



Rapport nr. 2020 - R - 04 - NL

3D voetgangersoversteekplaatsen

Evaluatiestudie aan de hand van gedrags- en conflictobservatie en snelheidsmetingen

AGENTSCHAP
WEGEN & VERKEER

3D voetgangersoversteekplaatsen

Evaluatiestudie aan de hand van gedrags- en conflictobservatie en snelheidsmetingen

Auteurs: Tim De Ceunynck, Brecht Pelssers, Stijn Daniels, Philip Temmerman en Heike Martensen
Verantwoordelijke uitgever: Karin Genoe
Uitgever: Vias institute – Kenniscentrum Verkeersveiligheid
Publicatiedatum: 31/03/2020
Wettelijk depot: D/2020/0779/7
Gelieve naar dit document te verwijzen als volgt: De Ceunynck, T., Pelssers, B., Daniels, S., Temmerman, P. & Martensen, H. (2020). 3D voetgangersoversteekplaatsen – Evaluatiestudie aan de hand van gedrags- en conflictobservatie en snelheidsmetingen, Brussel, België: Vias institute – Kenniscentrum Verkeersveiligheid

Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van het Agentschap Wegen en Verkeer.

Voorwoord/Dankwoord

Dit rapport beschrijft de resultaten van een evaluatiestudie van het proefproject "3D-zebrapaden", uitgevoerd door Vias institute in opdracht van het Agentschap Wegen en Verkeer. De auteurs willen de opdrachtgever bedanken voor het vertrouwen. Daarnaast willen wij nog een aantal personen bedanken in het bijzonder:

- Yves De Beleyr, die optrad als projectleider vanuit het Agentschap Wegen en Verkeer, voor de begeleiding en praktische ondersteuning bij de uitvoering van deze studie.
- De overige werkgroepleden vanuit het Agentschap Wegen en Verkeer die feedback gaven tijdens de tussentijdse overlegmomenten en op het ontwerp-rapport, met name Claudia Juvyns, Paul Bossuyt, Isabelle Bouquet, Steffen Briers en Johan Dalins.
- Marc Broeckaert van Vias institute voor de interne review van het rapport.
- De lokale afdelingen van het Agentschap Wegen en Verkeer en de betrokken gemeentes voor de toelating om de nodige data op het terrein te verzamelen.
- De lokale politiezones voor het aanleveren van de ongevallendata.

Inhoudsopgave

Samenvatting 5
1 Inleiding 6
2 Achtergrond 7
2.1 Evolutie voetgangersveiligheid 7
2.2 Veiligheid op oversteekplaatsen 8
2.3 3D-zebrapaden 10
2.4 Toegepast ontwerp 11
3 Methodologie 13
3.1 Proeflocaties 13
3.1.1 Eigenbrakelse Steenweg in Beersel 13
3.1.2 Waterstraat in Bilzen 13
3.1.3 Sint-Bernardsesteenweg in Antwerpen 14
3.2 Dataverzameling 14
3.2.1 Ongevallendata 14
3.2.2 Verzameling data op terrein 14
3.3 Gedragsanalyse 17
3.4 Analyse van conflicten 18
4 Analyses en resultaten 21
4.1 Bevraging gemeentes over eerdere proefprojecten 21
4.2 Ongevalanalyse 21
4.2.1 Ongevalanalyse Beersel 21
4.2.2 Ongevalanalyse Bilzen 21
4.2.3 Ongevalanalyse Antwerpen 22
4.2.4 Conclusies ongevalanalyse 23
4.3 Analyse snelheidsmetingen 23
4.3.1 Conclusies snelheidsanalyses 27
4.4 Analyses gedragsobservaties 27
4.4.1 Analyses voorrangsproces 27
4.4.2 Analyses looplijnen overstekende voetgangers 29
4.4.3 Conclusies gedragsobservatie 30
4.5 Analyses conflictobservaties 30
4.5.1 Conclusies conflictobservatie 32
5 Discussie 33
6 Conclusies & aanbevelingen 34
Tabellen- en figurenlijst 35
Referenties 36

Samenvatting

Het Agentschap Wegen en Verkeer (AWV) voerde in 2019 een proefproject uit waarbij op drie locaties de klassieke oversteekplaats is vervangen door een optische illusie van een '3D voetgangersoversteek' of '3D-zebrapad'. De proeflocaties bevinden zich op de Eigenbrakelse Steenweg (N231) in Beersel (Alsemberg), de Waterstraat (N730) in Bilzen (Munsterbilzen) en de Sint-Bernardsesteenweg (N148) in Antwerpen (Hoboken).

Dit rapport beschrijft de evaluatiestudie die Vias institute uitvoerde om te onderzoeken wat de verkeersveiligheidseffecten van een dergelijk '3D-zebrapad' zijn. De studie werd uitgevoerd als een voor- en nastudie, waarbij de nadruk lag op een gedrags- en conflictobservatiestudie op basis van camerabeelden, en een meting van het snelheidseffect op basis van snelheidsradars. Daarnaast werden ook de beschikbare ongevallendata van de proeflocaties bestudeerd en werden Belgische en Nederlandse gemeentes bevraagd die reeds ervaring hebben met 3D-zebrapaden.

Met behulp van tijdelijke camera's werden op elke locatie zowel voor als na de aanpassing van de oversteekplaats videobeelden verzameld gedurende vier dagen (van 6u 's morgens tot 22u 's avonds). Telkens werden het gedrag en de interacties van overstekende kwetsbare weggebruikers geregistreerd voor één dag met behulp van een voorgedefinieerd codeerformulier. Op elke locatie werd op de beelden van de vier dagen conflictobservatie uitgevoerd. De geautomatiseerde videoanalysesoftware "Road User Behaviour Analysis" (RUBA) werd gebruikt om op een efficiënte manier de oversteekbewegingen uit de ruwe videobeelden te halen. De conflictanalysesoftware T-Analyst werd gebruikt om de ernst van potentiële conflicten op een accurate en objectieve manier te meten. Hierbij werd gebruik gemaakt van twee conflictindicatoren: de minimale Time-to-Collision (TTCmin) en de Post Encroachment Time (PET). Per oversteekplaats werden ook drie snelheidsradars geplaatst. Een eerste radar werd geplaatst aan de oversteekplaats zelf, een tweede radar op 50m van de oversteekplaats, en een derde radar op 300m die diende als vergelijkingspunt.

De analyses van de radardata toonden geen statistisch significant effect van een 3D-zebrapad op de rijsnelheid. De (beperkte) verschillen die op sommige meetpunten werden gevonden tussen de voor- en na-periode zijn erg variabel en inconsistent, en lijken geen systematisch patroon aan te duiden.

Bij de resultaten van de gedragsobservaties zien we een lichte verbetering van het voorrangsgedrag na plaatsing van het 3D-zebrapad. Er is een toename in het percentage interacties waarin de overstekende voetganger voorrang krijgt, en een daling van het aantal interacties waarbij de voetganger de voorrang niet krijgt. Ook het aantal interacties waarbij de voetganger assertiever de voorrang neemt, daalt. Zowel de globale analyse voor de drie locaties samen als de analyse voor de locatie in Beersel afzonderlijk duiden op een statistisch significant effect van het 3D-zebrapad op het voorrangsproces (d.w.z. de manier waarop de weggebruikers met elkaar interageren). De aparte testen voor Bilzen en Antwerpen geven geen significant effect aan. Er is geen significant effect van het 3D-zebrapad op de gekozen looplijnen van de voetgangers.

De conflictobservatie vond in Beersel een statistisch significante daling van het aantal ernstige conflicten, in Bilzen een lichte, niet-significante daling en in Antwerpen een lichte, niet-significante stijging. De significantietest over de drie locaties heen geeft aan dat er geen significante daling is in het aantal ernstige conflicten tussen voor- en na-periode, hoewel de waarde kort tegen de grenswaarde voor statistische significantie aanleunt. Gezien de relatief lage aantallen conflicten, dienen de resultaten van de conflictobservatie in ieder geval met de nodige voorzichtigheid te worden geïnterpreteerd. Een opvallende vaststelling is dat de overgrote meerderheid van de conflicten plaatsvindt op de tweede (verste) rijstrook die de kwetsbare weggebruiker oversteekt.

Op basis van deze studie concluderen we dat er in ieder geval geen indicaties zijn dat een 3D-zebrapad negatieve effecten zou kunnen hebben op de onderzochte verkeersveiligheidsaspecten. Samengevat kunnen we stellen dat er enkele indicaties zijn dat 3D-zebrapaden mogelijk in beperkte mate een gunstig effect zouden kunnen hebben op de veiligheid van overstekende kwetsbare weggebruikers. De **gevonden effecten** zijn echter **te klein en te onzeker om te kunnen concluderen dat 3D-zebrapaden een positief effect hebben op de verkeersveiligheid. Daarom bevelen we de verdere uitrol van 3D-zebrapaden niet aan.**

1 Inleiding

Het Agentschap Wegen en Verkeer (AWV) voerde in 2019 een proefproject uit waarbij op drie locaties de klassieke oversteekplaats tijdelijk werd vervangen door een optische illusie van een '3D voetgangersoversteek'. Dit rapport beschrijft de evaluatiestudie die Vias institute uitvoerde om te onderzoeken wat de verkeersveiligheidseffecten van een dergelijke '3D voetgangersoversteek' (ook wel '3D-zebrapad') zijn.

De doelstelling die AWV stelt is dat bestuurders op deze manier het zebrapad beter opmerken en hun snelheid verminderen. Door de verhoogde alertheid van de bestuurder en de lagere snelheid van het voertuig zal de bestuurder een beter overzicht hebben op de verkeerssituatie, en meer bepaald op voetgangers die het zebrapad naderen of die zich reeds op het zebrapad bevinden.

De studie werd uitgevoerd als een voor- en nastudie, waarbij de nadruk lag op een gedrags- en conflictobservatiestudie op basis van camerabeelden, en een meting van het snelheidseffect op basis van radarmetingen. Daarnaast werden ook de beschikbare ongevallendata op de proeflocaties bestudeerd en werden Belgische en Nederlandse gemeenten bevraagd die reeds ervaring hebben met 3D-zebrapaden. De doelstelling is het evalueren van de verkeersveiligheidseffecten van 3D-zebrapaden, of met andere woorden, achterhalen of het omvormen van een klassiek zebrapad naar een 3D-zebrapad een ingreep is die de veiligheid van overstekende voetgangers verbetert. Deze doelstelling wordt verder verfijnd aan de hand van volgende onderzoeksvragen:

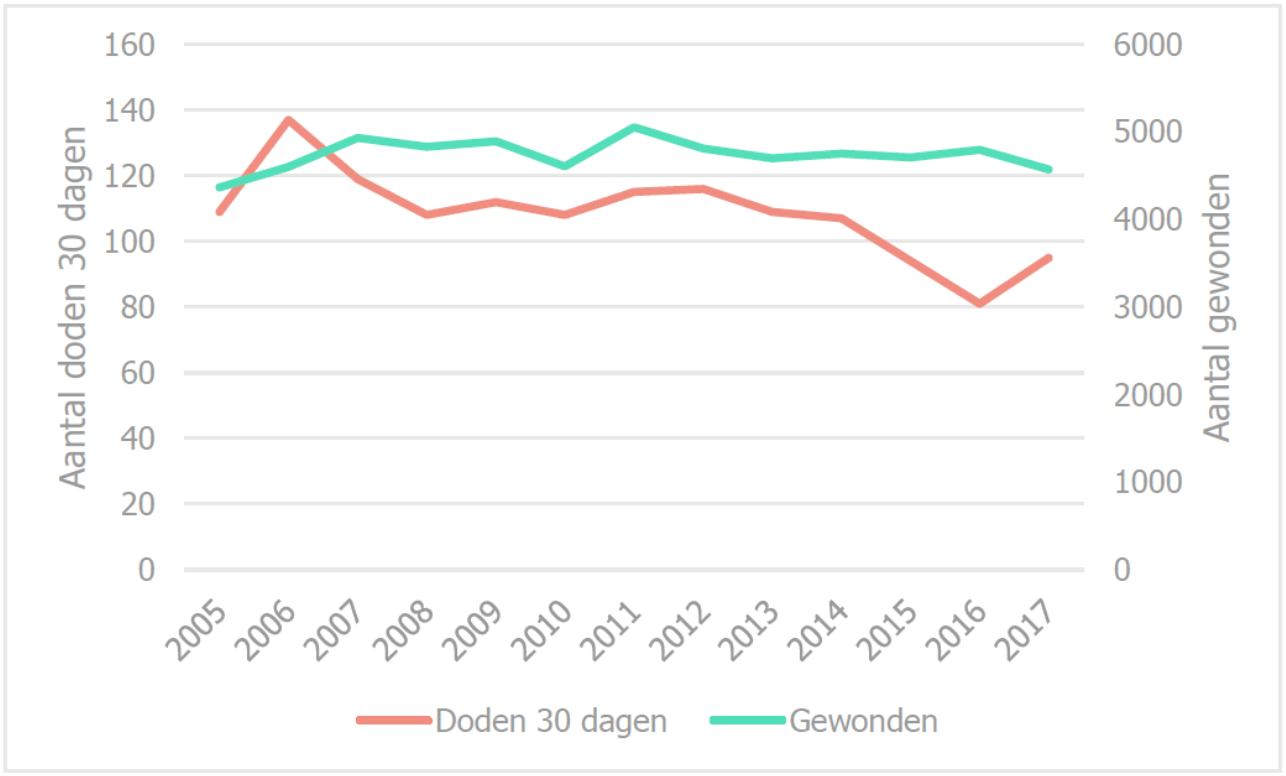
- Zorgt een 3D-zebrapad voor een verlaging van de rijsnelheid bij passerende voertuigen, in vergelijking met een klassiek zebrapad?
- Heeft een 3D-zebrapad een effect op de manier waarop interacties verlopen? Zorgt het 3D-zebrapad ervoor dat er beter voorrang verleend wordt door bestuurders aan voetgangers?
- Heeft een 3D-zebrapad een effect op het aantal en het type ernstige conflicten ("bijna-ongevallen") dat optreedt?

Hoofdstuk 2 bundelt de voor deze studie relevante literatuur en achtergrondinformatie. Hoofdstuk 3 beschrijft stap voor stap de gebruikte methodologie en de dataverzameling. Hoofdstuk 4 presenteert de resultaten van de analyses. Hoofdstuk 5 bevat een korte discussie van de resultaten en de studieopzet. Ten slotte hoofdstuk 6 de belangrijkste conclusies en aanbevelingen.

