

Evaluatie van het programma 'gevaarlijke punten'

Audit van bestaande evaluatieprogramma's.

RA-MOW-2009-012

E. Moons

Onderzoekslijn Infrastructuur



DIEPENBEEK, 2012.
STEUNPUNT MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN
SPOOR VERKEERSVEILIGHEID

Documentbeschrijving

Rapportnummer: RA-MOW-2009-012
Titel: Evaluatie van het programma 'gevaarlijke punten'

Ondertitel: Audit van bestaande evaluatieprogramma's

Auteur(s): E. Moons
Promotor: Prof. dr. Geert Wets
Onderzoekslijn: Infrastructuur
Partner: Universiteit Hasselt
Aantal pagina's: 31

Projectnummer Steunpunt: 2.3
Projectinhoud: In dit project staat de evaluatie van de analysetechniek voor het programma 'gevaarlijke punten' centraal.

Uitgave: Steunpunt Mobiliteit & Openbare Werken – Spoor Verkeersveiligheid, november 2009.

Steunpunt Mobiliteit & Openbare Werken
Spoor Verkeersveiligheid
Wetenschapspark 5
B 3590 Diepenbeek

T 011 26 91 12
F 011 26 91 99
E info@steunpuntmowverkeersveiligheid.be
I www.steunpuntmowverkeersveiligheid.be

Samenvatting

Dit rapport biedt een overzicht van de bestaande methodes voor de evaluatie van effecten van behandeling van gevaarlijke punten. Vaak wordt echter veel meer belang gehecht aan de identificatie en selectie van gevaarlijke punten dan aan de effecten na behandeling. Dit rapport beschrijft een studie van bestaande evaluatieprogramma's in Australië, Europa en de Verenigde Staten.

In het algemeen kunnen we in evaluatiestudies een tweetal stromingen onderscheiden. Onder de eerste stroming verstaat men de conventionele aanpak die het verwacht aantal ongevallen voor en na behandeling gaat vergelijken (al dan niet op basis van een controle groep). Dit verwacht aantal ongevallen kan bepaald worden met behulp van een controle ratio of met behulp van een statistisch model. Deze methode houdt echter geen rekening met wijzigingen in verkeersvolume en ook regressie naar het gemiddelde kan een vertekend beeld geven. Indien de ongevalaantallen groot genoeg zijn, kan dit eventueel opgevangen worden door voldoende lange periodes voor en na de behandeling te beschouwen voor de analyse.

De tweede stroming is deze van de (Empirisch) Bayesiaanse aanpak. Een groot voordeel van het correct gebruik van deze methode is dat er rekening gehouden wordt met vertekende factoren zoals regressie naar het gemiddelde of wijzigingen in verkeersvolume. De belangrijkste nadelen zijn dat het een erg complexe manier van evalueren is die daarnaast erg veel data nodig heeft. Onder voorbehoud van voldoende data en een correcte toepassing draagt deze manier van evalueren de voorkeur.

English summary

Evaluation of the 'hot spot' programme

An audit of existing evaluation programmes

Abstract

This report provides an overview of the existing methods for evaluating the effects of treatment of hazardous locations. Very often, though, more attention is paid to the identification and selection of these hot spots when compared to the evaluation of the effects after treatment. This report describes a study of existing evaluation programs in Australia, Europe and the United States.

In general, two movements can be detected in evaluation studies. The first movement is regarded as being the more conventional approach that involves a simple before-after comparison of accident counts or rates with or without a control group. The expected number of accidents can be determined based on a control ratio or by means of a statistical model. This method does not account for changes in the traffic volume and next to this, regression to the mean might give a biased result. If the number of accidents is large enough, the effect of regression to the mean can be accounted for by considering before and after periods that are long enough to carry out the analysis.

The second movement is that of the (Empirical) Bayesian approach. The main advantage of the correct use of this method entails the fact the confounding factors, like regression to the mean or changing traffic volumes are accounted for. The major disadvantages are the complexity of the evaluation method itself next to the enormous amount of data required for the analysis. Conditioning on the availability of the data and on a correct application of the method, this way of evaluating is preferred.

Inhoudsopgave

1.	INLEIDING	6
2.	FACTOREN DIE DE EVALUATIE KUNNEN BEÏNVLOEDEN	8
2.1	De ijzeren wet van evaluatiestudies?	8
2.2	Invloedrijke factoren	8
3.	FREQUENTE PROBLEMEN BIJ DE ANALYSE VAN 'GEVAARLIJKE PUNTEN'	10
3.1	Definitie van een hotspot	10
3.2	Stochastisch karakter van verkeersongevallen	11
3.3	Regressie naar het gemiddelde	11
3.4	Migratie van ongevallen	12
4.	TANNER: EEN PIONIER UIT 1958	13
5.	CONVENTIONELE EN NIET-BAYESIAANSE STATISTISCHE METHODES	14
5.1	Een aantal eenvoudige methodes	14
5.1.1	<i>De LOCF methode</i>	<i>14</i>
5.1.2	<i>De MA methode</i>	<i>15</i>
5.2	De conventionele methode: controle-ratio	15
5.2.1	<i>Definitie van de tijdspanne</i>	<i>15</i>
5.2.2	<i>De conventionele methode: Controle-ratio</i>	<i>15</i>
5.2.3	<i>Blootstelling</i>	<i>16</i>
5.2.4	<i>Ongevalmigratie</i>	<i>16</i>
5.2.5	<i>Regressie naar het gemiddelde</i>	<i>17</i>
5.2.6	<i>Types van analyse.....</i>	<i>17</i>
5.3	Een statistische methode: het gegeneraliseerd lineair model	17
5.4	Een gewogen Poisson regressiemodel	18
5.5	Generalized estimating equations (GEE)	19
6.	BAYESIAANSE VOOR- EN NASTUDIES	21
7.	OVERZICHT VAN DE METHODES	26
7.1	Eenvoudige methodes: LOCF, MA methode	26
7.2	Conventionele en statistische methodes	26
7.3	Bayesiaanse methodes	26
8.	BEST PRACTICE VOOR VLAANDEREN	27
8.1	Selectie van de methode	27
8.2	Selectie van locaties voor evaluatie	27
8.3	Evaluatiemaatstaf: aantal ongevallen/letselernst	27
8.4	Analyse per type van maatregel/ongeval	28
9.	TOEKOMSTIG ONDERZOEK	29
10.	LITERATUURLIJST	30

1. INLEIDING

In dit rapport wordt een overzicht gegeven van de bestaande evaluatieprogramma's voor gevaarlijke punten. Hetgeen erg opviel bij de literatuurstudie is dat erg veel geschreven wordt over het identificeren (en selecteren) van 'gevaarlijke punten', doch de literatuur omtrent de evaluatie van effecten van behandeling is eerder beperkt. Er wordt - in het algemeen - gesproken over een tweetal stromingen: een conventionele aanpak, (een methode die zich baseert op veralgemeende lineaire modellen) en een Bayesiaanse aanpak. Alle methodes maken gebruik van de voor-en na-aanpak en zijn gebaseerd op het gebruik van een controle groep (Teale, 1984).

Conventionele methodes maken gewoonlijk gebruik van controle ratio's (zie Sectie 3-4) en het aantal ongevallen tijdens de periode voor aanpak om een schatting te maken van het aantal ongevallen na behandeling. Vervolgens wordt het verschil berekend tussen het aantal ongevallen dat verwacht werd na aanpak en het effectieve aantal ongevallen na behandeling, men berekent de chi-kwadraat waarde en bepaalt op basis van deze waarde de significantie van het resultaat.

Vervolgens kan men spreken van een methode die zich baseert op gegeneraliseerde lineaire modellen (voornamelijk Poisson modellen, vermits het over telgegevens gaat). Een uitbreiding van deze statistische methode heeft tenslotte geleid tot de Bayesiaanse aanpak.

Bayesiaanse methodes wonnen vooral in populariteit in Europese landen waar er een ernstige kritiek was op de conventionele methodes (Hauer, 1981). Vooral de bepaling van het effect van regressie naar het gemiddelde (zie Sectie 2) speelde hierin een grote rol. Vaak worden tegenwoordig conventionele methodes dan ook aangevuld met een Bayesiaanse berekening van het effect van regressie naar het gemiddelde.

Eerst en vooral willen we in Sectie 2 van dit rapport stilstaan bij de factoren die een evaluatie kunnen beïnvloeden. Vervolgens schenkt Sectie 3 aandacht aan een aantal frequente problemen die zich voordoen bij de analyse van 'gevaarlijke punten'. Vermits de methoden die vervolgens besproken zullen worden een oplossing kunnen bieden voor sommige van deze problemen willen we deze kort nader toelichten.

Dit rapport is vervolgens deels chronologisch opgebouwd in die zin dat er in Sectie 4 gestart wordt met een summiere bespreking van een pionier artikel uit 1958 van J.C. Tanner. Dit artikel is erg belangrijk vermits het de basis legt voor het studieopzet en er nog vaak naar verwezen wordt als zijnde de meest geschikte conventionele methode.

Vervolgens wordt in Sectie 5 de evolutie besproken van de conventionele methode en de overgang naar meer statistische modellen. Deze sectie omschrijft grotendeels de evolutie die men in Australië heeft doorlopen inzake evaluatie van hot spots. In 1979 werd in Victoria een 'accident black spot program' geïnitieerd nadat de aandacht van de Australische regering was gevallen op de succesvolle programma's in Europa, het Verenigd Koninkrijk en de Verenigde Staten (Conn & Vulcan, 1978). In de eerste jaren werden slechts een paar locaties aangepakt, doch het programma groeide snel en tegen het jaar 1990 was reeds \$17 miljoen geïnvesteerd in het verhogen van de verkeersveiligheid op deze 'zwarte punten'. Dit is sindsdien enkel nog gestegen. Het instellen van een dergelijk programma, het selecteren en het behandelen van de gevaarlijke locaties is een eerste stap in de juiste richting, een evaluatie van de effectiviteit van bepaalde maatregelen moet echter de volgende stap zijn. Het hoofddoel van een dergelijke studie is dan ook om de effectiviteit van bepaalde types van maatregelen na te gaan, voor verschillende locaties en voor een waaier aan ongevaltypes. Hier werd traditioneel gebruik gemaakt van de conventionele aanpak, maar in de laatste jaren wordt vaker gebruik gemaakt van de gegeneraliseerde statistische modellen. Meestal wordt effectiviteit gemeten, zowel in frequenties (dus

daling van het aantal ongevallen/slachtoffers) als in economische waarde van de aanpak. In deze studie wordt echter enkel de nadruk gelegd op de reductie in het aantal ongevallen/slachtoffers.

Vanaf de jaren '90 wordt er, voornamelijk in Europa en de Verenigde Staten, meer de nadruk gelegd op een evaluatie met behulp van de Bayesiaanse aanpak, omdat deze een aantal van de tekortkomingen van de conventionele methode kan wegwerken (o.a. regressie naar het gemiddelde). Dit wordt besproken in Sectie 6. Geen methode is echter zonder gebreken, daarom worden voor- en nadelen van beide methodes grondig besproken.

