



Rapport nr. 2022-R-18-NL

Evaluatie “Actieplan verkeerslichten” naar verkeersveiligheidseffecten

Eindrapport



Vlaanderen
is mobiliteit &
openbare werken



Evaluatie “Actieplan verkeerslichten” naar verkeersveiligheidseffecten

Eindrapport

Rapport nr. 2022-R-18-NL

Auteurs: Evi Dons, Annelies Schoeters, Annelies Develtere, Heike Martensen

Verantwoordelijke uitgever: Karin Genoe

Uitgever: Vias institute

Publicatiedatum: 30/09/2022

Wettelijk depot: D/2022/0779/42

Gelieve naar dit document te verwijzen als volgt: Dons, E., Schoeters, A., Develtere, A. & Martensen, H. (2022) Evaluatie “Actieplan verkeerslichten” naar verkeersveiligheidseffecten – Eindrapport, Brussel, België: Vias institute

This report includes a summary in English.

Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van het Departement Mobiliteit en Openbare Werken.

Dankwoord

Deze studie werd gefinancierd door het Departement Mobiliteit & Openbare Werken, afdeling beleid, van de Vlaamse Overheid. Het project werd begeleid door een stuurgroep met leden vanuit het Departement Mobiliteit & Openbare Werken en het Agentschap Wegen en Verkeer (Pascal Lammar, Ellen De Pauw, Koen Van Raemdonck, Stefaan Hoornaert). Projectleider was Pascal Lammar van het Departement Mobiliteit & Openbare Werken.

Vias institute wenst het Agentschap Wegen en Verkeer te bedanken voor het beschikbaar stellen van de benodigde data.

De exclusieve verantwoordelijkheid voor de inhoud van het rapport ligt bij de auteurs.

Inhoud

Tabellen- en figurenlijst	5
Samenvatting	6
Summary	7
1 Inleiding	8
1.1 Context	8
1.2 Onderzoeksvragen	9
2 Methodiek	10
2.1 Onderzoeksdesign	10
2.1.1 Voor- en na-periode	10
2.1.2 Welke effecten?	11
2.2 Data	11
2.2.1 Onderzoeklocaties en vergelijkingslocaties	11
2.2.2 Ongevallen	13
2.2.3 Overige data	14
2.3 Descriptieve analyse	15
2.4 Statistische analyse	15
2.4.1 Toepassing van de Empirical Bayes-methode	16
2.4.2 Analyse naar subgroep	17
2.4.3 Sensitiviteitsanalyse	18
2.5 Software	18
3 Resultaten	19
3.1 Descriptieve analyse	19
3.2 Statistische analyse	21
3.3 Sensitiviteitsanalyse	26
4 Discussie	28
5 Conclusies	30
Referenties	31
Bijlage	32
Bijlage 1: Formules	33
Bijlage 2: Impact op (ernst van) ongevallen	34

Tabellen- en figurenlijst

Tabel 1	Onderzoeksdesign: voor- en na-periode _____	11
Tabel 2	Kruispunten opgenomen als onderzoekslocaties in de analyse: situatie voor en na de lokale invoering van het 'Actieplan Verkeerslichten'. _____	12
Tabel 3	Vergelijkingslocaties en onderzoekslocaties langsheen verschillende types wegen _____	19
Tabel 4	Totaal aantal letselongevallen per jaar per groep _____	19
Tabel 5	Totaal aantal slachtoffers (lichtgewonden, zwaargewonden en doden) per jaar per groep _____	19
Tabel 6	Gemiddeld aantal ongevallen per kruispunt per jaar, rekening houdend met het jaar van de aanpassingen aan een kruispunt, een voor-periode van drie jaar en een na-periode van maximaal drie jaar. _____	20
Tabel 7	Geschatte verandering in het aantal ongevallen door het 'Actieplan Verkeerslichten' naar jaar van aanpassing _____	24
Tabel 8	Geschatte verandering in het aantal ongevallen door het 'Actieplan Verkeerslichten' naar wegcategorie van de hoofdtek van een kruispunt _____	25
Tabel 9	Resultaten van de sensitiviteitsanalyse: Impact van het 'Actieplan Verkeerslichten' op het aantal letselongevallen _____	27
Figuur 1	Geselecteerde onderzoekslocaties (paars; n=71) en vergelijkingslocaties (blauw; n=425). _____	13
Figuur 2	Alle ongevallen (x op de figuur) binnen een buffer met straal van 50 meter worden gelinkt aan een kruispunt. _____	14
Figuur 3	Schematische voorstelling van een Empirical Bayes Model. _____	16
Figuur 4	Geselecteerde onderzoekslocaties naar graad van conflictvrijheid: Kruispunten waarbij 50% of meer van de takken conflictvrij zijn (blauw+rood; n=59) en kruispunten die volledig conflictvrij zijn na de uitvoering van het Actieplan (rood; n=13). _____	17
Figuur 5	Geschatte verandering in het aantal ongevallen en slachtoffers door het 'Actieplan Verkeerslichten' (tabelweergave in bijlage 2) _____	21
Figuur 6	Geschatte verandering in het aantal ongevallen door het 'Actieplan Verkeerslichten' naar graad van conflictvrijheid (tabelweergave in bijlage 2) _____	22
Figuur 7	Geschatte verandering in het aantal ongevallen door het 'Actieplan Verkeerslichten' naar type aanrijding (tabelweergave in bijlage 2) _____	23
Figuur 8	Geschatte verandering in het aantal slachtoffers door het 'Actieplan Verkeerslichten' naar type verkeersdeelnemer (tabelweergave in bijlage 2) _____	24

Samenvatting

Doelstelling en methodes

In 2016 is het Agentschap Wegen en Verkeer (AWV) gestart met de uitrol van het 'Actieplan Verkeerslichten'. Het doel van dit Actieplan is om de veiligheid en de doorstroming op kruispunten in het beheer van Vlaanderen te bevorderen. Hierbij worden de lichtenregelingen maximaal conflictvrij ontworpen waarbij conflicten met kwetsbare weggebruikers zo veel mogelijk worden vermeden. Met de huidige evaluatiestudie wil het Vlaams Gewest inzicht krijgen in het effect dat de uitrol van dit plan heeft op de verkeersveiligheid.

Hiertoe worden het aantal letselongevallen en slachtoffers drie jaar voor de implementatie vergeleken met drie jaar erna. Voor de analyse werden 71 kruispunten geselecteerd waarvoor betrouwbaar gedocumenteerd is dat een aanpassing de mogelijkheid tot conflicten verminderd heeft. Gegevens over het aantal geregistreerde ongevallen zijn beschikbaar tot en met 2020. In de statistische analyse wordt rekening gehouden met een aantal vertekenende factoren. Er wordt ook een vergelijkingsgroep opgenomen die de voorspelling corrigeert voor een algemene trend: alle kruispunten kunnen immers veiliger geworden zijn onafhankelijk van lokale aanpassingen in het kader van het 'Actieplan Verkeerslichten'.

Resultaten

Het 'Actieplan Verkeerslichten' heeft een gunstig effect op de verkeersveiligheid indien op het kruispunt effectief de kans op conflicten verminderd wordt: het aantal letselongevallen is op deze kruispunten gedaald met 19% en het aantal slachtoffers met 20%. Er is zowel een daling in het aantal lichtgewonden, als in het aantal zwaargewonden en doden. Wanneer meer takken conflictvrij geregeld worden, daalt ook het aantal ongevallen sterker. De daling in aantal ongevallen is het grootst bij frontale (-31%) en zijdelingse (-20%) aanrijdingen; het aantal kop-staart en flank-tegen-flank ongevallen wordt niet beïnvloed door de maatregel (stijging noch daling). Via het actieplan wordt er in het bijzonder naar gestreefd om conflicten met kwetsbare weggebruikers te vermijden, maar uit de resultaten blijkt dat er bij kwetsbare en gemotoriseerde verkeersdeelnemers een gelijkaardige afname van het aantal slachtoffers is.

Conclusies

Het 'Actieplan Verkeerslichten' zorgt voor een afname met een vijfde van het aantal letselongevallen en slachtoffers op kruispunten. Meer kruispunten en meer takken op die kruispunten conflictvrij maken zal dan ook een gunstige impact hebben op de verkeersveiligheid. De analyse bevestigt eerdere studies die bij conflictvrije regelingen op kruispunten vooral een reductie zagen in het aantal frontale en zijdelingse aanrijdingen en geen impact op kop-staart ongevallen. Het Actieplan zorgt voor minder slachtoffers bij de kwetsbare verkeersdeelnemers, alsook voor minder slachtoffers met gemotoriseerde modi.

Summary

Background, aims and methods

In 2016, the Agency for Roads and Traffic in Flanders, Belgium (AWV) started rolling out the 'Traffic Lights Action Plan'. This plan aims to promote safety and optimize traffic flows at intersections managed by Flanders. Traffic signals are designed to maximally avoid conflicts, specifically avoiding conflicts with vulnerable road users as much as possible. With the current evaluation study, the Flemish Region wants to gain insight into the effect of the roll-out of this plan on traffic safety.

To this end, the number of injury crashes and casualties three years before implementation and three years after are compared. For the analysis, 71 intersections were selected for which it is reliably documented that an adaptation has reduced the possibility of conflicts. Data on the number of registered crashes is available until 2020. A number of biasing factors are taken into account in the statistical analysis to calculate Crash Modification Factors. In the analysis, a comparison group is also included that corrects the prediction for a general trend: all intersections may have become safer, independent of local adaptations within the framework of the 'Traffic Lights Action Plan'.

Results

The 'Traffic Lights Action Plan' has a positive impact on traffic safety: the total number of injury crashes on these intersections has decreased by 19%, the number of casualties by 20%. There is a decrease in the number of slightly injured, seriously injured and deaths. When more branches have protected phasing, the number of crashes decreases more strongly. The decrease in the number of crashes is largest for head on (-31%) and side (angle, left turn, right turn) impacts (-20%); the number of rear-end crashes and sideswipes is not affected by the measure (neither increase nor decrease). A priori the plan focused on avoiding conflicts with vulnerable road users, but the results show that there is a similar decrease in the number of casualties among vulnerable and motorised road users.

Conclusions

The 'Traffic Lights Action Plan' resulted in a decrease of one fifth in the number of injury crashes and casualties at intersections. Equipping more intersections and more branches at those intersections with protected phasing will thus have a positive impact on traffic safety. The analysis confirms earlier studies that observed a reduction in the number of frontal and angle/left turn collisions, and no impact on rear-end crashes. The plan reduced the number of casualties among vulnerable road users, as well as the number of casualties traveling in motorized modes.

1 Inleiding

1.1 Context

Het 'Actieplan Verkeerslichten' wordt door het Agentschap Wegen en Verkeer (AWV) sinds 2016 uitgerold en heeft als doel om zowel de verkeersveiligheid als de doorstroming op kruispunten in beheer van de Vlaamse overheid te bevorderen door het uitrusten van deze kruispunten met slimmere verkeerslichten. Deze slimmere verkeerslichten maken enerzijds kruispunten maximaal conflictvrij en bevorderen anderzijds de doorstroming (verkeer niet onnodig voor een rood licht laten wachten). Het maximaal conflictvrij maken betekent dat conflicten tussen verkeer in verschillende richtingen en tussen verschillende types verkeersdeelnemers zoveel mogelijk vermeden worden.

Het actieplan wordt tot op heden vooral toegepast:

- Bij infrastructuurwerken vb. het aanleggen van nieuwe kruispunten of grondig herinrichten van bestaande kruispunten.
- Op kruispunten waar op basis van de ongevallencijfers blijkt dat de veiligheid sterk kan verhoogd worden vb. op kruispunten die voorkomen op de dynamische lijst van gevaarlijke punten.
- Bij specifieke projecten waarbij de verkeerslichtenregelingen grondig dienen aangepast te worden vb. het project van de verkeerscomputer Antwerpen, uitrol KAR...

Het Departement Mobiliteit & Openbare Werken (MOW) van de Vlaamse Overheid wenst een evaluatie uit te voeren van dit Actieplan, specifiek naar de effecten op verkeersveiligheid. De centrale onderzoeksvraag die hierbij gesteld wordt, is "heeft de uitvoering van het 'Actieplan Verkeerslichten' een gunstig effect op de verkeersveiligheid, m.a.w. is het aantal ongevallen en/of de ernst ervan afgenomen?". Daarnaast wil MOW het verkeersveiligheidseffect bepalen naargelang de graad van conflictvrijheid van elk kruispunt dat opgenomen is in het Actieplan. Op die manier kan de relatie tussen ongevallen en het al dan niet nog aanwezig zijn van (deel)-conflicten onderzocht worden.