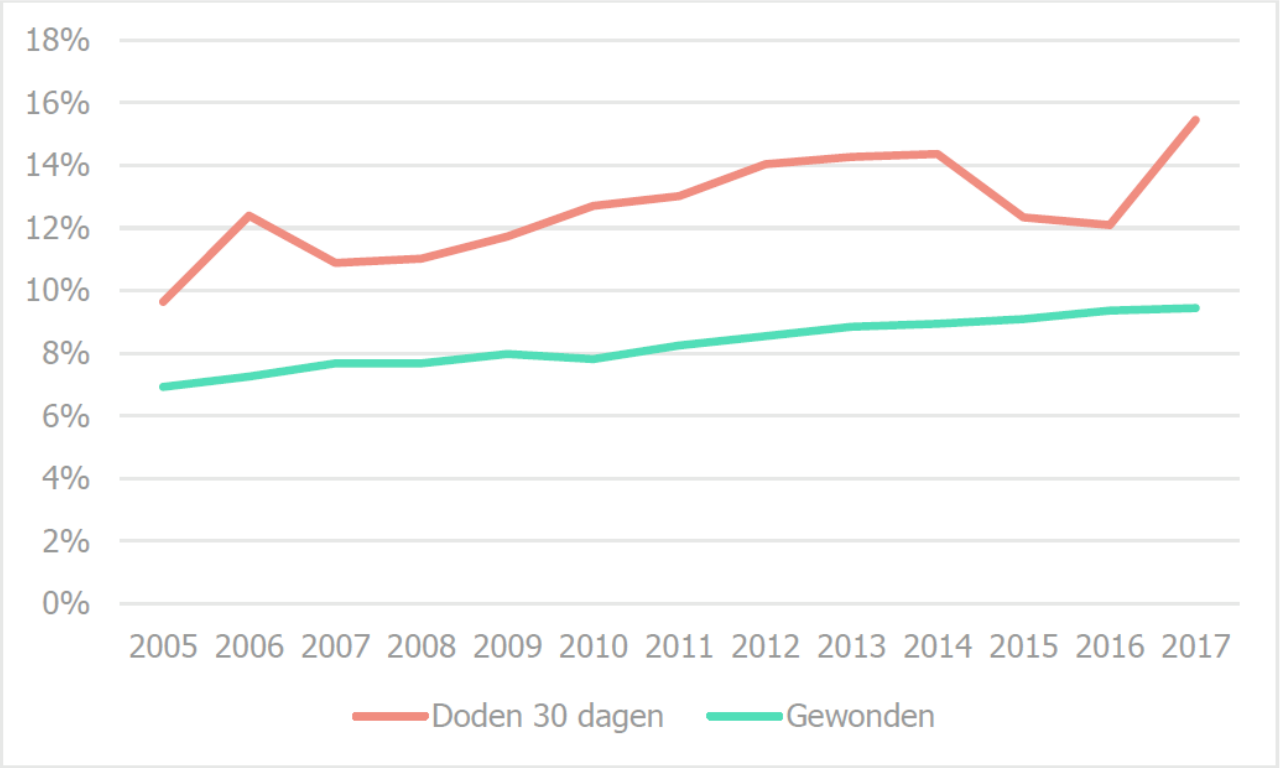
2 Achtergrond

2.1 Evolutie voetgangersveiligheid

Beleidsmakers zijn er zich van bewust dat voetgangers ernstige verkeersveiligheidsproblemen ondervinden. Het totale aantal verkeersdoden in België kent een algemeen dalende trend. Deze trend observeren we echter niet bij voetgangers (Pelssers, 2019). Figuur 1 toont de evolutie van het aantal voetgangersslachtoffers. Uit deze grafiek kunnen we afleiden dat de daling in het aantal dodelijk gewonde voetgangers tussen 2005 en 2017 beperkt was, en dat het aantal geregistreerde gewonde voetgangers niet daalde. Het gevolg daarvan is dat het aandeel voetgangers in het totale aantal verkeersslachtoffers een systematische stijging kent (zie Figuur 2).



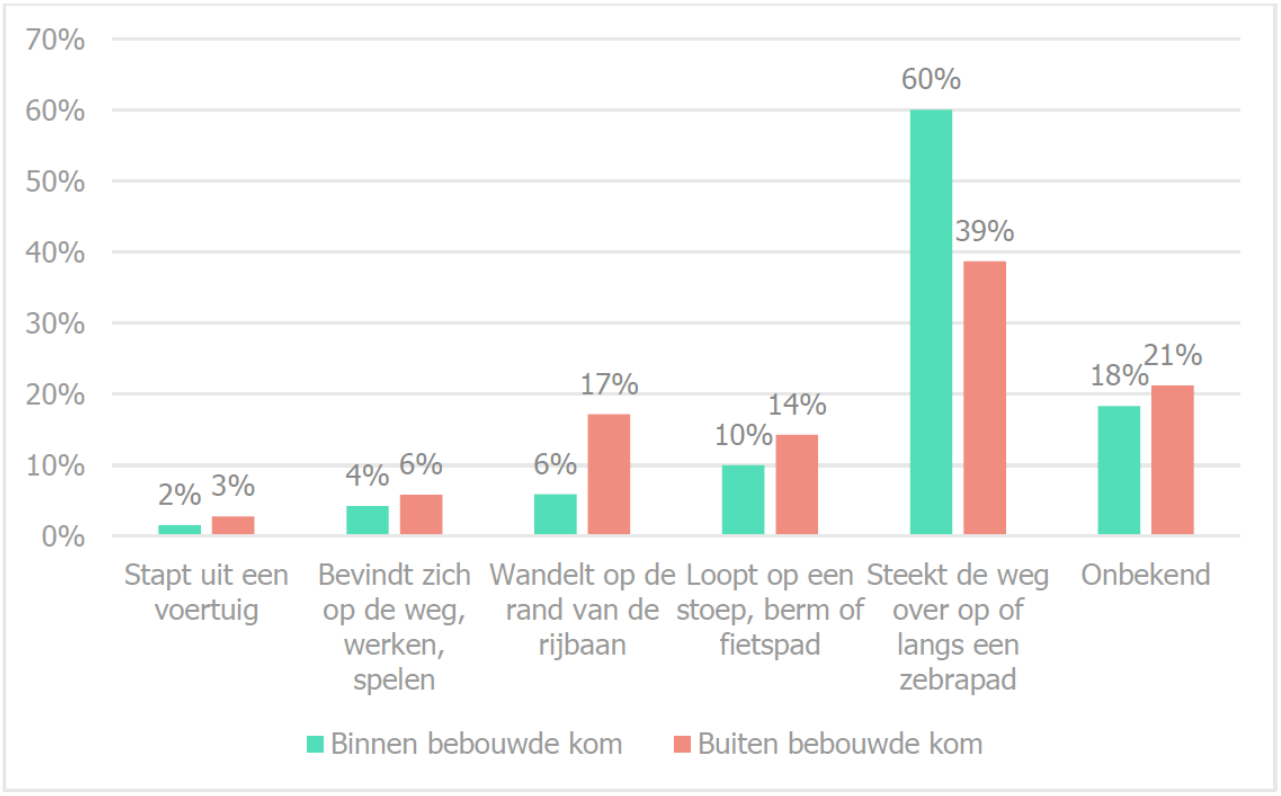
Figuur 1 Evolutie van het aantal voetgangersslachtoffers (dodelijk en gewond) – België – 2005-2017 (Bron: Statbel – Infografie Vias institute – overgenomen uit Pelssers (2019)).



Figuur 2 Evolutie van het aandeel voetgangers in het totaal aantal verkeersslachtoffers – België – 2005-2017 (Bron: Statbel – Infografie Vias institute – overgenomen uit Pelssers (2019)).

2.2 Veiligheid op oversteekplaatsen

Het oversteken van een weg blijft één van de meest risicovolle bewegingen in het verkeer voor een voetganger. In Figuur 3 is duidelijk te zien dat het grootste aandeel voetgangersongevallen plaatsvindt wanneer de voetganger de weg oversteekt (Pelssers, 2019). Oversteekplaatsen zijn dan ook potentiële risicolocaties voor ongevallen met voetgangers. Ongevallen met voetgangers worden geassocieerd met een gebrek aan het naleven van regels, waarbij bestuurders falen in het tijdig afremmen voor een voetganger (Mitman et al., 2010).



Figuur 3 Plaats van voetgangersongevallen volgens de positie van de voetganger – België – 2015-2017 (Bron: Statbel – Infografie Vias institute – overgenomen uit Pelssers (2019)).

De voetgangersveiligheid op zebrapaden hangt ook af van de snelheid van naderende voertuigen. Met een toename in snelheid, is de kans op een ongeval met een voetganger net als de kans op een dodelijke afloop ervan hoger (Kröyer et al., 2014; Pasanen, 1992; Rosén et al., 2011; Tefft, 2013; Várhelyi, 1998). Pasanen (1992) vond bijvoorbeeld dat bij een aanrijding met een voetganger aan een snelheid van 50km/u, het risico van een fataal ongeval ongeveer acht maal hoger ligt, vergeleken met een aanrijding aan 30km/u. Rosén et al. (2011) en Tefft (2013) kwamen tot gelijkaardige conclusies. De literatuur toont duidelijk aan dat zelfs een bescheiden reductie/toename aan snelheid een noemenswaardig effect kan hebben op de kans op een fataal ongeval en dus ook het aantal dodelijke ongevallen (Bella & Silvestri, 2015).

Tot op heden negeren veel bestuurders de vereisten met betrekking tot het verkeersreglement en rijden deze over de voetgangersoversteek zonder hun snelheid te verminderen (Burlov & Gomazov, 2018; Várhelyi, 1998). Het is een probleem dat ontstaat doordat bestuurders een zebrapadmarkering en bijhorende signalisatie niet als een mogelijke probleemsituatie of risicosituatie aanschouwen. Enkel de effectieve aanwezigheid van een voetganger zou de aanleiding zijn dat een bestuurder snelheid reduceert. Maar door de hogere snelheid kan er bij de plotse aanwezigheid van een voetganger een situatie ontstaan met een hoog ongevalsrisico (Burlov & Gomazov, 2018).

Naast hoge snelheid, het negeren van de verkeersregels en een adequate reactietijd van bestuurders kunnen ook voetgangers een aandeel hebben in voetgangersongevallen. Eerder onderzoek naar voetgangers toonde aan dat onder alle types weggebruikers, voetgangers de meest flexibele weggebruikers zijn die zeer snel kunnen reageren, maar dat deze ook het meest onvoorspelbaar en moeilijk controleerbaar zijn (Cambon de Lavalette et al., 2009; Jian et al., 2005). Een deel van de voetgangersongevallen wordt dan ook mede veroorzaakt door onvoorspelbaar gedrag en door overtredingen (Deb et al., 2017).

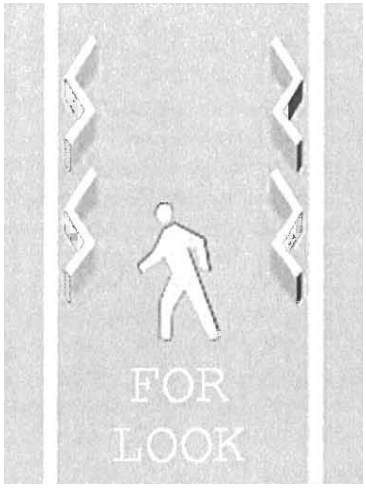
Volgens de literatuur zal de interactie tussen de voetganger en bestuurder bepaald worden door een aantal kenmerken van de voetganger (assertiviteit en risicoacceptatieniveau), parameters die gerelateerd zijn aan voertuigdynamica (voertuigsnelheid, afstand tot conflictpunt, maximaal comfortabele vertraging) en door de infrastructuur (Bella & Silvestri, 2015).

2.3 3D-zebrapaden

De duidelijke en acute problematiek van voetgangersongevallen in het algemeen en de veiligheid op oversteekplaatsen in het bijzonder heeft tot een toegenomen aandacht voor de veiligheid van overstekende voetgangers geleid. Gezien de beperkte beschikbaarheid van publieke middelen is er interesse in maatregelen die snel en aan een relatief beperkte kostprijs een bijdrage kunnen leveren aan het verbeteren van de veiligheid op oversteekplaatsen. Dit verklaart de interesse in het concept van 3D-zebrapaden.

De literatuur over het onderwerp 3D-zebrapaden is tot op heden zeer beperkt. 3D-zebrapaden zijn weliswaar occasioneel geïmplementeerd in verschillende landen (o.a. IJsland, India, Japan, Nieuw-Zeeland, enz.), maar de effecten van de maatregel werden nooit geëvalueerd op het terrein. Er doen veel positieve en negatieve ideeën over deze maatregel de ronde, gebaseerd op buikgevoel in plaats van op basis van solide empirische resultaten en bewijs aangezien er nog geen onderzoek is uitgevoerd dat daadwerkelijk de effecten van deze maatregel bestudeert. Sommige auteurs argumenteren dat 3D-zebrapaden geïmplementeerd worden om een sterke visuele impact uit te oefenen op de bestuurder, waardoor deze zal vertragen naarmate deze de oversteekvoorziening nadert (Mwesigwa, 2018; Nath, 2016). Ook kan het voetgangers aanmoedigen om het zebrapad te gebruiken (Beijing Review, 2017). Echter zijn er ook critici die aanhalen dat deze zebrapaden de aandacht net afleiden van de voetganger (Bhole, 2018; Surtees, 2017). Tevens zouden de zebrapaden ervoor kunnen zorgen dat voetgangers zich ongemakkelijk voelen voor of tijdens het oversteken (Surtees, 2017). Of zou het er net voor kunnen zorgen dat voetgangers zich veiliger voelen op de oversteekplaats en zich daardoor onveiliger gedragen door bijvoorbeeld assertiever hun voorrang te nemen of minder goed te kijken voor het oversteken. Dit is het gekende fenomeen van 'risicocompensatie' (Wilde, 1982). Daarnaast is er ook de mogelijkheid van een gewenningseffect, waarbij er kort na de aanleg van een 3D-zebrapad een effect is omdat bestuurders enigszins verrast zijn, maar waarbij de effecten na een tijd verminderen of verdwijnen omdat bestuurders gewend raken aan de optische illusie.

Cambridge (2012) bestudeerde twee oversteekplaatsen, waar men in eerste instantie de boodschap "Look for Pedestrians" markeerde op de rijbaan voor de oversteekplaats, en daar vervolgens 3D 'bliksemschicht' markeringen aan toevoegde (zie Figuur 4). De studie toonde aan dat de gemarkeerde boodschap in eerste instantie ertoe leidde dat het verlenen van de voorrang aan overstekende voetgangers verbeterde. De 3D-illusie slaagde er in eerste instantie in het voorrangsgedrag nog verder te verbeteren, maar na een tijdje verdween het (bijkomende) effect van de 3D-illusie.



Figuur 4 Markeringen toegepast in de studie van Cambridge (2012).

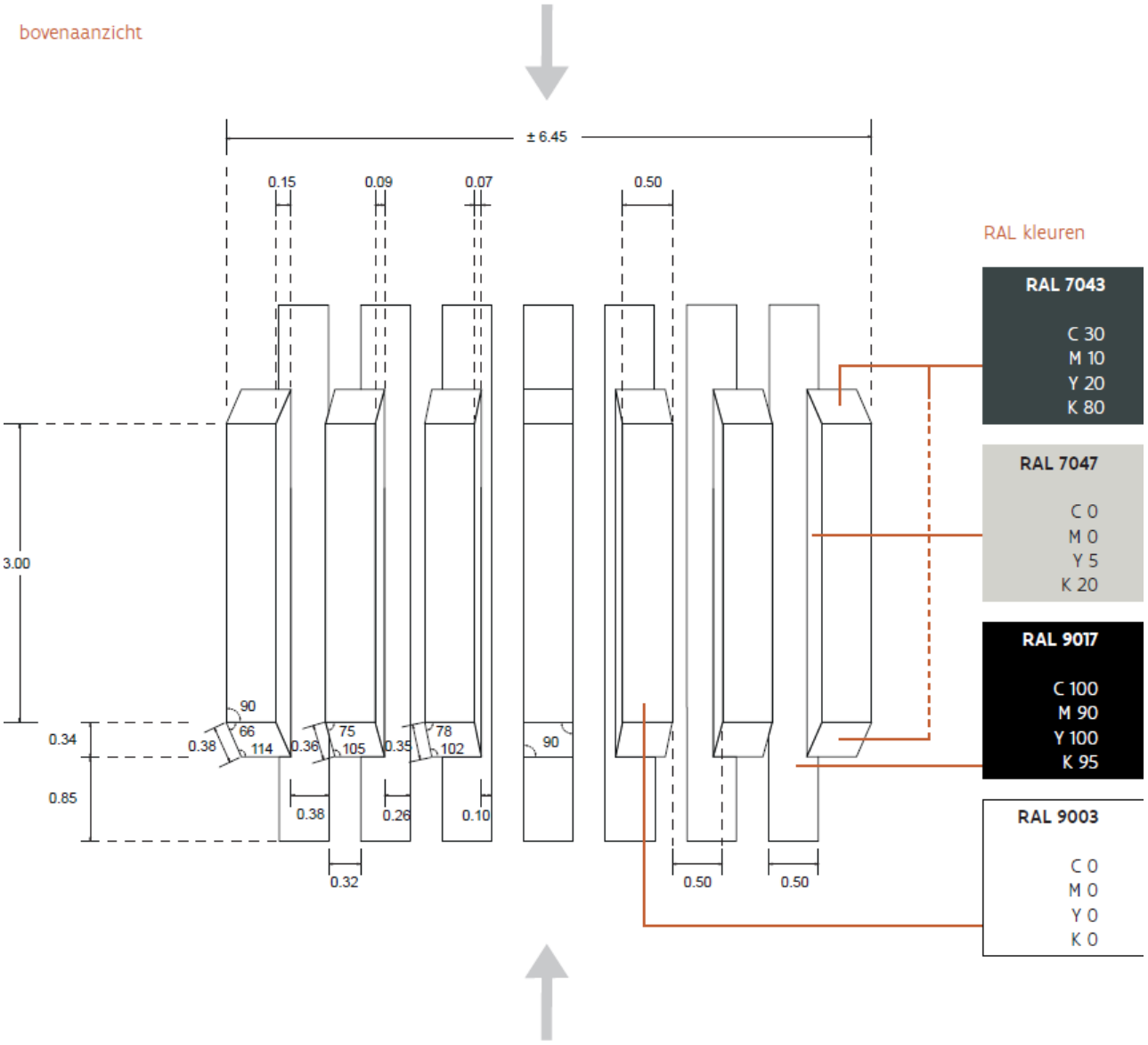
Trifunović et al. (2019) voerden een Virtual Reality experiment uit, waarbij participanten in een VR-bril een aantal optische illusies te zien kregen, waaronder 3D-zebrapaden. Er werd hen vervolgens gevraagd in welke mate men in een hypothetisch scenario geneigd was om te vertragen. De onderzoekers vonden een significant effect van 3D-zebrapaden op de geneigdheid om het voertuig te vertragen. De mate van realisme van de virtuele vorm hangt hierbij samen met de verkregen snelheidsreductie; bestuurders rapporteerden een sterkere snelheidsreductie wanneer er een hoger realisme werd ervaren.

