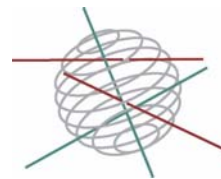


PLAN VOOR WETENSCHAPPELIJKE ONDERSTEUNING VAN EEN BELEID
GERICHT OP DUURZAME ONTWIKKELING
(PODO II)



Deel 1:
Duurzame productie- en consumptiepatronen

SAMENVATTING



Innovatieve Ruimtelijke Analysetechnieken voor Verkeersveiligheid

CP/34

Thérèse Steenberghen – KULeuven/R&D Division SADL (coordinator)
Isabelle Thomas – UCL/Unité de Géographie
Geert Wets – Universiteit Hasselt (vroeger Limburgs Universitair
Centrum) /Vakgroep Verkeerskunde & Beleidsinformatica)

Januari 2005



Inhoudstafel

1	Thema en doelstellingen van het onderzoek	3
2	Samenvatting van de onderzoeksresultaten	4
2.1.	Ongevallengegevens	4
2.1.1	Actualisatie van de ongevallendatabank, en lokalisatie van de ongevallen (KUL).....	4
2.1.2	Evaluatie van de datakwaliteit (KUL, UCL, LUC).....	4
2.1.3	Evaluatie van de data-relevantie (LUC)	4
2.2.	Remote sensing analyse van zeer hoge resolutie satellietbeelden	5
2.2.1	Remote sensing.....	5
2.3.	Ruimtelijke statistiek.....	6
2.4.	'Model-based' clustering van ongevallen.....	7
2.5.	Profileren van ongevallen in zwarte zones d.m.v. associatieregels.....	8
2.6.	Spatio-temporele verdeling van verkeersongevallen in een peri-urbane omgeving. Een case-study rond Brussel.....	9
2.7.	Ruimtelijk hiërarchische schaalniveaus voor verkeersongevallen in de periferie van Brussel	10
3	Algemene conclusie.....	11

1 Thema en doelstellingen van het onderzoek

Het project "Innovatieve ruimtelijke analysetechnieken voor verkeersveiligheid" is een samenhangend geheel van 3 subprojecten die samen een multidisciplinair thematisch netwerk vormen. Het doel van dit onderzoek was om interacties tussen de bepalende factoren van verkeersveiligheid te achterhalen, en zodoende verdere stappen te zetten in een verklarend model voor verkeersveiligheid.

Om deze doelstelling te verwezenlijken werden verschillende innovatieve ruimtelijke analysetechnieken verkend. De volgende benaderingen kwamen aan bod bij de verschillende onderzoeksgroepen:

- **Remote sensing analyse van zeer hoge resolutie satellietbeelden (KUL)**
De mogelijkheden van zeer hoge resolutie satellietbeelden voor de identificatie van bodemgebruik, infrastructuur- en verkeerskenmerken werden onderzocht.
- **Ruimtelijke statistiek (KUL)**
Dit luik van het onderzoek omvatte enerzijds de analyse van statistische significantie van risicozones, en anderzijds ruimtelijke regressie van socio-economische kenmerken van buurten, op zoek naar mogelijke relaties met ongevallenconcentraties.
- **Model-based clustering van ongevallen (LUC)**
De ongevallengegevens voor dit onderzoek bestaan uit een databank van alle letselongevallen in België voor de periode 1991-1999 waarbij elk ongeval ongeveer een 100-tal attributen heeft. Clusteringtechnieken werden gebruikt om structuren, patronen en relaties in deze grote datasets te ontdekken.
- **Associatieregels (LUC)**
Technieken van associatieregels werden gebruikt om de relevantie van de data te bepalen, alsook om de ongevalfactoren en -omstandigheden te identificeren die typerend zijn voor ongevallen in zwarte zones.
- **Analyse van tijd-ruimte variaties in de ruimtelijke spreiding van verkeersongevallen (UCL)**
De stabiliteit en de spatio-temporele variaties van zwarte zones in een peri-urbane omgeving werden onderzocht.
- **Multi-level analyse (UCL)**
Verklarende factoren voor verkeers(on)veiligheid blijken erg schaalafhankelijk te zijn. In plaats van verschillende modellen te bouwen voor verschillende schaalniveaus werden via multi-level analyse interacties op verschillende schaalniveaus en tussen deze schaalniveaus bestudeerd en gemodelleerd.