Deze evaluatie omvat dus twee onderdelen: (1) Evaluatie van het 'Actieplan Verkeerslichten' in zijn geheel; (2) Evaluatie van het 'Actieplan Verkeerslichten', opgedeeld naar de graad van conflictvrijheid van de aangepakte kruispunten.

1.2 Onderzoeksvragen

In eerste instantie wordt het 'Actieplan Verkeerslichten' in zijn geheel geëvalueerd. De onderzoeksvragen bij het eerste onderdeel van de evaluatie luiden:

- "Hebben er na het uitvoeren van de aanpassingen in het kader van het 'Actieplan Verkeerslichten' minder ongevallen plaatsgevonden?"
- "Is de ernst van de ongevallen na het uitvoeren van de aanpassingen in het kader van het 'Actieplan Verkeerslichten' verminderd?"

Deze onderzoeksvragen kunnen verder opgedeeld worden naar de volgende subvragen:

- Wat is het effect op het aantal ongevallen, met onderscheid naar ernst van het ongeval:
 - Effect op alle ongevallen?
 - Effect op ongevallen met lichtgewonden?
 - Effect op ongevallen met zwaargewonden en doden?
- Wat is het effect op het aantal slachtoffers, met onderscheid naar ernst van verwonding:
 - Effect op alle slachtoffers?
 - Effect op lichtgewonden?
 - Effect op zwaargewonden en doden?
- Wat is het effect op type aanrijding?
- Wat is het effect op het type verkeersdeelnemer?

Bijkomend werd ook gevraagd om bij het evalueren van het 'Actieplan Verkeerslichten' een opdeling te maken naargelang de graad van conflictvrijheid. Dit leidt tot volgende bijkomende onderzoeksvraag:

- "Is er een verschil in het effect van het uitvoeren van de aanpassingen in het kader van het 'Actieplan Verkeerslichten' naargelang (deel-) conflicten nog worden toegelaten?"

2 Methodiek

2.1 Onderzoeksdesign

De meest aangewezen methode om verkeersveiligheidsevaluaties van aanpassingen in de weginfrastructuur te doen, is via een observationele voor- en na-studie (Martensen & Lassarre, 2018). In zulke studies wordt het aantal ongevallen vóór de implementatie van een maatregel vergeleken met het aantal ongevallen na de implementatie. Idealiter zou gebruik gemaakt moeten worden van een gerandomiseerd experimenteel design waarin de onderzoekslocaties willekeurig aan een onderzoeksgroep (waar de maatregel wordt geïmplementeerd) en aan een vergelijkingsgroep (waar de maatregel niet wordt geïmplementeerd) worden toegewezen. In verkeersveiligheidsbeleid is dit meestal niet mogelijk, omdat verkeersveiligheidsmaatregelen bijna nooit op willekeurige locaties worden ingevoerd. Daarom is een quasi-experimenteel design aangewezen (Martensen & Lassarre, 2018). Dit verschilt van een experimenteel design in de zin dat de onderzoekslocaties en de vergelijkinglocaties niet willekeurig gekozen zijn.

Bij het uitvoeren van een voor- en na-studie volstaat het niet om het aantal verkeersongevallen voor en na de implementatie van een maatregel te vergelijken met elkaar. Er zijn immers verschillende vertekende factoren die een invloed kunnen hebben op deze aantallen, en waarmee we rekening zullen houden:

- **Trendeffecten:**
De verkeersveiligheid kan in zijn geheel verbeteren (of verslechteren) door andere factoren zoals andere verkeersveiligheidsmaatregelen, veranderingen in de attitudes, veranderingen in het registratieniveau, effecten van het weer, veranderingen in het verkeersvolume of veranderingen in de eigenschappen van voertuigen. Om hiervoor te corrigeren is het noodzakelijk om een vergelijkingsgroep op te nemen in het onderzoeksdesign. Dit zijn locaties waar de maatregel niet werd geïmplementeerd, maar die verder zo vergelijkbaar mogelijk zijn.
- **Stochastisch karakter van verkeersongevallen:**
Verkeersongevallen zijn tot op zekere hoogte toevallige gebeurtenissen, hetgeen betekent dat het aantal ongevallen op een bepaalde locatie nogal sterk kan schommelen, ook zonder toewijsbare redenen. Omwille van dit random element is het aangewezen om met statistische methodes te werken om de significantie van veranderingen te toetsen.
- **Regressie naar het gemiddelde:**
Regressie naar het gemiddelde betekent dat periodes met een toevallig hoog aantal ongevallen en periodes met een toevallig laag aantal ongevallen elkaar afwisselen. Regressie naar het gemiddelde is belangrijk bij de evaluatie van verkeersveiligheidsmaatregelen omdat deze vaak worden ingevoerd op plaatsen waar er voordien veel ongevallen gebeurden. Dit houdt in dat deze locaties een vertekende steekproef vormen van de volledige populatie van locaties en dat er op deze locaties ook een verbetering kan worden verwacht zonder dat er maatregelen worden genomen. Om te corrigeren voor regressie naar het gemiddelde is het gebruik van een Empirical Bayes-methode aangewezen. In deze methode wordt in de voormeting het aantal geobserveerde ongevallen gecombineerd met een verwachte waarde. Deze verwachte waarde wordt geschat op basis van vergelijkbare locaties.

De voor-en-na-studie levert voor elk onderzocht kruispunt een effect op. Dit effect noemen we de crash modification factor (CMF). Een CMF kleiner dan 1 toont dat het aantal ongevallen op het kruispunt in kwestie sterker verminderd is dan je op basis van de algemene trend zou verwachten. Dit wil zeggen dat de kans op een ongeval kleiner geworden is.

2.1.1 Voor- en na-periode

De periode "voor" wordt in de huidige evaluatiestudie gedefinieerd als drie jaar vóór het jaar waarin de aanpassingen werden uitgevoerd op het betreffende kruispunt (Tabel 1). Omdat ongevallen zeldzame gebeurtenissen zijn en om de betrouwbaarheid van de inschatting te verhogen, is er gekozen voor deze periode van drie jaar. De periode "na" wordt gedefinieerd als drie jaar na het jaar waarin de aanpassingen werden uitgevoerd op het betreffende kruispunt; deze periode is korter, maar minimaal één jaar, indien de ongevallendata nog niet voorhanden waren (ongevallen tot en met 2020). Het jaar waarin de aanpassingen zijn gebeurd, wordt niet meegenomen in de analyse.

Tabel 1 Onderzoeksdesign: voor- en na-periode

	Voor (Jaar X-1, X-2, X-3)	Uitvoeren 'Actieplan Verkeerslichten' (Jaar X)	Na (Jaar X+1, X+2, X+3)
Onderzoekslocaties - Volledig conflictvrij - Deels conflictvrij o Enkel linksaf conflictvrij o Fase op aanvraag o ... - Niet conflictvrij	O	X	O
Vergelijkingslocaties	O		O

2.1.2 Welke effecten?

Het effect dat we meten, is de verandering van het aantal verkeersongevallen en slachtoffers. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt naar de ernst van de letsels, naar de graad van conflictvrijheid, naar verkeersdeelnemer en naar type aanrijding. Specifieke aandacht wordt besteed aan kwetsbare weggebruikers (voetgangers, fietsers en bromfietzers), en verder maken we een onderscheid naar kop-staartaanrijdingen, zijdelingse aanrijdingen en frontale aanrijdingen. Voor verdere details over de analyse van de subgroepen, zie paragraaf 2.4.2.

2.2 Data

2.2.1 Onderzoekslocaties en vergelijkingslocaties

2.2.1.1 Onderzoekslocaties

In 2016 is door het Agentschap Wegen en Verkeer gestart met de uitrol van het 'Actieplan Verkeerslichten'. In het kader van dit Actieplan worden kruispunten uitgerust met 'slimmere' verkeerslichten die zowel de doorstroming als de verkeersveiligheid dienen te verbeteren. Elk jaar wordt er gestreefd om een selectie van een 125-tal kruispunten verspreid over Vlaamse gewestwegen aan te pakken.

Voor de huidige evaluatiestudie beschouwen we de kruispunten aangepast vanaf 2016, en tot en met 2019 om de ongevallendata van minimaal één jaar na de implementatie voorhanden te hebben. Enkel kruispunten waarvoor een gedetailleerde historie aanwezig is (datum van aanpassingen; type aanpassingen), en die een toename in de graad van conflictvrijheid kennen, worden opgenomen in de analyse. Kruispunten waarbij er geen wijziging is in de graad van conflictvrijheid worden niet meegenomen (er kan wel een lichte verbetering zijn, vb. van 1/5 takken naar 2/5 takken volledig conflictvrij). Nieuwe kruispunten met verkeerslichten worden niet meegenomen omdat er voor deze kruispunten geen vergelijking tussen voor en na mogelijk is. Voor elk aangepast kruispunt is er informatie over de exacte locatie (x- en y-coördinaten) en de datum waarop de nieuwe regeling volgens het Actieplan in dienst werd genomen.

Kruispunten worden enkel opgenomen in de analyse wanneer ze beschikken over informatie over de graad van conflictvrijheid en over de eventuele aanwezigheid van veiligheidsverhogende maatregelen en dit zowel voor als na de aanpassing volgens het Actieplan. De dataset omvat volgende informatie per tak van een kruispunt:

- Alle takken volledig conflictvrij
- Conflictvrije Eigenschappen (CF):
 - o Aparte groenfase aanwezig op de tak
 - o De tak is volledig conflictvrij
 - o De tak is linksaf conflictvrij
 - o De tak is rechtsaf conflictvrij

- Vierkant groen (alle fietsers en voetgangers hebben gelijktijdig groen; gemotoriseerd verkeer moet wachten)
- Veiligheidsverhogende Maatregelen (VM):
 - Fietsersgroen tegelijk beëindigen met voetgangersgroen
 - Oranje-gele knipperlichten die steeds werken in de periode dat er fietsers en/of voetgangers aan het oversteken zijn
 - Voorstart in tijd en/of ruimte (vervroegd groen of een vooruitgeschoven stopstreep voor fietsers of voetgangers zodat ze voor het gemotoriseerd verkeer kunnen vertrekken en conflicten met wachtende fietsers vermeden worden)
 - OFOS en OFOS variant (opgeblazen fietsopstelstrook; laat fietsers toe zich op te stellen voor het gemotoriseerd verkeer dat stilstaat voor rood)
 - Ontruimingspijl

Voor de kruispunten die uiteindelijk opgenomen worden in de analyse moet er betrouwbaar gedocumenteerd zijn dat een aanpassing in het kader van het Actieplan de mogelijkheid tot conflicten verminderd heeft (Tabel 2). Dit wil zeggen dat het aantal takken die conflictvrij geregeld worden, moet toegenomen zijn (van geen enkele tak naar enkele of alle takken; van minder dan de helft van de takken naar meer dan de helft of alle takken). Daarnaast worden ook nog enkele kruispunten opgenomen die nog steeds geen conflictvrije takken hebben, maar waar wel extra veiligheidsverhogende maatregelen zijn genomen. Kruispunten die voor de invoering van het actieplan op geen enkele tak conflictvrij waren en geen enkele veiligheidsverhogende maatregel kenden, zijn uitgesloten van verdere analyse omdat er hiervan niet geweten is of er effectief niets aanwezig was, of dat er geen registratie heeft plaatsgevonden. Er wordt eveneens geen rekening gehouden met meerdere maatregelen die tegelijk worden genomen binnen elke categorie omdat het onduidelijk is of de maatregelen op dezelfde, dan wel een andere tak aanwezig zijn.

Tabel 2 Kruispunten opgenomen als onderzoekslocaties in de analyse: situatie voor en na de lokale invoering van het 'Actieplan Verkeerslichten'.

Aantal onderzoekslocaties naar graad van conflictvrijheid		NA			
		Meerdere veiligheidsverhogende maatregelen CF 0% VM 50-100%	Deels conflictvrij CF 0-49% VM 0%	Grotendeels conflictvrij CF 50-99% VM 0%	Volledig conflictvrij CF 100%
VOOR	Enkele veiligheidsverhogende maatregelen CF 0% VM 0-49%	6	3	8	1
	Meerdere veiligheidsverhogende maatregelen CF 0% VM 50-100%		3	33	3
	Deels conflictvrij CF 0-49% VM 0%			5	4
	Grotendeels conflictvrij CF 50-99% VM 0%				5

CF = conflictvrije eigenschappen; VM = veiligheidsverhogende maatregelen
 Percentages verwijzen naar het aandeel kruispunt-takken waarop een maatregel toegepast is.