In Sectie 7 wordt een overzicht gegeven van de verschillende methodes en de gegevens die nodig zijn om een bepaalde methodiek uit te werken.

In Sectie 8 worden er – onder voorbehoud van de nodige gegevens in Vlaanderen – aanbevelingen gedaan omtrent een 'best practice' voor de toekomstige evaluatie van het 'gevaarlijke punten' programma in Vlaanderen.

Tot slot wordt het verdere onderzoek binnen dit project kort weergegeven in Sectie 9.

2. FACTOREN DIE DE EVALUATIE KUNNEN BEÏNVLOEDEN

Deze Sectie beschrijft kort de factoren die een evaluatie kunnen beïnvloeden. Het is noodzakelijk om deze te identificeren alvorens de evaluatie uitgevoerd wordt.

In theorie zouden alle factoren die een effect kunnen hebben op de evaluatie van de aanpak mee in rekening gebracht moeten worden bij het schatten van het behandelingseffect. Elvik (1997) vond echter, dat met hoe meer factoren men rekening hield, des te minder effectief de aanpak bleek te zijn. Dit lichten we kort toe in volgende paragraaf alvorens over te gaan tot de factoren die mogelijk een invloed hebben.

2.1 De ijzeren wet van evaluatiestudies?

Verschillende evaluatiestudies tonen een grote reductie in het aantal ongevallen wanneer 'gevaarlijke punten' aangepakt werden. Rune Elvik (1997) voerde echter een kritische onderzoek uit naar 36 van dergelijke evaluatiestudies en toonde aan dat vele van hen geen rekening houden met welgekende vertekenende factoren, zoals het effect van regressie het gemiddelde dat zo typisch optreedt bij verkeersongevallen. Zijn artikel toonde aan dat hoe meer vertekenende factoren er mee in rekening gebracht werden, des te minder werd het aandeel aan ongeval reductie dat toe te schrijven kon zijn aan de aanpak van het gevaarlijk punt. Hij toonde zelfs aan dat studies die zowel rekening hielden met het effect van regressie naar het gemiddelde als met migratie van ongevallen geen netto effect van reductie meer overhielden. De resultaten van deze studie bevestigen de zongenaamde "Ijzeren Wet" van evaluatiestudies, die zegt dat hoe meer men rekening houdt met vertekenende factoren, des te minder waarschijnlijk zal men gunstige effecten van het programma kunnen aantonen.

2.2 Invloedrijke factoren

Factoren die een rol kunnen spelen zijn

- locatiespecifieke factoren,
- effect van campagnes/publiciteit,
- trends in de tijd,
- regressie naar het gemiddelde,
- ongevalmigratie
- het stochastisch karakter van ongevallen en
- het onderrapporteren van ongevalgegevens.

Vervolgens worden elk van deze factoren kort toegelicht en er wordt nagegaan wat het effect van deze factoren op een evaluatiestudie kan betekenen (BTE, 2001).

Onder *locatiespecifieke factoren* verstaan we specifieke gebeurtenissen (niet de behandeling zelf): bv. een locatie is een tijdje in de belangstelling geweest. Dit kan leiden tot een (tijdelijk) verhoogd bewustzijn van het gevaar van die locatie bij het brede publiek waardoor het aantal ongevallen zou afnemen. Dit is echter vaak een tijdelijk fenomeen, dit wil zeggen dat indien men informatie in acht neemt over een voldoende lange tijd, dat dit wellicht geen effect heeft op een evaluatie van een geheel programma.

Niet elke vorm van *publiciteit* is locatiespecifiek. Het meeste materiaal dat aangeboden wordt ter verhoging van de verkeersveiligheid is bestemd voor een breed publiek. *Campagnes* ter verbetering van de verkeersveiligheid worden op regelmatige basis gevoerd, dus ook hier geldt dezelfde opmerking, dat, indien zowel voor als na over

voldoende lange tijd informatie vergaard wordt, dit effect wellicht niet significant blijkt te zijn.

Trends in de tijd zouden idealiter gemodelleerd worden door een vorm van motorisatiegraad (bv. aantal gereden kilometers) mee in rekening te brengen bij het modelleren van ongevallen. Vaak wordt dit echter door gebrek aan gegevens niet gedaan, net zoals *ongevalmigratie* vaak niet geanalyseerd wordt.

Het mee in rekening brengen van *regressie naar het gemiddelde* wordt uitvoerig besproken in Paragraaf 5.1.5. Dit probleem wordt, tezamen met het *stochastisch karakter van ongevallen* en *ongevalmigratie* tevens verder toegelicht in de volgende Sectie.

Een verkeersveiligheidsanalyse moet gebaseerd zijn op het aantal ongevallen dat zich voordoet, in de praktijk is deze echter gebaseerd op het aantal ongevallen dat gerapporteerd wordt. Vaak worden de minst ernstige ongevallen niet aangegeven. Naargelang de ernst van het ongeval stijgt, daalt de onderrapportering. Hauer en Hakkert (1988) bespraken het probleem van de *onderrapportering van ongevallen* en kwamen tot de conclusie dat als de kans dat een ongeval gerapporteerd wordt op een bepaalde locatie constant blijft over de periode van evaluatie dan zal de betrouwbaarheid van de analyse niet significant beïnvloed worden.

3. FREQUENTE PROBLEMEN BIJ DE ANALYSE VAN 'GEVAARLIJKE PUNTEN'

Om een dieper inzicht te verkrijgen in de problematiek van 'gevaarlijke punten' beschrijft deze Sectie de verschillende problemen die zich voordoen bij identificatie en analyse van hot spots.

Naast het stochastisch karakter van verkeersongevallen, zijn de twee meest voorkomende problemen met identificatie van gevaarlijke ongevallocaties de migratie van ongevallen en de regressie naar het gemiddelde (Europese wegenfederatie, 2002). Daarnaast is er ook vaak een grote variatie in het aantal ongevallen, maar dit kan opgevangen worden door gebruik te maken van een statistisch model dat rekening houdt met deze variatie of door de studieperiode te verlengen tot 3-5 jaar (Cheng & Washington, 2005). Ook is er geen duidelijke indicatie wat de beste lengte voor een gevaarlijk wegsegment zou zijn en tenslotte, het probleem van onderrapportering van ongevallen zal een belangrijke rol spelen in de identificatie, maar zolang men geen idee heeft wat het percentage ondergerapporteerde ongevallen is, is het erg moeilijk om dit mee in rekening te brengen (Lammar, 2006a, 2006b; De Mol & Lammar, 2006). We zullen nu nader ingaan op de drie meest frequente problemen, zijnde willekeurigheid, regressie naar het gemiddelde en migratie (Vistisen, 2002). Vooraleer we hierop dieper ingaan, moeten we echter nog 1 belangrijk probleem onder ogen zien: de verscheidenheid aan definities van een hot spot in de verkeersveiligheidsliteratuur.

3.1 Definitie van een hotspot

Een erg belangrijk probleem in het domein van hot spot analyse, is dat er in de literatuur geen eenduidige definitie voor handen is. Er bestaan zelfs zeer uiteenlopende definities (Hauer, 1996; Elvik, 2006; Sorensen & Elvik, 2007). Dit maakt het niet gemakkelijk om verschillende methodes met elkaar te vergelijken, aangezien sommige technieken op de ene definitie gebaseerd zijn en andere op een andere. Deze definities omvatten onder meer de volgende ingrediënten:

- (verhoogd) aantal ongevallen (t.o.v. vergelijkingsgroep)
- (verhoogd) risico op ongevallen (t.o.v. vergelijkingsgroep)
- Opname van ernst in de definitie
 - bv. $1L + 3Z + 5D > 15 \Rightarrow$ hot spot
- Geobserveerd versus verwacht aantal
- Op locatie niveau of op zone niveau
- Combinaties zijn mogelijk

Recent stelde Rune Elvik (Sorensen & Elvik, 2007) volgende veralgemeende definitie voor:

Een **hot spot** is een locatie met

1. een aantal ongevallen dat hoger is dan verwacht
2. in verhouding tot vergelijkbare locaties
3. ten gevolge van locale risicofactoren.

De kernideeën die in deze definitie verweven zitten zijn de volgende:

1. de ongevallen op de gelijkaardige locaties bepalen het verwacht aantal ongevallen, dit is dus gebaseerd op een onderliggend statistisch model (en niet op basis van ruwe gegevens);
2. een hot spot wijkt af van de populatie van locaties van gelijkaardige aard;
3. de verhoging in onveiligheid moet voor een deel toegewezen kunnen worden aan lokale factoren.

Dit benoemde Elvik tot de theoretische definitie. De operationele definitie stelt dat een locatie een hot spot is indien het geobserveerd aantal ongevallen groter is dan het verwacht aantal ongevallen (bepaald op basis van een Bayesiaans model), waarbij dit verwacht aantal ongevallen op zichzelf ook groter moet zijn dan het aantal ongevallen dat normaal geacht wordt voor een gelijkaardige locatie. Dit "normaal aantal ongevallen" kan bepaald worden door het gemiddelde te nemen van de aantallen op gelijkaardige ongevallocaties, maar het kan ook bepaald worden aan de hand van een statistisch model. Elvik stelt dat, indien er model-gebaseerde schattingen gebruikt kunnen worden voor het normaal aantal ongevallen van een locatie, dat deze geprefereerd worden. In state-of-the-art toepassingen gebruikt men steeds een multivariaat ongeval voorspellingsmodel om het normaal aantal ongevallen te schatten. Een van de belangrijke nadelen waarmee deze definitie gepaard gaat is dat er enorm grote hoeveelheden aan data beschikbaar moeten zijn om deze definitie werkbaar te maken.

3.2 Stochastisch karakter van verkeersongevallen

Het jaarlijks aantal ongevallen op een wegsegment varieert elk jaar. Dit wordt verklaard door het inherente ongevalrisico van een wegsegment of kruispunt. De willekeurigheid in het aantal ongevallen is eigen aan de natuur van ongevallen en het hangt daarenboven ook af van een aantal factoren die niet voorspeld kunnen worden. Bijgevolg, als de willekeurige natuur van ongevallen niet beschouwd wordt, zullen maten en fondsen die aangemeten worden voor het verbeteren van de verkeersveiligheid niet optimaal gealloceerd worden. Het is daarom van groot belang om het wegennetwerk te bestuderen gedurende: (1) een representatieve tijdsperiode waarin een statistisch logisch (representatief) aantal ongevallen gebeuren. Dit betekent dat de onderzoeksperiode lang genoeg moet zijn om representatieve ongevalsteekproeven voort te brengen. De ongevalpopulatie bevat in deze context alle ongevallen sinds het begin van de metingen. Aangezien er telkens een bepaalde periode of een bepaalde (geografische) groep van locaties uitgelicht wordt, spreken we dus van een steekproef. Op basis van een groot aantal onderzoeken, werd algemeen overeengekomen dat in de meeste gevallen een periode van drie tot vijf jaar voldoende geacht wordt om de betrouwbaarheid van de resultaten te waarborgen (Cheng & Washington, 2005). Daarenboven moet (2) het wegennetwerk ook bestudeerd worden in een tijdsperiode waarin geen substantiële aanpassingen aan de infrastructuur of aan de omgeving uitgevoerd zijn.

