Beelden van verkeerskundig onderzoek

De beelden van het verkeerskundig onderzoek, zoals die in deze masterproef, kunnen gebruikt worden voor educatiedoeleinden. Afhankelijk van de schoolomgeving zullen deze meer of minder bruikbaar zijn. In dit onderzoek werd gefocust op de parking aan de school. De meest interessante situaties voor educatiedoeleinden doen zich echter voor ter hoogte van de ovonde. Omdat de ovonde in dit onderzoek in de hoek zit, zijn de beelden slechts gedeeltelijk bruikbaar als input voor R2S Educatie.

Op basis van de dronebeelden voor verkeerskundig onderzoek is het moeilijk om kennis te testen ("Wat weet Charlie best?"). Figuur 128 is een voorbeeldvraag vanuit R2S educatie. De vragen over kennis hebben voornamelijk betrekking op verkeersborden, zoals ook te zien is in de voorbeeldvraag. Verkeersborden zijn echter niet zichtbaar op de dronebeelden. Toch is het mogelijk om kennis van het verkeersreglement te testen door situaties zoals Figuur 128 weergeeft te bevragen. Op het beeld zijn enkele fietsers te zien die op de rijbaan op de ovonde rijden en dus niet op het fietspad. Het is mogelijk om bewegende beelden te laten zien zodat de leerlingen de situatie nog beter kunnen inschatten.



Figuur 128: Voorbeeldvraag kennis R2S Educatie (Route2School, 2021)



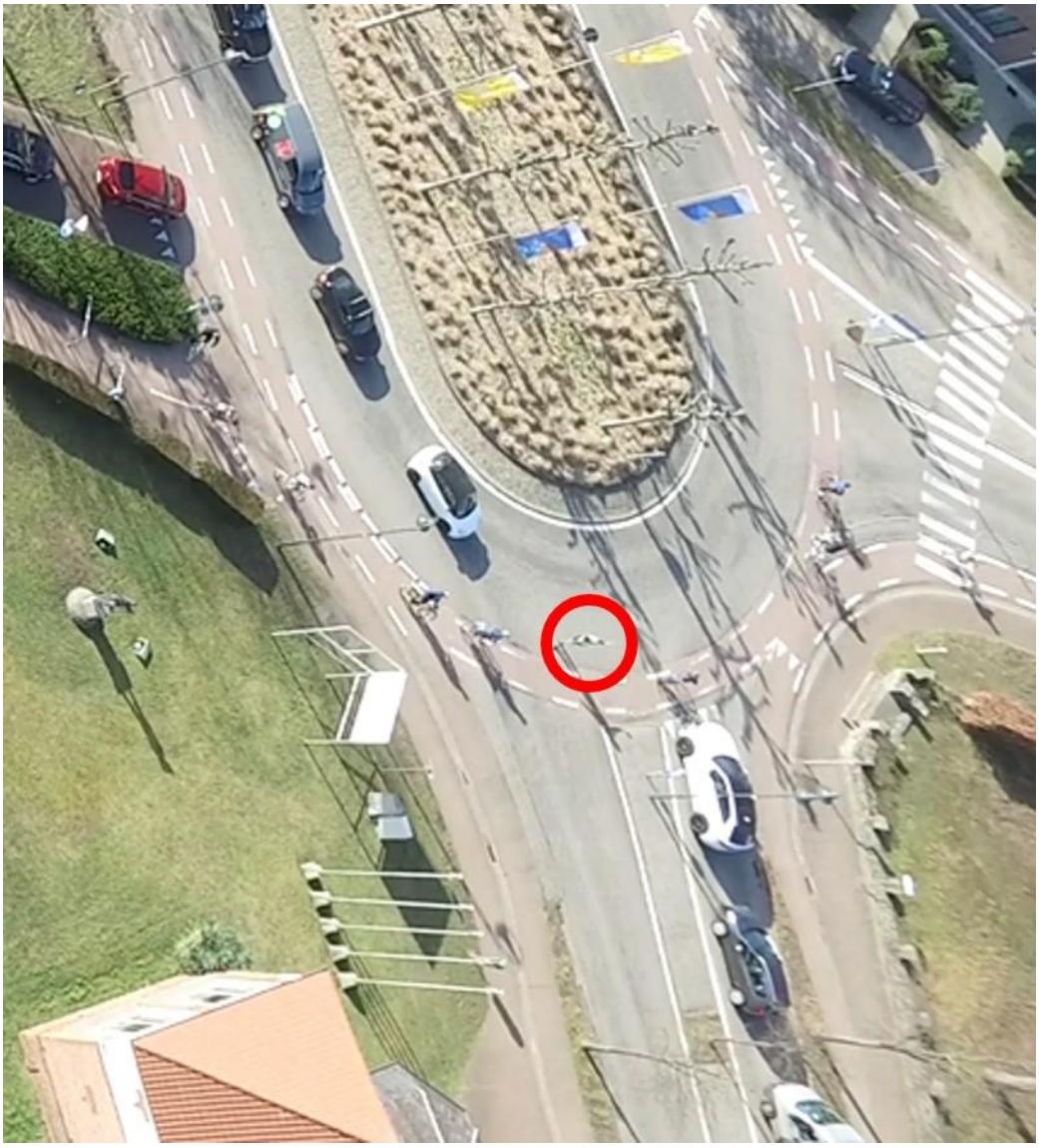
Figuur 129: Fietsers op de ovonde (eigen werk, 2021)

Een mogelijke vraag en bijhorende antwoordmogelijkheden om de kennis te testen kunnen zijn:

"Mogen de fietsers op de rijbaan fietsen?"

- Ja, fietsers mogen op een rotonde altijd op de rijbaan fietsen.
- Ja, want er rijden geen auto's op de rotonde.
- Nee, want de fietsers moeten op het fietspad rijden.

Binnen de module "Waar let Charlie best op" kunnen dronebeelden gebruikt worden. Figuur 130 geeft een suggestie weer van een mogelijke toepassing van dronebeelden binnen deze module. Een personeelslid of leerkracht van de school staat als gemachtigd opzichter (rood omcirkeld) op de ovonde om het verkeer tegen te houden zodat de fietsers veilig kunnen oversteken.



Figuur 130: Gemachtigd opzichter op de ovonde (Eigen werk, 2021)

Een mogelijke vraag en bijhorende antwoordmogelijkheden om de vaardigheden te testen kunnen zijn:

"Wat let de fietser (Charlie) best op?" (Meerdere antwoorden mogelijk)

- Op de gemachtigd opzichter, want dat is Charlie zijn favoriete leerkracht.
- Op de auto links van hem, die zich op de rotonde bevindt.
- Op de auto die staat te wachten om de rotonde op te rijden.
- Op de fietsers die voor hem rijdt, want dat is Charlie zijn beste vriend.
- Op het verkeersbord dat "Meulenberg" aangeeft.

Tot slot kunnen ook binnen de module "Wat doet Charlie best?" dronebeelden gebruikt worden. Op Figuur 131 is te zien dat er een fietser het fietspad aan de ovonde oprijdt. Op hetzelfde moment rijdt er een bus de ovonde op. Stel dat de bus de afslag neemt en de fietser doorrijdt, kan er een gevaarlijke situatie ontstaan. De fietser kan immers in de dode hoek van de bus zitten waardoor de buschauffeur de fietser niet ziet. Dit kan zorgen voor een aanrijding. De leerlingen

kunnen deze situatie voorgelegd krijgen en dan er gevraagd worden hoe ze best handelen. De leerlingen krijgen de situatie als een filmpje te zien zodat het duidelijker is dan op onderstaande figuur.



Figuur 131: Mogelijke dode hoek situatie op de ovonde (Eigen werk, 2021)

Een mogelijke vraag en bijhorende antwoordmogelijkheden om de vaardigheden te testen kan zijn:

"Wat kan de fietser (Charlie) best doen?"

- Charlie kan best gewoon doorrijden, de bus moet toch voorrang verlenen.
- Charlie heeft voorrang maar kan best kijken of de bus wel effectief stopt om voorrang te verlenen.
- Charlie stopt best omdat hij geen voorrang heeft en de bus moet doorlaten.

9.5.2 Nieuwe video's van de schoolomgeving en op de schoolroute

Een tweede mogelijkheid is het maken van nieuwe beelden in de schoolomgeving of op de schoolroute. Beelden uit de eigen gemeente zijn herkenbaar voor de leerlingen waardoor ze zich de situatie beter kunnen voorstellen. Hier zijn meerdere opties mogelijk, die gecombineerd kunnen worden. Zo kunnen de situaties uit 9.5.1 beter in beeld gebracht worden door op een andere hoogte te vliegen en de camera onder een andere hoek te positioneren. Een andere mogelijkheid is om met een drone een fietser te volgen die zich begeeft in het verkeer en een gevaarlijke situatie tegenkomt. Deze situatie kan indien nodig gesimuleerd worden. Dit gebeurt in de huidige modules van R2S Educatie ook al maar vanuit onderstaand perspectief (zie Figuur 132). Leerlingen kunnen de situatie beter inbeelden indien ze ook effectief een fietser zien. Door een fietser te volgen met een drone kunnen de leerlingen de fietser en zijn gedragingen zien. Zo kan er bijvoorbeeld ook een situatie gefilmd worden waarbij een fietser zijn hand niet uitsteekt om de richting aan te geven. Of er kan een fietser getoond worden zonder helm, zonder fluorescerende kledij, etc. Er kan dan aan de leerlingen

gevraagd worden hoe de fietser zichzelf beter kan beschermen of hoe hij veiliger aan het verkeer kan deelnemen.

De achteruitrijlichten en de remlichten van de auto staan aan. De achteruitrijlichten zijn de witte lichten, de remlichten zijn de rode lichten.



Figuur 132: Voorbeeldvraag vaardigheden in R2S Educatie (Route2SChool, 2021)

9.5.3 Nieuwe algemene video's

Een laatste mogelijkheid is om nieuwe algemene video's te maken. Deze kunnen volgens hetzelfde principe als in 9.5.2 gemaakt worden. Er kunnen situaties gesimuleerd worden op een parking of er kan gefilmd worden in een andere gemeente. Dan is de herkenbaarheid voor de leerlingen echter minder groot waardoor ze zich de situatie minder goed kunnen voorstellen.

9.5.4 Aanbevelingen vervolgonderzoek

Het gebruik van dronebeelden voor educatie binnen R2S Educatie heeft voldoende potentieel om dit verder te onderzoeken. In een vervolgonderzoeken kunnen best volgende aspecten zeker onderzocht worden. Ten eerste moet er onderzocht worden aan welke juridische voorwaarden voldaan moet worden om de beelden te mogen maken en te gebruiken. Dit heeft voornamelijk betrekking op privacywetgeving en de bescherming van (persoons)gegevens. Verder dient er ook onderzocht te worden aan welke voorwaarden van de dronewetgeving voldaan moet worden. Dit heeft betrekking op vergunningen, maximale vlieghoogte, aanvraag van de vlucht, etc. Ten tweede moet onderzocht worden op welke hoogte bepaalde situaties best gefilmd worden om deze zo goed mogelijk in beeld te brengen. Dit kan verschillen per situatie. Ook de hoek waaronder de camera zich bevindt kan van belang zijn. Ten derde moet onderzocht worden welke drone en camera voldoet om de situaties in beeld te brengen. Indien mogelijk, kan er met een lichte, niet-bekabelde drone gevlogen worden die wordt bestuurd door de medewerkers van R2S. Dan is er geen externe firma nodig om de vluchten uit te voeren. Tot slot moet er ook rekening gehouden worden met de kwaliteit van de beelden. De beelden moeten voldoende scherp zijn zodat de situaties herkenbaar zijn. De bestanden mogen echter ook niet te groot zijn aangezien dit mogelijk

problemen kan opleveren met betrekking tot het uploaden of het laden van de beelden op de website. Indien de beelden traag laden of niet in een vloeiende beweging te zien zijn, heeft dit een negatieven invloed op de gebruikerservaring van de leerlingen.

9.6 Conclusie en discussie

In dit deelonderzoek werd getracht een antwoord te geven op volgende onderzoeksvraag: "*Op welke manier kunnen er op basis van drone-onderzoek maatregelen genomen worden die leiden tot verbeteringen van de verkeersveiligheid in schoolomgevingen?*". Dit werd gedaan aan de hand van 3 subonderzoeksvragen die betrekking hadden op de quick wins in de schoolomgeving, de maatregelen die bijdragen tot een verbetering van de verkeersveiligheid in de schoolomgeving en de stakeholders die verantwoordelijke zijn voor uitvoeren van deze maatregelen.

Op basis van dronebeelden kunnen veel situaties gedetecteerd worden die zorgen voor problematische, of op zijn minst ongewenste, verkeerssituaties in de schoolomgeving. De problemen hebben betrekking op verschillende modi zoals voetgangers, fietsers, openbaar vervoer, gemeenschappelijk vervoer, auto's en vrachtwagens. Om deze problemen op te lossen kunnen er verschillende maatregelen genomen worden. Op basis van dronebeelden kunnen zowel infrastructuurmaatregelen, educatiemogelijkheden, handhavingsinitiatieven als maatregelen die betrekking hebben op organisatie en overleg worden voorgesteld.

Een analyse van dronebeelden kan interessante resultaten geven met betrekking tot verkeerstellingen. Op basis van de tellingen kan berekend worden of de capaciteit van de wegen in de schoolomgeving voldoende groot is. Aan de hand van de trajectoriën kunnen de verkeersstromen in kaart gebracht worden. Daarbij kan er een onderscheid gemaakt worden tussen voetgangers, fietsers en gemotoriseerd verkeer. Dit zorgt ervoor dat de stromen visueel zeer goed zichtbaar zijn. De stromen geven een indicatie van hoe goed georganiseerd de schoolomgeving is. Op plaatsen waar verschillende stromen elkaar kruisen, kunnen gevaarlijke en chaotische situaties ontstaan. Hierbij moet extra aandacht uitgaan naar situaties waarbij auto's en kwetsbare weggebruikers betrokken zijn.

De huidige software van DFS laat het nog niet toe om de modal split op een correcte manier te berekenen. Met DFS kunnen OD-matrices gegenereerd worden. Deze matrices geven de herkomst en bestemming weer van de verschillende modi. Zo kan bepaald worden hoeveel weggebruikers er in de schoolomgeving zijn die de school niet als bestemming of herkomst hebben. Indien er veel doorgaand verkeer is, kunnen er maatregelen genomen worden om dit zo veilig mogelijk te laten verlopen. In bepaalde gevallen kan het veiliger zijn om zoveel mogelijk dergelijk verkeer te weren in de schoolomgeving. Een andere parameter die uit de dronebeelden gehaald kan worden is de snelheid. In schoolomgevingen is overdreven snelheid een probleem. DFS kan een heatmap van de snelheden genereren. Dit geeft op een visuele manier weer op welke plaatsen er te snel gereden wordt.

Het parkeergedrag kan bepaald worden aan de hand van dronebeelden. Zowel de parkeerbezetting als de parkeerduur kunnen aan de hand van software weergegeven worden in tabellen en grafieken. Op die manier kan bepaald worden of de parking zijn maximale capaciteit bereikt en eventueel hoe lang deze capaciteit bereikt is. Conflictobservaties worden uitgevoerd met de parameters Time-to-collision, Post-encroachment-time en Heavy braking. Deze parameters detecteren bijna-ongevallen. In de praktijk blijken deze echter niet nauwkeurig genoeg om reële gevaarlijke situaties te ontdekken. Een laatste manier om gevaarlijke situaties te ontdekken is door middel van een manuele, visuele detectie. Dit is echter een tijdrovend werk aangezien alle beelden handmatig bekeken en geanalyseerd moeten worden.

De dronebeelden kunnen gebruikt worden in combinatie met Route2School door de meldingen in R2S te toetsen aan de dronebeelden. De dronebeelden geven de situatie objectief weer en kunnen gebruikt worden om de meldingen van subjectieve onveiligheid te bevestigen of te ontkrachten. Sommige meldingen kunnen noch bevestigd, noch ontkracht worden door de dronebeelden. In dit onderzoek waren er 8 meldingen binnen het bereik van de dronebeelden. Hiervan konden er 5 bevestigd worden door de dronebeelden. Eén melding kon ontkracht worden. Dat betekent dat 2 meldingen nog ontkracht, noch bevestigd konden worden. Dit had enerzijds te maken met een melding die betrekking had op de verkeersborden. Deze zijn niet zichtbaar op de dronebeelden. Voor de tweede melding bleek er al een oplossing te zijn, dus het probleem stelde zich niet meer. Indien de oplossing er nog niet zou zijn, zou het probleem aan de hand van de dronebeelden wel gedetecteerd kunnen worden. Die melding zou dus bevestigd kunnen worden.

In de schoolomgeving in Zonhoven worden 3 grote problemen gedetecteerd aan de hand van de analyse van de dronebeelden. Ten eerste is de verkeerssituatie in de schoolomgeving chaotisch. Dit komt onder meer door conflicten tussen fietsers onderling en tussen fietsers en voetgangers, autoparkeerproblemen en circulatieproblemen, onvoldoende plaats voor voetgangers en de beperkte zichtbaarheid van en voor kinderen door (fout)geparkeerde voertuigen. Ten tweede houden verschillende bestuurders zich niet aan de gepaste snelheid. Zo worden te hoge snelheden waargenomen bij het verlaten van de ovonde en op de ovonde zelf ter hoogte van de schoolparking. Het derde probleem heeft te maken met de modal split. De leerlingen gaan te weinig te voet en met de fiets naar school. Slechts 26,5% van de leerlingen komt met de fiets naar school en slechts 10% te voet.

Er worden maatregelen voorgesteld voor de problemen die gedetecteerd worden. Verschillende maatregelen kunnen gezien worden als een quick win aangezien ze een minimale kost hebben en op korte termijn realiseerbaar zijn. In een chaotische schoolomgeving zoals die in dit onderzoek, hebben de meeste maatregelen betrekking op het oplossen van de chaotische situaties. Het zoeken van problemen

en maatregelen werd gedaan aan de hand van de verkeersstromen, OD-matrices, snelheid, parkeerduur en -bezetting en visuele detectie van gevaarlijke situaties. Ook met de modal split werd rekening gehouden. De modal split werd echter niet aan de hand van dronebeelden bepaald. Omdat de software van DFS bij het detecteren van weggebruikers en bepaalde parameters niet accuraat genoeg is, is er een extra visuele of manuele analyse nodig. Dit is het geval voor de verkeersstromen, OD-matrices en het bepalen van de parkeerduur en -bezetting. De parameters PET en TTC die bijna-ongevallen detecteren bleken in dit onderzoek weinig tot niet bruikbaar. Bijna-ongevallen moeten dus ook manueel gedetecteerd worden.

Enkele maatregelen kwamen voor verschillende problemen terug als oplossing. Ten eerste is er de opmaak van een schoolvervoerplan. Dit is eigenlijk geen maatregel op zich, want het brengt de mobiliteit rond een school in kaart en dient als basis voor een al dan niet grondige herinrichting van de schoolomgeving. Met een drone-onderzoek kan de mobiliteit in de directe schoolomgeving in kaart gebracht worden. Een tweede maatregel die regelmatig terugkwam is het spreiden van verschillende modi in tijd en ruimte. Aan de hand van de verkeersstromen kan visueel zeer goed bepaald worden waar verschillende modi kruisen en of zwakke weggebruikers te weinig plaats hebben. In een chaotische schoolomgeving zullen vaak parkeer- en circulatieproblemen zijn. Dit kan met dronebeelden goed geanalyseerd worden. Dit kan opgelost worden door het parkeren beter te organiseren door bijvoorbeeld een Kiss & Ride strook te voorzien of parkeermogelijkheden in de ruimere omgeving te gebruiken.

Indien er in de schoolomgeving te hoge snelheden gemeten worden, kan er aan de hand van een heatmap makkelijk bepaald worden waar de te hoge snelheden gemeten worden. Het is dan mogelijk om gericht maatregelen te nemen. In eerste instantie kan geopteerd worden voor sensibiliseren. Als dat niet werkt dan kunnen er handhavingsinitiatieven en infrastructurele maatregelen genomen worden. Het uitvoeren van snelheidscontroles kan zeer gericht gebeuren omdat het duidelijk is op welke plaatsen te snel gereden wordt. Om die reden kunnen ook op de juiste plaatsen snelheidsremmers aangelegd worden.