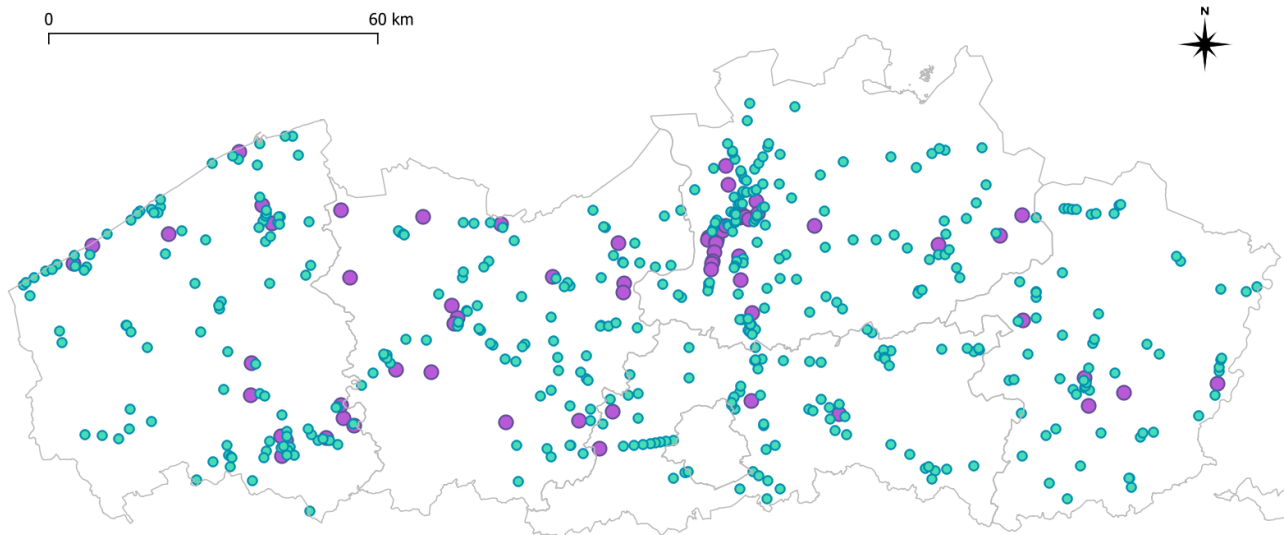
2.2.1.2 Vergelijkingslocaties

Door vergelijkingslocaties toe te voegen, willen we corrigeren voor mogelijke trendeffecten. Op die manier kunnen we de evolutie van het aantal ongevallen veroorzaakt door de implementatie van de maatregel (het aanpassen van de kruispunten) onderscheiden van een algemene trend in het aantal ongevallen. De vergelijkingslocaties zijn locaties waar het Actieplan niet werd geïmplementeerd (kruispunten die onder het Actieplan vallen, maar zijn uitgesloten op basis van de selectiecriteria zoals beschreven in 2.2.1.1, worden ook niet opgenomen als vergelijkingslocatie) maar die zo vergelijkbaar mogelijk zijn.

De vergelijkingsgroep kan gedefinieerd worden als alle kruispunten met verkeerslichten (actieve verkeersregelinstallaties of VRI's) op Vlaamse gewestwegen die niet zijn aangepakt in het 'Actieplan

Verkeerslichten'. Om als vergelijkingsgroep opgenomen te worden, moeten kruispunten over de duur van de analyseperiode onveranderd zijn wat betreft hun geregistreerde verkeerskundige eigenschappen. Het kan daarbij zowel om conflictvrije als niet-conflictvrije kruispunten gaan, als de situatie maar constant gebleven is. Daarnaast worden kruispunten die tussen januari 2013 en eind 2020 een tijdelijke verkeerslichtenregeling hebben gekend, vb. door wegenwerken ('werfplan'), uitgesloten.

Voor elk kruispunt in de vergelijkingsgroep is er informatie over de exacte locatie (x- en y-coördinaten). Naburige kruispunten zijn soms samen, onder hetzelfde plannummer geregistreerd. Indien de buffers van 50 meter niet overlappen zijn beide kruispunten onafhankelijk van elkaar geanalyseerd (zie ook 2.2.2).



Figuur 1 Geselecteerde onderzoekslocaties (paars; n=71) en vergelijkingslocaties (blauw; n=425).

2.2.2 Ongevallen

Om de effecten van het 'Actieplan Verkeerslichten' op de verkeersveiligheid te evalueren, zijn gegevens over alle verkeersongevallen nabij kruispunten nodig, zowel voor de onderzoekslocaties als voor de vergelijkingslocaties. Deze gegevens, gelocaliseerde letselongevallen, zijn verzameld voor de periode 2013 tot en met 2020. Het gaat hier over de meest recente door de politie geregistreerde ongevallen op het moment van de analyse. De cijfers werden aangeleverd door het departement Mobiliteit & Openbare Werken (originele bron: Statbel, FOD Economie). Extra variabelen in deze dataset zijn de ernst van het ongeval (doden 30 dagen, zwaargewonden, lichtgewonden), type en aantal betrokken verkeersdeelnemers (voetganger, fietser, bromfietser, motorfietser, personenwagen, lichte vrachtwagen, vrachtwagen, bus, andere) en type aanrijding (eenzijdig ongeval, flank/kop-staart, zijdelings, frontaal, met een voetganger)¹. Om de groep voldoende groot te houden, worden doden 30 dagen en zwaargewonden steeds samen geanalyseerd.

Het is niet altijd mogelijk om een ongeval eenduidig te beschrijven als 'op een kruispunt'. Wat bijvoorbeeld met een kop-staart aanrijding in de wachtrij nabij verkeerslichten? Ongevallen kunnen dus op verschillende manieren aan een kruispunt toegekend worden. In overleg met de opdrachtgever is gekozen voor een gestandaardiseerde methode, namelijk ongevallen binnen een straal van 50 meter van het middelpunt van een kruispunt. Deze methode is reeds eerder toegepast in evaluatiestudies (De Pauw et al., 2015) (Figuur 2).

¹ Eenzijdig = Er is slechts één voertuig (een fiets is ook een voertuig) in het ongeval betrokken en het betreft geen eenzijdig voetgangersongeval (want dit wordt immers niet opgevat als een verkeersongeval);
 Flank/kop-staart = Tussen twee bestuurders, langs achteren of flank tegen flank (flank-flank aanrijdingen worden pas afzonderlijk gerapporteerd vanaf november 2017, voordien werden deze vermoedelijk gerapporteerd als kop-staart ongeval);
 Zijdelings = Tussen twee bestuurders, voor-/achterkant tegen flank van de tegenpartij;
 Frontaal = Tussen twee bestuurders, voorkant tegen voorkant;
 Met voetganger = Aanrijdingen tussen een voertuig en een voetganger.



Figuur 2 Alle ongevallen (x op de figuur) binnen een buffer met straal van 50 meter worden gelinkt aan een kruispunt.

2.2.3 Overige data

2.2.3.1 Wegcategorie

Wegencategorisering is een classificatie van de wegen op basis van de grootte van de weg, welke ook een indicatie geeft over het verkeersvolume. In afwachting van de nieuwe wegencategorisering die momenteel in opmaak is, gebruiken we in deze studie de huidige Vlaamse wegencategorisering zoals ingebed in het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen. De classificatie ziet er als volgt uit:

- Hoofdwegen
- Primaire wegen (Primaire wegen type I, Primaire wegen type II)
- Secundaire wegen (Secundaire wegen type I, Secundaire wegen type II, Secundaire wegen type III)
- Lokale wegen (Lokale wegen type I, Lokale wegen type II, Lokale wegen type III)

Een wegcategorie wordt toegekend aan elk kruispunt – deze gegevens kunnen in de analyse gebruikt worden om kruispunten met gelijkaardige kenmerken te selecteren, in dit geval kruispunten die gelegen zijn aan een primaire, secundaire of lokale weg. Hoofdwegen worden buiten beschouwing gelaten omdat hier geen verkeerslichtengeregelde kruispunten rechtstreeks op aansluiten. Het type weg dat aansluit op het kruispunt zal voor een deel mee de drukte en de inrichting van een kruispunt bepalen. Omdat in veel gevallen wegen van verschillende categorieën aansluiten op een kruispunt hebben we ervoor gekozen om een kruispunt in te delen naar de tak van de hoogste categorie. Concreet wordt er binnen een buffer met straal van 30 meter van het middelpunt van een kruispunt gezocht naar de weg met de hoogste wegcategorie en die categorie wordt toegekend aan het kruispunt.

2.2.3.2 Verkeersvolume en gereden snelheid

Het verkeersvolume, of het aantal voertuigen op een wegsegment of kruispunttak, kan een kruispunt op een kwantitatieve manier helpen beschrijven. Deze informatie is nuttig om in de evaluatiestudie de vergelijkingslocaties zo vergelijkbaar mogelijk te maken met de onderzoekslocaties.

Verkeerstellingen zijn maar voor een beperkt aantal segmenten beschikbaar op Vlaamse gewestwegen. Daarom zullen we hier gebruik maken van zogenaamde Floating Car Data (FCD). FCD is geaggregeerde data afkomstig van navigatiesystemen en -apps uit voertuigen. Niet alle voertuigen op onze wegen zijn uitgerust met dergelijke systemen en dus kunnen de geaggregeerde gegevens over het aantal voertuigen (i.e. volume) in absolute waarden niet geïnterpreteerd worden als aantal voertuigen per segment per dag (of AADT, annual average daily traffic). In relatieve termen gaan we er echter vanuit dat op de verschillende wegen in de huidige analyse ongeveer hetzelfde aandeel voertuigen opgenomen is in de FCD (~6%); wanneer alle wegen beschouwd worden is het aandeel voertuigen opgenomen in de FCD het grootst op snelwegen en het kleinst op lokale wegen.

Idealiter zouden we deze data vanaf drie jaar voor het uitvoeren van het Actieplan willen gebruiken, maar ervan uitgaande dat het verkeersvolume weinig verandert indien er geen wegenwerken worden uitgevoerd om de verkeersdoorstroming te verbeteren, volstaat één jaar. Daarom maken we in de huidige studie gebruik

van FCD voor het jaar 2016. Concreet gebruiken we het totale volume tijdens de ganse periode van maart 2016 tot mei 2016 (Vol_1 in de FCD-dataset).

Naar analogie met het toekennen van een wegcategorie aan een kruispunt, selecteren we het verkeersvolume van de drukste tak van het kruispunt dat zich binnen 30 meter van het middelpunt van het kruispunt bevindt.

Daarnaast maken we ook gebruik van de gereden snelheden afkomstig van FCD, specifiek de snelheid in km/u die door 85% van de voertuigen niet wordt overschreden, de V85. We gebruiken de V85 tijdens de ganse periode van maart 2016 tot mei 2016 van het drukste segment dat aansluit op het kruispunt.

2.3 Descriptieve analyse

Vóór de eigenlijke statistische toetsing willen we eerst een grondige descriptieve analyse uitvoeren van de kruispunten, de ongevallen en de slachtoffers. Zo'n analyse helpt om te bepalen welke datapatronen we zullen toetsen in de statistische analyses en helpt ook bij de interpretatie van de resultaten.

Verder zullen we de verschillende mogelijkheden om subgroep-analyses uit te voeren verkennen. Op basis van deze resultaten kan dan besloten worden welke categorieën we in de statistische analyse opnemen. Ook de manier hoe we het aantal ongevallen in de voormeting voorspellen wordt door een verkennende analyse bepaald. Hoeveel kruispunten zijn er op wegen van elke wegcategorie en wat zijn de gemiddelde slachtofferaantallen? Op basis van de voorlopige resultaten zullen we categorieën van kruispunten vormen die zo homogeen mogelijk zijn, maar toch voldoende groot zijn.