Rebelo et al. (2018) bestudeerden de reactie van bestuurders aan diverse oversteekplaatsen aan de hand van een experiment met statische beelden, waaronder een aantal beelden met 3D-zebrapaden. Participanten moesten aangeven op basis van het statische beeld of ze dienden te vertragen/stoppen of niet. Ook hun reactietijd werd hierbij gemeten. De resultaten wijzen er op dat mensen een langere reactietijd hebben

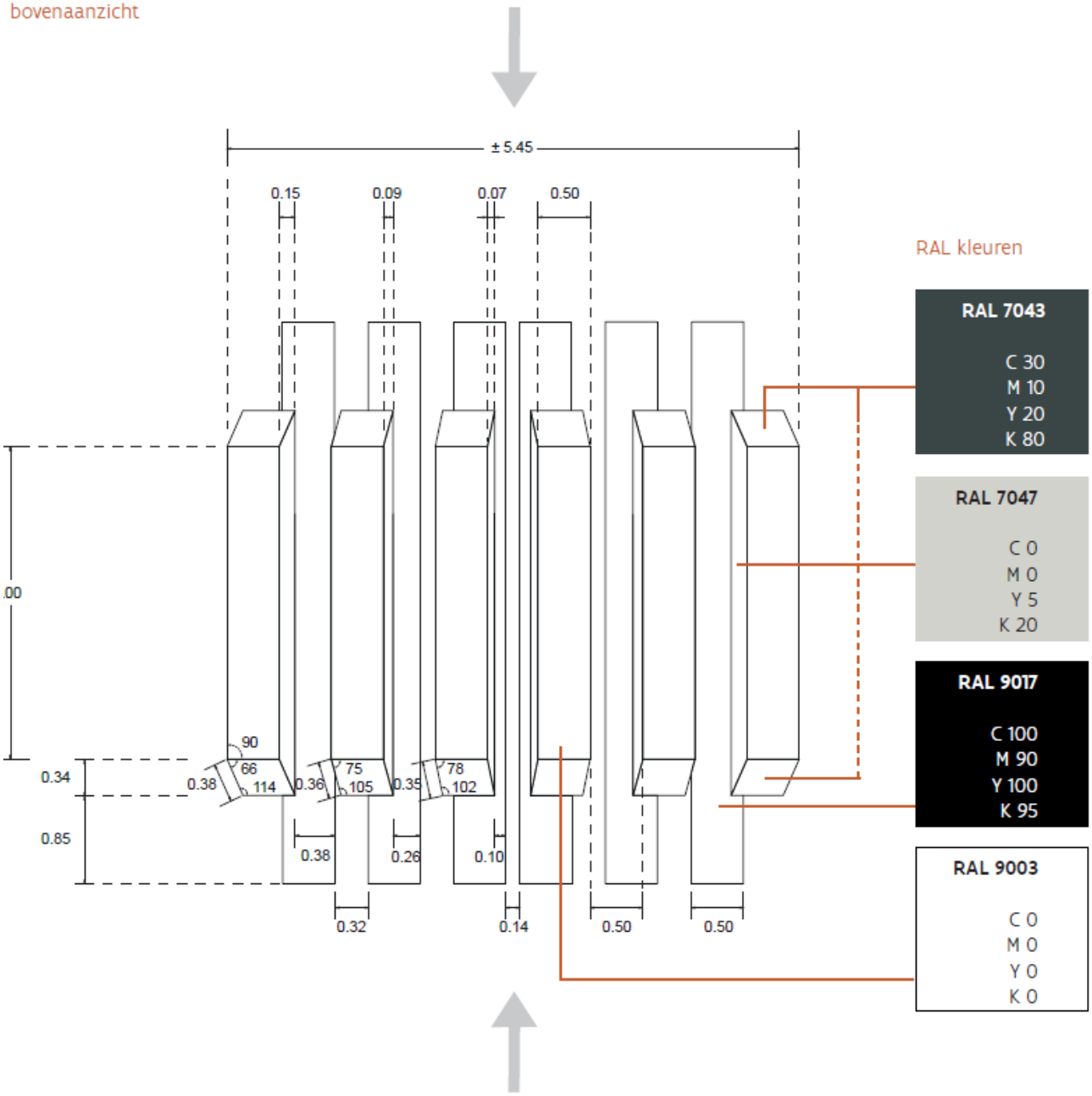
wanneer ze geconfronteerd worden met een 3D-zebrapad, maar minder vaak de foute beslissing nemen (vertragen/stoppen of niet) in vergelijking met klassieke zebrapaden.

2.4 Toegepast ontwerp

Figuur 5 en Figuur 6 tonen de details van het ontwerp dat werd toegepast op de proeflocaties. In Beersel en in Antwerpen werd een ontwerp met 7 balken toegepast (Figuur 5). In Bilzen, waar de rijbaan iets smaller is, werd geopteerd voor een ontwerp met 6 balken (Figuur 6). De 3D-zebrapaden zijn zo ontworpen dat het 3D-effect voor beide rijrichtingen aanwezig is.



Figuur 5 Ontwerp 3D-zebrapad met 7 balken (toegepast in Beersel en Antwerpen).



Figuur 6 Ontwerp 3D-zebrapad met 6 balken (toegepast in Bilzen).

3 Methodologie

3.1 Proeflocaties

Als proefproject werd een 3D-zebrapad aangebracht op drie locaties die door AWV werden geselecteerd. De locaties zijn gelegen in Beersel, Bilzen en Antwerpen.

3.1.1 Eigenbrakelse Steenweg in Beersel

De eerste proeflocatie bevindt zich in de gemeente Beersel, meer bepaald in deelgemeente Alsemberg. De locatie ligt op de Eigenbrakelse Steenweg (N231) ter hoogte van kilometerpunt 10.4 en situeert zich binnen de bebouwde kom. Er geldt een snelheidslimiet van 50 km/u. De weg bestaat uit één rijstrook in elke rijrichting. Aan beide zijden is er een aanliggend verhoogd fietspad. Het zebrapad loopt niet door over deze fietspaden. In de dichte nabijheid van het zebrapad is er een grote meubelzaak gelegen. De foto's hieronder tonen het zebrapad voor (links) en na (rechts) de hermarkering als 3D-zebrapad.



Figuur 7 Proeflocatie in Beersel.

3.1.2 Waterstraat in Bilzen

De tweede proeflocatie bevindt zich in de gemeente Bilzen, meer bepaald in deelgemeente Munsterbilzen. De locatie bevindt zich op de Waterstraat (N730) ter hoogte van kilometerpunt 13.6. Deze locatie ligt binnen de bebouwde kom, maar de snelheid is hier gelimiteerd tot 30 km/u. De rijbaan is niet verdeeld in rijstroken, maar laat wel tweerichtingsverkeer toe. De rijrichtingen worden gescheiden door een centrale goot. Een fietspad is niet aanwezig, fietsers rijden gemengd met het andere verkeer op de rijbaan. In de nabijheid van het zebrapad is een psychiatrische instelling gelegen. De foto's hieronder tonen het zebrapad voor (links) en na (rechts) de hermarkering als 3D-zebrapad.



Figuur 8 Proeflocatie in Bilzen.

3.1.3 Sint-Bernardsesteenweg in Antwerpen

De derde proeflocatie bevindt zich in de stad Antwerpen, meer bepaald in district Hoboken. De locatie bevindt zich op de Sint-Bernardsesteenweg (N148) ter hoogte van kilometerpunt 5.25. De proeflocatie ligt buiten de bebouwde kom in de zeer dichte nabijheid van een supermarkt. De snelheidslimiet is 50 km/u. De weg bestaat uit één rijstrook in elke rijrichting. Aan één zijde van de rijbaan is er een aanliggend verhoogd tweerichtingsfietspad. Het zebrapad loopt hier niet overheen. De foto's hieronder tonen het zebrapad voor (links) en na (rechts) de hermarkering als 3D-zebrapad.



Figuur 9 Proeflocatie in Antwerpen.

3.2 Dataverzameling

3.2.1 Ongevallendata

Voor de drie onderzoekslocaties werden de beschikbare ongevalsgegevens opgevraagd. Concreet werd gevraagd naar het aantal geregistreerde ongevallen ter hoogte van het zebrapad tussen januari 2008 en september 2019. De meest recente ongevallendata konden echter niet door alle politiezones worden vrijgegeven. Per geregistreerd ongeval werden volgende gegevens opgevraagd:

- Letselernst
- Betrokken weggebruikers
- Dag en uur
- Weersomstandigheden

Mits beschikbaarheid van voldoende ongevalsgegevens kunnen deze worden geanalyseerd volgens de AVOC-methode (Aanpak VerkeersOngevallenConcentratie). Om deze methode met succes toe te kunnen passen, moeten op de onderzoekslocatie in drie achtereenvolgende jaren minstens 10 ongevallen in totaal zijn geregistreerd, of minstens vijf ongevallen met een overeenkomstig kenmerk. Genoemde aantallen zijn een praktische ondergrens om de analysetechniek te kunnen toepassen (CROW, 1992; AWV, 2009). Wanneer een volwaardige AVOC-analyse niet mogelijk is, worden de eventuele ongevallen descriptief beschreven. Gezien de zeer korte na-periode, waarin bijgevolg weinig of geen ongevallen plaatsvonden, zullen deze analyses niet toelaten om een uitspraak te doen over de effectiviteit van de maatregel. Ze kunnen enkel (mogelijk) inzicht geven in de ongevalspatronen vóór het aanbrengen van de 3D-markeringen.

3.2.2 Verzameling data op terrein

Op het terrein werden twee types data verzameld: snelheidsmetingen met behulp van radars, en videobeelden met behulp van tijdelijke camerasystemen. De videobeelden werden gebruikt voor de gedrags- en conflictobservatie. Zowel in de periode voor als na de hermarkering als 3D-zebrapad werden van vier

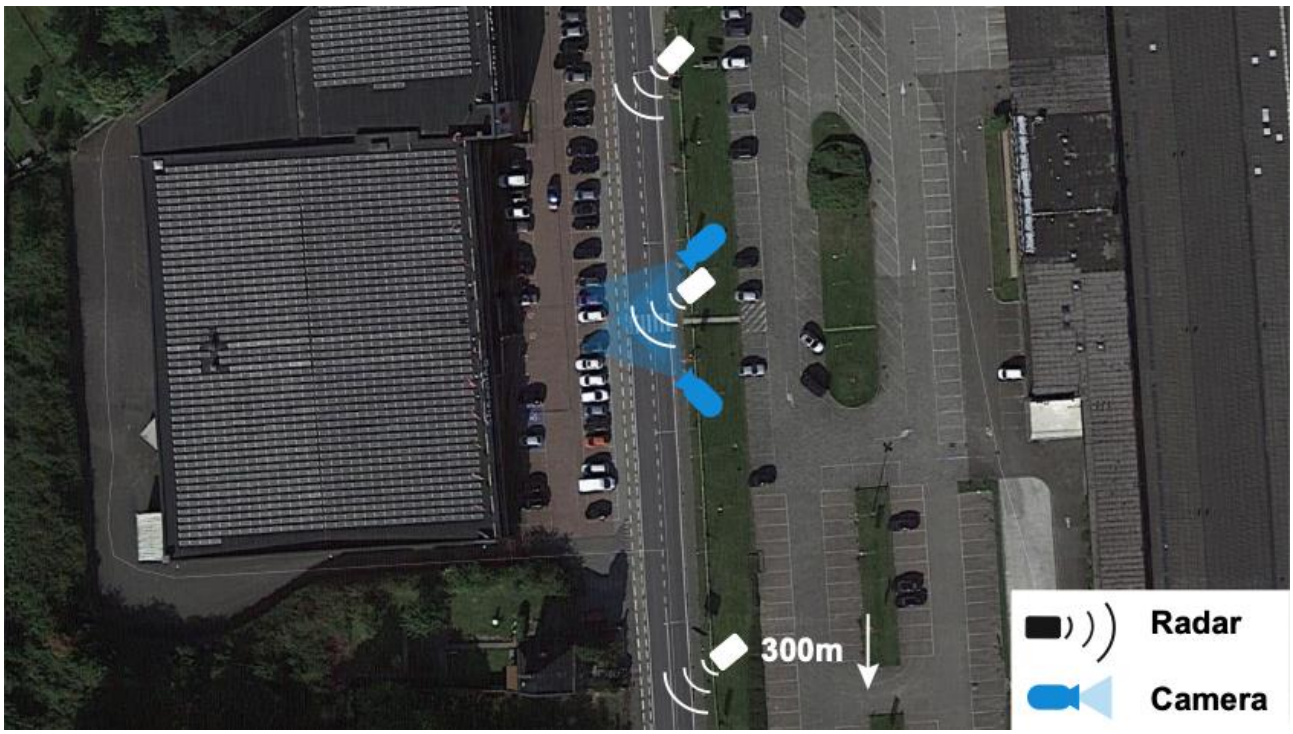
dagen videobeelden verzameld tussen 6u00 en 22u00. Figuur 11 geeft een typeschets weer van de opstelling van de meettoestellen.

Per oversteekplaats werden twee tijdelijke camera's geplaatst, waarbij één camera in elke rijrichting werd gemonteerd vlak na de oversteek zodat het tegemoetkomend verkeer frontaal gefilmd werd. Deze opstelling garandeert de maximale accuratesse van de videoanalyses en vermijdt zo veel mogelijk occlusie van de overstekende kwetsbare weggebruikers door vrachtwagens. De camera's zijn mobiele en autonome systemen, waarbij een camera op een uitschuifbare mast gemonteerd is en vanaf een hoogte van ca. 6m kan filmen (zie Figuur 10). Het systeem is voorzien van een voldoende grote inwendige batterij en opslagcapaciteit voor beelden. De camera's hebben een lage resolutie, waardoor geen nummerplaten of gezichten herkend kunnen worden. Dit waarborgt de privacy van passanten.