Voor iedere maatregelen wordt bepaald wie de stakeholders zijn. Enerzijds is er een coördinator die eventueel ondersteund wordt door andere actoren. Anderzijds heeft elke maatregelen betrekking op een of meerdere doelgroepen die ook stakeholder zijn. Volgende actoren kunnen betrokken zijn bij het implementeren van maatregelen, al dan niet als coördinator: de lokale overheid (gemeente), de wegbeheerder (gemeente of AWV), de school (leerkrachten, leerlingen, directie), de ouders van de leerlingen, de buurt (bewoners, handelaars), de politie, het parket, de distributienetbeheerder en de openbaarvervoersmaatschappij (De Lijn).

Een belangrijk onderdeel in het verkeersveiliger maken van een schoolomgeving is het evalueren van de genomen maatregelen. Dronebeelden kunnen ingezet

worden voor de evaluatie van de effecten. Een effectevaluatie meet de veranderingen die het project heeft veroorzaakt binnen de doelgroep. De beelden die gemaakt zijn voor het nemen van de maatregelen kunnen vergeleken worden met beelden die gemaakt worden na het implementeren en uitvoeren van de maatregelen. Er dient dan een tweede dronevlucht uitgevoerd te worden. Vooral visueel is deze evaluatie zeer sterk. Onder andere de verkeersstromen en de heat map van de snelheden kunnen vergeleken worden. Ook andere zaken zoals de parkeersituatie kunnen vergeleken worden. Zo kan bepaald worden of de maatregelen een positief effect hebben op de verkeersveiligheid.

Een drone-onderzoek in een schoolomgeving kan verschillende problemen met betrekking tot verkeersveiligheid detecteren. Aan de hand van de dronebeelden is het mogelijk om gericht maatregelen voor te stellen voor deze problemen. De gebruikte software van DFS heeft verschillende beperkingen die voornamelijk voortvloeien uit de slechte detectie van (zwakke) weggebruikers. Indien de detectie van alle weggebruikers een accuraatheid van 100% benadert, kan een correcte analyse van de schoolomgeving door de software gedaan worden. De software is dan is dan in staat om de snelheid, verkeersstromen, verkeerstellingen, modal split, OD-matrices, parkeerduur en -bezetting en bijna-ongevallen te berekenen of in kaart te brengen. Met behulp van 1 dronevlucht kunnen dan zeer veel gegevens verzameld worden over de schoolomgeving.

Voorlopig is een drone-onderzoek enkel interessant in combinatie met andere onderzoekstechnieken. Een losstaand drone-onderzoek levert belangrijke informatie op, maar nog niet voldoende om een diepgaande analyse van een schoolomgeving te maken. Een drone-onderzoek kan dienen als input van data voor een schoolvervoerplan. Het kan dus wel functioneren als een deelonderzoek in een groter geheel. Een voordeel van dronebeelden is dat de problemen zeer visueel getoond kunnen worden.

Binnen Route2School Educatie kunnen dronebeelden dienen als hulpmiddel bij de lessen. Er kunnen 3 verschillende opties onderscheiden worden om dronebeelden te introduceren in de lessen: de beelden van het verkeerskundig onderzoek gebruiken, nieuwe video’s maken in de schoolomgeving en op de schoolroute of er kunnen algemene video’s gemaakt worden die aan iedere school worden aangeboden.

Er dient echter nog een vervolgonderzoek gedaan te worden om te bepalen hoe dronebeelden precies gebruikt worden. In dit onderzoek dient men zeker na te gaan wat de beperkingen zijn van de privacy- en dronewetgeving. Ook enkele technische en praktische aspecten zoals de vlieghoogte en type drone moeten onderzocht worden. Tot slot moet er ook rekening gehouden worden met de kwaliteit van de beelden. De beelden moeten voldoende scherp zijn maar de bestanden mogen niet te groot zijn zodat ze geen negatieve invloed hebben op de gebruikerservaring op de website.

10 Conclusie

10.1 Algemene conclusie

Deze masterproef is zeer omvangrijk. Door een antwoord te zoeken op de hoofdvraag: *"Wat is de haalbaarheid van het toepassen van dronetechnologie in verkeersonderzoek van schoolomgevingen?"* wordt het mogelijk om een algemeen beeld te krijgen van wat de mogelijkheden zijn. Dit werd onderzocht door middel van een pilotstudie: een schoolomgeving in de gemeente Zonhoven. Daarbij werden verschillende deelonderzoeken uitgevoerd met de focus op de beschikbare parameters, de meerwaarde van drones ten opzichte van andere onderzoekstechnieken en de mogelijke maatregelen om de verkeersveiligheid te verbeteren.

De combinatie van dronebeelden en een dataverwerkingssoftware blijkt doorheen het gehele onderzoek een zeer handige techniek om verkeersdata visueel weer te geven. Deze visualisatie maakt het mogelijk om chaotische verkeerssituaties overzichtelijk te benaderen en de problematische situaties te identificeren. De beelden kunnen ook potentieel gebruikt worden voor educatieve doeleinden, bijvoorbeeld in een project zoals R2S Educatie. Wel is er verder onderzoek nodig naar de concrete invulling van deze educatiemogelijkheden. Verder laat deze techniek het toe om alle weggebruikers mee te betrekken in de analyse. Dit leidt ertoe dat op basis van de bekomen dronebeelden verscheidene maatregelen kunnen worden voorgesteld, waarbij de effecten bij een eventuele vervolgstudie kunnen worden afgetoetst. Ook de brede toepasbaarheid van de technologie voor verschillende soorten onderzoeken biedt een groot potentieel ten opzichte van andere onderzoekstechnieken. Daarnaast wordt met veel beschikbare parameters in de software de arbeidsintensiteit en de tijdsduur van de uiteindelijke analyse gereduceerd.

Verder moet erop worden gewezen dat er ook veel tekortkomingen van deze technologie naar de voorgrond komen. De eerste, en tevens belangrijkste, is de onnauwkeurige detectie van de weggebruikers. Voornamelijk kwetsbare weggebruikers blijken moeilijk gedetecteerd te worden. Hierdoor wordt het onmogelijk om een accuraat verkeerskundig onderzoek uit te voeren. Ten tweede blijken de parameters niet allemaal even accuraat en bruikbaar, waardoor een manuele analyse nog steeds noodzakelijk is. Daarnaast zorgen de kostprijs, het wetgevend kader en de voorbereiding van de vlucht ervoor dat deze technologie in vergelijking met andere technieken niet optimaal is.

Uit deze masterproef kan geconcludeerd worden dat drone-onderzoek voor geen enkele analyse de hoogste haalbaarheid heeft bekomen in vergelijking met andere technieken. Deze vaststelling moet echter in het licht van het type onderzoek worden bekeken. Vaak is een combinatie van verschillende technieken aangeraden. Bovendien moet worden opgemerkt dat deze technologie pas recent

wordt toegepast op verkeerskundig onderzoek. Het optimaliseren van deze technologie kan de haalbaarheid en toepasbaarheid in toekomstig onderzoek aanzienlijk verhogen.

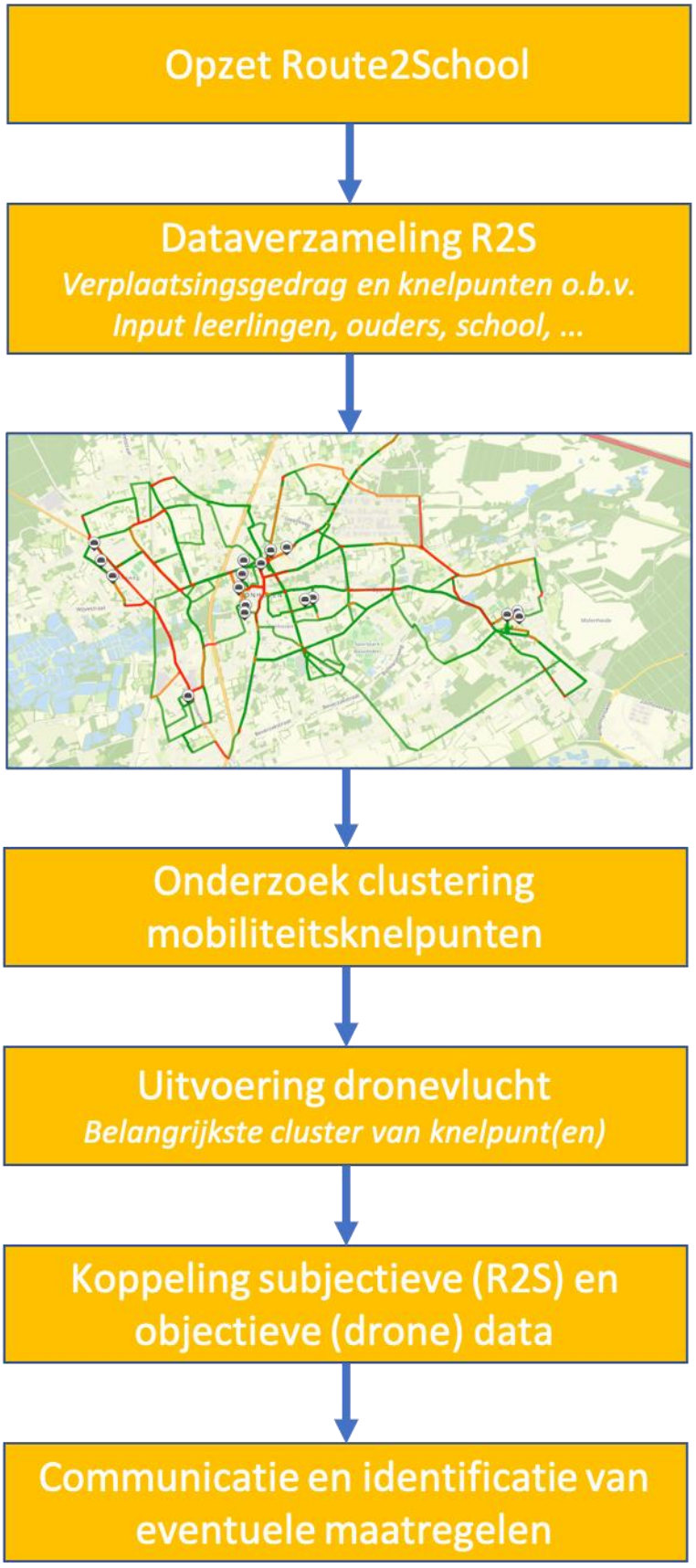
10.2 Route2School

Route2School (R2S) brengt door middel van een participatieve werking tussen scholen, leerlingen en ouders van leerlingen schoolroutes en verkeersonveilige knelpunten op deze schoolroutes in kaart. Hierbij staat de subjectieve veiligheid centraal. Een groot nadeel van deze methodiek is het gebrek aan informatie met betrekking tot de objectieve veiligheid. Het zijn echter vaak enkel de objectieve verkeersveiligheidscijfers die stakeholders kunnen aanzetten tot het ondernemen van actie met behulp van verkeersveiligheidsmaatregelen. Verder is het ook een relatief intensief proces waarbij een actieve medewerking van leerlingen en ouders vereist is. Met dit onderzoek is getracht de haalbaarheid van dronetechnologie voor verkeersonderzoek te onderzoeken om deze hiaten, o.a. het gebrek aan objectieve data, in te vullen.

Dronetechnologie blijkt tot op vandaag een relatief complexe methode om toegepast te worden in een project zoals R2S. Dit valt toe te schrijven aan verschillende factoren, gaande van de organisatie van het onderzoek tot de accuraatheid van de analyses. Beginnend bij de organisatie van de dronevluchten kan geconcludeerd worden dat dit een tijdsintensief proces is door de combinatie van zowel een praktische organisatie (verloop dronevlucht, plaatsing drone, etc.) en een juridische organisatie (aanvraag vergunning o.b.v. SORA, UAS-zones, etc.). De meerderheid van deze organisatorische handelingen zijn tot op heden niet gestandaardiseerd. Hierdoor wordt een brede uitrol binnen R2S momenteel beperkt, aangezien er voor elke dronevlucht een plaatsspecifieke voorbereiding vereist is. Een tweede beperking stelt zich bij de duurtijd van dataverzamelingen, bepalend voor de representativiteit van het onderzoek. Dronevluchten zijn over het algemeen beperkt in tijd door de afhankelijkheid van een batterij. Huidige technologieën, bv. een bekabelde drone, lossen deze problemen gedeeltelijk op, al blijft de duurtijd van dataverzameling vaak beperkt tot een of enkele uren. Gezien de minimale duurtijd voor een representatieve dataverzameling blijkt dit nog veel te kort voor enkele parameters (bv. verkeerstellingen). Een derde beperking valt toe te schrijven aan de analyses van de dronebeelden. Doorheen dit onderzoek is gebleken dat de accuraatheid van de analyses, door middel van DataFromSky, matig tot slecht is, zeker voor parameters met betrekking tot zwakke weggebruikers. Aangezien deze zwakke weggebruikers het zwaartepunt vormen van R2S kan dit gezien worden als een grote beperking. Dit vertaalt zich onder andere in een ontbrekende of een onjuiste detectie van de zwakke weggebruikers en hun bijhorende trajectoriën (de basis van de analyses), een gebrek in de mogelijkheid om de modal split te bepalen, incorrecte resultaten, etc. Tot slot wordt de haalbaarheid van drone-onderzoek binnen R2S ook nog beperkt door een hoge kostprijs van de onderzoekstechniek ten opzichte van andere onderzoekstechnieken.

Toch heeft het onderzoek aangetoond dat drone-onderzoek wel een groot potentieel heeft om toegepast te worden binnen R2S. Daar waar andere

onderzoekstechnieken ingezet kunnen worden voor de extractie van slechts een of enkele parameters, kan er met een enkele dronevlucht een hele reeks aan parameters onderzocht worden. Hierdoor kunnen subjectieve knelpunten worden afgetoetst ten opzichte van een reeks van objectieve parameters. Een ander groot voordeel is de kracht van een visuele weergave van mogelijk knelpunten. Richting de school, de leerlingen, de ouders, de gemeente, het Agentschap Wegen en Verkeer, etc. kunnen deze visuele weergaves gebruikt worden als een helder en begrijpelijk communicatiemiddel om zo de noodzaak van maatregelen te staven. Ook zijn er mogelijkheden om de dronebeelden te integreren binnen R2S Educatie. Zo kunnen de kennis en de vaardigheden van de leerlingen worden verbeterd aan de hand van beelden van verkeerssituaties in hun eigen omgeving. Op voorwaarde dat de huidige beperkingen worden verholpen, specifiek de accuraatheid van de analyses voor zwakke weggebruikers, betreft dronetechnologie een interessante onderzoekstechniek om toegepast te worden binnen R2S. Idealiter kan er voor de implementatie gewerkt worden met een gelaagde aanpak (zie Figuur 133). Deze gelaagde aanpak start in de eerste fase met een participatieve identificatie van de schoolroutes en de eventuele mobiliteitsknelpunten op deze routes. Dit resulteert in een schoolroutekaart met knelpunten. In de huidige aanpak van R2S worden vervolgens de resultaten geanalyseerd en besproken en worden eventuele oplossingen voorgesteld. Met de implementatie van drones binnen R2S worden enkele stappen toegevoegd aan dit proces. Op basis van dit onderzoek is gebleken dat het niet essentieel is om elke schoolomgeving, los van het aantal knelpunten, te analyseren met dronebeelden. Dit heeft een te hoge kostprijs en is zeer tijdsintensief. Er wordt dus idealiter eerst gezocht naar een clustering van knelpunten om de doeltreffendheid van een bijkomend drone-onderzoek te waarborgen. Voor deze clustering vormen de meldingen van o.a. de ouders en leerlingen uit de voorgaande stap de basis. Eens de belangrijkste cluster(s) van meldingen is bepaald, kan een dronevlucht boven deze locatie worden uitgevoerd. Vervolgens worden de beelden geanalyseerd en worden de belangrijkste resultaten afgewogen ten opzichte van de subjectieve meldingen. Dit maakt het mogelijk om subjectieve meldingen te staven of te ontkrachten met objectieve data. Tot slot worden op basis van deze inzichten conclusies getrokken en kunnen eventuele maatregelen worden voorgesteld aan de belangrijke stakeholders.



Figuur 133: Implementatie drone-onderzoek binnen R2S (Eigen werk, 2021)

11 Aanbevelingen

Naar toekomstig onderzoek kunnen enkele aanbevelingen het gebruik van dronetechnologie faciliteren. Allereerst is het belangrijk om een duidelijk onderzoeksgebied af te bakenen. Daarbij dient worden nagedacht wat er effectief moet worden geanalyseerd. Om een hoge accuraatheid te garanderen moet het onderzoeksgebied centraal in de videobeelden gelokaliseerd zijn.

Ten tweede is het belangrijk om het doel van het onderzoek te definiëren. De meeste onderzoekstechnieken zijn vrij specifiek en kunnen sommige verkeersituaties beter in kaart brengen dan andere technieken. De keuze voor de gepaste onderzoekstechniek moet worden afgestemd op de prioriteiten van het onderzoek en de onderzoeker.

Specifiek voor dit onderzoek kan het handig zijn om op voorhand de knelpunten in kaart brengen. Hierdoor wordt het mogelijk om hier specifiek op te focussen tijdens de dronevlucht.

Voor de implementatie van dronebeelden in Route2School Educatie dient nog verder onderzoek verricht te worden. In dit onderzoek dient men zeker na te gaan wat de beperkingen zijn van de privacy- en dronewetgeving. Ook technische en praktische aspecten zoals de vlieghoogte en type drone moeten onderzocht worden. Tot slot moet er ook rekening gehouden worden met de kwaliteit van de beelden. De beelden moeten voldoende scherp zijn maar de bestanden mogen niet te groot zijn.

Bibliografie

Literatuur

Ābele, L., Haustein, S., & Møller, M. (2018). Young drivers' perception of adult and child pedestrians in potential streetcrossing situations. *Accident Analysis and Prevention 118*, 263-268.

ADHETEC. (2015). Offerte camera observatie-onderzoek. Nijmegen.

Adnan, M. A., Sulaiman, N., Zainuddin, N. I., & Besar, T. B. (2013). Vehicle Speed Measurement Technique Using Various Speed Detection Instrumentation. *2013 IEEE Business Engineering and Industrial Applications Colloquium (BEIAC)* (pp. 641-645). IEEE.

Agentschap Wegen en Verkeer. (2003). *Vademecum Voetgangersvoorzieningen .* Brussel: AWV.

Agentschap Wegen en Verkeer. (2009). *Vademecum Veilige Wegen en Kruispunten.* Brussel: Agentschap Wegen en Verkeer.

Agentschap Wegen en Verkeer. (2019). *Criteria voor de aanleg van een gevleugelde voetgangersoversteek t.h.v. schoolomgevingen - Ontwerprichtlijn.* Agentschap Wegen en Verkeer.

Aghabayk, K., Esmailpour, J., Jafari, A., & Shiwakoti, N. (2021). Observational-based study to explore pedestrian crossing behaviors at signalized and unsignalized crosswalks. *Accident Analysis and Prevention 151*.

Ahmed, A., Outay, F., Zaidi, S. O., Adnan, M., & Ngoduy, D. (2020). Examining queue-jumping phenomenon in heterogeneous traffic stream at signalized intersection using UAV-based data. *Personal and Ubiquitous Computing*.

Ahmed, B. (2012). The Traditional Four Steps Transportation Modeling Using Simplified Transport Netwerk: A Case Study of Dhaka City, Bangladesh. *IJASETR 1(1)*.

Alders, Y. (2020, december 11). Drone-onderzoek Heusden-Zolder. (A. Renard, C. Lubon, & J. Bottu, Interviewers)

Al-Fadhli, J., Ashkanani, M., Yousef, A., Damaj, I., & El-Shafei, M. (2014). RECON: A REmotely CONtrolled Drone for Roads. *International Conference on Connected Vehicles and Expo*, (pp. 912-918).

Allamehzadeh, A., Aminian, M. S., Mostaed, M., & Olaverri-Monreal, C. (2018). Automatic Vehicle Counting Approach Through Computer Vision for Traffic Management. *Computer Aided Systems Theory – EUROCAST 2017. Lecture Notes in Computer Science* (pp. 405-412). Springer.