2.4 Statistische analyse

Voor alle 71 onderzochte locaties wordt een "Crash Modification Factor" (CMF) geschat via onderstaande formule. Het aantal ongevallen op de onderzoekslocaties tijdens de periode na de aanpassing van het kruispunt wordt gedeeld door het aantal ongevallen op de onderzoekslocaties tijdens de periode voor de aanpassing. Beide aantallen worden geschat via de Empirical Bayes-methode op basis van het geobserveerd aantal ongevallen (O_{VOOR} en O_{NA}) en het verwachte aantal ongevallen (\hat{o}_{voor} en \hat{o}_{na}). Om de effecten van andere maatregelen en evoluties te onderscheiden, wordt deze ratio gedeeld door de algemene trend die wordt uitgedrukt als de ratio van het aantal ongevallen op de vergelijkingslocaties in de na-periode (V_{NA}) en het aantal ongevallen op deze locaties in de voorperiode (V_{VOOR}).

$$CMF = \frac{E(\hat{o}_{na}|O_{NA}) / E(\hat{o}_{voor}|O_{VOOR})}{V_{NA} / V_{VOOR}}$$

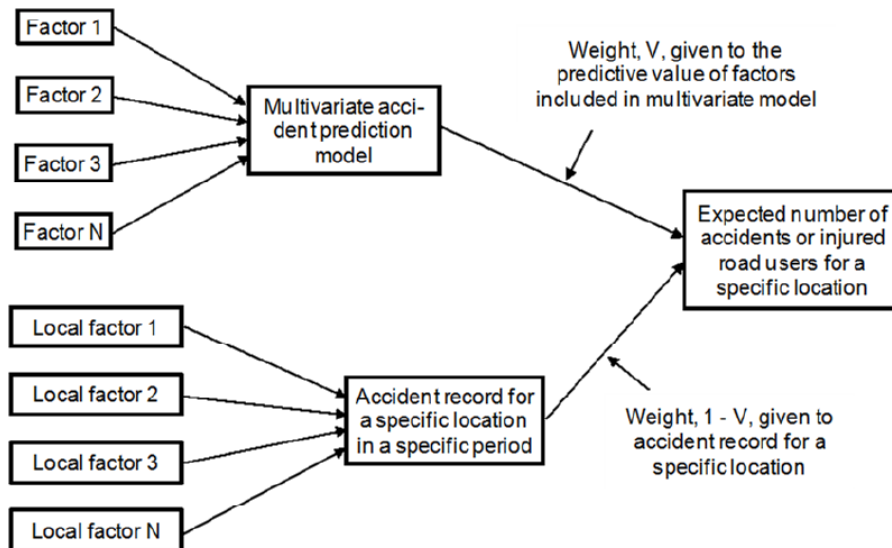
Voor elk kruispunt wordt zo een CMF berekend. Bij elke CMF wordt eveneens een standaardfout geschat die aangeeft hoe groot de betrouwbaarheidsintervallen rond de CMF zijn (bijlage 1). CMF's die op basis van een groot aantal ongevallen geschat zijn, kennen een kleiner betrouwbaarheidsinterval dan degene die op weinig ongevallen gebaseerd zijn. Om vervolgens tot een algemene conclusie te komen over het effect van het aanpassen van kruispunten in het kader van het 'Actieplan Verkeerslichten' wordt een meta-analyse uitgevoerd. In een meta-analyse worden normaalgesproken resultaten uit verschillende studies samengevat, maar de techniek is daarnaast ook geschikt om effecten op verschillende locaties samen te vatten (Nuyts & Cuyvers, 2003). Zulke meta-analyse is in feite niet meer dan een gewogen gemiddelde van alle CMF's waarbij het gewicht afhangt van de standaardfout. CMF's met een kleine standaardfout krijgen zo een groter gewicht dan die met een grote standaardfout. De globale CMF geeft een inschatting van de effectiviteit van een maatregel of interventie, in dit geval een aanpassing aan lichtengeregelde kruispunten in het kader van het 'Actieplan Verkeerslichten'.

Het aantal ongevallen is de belangrijkste doelvariabele, maar daarnaast worden er globale CMF's bepaald voor het aantal slachtoffers en voor verschillende subgroepen (naargelang de ernst van ongeval, graad van conflictvrijheid, type aanrijding, type verkeersdeelnemer).

Naast de globale analyse worden er tal van sensitiviteitsanalyses uitgevoerd om de robuustheid van de resultaten te toetsen.

2.4.1 Toepassing van de Empirical Bayes-methode

Zoals eerder toegelicht is het aangewezen om in deze evaluatiestudie te corrigeren voor regressie naar het gemiddelde en dit door het gebruik van een Empirical Bayes-methode. In deze methode wordt in de voormeting het geobserveerde aantal verkeersongevallen gecombineerd met een verwachte waarde. Deze verwachte waarde wordt geschat op basis van vergelijkbare referentielocaties. Zoals in onderstaande figuur voorgesteld is het idee van deze "slimme" combinatie dat het resulterende getal de werkelijke onveiligheid van de locatie in kwestie zo goed mogelijk aanduidt en dus zo min mogelijk wordt beïnvloed door toevallige elementen.



Figuur 3 Schematische voorstelling van een Empirical Bayes Model.
Bron: Martensen & Lassarre, 2018.

De verwachte waarde van het aantal ongevallen op de onderzoekslocaties tijdens de voormeting wordt geschat op basis van een Crash Prediction Model (Srinivasan & Bauer, 2013). Een Crash Prediction Model is een wiskundige vergelijking die het aantal ongevallen relateert aan de kenmerken van een locatie. Met dit model trachten we het aantal ongevallen te voorspellen op basis van ongevallendata op vergelijkingskruispunten die in alle relevante eigenschappen overeen komen met de onderzoekslocaties. Deze vergelijkingslocaties zijn in dit geval alle kruispunten met verkeerslichten op Vlaamse gewestwegen, die voldoen aan de inclusiecriteria zoals reeds besproken. Het verwachte aantal ongevallen kan berekend worden via ofwel een regressieanalyse met verschillende variabelen, ofwel door het gemiddelde te nemen van een vergelijkbare groep.

De belangrijkste variabele is de wegcategorie zoals gedefinieerd in het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen. Deze variabele onderscheidt volgende wegcategorieën: hoofdwegen, primaire wegen, secundaire wegen, en lokale wegen. Deze variabele houdt (onrechtstreeks) reeds rekening met verschillende kenmerken van de weg zoals de snelheidslimiet en het aantal rijstroken. Deze variabele kan dus gebruikt worden om vergelijkbare kruispunten te identificeren, waarvan vervolgens het gemiddelde wordt genomen. Het verwachte aantal ongevallen kan ook via een regressieanalyse geschat worden. De belangrijkste variabelen om in een dergelijk model op te nemen zijn: verkeersvolume, en snelheidslimiet of gereden snelheid (V85).

De regressieanalyse wordt uitgevoerd via een Generalized Linear Model. Ongevallendata vertonen in de praktijk meestal een negatief binomiale verdeling. Deze lijkt op de Poisson-verdeling maar geeft ook een schatting van de overdispersie. De resulterende coëfficiënten worden vervolgens gebruikt om het verwachte aantal ongevallen voor elk segment te schatten. De geschatte overdispersie geeft aan hoe goed de variabelen in het model de ongevalsantallen verklaren en bepaalt hoe de theoretisch geschatte aantallen tegenover de geobserveerde aantallen gewogen worden.

Zowel het aantal ongevallen vóór het invoeren van het Actieplan, als het aantal ongevallen erna wordt geschat via de Empirical Bayes-methode (De Pauw et al., 2015). Hiervoor gebruiken we het geobserveerd aantal ongevallen (O_{VOOR} en O_{NA}) en de theoretische voorspelling op basis van het Crash Prediction Model (\hat{O}_{voor} en \hat{O}_{na}). Aan beiden wordt een gewicht toegekend: de theoretische voorspelling krijgt een hoger gewicht naarmate de geschatte variantie kleiner is. Daarnaast speelt ook het geobserveerde aantal ongevallen mee bij het bepalen van het gewicht: hoe hoger het geobserveerde aantal ongevallen, hoe kleiner de toevallige schommelingen en hoe groter het gewicht van de geobserveerde aantallen in de Empirical Bayes-schatting.

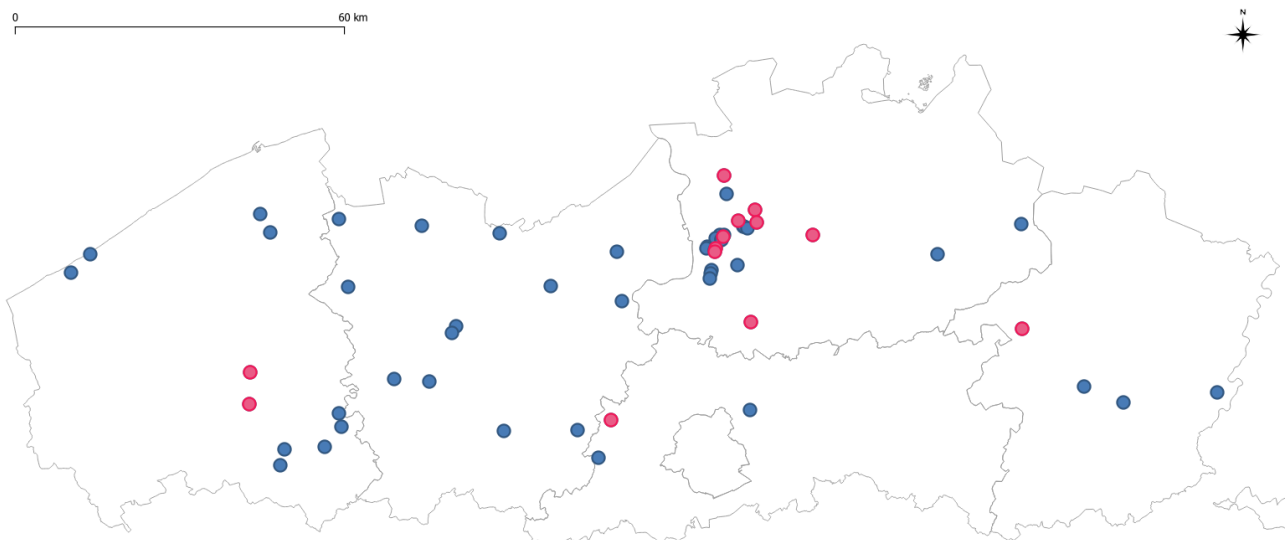
2.4.2 Analyse naar subgroep

2.4.2.1 Ernst van ongevallen

Om te onderzoeken of de aanpassingen in het kader van het 'Actieplan Verkeerslichten' een verschillend effect hebben naargelang de ernst van het ongeval, zullen we voor twee categorieën ongevallen en slachtoffers een globale CMF berekenen op basis van de Empirical Bayes-methode. Deze categorieën omvatten enerzijds de (ongevallen met enkel) lichtgewonden, en anderzijds de (ongevallen met) zwaargewonden en doden.

2.4.2.2 Graad van conflictvrijheid

Ondanks de kleine groep van onderzoekslocaties ($n=71$) wordt exploratief bekeken of de mate van conflictvrijheid van een kruispunt na de implementatie van het Actieplan, gerelateerd kan worden aan een sterkere daling in het aantal ongevallen. Specifiek onderscheiden we kruispunten die op 50% of meer van de takken conflictvrij zijn ($n=59$) en kruispunten die na de interventie volledig conflictvrij zijn ($n=13$) (Figuur 4).



Figuur 4 Geselecteerde onderzoekslocaties naar graad van conflictvrijheid: Kruispunten waarbij 50% of meer van de takken conflictvrij zijn (blauw+rood; $n=59$) en kruispunten die volledig conflictvrij zijn na de uitvoering van het Actieplan (rood; $n=13$).

2.4.2.3 Type ongeval

Om te onderzoeken of de aanpassingen in het kader van het 'Actieplan Verkeerslichten' op sommige ongevalstypes een verschillend effect hebben, berekenen we voor enkele categorieën van ongevallen een globale CMF op basis van de Empirical Bayes-methode. Types ongevallen die interessant zijn om te bekijken in het kader van het Actieplan zijn zijdelingse ongevallen, flankaanrijdingen en kop-staartaanrijdingen, frontale botsingen en ongevallen met voetgangers. Eenzijdige ongevallen worden geïncludeerd in het totaal aantal ongevallen, maar worden naar verwachting niet beïnvloed door de maatregelen voorgesteld in het Actieplan.

Daarnaast is er ook een te laag aantal eenzijdige ongevallen op kruispunten voor een afzonderlijke analyse (zie verder).

2.4.2.4 Type verkeersdeelnemer

Eén van de speerpunten van het 'Actieplan Verkeerslichten' is het verbeteren van de verkeersveiligheid voor kwetsbare weggebruikers door zo min mogelijk conflicten met gemotoriseerde weggebruikers toe te staan. Aanpassingen in het kader van het 'Actieplan Verkeerslichten' hebben dus mogelijk een verschillend verkeersveiligheidseffect op verschillende types verkeersdeelnemers. Specifiek onderscheiden we kwetsbare verkeersdeelnemers (voetganger, fietser, bromfietser) en gemotoriseerd verkeer (motorfiets, auto, lichte vrachtwagen, vrachtwagen, autobus). Voor de meest gebruikte modi, fiets en auto, wordt ook een afzonderlijke analyse gedaan.