3.3 Regressie naar het gemiddelde

Een gevolg van het willekeurige karakter van de ongevalratio op een wegsegment is de regressie naar het gemiddelde. Als de selectie van de te behandelen hot spots enkel gekozen wordt op basis van hun hoog aantal ongevallen in een bepaald jaar, dan kunnen de gekozen sites werkelijk erg gevaarlijk zijn, maar daarnaast kan het ook zijn dat de hoge ongevalaantallen volledig te wijten zijn aan toeval, of aan een combinatie van de twee: deels door toeval en deels aan een gematigd gevaarlijke site. Met andere woorden, een ongeval hot spot kan veroorzaakt worden door erg slechte omstandigheden die een extreme waakzaamheid vragen, maar het kan ook niets meer zijn dan een toevallige, betekenisloze cluster van ongevallen die toevallig voorkomen en die geen intrinsieke betekenis hebben. Deze sites hebben wellicht in een volgende periode minder ongevallen, zelfs als er geen behandeling van deze sites was, omdat het aantal ongevallen zal neigen naar het lange termijn gemiddelde. Onder deze omstandigheden zal het effect van eender welke behandeling van sites wellicht overschat worden. Dit effect noemen we het effect van regressie naar het gemiddelde en wordt af en toe ook selectie-vertekening genoemd (Davis, 1986).

Hiermee bedoelt men dat een verhoogd geobserveerd aantal ongevallen abnormaal kan zijn en niet representatief voor de werkelijke onveiligheid omdat het kan gaan over een toevallige fluctuatie rond het gemiddelde. Omgekeerd betekent dit ook dat een

significante daling in het aantal ongevallen opgemerkt kan worden, zelfs indien er geen wijziging op de onderzochte locatie is doorgevoerd. Deze daling kan puur toevallig zijn. In het algemeen, stel het geobserveerd aantal ongevallen op een locatie voor door M .

Hauer (1997) stelt dat dit geobserveerd aantal altijd fluctueert rond een onbekend verwachte waarde μ . Als M een goede schatter is van μ , dan zullen locaties waarvoor M ongevallen geregistreerd worden in de ene periode, ook gemiddeld M ongevallen registreren in de volgende periode van even lange duur (als μ ongewijzigd blijft). Maar, empirisch onderzoek heeft aangetoond dat, zelfs als M in de ene periode groter is dan μ , dan blijft de beste gok over de grootte van M in de volgende periode nog steeds μ . Bijgevolg, als M geen goede schatter is van μ , dan is er nood aan een betere manier om μ te schatten. De Bayesiaanse aanpak voorziet in deze behoefte.

3.4 Migratie van ongevallen

Tijdens de ontwikkeling van hot spot maatstaven heeft men een relatie opgemerkt tussen het verdwijnen van een hot spot en de ontwikkeling van een nieuwe hot spot in de buurt van de voorgaande (Maher, 1990). Hot spots hebben de neiging om in de tijd te migreren naar een andere locatie. Dit fenomeen van migratie van ongevallen ontstaat wanneer een hot spot niet gepast aangepakt wordt: van de ene kant daalt het aantal ongevallen in de bestaande hot spot, terwijl er aan de andere kant, gewoonlijk op een nabij wegsegment of kruispunt, het aantal ongevallen plots toeneemt. Ongeval migratie stelt eigenlijk een daling voor in de efficiëntie van de aanpak van hot spots (Europese wegfederatie, 2002).

Het geheel van ongeval migratie kan verklaard worden door het feit dat zelfs een lokale aanpak van hot spots niet-lokale gevolgen met zich mee kan dragen (Hauer, 1997). Een vaak voorkomend gevolg van een behandeling is het diversifiëren van verkeer. Het is immers duidelijk als de aanpak van een locatie ertoe leidt dat er veranderingen in verkeer optreden, dan zal de veiligheid elders ook wijzigen. Maar, ongeval migratie kan ook subtielere vormen aannemen. Bijvoorbeeld, in een omgeving waar het stopmechanisme van bijna elk kruispunt veranderd is van een twee-wegs-stop naar een algemene stop, kan men ten onrechte verwachten dat voertuigen overal stoppen, zelfs op die paar kruispunten waar slechts een twee-wegs-stopmechanisme van kracht is. Hier kan men een mogelijke migratie van ongevallen hebben op kruispunten met algemene stops naar kruispunten met twee-weg-stops.

Om ongevalmigratie te voorkomen is het belangrijk om op voorhand te bepalen welke de doelongevallen zijn die je wil voorkomen met de behandeling van een site (Hauer, 1997). Deze doelongevallen zijn alle ongevallen die beïnvloed kunnen worden door een behandeling van de hot spot. Het is bijgevolg logisch dat een overtuigende evaluatie van het verkeersveiligheidseffect van de behandeling van de hot spot een degelijk begrip inhoudt van het proces waardoor ongevallen gegenereerd en vermeden kunnen worden.

Ongevalmigratie dient in eerste instantie voorkomen te worden door exact de doelongevallen te definiëren, zodat men kan onderzoeken welke ongevallen voorkomen zijn door de behandeling van de te onderzoeken locatie. Maar men kan ongevalmigratie ook onderzoeken. Een voorbeeld (in een andere context) hiervan wordt gegeven in Wilson et al. (2003). Zij pasten de Getis-statistiek toe op het verschil in concentratie tussen twee verschillende jaren. Geen verandering betekent een verschil van nul, en bijgevolg laat de statistiek toe om statistisch significante clusters te identificeren die waarden hebben die veel groter of kleiner zijn dan nul. Toegepast op verkeersveiligheid betekent dit dat grote positieve waarden duiden op meer ongevallen in het meest recente jaar, terwijl negatieve waarden duiden op een daling in het aantal ongevallen. Verandering op een bepaalde locatie kan betekenisvol zijn, doch als de omgeving in een consistente manier mee verandert, kan men zekerder zijn dat de verandering effectief heeft plaatsgevonden en dat het niet per toeval meer of minder ongevallen opleverde ten opzichte van het vorige tijdstip.

4. TANNER: EEN PIONIER UIT 1958

Deze Sectie beschrijft de eerste analyse van een voor- en na-studie op verkeersongevalgegevens uit 1958. Vooral het design van de analyse is tot op heden nog gebruikt en daarom werd deze hier apart besproken.

Tanner stelde in 1958 een methode voor om het gemiddeld effect op ongevalfrequentie te berekenen voor en na dat er wijzigingen werden aangebracht op een reeks van locaties.

Het studieopzet dat voorgesteld werd door Tanner is een quasi-experimenteel evaluatiedesign waarbij men controlegroepen gebruikt om na te gaan welke wijzigingen in de ongevalfrequentie toe te schrijven zijn aan het 'blackspot' programma. Dit design schat het effect van een behandeling van een locatie door de ongevalfrequenties op elke behandelde locatie te vergelijken met een gelijkaardige niet-behandelde locatie (of groep van locaties) en dit zowel voor als na de behandeling. Het gebruik van controle groepen is nodig om een adequate maat te kunnen geven van de reductie in ongevalfrequentie die aan andere factoren te wijten zijn dan een behandeling van een locatie over dezelfde periode dan de behandelde locaties in de studie. Deze factoren kunnen bijvoorbeeld (lokale) verkeersveiligheidsinitiatieven inhouden, zoals het gebruik van snelheidscamera's, bob-campagnes, beleidsmaatregelen of economische wijzigingen die een effect kunnen hebben op het weggebruik (Newstead et al., 1995).

De selectie van de controlegroepen in een quasi-experimenteel design is een afweging vinden tussen aan de ene kant het zo goed mogelijk proberen te matchen van locatiespecifieke kenmerken om zo goed mogelijk te controleren voor vertekende invloeden op het aantal ongevallen, terwijl er aan de andere kant een voldoende groot aantal ongevallen moet zijn op die locaties om voldoende statistische power te hebben voor de analyse. De controlegroepen zijn uiteraard locaties die niet behandeld worden.

De methode maakt gebruik van controle-ratio's, die de ratio voorstelt van het aantal ongevallen na behandeling tot voor behandeling, maar voor de controlegroep (dus de niet-behandelde locatie).

Het artikel beschrijft de analyse van ongevalfrequenties voor en na gelijkaardige veranderingen in de wegcondities werden aangebracht op een reeks van locaties. Het nieuwe in dit artikel lag beschreven in het feit dat men nu een reeks van locaties met gelijkaardige veranderingen tegelijk kon analyseren in tegenstelling tot voorheen waar men locatie per locatie onderzocht. Er werd op elke locatie verondersteld dat het aantal ongevallen tussen de voor en de na periode binomiaal verdeeld was, waarbij de parameter van de verdeling afhangt van de relatieve lengte van beide periodes en van het effect van de verandering. Vervolgens werd een methode voorgesteld om het gemiddeld effect van de behandeling te schatten. De accuraatheid van deze schatting is niet enkel afhankelijk van de willekeurige veranderingen in de kleine aantallen van ongevalfrequenties maar ook van de werkelijke verschillen die kunnen optreden tussen de effecten van de behandelingen op de verschillende locaties.

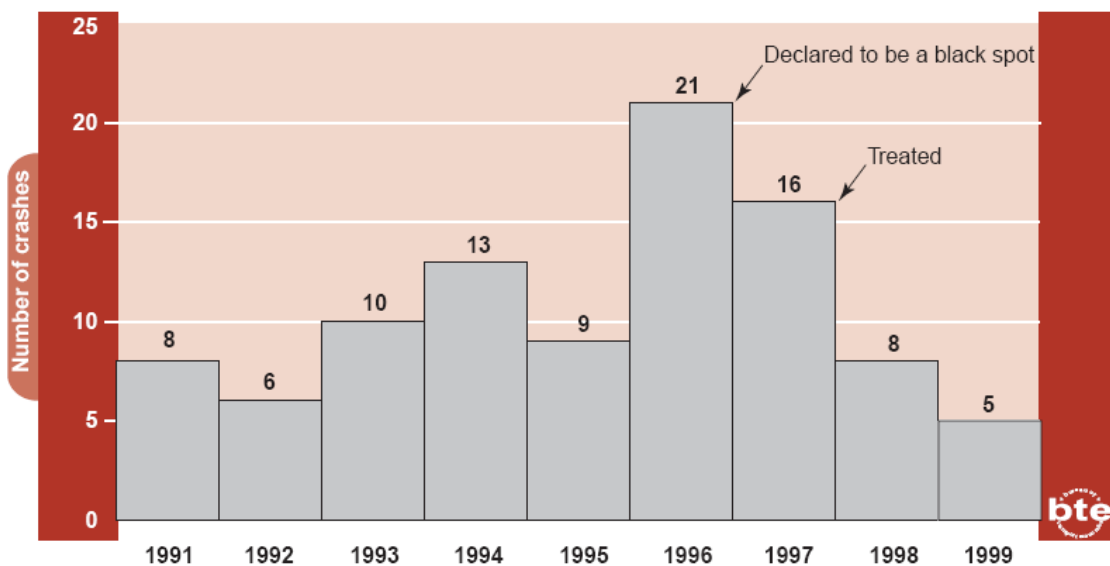
Het belang van dit artikel ligt niet zo zeer in de statistisch gebruikte methode – sinds de evolutie naar een computer-technisch sterker millennium kunnen heel wat meer geavanceerde modellen gerund worden – maar veeleer in het studieopzet dat ook nu nog van toepassing is. Daarnaast werkte Tanner ook met controle-ratio's, hetgeen in de conventionele methodes ook vandaag nog gebruikelijk is.