Allen, B. L., Shin, T. B., & Cooper, P. J. (1978). ANALYSIS OF TRAFFIC CONFLICTS AND COLLISIONS. *Transportation Research Record (667)*, 67-74.

Alonso, F., Esteban, C., Useche, S., & Manso, V. (2016). Determinants and Stakeholders Influencing Children's Road Safety Education. *International Journal of Elementary Education*, 63-68.

Alvarez, M. R., & VanBeselaere, C. (2005). Web-Based Survey. In *Encyclopedia of Social Measurement (3)* (pp. 955-962). Texas: Elsevier.

Archer, J. (2005). *Indicators for traffic safety assessment and prediction and their application in micro-simulation modelling: A study of urban and suburban intersections.* Stockholm, Zweden: Department of Infrastructure.

Assaily, J. (2017). Road safety education: What works? *Patient Education and Counseling*, 21-29.

Baguley, C. (1984). *The British traffic conflicts technique.* Copenhagen: NATO.

Barmpounakis, E. N., Vlahogianni, E. I., Golias, J. C., & Babinec, A. (2019). How accurate are small drones for measuring microscopic traffic parameters? *The International Journal of Transportation Research 11, 6*, 332-340.

Barmpounakis, E., & Geroliminis, N. (2020). On the new era of urban traffic monitoring with massive drone data: The pNEUMA large-scale field experiment. *Transportation Research Part C*, 50-71.

Bartsch, A., Rasshofer, R. H., & Fitzek, F. (2012). Pedestrian recognition using automotive radar sensors. *Advances in Radio Science 10*, 45-55.

Beitel, D., Stipancic, J., Manaugh, K., & Miranda-Moreno, L. (2018). Assessing safety of shared space using cyclist-pedestrian interactions and automated video conflict analysis. *Transportation Research Part D 65*, 710-724.

Bella, F., & Russo, R. (2011). A Collision Warning System for rear-end collision: a driving simulator study. *Procedia - Social and Behavioral Sciences 20*, 676-686.

Bird, F. (1966). *Damage control.* Philadelphia: Insurance Company of North America.

BIVV. (2008). *Een Kiss and Ride-strook in de schoolomgeving.* Brussel: BIVV.

BIVV. (2015). *Analyse van verkeersongevallen met kinderen in de buurt van basisscholen.* BIVV.

Bowie, N., & Waltz, M. (1994). Data-Analysis of the Speed Related Crash Issue. *Automotive and Traffic Safety, 2*, 31-38.

Briem, V., & Bengtsson, H. (2000). Cognition and character traits as determinants of young chidren's behaviour in traffic situations. *International journal of behavioral development 24, 4*, 492-505.

Brosnan, M., Petesch, M., Pieper, J., & Schumacher, S. (2015). Validation of Bicycle Counts from Pneumatic Tube Counters in Mixed Traffic Flows. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board 2527(2527)*, 80-89.

Brown, T., Lee, J., & McGehee, D. (2001). Human performance models and rear-end collision avoidance algorithms. *Hum. Factors, 43 (3)*, 462-482.

Brussel Mobiliteit. (2021, April 10). *Schoolvervoerlpan (SVP)*. Opgehaald van Brussel Mobiliteit: https://mobilite-mobiliteit.brussels/nl/school/schoolvervoerplan-svp

Buylaert, W., Micheels, J., Jonckers, M., Stuckens, D., & Suykens, S. (1999). *Handboek voor de HULPVERLENER-AMBULANCIER.* Brussel: Ministerie van Sociale Zaken, Volksgezondheid en Leefmilieu.

BVDH. (2016, september 8). AWV niet te vinden voor verbetering van ovonde. *Het Laatste Nieuws*. Opgehaald van Het Laatste Nieuws:

https://www.hln.be/zonhoven/awv-niet-te-vinden-voor-verbetering-van-ovonde~a8dcb9f0/

Canters, R. (2005). *Kinderparticipatie aan lokale mobiliteitsprojecten: (hoe) kan dat?* Leuven: Mobiel 21.

Cao, X., Lan, J., Yan, P., & Li, X. (2012). Vehicle detection and tracking in airborne videos by multi-motion layer analysis. *Machine Vision and Applications 23*, 921-935.

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

Chen, P., Zeng, W., Yu, G., & Wang, Y. (2017). Surrogate Safety Analysis of Pedestrian-Vehicle Conflict at Intersections Using Unmanned Aerial Vehicle Videos. *Journal of Advanced Transportation*.

Cheng, Y., Qin, X., Jin, J., & Ran, B. (2010). An Exploratory Shockwave Approach for 2 Signalized Intersection Performance Measurements 3 Using Probe Trajectories. *In Proceedings of the Transportation Research Board 89th Annual Meeting*, (pp. 1-23). DC, USA.

Cingel, M., Čelko, J., & Drličiak, M. (2019). Analysis in modal split. *13th International Scientific Conference on Sustainable, Modern and Safe Transport* (pp. 178-185). Slovak Republic: Transportation Research Procedia 40.

Cocu, X. (2019a). *Verkeersanalyse met dopplerradar.* Brussel: Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw.

Cocu, X. (2019b). *Verkeersanalyse met pneumatische telslangen.* Brussel: Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw.

Colonna, P., Guaragnella, C., Ranieri, V., & Fonzone, A. (2007). Use of radar devices in road traffic surveys. *4th International SIIV Congress*.

Connection Systems. (2015). Offerte Traffic Safety. Venhuizen, Nederland.

Connelly, M., Conaglen, H., Parsonson, B., & Isler, R. (1998). Child pedestrians' crossing gap thresholds. *Accident Analysis & Prevention 30, 4*, 443-453.

Ćorović, A., Ilić, V., Đurić, S., Marijan, M., & Pavković, B. (2018). The Real-Time Detection of Traffic Participants Using YOLO Algorithm. *26th Telecommunications forum TELFOR .* Serbia, Belgrade: IEEE.

COWI. (2020, October 30). *Data From Sky.* Opgehaald van Data From Sky: https://datafromsky.com/tag/cowi/

CROW. (2010). *Leidraad fietsparkeren.* Ede: CROW.

Culus, J., Schellekens, Y., & Smeets, Y. (2018). *A drone's eye view.* PwC Belgium; Agoria vzw.

Czech and Slovak Intelligent Transport Systems & Services. (2010). *UAV Road Surface Monitoring and Traffic Information.*

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

DataFromSky. (2019). *Data From Sky Viewer User Guide.* Brno: RCE systems s.r.o.

DataFromSky. (2021). *How much do I pay for DataFromSky TrafficSurvey?* Opgehaald van DataFromSky: https://intercom.help/datafromsky/en/articles/3450379-how-much-do-i-pay-for-datafromsky-trafficsurvey

DataFromSky. (2021). *How to set gates to count objects in your video?* Opgehaald van DataFromSky: https://intercom.help/datafromsky/en/articles/3450634-how-to-set-gates-to-count-objects-in-your-video

DataFromSky. (2021). *How to work with safety analysis in the DataFromSky TrafficSurvey Viewer?* Opgehaald van DataFromSky: https://intercom.help/datafromsky/en/articles/3457471-how-to-work-with-safety-analysis-in-the-datafromsky-trafficsurvey-viewer

DataFromSky. (2021). *Traffic Survey*. Opgehaald van DataFromSky: https://datafromsky.com/trafficsurvey/

De Ceunynck, T., Pelssers, B., & Daniels, S. (2020). *Gevleugelde oversteekplaatsen op 2x2 wegen – Evaluatiestudie aan de hand van gedrags- en conflictobservatie.* Brussel: Vias institute – Kenniscentrum Verkeersveiligheid.

de la Escalera, A., & Armingol, J. (2010). Automatic Chessboard Detection for Intrinsic and Extrinsic Camera Parameter Calibration . *Sensors 10*, 2027-2044.

De Lijn. (2021, Mei 12). *De Lijn*. Opgehaald van Netplannen Limburg: https://static.delijn.be/Images/Netplan_Limburg_A0_v20181001_web_tcm3-20553.pdf?_gl=1*3m1mbm*_ga*MTEwMDU1ODk1OS4xNjIyODI1MjIw*_ga_2YM2JKZPX9*MTYyMjgyNTIyNC4xLjAuMTYyMjgyNTIyNC4w

De Lijn. (2021, Mei 12). *Plaats rijbaankussens als snelheidsremmer*. Opgehaald van De Lijn: https://www.delijn.be/nl/zakelijk-aanbod/steden-gemeenten/zeven-pijlers/doorstroming/rijbaankussens.html

De Mol, J., Lauwers, D., De Baets, K., & Allaert, G. (2012). *Homogeniseren van snelheidszones.*

De Roo, R., De Pauw, E., & Hardyns, W. (2017). *Drones in 101 vragen en antworoden. Praktische pocket.* die Keure.

De Schepper, T. (2020, November 26). *Welke regels gelden voor de verwerking van ANPR-data?* Opgehaald van Politeia: https://politeia.be/nl/artikels/252507-welke+regels+gelden+voor+de+verwerking+van+anpr-data%3F

De Sousa, R., Boukerche, A., & Loureiro, A. (2020). Vehicle Trajectory Similarity: Models, Methods, and Applications. *ACM Comput. Surv. 53 (5)*, 1-31.

De Wit, B., Loman, K., Faithfull, K., & Hinckson, E. A. (2012). Reliability and Validity of the Hands-Up Survey in Assessing Commuting to School in New Zealand Elementary School Children. *Health Promotion Practice 13 (3)*, 349-354.

Delhomme, P., De Dobbeleer, W., Forward, S., & Simões, A. (2009). *Manual for designing, implementing and evaluating road safety communication campaigns: part I.* Institut Belge pour la Sécurité Routière.

Departement Mobiliteit en Openbare Werken. (2008). *Vademecum Duurzaam Parkeerbeleid.* Brussel: Departement Mobiliteit en Openbare Werken.

Departement Mobiliteit en Openbare Werken. (2009). *Ideeënboek - Voetgangersvoorzieningen in centrumgebieden.* Departement Mobiliteit en Openbare Werken.

Departement Mobiliteit en Openbare Werken. (2021, April 10). *Stappenplan voor de opmaak van een schoolvervoerplan*. Opgehaald van Mobiel Vlaanderen: https://www.mobielvlaanderen.be/overheden/artikel.php?id=1377

Departement MOW. (2005). Schoolvervoerplannen. *Mobiliteitsbrief 65 - Schoolomgevingen*.

Dewar, R. (2002). Pedestrians and cyclists. In A. Smiley, *Human Factors in Traffic Safety.* Tucson, Arizona: Lawyers & Judges Publishing Company.

D'Haese, S., De Meester, F., De Bourdeaudhuij, I., Deforche, B., & Cardon, G. (2011). Criterion distances and environmental correlates of active commuting to school in children. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 1-10.

Dhondt, S., Loos, E., & Dergent, S. (2018). *Effectevaluatie Helm Op Fluo Top.* Mechelen: Vlaamse Stichting Verkeerskunde.

DJI. (sd). *Zenmuse X3 Specs*. Opgehaald van DJI: https://www.dji.com/be/zenmuse-x3/info#specs

Droneguide. (2021, Januari 17). *Droneguide*. Opgehaald van Droneguide: https://map.droneguide.be/

DroneMatrix. (2017). *DroneMatrix obtains a European homologation for its autonomous drone TYTHUS*. Opgehaald van DroneMatrix: dronematrix.eu/dronematrix-obtains-a-european-homologation-for-its-autonomous-drone-tythus/

DroneRules PRO. (sd). DATA PROTECTION IMPACT ASSESSMENT TEMPLATE: A DroneRuels.eu PRO resource for drone operators and pilots.

Du, Y., Zhao, C., Li, F., & Yang, X. (2017). An Open Data Platform for Traffic Parameters Measurement via Multirotor Unmanned Aerial Vehicles Video. *Journal of Advanced Transportation*, 1-12.

Duivenvoorden, K. (2010). *The relationship between traffic volume and road safety on the secondary road network .* Nederland: SWOV Institute for Road Safety Research.

Dumbaugh, E., & Frank, L. (2009). Traffic Safety and Safe Routes to Schools - Synthesizing the Empirical Evidence. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 89-97.

Dwarampudi, D. S., & Kkakumanu, V. S. (2013). Efficiency of a LIDAR Speed Gun. *International Journal of Electrical, Electronics and Data Communication 1(9)*, 27-31.

EASA. (2015). *Concept of operation for Drones, "A risk based approach to regulation of unmanned aircraft".*

EASA. (2020, November 15). *Easy Access Rules for Unmanned Aircraft.* Opgehaald van EASA: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Easy%20Access%20Rules%20for%20Unmanned%20Aircraft%20Systems%20November%202020.pdf

Eby, D. W. (2011). Naturalistic Observational Field Techniques for Traffic Psychology Research. In B. E. Porter, *Handbook of Traffic Psychology* (pp. 61-72). San Diego: Academic Press.

El-Basyouny, K., & Sayed, T. (2013). Safety performance functions using traffic conflicts. *Safety Science 51 (1)*, 160-164.

Elliott, M., & Baughan, C. (2004). Developing a self-report method for investigating adolescent road user behaviour. *Transportation Research Part F, 7*, 373-393.

Ellison, A., Greaves, S., & Daniels, R. (2013). Capturing Speeding Behaviour in School Zones Using GPS Technology. *Road and Transport Research* , 30-42.

Elvik, R. (2009). *The Power Model of the relationship between speed and road safety.* Oslo: Insitute of Transport Economics .

Elvik, R., & Mysen, A. (1999). Incomplete Accident Reporting: Meta-Analysis of Studies Made in 13 Countries. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1665*, 133-140.

Elvik, R., Hoye, A., Vaa, T., & Sorensen, M. (2009). In R. Elvik, A. Hoye, T. Vaa, & M. Sorensen, *The Handbook of Road Safety Measures.* Bingley: Emerald.

Engberts, B., & Gillissen, E. (2016). Policing from Above: Drone Use by the Police. In S. Van der Hof, *The Future of Drone Use* (pp. 93-113). Den Haag: T.M.C. Asser Press.

Engeset, M. P., & Keitheile, O. B. (2004). *Traffic Data Collection and Analysis.* Botswana: Ministry of Works and Transport: Road Department.

ETSC. (2018). *Reducing child deaths on European roads.* Brussels: ETSC.

ETSC. (2020). *Ranking EU progress on road safety.* Brussels, Belgium: European Transport Safety Council.

EUKA. (2019, Juni 26). *De nieuwe Europese drone wetgeving: wat komt er midden volgend jaar op ons af?* Opgehaald van EUKA: https://euka.org/de-nieuwe-europese-drone-wetgeving-wat-komt-er-midden-volgend-jaar-op-ons-af/?fbclid=IwAR1pkFMTL9x2IKl3IQgxFoP5Ro4cBBwkj-TUmgvmo_WYhXbTjH8SXeOuUU4

European Commission. (2018). *Traffic Safety Basic Facts on Pedestrians.* Brussels: European Commission.

European Commission. (2021). *Modal Split*. Opgehaald van European Commission: Mobility and Transport: https://ec.europa.eu/transport/themes/modal-split_en

European Data Protection Supervisor. (sd). *Data Protection Officer (DPO)*. Opgehaald van European Data Protection Supervisor: https://edps.europa.eu/data-protection/data-protection/reference-library/data-protection-officer-dpo_en

Europese Commissie. (sd). *Mogen de persoonsgegevens van kinderen worden verzameld?* Opgehaald van Europese Commissie: https://ec.europa.eu/info/law/law-topic/data-protection/reform/rights-citizens/how-my-personal-data-protected/can-personal-data-about-children-be-collected_nl

Fitzpatrick, C., Knodler, M., Ryan, A., Ai, C., & Chen, D. (2019). *The Application of Unmanned Aerial Systems In Surface Transportation - Volume II- C: Evaluation of UAS Highway Speed-Sensing Application.* Boston: Massachusetts Department of Transportation.

Fitzpatrick, K., Brewer, M., Obeng-Boampong, K., Park, E. S., & Trout, N. (2009). *Speed in school zones.* Texas: National Technical Information Service (NTIS).

FOD Mobiliteit. (2020, Juli 14). *FAQ Europese wetgeving vanaf 31/12/2020*. Opgehaald van FOD Mobiliteit: https://mobilit.belgium.be/nl/luchtvaart/drones/europese_regelgeving_van_toepassing_vanaf_31122020/faq_eu_wetgeving_drones#B.%20Categorie%20Open:%20Hoe%20dronevluchten%20in%20de%20categorie%20Open%20uitvoeren?

FOD Mobiliteit. (2021, Januari 26). *Ik heb een drone. Wat nu?* Opgehaald van FOD Mobiliteit: https://mobilit.belgium.be/nl/luchtvaart/drones/oude_regelgeving/ik_heb_een_drone_wat_nu

FOD Mobiliteit. (2021, januari 26). *Nieuwe regelgeving drones: tijdlijn.* Opgehaald van FOD Mobiliteit: https://mobilit.belgium.be/sites/default/files/resources/files/tableau_lignes_verticale_nl.jpg

Forbes, T., & Simpson, M. E. (1968). Driver-and-Vehicle Response in Freeway Deceleration Waves. *Transportation Science 2(1)*, 77-104.

Freedman, M., De Leonardis, D., Raisman, G., Inyoswan, D., Davis, A., Levi, S., . . . Bergeron, E. (2006). *Demonstration of Automated Speed Enforcement in School Zones in Portland, Oregon.* Washington: U.S. Department of Transportation.

Geerts, B. (2015). *Traffic safety around primary schools.* Delft: Faculty Civil Engineering and Geosciences TU Delft.

Gegevensbeschermingsautoriteit. (2021). *Bewakingscamera's*. Opgehaald van Gegevensbeschermingsautoriteit: https://www.gegevensbeschermingsautoriteit.be/burger/thema-s/camera-s-en-uw-privacy/bewakingscamera-s

Gegevensbeschermingsautoriteit. (2021). *Gegevensbeschermingsautoriteit*. Opgehaald van Gegevensbeschermingsautoriteit: https://www.gegevensbeschermingsautoriteit.be/burger

Gegevensbeschermingsautoriteit. (2021). *Lexicon*. Opgehaald van Gegevensbeschermingsautoriteit: https://www.gegevensbeschermingsautoriteit.be/burger/privacy/lexicon#:~:text=betekent%20het%20precies%3F-

,Persoonsgegevens,van%20een%20kruising%20van%20gegevens.&text=een%20nummerplaat)%20is%20een%20persoonsgegeven.
Gegevensbeschermingsautoriteit. (2021). *Onderzoek*. Opgehaald van Gegevensbeschermingsautoriteit: https://www.gegevensbeschermingsautoriteit.be/professioneel/thema-s/onderzoek
Gemeente Zonhoven. (2020). *Mobiliteitsplan: Snelheidszonering*. Opgehaald van Gemeente Zonhoven: https://www.zonhoven.be/mobiliteitsplan
Ghadage, S. S., & Khedkar, S. R. (2020). Automatic Number Plate Recognition System Using Deep Learning Techniques. *International Research Journal of Engineering and Technology 7(7)*, 635-641.
Giles-Corti, B., Wood, G., Pikora, T., Learnihan, V., Bulsara, M., Van Niel, K., . . . Villanueva, K. (2011). School site and the potential to walk to school: The impact of stree tconnectivity and traffic exposure in school neighborhoods. *Health & Place 17*, 545-550.
Gnanaprakash, V., Kanthimathi, N., & Saranya, N. (2021). Automatic number plate recognition using deep learning. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1084.* IOP Publishing.
Grayson, G., Hydén, C., Kraay, J., Muhlrad, N., & Oppe, S. (1984). *The Malmö Study: A calibration of traffic conflict techniques.* Leidschedam: Institute for Road Safety Research.
Grech, M. R., Horberry, T. J., & Koester, T. (2019). *Human Factors in the Maritime Domain.* CRC Press.
Gu, X., Abdel-Aty, M., Xiang, Q., Cai, Q., & Yuan, J. (2019). Utilizing UAV video data for in-depth analysis of drivers' crash risk at T interchange merging areas. *Accident Analysis and Prevention (123)*, 159-169.
Guido, G., Gallelli, V., Rogano, D., & Vitale, A. (2016). Evaluating the accuracy of vehicle tracking data obtained from Unmanned Aerial Vehicles. *Internation Journal of Transportation Science and Technology*, 136-151.
Guo, R.-j., Wang, X.-j., & Wang, W.-x. (2014). Estimation of Critical Gap Based on Raff's Definition. *Computational Intelligence and Neuroscience : CIN*.
Guy, B. P., & Fricker, J. D. (2005). *Guidelins for data collection techniques and methods for roadside station origin-destination studies.* West Lafayette, Indiana: Purdue Univsersity.
Hamed, M. (2001). Analysis of pedestrians' behavior at pedestrian crossings. *Saf. Sci. 38*, 63-82.
Hayward, J. (1972). *Near miss determination through use of a scale of danger. Report No. TTSC.* Pennsylvania, USA: Pennsylvania State University.
Heinrich, H. (1931). *Industrial accident prevention; a scientific approach.* New York: McGraw-Hill.
Heusden-Zolder. (2021, maart 1). *Veilige schoolomgeving in Eversel*. Opgehaald van Heusden-Zolder: https://www.heusden-zolder.be/veilige-schoolomgeving-in-eversel

Hiroux, D., & Goedgebeur, H. (2020, december 10). Privacycommissie onderzoekt inzet van drones tijdens eindejaarsperiode: wat mag de politie en wat mag ze niet? *VRT NWS*.