2.4.2.5 Jaar van aanpassing en wegcategorie

Informatief bekijken we de resultaten per jaar van invoering van het Actieplan (2016, 2017, 2018 of 2019), en splitsen we de kruispunten naar wegcategorie van de dominante tak (primair, secundair, lokaal).

2.4.3 Sensitiviteitsanalyse

In een sensitiviteitsanalyse wordt onderzocht in welke mate het resultaat van een analyse wordt beïnvloed door een verandering van methode, van waarden, variabelen of uitgangspunten. Met andere woorden: hoe robuust zijn de resultaten? Hiertoe worden een aantal scenario's naast elkaar gelegd. In de sensitiviteitsanalyse vergelijken we telkens de impact van het Actieplan op het aantal letselongevallen in verschillende scenario's.

- Bij het toekennen van ongevallen aan een kruispunt worden alle ongevallen binnen een straal van 100 meter van het middelpunt van een kruispunt geselecteerd, in plaats van 50 meter.
- Vergelijkingslocaties worden geselecteerd binnen een afstand van 30 kilometer van de onderzoekslocatie, in plaats van over heel Vlaanderen.
- Vergelijkingslocaties bevinden zich in hetzelfde kwartiel van verkeersvolume (afkomstig van FCD) als de onderzoekslocatie, in plaats van in dezelfde wegcategorie.
- Een combinatie van de vorige twee punten.
- Een theoretische voorspelling van het verwacht aantal ongevallen met een Crash Prediction Model met als onafhankelijke variabele verkeersvolume, in plaats van dezelfde wegcategorie.
- Een theoretische voorspelling van het verwacht aantal ongevallen met een Crash Prediction Model met als onafhankelijke variabelen verkeersvolume en gereden snelheid (V85), in plaats van dezelfde wegcategorie.

2.5 Software

Alle statistische analyses zijn uitgevoerd in het softwarepakket R, versie 4.0.4 (R Core Team, 2021). Voor visualisaties en geografische bewerkingen wordt gebruik gemaakt van het softwarepakket QGIS (QGIS.org, 2022).

3 Resultaten

3.1 Descriptieve analyse

Van de 71 kruispunten in de onderzoeksgroep, zijn er 3 (4,2%) kruispunten aangepast in 2016, 8 (11,3%) in 2017, 25 (35,2%) in 2018, en 35 (49,3%) in 2019. De voor-periode bestaat telkens uit een periode van drie jaar, de na-periode is eveneens drie jaar, maar voor de kruispunten aangepast in 2018 en 2019 beperkt tot respectievelijk twee en één jaar (ongevallendata waren op het moment van de analyse beschikbaar tot en met 2020).

De 425 vergelijkingslocaties liggen procentueel vaker op secundaire wegen. De onderzoekslocaties liggen vaker langs primaire wegen (Tabel 3).

Tabel 3 Vergelijkingslocaties en onderzoekslocaties langsheen verschillende types wegen

	Primair	Secundair	Lokaal
Vergelijkingslocaties (n=425)	107 (25%)	227 (53%)	91 (21%)
Onderzoekslocaties (n=71)	34 (48%)	21 (30%)	16 (23%)

Tabel 4 geeft een overzicht van het aantal geobserveerde letselongevallen op de kruispunten die opgenomen zijn in de analyse volgens jaartal. De onderzoekslocaties tellen, op een geaggregeerd niveau, meer ongevallen per kruispunt dan de vergelijkingslocaties. 2020 is een jaar dat wat betreft mobiliteit erg gekarakteriseerd werd door de Coronapandemie en alle beperkingen die daarmee samengingen. In de analyse wordt telkens gecorrigeerd op basis van de vergelijkingsgroep die naar verwachting op dezelfde manier beïnvloed is als de onderzoekslocaties.

Voor een analyse naar subgroep is het belangrijk dat er een voldoende hoog aantal ongevallen gebeuren op de kruispunten per categorie. Wat betreft het type ongeval zijn er gemiddeld per jaar op de 71 onderzoekslocaties en de 425 vergelijkingslocaties samen, 257 zijdelingse ongevallen, 136 flank-flank en kop-staart aanrijdingen, 74 frontale aanrijdingen, 45 ongevallen met een voetganger en 34 eenzijdige ongevallen. We beschouwen de laatste twee categorieën als te klein om afzonderlijk op te nemen in een subgroepanalyse; uiteraard worden deze ongevallen wel opgenomen in de analyse van het globale effect.

Tabel 4 Totaal aantal letselongevallen per jaar per groep

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Vergelijkingslocaties (n=425)	484	497	491	464	457	478	440	426
Onderzoekslocaties (n=71)	134	152	140	136	114	124	129	86

Naar analogie met Tabel 4, staan in Tabel 5 het totaal aantal slachtoffers per jaar op de kruispunten in de analyse. Ook hier tellen de onderzoekslocaties per kruispunt relatief meer slachtoffers dan de vergelijkingsgroep. Voor de subgroepanalyse tellen we gemiddeld per jaar 283 kwetsbare verkeersdeelnemers die slachtoffer zijn van een ongeval (onderzoekslocaties en vergelijkingslocaties samen), en 534 slachtoffers die onderweg waren met gemotoriseerde modi. Enkel de auto en de fiets zullen ook als afzonderlijke modi opgenomen worden in de verdere analyse omdat deze groepen voldoende groot zijn om een betrouwbare inschatting te maken.

Tabel 5 Totaal aantal slachtoffers (lichtgewonden, zwaargewonden en doden) per jaar per groep

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Vergelijkingslocaties (n=425)	664	681	653	582	624	635	585	658
Onderzoekslocaties (n=71)	188	213	204	197	169	187	186	166

Rekening houdend met het aantal ongevallen zoals hiervoor gepresenteerd, en met de periode van drie jaar voor de aanpassing bij elk kruispunt en drie jaar erna (of maximale periode erna die korter is dan drie jaar), wordt het gemiddeld aantal ongevallen per kruispunt berekend (Tabel 6). We doen dit zowel voor de onderzoekslocaties als voor de vergelijkingslocaties. Op de 71 onderzoekslocaties samen zijn er na de implementatie van de maatregel 35 letselongevallen minder gebeurd per jaar (100 t.o.v. 135 ongevallen per jaar). Daarnaast zijn dezelfde getallen gepresenteerd voor de ongevallen die gecorrigeerd zijn via de Empirical Bayes-techniek. Het geschatte aantal ongevallen na correctie ligt lager dan het geobserveerd aantal ongevallen. Hieruit blijkt dat er inderdaad een verhoogd aantal ongevallen was op de kruispunten die behandeld zijn tegenover de vergelijkingsgroep. Over het algemeen zijn de gevaarlijkste kruispunten dus eerst aangepakt. Dit toont het belang van de correctie aan met het oog op de statistische analyse: met de Empirical Bayes-correctie wordt er gecorrigeerd voor regressie naar het gemiddelde en vermijden we dat er een vertekening optreedt bij het ingeschatte effect (Sacchi & Sayed, 2015).

De procentuele verschillen geven een indicatie van het te verwachten effect, maar is nog een naïeve benadering die niet met alle mogelijke vertekeningen rekening houdt. Het verschil op de onderzoekslocaties moet nog gecorrigeerd worden voor trendeffecten via vergelijkingslocaties die bovendien van dezelfde wegcategorie moeten zijn. Kruispunten met meer evidentie en een lagere onzekerheid krijgen een hoger gewicht bij het berekenen van het globaal effect via een meta-analyse. De statistische analyse in het volgende hoofdstuk zal dus een correctere inschatting geven van het te verwachten effect.

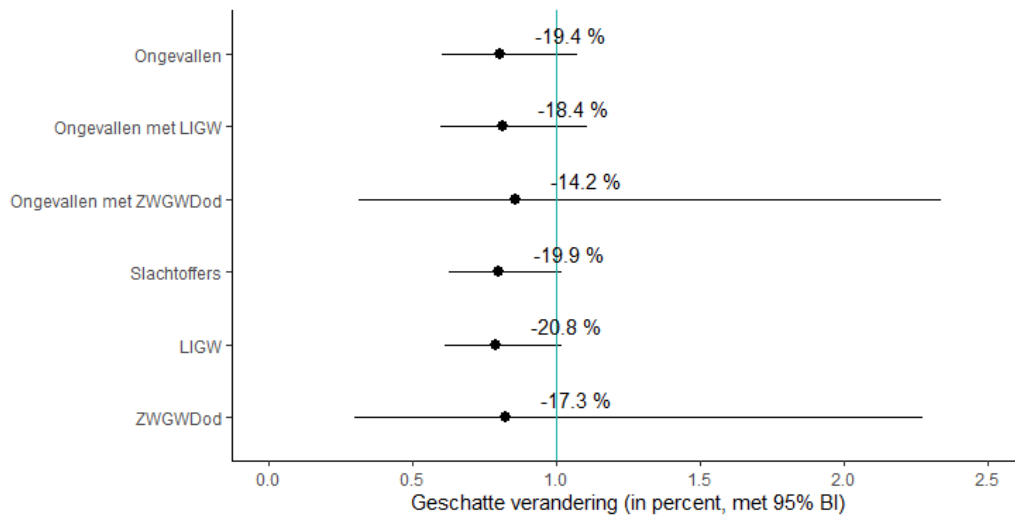
Tabel 6 Gemiddeld aantal ongevallen per kruispunt per jaar, rekening houdend met het jaar van de aanpassingen aan een kruispunt, een voor-periode van drie jaar en een na-periode van maximaal drie jaar.

	Onderzoekslocaties (gemiddeld per kruispunt)			Onderzoekslocaties met Empirical Bayes-correctie (gemiddeld per kruispunt)			Vergelijkingslocaties (gemiddeld per kruispunt)		
	Voor	Na	Vershil (%)	Voor	Na	Vershil (%)	Voor	Na	Vershil (%)
Aantal ongevallen	1,90	1,41	-25,8	1,72	1,33	-22,7	1,11	1,02	-8,3

3.2 Statistische analyse

Globaal effect

De statistisch beste schatting die gemaakt kan worden, is een daling in letselongevallen met 19,4% door aanpassingen in het kader van het 'Actieplan Verkeerslichten' (Figuur 5, bijlage 2). Deze daling is niet statistisch significant (95% significantieniveau), maar de trend is duidelijk en wordt bevestigd door de analyse van het aantal slachtoffers, die eveneens een daling kennen met 19,9% (statistisch significant bij een 90% significantieniveau). Een gelijkaardig effect lijkt zich af te tekenen voor de zwaarste ongevallen, echter door het kleine aantal (ongevallen met) zwaargewonden en doden is de onzekerheid op de inschatting groot.