5. CONVENTIONELE EN NIET-BAYESIAANSE STATISTISCHE METHODES

Deze sectie beschrijft de verschillende conventionele en niet-Bayesiaanse statistische methodes die gebruikt worden voor evaluatiestudies.

5.1 Een aantal eenvoudige methodes

Eerst stellen we een aantal eenvoudige methodes voor aan de hand van een voorbeeld (BTE, 2001). Onderstaande figuur stelt het aantal ongevallen voor op een deel van de Tullamarine Freeway in Victoria.



Figuur 1: ongevallen op een deel van de Tullamarine Freeway in Victoria (BTE, 2001)

Het volgende dient opgemerkt te worden:

- dit deel van de Tullamarine Freeway werd erg glad bij nat weer
- eind 1996 werd deze locatie als een hot spot aangeduid
- er werd een soort anti-slip oppervlak aangebracht eind 1997 en
- het verkeerspatroon in de regio bleef hetzelfde, tenzij anders vermeld.

De auteur wenst hier op te merken dat het geheel louter als illustratief voorbeeld werd ingevoerd. Het is immers erg onwenselijk dat een locatie tot een hot spot wordt geïdentificeerd op basis van de gegevens van een enkel jaar.

5.1.1 De LOCF methode

De eerste methode is de meeste eenvoudige methode, dit wordt in de statistiek bij het ontbreken van gegevens de LOCF methode genoemd (last observation carried forward) (Verbeke and Molenberghs, 2000). Dit wil zeggen dat de methode aanneemt dat indien er geen behandeling van de locatie was geweest eind 1997, dat het aantal ongevallen in 1998 hetzelfde gebleven zou zijn als in 1997, met name 16. Het effect zou vervolgens geschat worden als: $16 - 8 = 8$, dit wil zeggen een reductie van 50% in het aantal ongevallen per jaar.

5.1.2 De MA methode

Een tweede erg eenvoudige methode is de methode van het gemiddelde, of beter de MA (Moving Average) methode. Deze methode neemt het rekenkundig gemiddelde van de afgelopen 3 jaar en neemt aan dat het aantal ongevallen in de volgende periode gelijk is aan dit gemiddelde indien er geen behandeling van de locatie zou zijn. In dit voorbeeld betekent dit: $(9+21+16)/3 = 15.3$. Hiermee zou de reductie geschat worden als volgt: $15.3-8 = 7.3$, dit wil zeggen een reductie van 48%. Men kan ook een langere periode in rekening brengen, bv. 5 jaar, doch des te groter de tijdsspanne, des te meer kans er is dat er in tussentijd iets gewijzigd is aan de locatie of aan de verkeerspatronen.

Voor beide methoden kan men nog een trend correctie doorvoeren. Indien men weet dat er een algemene trend is van een reductie met 4.5%, dienen bovenstaande cijfers aangepast te worden. De LOCF methode geeft dan: $[16*(1-0.045)]-8=7.28$. Dit betekent een reductie van 48% in het aantal ongevallen per jaar, terwijl dit effect voor het 3-jarig gemiddelde gelijk zou zijn aan $[15.3*(1-0.045)]-8=6.6$, hetgeen 43% reductie betekent.

5.2 De conventionele methode: controle-ratio

Tijdens de eerste evaluaties van het 'gevaarlijke punten' programma in Australië werd gebruik gemaakt van een conventionele methode met behulp van controle-ratio. In tegenstelling tot de methode van Tanner werd er in deze toepassing van een conventionele methode wel rekening gehouden met het effect van regressie-naar-het-gemiddelde. Hieronder wordt aangegeven op welke manier. Eerst en vooral dienen een aantal definities duidelijk gesteld te worden.

5.2.1 Definitie van de tijdspanne

Zowel de voor- als de na-periode dienen minstens 3 jaar (en bij voorkeur 5 jaar) te zijn (zie ook Cheng & Washington, 2005), waarbij de na-periode gedefinieerd wordt vanaf het jaar volgend op het jaar waarin de locatie behandeld werd. Er wordt de voorkeur gegeven aan een voorperiode die niet gebruikt werd om de locatie te definiëren als zijnde een gevaarlijk punt. Dit om deels het probleem van het stochastisch karakter van ongevallen te ondervangen en anderzijds om vertekening van het resultaat zo veel mogelijk te voorkomen. In deze voorperiode weet men immers al dat het aantal ongevallen erg hoog was, dus dit zou een overschatting van het effect tot gevolg kunnen hebben.

5.2.2 De conventionele methode: Controle-ratio

Controle groepen kunnen op verschillende manieren gedefinieerd worden. In de eerste evaluaties (Corben et al., 1990; Tziotis, 1993; Duarte & Corben, 1998) werd een locatiespecifieke controle-ratio opgesteld. Deze controle-ratio werd gedefinieerd als het aantal ongevallen gedurende de na-periode ten opzichte van het aantal ongevallen gedurende de periode voor behandeling van een locatie en dit voor alle ongevallen in de gemeente (municipality/local government area (LGA)) waar het ongeval plaatsvond (exclusief het 'gevaarlijk punt'). Het verwacht aantal ongevallen in de na-periode voor een locatie is dan gelijk aan het product van het aantal ongevallen voor de behandeling en zijn overeenkomstige controle ratio (i.e. het totaal aantal ongevallen in de gemeente gedurende de naperiode/het totaal aantal ongevallen in de gemeente gedurende de voorperiode). Het gebruik van LGA's als controlegroepen in Australië zorgde ervoor dat het aantal ongevallen voldoende was om een krachtige analyse te kunnen uitvoeren, terwijl tegelijkertijd rekening gehouden werd met factoren als landgebruik, verkeersintensiteiten en snelheden, die erg konden variëren tussen LGA's. Indien er in een LGA meerdere locaties behandeld werden dan gebruikten ze dezelfde set van controle locaties (Newstead & Corben, 2001).

Het gebruik van een controle-ratio wordt kort uitgelegd aan de hand van een voorbeeld.

Tabel 1: Behandelde versus controle locatie

	Behandeling	Controle
Voor	16	18
Na	8	15
Totaal	24	32

Het verwacht aantal ongevallen na behandeling is hier gelijk aan $15/18 \cdot 16 = 13.3$. Dit wil zeggen dat de reductie in het aantal ongevallen $13.3 - 8 = 5.3$ bedraagt, hetgeen een procentuele reductie van 40% is, dit in tegenstelling tot de (niet voor trend aangepaste) LOCF methode, waar men een reductie van 50% had.

In de volgende paragrafen wordt ingegaan op nog een paar belangrijke aspecten die een invloed kunnen hebben op het effect.

5.2.3 Blootstelling

Vaak zijn er niet genoeg gegevens beschikbaar over het verkeersvolume om blootstelling mee in rekening te brengen in de evaluatie van het effect van een bepaalde behandeling. Men moet namelijk niet enkel beschikken over blootstellingsgegevens voor de 'gevaarlijke punten' zelf. Voor elk van de controle locaties dienen immers ook blootstellingsgegevens beschikbaar te zijn.

Vaak wordt er een korte evaluatie gedaan van de 'gevaarlijke punten' en locaties waar er na behandeling werkelijk substantiële verschillen optraden in verkeersvolume werden uit de analyse gehaald (Corben et al., 1990; Teale, 1984).

Het feit dat blootstelling mee in rekening gebracht wordt, bespreekt men dikwijls vanuit volgend oogpunt. Als de behandeling van een bepaalde locatie het aantal ongevallen op een bepaalde locatie wijzigt ten gevolge van een wijziging in blootstelling (die op zijn beurt ontstond door de wijziging in behandeling), dan moet deze component van wijziging opgenomen worden in de maatstaf die het totale effect van wijziging berekent. Dit wil zeggen dat het totale effect bestaat uit een component die te wijten is aan een intrinsiek verschil in veiligheid voor en na de behandeling van de locatie en daarnaast een component die te wijten is aan een verschil in blootstelling ook als effect van de behandeling. Hierdoor zal dus de maatstaf die de effectiviteit meet van verschillende behandelingen automatisch een component bevatten die te wijten is aan de verandering in blootstelling.

5.2.4 Ongevalmigratie

Een mogelijk resultaat van het behandelen van een 'gevaarlijk punt' is de migratie van ongevallen waarbij het behandeld 'gevaarlijk punt' als gevolg heeft de ongevallen verplaatst worden van de behandelde locatie naar een locatie in de buurt. Indien dit niet mee opgenomen wordt in een effectiviteitstudie, dan zouden ongeval migratie kunnen leiden tot een verkeerde schatting van het netto effect van de behandeling. Men gaat er van uit dat de meest waarschijnlijke oorzaak van ongeval migratie het veranderen van verkeersvolume is op de behandelde locatie. Om deze waarschijnlijkheid na te gaan heeft men gegevens nodig over de verkeersvolumes op de behandelde locaties en verder van alle locaties in de buurt van de behandelde locaties naar waar het verkeer mogelijk zou afgeleid zijn. Daarnaast hebben we ook de ongevalgegevens nodig op deze naburige locaties omdat deze naburige locaties misschien inherent veiliger zijn, waarbij het netto risico op deze naburige locatie niet noodzakelijk stijgt als het extra verkeer hiernaar afgeleid wordt. Omdat dit erg veel gegevens vraagt, wordt ongeval migratie meestal niet geanalyseerd en bijgevolg zijn de resultaten van het onderzoek niet gecorrigeerd voor effecten van ongevalmigratie.