Hirst, S., & Graham, R. (1997). The format and perception of collision warnings. *Ergonomics and Safety of Intelligent Driver Interfaces*, 203-219.

Hoeben, E., Steenbeek, W., & Pauwels, L. (2018). Measuring Disorder: Observer Bias in Systematic Social Observations at Streets and Neighborhoods. *Journal of Quantitative Criminology 34*, 221-249.

Hogema, H., & Janssen, W. (1996). *Effects of intelligent cruise control on driving behaviour.* Soesterberg: TNO Human Factors.

Høye, A. (2018). Bicycle helmets – To wear or not to wear? A meta-analyses of the effects of bicycle helmets on injuries. *Accident Analysis and Prevention 117*, 85-97.

Hulsman, D. J., & Hengeveld, J. (2014). *Opmaak van een methode voor fietstellingen in de provincie Antwerpen.* Antwerpen: Provincie Antwerpen.

Hupfer, C. (1997). Deceleration to safety time (DST)—A useful figure to evaluate traffic safety. *ICTCT conference proceedings of seminar 3* (pp. 1-6). Lund: Deptartment of Traffic Planning and Engineering.

Hurwitz, D., Olsen, M., & Barlow, Z. (2018). *Driving Distraction Due to Drones.*

Hydén, C. (1987). *The Development of a Method for Traffic Safety Evaluation: The Swedish Traffic Conflicts Technique. Bulletin 70.* Sweden, Lund: Dept. of Traffic Planning and Engineering, Lund University.

Hydén, C. (1996). Traffic conflicts technique: state-of-the-art. Traffic safety work with video processing. *Traffic Safety Work with Video Processing (37)*, 3-14.

Hydén, C., & Várhelyi, A. (2000). The effects on safety, time consumption and environment of large scale use of roundabouts in an urban area: a case study. *Accident Analysis & Prevention 32(1)*, 11-23.

InnoConnect. (2020). *Verkeersongevallen in Vlaanderen*. Opgehaald van Saferoads Vlaanderen: https://saferoads.vlaanderen/

Ismail, K., Sayed, T., & Saunier, N. (2011). Methodologies for aggregating indicators of traffic conflict. *Transportation Research Record*, 10-19.

Ismail, K., Sayed, T., Saunier, N., & Lim, C. (2009). Automated analysis of pedestrian-vehicle conflicts using video data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2140*, 44-54.

Jacob, B., & Violette, E. (2012). Vehicle Trajectory Analysis: An Advanced Tool for Road Safety. *Procedia - Social and Behavioral Sciences 48*, 1805-1814.

Jadoul, M. (2008). *Een Kiss and Ride-strook in de schoolomgeving.* BIVV.

Jager, M., Nyffeler, T., Muri, R., Mosimann, U., & Nef, T. (2015). Adapting a driving simulator to study pedestrians' street-crossing decisions: a feasibility study. *Assistive Technology 27*, 1-8.

Janssens, D., Paul, R., & Wets, G. (2020). *Onderzoek Verplaatsingsgedrag Vlaanderen 5.5 (2019-2020).* Diepenbeek: Instituur voor Mobiliteit.

Javadi, S., Dahl, M., & Petterssoj, M. I. (2019). Vehicle speed measurement model for video-based systems. *Computers and Electrical Engineering 76*, 238-248.

Johnsson, C., Laureshyn, A., & De Ceunynck, T. (2018). In search of surrogate safety indicators for vulnerable road users: a review of surrogate safety indicators. *Transport Reviews 38*, 765-785.

Jørgensen, H. (2017). *Automatic License Plate Recognition using Deep Learning Techniques.* Noorwegen: Norwegian University of Science and Technology: Department of Computer Science.

Kaparias, I., Bell, M., Greensted, J., Cheng, S., Miri, A., Taylor, C., & Mount, B. (2010). Development and implementation of a vehicle-pedestrian conflict analysis method: Adaptation of a vehicle-vehicle technique. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2198*, 75-82.

Kassim, A., Ismail, K., & Hassan, Y. (2014). Automated measuring of cyclist–motor vehicle post encroachment time at signalized intersections. *Can. J. Civ. Eng, 41 (7)*, 605-614.

Kaufmann, S., Kerner, B., Rehborn, H., & Koller, M. (2018). Aerial observations of moving synchronized flow patterns in over-saturated city traffic. *Transportation Research Part C*, 393-406.

Ke, R., Li, Z., Kim, S., Ash, J., Cui, Z., & Wang, Y. (2017). Real-Time Bidirectionale Traffic Flow Paramater Estimation From Aerial Videos. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, 890-901.

Khan, M. A., Ectors, W., Bellemans, T., Janssens, D., & Wets, G. (2017). Unmanned Aerial Vehicle–Based Traffic Analysis: Methodological Framework for Automated Multivehicle Trajectory Extraction. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board (2626)*, 25-33.

Khan, M. A., Ectors, W., Bellemans, T., Janssens, D., & Wets, G. (2018). Unmanned Aerial Vehicle-Based Traffic Analysis: A Case Study for Shockwave Identification and Flow Parameters Estimation at Signalized Intersections. *Remote Sensing 10 (3)*, 458.

Khan, M. A., Ectors, W., Bellemans, T., Ruichek, Y., Yasar, A.-u.-H., Janssens, D., & Wets, G. (2018). Unmanned Aerial Vehicle-based Traffic Analysis: A Case Study to Analyze Traffic Streams at Urban Roundabouts Analyze Traffic Streams at Urban Roundabouts. *Procedia Computer Science*, 636-643.

Kim, D. (2020). Pedestrian and bicycle volume data collection using drone technology. *Journal of Urban Technology 27, 2*, 45-60.

Kim, E.-J., Park, H.-C., Ham, S.-W., Kho, S.-Y., & Kim, D.-K. (2019). Extracting Vehicle Trajectories Using Unmanned Aerial Vehicles in Congested Traffic Conditions. *Journal of Advanced Transportation*, 1-16.

Kim, J., Ulfarsson, G., Shankar, V., & Mannering, F. (2010). A note on modelingpedestrian-injury severity in motor-vehicle crashes with the mixed logit model. *Accident Analysis and Prevention 42*, 1751-1758.

Klauer, S., Dingus, T., Neale, V., Sudweeks, J., & Ramsey, D. (2006). *The Impact of Driver Inattention on Near-Crash/Crash Risk: An Analysis Using the 100-Car Naturalistic Driving Study Data.*

Kocamaz, M. K., Gong, J., & Pires, B. R. (2016). Vision-based counting of pedestrians and cyclists. *2016 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV).* New York: IEEE.

Kochhar, P. (2019). *Pedestrian Detection in Aerial Images Using RetinaNet*. Opgehaald van KD Nuggets: https://www.kdnuggets.com/2019/03/pedestrian-detection-aerial-images-retinanet.html

Kong, C., & Yang, J. (2010). Logistic regression analysis of pedestrian casualty risk in pas-senger vehicle collisions in China. *Accident Analysis and Prevention 42*, 987-993.

Kraay, J., & Van der Horst, A. (1985). *The trautenfels study: A diagnosis of road safety using the dutch conflict observation technique DOCTOR.* Leidschendam, The Netherlands: Institute for Road Safety Research SWOV.

Kraay, J., van der Horst, A., & Oppe, S. (2013). Manual conflict observation technique DOCTOR. *Foundation Road Safety for All*.

Krishnakumari, P., van Lint, H., Djukic, T., & Cats, O. (2020). A data driven method for OD matrix estimation. *Transportation Research Part C 113*, 38-56.

Kröyer, H., Johnsson, T., & Várhelyi, A. (2014). Relative fatality risk curve to describe the effect of change in the impact speed on fatality risk of pedestrians struck by a motor vehicle. *Accident Analysis and Prevention, 62*, 143-152.

Kuwahara, M., & Sullivan, E. C. (1987). Estimating origin-destination matrices from roadside survey data. *Transportation Research Part B: Methodological 21(3)*, 233-248.

Lamm, R., Psarianos, B., & Mailaender, T. (1999). *HIGHWAY DESIGN AND TRAFFIC SAFETY ENGINEERING HANDBOOK.* New York : McGraw-Hill.

Lan, J., Li, J., Hu, G., Ran, B., & Wang, L. (2014). Vehicle speed measurement based on gray constraint optical flow algorithm. *Optik - International Journal Light & Electron Optic 125(1)*, 289-295.

Laurenshyn, A., de Goede, M., Saunier, N., & Fyhri, A. (2017). Cross-comparison of three surrogate safety methods to diagnose cyclist safety problems at intersections in Norway. *Accident Analysis & Prevention 105*, 11-20.

Laureshyn, A., & Vàrhelyi, A. (2018). *The Swedish Traffic Conflict Technique: Observer's manual.* Lund: Lund University.

Laureshyn, A., Ardö, H., Svensson, A., & Jonsson, T. (2009). Application of automated video analysis for behavioural studies: concept and experience. *IET Intelligent Transport Systems 3(3)*, 345-357.

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 and Prevention 98*, 46-56.

Laureshyn, A., Svensson, A., & Hydén, C. (2010). Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioural data: Theoretical framework and first implementation. *Accident Analysis & Prevention, 42(6)*, 1637-1646.

Leduc, G. (2008). *Road Traffic Data: Collection Methods and Applications.* Sevilla : European Communities .

Lee, J., Zhong, Z., Kim, K., & Dimitrijevic, B. (2015). Examining the Applicability of Small Quadcopter Drone for Traffic Surveillance and Roadway Incident Monitoring. *Examining the Applicability of Small Quadcopter Drone for Traffic Surveillance and Roadway Incident Monitoring* (p. 15). Washington: Transportation Research Board 94th Annual Meeting.

Lenard, J., Welsh, R., & Danton, R. (2018). Time-to-collision analysis of pedestrian and pedal-cycle accidents for the development of autonomous emergency braking systems. *Accident Analysis and Prevention 115*, 128-136.

Li, Z., Cheng, C., Kwan, M.-P., Tong, X., & Tian, S. (2019). Identifying Asphalt Pavement Distress Using UAV LiDAR Point Cloud Data and Random Forest Classificatio. *International Journal of Geo-Information 8 (1)*.

Lieben, L. (2020). Nieuwe groene speelplaats voor de Zonnewijzer. *Het Belang van Limburg*.

Liu, M., Wang, X., Zhou, A., Fu, X., Ma, Y., & Piao, C. (2020). UAV-YOLO: Small Object Detection on Unmanned Aerial Vehicle Perspective. *Sensors 20(8)*, 22-38.

Lokale Politie Aalter. (2021). *Handhaving openbare orde*. Opgehaald van Lokale Politie Aalter: https://www.politie.be/5423/over-ons/basispolitiezorg/handhaving-openbare-orde

Lu, J., Ma, C., Li, L., Xing, X., Zhang, Y., Wang, Z., & Xu, J. (2018). A Vehicle Detection Method for Aerial Image Based on YOLO. *Journal of Computer and Communications 6*, 98-107.

Lucas, B. D., & Kanade, T. (1981). An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision. *Proceedings of Imaging Understanding Workshop,*, (pp. 121-130).

Lücken, L., Mintsis, E., Villa, A. C., & Maerivoet, S. (2018). *TransAID Deliverable 6.1 - An integrated platform for the simulation and the assessment of traffic management procedures in Transition Areas.*

Macdonald, L., McCrorie, P., Nicholls, N., & Olsen, J. R. (2019). Active commute to school: does distance from school or walkability of the home neighbourhood matter? A national cross-sectional study of children aged 10–11 years, Scotland, UK. *BMJ Open 9*.

Maerivoet, S., & De Moor, B. L. (2008). *Traffic Flow Theory.* Leuven: Department of Electrical Engineering ESAT-SCD, KU Leuven.

Mahmud, S., Ferreira, L., Hoque, M., & Tavassoli, A. (2017). Application of proximal surrogate indicators for safety evaluation: A review of recent developments and research needs. *IATSS Research 41(4)*, 153-163.

Mandal, V., Mussah, A. R., Jin, P., & Adu-Gyamfi, Y. (2020). Artificial Intelligence-Enabled Traffic. *Sustainability 12*.

Maretzke, & Jacob, U. (1992). Distance warning and control as a means of increasing road safety and ease of operation. *Proc. 24th Fisita Congr., Inst. Mech. Eng.*, (pp. 105-144). London.

Marisamynathan, S., & Vedagiri, P. (2020). Pedestrian safety evaluation of signalized intersections Using surrogate safety measures. *Transport, 35(1)*, 48-56.

Martin, P. T., & Feng, Y. (2003). *Detector Technology Evaluation.* Utah: Department of Civil and Environmental Engineering: University of Utah Traffic Lab.

Matsui, Y., Oikawa, S., & Hitosugi, M. (2016). Analysis of car-to-bicycle approach patterns for developing active safety devices. *Traffic Inj. Prev. 17 (4)*, 434-439.

McArthur, A., Savolainen, P., & Gates, T. (2014). Spatial Analysis of Child Pedestrian and Bicycle Crashes Development of Safety Performance Function for Areas Adjacent to Schools. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2465*, 57-63.

McGowen, P., & Sanderson, M. (2011). Accuracy of Pneumatic Road Tube Counters. *Institute of Transportation Engineers (ITE). Western District Annual Meeting, 2011.* Anchorage.

MetroCount. (2015). *RoadPod VT*. Opgehaald van MetroCount: https://metrocount.com/nl/verkeerstellers/roadpod-slangteller/

Meyer, S., Sagberg, F., & Torquato, R. (2014). Traffic hazard perception among children. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 26 (A)*, 190-198.

Middaugh-Bonney, P. T., Brussoni, P. M., & Macpherson, A. (2010). Prevalence of bicycle helmet use among elementary school students in four Canadian cities. *Injury Prevention 1 (16)*, A105.

Minderhoud, M., & Bovy, P. (2001). Extended time-to-collision measures for road traffic safety assessment. *Accident Analysis and Prevention 33*, 89-97.

MINT NV. (2019). *Gevleugelde voetgangersoversteek - Gedrags- en conflictevaluatiestudie.* MINT NV.

Mitman, M., Cooper, D., & Dubose, B. (2010). Driver and Pedestrian Behavior at Unctrolled Crosswalks in Tahoe Basin Recreation Area of California. *Transportation Research Record*, 23-31.

Mobiel Vlaanderen. (2005, Augustus 30). *Aanpak zone 30 aan schoolomgevingen langs Vlaamse gewestwegen*. Opgehaald van Mobiel 21: https://www.mobielvlaanderen.be/persberichten/artikel.php?id=73#gsc.tab=0

Mobiel Vlaanderen. (2008). *Mobiliteitsbrief nr. 99 - Schoolbuurten.* Brussel: Mobiel Vlaanderen.

Mobiel21. (2021, Mei 5). *Sam de Verkeersslang*. Opgehaald van Mobiel21: https://www.mobiel21.be/campagnes-en-projecten/sam-de-verkeersslang

MOEV. (2021, Mei 5). *Inspiratieboxen partners*. Opgehaald van MOEV: https://www.moev.be/beweeg-mee/actieve-verplaatsing/inspiratieboxen

Mozga, L. (2021, maart 2). Detectie DFS. (J. Bottu, Interviewer)

Mozga, L. (2021, April 15). Trajectoriën, Bounding Boxes DFS. (A. Renard, Interviewer)

Mukherjee, D., & Mitra, S. (2020). A comprehensive study on identification of risk factors for fatal pedestrian crashes at urban intersections in a developing country. *Asian Transport Studies 6*, 1-14.

Nabipour, A. R., Nakhaee, N., Khanjani, N., Moradlou, H. Z., & Sullman, M. J. (2015). The road user behaviour of school students in Iran. *Accident Analysis and Prevention 75*, 43-54.

Nilsson, G. (2004). Traffic safety dimensions and the Power Model to describe the effect of speed on safety. *Bulletin 221, Lund Institute of Technology, Department of Technology and Society, Traffic Engineering,*.

Oh, C., & Kim, T. (2010). Estimation of rear-end crash potential using vehicle trajectorie data. *Accident Analysis & Prevention, 42(6)*, 1888-1893.

Olszewski, P., Dabkowski, P., Szagała, P., Czajewski, W., & Buttler, I. (2020). Surrogate safety indicator for unsignalised pedestrian crossings. *Transportation Research Part F 70*, 25-36.

Ombelets, M. (2020). *Moeder klaagt gevaarlijke verkeerssituaties voor schoolgaande kinderen in Zonhoven aan*. Opgehaald van TVL: https://www.tvl.be/nieuws/moeder-klaagt-gevaarlijke-verkeerssituaties-voor-schoolgaande-kinderen-in-zonhoven-aan-104908

Oppenlander, J. C., Bunte, W. F., & Kadakia, P. L. (1961). Sample Size Requirements for Vehicular Speed Studies. *Highway Research Board bull. 281*, 68-86.

O'Toole, S., & Christie, N. (2019). Educating parents to support children's road safety: a review of the literature. *Transport Reviews*, 392-406.

Outay, F., Mengash, H. A., & Adnan, M. (2020). Applications of unmanned aerial vehicle (UAV) in road safety, traffic and highway infrastructure management: Recent advances and challenges. *Transportatiot Research Part A 141*, 116-129.

Özuysal, M., Çalışkanelli , P. S., Tanyel, S., & Baran, T. (2009). Capacity prediction for traffic circles: applicability of ANN. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport 162 (4)*, 195-206.

Pádua, L., Sousa, J., Vanko, J., Hruška, J., Adão, T., Peres, E., . . . Sousa, J. J. (2020). Digital Reconstitution of Road Traffic Accidents: A Flexible Methodology Relying on UAV Surveying and Complementary Strategies to Support Multiple Scenarios. *International Journal of Environmental Research and Public Health 17 (6)*, 1868.

Parker, M., & Zegeer, C. (1989). *Traffic Conflict Techniques for Safety and Operations: Observers Manual.* Virginia: Research, Development, and Technology Turner-FairbankHighway Research Center.

Patel, C., Shah, D., & Patel, A. (2013). Automatic Number Plate Recognition System (ANPR): A Survey. *International Journal of Computer Applications 69(9)*, 21-33.

Pawar, D. S., & Patil, G. R. (2016). Critical gap estimation for pedestrians at uncontrolled mid-block crossings on high-speed arterials. *Safety Science 86*, 295-303.

Pelssers, B., & De Vos, N. (2020). *Kerncijfers Verkeersveiligheid 2020.* Brussel, België: Vias institute – Kenniscentrum Verkeersveiligheid.

Perneger, T. V. (2005). The Swiss cheese model of safety incidents: are there holes in the metaphor? *BMC Health Services Research (5)*, 71.

Personeelsdienst UHasselt. (2020). *Salarisschalen assisterend academisch personeel en bijzonder academisch personeel.* Hasselt: Universiteit Hasselt.