Het werd snel duidelijk dat het zeer moeilijk is om één enkel verklarend model te ontwikkelen, maar dat de toegepaste methoden wel bijdragen tot statistisch beter onderbouwde analyse van ongevallenconcentraties.

2 Samenvatting van de onderzoeksresultaten

2.1. Ongevallengegevens

2.1.1 Actualisatie van de ongevallendatabank, en lokalisatie van de ongevallen (KUL)

De eerste stap bestond erin om de ongevallendatabank te actualiseren met alle letselongevallen van 1991 tot 1999 voor België. In Vlaanderen en Wallonië zijn uitsluitende de ongevallen op genummerde wegen gelokaliseerd terwijl in Brussel ook ongevallen op straten werden gelokaliseerd. Hiervoor werden 'linear referencing' en 'address matching' technieken gebruikt, respectievelijk voor ongevallen op genummerde wegen en op straten.

2.1.2 Evaluatie van de datakwaliteit (KUL, UCL, LUC)

De kwaliteit van de ongevallendatabank werd geëvalueerd aan de hand van een nader onderzoek van lege velden, inconsistenties en betrouwbaarheid. Lege velden komen voor omwille van twee redenen: de waarde voor het veld is onbekend of verloren gegaan ('missing value') ofwel is het veld niet van toepassing. Echter, in de databank wordt dit onderscheid niet gemaakt. Inconsistenties komen voor wanneer dezelfde informatie in verschillende velden is opgeslagen maar contradicties vertoont. Onafhankelijk van de intrinsieke nauwkeurigheid en consistentie van de data, is het ook belangrijk om een idee te hebben van de betrouwbaarheid ervan. De betrouwbaarheid van de verschillende velden werd besproken met experts. Verschillende velden van de Belgische ongevallenstatistieken zijn onbetrouwbaar en kunnen dus beter niet gebruikt worden in analyses.

2.1.3 Evaluatie van de data-relevantie (LUC)

Een onderzoek naar de relevantie van de verklarende variabelen is eveneens belangrijk en dit aspect werd geëvalueerd door middel van 'associatieregels'. Dit is een data mining techniek die bedoeld is om interessante informatie op een efficiënte manier uit zeer grote data te filteren. Meerbepaald gaat het associatie-algoritme op zoek naar een verzameling regels die de onderliggende patronen in de data beschrijven. De 'support' of het gewicht van een associatieregel geeft weer hoe frequent die regel voorkomt in de data en hoe hoger dit gewicht des te belangrijker deze regel is. 'Confidence' of betrouwbaarheid is een tweede kenmerk van een associatieregel en geeft weer in welke mate de regel echt is of m.a.w. in welke mate het patroon een correcte getrouwe beschrijving is.

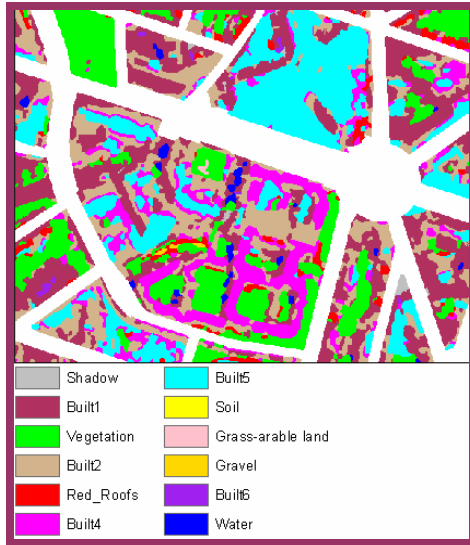
Deze studie richtte zich op locaties in Brussel met een grote ongevalfrequentie voor de periode van 1991 tot 1996. De resultaten tonen aan dat associatieregels toelaten om verschillende ongevaltypes te onderscheiden en om relevante ongevalscondities voor elk type te identificeren. Bijvoorbeeld:

- Oversteekplaatsen voor voetgangers met verkeerslichten en zichtbaarheid van voetganger zijn belangrijke aspecten van ongevallen met voetgangers.
- De afstand tussen weggebruikers is een belangrijke factor bij botsingen in parallel.
- Voorrang van rechts en links afslaan zijn de belangrijkste factoren bij zijdelingse botsingen.