5.2.5 Regressie naar het gemiddelde

Indien 'gevaarlijke punten' enkel geselecteerd zouden worden op basis van hun ogenblikkelijke historiek van ongevallen, dan zou die selectie zowel locaties bevatten met een abnormaal hoge ongevalratio, maar eveneens locaties met een ongewoon hoog aantal ongevallen puur op basis van statistische fluctuatie. Het is dan te verwachten dat het aantal ongevallen, voor een deel van de geselecteerde locaties, sowieso zal dalen in de periode na de selectie, zelfs indien er geen behandeling zou plaatsvinden. Dit effect van regressie naar het gemiddelde is goed gedocumenteerd, voornamelijk in de Bayesiaanse literatuur (Davis, 1986; Hauer, 1981, 1997). Daarom wordt er aangeraden (Nicholson, 1986, Cheng & Washington, 2005) van ten minste 3 en indien mogelijk 5 jaar te gebruiken als voor-/na-periode om random fluctuaties uit te 'smoothen' en om voldoende bewijs te bieden voor een trend of wijziging in het aantal ongevallen. Als er slechts gegevens beschikbaar zijn voor kleinere periodes, dan zouden effecten van regressie naar het gemiddelde berekend moeten worden, in termen van de verwachte frequentiereductie en deze zouden moeten afgetrokken worden van de effectieve gemeten ongeval frequentiereductie om de echte effecten te kunnen bespreken. Een nadeel van het schatten van effecten van regressie naar het gemiddelde en bijgevolg van het schatten van het behandelingseffect is dat deze schatters erg sterk gebaseerd zijn op de keuze van de onderliggende verdeling van ongevalfrequenties. Een andere keuze kan een ander resultaat opleveren.

Indien echter voldoende gegevens beschikbaar zijn, wordt verwacht dat het effect van regressie naar het gemiddelde erg klein is en dat bijgevolg de overschatting van het effect van de behandeling omwille van regressie naar het gemiddelde erg minimaal zal zijn.

5.2.6 Types van analyse

Men kan verschillende analyses uitvoeren. In de Australische context werd vaak gekeken naar verschillende soorten van behandeling van een locatie ('new roundabout, new intersection, signal remodelling, pedestrian treatment, ...'). Daarnaast werd ook een verschillende analyse uitgevoerd binnen en buiten de 'metropolitan area' en per jaar van aanpak.

Naast de conventionele methode werd echter in Newstead & Corben (2001) ook gebruik gemaakt van een statistische methode voor het evalueren van effecten. Deze wordt vervolgens besproken.

5.3 Een statistische methode: het gegeneraliseerd lineair model

Naast de conventionele methode die enkel gebruik maakt van de controle-ratio om het verwacht aantal ongevallen te gaan berekenen voor een locatie en vervolgens dat verwacht aantal ongevallen vergelijkt met het geobserveerd aantal ongevallen na behandeling, kan men er ook voor opteren om een statistische methode toe te passen waarin een gegeneraliseerd lineair model wordt gefit. Dit is eigenlijk een gelijkaardige methode als de conventionele, maar nu tezamen voor de verschillende locaties.

De telgegevens die verzameld worden in een quasi-experimenteel voor/na-behandeling/controle design definiëren een 2 bij 2 contingentietabel. Het doel van een statistische analyse is om het verschil in ongevalfrequentie te schatten van voor ten opzichte van na behandeling voor de behandelde locaties ten opzichte van de controle locaties. Afgezien van het feit dat de behandelde en de controle locaties niet gerandomiseerd zijn, geeft dit hetzelfde analyse raamwerk dat gebruikt wordt in klinische studies met een gerandomiseerde behandeling/controle structuur.

Medische literatuur toont aan dat de meest aangewezen manier om telgegevens te analyseren van studies waarin een netto behandelingseffect dient gemeten te worden relatief ten opzichte van een controle groep een log-lineaire analyse is met een Poisson structuur op de fouten (Breslow & Day, 1987; Piantadosi, 1997). De resulterende

schatting is nu geen relatief risico op bv. kanker, zoals in klinische studies vaak het geval is, maar de relatieve verandering in ongevalfrequentie in de behandelde groep relatief ten opzichte van de controle groep. Bruhning en Ernst (1985) hebben log-lineaire Poisson modellen toegepast voor de analyse van quasi-experimentele designs voor de evaluatie van verkeersveiligheid. De methode kan als volgt beschreven worden. Data uit een quasi-experimenteel studieopzet met voor en na behandelingsgegevens in elk van de K behandeling- en controleparen kunnen samengevat worden in een reeks van K 2 bij 2 contingentietabellen (zie ook Tabel 1, dit is een enkelvoudige 2 bij 2 tabel) zoals voorgesteld in onderstaande tabel.

Tabel 2: Contingentie tabel gebruikt in de statistische analyse

Locatie nr. (i)	Controle groep (j=1)		Behandelingsgroep (j=2)	
	Voor (k=1)	Na (k=2)	Voor (k=1)	Na (k=1)
1	n₁₁₁	n₁₁₂	n₁₂₁	n₁₂₂
...
K	n_{K11}	n_{K12}	n_{K21}	n_{K22}

Vervolgens wordt er een log-lineair model met Poisson foutenstructuur (deze is geschikt voor de variabiliteit in ongevalgegevens) gefit op deze data. Het model ziet er dan uit als volgt:

$$\log(n_{ijk}) = \beta_0 + \beta_i + \beta_j + \beta_k + \beta_{ijk}$$

waarbij i het nummer van de locatie weergeeft, j een index is die behandeling of controlegroep aangeeft, k de voor-na index is, the β -waarden de model parameters zijn en n_{ijk} het aantal ongevallen in een bepaalde cel weergeeft.

Het percentage in ongevalreductie op locatie i dat toe te schrijven is aan de behandeling, terwijl er gecorrigeerd wordt voor de overeenkomstige verandering in ongevalfrequentie op de controlelocatie, wordt gegeven door:

$$\Delta_i = 100 \times (1 - \exp(\beta_{ijk}))\%$$

De berekening van statistische significantie van Δ_i is gelijk aan de statistische significantie van β_{ijk} , en deze wordt automatisch verkregen bij het fitten van het log-lineair model.

5.4 Een gewogen Poisson regressiemodel

Tijdens de evaluatie van de eerste drie jaren van het programma 1996-2002 door het Bureau of Transport Economics werd gekozen om de evaluatie uit te voeren aan de hand van een gewogen Poisson regressie model (BTE, 2001). Deze beslissing viel nadat een audit gehouden werd van de meest geschikte methode om te controleren voor vertekende factoren. Daarnaast diende tevens rekening gehouden te worden met de beschikbare data en de kwaliteit van de gegeven. De gewichten werden berekend op basis van de periodes waarvoor er gegevens beschikbaar waren. Idealiter zou dit gewicht gelijk zijn aan het verkeersvolume, doch deze gegevens waren niet beschikbaar.

Dit gewogen log-lineaire ANOVA model is eigenlijk een uitbreiding van de standaard t-test procedure en ziet eruit als volgt:

$$E[\log(r_{ij})] = \mu_i + \beta z_j.$$

Hierbij is r_{ij} de geobserveerde ongevalratio op gevaarlijk punt i , waarbij j aanduidt of het de ongevalratio voor behandeling ($j=0$) dan wel na behandeling ($j=1$) betreft. μ_i beschrijft dan de locatiespecifieke gemiddelde ongevalratio voor behandeling, β het relatieve effect van de behandeling en z_j is een indicator die aangeeft of de ratio de ongevalratio voor behandeling is ($z_j = 0$) of na behandeling ($z_j = 1$).

Technisch gezien is er weinig verschil tussen deze methode en de controle-ratio methode, vermits ook hier met een locatiespecifieke gemiddelde ongevalratio gewerkt wordt. Net als in de vorige analyse worden ook hier echter alle locaties tezamen geanalyseerd. Het vernieuwende in deze aanpak zit hier voornamelijk in het gebruik van gewichten, dit lijkt een goede insteek indien er niet voldoende observaties voorhanden zijn voor de na-periode. Er wordt tevens gekeken naar ongevalratio's (gedefinieerd als het totaal aantal ongevallen op een locatie, gedeeld door het aantal maanden van observatie), wat ook een nieuwe insteek is. Doch, hier worden geen controle locaties beschouwd, het geen een tekortkoming is, vermits zo de effecten niet volledig correct berekend worden.

5.5 Generalized estimating equations (GEE)

In 2008 zijn Lynn Meuleners en collega's de effectiviteit van de 'Black Spot Programs' in West Australia nagegaan door middel van Poisson regressie die gebaseerd is op generalized estimating equations. Ze stellen dat door de longitudinale natuur van de gegevens een gewoon standaard Poisson model niet van toepassing is en dat methodes, zoals GEE, gebruikt dienen te worden om de temporele trend te modelleren, terwijl de inherente correlatie tussen panel data mee in rekening gebracht wordt.

Generalized estimating equations werden ontwikkeld in 1986 door Liang en Zeger als een uitbreiding van gegeneraliseerde lineaire modellen waarbij rekening gehouden wordt met longitudinale data. Het is een semi-parametrische methode in die zin dat de vergelijkingen geschat worden zonder een volledige specificatie van de gezamenlijke verdeling van de observaties van een individu/locatie. In de plaats dient de likelihood van de marginale verdeling gespecificeerd te worden en een "working" correlatie matrix voor de vector van herhaalde observaties van elk individu/locatie.

Ze hebben een gelijkaardig probleem met de gegevens als in de vorige paragraaf in die zin dat de na-periode vaak niet lang genoeg is, en daarom analyseren ze ongevalratio's in plaats van ongeval aantallen. Het effect op deze ratio's werden geanalyseerd voor het gehele programma (gedurende de jaren 2000-2002), apart voor 'metropolitan' locaties versus rurale locaties, voor kruispunten en wegsegmenten en voor 11 specifieke behandelingen.

Het idee om ongevalgegevens op een longitudinale manier te analyseren lijkt nuttig, echter een belangrijke tekortkoming van deze evaluatie studie is dat er geen controle groep van locaties gebruikt werd. De conclusies die geformuleerd worden in deze paper over de impact van de behandeling van locaties op ongeval reductie over de tijd heen zijn bijgevolg beperkend.

Dit artikel geeft verscheidene aanbevelingen voor toekomstige evaluatiestudies, waaronder de volgende:

- Accurate, geschikte en tijdig informatie is nodig over de locatie, soort van behandeling, kosten, start- en einddatum van behandeling
- Verkeersintensiteiten meten op de gevaarlijke punten om deze effecten mee in rekening te kunnen brengen
- Continue monitoring is belangrijk om voldoende gegevens na behandeling te verkrijgen
- Controle locaties dienen mee in rekening gebracht te worden
- Continu toezicht en evaluatie van gevaarlijke punten is nodig, de huidige gevaarlijkste locaties zijn dan misschien wel behandeld, doch doorheen de tijd zullen nieuwe 'gevaarlijke punten' opduiken. Dit vraagt om een permanente studie.