Personeelsdienst UHasselt. (2020). *Verloning jobstudenten - 1/03/2020*. Opgehaald van Universiteit Hasselt: https://www.uhasselt.be/images/studie-studentenbegeleiding/studentenvoorzieningen/Uurlonen%20jobstudenten%20vanaf%20maart%202020.pdf

Pettit, F., & Janks, A. (1996). *Children's competence as road users: The relevance of child development theory and research.* Haymarket, NSW: Road Safety and Traffic Management Directorate, Roads and Traffic Authority.

Pipes, L. A. (1953). An Operational Analysis of Traffic Dynamics. *Journal of Applied Physics 24 (3)*, 274-287.

Pix4D. (2019). *Ground Sampling Distance*. Opgehaald van Pix4D: https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202559809-Ground-sampling-distance-GSD

Politie Limburg Regio Hoofdstad. (2021, januari 1). *GAS-Reglement Politie Limburg Regio Hoofdstad.* Opgehaald van Politie Limburg Regio Hoofdstad: https://www.politie.be/5907/sites/5907/files/attachments/GAS_LRH_2021_1.pdf

Poschadel, S. (2006). *Prototypische Kinderunfälle im innerstädtischen Straßenverkehr Von Unfallanalysen über Präventionsmöglichkeiten zur Entwicklung eines Unfallmodells über Präventionsmöglichkeiten zur Entwicklung eines Unfallmodells (Doctoral Thesis).* Bochum: Ruhr-Universität Bochum.

Prisacariu, V. (2017). The history and the evolution of UAV's from the beginning till the 70's. *Journal of Defense Resource Management* , 181-189.

Priyadarshini, P., & Mitra, S. (2018). Investigating pedestrian risk factors leading to pedestrian fatalities in Kolkata city roads. *Transport. Dev. Econo. 4(1)*, 1-10.

Puan, O., Nor, N., Mashros, N., & Hainin, M. (2019). Applicability of an automatic pneumatic-tube-based traffic counting device for collecting data under mixed traffic. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 365.* IOP Publishing.

Rahman, H., Abdel-Aty, M., Jaeyoung, L., & Rahman, S. (2019). Enhancing traffic safety at school zones by operation and engineering countermeasures: A microscopic simulation approach. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 334-348.

Reason, J. (2000). Human erro: models and management. *BMJ 320 (7237)*, 768-770.

Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). *You Only Look Once: Unifief, Real-Time Object Detection.* Opgehaald van PJ Reddie: http://pjreddie.com/yolo/

Regtien, P., & Dertien, E. (2018). 8 - Piezoelectric sensors. In P. Regtien, & E. Dertien, *Sensors for Mechatronics (Second Edition)* (pp. 245-265). Twente: Elsevier.

Reyad, P., Sayed, T., Zaki, M. H., & Ibrahim, S. E. (2017). School Zone Safety Diagnosis Using Automated Conflicts Analysis Technique. *Canadian Journal of Civil Engineering 44(10)*, 802-812.

Riaz, M. S. (2016). *Naturalistic Behaviour Observation of Road Users: A Scoping Review.* Diepenbeek.

Rolink, N., & Baudet, A. (2020). Roelofs webinar: 'Vekeersonderzoek vanuit de lucht'. Nederland.

Rosén, E., & Sander, U. (2009). Pedestrian fatality risk as a function of car impact speed. *Accident Analysis & Prevention 41*, 536-542.

Rosenboom, T., Ben-Eliyahu, A., & Nemrodov, D. (2008). Children's crossing behavior with an accompanying adult. *Safety Science 45*, 1248-1254.

Rosenfeld, A. (2019). Are drivers ready for traffic enforcement drones? *Accident Analysis and Prevention*, 199-206.

Rosenfeld, A., & Maksimov, O. (2019). Optimal cruiser-drone traffic enforcement under energy. *Artificial Intelligence*, 3848-3855.

Route2School. (2020). *Route2School Zonhoven*. Opgehaald van Route2School: https://www.route2school.be/login/?locale=nl#!publicmap:699_6xXV9NOzNMqMrQmJzEVlYxEYVDautYJrl0R8bfo6G2M=

Route2School. (sd). *Route2School*. Opgehaald van Educatie: https://www.route2school.be/frontpage/educatie/

Roynard, M., Schoeters, A., & Wénin, M. (2015). *Veilig naar school. Analyse van verkeersongevallen met kinderen in de buurt van basisscholen. .* Brussel, België: Belgisch Instituut voor de Verkeersveiligheid – Kenniscentrum Verkeersveiligheid.

Runyan, C. W. (1999). Using the Haddon matrix: Introducing the third dimension. *Injury Prevention 4 (4)*, 302-307.

Sacchi, E., & Sayed, T. (2016). Conflict-Based Safety Performance Functions for Predicting Traffic Collisions by Typ. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2583 (1)*, 50-55.

Saccomanno, F. F., Cunto, F. J., Guido, G. P., & Vitale, A. (2008). Comparing Safety at Signalized Intersections and Roundabouts Using Simulated Rear-End Conflicts. *Transportatio Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2078 (2078)*, 90-95.

Saffarzadeh, M., Nadimi, N., Naseralavi, S., & Mamdoohi, A. R. (2013). A general formulation for time-to-collision safety indicator. *Transport 166 (TR5)*, 294-304.

Sakshaug, L., Laureshyn, A., Svensson, A., & Hydén, C. (2010). Cyclists in roundabouts—Different design solutions . *Accident Analysis & Prevention 42 (4)*, 1338-1351.

Saunier, N., Sayed, T., & Ismail, K. (2010). Large-Scale Automated Analysis of Vehicle Interactions and Collisions. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2147*, 42-50.

Savrasovs, M., & Pticina, I. (2017). Methodology of OD Matrix Estimation Based on Video Recordings and Traffic Counts. *Procedia Engineering 178*, 289-297.

Sayed, T., Zaki, M., & Autey, J. (2013). Automated safety diagnosis of vehicle–bicycle interactions using computer vision analysis. *Saf Sci 59*, 163-172.

Schaefer, M. C. (1988). License Plate Matching Surveys Practical Issuesand Statistical Considerations. *ITE Journal 58(7)*, 37-42.

Scheers, M., & Vlaminck, F. (2002). Verkeershandhaving: nog steeds het lelijke eendje van de rechtshandhaving. *Orde van de dag*, 9-72.

Schoeters, A. (2018). *Themadossier Verkeersveiligheid nr. 17: Kinderen.* Brussel: Vias institute.

Schouppe, W. (2021, Mei 10). *Leerlingen van middelbare scholen kunnen opnieuw voltijds les krijgen op school: "We behouden strenge veiligheidregels"*. Opgehaald van VRT NWS: https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2021/05/10/leerlingen-van-middelbare-scholen-kunnen-opnieuw-voltijds-op-sch/

Schroeder, B. J. (2016). Part 2 - Transportation Planning. In D. J. Findley, B. J. Schroeder, T. H. Brown, & C. M. Cunningham, *Highway Engineering: Planning, Desing, and Operations* (pp. 17-88). Butterworth-Heinemann.

Schwebel, D., Davis, A., & O'neal, E. (2012). Child pedestrian injury: a review of behavioral risks and preventive strategies. *American Journal of Lifestyle Medicine*, 292-302.

Seong, S., Song, J., Yoon, D., Kim, J., & Choi, J. (2019). Determination of Vehicle Trajectory through Optimization of Vehicle Bounding Boxes using a Convolutional Neural Network. *Sensors (Basel) 19(19)*.

Sersli, S., Rothman, L., & Winters, M. (2019). Getting at Mode Share: Comparing 3 Methods of Travel Mode Measurement for School Travel Research. *Journal of School Health 89(5)*, 365-372.

Shaaban, K., Muley, D., & Mohammed, A. (2018). Analysis of illegal pedestrian crossing behavior on a major divided arterial road. *Transportation Research Part F 54*, 124-137.

Shuldiner, P. W., D'Agostino, S. A., & Woodson, J. B. (1996). Determining Detailed Origin-Destination and Travel Time Patterns Using Video and Machine Vision License Plate Matching. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1551(1)*, 8-17.

Spack, M., & Moreland, M. (2019). *The Traffic Counting Manual.* Spack Solutions.

Statistiek Vlaanderen. (2018). *Jouw gemeente in cijfers: Zonhoven.* Brussel: Vlaams Agentschap Binnenlands Bestuur.

Sullman, M. J., Thomas, A., & Stephens, A. N. (2012). The road user behaviour of school students in Belgium. *Accident Analysis and Prevention 48*, 495-504.

Sullman, M., & Mann, H. (2009). Adolescent road user behaviour amongst New Zealand adolescents. *Transportation Research Part F, 12*, 494-502.

Sullman, M., Gras, M., Font-Mayolas, S., Masferrer, L., Cunill, M., & Planes, M. (2011). The pedestrian behaviour of Spanish adolescents. *Journal of Adolescence 34*, 531-539.

Svensson, Å. (1992). *Vidareutveckling och validering av den svenska konflikttekniken.* (Report No. (unpublished)).

Svensson, A. (1998). *method for analysing the traffic process in a safety perspective.* Lund: University of Lund, Lund Institute of Technology.

Tageldin, A., & Sayed, T. (2016). Developing evasive action-based indicators for identifying pedestrian conflicts in less organized traffic environments. *Journal of Advanced Transportation 50(6)*, 1193-1208.

Tageldin, A., Sayed, T., & Wang, X. (2015). Can time proximity measures be used as safety indicators in all driving cultures? Case study of motorcycle safety in China. *Transp. Res. Rec.: J. Transp. Res. Board 2520*, 165-174.

Tarko, A., Davis, G., Saunier, N., Sayed, T., & Washington, S. (2009). *Surrogate Measures of Safety.* London: Department of Transport.

Tay. (2009). Speed compliance in school and playground zones. *ITE Journal*, 36-38.

Tay, R., Choi, J., Kattan, J., & Khan, A. (2011). A Multinomial logit model ofpedestrian–vehicle crash severity. *International Journal of Sustainable Trans-portation 5 (4)*, 233-249.

Tefft, B. (2013). Impact speed and a pedestrian's risk of severe injury or death. *Accident Analysis and Prevention, 50*, 871-878.

The European Child Safety Alliance. (2007). *Childhood Road Safety .* Amsterdam: The European Child Safety Alliance.

Timmermans, E. (2020, 10 13). Drone-onderzoek Kortessem. (A. Renard , C. Lubon, & J. Bottu, Interviewers)

Timperio, A., Ball, K., Salmon, J., Roberts, R., Giles-Corti, B., Simmons, D., . . . Crawford, D. (2006). Personal, Family, Social, and Environmental Correlates of Active Commuting to School. *American Journal of Preventive Medicine 30, 1*, 45-51.

TitanHz. (2013). *ANPR Highway Cameras*. Opgehaald van TitanHz: http://titanhz.com/anpr-camera-highway.aspx

Toft, Y., Dell, G., Klockner, K. K., & Hutton, A. (2012). *Models of Causation: Safety.* Tullamarine: The Core Body of Knowledge for Generalist OHS Professionals.

TRB. (2010). Peak Hour Factor. In *Highway Capacity Manual.* Washington, D.C., Verenigde Staten: Transportation Research Board.

Trenso. (2021). *Kenteko*. Opgehaald van Trense: http://www.trenso.nl/nl/kenteko.html

TU Delft. (sd). *Deel 4: Verkeersstroomtheorie en verkeersmanagement.* Delft: TU Delft.

Turner, S. M., Eisele, W. L., Benz, R. J., & Holdener, D. J. (1998). *Travel Time Data Collection Handbook.* Texas: Texas Transportation Institute.

Ungvarai, A. (2019). Modal Split - Different Approaches to a Common Term. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 603 (4)*.

Van der Horst, A. (1990). *A time-based analysis of road user behaviour in normal and critical encounters.* Delft: TU Delft.

van der Horst, R. A., Thierry, M. C., Vet, J. M., & Rahman, A. F. (2017). An evaluation of speed management measures in Bangladesh based upon alternative accident recording, speed measurements, and DOCTOR traffic conflict observations. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 46 (Part B)*, 390-403.

Van der Horst, R., & Hogema, J. (1993). Time-to-collision and collision. *Proc. 6th ICTCT Workshop Saf. Eval. Traffic Syst., Traffic Conflicts Other Measures* (pp. 109-121). Salzburg: TNO Institute for Human Factors.

van der Horst, R., de Goede, M., De Hair-Buijssen, S., & Methorst, R. (2014). Traffic conflicts on bicycle paths: A systematic observation of behaviour from video. *Accident Analysis and Prevention 62*, 358-368.

van Haperen, W. (2019). *Surrogate safety indicators for traffic conflicts involving vulnerable road users.* België: Uhasselt.

Van Haperen, W., Riaz, M. S., Daniels, S., Saunier, N., Brijs, T., & Wets, G. (2019). Observing the observation of (vulnerable) road user behaviour and traffic safety: A scoping review. *Accident Analysis and Prevention 123*, 211-221.

Vandebergh, K. (2021, januari 22). Voortgangsgesprek DroneMatrix. (C. Lubon, & J. Bottu, Interviewers)

Vanwelkenhuyzen, F., & Vandebergh, K. (2020, 12 9). DroneMatrix. (C. Lubon, A. Renard, & J. Bottu, Interviewers)

Várhelyi, A. (1998). Drivers' speed behaviour at a zebra crossing: a case study. *Accident Analysis & Prevention 30 (6)*, 731-743.

Várhelyi, A., Hjälmdahl, M., & Hagring , O. (2003). *Suitable Highest Speeds in different Critical Situations.* Lund: Dept. of Technology and Society, Lund Universuity.

VIAS institute. (2017, januari 18). *Federale Politie gebruikt drones van Vias institute na verkeersongeval*. Opgehaald van VIAS institue: https://www.vias.be/nl/newsroom/federale-politie-gebruikt-drones-van-het-bivv-na-verkeersongeval/

Vilain, J. (2009). *Voetgangersvoorzieningen in centrumgebieden'.* Duffel: Voetgangersbeweging vzw.

Viti, F. (2008). *State-of-art O-D Matrix Estimation Problems based on traffic counts and its inverse Network Location Problem: perspectives for application en future developments.* KU Leuven.

Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming. (2020). *Leerlingenaantallen basis- en secundaire scholen 2019-2020 (definitieve cijfers op 1 februari 2020) .* Opgehaald van Leerlingenaantallen basis- en secundair onderwijs: https://onderwijs.vlaanderen.be/nl/leerlingenaantallen-basis-en-secundair-onderwijs-en-hbo5

Vlaamse Overheid - Agentschap Wegen en Verkeer. (2010). *Werkboek Schoolomgeving.*

Vlaamse Overheid. (sd). *Gegevensbeschermingseffectbeoordeling (DPIA)*. Opgehaald van Vlaamse Overheid: https://overheid.vlaanderen.be/vlaamse-toezichtcommissie-dpia

Vlaamse Toezichtcommissie. (2020, januari 14). Beslissing VTC nr. O/2020/01 van 14 januari 2020 . Brussel, België.

VSV. (2021, Mei 5). *Onze actiepakketten*. Opgehaald van Verkeersouders: https://www.verkeersouders.be/aan-de-slag/actiepakketten/

Wang, D., Liu, Q., Ma, L., Zhang, Y., & Cong, H. (2019). Road traffic accident severity analysis: A census-based study in China. *Journal of Safety Research 70*, 135-147.

Wang, H., Ouyang, M., Meng, Q., & Kong, Q. (2020). A traffic data collection and analysis method based on wireless sensor network. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking* .

Wang, J.-S., & Mei, D.-C. (2018). Vehicle OD Matrix Acquisition and Dynamic Traffic Assignment Simulation Based on License Plate Data. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 392.* IOP Publishing.

Wang, L., Chen, F., & Yin, H. (2016). Detecting and tracking vehicles in traffic by unmanned aerial vehicles. *Automation in Construction 72*, 294-308.

Wang, X., Song, Y., Yu, R., & Schultz, G. (2014). Safety modeling of suburban arterials in Shanghai, China. *Accident Analysis and Prevention, 70*, 215-224.

Wong, E., Leong, M., Anantharaman, V., Raman, L., Wee, K., & Chao, T. (2002). Road traffic accident mortality in Singapore. *The Journal of Emergency Medicine, 22(2)*, 139-146.

Wu, J., Xu, H., Zhang, Y., & Sun, R. (2020). An improved vehicle-pedestrian near-crash identification method with a roadside LiDAR sensor. *Journal of Safety Research 73*, 211-224.

Xiang, C., Shi, H., Li, N., Ding, M., & Zhou, H. (2020). Pedestrian Detection Under Unmanned Aerial Vehicle an Improved Single-Stage Detector Based on RetinaNet. *2019 12th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI).* Suzhou (China): IEEE.

Xu, Y., Yu, G., Wang, Y., Wu, X., & Ma , Y. (2017). Car Detection from Low-Altitude UAV Imagery with the Faster R-CNN. *Journal of Advanced Transportation* .

Yalcin, H., Hebert, M., Collins, R. T., & Black, M. J. (2005). A Flow-Based Approach to Vehicle Detection and Background Mosaicking in Airborne Video. *Proceedings / CVPR, IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.*

Yang, S., An, C., Wu, Y.-J., & Xia, J. (2017). Origin-Destination-Based Travel Time Reliability. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2643(1)*, 139-159.

Zaki, M. H., & Sayed, T. (2014). Automated Analysis of Pedestrians' Nonconforming Behavior and Data Collection at an Urban Crossing. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* , 123-133.

Zaki, M., Sayed, T., Tageldin, A., & Hussein, M. (2013). Application of Computer Vision to Diagnosis of Pedestrian Safety Issues. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2393*, 75-84.

Zangenehpour, S., Miranda-Moreno, L. F., & Saunier, N. (2015). Automated classification based on video data at intersections with heavy pedestrian and bicycle traffic: Methodology and application. *Transportation Research Part C 56*, 161-176.

Zeedyk, S. M., Wallace, L., & Spry, L. (2002). Stop, look, listen, and think? What young children really do when crossing the road. *Accident Analysis and Prevention 34*, 43-50.

Zhang, C. (2008). Development of UAV-Based Remote Sensing System for Unpaved Road Condition Assessment. *ASPRS 2008 Annual Conference*, 627-632.

Zheng, L., Ismail, K., & Meng, X. (2014). Traffic conflict techniques for road safety analysis: Open questions and some insights. *Canadian Journal of Civil Engineering 41(7)*, 633-641.

Zheng, P., & Mike, M. (2012). An Investigation on the Manual Traffic Count Accuracy. *Procedia - Social and Behavioral Sciences 43* (pp. 226-231). Changsha: Elsevier B.V.

Zhou, X. S., Liu, J., Wei, Y., & Li, P. (2015). Longitude trajectory optimization for autonomous vehicles: an approach based on simplified car following model. *Transportation Research Board.*

Zink, J., & Lovelace, B. (2015). *Unmanned Aerial Vehicle Bridge Inspection Demonstration Project.* Minnesota: Minnesota Department of Transportation Research Services & Library.

Wetgeving

EUROPEES:

Europees Verdrag tot bescherming van de Rechten van de Mens en fundamentele Vrijheden van 4 november 1950, *Treaty Series of the Council of Europe*, No. 005.

Verordening EU 2016/679 van het Europees Parlement en de Raad van 27 april 2016 betreffende de bescherming van natuurlijke personen in verband met de verwerking van persoonsgegevens en betreffende het vrije verkeer van die gegevens en tot intrekking van Richtlijn 95/46/EG (algemene verordening gegevensbescherming), *P.B.* 4 mei 2016.

Uitvoeringsverord.Comm. nr. 2019/947, 24 mei 2019 inzake de regels en procedures voor de exploitatie van onbemande luchtvaartuigen, *Pb.L.* 11 juni 2019, afl. 152, 45.

BELGISCH:

Gecoördineerde Grondwet 17 februari 1994, *BS* 17 februari 1994.

Gecoördineerde Wet 21 maart 2007 tot regeling van de plaatsing en het gebruik van bewakingscamera's, *BS* 21 maart 2007.

KB 9 oktober 1998 tot bepaling van de vereisten voor de aanleg van verhoogde inrichtingen op de openbare weg bestemd om de maximumsnelheid te beperken tot 30 km per uur en van de technische voorschriften waaraan die moeten voldoen, *BS* 28 oktober 1998.

KB 8 november 2020 tot uitvoering van uitvoeringsverordening (EU) 2019/947 van de Commissie van 24 mei 2019 inzake de regels en procedures voor de exploitatie van onbemande luchtvaartuigen, *BS* 18 november 2020.