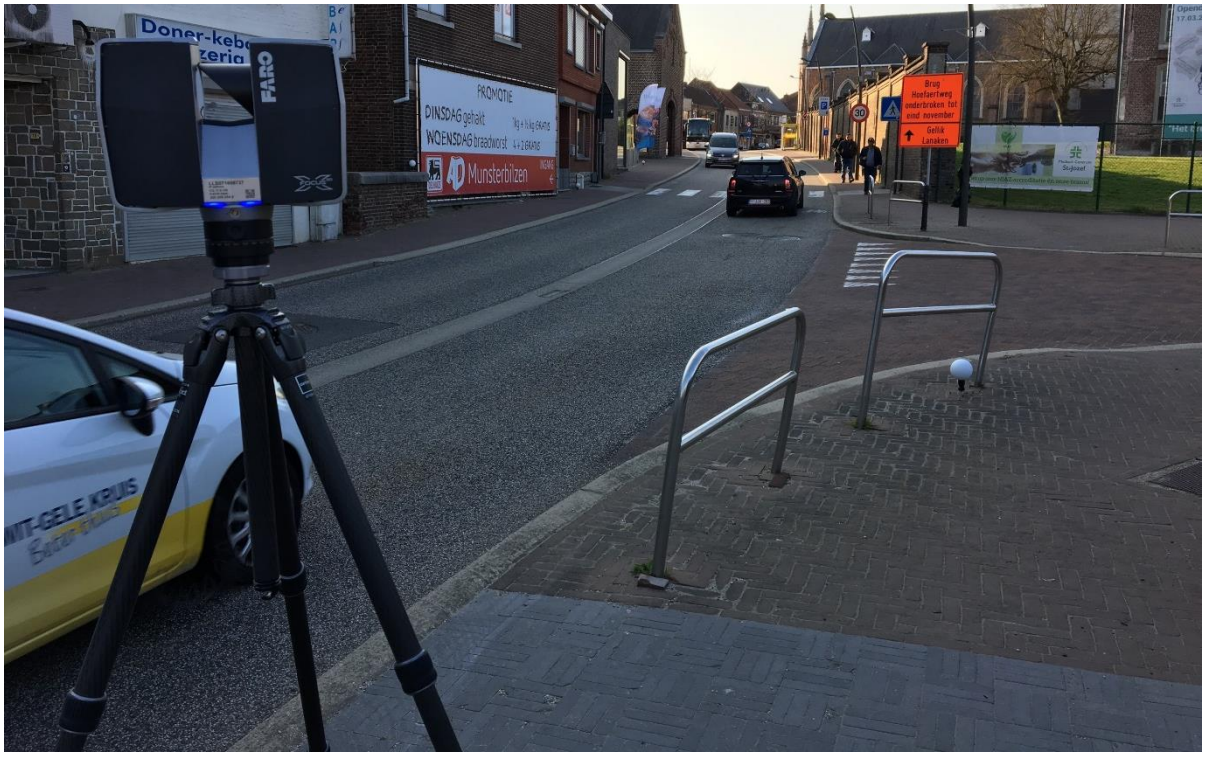
Figuur 10 Tijdelijke camerasystemen.

Per oversteekplaats werden drie tijdelijke snelheidsradars geplaatst, die de individuele voertuigsnelheden in beide rijrichtingen maten. Een eerste radar werd zo dicht mogelijk bij het zebrapad geplaatst om de snelheden op het zebrapad zelf te meten. Een tweede radar werd geplaatst op ongeveer 50m van de oversteekplaats om de snelheid bij het naderen en kort na het passeren van het 3D-zebrapad te meten. Een derde camera werd geplaatst op ca. 300m van de oversteekplaats. Op die afstand is geen eventueel effect van het 3D-zebrapad (meer) te verwachten. Dit meetpunt is dus een vergelijkingspunt. Omdat de rijsnelheid ook beïnvloed kan worden door andere elementen zoals weersgesteldheid en verkeersintensiteiten is een snelheidsmeting op een vergelijkingspunt essentieel om een betrouwbare vergelijking tussen de voor- en na-periode te garanderen.



Figuur 11 Principeschets opstelling radars en camera's.

Bij de plaatsing van de radars en camera's wordt de wegomgeving ook gescand met behulp van een 3D-laserscanner. Door te scannen vanuit verschillende punten kan het toestel een zeer accurate orthofoto van de omgeving produceren die gebruikt wordt voor de kalibratie van de videoanalysesoftware (zie verderop). Traditioneel wordt voor die kalibratie gebruikgemaakt van beschikbare orthofoto's via bijvoorbeeld Geopunt of Google Earth. Door de infrastructurele aanpassing aan de oversteekplaats, is er van de na-periode echter geen metrisch correct grondplan beschikbaar voor de kalibratie van de camera's. Daarom werd geopteerd om zowel in de voor- als in de naperiode gebruik te maken van een 3D-scan van de wegomgeving.



Figuur 12 3D-laserscanner.

Tabel 1 beschrijft de observatieperiodes. Alle beelden van de voorsituatie werden verzameld in het voorjaar van 2019. De 3D-zebrapaden in Beersel en in Bilzen werden nog voor de zomer aangebracht. Op die locaties werd in september 2019 de data van de na-periode verzameld. Het 3D-zebrapad in Antwerpen werd aangelegd in september 2019. Om een voldoende lange gewenningsperiode te kunnen respecteren, werd de dataverzameling van de na-periode daarom pas begin november 2019 uitgevoerd. Daardoor is bij de na-periode in Antwerpen de periode van daglicht beduidend korter dan in de voorperiode.

Tijdens de geobserveerde dagen was het overwegend droog weer. Voor de gedragsobservatie werden dagen gekozen die volledig droog waren. Meestal worden weekdagen opgenomen, met een voorkeur voor dinsdagen of donderdagen omdat die over het algemeen het meest representatief zijn. Bij Beersel werd hier op voorstel van AWV van afgeweken. Er werden twee zaterdagen opgenomen aangezien de oversteekplaats in Beersel de verbinding vormt tussen twee parkings van grote winkels. Zaterdagen zijn de drukste momenten in deze winkels, waardoor ook het aantal oversteekbewegingen dan hoogstwaarschijnlijk het hoogste is. Ook in Antwerpen werd uiteindelijk besloten om één zaterdag op te nemen. Deze locatie is aan een supermarkt gelegen, waardoor ook hier op zaterdag mogelijk een hoger aantal oversteekbewegingen zou plaatsvinden. Uiteindelijk bleek dit niet het geval te zijn, waardoor voor de gedragsobservatie alsnog geopteerd werd om de voorkeur te geven aan een dinsdag of donderdag.

De snelheidsdata via radarmetingen werden verzameld op dezelfde vier dagen als de videobeelden.

Tabel 1 Observatieperiodes.

	Voorperiode		Na-periode	
Locatie	Dag	Gebruikt voor	Dag	Gebruikt voor
Beersel	Zaterdag 20/04/'19	Conflict	Zaterdag 07/09/'19	Conflict
	Dinsdag 23/04/'19	Conflict	Dinsdag 10/09/'19	Conflict
	Donderdag 25/04/'19	Conflict	Donderdag 12/09/'19	Conflict
	Zaterdag 27/04/'19	Gedrag & conflict	Zaterdag 14/09/'19	Gedrag & conflict
Bilzen	Maandag 06/05/'19	Conflict	Donderdag 19/09/'19	Gedrag & conflict
	Dinsdag 07/05/'19	Conflict	Vrijdag 20/09/'19	Conflict
	Woensdag 08/05/'19	Conflict	Maandag 23/09/'19	Conflict
	Donderdag 09/05/'19	Gedrag & conflict	Dinsdag 24/09/'19	Conflict
Antwerpen	Dinsdag 14/05/'19	Conflict	Dinsdag 05/11/'19	Gedrag & conflict
	Donderdag 16/05/'19	Gedrag & conflict	Donderdag 07/11/'19	Conflict
	Vrijdag 17/05/'19	Conflict	Vrijdag 08/11/'19	Conflict
	Zaterdag 18/05/'19	Conflict	Zaterdag 09/11/'19	Conflict

3.3 Gedragsanalyse

Op basis van de videobeelden van de camera's werd het gedrag geobserveerd van overstekende kwetsbare weggebruikers en van de interacties tussen de overstekende kwetsbare weggebruikers en het doorgaande gemotoriseerd verkeer dat met hen interageert. Een interactie wordt gedefinieerd als een situatie waarbij twee weggebruikers aan de oversteekplaats aankomen met zulke nabijheid in tijd en ruimte dat de ene weggebruiker een invloed kan hebben op het gedrag van de andere weggebruiker (De Ceunynck et al., 2013).

Per oversteekplaats werden zowel vóór als na de aanpassing van de oversteekplaats van één dag de videobeelden geanalyseerd. Deze videobeelden werden automatisch verwerkt met behulp van de Road User Behaviour Analysis software (RUBA). De videoanalysesoftware doet daarbij een eerste filtering van de videobeelden door de overstekende kwetsbare weggebruikers automatisch te detecteren met behulp van een detectorveld (zie Figuur 13).



Figuur 13 Illustratie werking RUBA videoanalysesoftware.

Het gedrag van de overstekende voetgangers, zowel degenen die in interactie komen met één of meerdere voertuigen als voetgangers die vrij kunnen oversteken, werd geregistreerd in een gestandaardiseerd codeerformulier. Het gebruikte codeerformulier omvatte onder andere volgende elementen:

- Situationele omstandigheden (bv. tijdstip, licht- en weersgesteldheid)
- Types weggebruikers betrokken in de interactie
- Looplijn van de overstekende weggebruiker: steekt deze op de oversteekplaats over, snijdt deze een hoek af of steekt deze over buiten de oversteekplaats?
- In welke rijstrook vindt de interactie plaats (de 'eerste' of de 'tweede' rijstrook die de kwetsbare weggebruiker oversteekt)?
- Welke weggebruiker gaat eerst, en op welke manier verloopt het interactieproces?
    - Voorrang krijgen: De weggebruiker die voorrang heeft, i.c. de voetganger, steekt als eerste over zonder zijn recht op voorrang te hoeven afdwingen.
    - Voorrang nemen: de weggebruiker die voorrang heeft, i.c. de voetganger dwingt zijn voorrangsrecht af en gaat eerst (assertiever).
    - Voorrang niet krijgen: De weggebruiker die voorrang dient te verlenen dwingt de andere weggebruiker om te stoppen of stopt niet wanneer de weggebruiker met voorrang aan de oversteekvoorziening staat te wachten op een veilig moment om over te steken.
    - Voorrang afgeven: De weggebruiker met voorrang staat zijn recht om als eerste over te steken gewillig af, waardoor de weggebruiker die geen voorrang heeft als eerste gaat.

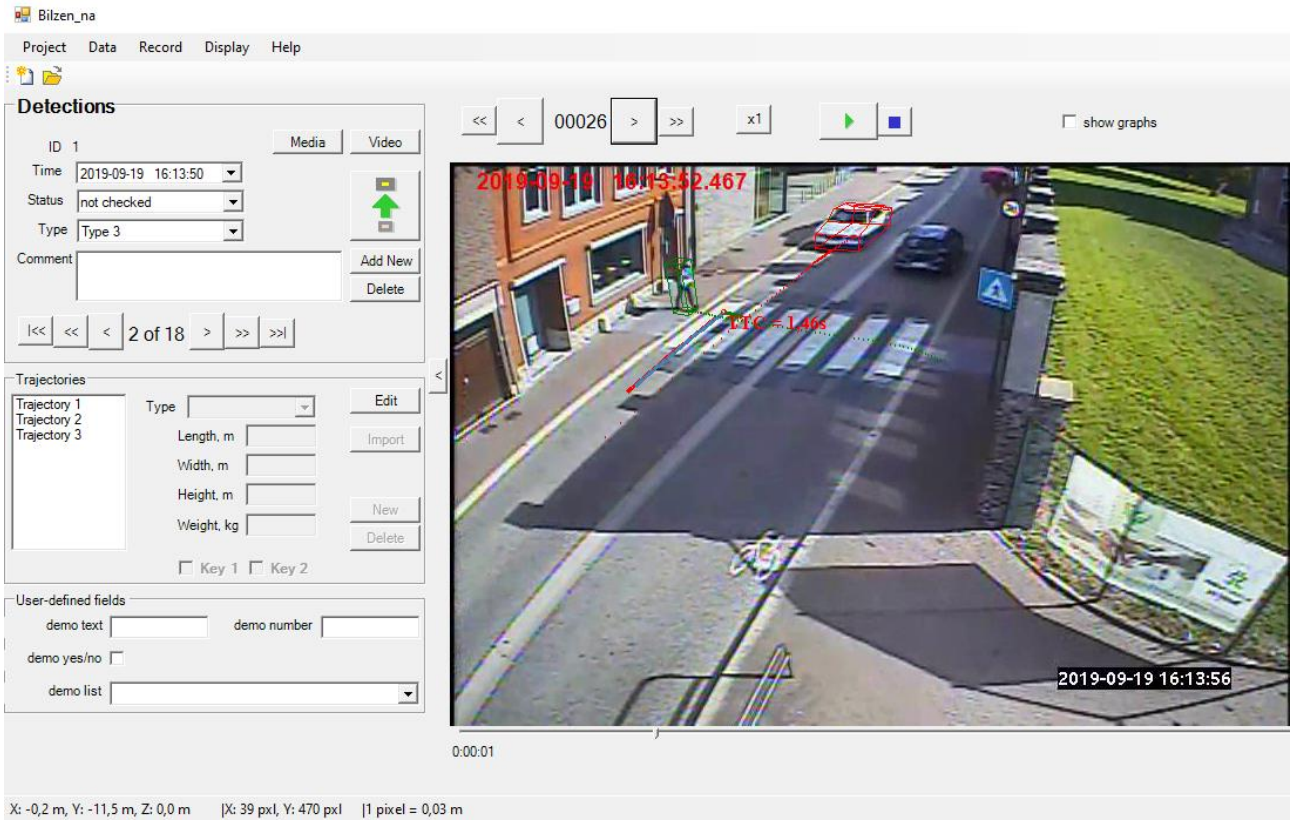
3.4 Analyse van conflicten

In deze stap detecteren en analyseren we de conflicten (ook wel 'bijna-ongevallen') die plaatsvinden op de oversteekplaatsen. Zowel voor als na de aanpassing van de oversteekplaats zijn voor elke locatie de vier dagen videobeelden geanalyseerd.

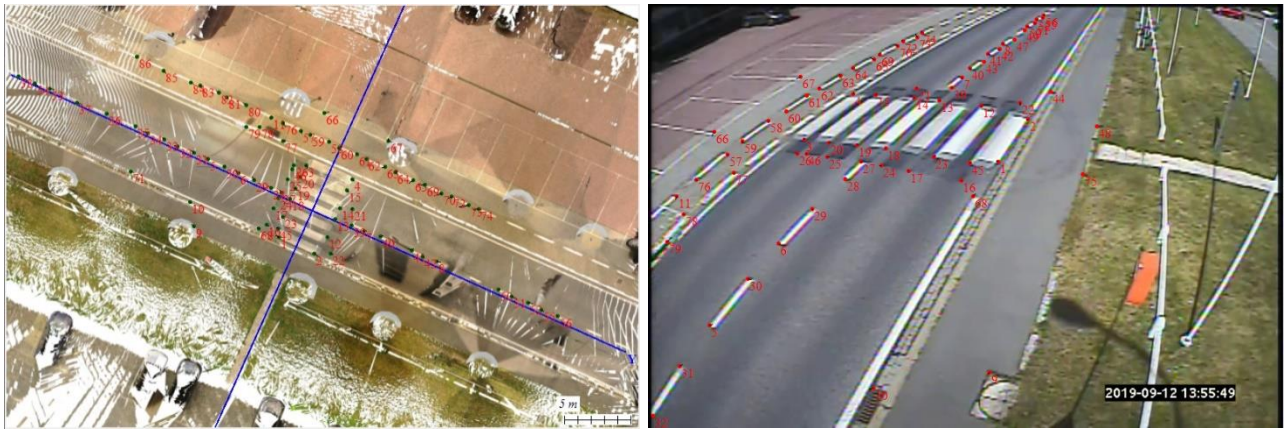
Ook bij de analyse van de bijna-ongevallen vertrekken we van een eerste verwerking van de videobeelden met behulp van RUBA. De geselecteerde situaties worden door de onderzoekers bekeken, en indien een potentieel conflict wordt opgemerkt, wordt de ernst van het potentiële conflict accuraat en objectief gemeten met behulp van de videoanalysesoftware T-Analyst (zie Figuur 14). Dit is een semi-geautomatiseerde tool, specifiek ontworpen met het doel om de ernst van verkeersconflicten accuraat en objectief te meten.

Een onderliggende kalibratie rekent elke pixelcoördinaat in het camerabeeld om naar een reële coördinaat op het terrein op basis van een metrisch correct grondplan van het terrein. Deze omrekening gebeurt door een wiskundig model dat gebruikmaakt van een koppeling van een aantal referentiepunten in het camerabeeld aan het metrisch correcte grondplan (zie Figuur 15). Het metrisch correcte grondplan waarvan we in deze studie gebruikmaken is een orthofoto die gemaakt wordt met de 3D-laserscanner.

Door deze kalibratieprocedure kunnen positie, richting en snelheid van de weggebruikers op de camerabeelden gemeten worden doorheen de tijd. Op basis van de trajecten van twee weggebruikers kunnen diverse conflictindicatoren berekend worden die toelaten te bepalen of het een ernstig conflict betreft of niet.



Figuur 14 Illustratie werking T-Analyst videoanalysesoftware.