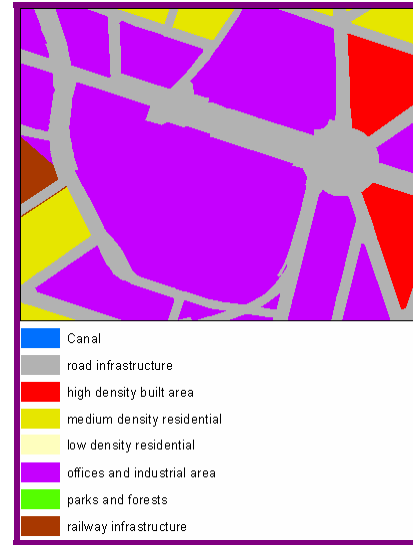
2.2. Remote sensing analyse van zeer hoge resolutie satellietbeelden

2.2.1 Remote sensing

Zeer hoge resolutie beelden zoals Ikonos – wij gebruikten een Ikonosbeeld van Brussel met een ruimtelijke resolutie van 1 x 1 meter – bevatten zeer veel gedetailleerde informatie waardoor deze beelden kunnen gebruikt worden voor mapping en interpretaties van bodemgebruik. Wanneer men echter op een geautomatiseerde manier bepaalde informatie uit dergelijke beelden wil extraheren (bvb. infrastructuur- en verkeerskenmerken zoals verkeersvolume) stuit men op een aantal technisch problemen. Hierdoor is het bijna onmogelijk om de gewenste informatie automatisch te bepalen en werd er dan ook afgezien om deze piste verder te zetten. Toch werd een automatische bodemgebruikclassificatie uitgevoerd waarbij een bestaande techniek werd verfijnd en uitgebreid om de veelheid aan (ruimtelijk gedetailleerde) informatie te verwerken. Het grote probleem bij multispectrale classificaties van zeer hoge resolutiebeelden is immers de grote resolutie waardoor zeer veel (kleine) objecten zichtbaar zijn – dit in tegenstelling met de vorige generatie beelden van lagere resolutie. Dit betekent dat een gewone 'per-pixel' classificatie een erg overladen en onleesbaar resultaat zal opleveren (Figuur 1). Zulke kaarten zijn moeilijk te interpreteren. Daarom wordt deze zogenaamde 'land cover' kaart nog verder geclassificeerd, dit keer gebaseerd op de percelen ('per-parcel') want veeleer dan pixels vertegenwoordigen deze percelen nu 'betekenisvolle objecten'. Een andere moeilijkheid is het identificeren van bodemgebruik. In tegenstelling tot bodembedekking, wat gerelateerd is aan de fysische kenmerken van het aardoppervlak, is bodemgebruik een socio-economisch begrip en de classificatie ervan is complexer. Het was echter mogelijk om vijf grote bodemgebruikklassen (dicht stedelijk weefsel, kantoren/industrie, residentieel dichtbebouwd, residentieel dunbebouwd en groengebied) te profileren op basis van een statistische analyse van de bodembedekking binnen de afzonderlijke percelen. Enkele kleine bodemgebruikklassen zoals spoorinfrastructuur werden manueel toegewezen. Figuur 2 toont een extract van het resultaat.



*Figuur 1: bodembedekking
(detail van de Europese wijk)*



*Figuur 2: bodembebruik, per-parcel classificatie
(detail van de Europese wijk)*

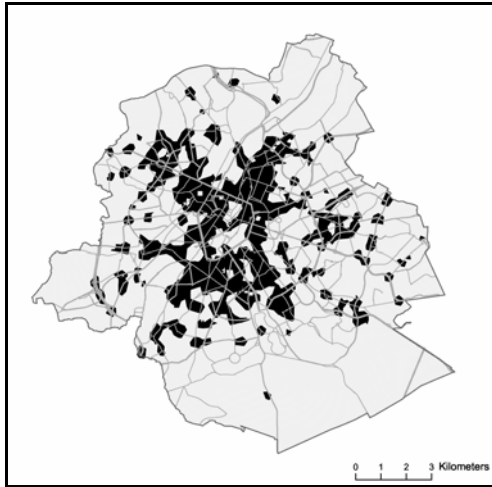
De gebruikte techniek – ‘parcel based’ classificatie van bodembebruik – blijkt dus in staat om de enorme informatie van een Ikonosbeeld te generaliseren tot een bodembebruikskaart. Het enige nadeel is de relatief lage accuraatheid van het resultaat (slechts 75%) waarbij de typisch stedelijke bodembebruiksklassen (dicht stedelijk weefsel en kantoren/industrie) het moeilijkst te classificeren zijn.