MB 21 december 2020 tot vaststelling van vaste geografische UAS-zones en toegangsvoorwaarden voor vaste geografische UAS-zones, *BS* 24 december 2020.

Ministeriële omzendbrief van 3 mei 2002 betreffende de verhoogde inrichtingen, bestemd om de snelheid te beperken tot 30 km/u en de rijbaankussens, *BS* 31 mei 2002.

Bijlagen

Accuraatheden detectie DFS o.b.v. frame-analyse

Tabel 55: Analyse accuraatheden detectie per frame (beelden OS) (Eigen werk, 2021)

Frame	23618			Frame	41593		
Soort	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**	**Soort**	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**
Auto	70	48	68,57%	Auto	71	42	59,15%
Bus	0	0	NVT	Bus	0	0	NVT
Lichte vracht	0	0	NVT	Lichte vracht	0	0	NVT
Zware vracht	0	0	NVT	Zware vracht	0	0	NVT
Moto	0	0	NVT	Moto	0	0	NVT
Voetganger	45	3	6,67%	Voetganger	43	11	25,58%
Fietser	26	2	7,69%	Fietser	5	2	40,00%
TOTAAL	**141**	**53**	**37,59%**	**TOTAAL**	**119**	**55**	**46,22%**
Frame	35098			Frame	17132		
Soort	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**	**Soort**	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**
Auto	65	43	66,15%	Auto	50	27	54,00%
Bus	0	0	NVT	Bus	0	0	NVT
Lichte vracht	0	0	NVT	Lichte vracht	0	0	NVT
Zware vracht	0	0	NVT	Zware vracht	0	0	NVT
Moto	0	0	NVT	Moto	0	0	NVT
Voetganger	56	12	21,43%	Voetganger	17	1	5,88%
Fietser	6	1	16,67%	Fietser	3	0	0,00%
TOTAAL	**127**	**56**	**44,09%**	**TOTAAL**	**70**	**28**	**40,00%**
Frame	65866			Frame	1160		
Soort	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**	**Soort**	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**
Auto	39	17	43,59%	Auto	22	5	22,73%
Bus	1	1	100,00%	Bus	0	0	NVT
Lichte vracht	0	0	NVT	Lichte vracht	0	0	NVT
Zware vracht	0	0	NVT	Zware vracht	0	0	NVT
Moto	0	0	NVT	Moto	0	0	NVT
Voetganger	7	0	0,00%	Voetganger	1	0	0,00%
Fietser	0	0	NVT	Fietser	6	4	66,67%
TOTAAL	**47**	**18**	**38,30%**	**TOTAAL**	**29**	**9**	**31,03%**
Frame	17874			Frame	40034		
Soort	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**	**Soort**	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**
Auto	51	29	56,86%	Auto	63	40	63,49%
Bus	0	0	NVT	Bus	0	0	NVT
Lichte vracht	0	0	NVT	Lichte vracht	1	1	100,00%
Zware vracht	0	0	NVT	Zware vracht	0	0	NVT
Moto	0	0	NVT	Moto	0	0	NVT
Voetganger	24	1	4,17%	Voetganger	29	8	27,59%
Fietser	7	3	42,86%	Fietser	5	2	40,00%
TOTAAL	**82**	**33**	**40,24%**	**TOTAAL**	**98**	**51**	**52,04%**
Frame	23189			Frame	15852		
Soort	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**	**Soort**	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**
Auto	68	46	67,65%	Auto	44	23	52,27%
Bus	0	0	NVT	Bus	0	0	NVT
Lichte vracht	0	0	NVT	Lichte vracht	0	0	NVT
Zware vracht	0	0	NVT	Zware vracht	0	0	NVT
Moto	0	0	NVT	Moto	0	0	NVT
Voetganger	43	5	11,63%	Voetganger	14	0	0,00%
Fietser	40	3	7,50%	Fietser	9	2	22,22%
TOTAAL	**151**	**54**	**35,76%**	**TOTAAL**	**67**	**25**	**37,31%**

Frame	24446		
Soort	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**
Auto	65	43	66,15%
Bus	1	1	100,00%
Lichte vracht	0	0	NVT
Zware vracht	1	1	100,00%
Moto	0	0	NVT
Voetganger	58	8	13,79%
Fietser	25	2	8,00%
TOTAAL	**150**	**55**	**36,67%**

Frame	67955		
Soort	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**
Auto	42	20	47,62%
Bus	1	1	100,00%
Lichte vracht	0	0	NVT
Zware vracht	0	0	NVT
Moto	0	0	NVT
Voetganger	8	1	12,50%
Fietser	0	0	NVT
TOTAAL	**51**	**22**	**43,14%**

Frame	64314		
Soort	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**
Auto	39	17	43,59%
Bus	0	0	NVT
Lichte vracht	0	0	NVT
Zware vracht	0	0	NVT
Moto	0	0	NVT
Voetganger	8	0	0,00%
Fietser	0	0	NVT
TOTAAL	**47**	**17**	**36,17%**

Frame	32881		
Soort	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**
Auto	72	47	65,28%
Bus	0	0	NVT
Lichte vracht	0	0	NVT
Zware vracht	1	1	100,00%
Moto	0	0	NVT
Voetganger	47	18	38,30%
Fietser	9	2	22,22%
TOTAAL	**129**	**68**	**52,71%**

Frame	54790		
Soort	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**
Auto	38	16	42,11%
Bus	0	0	NVT
Lichte vracht	1	0	0,00%
Zware vracht	0	0	NVT
Moto	0	0	NVT
Voetganger	6	0	0,00%
Fietser	4	1	25,00%
TOTAAL	**49**	**17**	**34,69%**

Frame	17851		
Soort	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**
Auto	50	29	58,00%
Bus	0	0	NVT
Lichte vracht	0	0	NVT
Zware vracht	0	0	NVT
Moto	0	0	NVT
Voetganger	12	1	8,33%
Fietser	10	3	30,00%
TOTAAL	**72**	**33**	**45,83%**

Frame	2134		
Soort	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**
Auto	26	7	26,92%
Bus	0	0	NVT
Lichte vracht	0	0	NVT
Zware vracht	0	0	NVT
Moto	0	0	NVT
Voetganger	4	0	0,00%
Fietser	5	1	20,00%
TOTAAL	**35**	**8**	**22,86%**

Frame	25219		
Soort	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**
Auto	67	46	68,66%
Bus	0	0	NVT
Lichte vracht	0	0	NVT
Zware vracht	1	1	100,00%
Moto	0	0	NVT
Voetganger	58	6	10,34%
Fietser	25	2	8,00%
TOTAAL	**151**	**55**	**36,42%**

Frame	9165		
Soort	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**
Auto	34	13	38,24%
Bus	1	1	100,00%
Lichte vracht	0	0	NVT
Zware vracht	0	0	NVT
Moto	0	0	NVT
Voetganger	1	1	100,00%
Fietser	10	1	10,00%
TOTAAL	**46**	**16**	**34,78%**

Frame	11455		
Soort	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**
Auto	34	13	38,24%
Bus	0	0	NVT
Lichte vracht	0	0	NVT
Zware vracht	0	0	NVT
Moto	0	0	NVT
Voetganger	8	2	25,00%
Fietser	10	3	30,00%
TOTAAL	**52**	**18**	**34,62%**

Frame	53804		
Soort	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**
Auto	42	20	47,62%
Bus	0	0	NVT
Lichte vracht	1	1	100,00%
Zware vracht	0	0	NVT
Moto	0	0	NVT
Voetganger	6	0	0,00%
Fietser	3	2	66,67%
TOTAAL	**52**	**23**	**44,23%**

Frame	6371		
Soort	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**
Auto	34	12	35,29%
Bus	0	0	NVT
Lichte vracht	0	0	NVT
Zware vracht	1	1	100,00%
Moto	0	0	NVT
Voetganger	2	2	100,00%
Fietser	6	0	0,00%
TOTAAL	**43**	**15**	**34,88%**

Frame	25959		
Soort	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**
Auto	77	54	70,13%
Bus	0	0	NVT
Lichte vracht	1	1	100,00%
Zware vracht	0	0	NVT
Moto	0	0	NVT
Voetganger	88	11	12,50%
Fietser	23	3	13,04%
TOTAAL	**189**	**69**	**36,51%**

Frame	36120		
Soort	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**
Auto	62	41	66,13%
Bus	0	0	NVT
Lichte vracht	0	0	NVT
Zware vracht	1	1	100,00%
Moto	0	0	NVT
Voetganger	47	18	38,30%
Fietser	5	2	40,00%
TOTAAL	**115**	**62**	**53,91%**

Frame	16501		
Soort	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**
Auto	47	26	55,32%
Bus	0	0	NVT
Lichte vracht	0	0	NVT
Zware vracht	0	0	NVT
Moto	0	0	NVT
Voetganger	22	0	0,00%
Fietser	6	1	16,67%
TOTAAL	**75**	**27**	**36,00%**

Frame	29633		
Soort	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**
Auto	75	52	69,33%
Bus	0	0	NVT
Lichte vracht	0	0	NVT
Zware vracht	1	1	100,00%
Moto	0	0	NVT
Voetganger	34	14	41,18%
Fietser	7	2	28,57%
TOTAAL	**117**	**69**	**58,97%**

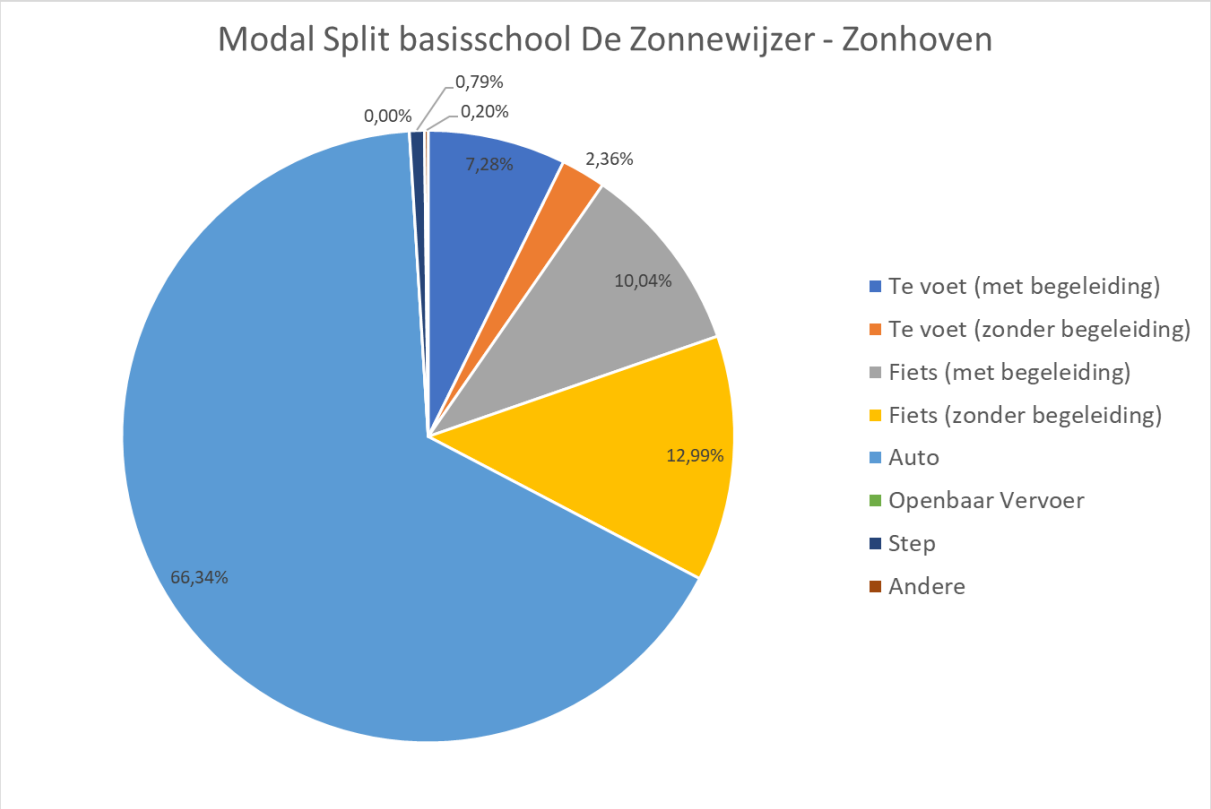
Frame	66431		
Soort	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**
Auto	41	19	46,34%
Bus	0	0	NVT
Lichte vracht	0	0	NVT
Zware vracht	0	0	NVT
Moto	0	0	NVT
Voetganger	7	1	14,29%
Fietser	0	0	NVT
TOTAAL	**48**	**20**	**41,67%**

Frame	20639		
Soort	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**
Auto	57	35	61,40%
Bus	1	1	100,00%
Lichte vracht	2	2	100,00%
Zware vracht	1	1	100,00%
Moto	0	0	NVT
Voetganger	21	0	0,00%
Fietser	13	5	38,46%
TOTAAL	**95**	**44**	**46,32%**

Frame	134		
Soort	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**
Auto	22	3	13,64%
Bus	0	0	NVT
Lichte vracht	0	0	NVT
Zware vracht	1	1	100,00%
Moto	0	0	NVT
Voetganger	1	0	0,00%
Fietser	3	1	33,33%
TOTAAL	**27**	**5**	**18,52%**

Frame	18001		
Soort	**Totaalaantal**	**Aantal gedetecteerd**	**Accuraatheid**
Auto	49	28	57,14%
Bus	0	0	NVT
Lichte vracht	0	0	NVT
Zware vracht	0	0	NVT
Moto	0	0	NVT
Voetganger	22	1	4,55%
Fietser	11	3	27,27%
TOTAAL	**82**	**32**	**39,02%**

Modal split basisschool De Zonnewijzer



Figuur 134: Modal split basisschool De Zonnewijzer, Zonhoven (n=501) (Eigen werk, 2021)

Problemen- en maatregelentabel Werkboek Schoolomgevingen

Tabel 56: Problemen en bijhorende maatregelen Werkboek Schoolomgevingen (Agentschap Wegen en Verkeer, 2010)

Nr. probleem	Probleem	Maatregel – Verwijzing naar fiche
1.	**ALGEMENE PROBLEMEN**	
1.1	**Cognitieve en fysieke beperkingen van schoolgaande jeugd**	Bij een herinrichting kan u de infrastructuur van de openbare weg afstemmen op de gedragingen en eigenheden van kinderen (zie hiervoor de Infrastructuurmaatregelen)
1.1.1	**Impulsief gedrag van kinderen en jongeren (kinderen lopen straat op, ...)**	I-01 Voetgangersoversteekplaatsen aanleggen of verplaatsen I-02 Oversteek beschermen of verkorten H-01 Politioneel optreden bij impulsief gedrag van kinderen en jongeren E-01 Gemachtigd opzichter inschakelen E-02 Kinderen leren stoppen aan de stoeprand
1.1.2	**Kinderen vinden de situatie in de schoolomgeving chaotisch of onduidelijk**	O-01 Verschillende modi of leeftijdsgroepen spreiden in tijd of ruimte Schoolvervoerplan opstellen (Zie 2.2.3 Schoolvervoerplan)
1.1.3	**Kinderen zijn door hun geringe lengte niet goed zichtbaar / Kinderen kunnen door hun geringe lengte andere weggebruikers of verkeerssituaties niet goed zien**	I-03 Het parkeren organiseren I-04 Foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan fysiek tegengaan E-03 Kinderen leren een juiste oversteekplaats kiezen I-05 Groenvoorziening aanpassen (aanplanten, verplaatsen, weghalen, snoeien) (Kijk ook op http://www.priorite-vos-enfants.fr/index.php5?page=P6-9_40S#2 (en dan rechts op het beeld klikken)
1.1.4	**Voetpad is niet geschikt voor fietsers jonger dan 9 jaar met fietswiel tot diameter 50 cm**	I-06 Voet- en fietspaden obstakelvrij maken, I-31 Voetpad aanpassen volgens normen in Vademecum voetgangersvoorzieningen
1.1.5	**Routes naar school zijn niet aangepast aan kinderen**	I-07 Schoolroutes veilig en kindgericht inrichten (Zie ook voor voetgangers bij problemen 2.6.1 & 3.10 voor fietsers) E-05 Schoolroutekaart aanmaken en verspreiden Schoolvervoerplan opstellen (Zie 2.2.3 Schoolvervoerplan)
1.2	**Beperkte zichtbaarheid**	
1.2.1	**Beperkte zichtbaarheid door geen, onvoldoende of onaangepaste openbare verlichting**	I-16 Een gemeentelijk lichtplan opstellen
1.2.1.1	**... op gewestweg**	I-32 Verlichting plaatsen of aanpassen op een gewestweg
1.2.1.2	**... op gemeentelijke wegen, voetwegen, fietswegen**	I-08 Verlichting plaatsen of aanpassen op een gemeenteweg
1.2.1.3	**... op zebrapaden**	I-09 Zebrapaden en fietsoversteken verlichten

Nr. probleem	Probleem	Maatregel – Verwijzing naar fiche
1.2.1.4	**... aan de schooltoegang**	I-11 Accentverlichting bij schooltoegang aanbrengen
1.2.1.5	**... in bochten of kruispunten**	I-12 Kruispunten en bochten goed zichtbaar maken met verlichting
1.2.1.6	**Groen en verlichting zijn niet op elkaar afgestemd**	I-13 Groen en verlichting op elkaar afstemmen I-05 Groenvoorziening aanpassen (aanplanten, verplaatsen, weghalen, snoeien)
1.2.1.7	**Tracé van rijbaan, zebrapad, fietspad niet goed zichtbaar**	I-14 Wegdekreflectoren plaatsen I-12 Kruispunten en bochten goed zichtbaar maken met verlichting
1.2.2	**Beperkte zichtbaarheid door verblinding**	
1.2.2.1	**... veroorzaakt door verlichting op gewestweg**	I-32 Verlichting plaatsen of aanpassen op een gewestweg
1.2.2.2	**... veroorzaakt door verlichting op gemeenteweg**	I-08 Verlichting plaatsen of aanpassen op een gemeenteweg
1.2.2.3	**... veroorzaakt door verlichting op privé-eigendom**	I-15 Verlichting aanpassen op privé-eigendom
1.2.3	**Beperkte zichtbaarheid van en voor kinderen door (fout)geparkeerde motorvoertuigen, straatmeubilair, obstakels, halterende bussen, ...**	E-03 Kinderen leren een juiste oversteekplaats kiezen
1.2.3.1	**... door geparkeerde motorvoertuigen**	I-03 Het parkeren organiseren
1.2.3.2	**... door foutgeparkeerde motorvoertuigen**	H-02 Politioneel optreden bij foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan I-04 Foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan fysiek tegengaan
1.2.3.3	**... door straatmeubilair (banken, elektriciteitskasten, inzamelcontainers, reclamepanelen, telefooncellen, fietsenstallingen, ...)**	I-06 Voet- en fietspaden obstakelvrij maken
1.2.3.4	**... door schuilhuisjes en/of halterende bussen of trams**	I-47 Openbaarvervoerhalte verplaatsen/herschikken naar een veilige locatie
1.2.3.5	**... door groen**	I-05 Groenvoorziening aanpassen (aanplanten, verplaatsen, weghalen, snoeien)