Figuur 15 Kalibratie T-Analyst.

In deze studie is ervoor geopteerd gebruik te maken van de indicatoren 'minimal Time-to-Collision (TTC_{min})' en de 'Post Encroachment Time (PET)'. Dit zijn de vaakst gebruikte en tevens best gevalideerde conflictindicatoren voor conflicten met kwetsbare weggebruikers (De Ceunynck, 2017; Johnsson, Laureshyn,

& De Ceunynck, 2018). Om het onderscheid te maken tussen ernstige en niet-ernstige conflicten wordt een drempelwaarde gehanteerd. Elke interactie waarbij de meetwaarde van tenminste één van beide indicatoren onder de drempelwaarde zakt, wordt beschouwd als een ernstig conflict.

Time-to-Collision wordt gedefinieerd als "de tijd die overblijft tot een botsing tussen twee weggebruikers zou plaatsvinden indien zij zich blijven voortbewegen op hun huidige koers en aan hun huidige snelheid" (Hayward, 1972). Vanuit validatieonderzoek wordt een drempelwaarde van 1,5s vooropgesteld om het onderscheid te maken tussen ernstige conflicten en niet-ernstige conflicten (Johnsson, Laureshyn, & De Ceunynck, 2018). Onderzoek heeft namelijk aangetoond dat TTC_{min}-waarden lager dan 1,5s zelden worden waargenomen in normale interacties en dus beschouwd worden als ernstige conflicten (Brown, 1994; van der Horst, 1990).

Post Encroachment Time (PET) is de tijd tussen het moment waarop de eerste weggebruiker het pad van de tweede weggebruiker verlaat, en het moment waarop de tweede weggebruiker het pad van de eerste weggebruiker bereikt (Allen et al., 1978). Met andere woorden, PET duidt aan met hoeveel seconden marge de weggebruikers elkaar gemist hebben. Bij snelheden van 50 km/u of lager, wordt een PET-waarde lager dan 1s als ernstig beschouwd (van der Horst, 1990). Op het gebruik van een PET-waarde van 1s als drempelwaarde wordt bij interacties met voetgangers echter één uitzondering gemaakt. Situaties waarbij een voetganger op een gecontroleerde manier kort achter een passerend voertuig doorwandelt, worden niet beschouwd als ernstige conflicten. De reden hiervoor is dat dit gedrag een optimalisatie van voetgangers is om zo weinig mogelijk tijd te verliezen en dat dit bijgevolg zeer vaak wordt geobserveerd. Door hun zeer lage snelheid, hun grote wendbaarheid en het feit dat ze zich perfect bewust zijn van hun fysieke dimensies, mag dit optimalisatiegedrag niet beschouwd worden als ernstig conflict.

Daarnaast hebben we in dit onderzoek nog twee nieuwe conflictindicatoren getest, met name T2,min en Extended Delta-V. Extended Delta-V is één van de weinige indicatoren die naast de nabijheid in tijd ook expliciet de mogelijke letselernst indien een ongeval zou plaatsvinden in rekening brengt (Laureshyn et al., 2017). T2 is de voorspelde duurtijd tot het moment dat de tweede weggebruiker het conflictpunt bereikt op het moment dat de eerste weggebruiker het conflictpunt nog niet verlaten heeft (Laureshyn et al., 2010). T2 leunt nauw aan bij TTC, maar biedt het voordeel dat deze eveneens bepaald kan worden wanneer weggebruikers niet op botskoers zijn. Beide indicatoren zijn tot op heden nog maar zeer beperkt toegepast op interacties met kwetsbare weggebruikers. Uiteindelijk hebben we de analyses van deze indicatoren niet weerhouden omdat de resultaten onvoldoende valide bleken te zijn en weinig meerwaarde bleken te bieden ten opzichte van het gecombineerde gebruik van TTC_{min} en PET.

4 Analyses en resultaten

4.1 Bevraging gemeentes over eerdere proefprojecten

Er werden diverse gemeenten in België en Nederland geïdentificeerd waar reeds een proefproject met een 3D-zebrapad had plaatsgevonden. In België werden proefprojecten gevonden in Zaventem, Waarschoot, Brussel (Laken), Schaarbeek, Merchtem, Boortmeerbeek (Hever) en Drogenbos. In Nederland werden proefprojecten gevonden in Haaksbergen, Lottum en Amsterdam.

Hen werd een vragenlijst gestuurd met enkele open vragen over het proefproject, de opgedane ervaringen en de eventuele resultaten van een evaluatie indien beschikbaar. Globaal genomen bleek uit de bevraging dat de proefprojecten in feite losstaande initiatieven waren waarin weinig systematiek zat omtrent keuze van ontwerp, locatie… Geen van de proefprojecten omvatte een evaluatie van de effecten van het 3D-zebrapad. De inzichten die de bevraging opleverde zijn dus zeer beperkt.

4.2 Ongevalanalyse

4.2.1 Ongevalanalyse Beersel

De ongevalgegevens voor het zebrapad gelegen op de N231 (Eigenbrakelse Steenweg) te Alsemberg (Beersel) ter hoogte van kilometerpunt 10.4 werden opgevraagd bij politiezone Rode. Zij meldden echter dat er ter hoogte van dit zebrapad geen ongevallen werden geregistreerd in de periode van 2008 tot september 2019. Een ongevalanalyse is voor deze locatie dus niet mogelijk.

4.2.2 Ongevalanalyse Bilzen

De ongevalgegevens voor het zebrapad gelegen op de N730 (Waterstraat) te Bilzen ter hoogte van kilometerpunt 13.6 werden opgevraagd bij de politiezone Bilzen-Hoeselt-Riemst. Ter hoogte van dit zebrapad gebeurden in de periode van 2008 tot en met september 2019 in totaal zeven verkeersongevallen. Één ongeval hield echter geen verband met het zebrapad en wordt daarom niet verder opgenomen in de bespreking.

Van de zes weerhouden verkeersongevallen zijn er drie kop-staartaanrijdingen (aangeduid met nummers 1, 2 en 4 in Tabel 2 en Figuur 16) en drie aanrijdingen tussen een personenwagen en een overstekende voetganger (3, 5 en 6).

In Figuur 16 zijn de karakteristieken van elk verkeersongeval weergegeven. De ongevalnummers zijn toegekend in chronologische volgorde. Het zesde verkeersongeval is dus het meest recente.

Tabel 2 Karakteristieken van de verkeersongevallen op de N730 Waterstraat te Bilzen ter hoogte van kilometerpunt 13.6

Verkeersongeval nr.	Partij 1	Partij 2	Lichtgesteldheid	Stoffelijke schade/Gewonden
1	Personenwagen	Personenwagen	Dag	Stoffelijke schade
2	Personenwagen	Motorfiets	Dag	Stoffelijke schade
3	Voetganger	Personenwagen	Schemering	Licht gewonde
4	Personenwagen	Personenwagen	Dag	Stoffelijke schade
5	Voetganger	Personenwagen	Schemering	Licht gewonde
6	Voetganger	Personenwagen	Schemering	Licht gewonde

Bron: Politiezone Bilzen-Hoeselt-Riemst

Wat opvalt is het feit dat de drie ongevallen waarbij een personenwagen een overstekende voetganger aanreed gebeurden bij schemering (december/januari). Bij elk van deze drie ongevallen raakten de aangereden voetgangers lichtgewond. Een ander gemeenschappelijk kenmerk voor deze drie voetgangersongevallen is dat de

voetganger werd aangereden op het moment dat deze vanuit diens oogpunt de tweede rijstrook aan het oversteken was. Over de weersomstandigheden ontbreekt het aan gegevens.

De drie kop-staartaanrijdingen gebeurden allemaal door het feit dat de personenwagen/motorfiets tegen een voorligger reed die stopte om voorrang te verlenen aan de overstekende voetganger. De voetganger stak steeds over vanaf de rechterzijde, gezien vanuit het oogpunt van de voorrang verlenende personenwagen. De verkeersongevallen gebeurden allemaal bij daglicht. Over de weersomstandigheden ontbreekt het opnieuw aan informatie.

Tot slot dient er ook vermeld te worden dat er in januari 2020 één ernstig ongeval gebeurde op het 3D-zebrapad in Bilzen. Dit ongeval vertoonde grote gelijkenissen met de bovenvermelde kop-staartaanrijdingen.



Figuur 16 Manoeuvrediagram N730 (Waterstraat) te Bilzen ter hoogte van kilometerpunt 13.6

Bron: Politiezone Bilzen-Hoeselt-Riemst en Geopunt (Luchtfoto)

4.2.3 Ongevalanalyse Antwerpen

De ongevalsgegevens voor het zebrapad gelegen op de Sint-Bernardsesteenweg te Antwerpen ter hoogte kilometerpunt 5.25 werden opgevraagd bij de politiezone Antwerpen. Ter hoogte van dit zebrapad gebeurden in de periode van 2008 tot eind 2017 in totaal twee verkeersongevallen. Het eerste ongeval hield echter geen verband met het zebrapad en wordt daarom niet verder opgenomen in de bespreking. Het tweede ongeval dateert van 2017 en betreft een kop-staartaanrijding. Dit ongeval is aangegeven op onderstaand manoeuvrediagram: de eerste personenwagen stopte voor een overstekende voetganger, waarna de tweede personenwagen ingereden is op de eerste personenwagen. Op het moment van de feiten was het wegdek nat. De voetganger bleef ongedeerd. Een verdere ongevalanalyse voor deze locatie is niet mogelijk.



Figuur 17 Manoeuvrediagram Sint-Bernardsesteenweg te Antwerpen ter hoogte kilometerpunt 5.25
Bron: Politiezone Antwerpen en Geopunt (Luchtfoto)

4.2.4 Conclusies ongevalanalyse

Het is duidelijk dat er op de onderzoekslocaties weinig verkeersongevallen zijn gebeurd. Door het gebrek aan ongevalgegevens is het moeilijk om bepaalde ongevalspatronen te identificeren. Wat echter wel opvalt is het vaak voorkomen van kop-staartaanrijdingen ter hoogte van het zebrapad. Ook het vrijwel vaste patroon van de drie aanrijdingen met voetgangers op het zebrapad gelegen op de Waterstraat te Bilzen springt in het oog. De voetganger werd in elk van de drie ongevallen aangereden op het moment dat hij/zij vanuit zijn/haar oogpunt de tweede rijstrook aan het oversteken was. Het is echter moeilijk deze vaststelling te veralgemenen. Hiervoor ontbreekt het aan voldoende ongevalsgegevens.

4.3 Analyse snelheidsmetingen

Tabel 3 toont informatie over de snelheidsmetingen uitgevoerd door wegkantradars. Voor elk individueel voertuig werd de rijrichting, de snelheid en de voertuiglengte gemeten. Voertuiglengtes van meer dan 19 meter kunnen wijzen op een meetfout of een uitzonderlijk voertuig (aangezien 18,75 meter in België de maximale toegelaten voertuig lengte is, enkele uitzonderingen daargelaten) en werden daarom tijdens de data cleaning verwijderd.

Observaties met een snelheid lager dan 15 km/u werden uitgesloten van de analyse. Dit werd gedaan om enerzijds de meeste fietsers en anderzijds het aanschuivend verkeer uit te sluiten. In Tabel 3 is het aantal geanalyseerde metingen per locatie en richting van het verkeer weergegeven en het percentage snelheden < 15 km/h.

Tabel 3 Aantal metingen (na cleaning) en percentages van langzaam verkeer (<15 km/h) en extreme metingen (>19m) in de oorspronkelijke dataset.

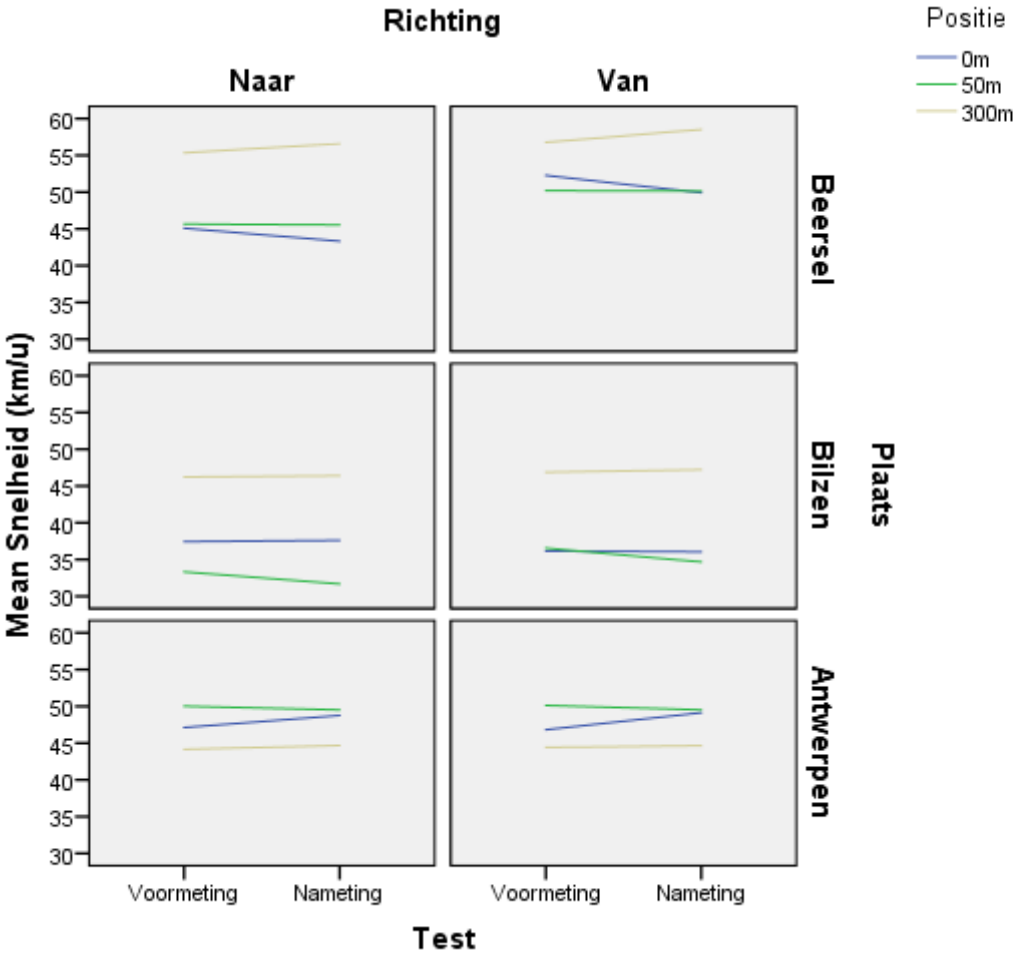
Voor/na	Richting	Plaats	N	>19 m	< 15 km/h
Voormeting	Naar	Beersel	68066	0.1%	2.5%
		Bilzen	84635	0.3%	0.9%
		Antwerpen	140969	0.4%	0.8%

	Van	Beersel	60408	0.1%	0.1%
		Bilzen	85336	0.1%	0.6%
		Antwerpen	138523	0.3%	2.8%
Nameting	Naar	Beersel	66724	0.0%	2.1%
		Bilzen	85045	0.2%	1.1%
		Antwerpen	79650	0.2%	1.2%
	Van	Beersel	59018	0.1%	1.4%
		Bilzen	85029	0.0%	0.1%
		Antwerpen	77948	0.1%	0.9%

De snelheden per locatie worden in Figuur 18 en Tabel 4 samengevat. In Beersel en Bilzen liggen de snelheden op 300 m afstand van het zebrapad hoger dan die op het zebrapad en direct daarvoor of daarachter (50 m). In Antwerpen is dit echter omgekeerd. De veranderingen tussen voor- en na-periode zijn klein en niet systematisch over alle locaties heen.