2.3. Ruimtelijke statistiek

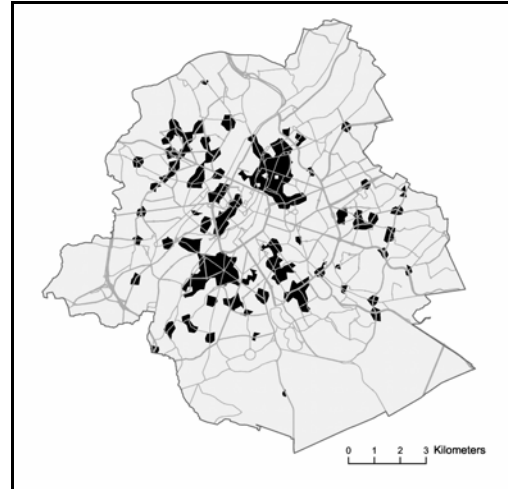
Exploratief: Twee-dimensionele significante zwarte zones

De volgende fase van het onderzoek richtte zich op exploratie en modellering van het ruimtelijk ongevalspatroon in Brussel. Eerst werd een exploratieve analyse uitgevoerd met de bedoeling significante twee-dimensionele zones af te bakenen. Gedurende de laatste jaren heeft het onderzoek naar zwarte zones immers een verschuiving ondergaan van zwarte punten (black spots) naar zwarte zones, hetzij lineaire hetzij twee-dimensionele. Twee-dimensionele zwarte zones zijn vooral van toepassing in stedelijke gebieden met een dicht wegnetwerk en diffuse vervoersstromen. Om het vermoeden dat er zwarte zones of ongevalsconcentraties bestaan te bevestigen werd eerst een globale clustertest gedaan. Hiervoor werd Ripley's K-functie geplotted en deze plot bevestigde het bestaan van ongevalsconcentraties. Vervolgens werd een ruimtelijke clustertechniek toegepast op de verkeersongevallen om de zones af te bakenen. De essentie van deze techniek bestaat erin om Poisson kansen te berekenen, die de waarschijnlijkheid van het aantal geobserveerde ongevallen uitdrukken. Het resultaat van deze berekening is een ‘kans-oppervlak’ – een raster met Poisson kansen – waarop dan de zwarte zones kunnen worden afgebakend aan de hand van een significantieniveau. Uiteindelijk wordt een kaart bekomen met de zwarte zones, waarbij een onderscheid wordt gemaakt tussen absolute onveiligheid (Figuur 3), gebaseerd op de ongevalsfrequentie, en relatieve onveiligheid (Figuur 4) gebaseerd op het ongevalsrisico. In het laatste geval werd bij de berekening rekening gehouden met de ‘exposure’ of blootstelling – in dit geval het verkeersvolume. Wij kunnen besluiten dat

statistisch significante twee-dimensionele ongevalconcentraties kunnen afgebakend worden, zowel in absolute termen als in termen van ongevalsrisico.



Figuur 3: absolute zwarte zones, alle ongevallen (1997-99), bandwidth 250 m



Figuur 4:risico zwarte zones, alle ongevallen (1997-99), bandwidth 250 m

Verklarend: ruimtelijke regressie op buurniveau

Tenslotte werd een verklarend model voor ongevalfrequentie opgesteld met de bedoeling het effect van de buurtkenmerken op de ongevalfrequentie te meten. In tegenstelling tot de gebruikelijke modellen werden hier geen infrastructuurkenmerken gekozen als verklarende factoren. Wel werd de 'exposure' factor opgenomen omdat het bekend is dat verkeersvolume een groot effect heeft op ongevalfrequentie. De buurt werd geoperationaliseerd als statistische sector, wat toeliet om het socio-economisch en morfologisch profiel te analyseren. Anderzijds is deze statistische eenheid in de stad bijna altijd afgebakend door wegen, waardoor de kenmerken van de zwarte zones niet goed door de statistische gegevens kunnen weergegeven worden. Aangezien het om een ruimtelijke regressie gaat, werd er gecontroleerd of de data ruimtelijk gecorreleerd is, wat ook het geval was. Met deze afhankelijkheid werd in het model rekening gehouden. De modelresultaten bevestigden de belangrijke rol van het verkeersvolume op de frequentie maar de introductie van buurtfactoren kon de verklarende waarde van het model niet verbeteren. Wij kunnen dus concluderen dat voor Brussel het effect van de socio-economische kenmerken van de buurt (geoperationaliseerd als statistische sector) op verkeersveiligheid onbestaande is.