Nr. probleem	Probleem	Maatregel – Verwijzing naar fiche
1.2.4	**Beperkte zichtbaarheid van en voor kinderen door inrichting van de openbare weg**	
1.2.4.1	**Kijkhoeken zijn niet vrij**	I-17 De kijkhoeken voor voetgangers en fietsers vrijhouden
1.2.4.2	**... door geparkeerde motorvoertuigen**	I-03 Het parkeren organiseren
1.2.4.3	**Automobilisten zien fietsers niet en vice versa**	I-18 Gemengd verkeer invoeren I-19 Aanliggende of vrijliggende fietspaden aanleggen E-06 Positie van de fietser op de rijbaan
1.2.4.4	**... door schuilhuisjes en/of halterende bussen of trams**	I-47 Openbaarvervoerhalte verplaatsen/herschikken naar een veilige locatie
1.2.4.5	**Groen beperkt het zicht en/of de zichtbaarheid**	I-05 Groenvoorziening aanpassen (aanplanten, verplaatsen, weghalen, snoeien)
1.2.5	**Beperkte zichtbaarheid van school(omgeving)**	I-11 Accentverlichting bij schooltoegang aanbrengen I-21 Ander materiaal en/of kleuren gebruiken voor de schooltoegang I-22 Schooltoegang verplaatsen I-23 Signalisatie aanpassen I-24 Aandachtstrekkers aanbrengen School maakt school beter zichtbaar (kindertekeningen op schoolmuur of -poort, vlaggen aan schoolgebouw...)
1.2.6	**Beperkte zichtbaarheid van kinderen en jongeren door onopvallendheid**	E-07 Fietsers en voetgangers stimuleren om opvallende kledij en fluoreflecterend materiaal te dragen E-08 Fietsers stimuleren om fietsverlichting te gebruiken wanneer nodig
1.3	**Circulatieproblemen in de schoolomgeving**	Openbare weg herinrichten (zie Infrastructuurmaatregelen) I-42 Verkeerscirculatie verbeterenH-03 Politioneel toezicht bij circulatieproblemen en hoge verkeersintensiteiten E-01 Gemachtigd opzichter inschakelen
1.3.1	**... aan de schooltoegang (te veel leerlingen, ouders, ...) op hetzelfde moment op dezelfde plek**	O-01 Verschillende modi of leeftijdsgroepen spreiden in tijd of ruimte Schoolvervoerplan opstellen (Zie 2.2.3 Schoolvervoerplan)

Nr. probleem	Probleem	Maatregel – Verwijzing naar fiche
1.3.2	**... door parkeerzoekverkeer of parkerende automobilisten**	I-03 Het parkeren organiseren I-29 Kiss&Ride-strook voorzien I-25 Afzet- en ophaalplaatsen aanleggen op het schooldomein (voor auto's en/of schoolbussen) I-26 Dubbel gebruik van parkeerplaatsen invoeren Sensibilisering van de ouders (Zie www.verkeersouders.be – sensibiliserende acties)
1.3.3	**... door slecht afgestelde verkeerslichtenregeling**	I-27 Verkeerslichten aanpassen
1.3.4	**... door leveringen of ophalingen**	Afspraken met handelaars, vuilnisdienst, ... over tijdstip van leveringen en ophalingen.
1.3.5	**... door op de rijbaan halterende bussen**	I-47 Openbaarvervoerhalte verplaatsen/herschikken naar een veilige locatie
1.4	**Onvoldoende of onduidelijke signalisatie**	I-23 Signalisatie aanpassen E-14 Voetgangerstraining en -kennis, E-16 Fietsers het verkeersreglement bijbrengen
1.4.1	**Verwarrende situatie door te veel signalisatie**	I-23 Signalisatie aanpassen
1.4.1.1	**Verwarrende situatie door te veel signalisatie**	Het gebruik van bi-flashes wordt uitgelegd in de begrippenlijst
1.4.2	**Onduidelijkheden m.b.t. parkeerorganisatie (wie waar voor hoe lang mag parkeren, m.b.t. kiss&ride)**	I-03 Het parkeren organiseren I-29 Kiss&Ride-strook voorzien
1.4.3	**Veilige schoolroutes zijn niet gekend**	E-05 Schoolroutekaart aanmaken en verspreiden E-12 Fiets- en/of voetpool organiseren E-15 Een verkeerseducatieve route (vero) opmaken en gebruiken E-18 Fietsvaardigheidstraining organiseren E-19 Fietsen en stappen stimuleren
1.4.4	**Het is onduidelijk waarom er zone 30- en overstekende-kinderen-borden staan**	I-24 Aandachtstrekkers aanbrengen
1.5	**Dodehoekproblematiek (gevaarlijk gedrag)**	E-09 Sensibilisering rond dode hoek
1.6	**Verkeersonveilig kruispunt door niet-conflictvrij afslaand verkeer**	I-30 Aandachtspunten voor kruispunten die onveilig zijn door niet-conflictvrij (afslaand) verkeer E-10 Kinderen leren veilig over te steken E-11 Fietsers veilig leren fietsen op een kruispunt of rotonde

Nr. probleem	Probleem	Maatregel – Verwijzing naar fiche
2.	**Problemen i.v.m. VOETGANGERS**	
2.1	**Er is geen of onvoldoende plaats voor voetgangers**	I-06 Voet- en fietspaden obstakelvrij maken I-22 Schooltoegang verplaatsen I-31 Voetpad aanpassen volgens normen in Vademecum voetgangersvoorzieningen I-33 De weg herinrichten tot erf of voetgangersgebied I-42 Verkeerscirculatie verbeteren 0-04 Toegankelijkheidsanalyse uitvoeren
2.1.1	**… op het voetpad door obstakels**	Zie maatregelen bij problemen 2.4
2.1.2	**… door parkeerproblemen**	I-03 Het parkeren organiseren I-04 Foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan fysiek tegengaan I-25 Afzet- en ophaalplaatsen aanleggen op het schooldomein (voor auto's en/of schoolbussen)
2.1.3	**… aan de schooltoegang (te veel leerlingen, ouders, … op hetzelfde moment op dezelfde plek)**	0-01 Verschillende modi of leeftijdsgroepen spreiden in tijd of ruimte I-35 Opstelruimte voor wachtenden vergroten Aandachtspunten bij werfsituaties (Zie Inspiratieboek Minder Hinder)
2.2	**Slechte aanleg en/of materiaalkeuze van de voetgangersvoorziening**	I-31 Voetpad aanpassen volgens normen in Vademecum voetgangersvoorzieningen
2.3	**Slecht onderhouden voetgangersvoorzieningen**	I-36 Een gemeentelijk onderhoudsplan opstellen
2.3.1	**… door tijdelijke werfsituaties (verbouwingen, werken van nutsmaatschappijen, …)**	Aandachtspunten bij werfsituaties (Zie Inspiratieboek Minder Hinder)
2.3.2	**… op voetwegen / trage wegen**	I-36 Een gemeentelijk onderhoudsplan opstellen Om trage wegen te herwaarderen en een Trage Wegen-plan op te stellen, neem contact op met Trage Wegen vzw
2.3.3	**… door sneeuw**	Afspraken met bewoners: sneeuwvrij houden trottoirs. Dit wordt meestal vastgelegd in een gemeentelijk politiereglement.
2.4	**Obstakels op de voetgangersruimte**	
2.4.1	**Misbruik door andere (daar niet thuishorende) weggebruikers**	

Nr. probleem	Probleem	Maatregel – Verwijzing naar fiche
2.4.1.1	**... door foutparkeerders**	I-04 Foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan fysiek tegengaan
2.4.1.2	**... door fietsers (vanaf 9 jaar en wieldiameter + 50 cm)**	Het probleem is waarschijnlijk dat er te weinig plaats is voor fietsers of dat er een onveiligheidsgevoel is. Er kan overwogen worden om het oprijden van het voetpad te bemoeilijken (met paaltjes, omegaprofielen, rechte stoeprand), maar dat heeft ook gevolgen voor de toegankelijkheid voor voetgangers en minder mobiele mensen, en voor de erftoegangen. Probeer daarom in eerste instantie de fietser meer plaats te geven. I-42 Verkeerscirculatie verbeteren I-58 Fietspad aanpassen I-44 Trottoir en fietspad in verschillende kleuren en/of materiaal uitvoeren H-04 Optreden tegen fietsers op het trottoir
2.4.1.3	**... door hoge stoepranden**	I-45 Doorlopend trottoir aanleggen
2.4.2	**Aanwezigheid van vuilniszakken, fietsen, paaltjes, ...**	I-06 Voet- en fietspaden obstakelvrij maken I-05 Groenvoorziening aanpassen (aanplanten, verplaatsen, weghalen, snoeien) E-14 Voetgangerstraining en -kennis Aandachtspunten bij werfsituaties (Zie Inspiratieboek Minder Hinder) Afstemming andere diensten lokale overheid (bijv. vergunningen van gemeente voor terrassen) - Afspraken met bewoners (buitenzetten vuilniszakken, ...)
2.4.2.1	**... op schooldomein**	I-46 Geleidende en beschermende infrastructuur aanbrengen
2.5	**De voetgangersvoorziening is niet 'kindvriendelijk', niet aangepast aan de leefwereld van de doelgroep**	
2.5.1	**... m.b.t. oversteekplaats**	I-01 Voetgangersoversteekplaatsen aanleggen of verplaatsen I-02 Oversteek beschermen of verkorten I-46 Geleidende en beschermende infrastructuur aanbrengen
2.5.2	**Kinderen vinden de situatie in de schoolomgeving chaotisch of onduidelijk**	0-01 Verschillende modi of leeftijdsgroepen spreiden in tijd of ruimte
2.5.3	**Groen beperkt het zicht en/of de zichtbaarheid**	I-05 Groenvoorziening aanpassen (aanplanten, verplaatsen, weghalen, snoeien)
2.5.4	**Voetpad is niet geschikt voor fietsers jonger dan 9 jaar met fietswiel tot diameter 50 cm**	I-06 Voet- en fietspaden obstakelvrij maken I-31 Voetpad aanpassen volgens normen in Vademecum voetgangersvoorzieningen

Nr. probleem	Probleem	Maatregel – Verwijzing naar fiche
2.5.5	**Voetgangersroutes naar school zijn niet aangepast aan kinderen**	I-07 Schoolroutes veilig en kindgericht inrichten
2.6	**Er is geen verkeersveilige voetgangersroute**	
2.6.1	**Route over het gehele traject (woon-schoolverkeer als voetganger)**	I-07 Schoolroutes veilig en kindgericht inrichten I-31 Voetpad aanpassen volgens normen in Vademecum Voetgangersvoorzieningen I-48 Natuurlijke looproutes in kaart brengen en de infrastructuur erop afstemmen I-49 Veilige doorsteek realiseren E-05 Schoolroutekaart aanmaken en verspreiden Zie ook Schoolvervoerplan (2.2.3 Schoolvervoerplan) E-12 Fiets- en/of voetpool organiseren
2.6.2	**Route over deel van het traject (woon-schooltraject gedeeltelijk als voetganger na of voor auto of OV)**	I-02 Oversteek beschermen of verlaten I-31 Voetpad aanpassen volgens normen in Vademecum voetgangersvoorzieningen I-45 Doorlopend trottoir aanleggen I-48 Natuurlijke looproutes in kaart brengen en de infrastructuur erop afstemmen I-49 Veilige doorsteek realiseren 0-04 Toegankelijkheidsanalyse uitvoeren E-13 Een begeleide rij organiseren
2.7	**Voetgangers kunnen niet veilig oversteken**	E-01 Gemachtigd opzichter inschakelen
2.7.1	**... door geen of onveilige oversteekplaats**	I-22 Schooltoegang verplaatsen I-45 Doorlopend trottoir aanleggen Oversteekplaatsen verbreden (waardoor oversteekcapaciteit toeneemt) I-01 Voetgangersoversteekplaatsen aanleggen of verplaatsen I-46 Geleidende en beschermende infrastructuur aanbrengen I-35 Opstelruimte voor wachtenden vergroten I-51 Rijbaan (visueel) versmallen
2.7.1.1	**... want oversteek is te lang**	I-02 Oversteek beschermen of verkorten
2.7.1.2	**frequentie of duur van groen voetgangerslicht is onvoldoende**	I-27 Verkeerslichten aanpassen
2.7.2	**... door andere weggebruikers**	I-52 Verticale snelheidsremmers aanleggen I-53 Horizontale snelheidsremmers aanleggen I-59 Snelheid verlagen

Nr. probleem	Probleem	Maatregel – Verwijzing naar fiche
2.7.2.1	**... op kruispunt**	I-30 Aandachtspunten voor kruispunten die onveilig zijn door niet-conflictvrij (afslaand) verkeer
2.7.2.2	**... omdat voetgangers niet goed te zien zijn door aankomend verkeer**	I-09 Zebrapaden en fietsoversteken verlichten, I-11 Accentverlichting bij schooltoegang aanbrengen I-24 Aandachtstrekkers aanbrengen
2.7.2.3	**... op eigen bedding voor tram en/of bus - op bijzonder overrijdbare bedding**	I-55 Voor voetgangers en fietsers de oversteekbaarheid van bus- en traminfrastructuur verhogen
2.7.2.4	**... door hoge verkeersintensiteit**	I-56 Een ongelijkvloerse kruising (tunnel of brug) aanleggen H-03 Politioneel toezicht bij circulatieproblemen en hoge verkeersintensiteiten E-01 Gemachtigd opzichter inschakelen
2.7.2.5	**... door parkeerproblemen**	I-04 Foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan fysiek tegengaan I-51 Rijbaan (visueel) versmallen
2.7.3	**voetgangers ontbreken vaardigheid om over te steken**	E-10 Kinderen leren veilig over te steken
2.8	**Obstakels op de oversteekvoorziening**	H-03 Politioneel toezicht bij circulatieproblemen en hoge verkeersintensiteiten Oversteekplaatsen paalvrij houden (verkeerslichten, verlichting, katafoot) I-57 Verlaagde boordsteen voorzien 0-04 Toegankelijkheidsanalyse uitvoeren
2.9	**Voetgangers respecteren/kennen de Wegcode niet**	E-12 Fiets- en/of voetpool organiseren E-15 Een verkeerseducatieve route (vero) opmaken en gebruiken E-19 Fietsen en stappen stimuleren
2.9.1	**... plaats op de weg**	H-05 Zachte weggebruikers wijzen op de Wegcode E-14 Voetgangerstraining en -kennis E-04 Kinderen en jongens veilig leren stappen en fietsen in groep
2.9.2	**... negeren van signalisatie**	H-05 Zachte weggebruikers wijzen op de Wegcode E-14 Voetgangerstraining en -kennis
2.10	**Voetgangers zijn onvoldoende verkeersvaardig**	E-12 Fiets- en/of voetpool organiseren E-15 Een verkeerseducatieve route (vero) opmaken en gebruiken E-19 Fietsen en stappen stimuleren
2.10.1	**... om over te steken**	E-10 Kinderen leren veilig over te steken

Nr. probleem	Probleem	Maatregel – Verwijzing naar fiche
2.11	**Leerlingen gaan te weinig te voet naar school**	E-19 Fietsen en stappen stimuleren E-12 Fiets- en/of voetpool organiseren E-05 Schoolroutekaart aanmaken en verspreiden
3.	**Problemen i.v.m. FIETSERS**	
3.1	**Geen of onvoldoende plaats voor fietsers**	I-58 Fietspad aanpassen I-42 Verkeerscirculatie verbeteren I-22 Schooltoegang verplaatsen I-18 Gemengd verkeer invoeren I-59 Snelheid verlagen I-60 Aandachtspunten voor fietssuggestiestroken
3.1.1	**... door parkeerproblemen**	I-03 Het parkeren organiseren I-04 Foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan fysiek tegengaan
3.1.2	**... aan de schooltoegang (te veel leerlingen, ouders, ... op hetzelfde moment op dezelfde plek)**	0-01 Verschillende modi of leeftijdsgroepen spreiden in tijd of ruimte Schoolvervoerplan opstellen (Zie 2.2.3 Schoolvervoerplan) I-35 Opstelruimte voor wachtenden vergroten
3.1.3	**... door tijdelijke werfsituaties (verbouwingen, werken van nutsmaatschappijen, ...)**	Aandachtspunten bij werfsituaties (Zie Inspiratieboek Minder Hinder)
3.1.4	**... door bromfietsers op fietspad**	I-61 Bromfietsers (al dan niet) scheiden van fietsers
3.1.5	**... bij overgang eind fietspad naar gemengd verkeer**	I-62 Rugdekkingsmaatregelen en uitritconstructies voorzien
3.1.6	**... aan de verkeerslichten**	I-43 Opstelruimte voor fietsers creëren aan verkeerslichten
3.1.7	**Voetpad is niet geschikt voor fietsers jonger dan 9 jaar met fietswiel tot diameter 50 cm**	I-06 Voet- en fietspaden obstakelvrij maken I-31 Voetpad aanpassen volgens normen in Vademecum voetgangersvoorzieningen
3.1.8	**... in geval van bus**	Fietsers op busbaan. Zie 'busbaan' in begrippenlijst.
3.1.9	**... voor fietspoolers op woon-schoolroute**	I-63 Wachtplekken voor fiets(pool)groepjes inrichten op de weg naar school
3.2	**Slechte aanleg en/of materiaalkeuze van de fietsvoorziening**	I-58 Fietspad aanpassen I-06 Voet- en fietspaden obstakelvrij maken I-31 Voetpad aanpassen volgens normen in Vademecum voetgangersvoorzieningen 0-04 Toegankelijkheidsanalyse uitvoeren

Nr. probleem	Probleem	Maatregel – Verwijzing naar fiche
3.3	**Slecht onderhouden fietspaden**	I-36 Een gemeentelijk onderhoudsplan opstellen I-58 Fietspad aanpassen
3.3.1	**... door tijdelijke werfsituaties (verbouwingen, werken van nutsmaatschappijen, ...)**	Aandachtspunten bij werfsituaties (Zie Inspiratieboek Minder Hinder)
3.3.2	**... op trage wegen waar gefietst mag worden**	I-36 Een gemeentelijk onderhoudsplan opstellen
3.3.3	**... door vuil, sneeuw, ...**	I-36 Een gemeentelijk onderhoudsplan opstellen
3.4	**Obstakels op de fietsvoorziening**	
3.4.1	**Misbruik door andere (daar niet-thuishorende) weggebruikers**	
3.4.1.1	**... door foutparkeerders**	I-04 Foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan fysiek tegengaan I-46 Geleidende en beschermende infrastructuur aanbrengen H-02 Politioneel optreden bij foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan Sensibilsering van de ouders (zie www.verkeersouders.be – sensibiliserende acties)
3.4.1.2	**... door voetgangers op fietspad**	I-44 Trottoir en fietspad in verschillende kleuren en/of materiaal uitvoeren I-18 Gemengd verkeer invoeren
3.4.1.3	**... bij einde fietspad**	I-18 Gemengd verkeer invoeren I-62 Rugdekkingsmaatregelen en uitritconstructies voorzien
3.4.2	**Aanwezigheid van gestalde en foutgestalde fietsen, vuilniszakken, paaltjes, overhangende obstakels**	I-58 Fietspad aanpassen I-06 Voet- en fietspaden obstakelvrij maken I-23 Signalisatie aanpassen Aandachtspunten bij werfsituaties (Zie Inspiratieboek Minder Hinder)
3.4.2.1	**... door groen**	I-05 Groenvoorziening aanpassen (aanplanten, verplaatsen, weghalen, snoeien)
3.4.2.2	**... op schooldomein**	I-46 Geleidende en beschermende infrastructuur aanbrengen I-38 Binnen de school een route voorzien van en naar de (brom)fietsenstalling

Nr. probleem	Probleem	Maatregel – Verwijzing naar fiche
3.5	**Fietsers kunnen niet veilig oversteken**	I-22 Schooltoegang verplaatsen I-46 Geleidende en beschermende infrastructuur aanbrengen H-03 Politioneel toezicht bij circulatieproblemen en hoge verkeersintensiteiten E-01 Gemachtigd opzichter inschakelen E-11 Fietsers veilig leren fietsen op een kruispunt of rotonde
3.5.1	**... op de (fiets)oversteekplaats**	Fietsoversteken – Aandachtspunten: voorzichtig omspringen met (plaatsing) fietsoversteken (voorrang – geen voorrang) I-02 Oversteek beschermen of verkorten
3.5.1.1	**omdat ze niet genoeg opvallen**	I-09 Zebrapaden en fietsoversteken verlichten
3.5.1.2	**frequentie of duur van groen fietserslicht is onvoldoende**	I-27 Verkeerslichten aanpassen
3.5.1.3	**... door hoge verkeersintensiteiten**	I-56 Een ongelijkvloerse kruising (tunnel of brug) aanleggen
3.5.1.4	**....door foutparkeerders op de oversteekplaats**	I-04 Foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan fysiek tegengaan
3.5.2	**... door andere weggebruikers**	I-53 Horizontale snelheidsremmers aanleggen I-52 Verticale snelheidsremmers aanleggen I-59 Snelheid verlagen I-30 Aandachtspunten voor kruispunten die onveilig zijn door niet-conflictvrij (afslaand) verkeer
3.5.2.1	**... door tram**	I-55 Voor voetgangers en fietsers de oversteekbaarheid van bus- en traminfrastructuur verhogen
3.5.2.2	**... door slechte zichtbaarheid van fietsers**	I-09 Zebrapaden en fietsoversteken verlichten I-24 Aandachtstrekkers aanbrengen
3.6	**Fietsenstallingen**	
3.6.1	**Onmogelijk om fiets veilig, snel en/of comfortabel te stallen**	I-10 Aandachtspunten voor fietsenstallingen I-41 Andere schooltoegang voorzien voor fietsers en/of bromfietsers
3.6.1.1	**... aan de schooltoegang (te veel leerlingen, ouders, ... op hetzelfde moment op dezelfde plek)**	0-01 Verschillende modi of leeftijdsgroepen spreiden in tijd of ruimte
3.6.2	**Slechte locatie van de fietsenstallingen**	I-20 Fietsenstalling of bromfietsenstalling verplaatsen I-38 Binnen de school een route voorzien van en naar de (brom)fietsenstalling