Tabel 4 Gemiddelde snelheden (km/h) naargelang de plaats, richting en positie voor de vóór- en námetingen

		Positie - Vóór/Námeting					
		0m		50m		300m	
Plaats	Richting	Voormeting	Nameting	Voormeting	Nameting	Voormeting	Nameting
Beersel	Naar	45,10	43,31	45,66	45,53	55,35	56,59
	Van	52,26	49,93	50,18	50,14	56,78	58,53
Bilzen	Naar	37,45	37,60	33,33	31,67	46,23	46,38
	Van	36,13	36,04	36,54	34,67	46,88	47,22
Antwerpen	Naar	47,12	48,75	50,03	49,53	44,16	44,66
	Van	46,81	49,14	50,12	49,51	44,42	44,65

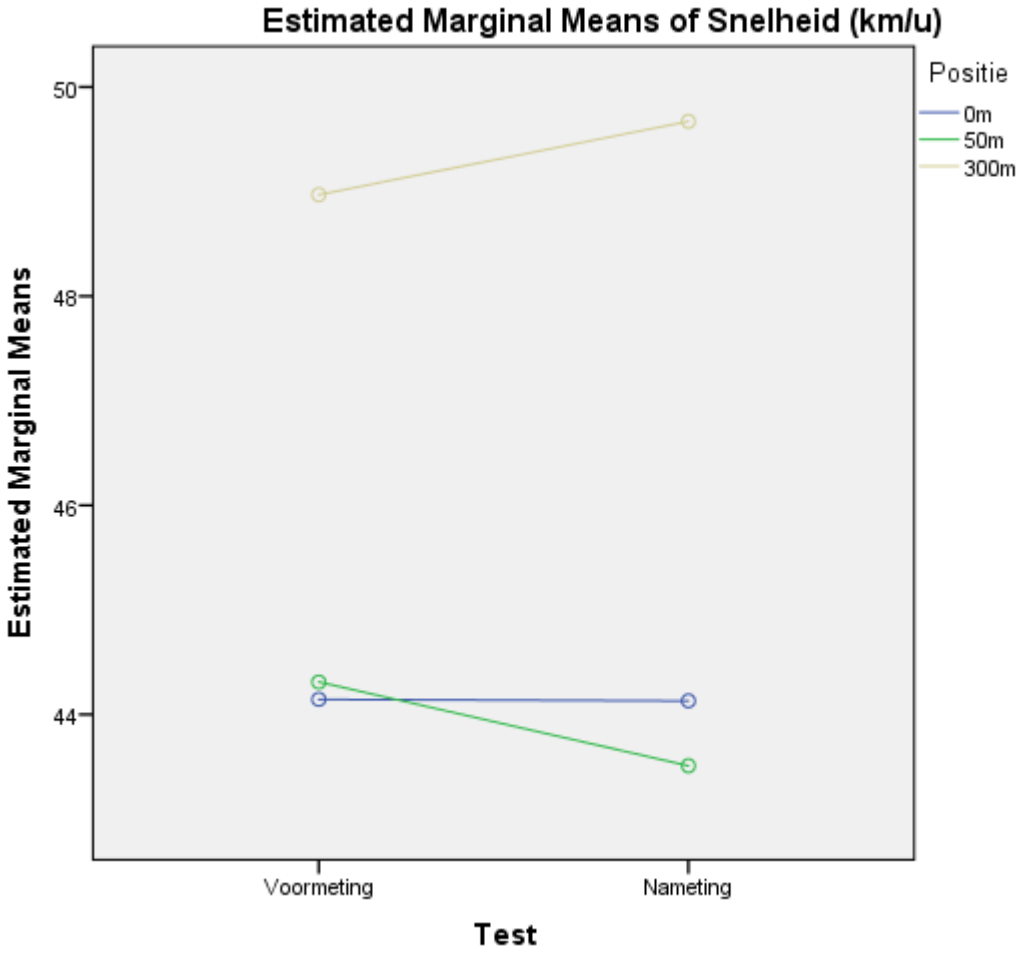


Figuur 18 Gemiddelde snelheden (km/h) naargelang de plaats en richting en positie voor de vóór- en nametingen

In Figuur 18 worden de geschatte[1] gemiddeldes voor de voor- en nameting afhankelijk van de positie van de radar (0, 50, of 300 m van het zebrapad) gegeven. Descriptief waren in Beersel en in Bilzen de snelheden bij 300 m hoger dan bij 0 m en 50 m. Bovendien was bij 300 m de snelheid in de nameting hoger dan in de voormeting, bij 0 m bleef die gelijk en bij 50 m was er sprake van een lichte daling.

Indien het 3D-zebrapad een snelheidsremmend effect heeft, moet dit in principe zichtbaar zijn in het feit dat de snelheid tussen de vóór- en náméting daalt op 0 m en 50 m maar niet op 300 m. Zelfs als er niets verandert op een bepaalde locatie kan de snelheid ook variëren afhankelijk van omgevingsfactoren als seizoen, weersomstandigheden of verkeersdrukte. Voor deze analyse is voornamelijk de evolutie van de snelheid vlakbij de oversteekplaatsen, gecorrigeerd voor de evolutie van de snelheid op 300 m, van belang. Een effect is er dus ook indien er een kleinere toename in snelheid is dicht bij het zebrapad (dus op 0 en 50 m) vergeleken met de evolutie op 300 m (locatie waar de maatregel, d.w.z. het 3D-zebrapad, geen rol meer speelt en die bijgevolg meer algemene factoren weerspiegelt). Dit lijkt in Figuur 19 wel het geval te zijn. Het effect van de zebrapaden is constant tot dalend voor de blauwe (0 m) en groene lijn (50 m) terwijl het stijgt voor de witte lijn bij 300 m. In Figuur 18 zien we echter wel dat dit patroon niet systematisch in alle meetsituaties te zien is.

[1] De marginale gemiddeldes werden in de onderstaande gegeneraliseerde lineaire modelanalyse geschat. Elke conditie weegt daarbij even sterk door, ook al verschilt het aantal observaties.



Figuur 19 Geschatte gemiddeldes voor de voor- en nameting naargelang de positie van de radar.

Om te testen of het effect van de markering als 3D-zebrapad (namelijk een gelijke of zelfs dalende snelheid dicht bij het zebrapad bij een algemene toename van de snelheid bij 300 m) over de meetplaatsen heen gegeneraliseerd mag worden, voerden we een gegeneraliseerde lineaire modelanalyse uit met Positie (0, 50, 300) en Test (voor, na) als hoofdeffecten en Meetplaats (Beersel1, Beersel2, Antwerpen1, Antwerpen2, Bilzen1 en Bilzen2) als random factor. Daarbij wordt op een formele manier getest of er een systematisch verschil is tussen de voor- en nametingen, met andere woorden of het 3D-zebrapad een effect heeft gehad op de gereden snelheden. Een niet significant resultaat geeft aan dat de verschillen niet groter zijn dan men zou verwachten op basis van de toevallige variatie in de gegevens. De resulterende effecten worden in Tabel 5 weergegeven. Indien er een statistisch effect is, zouden we een significante interactie moeten vinden tussen de variabelen Positie (0, 50, en 300m) en Test (vóór- en na).

Tabel 5 Resultaten gegeneraliseerd lineair model snelheidsdata.

Effect	df	F	Sig.
Intercept	1; 5	414,643	,000
Positie	2; 10	2,461	,135
Test	1; 5,002	,030	,869
Positie * Test	2; 10,002	2,220	,159
Meetplaats	5; 9,851	3,973	,031
Positie * Meetplaats	10; 10	60,215	,000
Test * Meetplaats	5, 10	,564	,726
Positie * Test * Meetplaats	10, 1035898	277,419	,000

Het hoofdeffect "Positie" geeft aan of er systematische verschillen zijn tussen de snelheden op de drie posities (0, 50, 300 m) en het hoofdeffect "Test" of er systematische verschillen tussen vóór- en nameting zijn. De interactie "Positie * Test" is het zebrapad-effect: dit zou aangeven dat het verschil tussen vóór- en nameting niet hetzelfde is op de drie posities. Geen van de drie effecten is echter significant.

De resultaten van de GLM analysis tonen vooral dat de geobserveerde effecten zeer inconsistent zijn over de meetplaatsen heen. Het hoofdeffect "Meetplaats" en de interacties daarmee ("Positie * Meetplaats" en "Positie * Test * Meetplaats") zijn namelijk wel significant.

4.3.1 Conclusies snelheidsanalyses

Er werd geen statistisch significant effect gevonden van een 3D-zebrapad op de rijsnelheid. De (beperkte) verschillen die op sommige meetpunten werden gevonden tussen de voor- en na-periode zijn erg variabel en inconsistent, en lijken geen systematisch patroon aan te duiden.

4.4 Analyses gedragsobservaties

Het totale aantal geregistreerde interacties per locatie en periode wordt weergegeven in Tabel 6. Zoals aangegeven betreft het voor iedere locatie en meetperiode de interacties die plaatsvonden gedurende één dag (6u-22u). Terwijl het aantal interacties in Beersel in de na-periode iets lager ligt, ligt het aantal interacties in Bilzen en in Antwerpen iets hoger in de na-periode.

Tabel 6 Aantal geregistreerde interacties per locatie en periode.

Locatie	# interacties voorperiode	# interacties na-periode
Beersel	131	80
Bilzen	205	282
Antwerpen	257	297

4.4.1 Analyses voorrangsproces

Hieronder wordt het verloop van het voorrangsproces van de interacties weergegeven. Hierbij is het belangrijk om te onthouden dat één oversteekbeweging kan resulteren in meerdere interacties, of in nul interacties indien er op dat moment geen gemotoriseerd verkeer aanwezig.

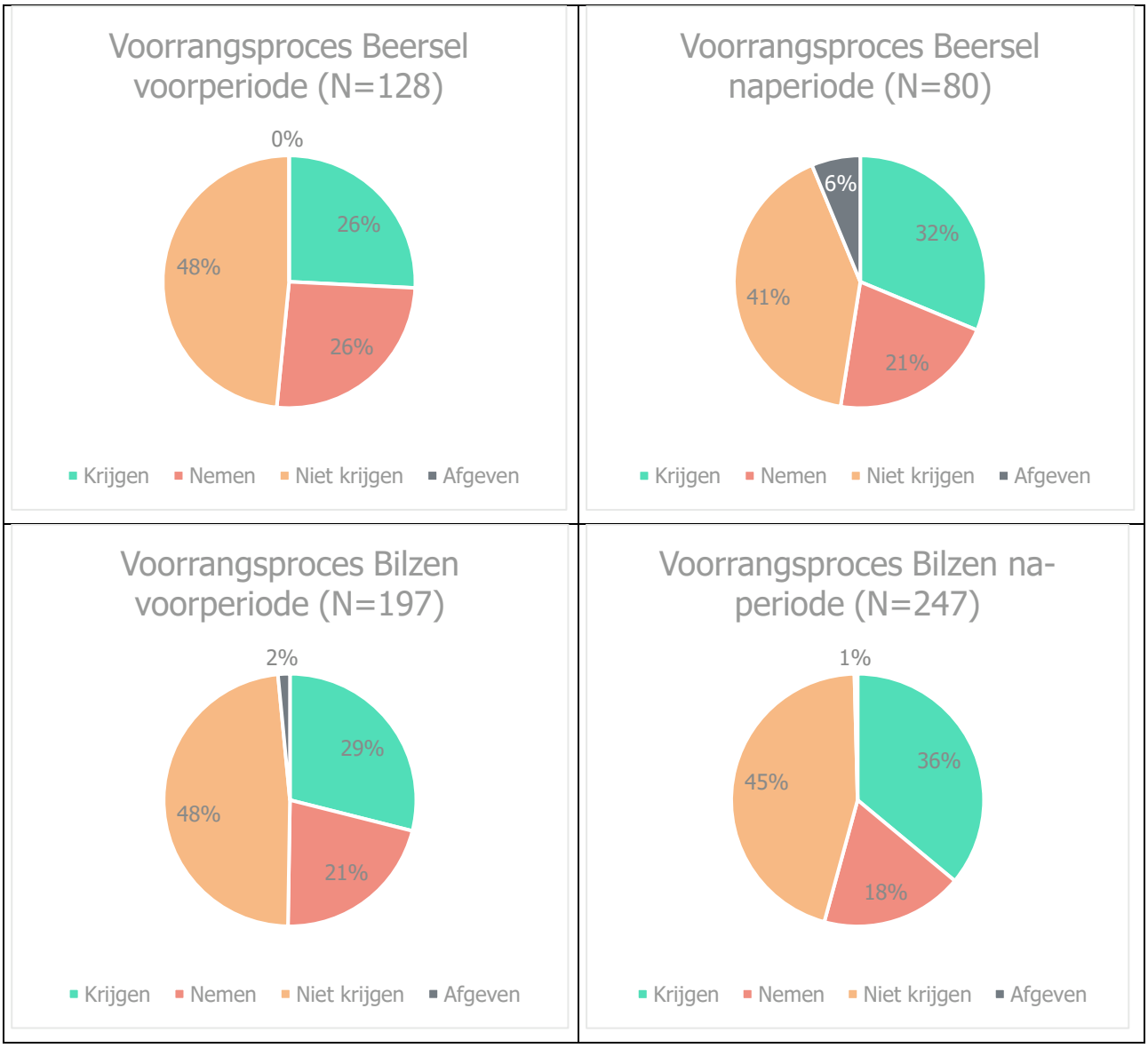
Daarbij moet opgemerkt worden dat er een beperkt aantal interacties met fietsers was; deze werden uit deze gedragsanalyse gefilterd omdat fietsers aan zebrapaden geen voorrang hebben en het verloop van deze interacties dus sterk verschilt. Personen die overstaken met de fiets in de hand werden conform de wegcode beschouwd als voetganger.

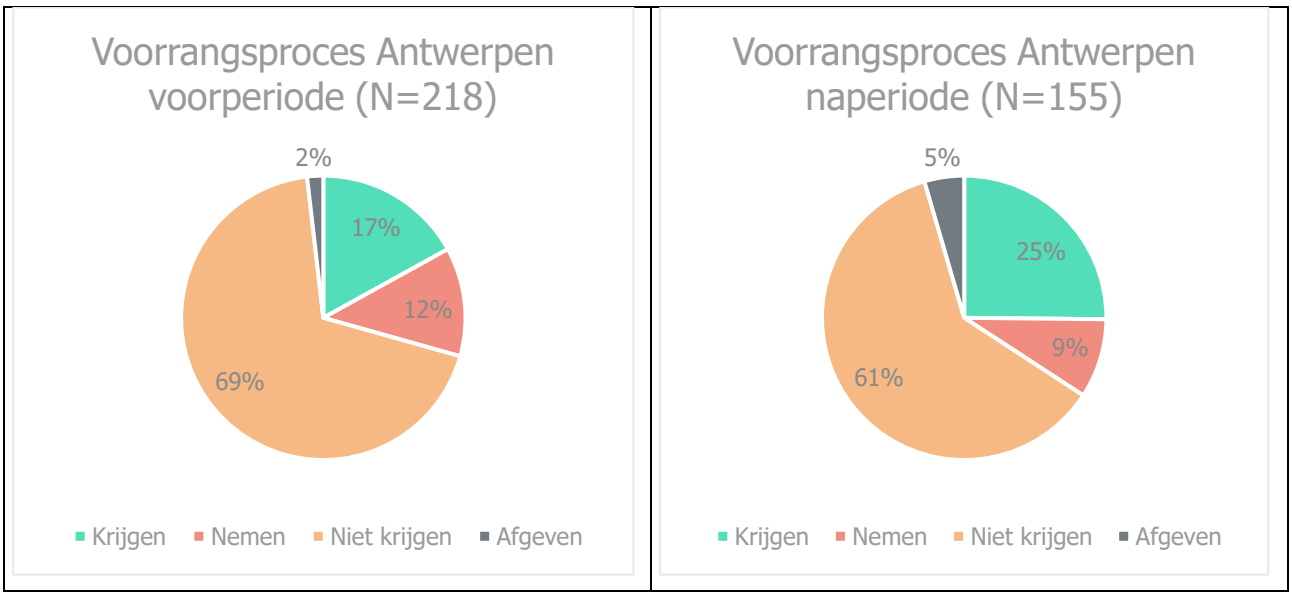
Voor deze analyse worden enkel de interacties die plaatsvinden bij daglicht besproken. De reden hiervoor is dat het voorrangsgedrag in het donker duidelijk anders is dan bij daglicht. Dit bleek tijdens de analyses van de na-periode van Antwerpen; dit was de enige observatieperiode waar een substantieel deel van de observatieduur in het donker viel. De voor- en na-periode van Antwerpen blind met elkaar vergelijken zonder met dit element rekening te houden zou de resultaten vertekenen. Voor de andere locaties en periodes heeft dit nauwelijks effect op de resultaten, aangezien er quasi geen interacties waren die niet bij daglicht plaatsvonden.