6. BAYESIAANSE VOOR- EN NASTUDIES

Deze Sectie beschrijft – in tegenstelling tot Sectie 5 – de Bayesiaanse voor- en nastudie en geeft voor- en nadelen van beide methodes.

De tegenhanger van de conventionele methode wordt tegenwoordig voornamelijk gebruikt in Europa en de Verenigde Staten: de Bayesiaanse aanpak van effectiviteitsstudies. Een recent rapport van de Australische overheid (BTE, 2001) erkent tevens het potentieel van de (empirisch) Bayesiaanse methode, doch ze beschikken niet over voldoende gegevens om deze methode toe te kunnen passen in hun evaluatie.

Hauer startte het pleidooi voor Bayesiaanse modellen reeds in 1981, de grote doorbraak in verkeersveiligheid kwam er vanaf 1997 na de publicatie van zijn boek "Observational before-after studies in road safety". Ze worden nu reeds 20 jaar toegepast, maar nog steeds zijn er hevige voor- en tegenstanders van de methode. Persaud & Lyon (2007) bespreken de voor- en nadelen van traditionele methodes versus de Bayesiaanse aanpak en geven een richting aan voor de toekomst. De empirisch Bayesiaanse (EB) methodologie wordt nu reeds 20 jaar toegepast om – op een statistisch verantwoorde manier – het effect van behandeling van een locatie na te gaan aan de hand van een voor- en nastudie. Het aantrekkelijke van de methode ligt in het feit dat het corrigeert voor regressie naar het gemiddelde en voor verkeersvolume en andere wijzigingen die niet te wijten zijn aan de maatstaf zelf (Persaud & Lyon, 2007). Tegenstanders van de methode werpen als nadeel op dat de methode tamelijk complex is en dat er behoorlijk veel data voor nodig zijn om de modellen te fitten. Men betwijfelt tevens de noodzaak van de methode want als men voldoende gegevens heeft over de voorperiode en wanneer er voldoende ongevalgegevens zijn, dan is er praktisch geen regressie naar het gemiddelde. Alhoewel er een grond van waarheid zit in deze kritiek kan men niet met zekerheid zeggen hoeveel gegevens uit de periode voor behandeling nodig zijn of hoe groot de ongevalaantallen moeten zijn vooraleer regressie naar het gemiddelde quasi onbestaande wordt.

De meer conventionele aanpak bestaat erin ongeval aantallen of ratio's voor en na behandeling te vergelijken al dan niet in vergelijking tot een controle groep.

Een goede conventionele methode zou bestaan uit een experimenteel design. Dit wil zeggen dat de locaties geselecteerd worden voor mogelijke behandeling op basis van hun ongevalhistoriek en vervolgens **willekeurig** toegekend worden aan de behandelingsgroep of aan de controlegroep, zo controleert men ook voor regressie naar het gemiddelde. Doch een dergelijke opsplitsing in de 2 groepen kan morele en ethische vragen oproepen indien bv. de meest gevaarlijke locatie per toeval in de controle groep zou terechtkomen. Daarenboven wordt hier geen rekening gehouden met wijzigingen in verkeersvolume. Een sub-optimale oplossing wordt dan geboden in het quasi-experimenteel design waar een niet-behandelde "vergelijkingsgroep" geselecteerd wordt, los van de selectie van de te behandelen locaties. De EB methode kan alle beperkingen die de conventionele methodes hebben overwinnen, maar er zijn enkele moeilijkheden verbonden aan het toepassen van de EB methode. Men moet daarom geen blind vertrouwen hebben in de methode, aangezien een foute toepassing net zo goed geen valide resultaten oplevert als de conventionele methodes. Ten eerste is het mogelijk dat er verschillende (soms zelfs tegenstrijdige) effecten zijn voor verschillende soorten van ongevallen (stijging in kop-staart aanrijdingen, maar daling in de gevaarlijkere 'rechte hoek' ongevallen). Deze moeten daarom apart beschouwd worden. Ten tweede moet de referentiegroep op een correcte manier samengesteld worden. Deze "controle groep" dient gelijkaardig te zijn aan de behandelde locatie wat betreft geometrische kenmerken, verkeersvolume en daarnaast mag deze referentiegroep niet beïnvloed worden door de behandeling van de locaties. Tot slot moet er op een correcte manier rekening gehouden worden met wijzigingen in verkeersvolume. Typisch stijgt het gemiddeld jaarlijks gereden kilometer op een weg met 2 tot 4% per jaar, en deze stijging

zal er voor zorgen dat de ongevalfrequentie mee stijgt. De EB methode houdt op een correcte manier rekening met deze stijging door gebruik te maken van prestatiefuncties voor verkeersveiligheid die de reële relatie tussen ongeval frequenties en verkeersvolume mee in rekening brengt. Men kan argumenteren dat als er toch een stijging plaatsvindt in verkeersvolume en in ongevallen, dat men hoogstens het gunstige effect van een behandeling zal onderschatten. Veranderingen in verkeersvolume kunnen echter in elke mogelijke richting gaan na behandeling van een locatie, omdat de behandeling zelf soms voor een stijging of daling zal zorgen. Het niet mee in rekening brengen van de wijziging in verkeersvolume kan dus voor foutieve conclusies zorgen. Huidig onderzoek focust zich in het verbeteren van de prestatiefuncties en in een toepassing van de full Bayes aanpak. Deze methodologie is echter nog complexer en nog in volle ontwikkeling (Carriquiry & Pawlovich, 2004).

De Bayesiaanse methode wordt overigens niet enkel gebruikt in evaluatiestudies, maar ook in het definiëren van gevaarlijke punten. Hieronder volgt een korte uitleg, tesamen met een voorbeeld.

(Empirisch) Bayesiaanse modellen kunnen het probleem van regressie naar het gemiddelde controleren. In tegenstelling tot regressietechnieken die het *aantal geobserveerde* ongevallen (M) pogen te schatten, proberen Bayesiaanse technieken het *aantal werkelijke* ongevallen (μ) te schatten, en dit kan opnieuw vergeleken worden met een "normale" waarde, gegeven de eigenschappen van de locatie (PAR). Het verschil tussen het geobserveerd aantal ongevallen (i.e. wat gemeten wordt) en het werkelijk aantal bestaat erin dat bij het werkelijk aantal rekening gehouden wordt met de toevallige fluctuaties. Het kan dus zijn dat een héél hoog aantal geobserveerd werd doordat er toevallig op die locatie enkele zware ongevallen gebeurden, maar dat niets uit de omgevingsfactoren hier een aanleiding toe zou blijken te zijn. Dan geeft het werkelijk aantal een beter beeld van de gevaarlijkheid van die locatie. Het principe van dit laatste bestaat erin van een homogene groep van locaties te beschouwen met gelijkaardige kenmerken (i.e. populatie). Het wordt dan mogelijk om het *aantal werkelijke ongevallen* (μ) voor een locatie te schatten, vertrekkende van het aantal geobserveerd ongevallen, het gemiddelde en de variantie van het aantal geobserveerde aantallen van de elementen van die homogene groep. Vaak is het echter moeilijk om groepen van locaties te vormen die voldoende homogeen zijn wat betreft de vooropgestelde criteria en die bovendien statistisch gezien voldoende elementen bevatten. Daarom wordt vaak een beroep gedaan op fictieve referentiegroepen. Wegens het fictieve karakter zullen het gemiddelde en de variantie bijgevolg ook geschat worden en niet geobserveerd. Het verwacht aantal werkelijke ongevallen ($E(\lambda_i | R_i)$) is bij de Empirical Bayes methode een gewogen gemiddelde van het geobserveerd aantal ongevallen voor die locatie (R_i) en het aantal ongevallen dat "normaal" geacht wordt voor een dergelijke site ($E(\lambda_i)$):

$$E(\lambda_i | R_i) = V_i E(\lambda_i) + (1 - V_i) R_i \quad \text{met} \quad V_i = \frac{1}{1 + \frac{\text{Var}(\lambda_i)}{E(\lambda_i)}}.$$

Hierbij wordt het "normaal" geachte aantal ongevallen ofwel bepaald door:

- Het gemiddelde aantal ongevallen voor een populatie van gelijkaardige locaties
- Het voorspeld aantal ongevallen gebaseerd op een multivariaat model dat het aantal ongevallen voorspelt

Indien het mogelijk is om een dergelijk multivariaat model op te stellen, dan worden de model-gebaseerde schattingen verkozen. Een gemiddeld aantal ongevallen op gelijkaardige locaties kan immers vertekend worden door een extreem hoog of extreem laag aantal ongevallen op gelijkaardige locaties. Deze toevallige variantie wordt door een accuraat voorspellingsmodel er normaal gezien uitgehaald zodat het voorspeld aantal ongevallen meestal een beter resultaat geeft, dan het gemiddeld aantal ongevallen.

Bovenstaande techniek wordt ook aangeraden door RIPCORDER/ISEREST, een Europees Project dat Black Spot Management als één van de belangrijkste pijlers heeft (Elvik, 2006).