2.4. 'Model-based' clustering van ongevallen

Eén van de hoofdoelen van het LUC-onderzoek was het ontwikkelen van een clustermethode voor verkeersongevallen. Omwillen van de complexe interacties tussen ongevalsoorzaken werd gekozen voor een zogenaamde 'unsupervised' aanpak, gebaseerd op een brede clustering van alle ongevalattributen zonder enige veronderstelling te maken rond het bestaan van typische groepen of relaties tussen ongevalfactoren. Er werd geopteerd voor een 'model-based' of 'latent class' cluster model. De belangrijkste reden daarvoor is dat dergelijke modellen toelaten om categorische data zoals de ongevalldata

te clusteren. Traditionele clustermethodes echter zijn in essentie gebaseerd op een afstands- of similariteitsmaat die uitsluitend op continue gegevens kan worden toegepast. De ongevalgegevens van 1997-1999 van twee verschillende regio's werd gebruikt: Waals-Brabant en Brussel en voor beide regio's was een extra zwarte zone attribuut berekend. In Waals-Brabant presteerde het model optimaal met 5 clusters terwijl er in Brussel 7 clusters nodig waren. In Waals-Brabant komen de meeste zwarte zone ongevallen voor in slechts twee clusters waardoor in de toekomst de aanpak van zwarte zones zich het best kan richten op deze clusters. Het gaat enerzijds om zones op autosnelwegen met ongevallen waarin slechts één weggebruiker is betrokken en anderzijds om ongevallen met zwakke weggebruikers op regionale wegen in de bebouwde kom. In tegenstelling tot wat de benaming doet vermoeden zijn de meest zwarte zone ongevallen niet geassocieerd met de ernst van de clusters, dit is de ernst van de ongevallen in de clusters. De cluster met de meest ernstige ongevallen bevat net het minst ongevallen in zwarte zones. Betreffende het effect van de leeftijd is het van groot belang om het type ongeval in beschouwing te nemen: tot 60 % van de jonge bestuurders zijn betrokken in een ongeval met slechts één weggebruiker terwijl dit voor de 65 plussers slechts 20 % is.

In Brussel verschillen de conclusies heel erg wat normaal is aangezien het geografisch en demografisch om twee verschillende regio's gaat. Het feit dat hier 7 clusters nodig waren doet vermoeden dat er meer heterogeniteit zit in de ongevallentypes. Tevens is in meer dan een kwart van de ongevallen een voetganger betrokken waardoor dit het meest voorkomende ongevallentype is. Het verkeersveiligheidsbeleid zal zich dus hier sterk moeten op toelagen. Het is overigens zeer vreemd dat deze ongevallen met voetgangers voornamelijk plaats vinden op oversteekplaatsen met verkeerslichten waarbij de voetganger het rode licht negeert.

Deze clusteranalyse ondersteunt het feit dat verkeersongevallen een zeer heterogeen gegeven zijn. Het is eigenlijk noodzakelijk om, voorafgaandelijk aan elk onderzoek naar het verklaren van ongevallen, een clustertechniek toe te passen om zodoende een grondig inzicht te verkrijgen in de complexiteit van de ongevallendata. Om zulke heterogeniteit bloot te leggen bleek de 'latent class' clustering techniek zeer krachtig.

2.5. Profileren van ongevallen in zwarte zones d.m.v. associatieregels

Het laatste deel van het LUC onderzoek betrof de toepassing van een data mining techniek om zwarte zones te profileren. De techniek van associatieregels werd ook hier gebruikt om de ongevalsfactoren en -omstandigheden te identificeren die typerend zijn voor ongevallen in zwarte zones. Ook hier werd de data van 1997-1999 voor Waals-Brabant gebruikt.

Het belangrijkste resultaat van dit deelonderzoek is dat ongevallen in zwarte zones samengaan met welbepaalde associatieregels:

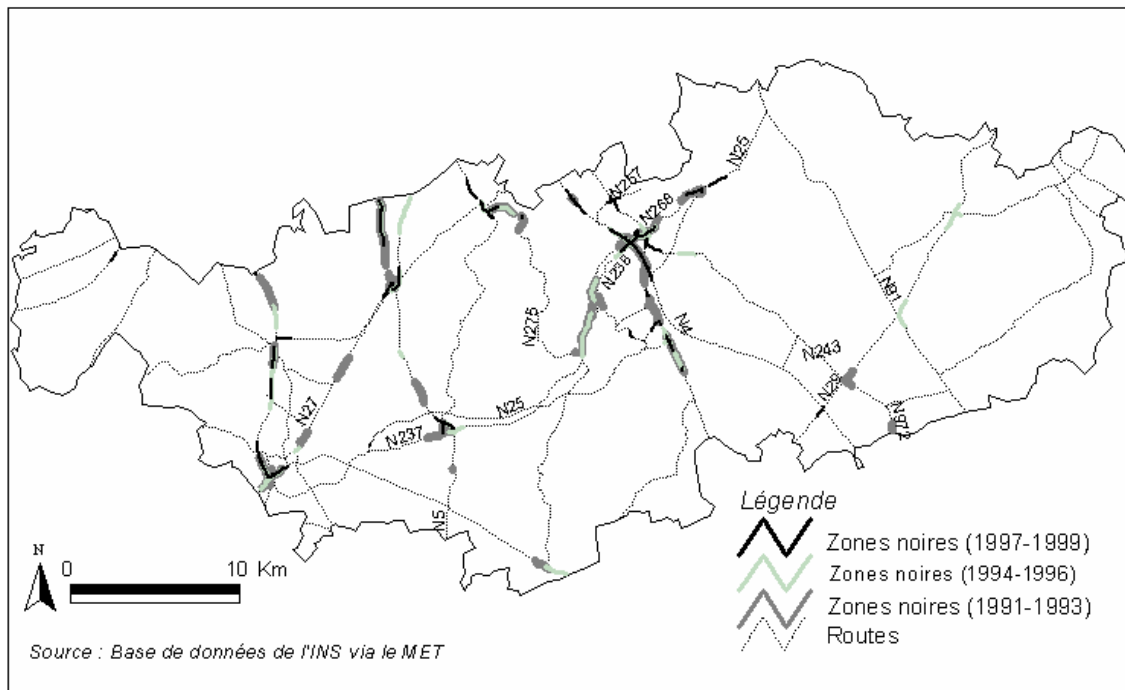
- links afslaan op kruispunten met lichten
- regenachtige condities zijn belangrijk zowel binnen als buiten zwarte zones maar in de zwarte zones gaat dit vooral samen met aquaplaning hetgeen zou kunnen betekenen dat de infrastructuur in zwarte zones verschilt van die erbuiten.
- Een ongeval met een voetganger waarbij jonge weggebruikers betrokken zijn binnen de bebouwde kom komt vaak voor in zwarte zones. Dit bevestigt het feit dat ongevallen met voetgangers voornamelijk gebeuren in een complex wegnetwerk met grote verkeersstromen en veel voetgangers.

- Tenslotte komt de combinatie 'verlies van controle over het stuur' en 'aanrijding van een hindernis' vaak voor in zwarte zones. Dit heeft te maken met onaangepaste snelheid of rijgedrag aan de wegomgeving.

2.6. *Spatio-temporele verdeling van verkeersongevallen in een peri-urbane omgeving. Een case-study rond Brussel*

Het doel van dit voorbereidend onderzoek is om spatio-temporele variaties in de ruimtelijke spreiding van verkeersongevallen over een periode van 9 jaar (1991-1999) in een peri-urbane omgeving op te sporen. Ruimtelijke ongevalconcentraties werden bepaald d.m.v. lokale indices van ruimtelijke autocorrelatie waarvan de sterkte in eerdere studies werd bewezen.

De analyse werd uitgevoerd op genummerde wegen, bestaande uit secties van telkens 100 meter in de provincie Waals-Brabant die voornamelijk een peri-urbaan karakter heeft. Deze provincie ligt ten zuiden van Brussel en bevat 460,4 km genummerde wegen. Tussen 1991 en 1999 registreerde men 6.905 letselongevallen op deze wegen. Hiervan konden er 1.305 niet gelokaliseerd worden waardoor het aantal bruikbare ongevallen daalde tot 5.600. Deze ongevallen zijn gelokaliseerd op niveau van de hectometer (wegsectie) die in totaal 244,4 km beslaan (dit is 53% van het volledige netwerk). De zwarte zones bevatten 29,5 % van de ongevallen en vertegenwoordigen 20 % van alle genummerde wegen.