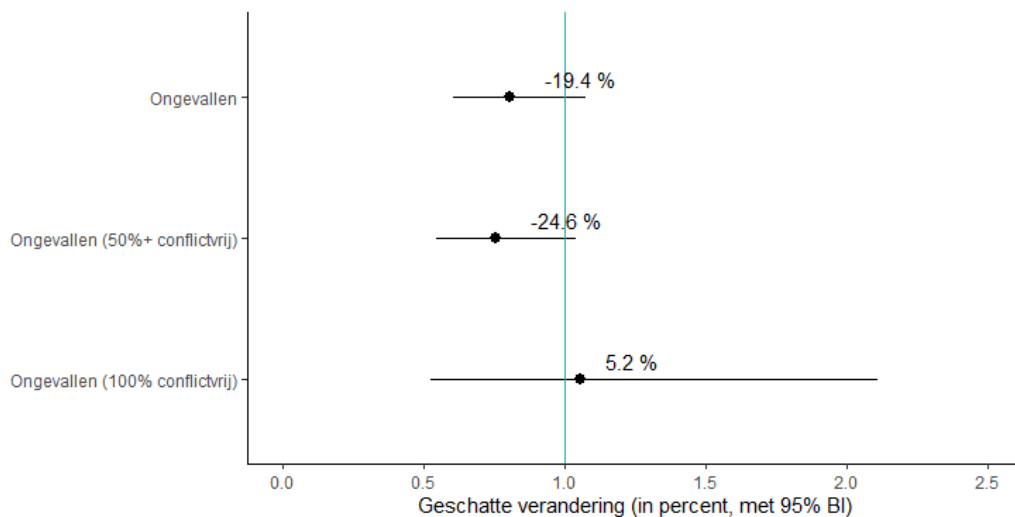


Figuur 5 Geschatte verandering in het aantal ongevallen en slachtoffers door het 'Actieplan Verkeerslichten' (tabelweergave in bijlage 2)
(95% BI = 95% betrouwbaarheidsinterval; LIGW = lichtgewonden; ZWGWDod = zwaargewonden en doden binnen 30 dagen)

Graad van conflictvrijheid

Kruispunten die op de helft of meer van zijn takken conflictvrij zijn ingericht (n=59) kennen een sterkere daling in het aantal letselongevallen (-24,6%) en in het aantal slachtoffers (-29,5%; significant op 95% significantieniveau) dan alle kruispunten samen (n=71) (Figuur 6, bijlage 2). Echter in de selectie van 100% conflictvrije kruispunten (n=13) is een tegenovergesteld effect zichtbaar, en in die groep zijn net meer letselongevallen vastgesteld na het conflictvrij maken van het kruispunt (een niet-significante stijging met 5,2%), maar er is ook een kleine niet-significante daling in het aantal slachtoffers (-4,7%). De stijging in ongevallen en de beperkte daling in slachtoffers is onverwacht, maar kan verklaard worden door de kleine groep van kruispunten waardoor het resultaat erg beïnvloed wordt door één ongeval meer of minder op één kruispunt. Dit is ook zichtbaar in het zeer brede betrouwbaarheidsinterval. De analyse met 59 kruispunten is daar robuuster tegen en toont wel de verwachte daling in het aantal ongevallen en slachtoffers, ondanks dat deze groep eveneens de 13 volledig conflictvrije kruispunten bevat. Het dient ook opgemerkt te worden dat de kruispunten die na het uitvoeren van het Actieplan 100% conflictvrij werden ingericht in de voor-situatie ook reeds deels conflictvrij waren of er reeds meerdere veiligheidsverhogende maatregelen geïmplementeerd waren. Er wordt dus niet van 0% conflictvrij naar 100% conflictvrij gegaan.

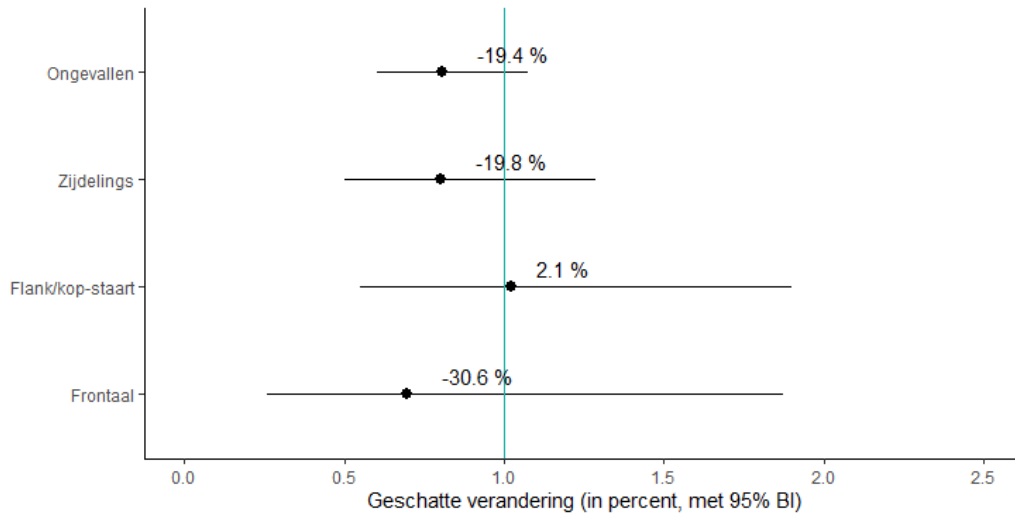
Het is belangrijk om te benadrukken dat de resultaten van de statistische analyse een verwachte daling schatten voor alle kruispunten samen. Ze tonen de globale effectiviteit van de maatregel. Dit betekent geenszins dat er een daling is voor elk individueel kruispunt.



Figuur 6 Geschatte verandering in het aantal ongevallen door het 'Actieplan Verkeerslichten' naar graad van conflictvrijheid (tabelweergave in bijlage 2)

Type ongeval

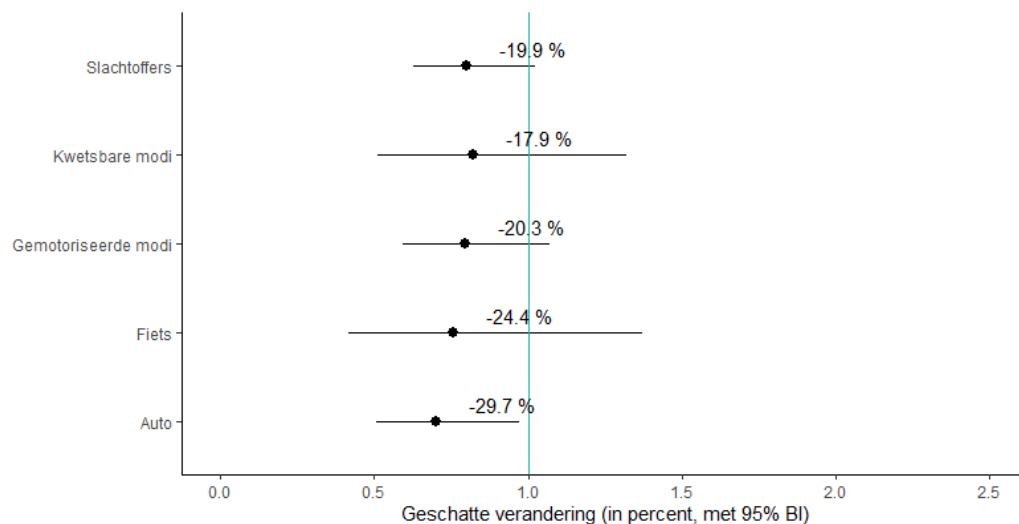
Door het 'Actieplan Verkeerslichten' is er op kruispunten een afname in het aantal zijdelingse (-19,8%) en frontale (-30,6%) aanrijdingen (Figuur 7). Deze bevindingen zijn in lijn met de doelstellingen van het Actieplan: mogelijke conflicten worden zoveel mogelijk beveiligd. Een voorbeeld hiervan is het conflictvrij maken van het links of rechts afslaan. De resultaten bevestigen het gunstig effect van de maatregelen op dit type ongevallen. Er is geen effect, ook geen stijging, op het aantal flank-tegen-flank en kop-staartaanrijdingen.



Figuur 7 Geschatte verandering in het aantal ongevallen door het 'Actieplan Verkeerslichten' naar type aanrijding (tabelweergave in bijlage 2)

Type verkeersdeelnemer

Er is een daling in aantal slachtoffers die met kwetsbare modi (inclusief bromfietzers) onderweg waren (-17,9%), alsook een gelijkaardige daling in aantal slachtoffers met gemotoriseerde modi (-20,3%) (Figuur 8). De onzekerheid op de inschatting is iets groter bij de kwetsbare verkeersdeelnemers gezien het geringere aantal slachtoffers in absolute aantallen. Voor bestuurders en passagiers van auto's is er een statistisch significante daling (95% betrouwbaarheid) in het aantal verkeersslachtoffers door aanpassingen in het kader van het 'Actieplan Verkeerslichten'.



Figuur 8 Geschatte verandering in het aantal slachtoffers door het 'Actieplan Verkeerslichten' naar type verkeersdeelnemer (tabelweergave in bijlage 2)
(Kwetsbare modi = voetganger, fietser, bromfietser; Gemotoriseerde modi = motorfietser, personenwagen, lichte vrachtwagen, vrachtwagen, bus)

Jaar van aanpassing

De resultaten suggereren dat op kruispunten die in 2018 of 2019 zijn aangepast het aantal letselongevallen sterker is gedaald dan op kruispunten die reeds in 2016 of 2017 zijn aangepast (Tabel 7). De voorspelde veranderingen zijn echter geen van allen statistisch significant.

Tabel 7 Geschatte verandering in het aantal ongevallen door het 'Actieplan Verkeerslichten' naar jaar van aanpassing

Aantal ongevallen	Effectiviteitsratio	Ondergrens 95% BI	Bovengrens 95% BI	Geschatte verandering [§]
Basismodel (n=71)	0,81	0,60	1,08	-19,4%
Enkel kruispunten aangepast in 2016 of 2017 (n=11)	1,12	0,54	2,32	+12,1%
Enkel kruispunten aangepast in 2018 (n=25)	0,83	0,50	1,36	-17,4%
Enkel kruispunten aangepast in 2019 (n=35)	0,71	0,48	1,07	-28,5%

[§] Een negatief teken betekent een daling in het aantal ongevallen.

Categorie van het kruispunt

Kruispunten langsheen wegen van alle wegcategorieën kennen een afname van het aantal letselongevallen ten gevolge van aanpassingen in het kader van het 'Actieplan Verkeerslichten' (Tabel 8). De daling lijkt sterker op kruispunten gelegen langs lokale wegen, maar gezien het beperkt aantal kruispunten die bovendien vooral gelegen zijn in het stedelijke gebied rond Antwerpen (13 in verstedelijkt gebied, 1 in randstedelijk gebied, 2 in landelijk gebied), kan dit niet beschouwd worden als sluitend bewijs of als representatief voor heel Vlaanderen.

Tabel 8 Geschatte verandering in het aantal ongevallen door het 'Actieplan Verkeerslichten' naar wegcategorie van de hoofdtak van een kruispunt

Aantal ongevallen	Effectiviteits- ratio	Ondergrens 95% BI	Bovengrens 95% BI	Geschatte verandering [§]
Basismodel (n=71)	0,81	0,60	1,08	-19,4%
Enkel kruispunten op primaire wegen (n=34)	0,84	0,57	1,24	-15,9%
Enkel kruispunten op secundaire wegen (n=21)	0,85	0,47	1,54	-14,6%
Enkel kruispunten op lokale wegen (n=16)	0,66	0,35	1,27	-33,6%

[§] Een negatief teken betekent een daling in het aantal ongevallen.

3.3 Sensitiviteitsanalyse

In de sensitiviteitsanalyse vergelijken we telkens de schatting die in de voorgaande sectie gepresenteerd werd (het 'basismodel': impact van het 'Actieplan Verkeerslichten' op het aantal letselongevallen) met de effect-schattingen die resulteren wanneer andere methodologische keuzes gemaakt worden (Tabel 9). De sensitiviteitsanalyse bepaalt hoe robuust de resultaten zijn.

In de evaluatiestudie is de assumptie gemaakt dat ongevallen binnen een straal van 50 meter van het middelpunt van een kruispunt, toegewezen worden aan dat kruispunt. Deze beslissing is gebaseerd op eerdere studies en zorgt voor een gestandaardiseerde aanpak. Echter is het mogelijk om de perimeter groter of kleiner te veronderstellen. Bij wijze van sensitiviteitsanalyse wordt de straal uitgebreid naar 100 meter. We verwachten dat het betrouwbaarheidsinterval iets kleiner zal worden (een grotere diameter zorgt voor meer ongevallen die geïnccludeerd worden, en dus een preciezere inschatting). Echter mag de buffer niet te groot worden omdat in dat geval de ongevallen die in de analyse zitten niet meer verklaard kunnen worden door aanpassingen op het kruispunt. Uit de resultaten blijkt dat de effectiviteitsratio 2 procentpunt hoger is, dit wil zeggen dat de geschatte daling in aantal letselongevallen 2% kleiner is dan in het basisscenario (-17,4% i.p.v. -19,4%). De verandering is beperkt. We besluiten hieruit dat wat betreft deze factor, het resultaat robuust is.

In het basismodel worden vergelijkingskruispunten geselecteerd die tot dezelfde wegcategorie behoren. Echter kunnen de vergelijkingslocaties ook op een andere manier bepaald worden. Vergelijkingslocaties moeten in voldoende aantal bestaan en zo vergelijkbaar mogelijk zijn met de onderzoekslocatie. Een eerste sensitiviteitsanalyse gebruikt nog steeds kruispunten die gelegen zijn aan een weg van dezelfde wegcategorie, maar heeft als additionele beperking dat de vergelijkingskruispunten binnen een straal van 30 kilometer moeten gesitueerd zijn. Deze keuze heeft slechts een beperkte invloed op de effectiviteitsratio (-16,4% i.p.v. -19,4%). Vervolgens testen we of het gebruik van verkeersvolumes (kwartielen) in plaats van de wegcategorie om de vergelijkingsgroep te bepalen, een belangrijke impact heeft op het resultaat. Hier blijkt de impact iets groter, met een geschatte daling van -14,2% in vergelijking met -19,4% in het basismodel. Een combinatie van beide condities zorgt voor een daling van -12,1%. Echter de belangrijkste conclusies, de grootteorde en de richting van het effect blijven steeds behouden, ondanks de kleinere vergelijkingsgroep.