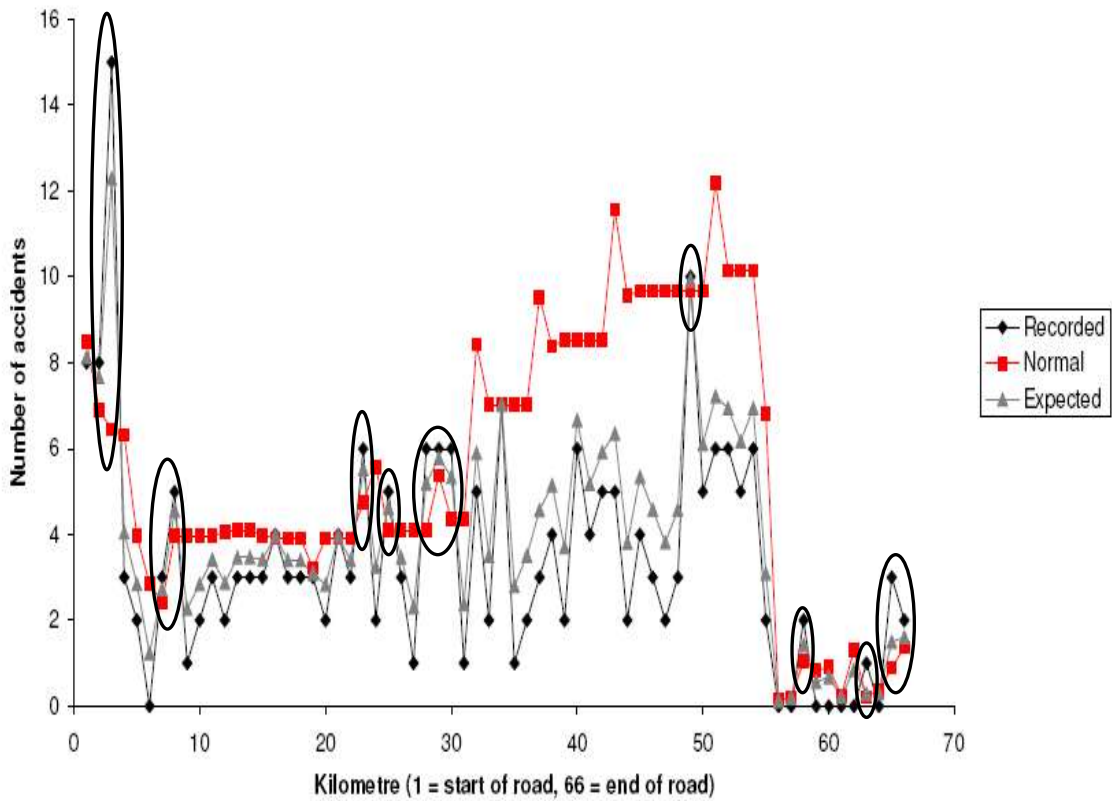
Nu volgt een voorbeeld van de toepassing van het gebruik van de empirisch Bayesiaanse methode voor de evaluatie van behandelde locaties. Dit voorbeeld wordt geciteerd uit Hauer (1997). Men beschouwt een bepaald kruispunt tussen een snelweg en een treinspoor, waarbij er in de periode 1981-1985 zich 2 ongevallen voordeden. Dit is het geobserveerd aantal ongevallen, R_i . Stel dat men weet dat het gemiddeld aantal ongevallen dat normaal geacht wordt voor een dergelijke locatie, $E(\lambda_i)$, gelijk is aan 0.0239 ongevallen per jaar, en dat $Var(\lambda_i) = 0.0011$ ongevallen per jaar. Om een evaluatie te kunnen uitvoeren, dient men eerst het werkelijk aantal ongevallen te berekenen en vervolgens het aantal ongevallen na behandeling vergelijken met dit werkelijk aantal ongevallen (dus noch met wat normaal geacht werd, noch met het geobserveerd aantal!). Eerst dienen we $E(\lambda_i)$ te berekenen over deze periode van 5 jaar (en niet per jaar, zoals gegeven), vermits ook het geobserveerd aantal voor deze periode gegeven is, dit komt neer op: $5 \cdot 0.0239 = 0.1195$ ongevallen. De variantie voor deze periode is gelijk aan: $5^2 \cdot 0.0011 = 0.0275$. Het gewicht V_i is dan gelijk aan $\frac{1}{1 + \frac{0.0275}{0.1195}} = 0.8129$. Het werkelijk aantal ongevallen over een periode van 5 jaar is dan gelijk aan $E(\lambda_i | R_i) = 0.8129 \cdot 0.1195 + 0.1871 \cdot 2 = 0.47$. Vervolgens vergelijkt men het aantal ongevallen na behandeling met deze 0.47 om de 'werkelijke' reductie te kennen.

Deze Bayesiaanse methode wordt ook gebruikt om gevaarlijke punten te definiëren (zie ook paragraaf 3.1). Hieronder volgt een korte uitleg.

Er wordt ook, naast de theoretische definitie van hotspots een nieuwe gebruiksklare definitie voorgesteld. **Theoretisch** gezien is een **hotspot** (zwart punt) elk wegonderdeel dat een hoger verwacht aantal ongevallen heeft in vergelijking met gelijkaardige locaties te wijten aan permanente lokale risicofactoren. De **gebruiksklare definitie** definieert een hotspot als een locatie waarvoor het gemeten aantal ongevallen groter is dan het verwacht aantal ongevallen en deze laatste moet groter zijn dan wat "normaal" geacht wordt op een dergelijke locatie ($R_i > E(\lambda_i | R_i) > E(\lambda_i)$) (Sorensen & Elvik, 2007).

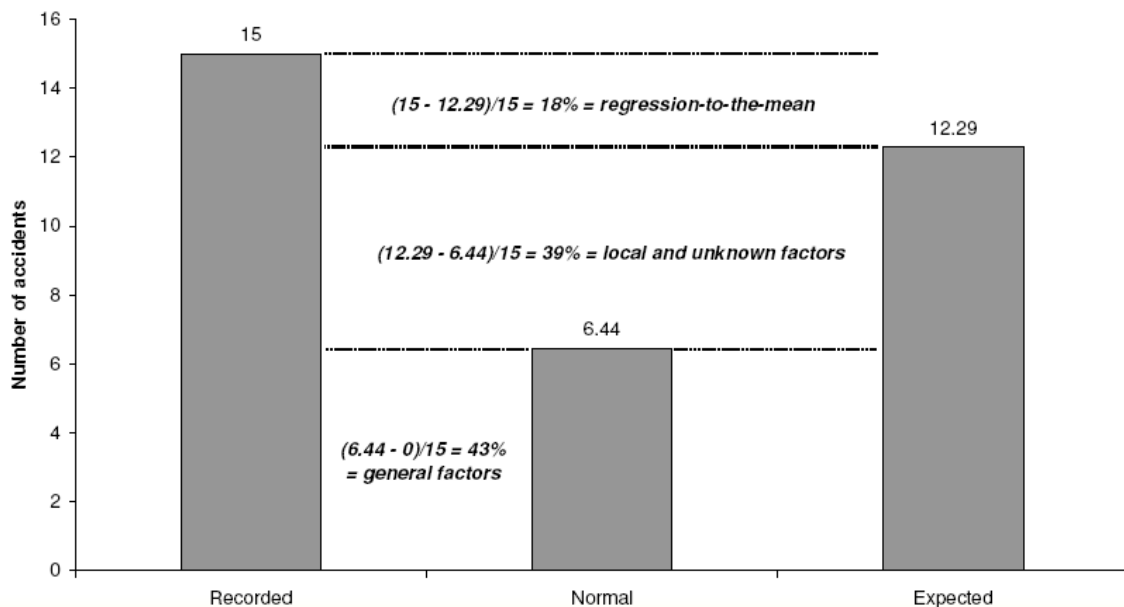
Een voorbeeld (Figuur 2) dat geschetst werd op de eerste RIPCORDER/ISEREST meeting door R. Elvik verduidelijkt bovenstaande formules wat beter. De locaties waar zich volgens bovenstaande formule een hot spot bevindt zijn aangeduid met een ovaal.

Figuur 2: Voorbeeld hot spot definitie volgens R. Elvik
Accident data for 66 kilometres of road



Figuur 3 biedt bovendien een duidelijk overzicht van de verschillende bronnen van variatie en wat er verklaard wordt door middel van de verschillende componenten uit het Bayesiaanse model.

Figuur 3: Identificatie van bronnen van variatie
Identifying sources of variation



Een klassiek voorbeeld van een (Empirisch) Bayesiaanse model dat typisch gebruikt wordt in de identificatie van gevaarlijke punten is het Poisson-gamma model (Hauer, 1996; 1997; Hauer *et al.*, 2003a; 2003b; Brijs *et al.*, 2006, 2007; Cheng and Washington, 2005; Li and Zhang, 2007; Li *et al.*, 2007; Leonard, 2001; Gelman *et al.*, 2003). Dit wordt door onderzoekers geprefereerd boven het Poisson regressiemodel omdat dit model het overdispersie probleem kan aanpakken (Lord, 2006). Een Poisson verdeling veronderstelt dat het gemiddelde en de variantie aan elkaar gelijk zijn, en vermits het gemiddeld aantal ongevallen meestal erg laag is, vertonen ongevalgegevens vaak een grotere variantie dan het gemiddelde (overdispersie). Heel recent (Lord and Miranda-Moreno, 2007; Park and Lord, 2007) werd onderzoek gedaan naar het effect van lage gemiddeldes en kleine steekproeven in verkeersveiligheidsonderzoek en men kwam tot de conclusie dat Poisson-lognormaal modellen beter presteren dan Poisson-gamma modellen.

7. OVERZICHT VAN DE METHODES

Deze Sectie geeft een overzicht van de methodes en welke informatie nodig is om een bepaalde methode toe te kunnen passen.

7.1 Eenvoudige methodes: LOCF, MA methode

De eenvoudige methodes worden per locatie toegepast. Deze houden enkel rekening met de ongevalstatistieken op de locatie die onderzocht wordt en bijgevolg niet met de mogelijks wijzigende omstandigheden of met regressie naar het gemiddelde. Dit wordt traditioneel gezien als de slechtste methodes om een voor-en nastudie uit te voeren en is enkel te rechtvaardigen indien men over geen andere gegevens beschikt.

Nodige informatie: Ongevalgegevens en eventueel een schatting van de lange termijn reductie in het aantalongevallen (op grote schaal, bv. op gewestniveau).

7.2 Conventionele en statistische methodes

Bij alle conventionele methodes wordt er rekening gehouden met een controlegroep, hetgeen het aantal ongevallen op een gelijkaardige locatie, die niet aan wijzigingen onderworpen werd, bepaalt. Deze methode houdt geen rekening met wijzigingen in het verkeersvolume, maar er kan een rekening gehouden worden met regressie-naar-het-gemiddelde. Er wordt zelfs beweerd dat indien de ongevalaantallen groot genoeg zijn en de voor-en na-periode voldoende lang zijn, dat dit probleem automatisch ondervangen wordt. Er is echter geen eenduidigheid over wat 'een voldoende aantal ongevallen' moet zijn.

Nodige informatie:

- ongevalgegevens op het gevaarlijk punt en
- ongevalgegevens op controlelocaties
- voor voldoende lange tijdsperiodes voor en na behandeling
- kenmerken van de locaties om controlelocaties te kunnen bepalen.

7.3 Bayesiaanse methodes

De Bayesiaanse methodes kunnen rekening houden met regressie-naar-hot-gemiddelde en tevens met wijzigingen in het verkeersvolume. Er wordt bovendien ook rekening gehouden met het aantal ongevallen in een soort van controlegroep, hetgeen men hier definieert als het aantal ongevallen dat 'normaal' geacht wordt oor een dergelijke locatie.

Nodige informatie:

- ongevalgegevens op het gevaarlijk punt en
- ongevalgegevens op gelijkaardige locaties (al dan niet bepaald via een model)
- voor voldoende lange tijdsperiodes voor en na behandeling
- gegevens over het verkeersvolume voor en na behandeling
- kenmerken van de locaties om de gelijkaardige controlelocaties te kunnen bepalen.

8. BEST PRACTICE VOOR VLAANDEREN

In deze Sectie wordt, op basis van de informatie in de vorige Secties, de best mogelijke methode geselecteerd, om onder voorbehoud van de nodige data, het beste resultaat te bekomen bij een toekomstige evaluatiestudie.

Eerst wordt een optimale methode geselecteerd om een goede uitspraak te kunnen doen over het effect van de behandeling van de gevaarlijke punten in Vlaanderen. Vervolgens worden nog wat richtlijnen meegegeven over de tijdsperiode waarvoor men informatie moet hebben en over mogelijke opties in de evaluatiestudie.