Voorafgaandelijk aan verklarende modellen is het van belang om de stabiliteit van de zwarte zones in ruimte en tijd te controleren. Indien de zones stabiel zijn, dan is het zeer waarschijnlijk dat er een sterke ruimtelijke link is en dat ongevallen altijd op dezelfde plaatsen geconcentreerd zijn. De resultaten van een verklarend model zullen dan onafhankelijk zijn van de gekozen periode. We vergeleken drie opeenvolgende periodes: 1991 tot 1993 en 1994 tot 1996, 1994 tot 1996 en tenslotte 1997 tot 1999. De kleinste

éénheid van een weg waarvan ongevalgegevens beschikbaar zijn in België is een sectie van 100 meter. De verandering van de binaire variabele (1 als de sectie tot een zwarte zone behoort; 0 indien niet) gedurende de drie opeenvolgende periodes werd bestudeerd a.h.v. similariteitsindices (deze werden berekend op een contingentietabel). De indices berekenen de statistische similariteit van twee periodes door het aantal 100 meter secties te combineren op de volgende manieren: secties die niet behoren tot een zwarte zone (dubbele afwezigheid), secties die in exact één van de beide periodes tot een zwarte zone behoren en de secties die in beide periodes tot een zwarte zone behoren (dubbele aanwezigheid). De indices wijzen op stabiliteit van de zwarte zones, in het bijzonder op autosnelwegen maar ook op een zekere mate van instabiliteit - die mogelijk kan verklaard worden - op secundaire wegen. De hoofdwegen in het gebied zijn radiale wegen (noord-zuid) naar Brussel toe. De transversale wegen (oost-west) zijn gekenmerkt door minder ongevallen en een kleiner verkeersvolume.

De kenmerken van de omgeving en infrastructuur kunnen een deel van de stabiliteit verklaren. Globaal bekeken is 40 % van de zwarte zones stabiel over twee opeenvolgende periodes. Als we omgevings- en infrastructuurfactoren beschouwen vinden we de hoogste stabiliteit (50 - 60 %) voor de volgende kenmerken:

- op autosnelwegen en ringwegen (1994-1996/1996-1999)
- verkeersvolume groter dan 17.300 voertuigen (1994-1996/1997-1999)
- wegen met een middenberm (1994-1996/1997-1999) voornamelijk in combinatie met een groot verkeersvolume (> 24.000 voertuigen)
- wegen zonder middenberm en met een volume groter dan 9.400 voertuigen (1991-1993/1994-1996)
- in de dichtbebouwde stedelijke omgeving (1991-1993/1994-1996)
- in open gebied

Deze resultaten bevestigen de trends die al zichtbaar waren op de kaart. De hoofdwegen vormen een invloedrijke ruimtelijke structuur voor de laatste twee periodes (1994-1996 en 1997-1999). Een groot aandeel van het netwerk dat behoort tot de zwarte zones is stabiel (40 %) en vormt een harde kern van zwarte zones waarvan het totnogtoe onmogelijk was om de veiligheid te verhogen hetzij door aanpassingen aan de infrastructuur hetzij door de signalisatie te optimaliseren. We kunnen daarom de hypothese die stelt dat de verdeling van zwarte zones varieert in functie van tijd en ruimte verwerpen.

2.7. Ruimtelijk hiërarchische schaalniveaus voor verkeersongevallen in de periferie van Brussel

De kracht van Multi-Level Modeling (MLM) voor het begrijpen van contextuele effecten op verkeersveiligheid ligt in de mogelijkheid om de onderliggende structurele relaties tussen individuen en hun omgeving bloot te leggen. De verklarende variabelen zijn beperkt tot infrastructuur en omgeving en omwille van databeschikbaarheid en de aard van wegongevallen worden slechts twee ruimtelijke niveaus opgenomen in deze analyse: de hectometer en de gemeente. Hieronder volgen de conclusies van deze studie:

- 1) MLM laat toe om het relatieve belang van ruimtelijke schaalniveaus te evalueren in de context van een verklarend model. In ons geval heeft de gemeente minder verklarende waarde dan de hectometer: verkeersongevallen vinden plaats op micro-