De Fisher's Exact Test voor de drie locaties samen geeft aan dat het voorrangsproces tussen de voorperiode en de na-periode significant verschilt (Fisher's Exact Test: p=0,006). Bij de drie locaties zien we op het eerste gezicht enkele gelijkaardige verschillen tussen de voor- en de naperiode. We zien op de drie locaties enerzijds een lichte daling met enkele procentpunten van het aantal situaties waarbij de overstekende voetganger de voorrang niet krijgt. Aan de andere kant zien we een lichte stijging van het aantal situaties waarbij de overstekende voetganger de voorrang krijgt. Er is ook een lichte daling in het aantal interacties waarbij de voetganger de voorrang neemt. Globaal gezien kunnen we dit beschouwen als een lichte verbetering van het voorrangsgedrag, aangezien de situatie 'niet krijgen' de minst wenselijke uitkomst van een interactie is, en 'voorrang krijgen' de meest wenselijke.

De significantietests van de individuele oversteeklocaties geven evenwel niet overal een statistisch significant effect. In Beersel is het verschil statistisch significant (Fisher's Exact Test: p=0,0246). In Bilzen is het verschil niet significant (Fisher's Exact Test: p=0,2709). In Antwerpen is het verschil ook niet statistisch significant (Fisher's Exact Test: p=0,0751).

Van de interacties in Antwerpen in de na-situatie die plaatsvinden bij schemer of bij duister, en die dus niet opgenomen zijn in de grafiek, is 88% interacties van het type 'niet krijgen', 4% krijgen en 8% nemen. Deze verdeling over de types voorrangsproces verschilt statistisch significant van de verdeling bij daglicht. Met andere woorden, van zodra de zichtbaarheid vermindert wordt significant minder goed voorrang verleend in Antwerpen dan overdag (Fisher's Exact Test: p<0,001).



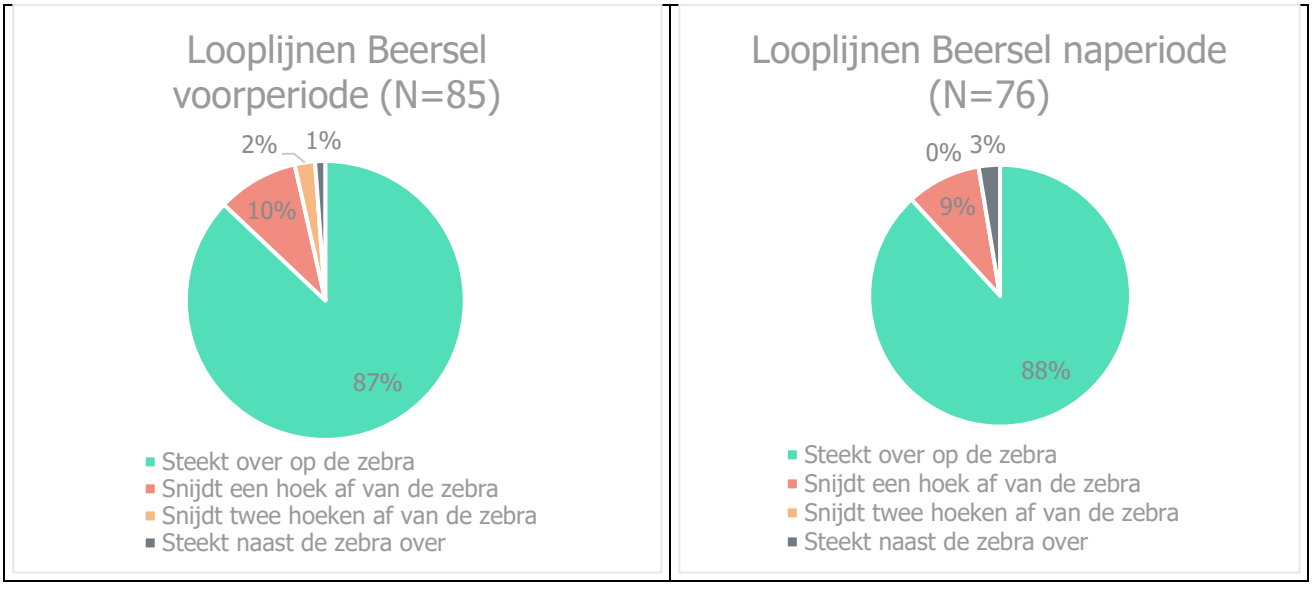


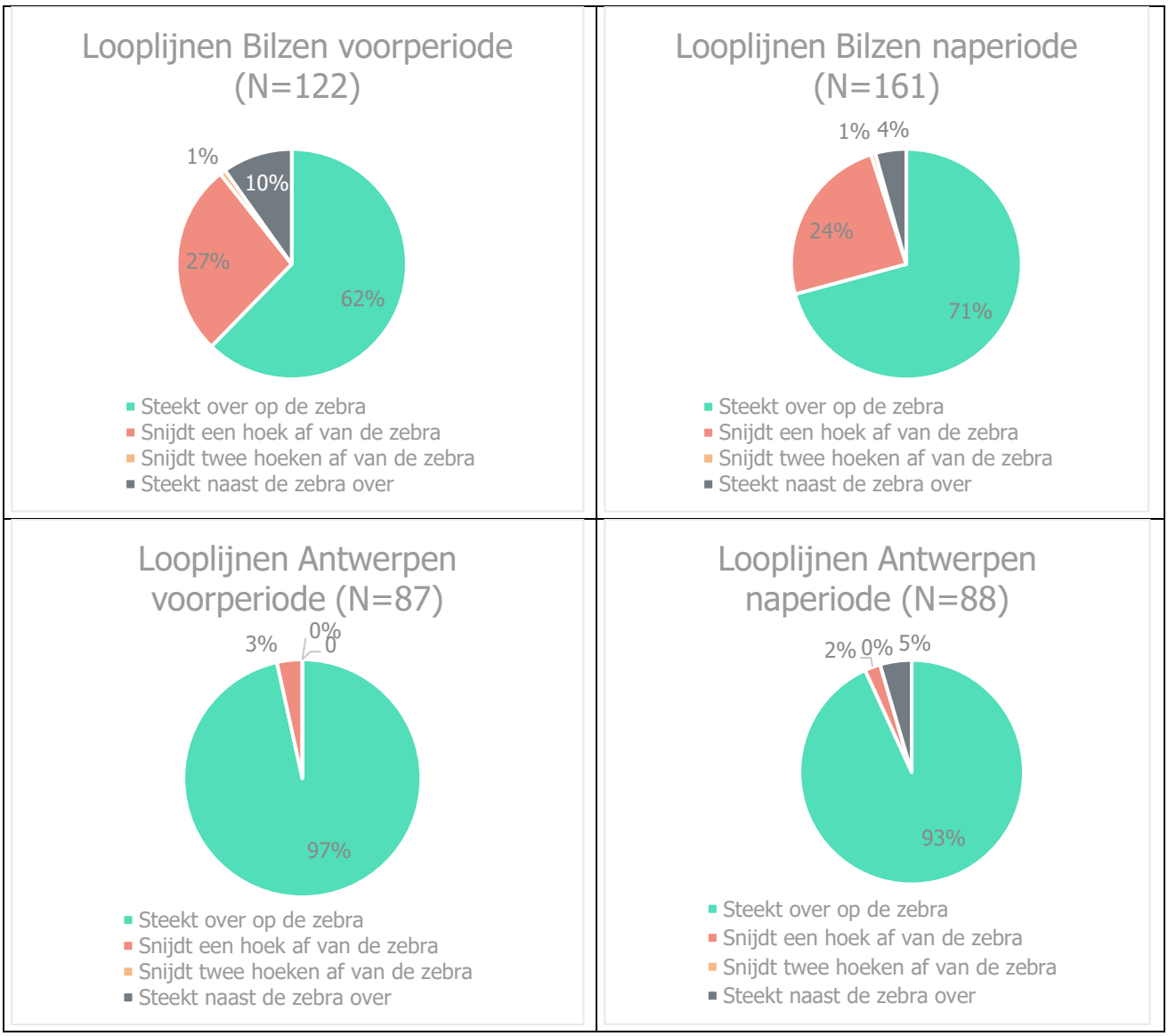
Figuur 20 Voorrangsproces voor en na op de drie proeflocaties.

4.4.2 Analyses looplijnen overstekende voetgangers

De looplijnanalyses van overstekende voetgangers worden weergegeven in Figuur 21. Belangrijk hierbij is aan te geven dat in deze analyse elke oversteekbeweging (dus elke voetganger of groep of voetgangers die oversteekt) slechts één keer wordt meegenomen in de analyses. Zowel overstekers die in interactie komen met een motorvoertuig als overstekers die vrij kunnen oversteken werden meegenomen.

De patronen die we waarnemen zijn niet eenduidig. In Beersel en in Antwerpen wordt globaal genomen eerder zelden buiten de oversteekplaats overgestoken. In Beersel is er quasi geen verschil in looplijnen tussen de voor- en de naperiode. In Antwerpen zien we een lichte verslechtering van het oversteekgedrag, maar de aantallen zijn zeer beperkt. In Bilzen zien we een verbetering waarbij er voornamelijk minder mensen naast de oversteekplaats oversteken, en meer op de oversteekplaats. Ook in Bilzen is het verschil echter niet statistisch significant (Fisher's Exact Test: p=0,1993). We kunnen concluderen dat we geen significante effecten vinden van het aanbrengen van een 3D-zebrapad op de looplijnen van de voetgangers.





Figuur 21 Looplijnen overstekende voetgangers.

4.4.3 Conclusies gedragsobservatie

We zien een lichte, maar statistisch significante verbetering van het voorrangsgedrag na plaatsing van het 3D-zebrapad. Meer bepaald zien we dat het percentage interacties waarin de overstekende voetganger de voorrang krijgt toeneemt, en het aantal interacties waarbij deze de voorrang niet krijgt afneemt. Ook het aantal interacties waarbij de voetganger assertiever de voorrang neemt, daalt. Zowel de globale test voor de drie locaties samen als de aparte test voor Beersel duiden op een statistisch significant effect van het 3D-zebrapad op het voorrangsproces (d.w.z. de manier waarop de weggebruikers met elkaar interageren). De aparte testen voor Bilzen en Antwerpen geven geen significant effect aan. Er is geen significant effect van het 3D-zebrapad op de gekozen looplijnen van de voetgangers.

4.5 Analyses conflictobservaties

Tabel 7 geeft een overzicht van de resultaten van de conflictobservatie. Kolommen 2 en 5 geven per locatie respectievelijk het absolute aantal ernstige conflicten in de voor- en in de na-periode. Dit zijn geobserveerde waarden. Kolommen 3 en 6 geven voor de voor- en na-periode het aantal interacties weer. Het betreft een schatting van het totale aantal interacties overheen de 4 dagen. Deze werden als volgt bepaald. Voor de dag die gebruikt werd voor de gedragsobservatie, is het exacte aantal interacties gekend. Één

oversteekbeweging kan resulteren in verschillende interacties (of ook in nul interacties, indien er op dat moment geen motorvoertuigen passeren). Via de geautomatiseerde analyses van RUBA weten we voor elk van de vier dagen het aantal gedetecteerde oversteekbewegingen. Op basis van het aantal gedetecteerde oversteekbewegingen en het bijbehorende aantal geregistreerde interacties van de gedragsobservatiedag kunnen we de conversiefactor bepalen om voor de andere dagen waar we geen gedragsobservatie deden het aantal interacties te schatten op basis van het aantal gedetecteerde oversteekbewegingen. Kolommen 4 en 7 geven de conflict rate in de voor- en na-periode weer, dewelke is uitgedrukt in het aantal ernstige conflicten per 1000 interacties. In de conflictanalyse worden ook eventuele conflicten met overstekende fietsers meegenomen.

Gezien de relatief lage aantallen conflicten, dienen de resultaten met de nodige voorzichtigheid te worden geïnterpreteerd.

Tabel 7 Overzicht resultaten conflictobservatie.

	Voorperiode			Naperiode		
Locatie	# ernstige conflicten	# interacties (raming)	# conflicten per 1000 interacties (conflict rate)	# ernstige conflicten	# interacties (raming)	# conflicten per 1000 interacties (conflict rate)
Beersel	9	315	28,6	1	242	4,1
Bilzen	5	765	6,5	4	930	4,3
Antwerpen	1	956	1,1	2	1137	1,8

Om te berekenen of de verschillen tussen de voor- en na-periode statistisch significant zijn, maken we gebruik van een Fisher's Exact Test waarin het aantal interacties dat leidt tot een ernstig conflict versus het aantal interacties dat niet leidt tot een ernstig conflict wordt vergeleken tussen de voor- en de na-periode. Met andere woorden wordt zo de expositie, uitgedrukt als aantal interacties, in rekening gebracht. Het aantal interacties wordt over het algemeen beschouwd als een meer geavanceerde en betere maat van expositie dan bijvoorbeeld intensiteiten (Elvik et al., 2009; Johnsson, Laureshyn, De Ceunynck, et al., 2018). Een p-waarde van 0,05 of lager wijst op een significant effect op het 95%-niveau.

In Beersel zien we een opvallende daling van het aantal ernstige conflicten van 9 in de voorperiode naar 1 conflict in de na-periode. De conflict rate daalt van 28,6 naar 4,1. Dit verschil is statistisch significant (Fisher's Exact Test: p=0,0487). In Bilzen daalt het aantal ernstige conflicten van 5 naar 4 bij een hoger aantal interacties in de na-periode. De conflict rate daalt van 6,5 ernstige conflicten per 1000 interacties naar 4,3. Dit verschil is niet statistisch significant (Fisher's Exact Test: p=0,7394). Antwerpen is de locatie met de laagste conflict rates. Het aantal ernstige conflicten stijgt van 1 naar 2, en de conflict rate van 1,1 ernstige conflicten per 1000 interacties naar 1,8. Dit verschil is niet statistisch significant (Fisher's Exact Test: p=1,000).

Concluderend voeren we een algemene Fisher's Exact Test uit overheen de data van de drie onderzoekslocaties samen. De test wijst aan dat het verschil tussen voor- en na-periode niet statistisch significant is, hoewel de waarde wel dicht tegen de drempelwaarde voor statistische significantie p=0,05 aanligt (Fisher's Exact Test: p=0,0537).

Alle betrokken voertuigen in de ernstige conflicten waren van het type personenwagen. De betrokken kwetsbare weggebruikers waren op één overstekende fietser in Bilzen in de voorperiode na allemaal voetgangers. Één conflict in de na-periode in Antwerpen vond plaats in het donker (kort na 18u), alle andere conflicten overheen de verschillende locaties vonden plaats bij daglicht.

Een opvallend patroon in de geobserveerde conflicten is de dominantie van conflicten die plaatsvinden op de tweede rijstrook (vanuit het oogpunt van de overstekende voetganger). In de voorsituatie van Beersel vinden 7 van de 9 conflicten plaats op de tweede rijstrook. Het ene conflict in Beersel in de na-periode vond ook plaats op de tweede rijstrook. In Bilzen vonden 4 van de 5 conflicten in de voorperiode en 2 van de 4 conflicten in de na-periode plaats op de tweede rijstrook. In Antwerpen vonden alle conflicten plaats op de tweede rijstrook. Globaal genomen betekent dat dus dat 17 van de 21 geobserveerde conflicten plaatsvonden op de tweede rijstrook. Alleszins voor wat de locatie in Bilzen betreft, is deze bevinding in lijn met de ongevallendata, die aantoonden dat de drie aanrijdingen met een voetganger plaatsvonden op de tweede rijstrook.

De reden voor de dominantie van conflicten op de tweede rijstrook is onduidelijk en kan meestal niet rechtstreeks afgeleid worden uit de geobserveerde conflicten. Mogelijke verklaringen voor (een deel van) deze conflicten zijn de volgende:

- Twee van de conflicten in Beersel werden mede veroorzaakt door een wachtrij van voertuigen die opbouwde vanaf het lichtengeregelde kruispunt dat iets verderop is gelegen. Zichtbelemmering speelde bij deze twee conflicten dus een rol. Bij andere conflicten observeerden we geen zichtbelemmering door andere weggebruikers.
- Een overstekende voetganger die vanuit het oogpunt van een bestuurder van de 'verre' zijde van de weg (linkerzijde) oversteekt bevindt zich meer perifeer in het gezichtsveld van een bestuurder dan een voetganger die van de 'dichtstbijzijnde' (rechterkant) oversteekt. Mogelijk wordt de voetganger hierdoor soms later opgemerkt, hetgeen resulteert in een late reactie van de bestuurder.
- Mogelijk levert de A-stijl van de auto (d.i. de kolom tussen de voorruit en de voorste zijruiten) in sommige gevallen een zichtbelemmering voor de bestuurder om overstekende weggebruikers te zien. Door de positie van de bestuurder is dergelijke zichtbelemmering waarschijnlijker voor voetgangers die oversteken vanaf de linkerzijde dan voor voetgangers die oversteken vanaf de rechterzijde.