Een laatste reeks van sensitiviteitsanalyses gebruikt een Crash Prediction Model voor het inschatten van het verwacht aantal ongevallen. De ongevallen worden voorspeld met een negatief binomiaal model, met de variabelen 'Verkeersvolume' en/of 'V85-snelheid' als voorspellers (afkomstig van FCD). De geschatte verandering in aantal letselongevallen is hier groter met dalingen van -36,4% en -46,1%. Het Crash Prediction Model is in deze studie gebaseerd op relatief weinig locaties wat kan zorgen voor een minder stabiel en minder betrouwbaar model (echter, volgens Srinivasan et al. (Srinivasan et al., 2013) volstaan 100-200 kruispunten met minimaal 300 ongevallen per jaar voor de ontwikkeling van een Crash Prediction Model). Gezien de kleinere geschatte daling in letselongevallen in het basismodel, kunnen we besluiten dat dit basismodel een conservatieve inschatting geeft van het effect.

Tabel 9 Resultaten van de sensitiviteitsanalyse: Impact van het 'Actieplan Verkeerslichten' op het aantal letselongevallen

Aantal ongevallen	Effectiviteits- ratio	Ondergrens 95% BI	Bovengrens 95% BI	Geschatte verandering ^{\$}
Basismodel (n=71)	0,81	0,60	1,08	-19,4%
Ongevallen binnen 100m van een kruispunt (ipv 50m)	0,83	0,65	1,05	-17,4%
Vergelijkingslocaties bevinden zich binnen een straal van 30km van de onderzoekslocatie	0,84	0,63	1,12	-16,4%
Vergelijkingslocaties in zelfde kwartiel van verkeersvolume als onderzoekslocatie (ipv wegcategorie)	0,86	0,64	1,14	-14,2%
Vergelijkingslocaties in zelfde kwartiel van verkeersvolume als onderzoekslocatie (ipv wegcategorie) + binnen een straal van 30km van de onderzoekslocatie	0,88	0,66	1,17	-12,1%
Empirical Bayes met een crash prediction model (verkeersvolume)	0,64	0,53	0,76	-36,4%
Empirical Bayes met een crash prediction model (verkeersvolume en V85-snelheid)	0,54	0,44	0,66	-46,1%

^{\$} Een negatief teken betekent een daling in het aantal ongevallen/slachtoffers.

4 Discussie

Het uitvoeren van aanpassingen in het kader van het 'Actieplan Verkeerslichten' heeft een gunstig effect op de verkeersveiligheid. Het aantal letselongevallen is gedaald met 19,4% en het aantal slachtoffers daalde met 19,9% (daling bij lichtgewonden, zwaargewonden en doden).

Algemene evaluatie van het 'Actieplan Verkeerslichten'

Voorgaande studies, ook in Vlaanderen, vonden reeds een positief effect op de verkeersveiligheid van conflictvrije regelingen aan verkeerslichten (bijvoorbeeld (De Pauw et al., 2015; Polders et al., 2015)). De meeste studies kijken hierbij naar specifieke maatregelen, bijvoorbeeld het invoeren van exclusieve afslagbewegingen. Srinivasan en collega's (2011) berekenden een CMF van 0,962 voor ongevallen met doden en gewonden wanneer links afslaand verkeer conflictvrij geregeld wordt (i.p.v. niet-conflictvrij). Een CMF van 0,962 betekent een daling van het aantal ongevallen met 4%. Een studie in Vlaanderen vond een CMF voor het invoeren van een conflictvrije regeling voor links afslaand verkeer van 0,54 (letselongevallen); de impact op de ernstigste ongevallen was nog groter (De Pauw et al., 2015). Daarnaast zijn er enkele studies die de impact op de verkeersveiligheid onderzoeken van verschillende types dynamische verkeerslichten (verkeerslichtenregeling in real-time aanpassen aan het verkeersvolume wat zorgt voor vlotter verkeer met minder stops): ook al is het hoofddoel van deze maatregel niet het verbeteren van de verkeersveiligheid, toch vinden deze studies telkens een daling in het aantal ongevallen met doden en gewonden (CMF's van 0,64 tot 0,96) (Khattak et al., 2018; Kodi et al., 2022). De huidige evaluatiestudie bekijkt de impact van een actieplan dat een veelheid aan maatregelen omvat die de verkeersveiligheid en doorstroming op heel diverse kruispunten met verkeerslichten moet verhogen.

Een uitgebreider overzicht van CMF's afkomstig uit wetenschappelijke studies in de Verenigde Staten en internationaal is terug te vinden via de website <https://www.cmfclearinghouse.org/>².

Graad van conflictvrijheid

De huidige studie vindt dat kruispunten die op de helft of meer van zijn takken conflictvrij zijn, een sterkere daling kennen in het aantal letselongevallen (-24,6%) en in het aantal slachtoffers (-29,5%) dan in de hele groep van kruispunten. In de studie van Srinivasan et al. (2011) die hierboven reeds vermeld werd, daalde het aantal ongevallen ook sterker wanneer de maatregel (linksaf conflictvrij) op meerdere takken van een kruispunt toegepast werd. Andere studies ontbreken informatie over het aantal takken waarop een maatregel is toegepast en kunnen dus geen analyse naar graad van conflictvrijheid uitvoeren (bijvoorbeeld (De Pauw et al., 2015)).

Type ongeval

Door de aanpassingen in het kader van het 'Actieplan Verkeerslichten' is er vooral een daling in het aantal frontale (-30,6%) en zijdelingse (-19,8%) aanrijdingen. Het aantal flank-tegen-flank en kop-staartaanrijdingen, die vervat zitten in één categorie (in november 2017 werden ze gesplitst in de ongevallenregistratie), veranderden niet. Mogelijk vertellen deze getallen niet het hele verhaal. Een analyse van Wang et al. (2006) vond een reductie in het aantal kop-staartongevallen, maar een stijging in de flank-tegen-flankongevallen (rechtdoor rijdend verkeer dat in botsing komt met voertuigen die wachten om linksaf te slaan). Srinivasan et al. (2012) vonden net een zeer beperkte stijging in het aantal kop-staartaanrijdingen wanneer links afslaand verkeer conflictvrij werd afgehandeld (CMF = 1,075); daarentegen zijdelingse ongevallen daalden sterk (CMF = 0,862). Lyon et al. (2005) vonden een CMF van 0,81 voor zijdelingse ongevallen wanneer links afslaand verkeer conflictvrij was. Een volledig conflictvrije linksafslag leidt tot significant minder kop-staart aanrijdingen en vooral minder frontale botsingen op 87 kruispunten in Vlaanderen, besloten Polders en collega's (2015). Het beschikbare bewijs, resultaten uit de huidige studie in combinatie met evidentie uit de literatuur, wijst dus op een sterke daling in frontale en zijdelingse ongevallen bij een conflictvrije regeling op kruispunten. De impact op kop-staart ongevallen is niet-sluitend, maar waarschijnlijk valt er slechts een beperkte impact te verwachten (stijging noch daling).

Type verkeersdeelnemer

Het conflictvrij maken van kruispunten, of van bepaalde takken van een kruispunt, of indien dit niet mogelijk is het toepassen van veiligheidsverhogende maatregelen, zorgt voor een verhoogde verkeersveiligheid voor

² Er kan bijvoorbeeld een selectie gemaakt worden van lichtengeregelde kruispunten ('signal'), en dan krijgt men een overzicht van mogelijke maatregelen en hun evaluatie.

alle verkeersdeelnemers, zowel voor gemotoriseerd verkeer (slachtoffers -20,3%) als voor kwetsbare weggebruikers (slachtoffers -17,9%). Een studie in Canada onderzocht meer in detail de factoren gerelateerd aan ongevallen met verschillende verkeersdeelnemers op kruispunten met verkeerslichten (Strauss et al., 2014). Verkeersvolume bleek een belangrijke verklarende factor voor slachtoffers met alle modi. Specifiek voor fietsers bleek een groter volume gemotoriseerd verkeer dat rechtsaf of linksaf slaat op een kruispunt, gerelateerd te zijn aan meer slachtoffers. Daarnaast waren voor fietsers de lengte van de oversteek, de aanwezigheid van een middenberm en de aanwezigheid van een busstation, belangrijke verklarende variabelen. Voor voetgangers waren onder andere het aantal rijstroken en de aanwezigheid van een conflictvrije verkeerslichtenregeling van belang. Goughnour et al. (2021) vonden in de Verenigde Staten vooral een gunstige impact van een conflictvrije linksafslag voor gemotoriseerd verkeer en niet voor ongevallen met voetgangers. Bij grote volumes van voetgangers (>5,500 per dag) kan deze maatregel echter ook voor hen nuttig zijn. Een voorstart voor voetgangers bleek wel een positief effect te hebben op het aantal voertuig-voetganger ongevallen: deze maatregel resulteerde in een CMF van 0,87.

Categorie van het kruispunt

De daling van het aantal letselongevallen door de implementatie van het 'Actieplan Verkeerslichten' is zichtbaar op kruispunten gelegen zowel aan primaire wegen, als aan secundaire en lokale wegen. De daling lijkt iets groter op kruispunten gelegen aan lokale wegen (-33,6%). Voorzichtigheid is echter geboden bij de interpretatie omdat de meeste van deze kruispunten in het stedelijke gebied rond Antwerpen gelegen zijn. De resultaten zijn dus mogelijk niet transfereerbaar naar kruispunten langs een lokale weg in een ruraal gebied. Studies hebben reeds aangetoond dat het vooral voor kwetsbare verkeersdeelnemers van belang is om de lengte van een oversteekplaats zo kort mogelijk te houden (minder rijstroken, of via een middenberm), en dat een hogere intensiteit van het gemotoriseerd verkeer leidt tot meer ongevallen met voetgangers en fietsers (Polders et al., 2015; Strauss et al., 2014). Op basis van deze informatie lijkt het vooral op grotere en drukkeren wegen van belang om in te zetten op conflictvrije regelingen.

Limitatie van de studie

Sinds 2016 streeft AWW ernaar om jaarlijks 125 kruispunten op het terrein aan te passen conform het 'Actieplan Verkeerslichten'. Van alle aangepaste kruispunten zijn er maar relatief weinig opgenomen in de huidige evaluatiestudie. Zoals reeds hiervoor toegelicht werden enkel de kruispunten met een gedocumenteerde en duidelijke verbetering opgenomen in deze studie. Door restrictief te zijn kan het effect zuiverder naar voor gebracht worden en vermijden we het toevoegen van ruis in het resultaat (bijvoorbeeld een ontbrekende of fout geregistreerde datum van implementatie). De grootte van de steekproef in de huidige studie is vergelijkbaar met voorgaande studies: de meeste studies berekenen een CMF voor kruispunten op basis van 30 tot ongeveer 100 locaties (De Pauw et al., 2015; Khattak et al., 2018; Lyon et al., 2005; Polders et al., 2015; Srinivasan et al., 2011, 2012), slechts een enkele studie includeert meer kruispunten (Goughnour et al., 2021).

5 Conclusies

Op basis van de resultaten kunnen we stellen dat meer kruispunten en meer takken conflictvrij maken een gunstige impact heeft op de verkeersveiligheid.

Deze studie maakt gebruik van een unieke dataset met ongevallen geregistreerd door de politie en informatie over maatregelen genomen op kruispunten op gewestwegen in Vlaanderen in het kader van het 'Actieplan Verkeerslichten'. Met robuuste methodes en statistische analyses wordt er gecorrigeerd voor verschillende mogelijke foutenbronnen in een voor-na design. 71 kruispunten die aangepast zijn volgens het Actieplan worden in detail bestudeerd, terwijl er 425 kruispunten opgenomen worden als vergelijkingsgroep.

Hierna presenteren we de belangrijkste conclusies per onderzoeksvraag zoals die geformuleerd werd bij aanvang van de studie.