8.1 Selectie van de methode

Zoals blijkt uit bovenstaande audit gaat de voorkeur uit naar de (empirisch) Bayesiaanse methode omdat hier automatisch rekening gehouden wordt met regressie naar het gemiddelde en gecontroleerd wordt voor mogelijke trends. Men moet dan echter over voldoende informatie kunnen beschikken om een vergelijkingsgroep te kunnen opstellen voor elk type van ongevallen dat men wenst te evalueren (gelijkaardig aan de behandelde locatie wat betreft geometrische kenmerken, verkeersvolume) en deze referentiegroep mag niet beïnvloed worden door de behandelde locaties. Om een onderscheid te kunnen maken naar het soort van ongevallen is een gedetailleerd beeld nodig van de ongevaltypes voor en na de behandeling van de locaties.

8.2 Selectie van locaties voor evaluatie

Zowel de voor- als de na-periode dienen minstens 3 jaar te zijn (zie ook Cheng & Washington, 2005), waarbij de na-periode gedefinieerd wordt vanaf 6 maanden volgend op de maand waarin de locatie behandeld werd. Dit laatste dient om mogelijke effecten kort na de behandeling uit te sluiten. Er wordt de voorkeur gegeven aan een voorperiode die niet gebruikt werd om de locatie te definiëren als zijnde een gevaarlijk punt. Dit wil zeggen dat als de selectie van de gevaarlijke punten gebeurde op de ongevalgegevens van het jaar 1998-2000, dat deze 3 jaar idealiter uit de voorperiode gehaald worden. Een bruikbare voorperiode zou dan kunnen zijn van 2001-2003, de locatie werd behandeld in 2004 en de na-periode zou kunnen gaan van 2005-2008. Op dit moment is voor een groot deel van de locaties de na-periode niet lang genoeg.

Indien de na-periode niet lang genoeg kan zijn, dan heeft het geschatte effect een behoorlijk lage statistische betrouwbaarheid. Des te langer de na-periode kan zijn, des te groter de statistische precisie van de schatter van het effect. Bijgevolg zal de effectiviteitsstudie van het programma 'gevaarlijke punten' in Vlaanderen pas in de toekomst kunnen plaatsvinden.

8.3 Evaluatiemaatstaf: aantal ongevallen/letselernst

De selectie van de 'gevaarlijke punten' is gebeurd op basis van slachtofferernst (1-3-5 methode van de Vlaamse regering). Deze gegevens zijn tevens beschikbaar na behandeling, dus de evaluatie kan zowel gebeuren op basis van het aantal ongevallen, als op basis van de prioriteitscore, zoals aangegeven in de nota's van TV3V. Dit is eventueel een keuze die men dient te maken of beide analyses kunnen uitgevoerd worden.

8.4 Analyse per type van maatregel/ongeval

Indien er voldoende gegevens beschikbaar zijn over een bepaald type van wijziging (bv. van een lichtengeregeld naar een VRI conflictvrij kruispunt), dan lijkt het aangewezen om deze apart te analyseren. Zo ook, indien men een onderscheid kan maken naar type van ongeval (ernst).

9. TOEKOMSTIG ONDERZOEK

Het huidige rapport geeft een overzicht van de bestaande evaluatiemethoden en in het besluit werd vastgesteld dat in het algemeen de Bayesiaanse methode als meest geschikte evaluatiemethode wordt beschouwd. Wanneer de nodige data verkregen zijn, kan de eigenlijke evaluatie op basis van deze methode uitgevoerd worden.

Hierbij dient eerst en vooral een database opgesteld te worden met informatie over de kenmerken van een gevaarlijk punt (bv. type kruispunt, verkeersvolume, type van kruisende wegen, etc.). Vervolgens dienen controlelocaties gezocht te worden op basis van gelijkaardige kenmerken. De database voor de evaluatie dient ook informatie te bevatten over wanneer een locatie tot gevaarlijk punt werd geïdentificeerd en wanneer de behandeling plaatsvond, dit om een geschikte voor- en naperiode te definiëren. Uiteraard dienen we te beschikken over de ongevalgegevens voor een voldoende lange periode.

Doordat we op dit moment niet over de nodige data (in de na-periode) beschikken, zal het verdere onderzoek binnen dit project zich toelagen op de selectiecriteria om te komen tot de meest geschikte oplossing voor een gevaarlijk punt. Er wordt vertrokken van de methodologie gebruikt door TV3V om een voorkeursoplossing te bepalen voor een bepaald gevaarlijk punt (namelijk na een verkeersveiligheidsanalyse op basis van de AVOC-methode wordt de verkeersplanologische en ruimtelijke context in het proces betrokken gevolgd door een verkeerskundige en fysieke analyse). Op basis van een eerste set van gevaarlijke punten wordt voor een aantal types van gevaarlijke punten nagegaan of de bovenstaande werkwijze tot dezelfde conclusie in termen van de gebeurde herinrichting leidde en of dit ook daadwerkelijk de te verkiezen aanpak is. Door gebruik te maken van Vlaamse cases in combinatie met overige kennis en ervaring zullen een aantal aanpassingen aan de methode voorgesteld worden.

10. LITERATUURLIJST

- Breslow, N.E. & Day, N.E. (1987). *Statistical methods in cancer research*. World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, Scientific Publication No. 82.
- Bruhning, E. & Ernst, G. (1985). *Log-linear models in effectiveness studies – an application to simultaneous before-after comparisons with control group*. Evaluation '85, International meeting on the evaluation of local traffic safety measures, Paris, France.
- Bureau of Transport Economics (BTE) (2001). *The Black Spot Program 1996-2002 – An evaluation of the first three years*. Report 104.
- Carriquiry, A.L. & Pawlovich, M. (2004). *From Empirical Bayes to Full Bayes: Methods for analyzing traffic safety data*. Internal report, 25p.
- Cheng, W. & Washington, S.P. (2005). Experimental evaluation of hotspot identification methods. *Accident Analysis and Prevention*, **37**, pp. 870-881.
- Conn, A.W. & Vulcan, A.P. (1978). *Report on overseas study of road safety, traffic management and traffic law enforcement*. October, 1978.
- Corben, B.F. & Ashton, N.R. (1984). Road accident information and its use'. In: Ogden, K. W. & Bennett, D.W. (Eds.) *Traffic Engineering Practice* (3rd Edition), pp 438-456, Monash University, Melbourne.
- Corben, B.F., Ambrose, C. & Foong, C.W. (1990). *Evaluation of accident black spot treatments*. MUARC report no. 11. Australia, Monash University, Accident Research Centre.
- Davis, C. (1986). Regression to the mean. In: *Encyclopedia of Statistical Sciences*, **7**, pp. 706-708. John Wiley and Sons, Inc.
- De Mol, J. & Lammar, P. (2006) Helft verkeersslachtoffers komt niet in statistieken. Koppeling ziekenhuis- en politieregistratie noodzakelijk. *Verkeersspecialist*, **130**, pp. 15-18.
- Duarte, A. & Corben, B. (1998). *Improvement to black spot treatment strategy*. MUARC report no. 132. Australia, Monash University, Accident Research Centre.
- Elvik, R. (1997). Evaluations of road accident blackspot treatment: A case of the iron law of evaluation studies? *Accident Analysis and Prevention*, **29(2)**, pp. 191-199.
- Elvik, R. (2006). The Empirical Bayes method for road safety estimation. Presentation at the 1st RIPCORDER/ISEREST Conference, Bergisch Gladbach, Duitsland.
- European Union Road Federation (2002). *Good-Practice Guidelines to Infrastructural Road Safety*. Brussels.
- Hauer, E. (1981). *An application of the Bayesian approach to the estimation of safety countermeasure effectiveness*. Report for Transport Canada.
- Hauer, E. & Hakkert, A.S. (1988). Extent and some implications of incomplete accident reporting. *Transportation Research Record*, **1185**, pp. 1-10.
- Hauer, E. (1996). Identification of sites with promise. *Transportation Research Record*, **1542**, pp. 54-60.
- Hauer, E. (1997). Observational before-after studies in road safety: Estimating the effect of highway and traffic engineering measures on road safety. Elsevier Science Ltd, Oxford.

- Lammar, P. (2006a) Casestudies onderregistratie van ernstig gewonde verkeersslachtoffers- Officiële ongevalgegevens versus ziekenhuis-gegevens. Rapport RA-2006-83 Steunpunt Verkeersveiligheid.
- Lammar, P. (2006b) Haalbaarheidsstudie voor de correctie van de ongevalgegevens. Rapport RA-2006-94 Steunpunt Verkeersveiligheid.
- Liang, K.Y. & Zeger, S. (1986). Longitudinal data analysis using generalized linear models. *Biometrika*, **73(1)**, pp. 13–22.
- Maher M.J. (1990). A bivariate negative binomial model to explain traffic accident migration. *Accident Analysis and Prevention*, **22(5)**, pp. 487-498.
- Meuleneers, L.B., Hendrie, D., Lee, A.H. & Legge, M. (2008). Effectiveness of the Black Spot Programs in Western Australia. *Accident Analysis and Prevention*, **40**, pp. 1211-1216.
- Newstead, S. & Corben, B. (2001). *Evaluation of the 1992-1996 transport accident commission funded accident blackspot treatment program in Victoria*. MUARC report no. 182. Australia, Monash University, Accident Research Centre.
- Nicholson, A.J., (1986). *Estimation of the underlying true accident rate: A new procedure*. 13th ARRB-5th REAAA Combined Conference, Volume 13, Part 9, Safety, August 1986.
- Persaud, B. & Lyon, C. (2007). Empirical Bayes before-after safety studies: Lessons learned from two decades of experience and future direction. *Accident Analysis and Prevention*, **39**, pp. 546-555.
- Piantadosi S. (1997). *Clinical trials: A methodologic perspective*. New York: Wiley.
- Sorensen, M. & Elvik, R. (2007). *Black spot management and safety analysis of road networks - Best practice guidelines and implementation steps*. TOI report 919/2007 RIPCOR/ISEREST project.
- Tanner, J.C. (1958). A problem in the combination of accident frequencies. *Biometrika*, **45**, pp 331-342.
- Teale, G. L. (1984) *Evaluation of the effectiveness of MITERS type projects*. Report No. CR 22, Office of Road Safety, Department of Transport, Canberra, February 1984.
- Tziotis, M. (1993). *Evaluation of mid-block accident 'black spot' treatment*. MUARC report no. 48. Australia, Monash University, Accident Research Centre.
- Verbeke, G. & Moelnberghs, G. (2000) *Linear mixed models for longitudinal data*. New York: Springer-Verlag.
- Vistisen, D. (2002). *Models and methods for hot spot safety work*. PhD thesis, Denmark.
- Wilson, H.G., Nelson, T., Boots, B. & Wulder, M.A. (2003). *Using a spatial statistic threshold technique for defining change in a forested environment*. Canadian Symposium on Remote Sensing, October 14-17, Montreal.