4.5.1 Conclusies conflictobservatie

Een opvallende vaststelling is dat de overgrote meerderheid van de conflicten plaatsvindt op de tweede (verste) rijstrook die de kwetsbare weggebruiker oversteekt. In Beersel zien we een significante daling van het aantal ernstige conflicten, in Bilzen een lichte niet-significante daling en in Antwerpen een lichte niet-significante stijging. De significantietest over de drie locaties heen geeft aan dat er geen significante daling is in het aantal ernstige conflicten tussen voor- en na-periode, hoewel de waarde kort tegen de grenswaarde voor statistische significantie aanligt. Gezien de relatief lage aantallen conflicten, dienen de resultaten van de conflictobservatie in ieder geval met de nodige voorzichtigheid te worden geïnterpreteerd.

5 Discussie

Deze studie vond een lichte verbetering van het voorrangsgedrag na het omvormen van klassieke zebrapaden naar 3D-zebrapaden. Er werd geen significant effect gevonden op de rijsnelheid. Er werd een significante daling van het aantal conflicten gevonden op de locatie in Beersel, maar het globale effect overheen de drie locaties samen was niet statistisch significant (hoewel de waarde dicht aanleunt tegen de grenswaarde van statistische significantie). Globaal genomen zijn de resultaten te variabel en te onzeker om te kunnen stellen dat 3D-zebrapaden leiden tot een verbetering van de verkeersveiligheid.

Een alternatieve verklaring voor de licht gunstige effecten op het voorrangsgedrag kan bovendien te maken hebben met het beter zichtbaar zijn van de nieuwe witte markering op de oversteekplaats in vergelijking met de markering voordien, los dus van het 3D-effect. Met andere woorden, als de oude markeringen gewoon overschilderd werden met klassieke zebrastrepen had dit mogelijk ook een effect kunnen hebben op het verloop van de interacties en/of het aantal conflicten. Doordat er in dit onderzoek geen controlelocaties zijn opgenomen (m.a.w. locaties waarop dezelfde datacollectie en -analyse gebeurde, maar waarbij de oude markeringen enkel vernieuwd werden), kunnen we deze mogelijkheid niet uitsluiten. De afwezigheid van controlelocaties is dus een beperking van deze studie. Ook het relatief beperkte aantal controlelocaties en het beperkte aantal overstekende kwetsbare weggebruikers per locatie is een limitatie van deze studie.

Op het terrein viel het op dat het 3D-effect van de markeringen eerder beperkt was. Het effect werd pas zichtbaar wanneer bestuurders het zebrapad al vrij dicht genaderd waren en was niet erg uitgesproken. Het is niet uit te sluiten dat een ander ontwerp van 3D-zebrapad dat een sterkere visuele prikkel creëert voor naderende bestuurders grotere effecten een gunstig effect heeft op de verkeersveiligheid. Het kan zinvol zijn om dit in een vervolgstudie verder te onderzoeken.

6 Conclusies & aanbevelingen

Er werd **geen statistisch significant effect** gevonden van een 3D-zebrapad op de **rijsnelheid**. De (beperkte) verschillen die op sommige meetpunten werden gevonden tussen de voor- en na-periode zijn erg variabel en inconsistent, en lijken geen systematisch patroon aan te duiden.

We zien een **lichte verbetering** van het **voorrangsgedrag** na het aanbrengen van het 3D-zebrapad. Meer bepaald zien we dat het percentage interacties waarin de overstekende voetganger de voorrang krijgt toeneemt, en het aantal interacties waarbij deze de voorrang niet krijgt afneemt. Ook het aantal interacties waarbij de voetganger assertiever de voorrang neemt, daalt. Zowel de globale test voor de drie locaties samen als de aparte test voor Beersel duiden op een statistisch significant effect van het 3D-zebrapad. De aparte testen voor Bilzen en Antwerpen geven geen significant effect aan. Er is **geen significant effect** van het 3D-zebrapad op de gekozen **looplijnen** van de voetgangers.

De significantietest over de drie locaties heen geeft aan dat er **geen significante daling** is in het aantal **ernstige conflicten** tussen voor- en na-periode, maar de waarde leunt wel dicht tegen de grenswaarde voor statistische significantie aan. In Beersel zien we een significante daling van het aantal ernstige conflicten, in Bilzen een lichte niet-significante daling en in Antwerpen een lichte niet-significante stijging. Een opvallende vaststelling is dat de overgrote meerderheid van de conflicten plaatsvindt op de tweede (verste) rijstrook die de kwetsbare weggebruiker oversteekt. Gezien de relatief lage aantallen conflicten, dienen de resultaten van de conflictobservatie in ieder geval met de nodige voorzichtigheid te worden geïnterpreteerd.

Op basis van deze studie concluderen we dat er in ieder geval geen indicaties zijn dat een 3D-zebrapad negatieve effecten zou kunnen hebben op de verkeersveiligheid. De **gevonden effecten** zijn echter **te klein en te onzeker om te kunnen concluderen dat 3D-zebrapaden een positief effect hebben op de verkeersveiligheid**. Samengevat kunnen we stellen dat er enkele indicaties zijn dat 3D-zebrapaden mogelijk in beperkte mate een gunstig effect zouden kunnen hebben op de veiligheid van overstekende kwetsbare weggebruikers. De effecten zijn echter klein en lang niet altijd eenduidig. Vooral in Beersel zien we in de na-periode een verbetering in het voorrangsgedrag en een daling in het aantal conflicten. Op de proeflocaties in Bilzen en Antwerpen zien we deze effecten minder sterk. De onderzochte aantallen zijn vrij laag en de resultaten moeten daarom met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden.

Een alternatieve verklaring voor de licht gunstige effecten op het voorrangsgedrag kan bovendien te maken hebben met het beter zichtbaar zijn van de nieuwe witte markering op de oversteekplaats in vergelijking met de markering voordien, los dus van het 3D-effect. Doordat er in het onderzoek geen controlelocaties waren opgenomen, kunnen we deze alternatieve mogelijkheid niet uitsluiten.

Aangezien de gevonden veranderingen te klein en te onzeker zijn om te spreken over een werkelijk effect op de verkeersveiligheid, kunnen we op basis van het gevoerde onderzoek de verdere uitrol van 3D-zebrapaden niet aanbevelen als maatregel om de verkeersveiligheid van overstekende voetgangers te verbeteren.

Tabellen- en figurenlijst

Tabel 1 Observatieperiodes. 17
Tabel 2 Karakteristieken van de verkeersongevallen op de N730 Waterstraat te Bilzen ter hoogte van kilometerpunt 13.6 21
Tabel 3 Aantal metingen (na cleaning) en percentages van langzaam verkeer (<15 km/h) en extreme metingen (>19m) in de oorspronkelijke dataset. 23
Tabel 4 Gemiddelde snelheden (km/h) naargelang de plaats, richting en positie voor de vóór- en námetingen 24
Tabel 5 Resultaten gegeneraliseerd lineair model snelheidsdata. 26
Tabel 6 Aantal geregistreerde interacties per locatie en periode. 27
Tabel 7 Overzicht resultaten conflictobservatie. 31

Figuur 1 Evolutie van het aantal voetgangersslachtoffers (dodelijk en gewond) – België – 2005-2017 (Bron: Statbel – Infografie Vias institute – overgenomen uit Pelssers (2019)). 7
Figuur 2 Evolutie van het aandeel voetgangers in het totaal aantal verkeersslachtoffers – België – 2005-2017 (Bron: Statbel – Infografie Vias institute – overgenomen uit Pelssers (2019)). 8
Figuur 3 Plaats van voetgangersongevallen volgens de positie van de voetganger – België – 2015-2017 (Bron: Statbel – Infografie Vias institute – overgenomen uit Pelssers (2019)). 9
Figuur 4 Markeringen toegepast in de studie van Cambridge (2012). 10
Figuur 5 Ontwerp 3D-zebrapad met 7 balken (toegepast in Beersel en Antwerpen). 11
Figuur 6 Ontwerp 3D-zebrapad met 6 balken (toegepast in Bilzen). 12
Figuur 7 Proeflocatie in Beersel. 13
Figuur 8 Proeflocatie in Bilzen. 13
Figuur 9 Proeflocatie in Antwerpen. 14
Figuur 10 Tijdelijke camerasystemen. 15
Figuur 11 Principeschets opstelling radars en camera's. 16
Figuur 12 3D-laserscanner. 16
Figuur 13 Illustratie werking RUBA videoanalysesoftware. 18
Figuur 14 Illustratie werking T-Analyst videoanalysesoftware. 19
Figuur 15 Kalibratie T-Analyst. 19
Figuur 16 Manoeuvrediagram N730 (Waterstraat) te Bilzen ter hoogte van kilometerpunt 13.6 22
Figuur 17 Manoeuvrediagram Sint-Bernardsesteenweg te Antwerpen ter hoogte kilometerpunt 5.25 23
Figuur 18 Gemiddelde snelheden (km/h) naargelang de plaats en richting en positie voor de vóór- en nametingen 25
Figuur 19 Geschatte gemiddeldes voor de voor- en nameting naargelang de positie van de radar. 26
Figuur 20 Voorrangsproces voor en na op de drie proeflocaties. 29
Figuur 21 Looplijnen overstekende voetgangers. 30

Referenties

Allen, B., Shin, B. T., & Cooper, P. J. (1978). Analysis of traffic conflicts and collisions. *Tranportation Research Record*, *667*, 67–74.

Bella, F., & Silvestri, M. (2015). Effects of safety measures on driver's speed behavior at pedestrian crossings. *Accident Analysis & Prevention*, *83*, 111–124. https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.07.016

Bhole, A. (2018, mei 29). *Outback town takes a 3D approach to slowing motorists at pedestrian crossings* [Text]. ABC News. https://www.abc.net.au/news/2018-05-29/outback-town-3d-pedestrian-crossing/9809394

Brown, G. R. (1994). Traffic conflicts for road user safety studies. *Canadian Journal of Civil Engineering*, *21*(1), 1–15. https://doi.org/10.1139/l94-001

Burlov, V., & Gomazov, F. (2018). Method of mathematical justification for using 3D zebra crossing. *Transportation Research Procedia*, *36*, 95–102. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.049

Cambon de Lavalette, B., Tijus, C., Poitrenaud, S., Leproux, C., Bergeron, J., & Thouez, J.-P. (2009). Pedestrian crossing decision-making: A situational and behavioral approach. *Safety Science*, *47*(9), 1248–1253. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.03.016

De Ceunynck, T. (2017). *Defining and applying surrogate safety measures and behavioural indicators through site-based observations* [Doctoral dissertation]. Hasselt University, Belgium, & Lund University, Sweden.

De Ceunynck, T., Polders, E., Daniels, S., Hermans, E., Brijs, T., & Wets, G. (2013). Road Safety Differences Between Priority-Controlled Intersections and Right-Hand Priority Intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *2365*, 39–48. https://doi.org/10.3141/2365-06

Deb, S., Strawderman, L., DuBien, J., Smith, B., Carruth, D. W., & Garrison, T. M. (2017). Evaluating pedestrian behavior at crosswalks: Validation of a pedestrian behavior questionnaire for the U.S. population. *Accident Analysis & Prevention*, *106*, 191–201. https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.05.020

Elvik, R., Erke, A., & Christensen, P. (2009). Elementary Units of Exposure. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *2103*, 25–31. https://doi.org/10.3141/2103-04

Hayward, J. C. (1972). Near-miss determination through use of a scale of danger. *Highway Research Record*, *384*, 24–34.

Jian, L., Lizhong, Y., & Daoliang, Z. (2005). Simulation of bi-direction pedestrian movement in corridor. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, *354*(C), 619–628.

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*(6), 765–785. https://doi.org/10.1080/01441647.2018.1442888

Johnsson, C., Laureshyn, A., De Ceunynck, T., & D'Agostino, C. (2018). Can event-based exposure measures help to explain the Safety-in-Numbers phenomenon? *Proceedings of the 7th International Cycling Safety Conference*.

Kröyer, H. R. G., Jonsson, 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 & Prevention*, *62*, 143–152. https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.09.007

Laureshyn, A., De Ceunynck, T., Karlsson, C., Svensson, Å., & Daniels, S. (2017). In search of the severity dimension of traffic events: Extended Delta-V as a traffic conflict indicator. *Accident Analysis & Prevention*, *98*, 46–56. https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.09.026

Laureshyn, A., Svensson, Å., & Hydén, C. (2010). Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioural data: Theoretical framework and first implementation. *Accident Analysis & Prevention*, *42*(6), 1637–1646. https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.03.021

Mitman, M. F., Cooper, D., & Dubose, B. (2010). Driver and Pedestrian Behavior at Uncontrolled Crosswalks in Tahoe Basin Recreation Area of California: *Transportation Research Record*. https://doi.org/10.3141/2198-04

Mwesigwa, A. (2018). *Researchers explore 3D zebra crossing use in Kampala*. The Observer - Uganda. https://observer.ug/news/headlines/59423-researchers-explore-3d-zebra-crossing-in-kampala

Nath, D. (2016, juli 14). The changing stripes of zebra crossing. *The Hindu*. https://www.thehindu.com/news/national/other-states/The-changing-stripes-of-zebra-crossing/article14487679.ece

Pasanen, E. (1992). *Driving speeds and pedestrian safety: A mathematical model*. Helsinki University of Technology. https://trid.trb.org/view/374708

Pelssers, B. (2019). *Themadossier Verkeersveiligheid nr. 7—Voetgangers* (Nr. 2019-T-02-NL). Vias institute.

Rosén, E., Stigson, H., & Sander, U. (2011). Literature review of pedestrian fatality risk as a function of car impact speed. *Accident Analysis & Prevention*, *43*(1), 25–33. https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.04.003

Sarwar, M. T., Fountas, G., Bentley, C., Anastasopoulos, P. C., Blatt, A., Pierowicz, J., Majka, K., & Limoges, R. (2017). Preliminary Investigation of the Effectiveness of High-Visibility Crosswalks on Pedestrian Safety Using Crash Surrogates. *Transportation Research Record*, *2659*(1), 182–191. https://doi.org/10.3141/2659-20

Surtees, C. (2017). *Will 3D Zebra Crossings Help to Curb Traffic Accidents?* Beijing Review. http://www.bjreview.com/Opinion/201707/t20170731_800101353.html

Tefft, B. C. (2013). Impact speed and a pedestrian's risk of severe injury or death. *Accident Analysis & Prevention*, *50*, 871–878. https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.07.022

Trifunović, A. V., Čičević, S. J., Lazarević, D. M., Dragović, M. S., Vidović, N. D., Mošić, M. R., & Otat, O. V. (2019). Perception of 3D Virtual Road Markings Based on Estimation of Vehicle Speed. *FME Transactions*, *47*, 360–369.

van der Horst, A. R. A. (1990). *A Time-based Analysis of Road-User Behaviour at Intersections*. 91–107.

Várhelyi, A. (1998). Drivers' speed behaviour at a zebra crossing: A case study. *Accident Analysis & Prevention*, *30*(6), 731–743. https://doi.org/10.1016/S0001-4575(98)00026-8

Wilde, G. J. S. (1982). The Theory of Risk Homeostasis: Implications for Safety and Health. *Risk Analysis*, *2*(4), 209–225. https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.1982.tb01384.x

Zhuang, X., & Wu, C. (2011). Pedestrians' crossing behaviors and safety at unmarked roadway in China. *Accident Analysis & Prevention*, *43*(6), 1927–1936. https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.05.005



Vias institute
Haachtsesteenweg 1405, 1130 Brussel · Chaussée de Haecht 1405, 1130 Bruxelles · +32 2 244 15 11 · info@vias.be · www.vias.be