- ▶ **Welk effect heeft het uitvoeren van aanpassingen in het kader van het 'Actieplan Verkeerslichten' gehad op het aantal ongevallen?**
 - ▶ De statistisch beste schatting die we kunnen maken is een daling in het aantal letselongevallen met 19% en een daling van 20% in het aantal slachtoffers ten gevolge van maatregelen genomen in het kader van het 'Actieplan Verkeerslichten', indien op het kruispunt effectief de kans op conflicten verminderd wordt.
 - ▶ Er is vooral een daling merkbaar bij de zijdelingse (-20%) en frontale (-31%) aanrijdingen. Er is geen impact op het aantal kop-staart en flank-tegen-flank ongevallen.
 - ▶ De daling in aantal slachtoffers is er zowel bij de kwetsbare verkeersdeelnemers (-18%) als bij het gemotoriseerd verkeer (-20%).
- ▶ **Welk effect heeft het uitvoeren van aanpassingen in het kader van het 'Actieplan Verkeerslichten' gehad op de ernst van de ongevallen?**
 - ▶ De zwaarste ongevallen (met zwaargewonden en doden) zijn afgenomen met 14% op de kruispunten die aangepast zijn in het kader van het 'Actieplan Verkeerslichten'. Het aantal zwaargewonden en doden lag 17% lager.
- ▶ **Heeft de graad van conflictvrijheid (aantal takken conflictvrij) een impact?**
 - ▶ Wanneer meer takken conflictvrij geregeld worden, daalt ook het aantal ongevallen sterker. Kruispunten die op de helft of meer van zijn takken conflictvrij zijn ingericht (n=59) kennen een sterkere daling in het aantal letselongevallen (-25%) en in het aantal slachtoffers (-30%) dan alle kruispunten samen (n=71).
 - ▶ Het aantal letselongevallen op kruispunten die volledig conflictvrij gemaakt zijn, kende een onverwachte toename met +5,2% (95% betrouwbaarheidsinterval [-47%, +111%]). Deze kleine groep van kruispunten (n=13) lijkt erg beïnvloed door een enkel ongeval meer of minder op een kruispunt, zichtbaar in het zeer brede betrouwbaarheidsinterval en dus is de inschatting erg onzeker. Bovendien waren enkele van deze kruispunten in de voor-situatie reeds grotendeels conflictvrij.

Ondanks de waardevolle resultaten die werden verkregen, zou het toch van belang zijn om op deze inspanning voort te bouwen in een toekomstige studie die met grotere steekproeven een diepgaandere subgroep-analyse mogelijk zou maken. Zo kan het effect van individuele maatregelen op ongevallen niet afgeleid worden uit de huidige studie. Het zou bijvoorbeeld interessant zijn om de impact van vierkant groen op het aantal letselongevallen met kwetsbare verkeersdeelnemers na te gaan. Hiertoe is een nog systematischere registratie van individuele maatregelen op een kruispunt noodzakelijk. Bij nieuwe lichtenregelingen wordt nu al alle info geregistreerd, maar bij bestaande regelingen is dit niet steeds het geval (het zou te tijdrovend zijn om dit nu in te halen; hierdoor ontbreekt echter vaak de situatie vóór de aanpassingen) Er kan ook gekozen worden voor een ander studiedesign, namelijk een studie met conflictobservatie op een beperkt aantal locaties waarbij ook niet-geregistreerde lichte ongevallen en bijna-ongevallen meegenomen worden.

Referenties

- De Pauw, E., Daniels, S., Van Herck, S., & Wets, G. (2015). Safety Effects of Protected Left-Turn Phasing at Signalized Intersections: An Empirical Analysis. *Safety*, *1*(1), 94–102. <https://doi.org/10.3390/safety1010094>
- Goughnour, E., Carter, D., Lyon, C., Persaud, B., Lan, B., Chun, P., Hamilton, I., Signor, K., & Bryson, M. (2021). Evaluation of Protected Left-Turn Phasing and Leading Pedestrian Intervals Effects on Pedestrian Safety. *TRANSPORTATION RESEARCH RECORD*, *2675*(11), 1219–1228. <https://doi.org/10.1177/03611981211025508>
- Khattak, Z. H., Magalotti, M. J., & Fontaine, M. D. (2018). Estimating safety effects of adaptive signal control technology using the Empirical Bayes method. *Journal of Safety Research*, *64*, 121–128. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsr.2017.12.016>
- Kodi, J. H., Kitali, A. E., Sando, T., Alluri, P., & Ponnaluri, R. (2022). Safety Evaluation of an Adaptive Signal Control Technology Using an Empirical Bayes Approach. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, *148*(4), 4022008. <https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000652>
- Lyon, C., Haq, A., Persaud, B., & Kodama, S. T. (2005). Safety performance functions for signalized intersections in large urban areas - Development and application to evaluation of left-turn priority treatment. *STATISTICAL METHODS; HIGHWAY SAFETY DATA, ANALYSIS, AND EVALUATION; OCCUPANT PROTECTION; SYSTEMATIC REVIEWS AND META-ANALYSIS*, *1908*, 165–171. <https://doi.org/10.3141/1908-20>
- Martensen, H., & Lassarre, S. (2018). *Methodological framework for the evaluation of road safety risk factors and countermeasures, Deliverable 3.3 of the H2020 project SafetyCube*.
- Nuyts, E., & Cuyvers, E. (2003). *Effectiviteitmeting bij Voor-Na studies met een vergelijkingsgroep*.
- Polders, E., Daniels, S., Hermans, E., Brijs, T., & Wets, G. (2015). Crash Patterns at Signalized Intersections. *TRANSPORTATION RESEARCH RECORD*, *2514*, 105–116. <https://doi.org/10.3141/2514-12>
- QGIS.org. (2022). *QGIS Geographic Information System*. QGIS Association. <http://www.qgis.org>
- R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing* (4.0.4). R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Sacchi, E., & Sayed, T. (2015). Investigating the accuracy of Bayesian techniques for before-after safety studies: The case of a “no treatment” evaluation. *ACCIDENT ANALYSIS AND PREVENTION*, *78*, 138–145. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.03.006>
- Srinivasan, R., Baek, J., Smith, S., Sundstrom, C., Carter, D., Lyon, C., Persaud, B., Gross, F., Eccles, K., Hamidi, A., & Lefler, N. (2011). Evaluation of Safety Strategies at Signalized Intersections. In National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (Ed.), *Evaluation of Safety Strategies at Signalized Intersections*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/14573>
- Srinivasan, R., & Bauer, K. (2013). *Safety Performance Function Development Guide: Developing Jurisdiction-Specific SPFs*. <https://rosap.nhtl.gov/view/dot/49505>
- Srinivasan, R., Carter, D., & Bauer, K. (2013). *Safety Performance Function Decision Guide: SPF Calibration versus SPF Development*. September, 1–31.
- Srinivasan, R., Lyon, C., Persaud, B., Baek, J., Gross, F., Smith, S., & Sundstrom, C. (2012). Crash Modification Factors for Changes to Left-Turn Phasing. *TRANSPORTATION RESEARCH RECORD*, *2279*, 108–117. <https://doi.org/10.3141/2279-13>
- Strauss, J., Miranda-Moreno, L. F., & Morency, P. (2014). Multimodal injury risk analysis of road users at signalized and non-signalized intersections. *ACCIDENT ANALYSIS AND PREVENTION*, *71*, 201–209. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.05.015>
- Wang, X. (2006). *Safety Analyses At Signalized Intersections Considering Spatial, Temporal And Site Correlation* [University of Central Florida]. <https://stars.library.ucf.edu/etd/818>

Bijlage

Bijlage 1: Formules

Per onderzoekslocatie:

$$CMF = \frac{E(\hat{\delta}_{na}|O_{NA})/E(\hat{\delta}_{voor}|O_{VOOR})}{V_{NA}/V_{VOOR}}$$

Met:

$$E(\hat{\delta}_{voor}|O_{VOOR}) = w * \mu_{voor} * T + (1-w) * \sum O_{VOOR}$$

$$w = \frac{1}{1 + k * \mu_{voor} * T}$$

$$k = \frac{\frac{Var(x)_{voor} - 1}{\mu_{voor}}}{\mu_{voor}}$$

$$E(\hat{\delta}_{na}|O_{NA}) = w * \mu_{na} * T + (1-w) * \sum O_{NA}$$

$$w = \frac{1}{1 + k * \mu_{na} * T}$$

$$k = \frac{\frac{Var(x)_{na} - 1}{\mu_{na}}}{\mu_{na}}$$

Betrouwbaarheidsinterval (95%) bij de CMF:

$$BI = \exp(\ln(CMF) \pm 1,96 * s)$$

Met:

$$s^2 = \frac{1}{E(\hat{\delta}_{na}|O_{NA})} + \frac{1}{E(\hat{\delta}_{voor}|O_{VOOR})} + \frac{1}{V_{NA}} + \frac{1}{V_{VOOR}}$$

Meta-analyse:

$$EFF = \frac{\sum W * \ln(CMF)}{\sum W}$$

Met:

$$W = \frac{1}{s^2}$$

Betrouwbaarheidsinterval (95%) bij de EFF:

$$BI = \exp\left(\frac{\sum W * \ln(CMF)}{\sum W} \pm 1,96 * \frac{1}{\sqrt{\sum W}}\right)$$

Bijlage 2: Impact op (ernst van) ongevallen

Globaal effect	Effectiviteitsratio	Ondergrens 95% BI 90% BI	Bovengrens 95% BI 90% BI	Geschatte verandering[§]
Aantal ongevallen	0,806	0,603 0,632	1,076 1,027	-19,4%
Aantal ongevallen met lichtgewonden	0,816	0,600 0,631	1,108 1,055	-18,4%
Aantal ongevallen met zwaargewonden en doden	0,858	0,315 0,370	2,339 1,991	-14,2%
Aantal slachtoffers	0,801	0,627 0,653	1,023 0,984	-19,9%
Aantal lichtgewonden	0,792	0,614 0,639	1,021 0,980	-20,8%
Aantal zwaargewonden en doden	0,827	0,300 0,353	2,275 1,933	-17,3%

[§] Een negatief teken betekent een daling in het aantal ongevallen/slachtoffers.

Enkel kruispunten die na de interventie op 50% of meer van de takken conflictvrij zijn (n=59)	Effectiviteitsratio	Ondergrens 95% BI	Bovengrens 95% BI	Geschatte verandering[§]
Aantal ongevallen	0,754	0,546	1,040	-24,6%
Aantal ongevallen met lichtgewonden	0,748	0,533	1,051	-25,2%
Aantal ongevallen met zwaargewonden en doden	0,877	0,292	2,636	-12,3%
Aantal slachtoffers	0,705	0,535	0,930	-29,5%
Aantal lichtgewonden	0,685	0,514	0,914	-31,5%
Aantal zwaargewonden en doden	0,831	0,274	2,520	-16,9%

[§] Een negatief teken betekent een daling in het aantal ongevallen/slachtoffers.

Enkel kruispunten die na de interventie volledig conflictvrij zijn (n=13)	Effectiviteitsratio	Ondergrens 95% BI	Bovengrens 95% BI	Geschatte verandering[§]
Aantal ongevallen	1,052	0,525	2,108	+5,2%
Aantal ongevallen met lichtgewonden	1,011	0,474	2,155	+1,1%
Aantal ongevallen met zwaargewonden en doden	1,101	0,130	9,320	+10,1%
Aantal slachtoffers	0,953	0,510	1,778	-4,7%
Aantal lichtgewonden	0,849	0,438	1,648	-15,1%
Aantal zwaargewonden en doden	1,102	0,132	9,165	+10,2%

[§] Een negatief teken betekent een daling in het aantal ongevallen/slachtoffers.

Type ongeval	Effectiviteitsratio	Ondergrens 95% BI	Bovengrens 95% BI	Geschatte verandering[§]
Aantal ongevallen	0,806	0,603	1,076	-19,4%
Zijdelings	0,802	0,500	1,285	-19,8%
Flank/kop-staart	1,021	0,548	1,902	+2,1%
Frontaal	0,694	0,257	1,874	-30,6%

[§] Een negatief teken betekent een daling in het aantal ongevallen/slachtoffers.

Type verkeersdeelnemer	Effectiviteitsratio	Ondergrens 95% BI	Bovengrens 95% BI	Geschatte verandering[§]
Aantal slachtoffers	0,801	0,627	1,023	-19,9%
Kwetsbare modi *	0,821	0,510	1,321	-17,9%
Gemotoriseerde modi **	0,797	0,593	1,072	-20,3%
Fiets	0,756	0,416	1,373	-24,4%
Auto	0,703	0,508	0,972	-29,7%

[§] Een negatief teken betekent een daling in het aantal ongevallen/slachtoffers.

* Kwetsbaar = Voetganger, fietser, bromfietser

** Gemotoriseerd = Motorfiets, auto, lichte vrachtwagen, vrachtwagen, autobus



Vias institute

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