Nr. probleem	Probleem	Maatregel – Verwijzing naar fiche
3.6.2.1	**Conflicten tussen fietsers onderling en/of tussen fietsers en voetgangers/bromfietsers**	O-01 Verschillende modi of leeftijdsgroepen spreiden in tijd of ruimte
3.7	**Te grote omrijfactor voor fietsers in de (onmiddellijke nabijheid van) de school**	I-42 Verkeerscirculatie verbeteren E-05 Schoolroutekaart aanmaken en verspreiden (zie ook 2.2.3 Schoolvervoerplan) I-49 Veilige doorsteek realiseren Fietsers op busbaan (zie 'busbaan' in begrippenlijst)
3.8	**Fietsers respecteren/kennen de Wegcode niet**	E-16 Fietsers het verkeersreglement bijbrengen Verkeersklassen voor fietsers (door politie) E-12 Fiets- en/of voetpool organiseren E-15 Een verkeerseducatieve route (vero) opmaken en gebruiken E-18 Fietsvaardigheidstraining organiseren E-19 Fietsen en stappen stimuleren
3.8.1	**Plaats op de weg**	H-05 Zachte weggebruikers wijzen op de Wegcode E-16 Fietsers het verkeersreglement bijbrengen E-04 Kinderen en jongeren veilig leren stappen en fietsen in groep
3.8.3	**... negeren van signalisatie**	E-16 Fietsers het verkeersreglement bijbrengen
3.9	**Fietsers worden gehinderd door openslaande portieren**	I-19 Aanliggende of vrijliggende fietspaden aanleggen I-58 Fietspad aanpassen Fiets- schoolroutekaart waarop stukken waarop het conflict zich voordoen worden aangeduid of waar alternatieven op zijn aangeduid H-03 Politioneel toezicht bij circulatieproblemen en hoge verkeersintensiteiten E-17 Fietsers hun plaats op de weg aanleren / Fietsers aanleren om anticiperend te fietsen
3.9.1	**In geval van fietspad**	Veiligheidsstrook (tussen parkeren en) fietspad vergroten
3.10	**Gewenste (verkeersveilige) fietsroute ontbreekt**	Realiseren van veilige fietsroutes E-05 Schoolroutekaart aanmaken en verspreiden E-12 Fiets- en/of voetpool organiseren E-19 Fietsen en stappen stimuleren
3.10.1	**door tweerichtingsfietspad**	I-28 Aandachtspunten voor tweerichtingsfietspaden
3.11	**Fietsvoorziening is niet 'kindvriendelijk', niet aangepast aan de leefwereld van de doelgroep**	O-01 Verschillende modi of leeftijdsgroepen spreiden in tijd of ruimte Zie Infrastructuurmaatregelen I-46 Geleidende en beschermende infrastructuur aanbrengen I-05 Groenvoorziening aanpassen (aanplanten, verplaatsen, weghalen, snoeien) I-02 Oversteek beschermen of verkorten

Nr. probleem	Probleem	Maatregel – Verwijzing naar fiche
3.11.1	**Voetpad is niet geschikt voor jonge fietsers met kleine wielen**	I-06 Voet- en fietspaden obstakelvrij maken, I-31 Voetpad aanpassen volgens normen in Vademecum voetgangersvoorzieningen
3.11.2	**In geval van fietsoversteek**	Fietsoversteken – Aandachtspunten: voorzichtig omspringen met (plaatsing) fietsoversteken (voorrang – geen voorrang)
3.11.3	**Impulsief gedrag van kinderen en jongeren (kinderen lopen straat op, ...)**	Zie maatregelen bij probleem 1.1
3.12	**Fietsers zijn onvoldoende fietsvaardig (technisch en verkeersvaardig)**	E-18 Fietsvaardigheidstraining organiseren E-11 Fietsers veilig leren fietsen op een kruispunt of rotonde E-12 Fiets- en/of voetpool organiseren E-15 Een verkeerseducatieve route (vero) opmaken en gebruiken E-19 Fietsen en stappen stimuleren
3.13	**Leerlingen gaan te weinig met de fiets naar school**	E-19 Fietsen en stappen stimuleren E-12 Fiets- en/of voetpool organiseren E-05 Schoolroutekaart aanmaken en verspreiden E-18 Fietsvaardigheidstraining organiseren
3.14	**Fiets en/of fietser hebben geen veilige uitrusting**	E-29 Kinderen en ouders sensibiliseren om een fietshelm te dragen E-08 Fietsers stimuleren om fietsverlichting te gebruiken wanneer nodig E-07 Fietsers en voetgangers stimuleren om opvallende kledij en fluoreflecterend materiaal te dragen E-30 Fietscontrole op school
4.	**Specifieke problemen OPENBAAR VERVOER en ander GEMEENSCHAPPELIJK VERVOER**	
4.1	**Onaangepaste breedte van de rijbaan**	
4.1.1	**te smal of te breed**	Zie Vademecum Veilige Wegen en Kruispunten
4.1.2	**In bochten: bus kan niet goed draaien of bus/tram komt tijdens draaien in conflict met andere weggebruikers**	I-50 Rijbaan geschikt maken (en houden) voor openbaar vervoer
4.2	**Halteproblemen**	
4.2.1	**Er is geen halte (waardoor er van ongewenste modi gebruik gemaakt wordt)**	Overleg met De Lijn (zie contactgegevens)

Nr. probleem	Probleem	Maatregel – Verwijzing naar fiche
4.2.10	**Slecht onderhouden haltevoorziening**	I-36 Een gemeentelijk onderhoudsplan opstellen O-03 Onderhoud van de haltevoorzieningen voor het openbaar vervoer Aandachtspunten bij werfsituaties (Zie Inspiratieboek Minder Hinder) Borstelen, sneeuw ruimen en strooien
4.2.2	**Er is geen veilige halte binnen loopafstand naar/van de schooltoegang**	Overleg met De Lijn (zie contactgegevens) E-13 Een begeleide rij organiseren
4.2.3	**Aangeboden diensten zijn niet afgestemd op de schooluren / Er stopt geen bus of tram op het juiste moment**	O-02 Busuren afstemmen op schooluren
4.2.4	**Het openbaarvervoeraanbod is niet gekend**	E-20 Scholieren en ouders informeren over het openbaarvervoeraanbod
4.2.5	**Halte is onveilig omdat bus niet veilig in en uit de haltehaven kan manoeuvreren**	I-47 Openbaarvervoerhalte verplaatsen/herschikken naar een veilige locatie
4.2.6	**Halte is onveilig want wachtzone is te klein om aantal op- of afstappende scholieren op te vangen**	I-47 Openbaarvervoerhalte verplaatsen/herschikken naar een veilige locatie
4.2.7	**Halte is onveilig door onveilige looproute van/naar halte is onveilig**	Zie maatregelen bij probleem 2.6.2.
4.2.8	**Halte is onveilig door slechte locatie**	I-47 Openbaarvervoerhalte verplaatsen/herschikken naar een veilige locatie
4.2.9	**m.b.t. halteaanleg**	
4.2.9.1	**Slechte halteaanleg (plan/materiaalkeuze/uitvoering)**	I-54 Openbaarvervoerhalte goed toegankelijk maken
4.3	**Geen of geen aangepaste halteuitrusting (schuilhuisje, ...)**	Als het schuilhuisje niet voldoet, kan de gemeente (zij is verantwoordelijk voor de uitrusting van de halten op haar domein) een nieuw schuilhuisje plaatsen. Zij kan daarvoor samenwerken met een privéreclamebureau (ClearChannel, JCDecaux), gebruikmaken van de gesubsidieerde schuilhuisjes van het Vlaams Gewest of een schuilhuisje 'eigen ontwerp' plaatsen. Schuilhuisje opnemen in concessie
4.4	**Opstappers/afstappers worden gehinderd**	

Nr. probleem	Probleem	Maatregel – Verwijzing naar fiche
4.4.1.	**Misbruik door andere (daar niet thuishorende) weggebruikers op de bushaven / tramsporen**	Hier kan men politioneel tegen optreden of in eerste instantie educatieve acties organiseren vanuit de school.
4.4.1.1	**... door foutparkeerders (auto's, ...)**	Duidelijk aangeven dat er een parkeerverbod geldt 15 m voor en 15 m na het haltebord, met een bord op een paal of aan het schuilhuisje. I-47 Openbaarvervoerhalte verplaatsen/herschikken naar een veilige locatie
4.4.1.2	**... door fietsers en bromfietsers**	I-44 Trottoir en fietspad in verschillende kleuren en/of materiaal uitvoeren
4.4.1.3	**... door obstakels op het voetpad**	I-06 Voet- en fietspaden obstakelvrij maken
4.4.2	**Obstakels op het perron**	Typeplans 'De Lijn'
4.5	**Geen of geen veilige (comfortabele) parkeervoorziening voor bussen leerlingenvervoer**	Betere wachtplaats voor bussen – Overleg met wijk, lokaal overheid, school over locatie Analyse maken van frequentie en nood I-29 Kiss&Ride-strook voorzien E-13 Een begeleide rij organiseren
4.6	**Bestuurders van het OV en ander gemeenschappelijk vervoer respecteren de Wegcode niet**	
4.6.1	**Onaangepaste snelheid**	H-06 Bemande snelheidscontroles uitvoeren in de schoolomgeving met medewerking van leerlingen H-07 Snelheidscontrole uitvoeren in de schoolomgeving (zone 30)
4.7	**Passagiers van het OV vertonen ongewenst gedrag**	E-22 Respect bijbrengen aan openbaarvervoergebruikers Politioneel optreden
5.	**Specifieke problemen BROMFIETSERS**	
5.1	**Geen of onvoldoende plaats voor bromfietsers**	I-18 Gemengd verkeer invoeren I-22 Schooltoegang verplaatsen I-41 Andere schooltoegang voorzien voor fietsers en/of bromfietsers I-59 Snelheid verlagen I-61 Bromfietsers (al dan niet) scheiden van fietsers
5.1.1	**... door parkeerproblemen**	I-03 Het parkeren organiseren I-04 Foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan fysiek tegengaan

Nr. probleem	Probleem	Maatregel – Verwijzing naar fiche
5.1.2	**... aan de schooltoegang (te veel leerlingen, ouders, ... op hetzelfde moment op dezelfde plek)**	O-01 Verschillende modi of leeftijdsgroepen spreiden in tijd of ruimte
5.1.3	**... door tijdelijke werfsituaties (verbouwingen, werken van nutsmaatschappijen, ...)**	Aandachtspunten bij werfsituaties (Zie Inspiratieboek Minder Hinder)
5.1.4	**... bij overgang eind fietspad naar gemengd verkeer**	I-40 Voor bromfietsers een overgang creëren van rijbaan naar fietspad en van fietspad naar rijbaan I-62 Rugdekkingsmaatregelen en uitritconstructies voorzien
5.1.5	**... Bromfietsers klasse A**	I-42 Verkeerscirculatie verbeteren
5.2	**Slechte aanleg en/of materiaalkeuze**	
5.2.1	**... op fietspad dat de bromfietser gebruikt**	Zie maatregelen bij probleem 3.2
5.2.2	**.. op rijbaan die de bromfietser gebruikt**	Zie maatregelen bij probleem 6.2
5.2.3	**Gladheid door markering of rioolddeksel**	Zie Vademecum Motorrijdersvoorzieningen
5.2.4	**Aanleg houdt geen rekening met overgang van rijbaan naar fietspad of van fietspad naar rijbaan**	I-40 Voor bromfietsers een overgang creëren van rijbaan naar fietspad en van fietspad naar rijbaan I-62 Rugdekkingsmaatregelen en uitritconstructies voorzien
5.3	**Slecht onderhouden rijbaan/ fietspad**	I-36 Een gemeentelijk onderhoudsplan opstellen I-58 Fietspad aanpassen Aandachtspunten bij werfsituaties (Zie Inspiratieboek Minder Hinder)
5.3.1	**... door vuil, sneeuw, ...**	I-36 Een gemeentelijk onderhoudsplan opstellen
5.4	**Obstakels op de bromfietsvoorziening**	
5.5	**Bromfietsers kunnen niet veilig oversteken**	
5.5.1	**... indien op fietspad**	Zie maatregelen bij probleem 3.5.1
5.5.2	**... op fietsoversteekplaats**	Zie maatregelen bij probleem 3.5.2

Nr. probleem	Probleem	Maatregel – Verwijzing naar fiche
5.5.3	**... op de (fiets)oversteekplaats**	Fietsoversteken – Aandachtspunten: voorzichtig omspringen met (plaatsing) fietsoversteken (voorrang – geen voorrang)
5.6	**Bromfietsenstallingen**	
5.6.1	**Onmogelijk om bromfiets veilig, snel en/of comfortabel te stallen**	I-39 Aandachtpunten voor bromfietsstallingen
5.6.2	**Slechte locatie van de bromfietsenstalling**	I-20 Fietsenstalling of bromfietsenstalling verplaatsen I-38 Binnen de school een route voorzien van en naar de (brom)fietsenstalling
5.6.2.1	**Conflicten tussen bromfietsers onderling en/of bromfietsers en fietsers/voetgangers**	O-01 Verschillende modi of leeftijdsgroepen spreiden in tijd of ruimte
5.7	**Te grote omrijfactor voor bromfietsers in de (onmiddellijke nabijheid van) de school**	I-42 Verkeerscirculatie verbeteren E-05 Schoolroutekaart aanmaken en verspreiden Schoolvervoerplan (Zie 2.2.3 Schoolvervoerplan) I-49 Veilige doorsteek realiseren
5.8	**Bromfietsers respecteren/kennen de Wegcode niet (rijden te snel, zijn niet in orde met verlichting, dragen helm niet, rijden onverzekerd, ...)**	H-08 Bromfietscontroles uitvoeren in de schoolomgeving Verkeersklas voor bromfietsers (door politie) E-23 Bromfietsers de Wegcode leren respecteren
5.8.1	**Rijden te snel**	H-06 Bemande snelheidscontroles uitvoeren in de schoolomgeving met medewerking van leerlingen H-07 Snelheidscontrole uitvoeren in de schoolomgeving (zone 30)
5.8.2	**Plaats op de weg**	H-05 Zachte weggebruikers wijzen op de Wegcode
5.9	**Bromfietsers worden gehinderd door openslaande deuren**	I-03 Het parkeren organiseren, I-19 Aanliggende of vrijliggende fietspaden aanleggen
5.10	**Bromfietsers zijn onvoldoende bromfietsvaardig (technisch en verkeersvaardig)**	E-24 Bromfietsvaardigheidstraining
5.11	**Bromfietsers dragen geen veilige uitrusting**	E-25 Bromfietsers sensibiliseren om een veilige uitrusting te dragen
6.	**Specifieke problemen AUTOBESTUURDERS en AUTOPASSAGIERS**	
6.1	**Onaangepaste breedte van de rijbaan (te breed, te smal, ...)**	

Nr. probleem	Probleem	Maatregel – Verwijzing naar fiche
6.1.1	te breed	I-51 Rijbaan (visueel) versmallen I-59 Snelheid verlagen
6.1.2	te smal	I-42 Verkeerscirculatie verbeteren I-03 Het parkeren organiseren
6.2	Slecht onderhouden rijbaan	I-36 Een gemeentelijk onderhoudsplan opstellen I-58 Fietspad aanpassen Aandachtspunten bij werfsituaties (Zie Inspiratieboek Minder Hinder) Sneeuw ruimen en strooien.
6.3	Te hoge autodruk in de schoolomgeving	I-37 Wegencategorisering opstellen of aanpassen I-42 Verkeerscirculatie verbeteren I-22 Schooltoegang verplaatsen Met (betere) bewegwijzering verkeer dat niet in schoolomgeving moet zijn uit schoolomgeving houden E-19 Fietsen en stappen stimuleren
6.4	Autobestuurders en/of autopassagiers respecteren/kennen de Wegcode niet	E-28 Rijbewijs op school
6.4.1	Onaangepaste snelheid	H-06 Bemande snelheidscontroles uitvoeren in de schoolomgeving met medewerking van leerlingen H-07 Snelheidscontrole uitvoeren in de schoolomgeving (zone 30) I-53 Horizontale snelheidsremmers aanleggen I-52 Verticale snelheidsremmers aanleggen E-21 Verkeerscoaches E-26 Automobilisten sensibiliseren rond snelheid I-34 Weg als vaste zone 30 inrichten
6.4.2	Foutparkeren	H-02 Politioneel optreden bij foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan
6.4.2.1	Foutparkeren op halteplaatsen, sporen van het ov	Handhaving door controleurs van De Lijn. Neem contact op met provinciale entiteit van De Lijn voor cijfers of acties.
6.4.3	Kinderen en jongeren maken geen of onjuist gebruik van de veiligheidsgordel en/of kinderbeveiligingssysteem.	H-09 Beveiligingssystemen controleren (gordeldracht, kinderzitjes)
6.4.4	Kinderen en jongeren maken geen of onjuist gebruik van de veiligheidsgordel en/of kinderbeveiligingssysteem.	E-27 Sensibilisering over gordeldracht en kinderbeveiligingssysteem
6.5	Autoparkeerproblemen	

Nr. probleem	Probleem	Maatregel – Verwijzing naar fiche
6.5.1	Onaangepast parkeeraanbod (tijdsduur, plaatsen,...)	
6.5	Autoparkeerproblemen	
6.5.1	Onaangepast parkeeraanbod (tijdsduur, plaatsen,...)	Zie Vademecum Duurzaam parkeerbeleid Sensibilisering leerkrachten en directie (zie 2.2.3 Schoolvervoerplan) E-21 Verkeerscoaches H-02 Politioneel optreden bij foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan Infrastructurele noden inwilligen van educatieve en sensibiliserende acties rond parkeren
6.5.2	Slechte inplanting van parkeerplaatsen en/of Kiss&Ride	I-03 Het parkeren organiseren I-29 Kiss&Ride-strook voorzien Hoe kinderen tot bij wachtende ouders (STOP-lossen of persoon inschakelen om in- en uitstappen te regelen als een soort parkeerwachter)
6.5.3	Foutparkeren	H-02 Politioneel optreden bij foutief, gevaarlijk of hinderlijk parkeren of stilstaan
7.	Specifieke problemen VRACHTWAGENS	
7.1	Aanwezigheid (te hoge druk) van vrachtwagens in de schoolomgeving	Wegencategorisering/mobiliteitsplan m.b.t. vrachtwagens
7.1.1	lokaal	Bereikbaarheidsroutes naar bedrijven uitwerken E-05 Schoolroutekaart aanmaken en verspreiden
7.1.2	Doorgaand	Tonnagebeperking (met uitgezonderd plaatselijk verkeer) om doorgaand vrachtverkeer te weren
7.2	Vrachtwagenbestuurders respecteren/kennen de Wegcode niet	
7.2.1	Onaangepaste snelheid	H-06 Bemande snelheidscontroles uitvoeren in de schoolomgeving met medewerking van leerlingen H-07 Snelheidscontrole uitvoeren in de schoolomgeving (zone 30)
7.3	Dode hoek	E-09 Sensibilisering rond dode hoek
7.3.1	... aan de schooltoegang (te veel leerlingen, ouders, ... op hetzelfde moment op dezelfde plek)	O-01 Verschillende modi of leeftijdsgroepen spreiden in tijd of ruimte