- locaties (hm) die kunnen geanalyseerd worden in een ruimere context maar dat is in dit geval blijkbaar niet de gemeente.
- 2) Ook al is de verklarende waarde van het ruimtelijk model laag, het is niettemin significant en bevestigt vroegere resultaten. De omgeving en infrastructuur verklaren respectievelijk 5 % en 21 % van de totale variatie van ongevallen in Waals-Brabant. Wij zijn ons ervan bewust dat het model verkeerd gespecificeerd is: omdat verschillende andere factoren (gedrag van de bestuurder, mobiliteitspatronen) die mogelijks van invloed zijn niet opgenomen zijn. Toch drukken de resultaten op het belang om de fysieke wegkenmerken evenals de ruimere wegomgeving te integreren in de beleidsdomeinen verkeersveiligheid en ruimtelijke ordening.
 - 3) Drie verschillende afhankelijke variabelen werden geanalyseerd: een wegsectie behoort al dan niet tot een zwarte zone, het aantal ongevallen per wegsectie en het ongevalrisico, gedefinieerd als het aantal ongevallen t.o.v. het gemiddeld dagelijkse verkeersvolume. Elke van deze Y variabelen heeft een bepaalde betekenis voor politie, spoeddiensten of weggenieurs en planners. Dus, elk model heeft een specifieke betekenis met ook een andere combinatie van verklarende variabelen.
 - 4) De meeste verklarende variabelen zijn verbonden aan het schaalniveau van de hectometer of wegsectie en meerbepaald aan een verandering van wegcondities. Het belang van deze veranderingen van wegcondities werpt een licht op de aanpassingsproblemen van weggebruikers bij veranderingen van wegcondities en – infrastructuur.
 - 5) De resultaten van deze MLM studie zijn niet echt vergelijkbaar met resultaten van traditionele regressie-studies. MLM resultaten zijn minder generalistisch omdat elk ander schaal-gebonden regressie model erg afhankelijk van de gebruikte dataset kan zijn. In dit geval lijkt een logistische regressie beter en ook kan dit model aangepast worden aan ruimtelijke autocorrelatie-effecten. Echter, andere methodes zoals 'geographically weighted regression' zijn ook heel interessante alternatieven.

De resultaten van deze analyse moeten voorzichtig worden geïnterpreteerd omdat ze gebaseerd zijn op slechts één dataset en uitsluitend de omgeving en de infrastructuur als verklarende variabelen in beschouwing nemen. Ook de databeschikbaarheid heeft een sterke (beperkende) invloed op het model. Deze studie heeft het belang van de hectometer (wegsectie) als ruimtelijke basis-éénheid en de beperkte bruikbaarheid van multi-level modellen voor verkeersveiligheid aangetoond. Andere statistische technieken zijn misschien te verkiezen boven MLM.

3 Algemene conclusie

Dit project trachtte vanuit verschillende benaderingen te komen tot een beter begrip van de ruimtelijke component van verkeersongevallen: remote sensing, geostatistiek, data mining en multi-level analyse.

Ondanks zijn grote omvang is de ongevallendatabank van matige kwaliteit en beperkt ze de potentiële mogelijkheden voor analyse. Ook het ontbreken van relevante data van de werkelijke ongevalomstandigheden (bvb. de werkelijke snelheid van de betrokken voertuigen) is een nadeel.

Ikonos satelliet beelden werden gebruikt om in een stedelijke omgeving een classificatie door te voeren van bodemgebruik op perceelsniveau. Deze classificatie laat toe om morfologische kenmerken te koppelen aan perceelsdata.

Statistisch significante 'wijken' (twee-dimensionele ongevalconcentraties) kunnen afgebakend worden, zowel in absolute termen als in termen van ongevalsrisico. Een verklarend model van deze concentraties werd ontwikkeld via ruimtelijke regressie, waarbij ook socio-economische kenmerken van de 'buurt' (NIS sector) in rekening werden gebracht. De modelresultaten bevestigden de belangrijke rol van het verkeersvolume op de ongevalfrequentie maar de introductie van buurtfactoren kon de verklarende waarde van het model niet verbeteren.

Model-based clusteranalyse ondersteunt het feit dat verkeersongevallen een zeer heterogeen gegeven zijn. Het is eigenlijk noodzakelijk om, voorafgaandelijk aan elk onderzoek naar het verklaren van ongevallen, een clustertechniek toe te passen om zodoende een grondig inzicht te verkrijgen in de complexiteit van de ongevalldata. Om zulke heterogeniteit bloot te leggen bleek de 'latent class' clustering techniek zeer krachtig.

Technieken van associatieregels werden gebruikt om de relevantie van de data te bepalen, alsook om de ongevalfactoren en -omstandigheden te identificeren die typerend zijn voor ongevallen in zwarte zones.

De stabiliteit en de spatio-temporele variaties van zwarte zones werden onderzocht over een periode van 9 jaar (1991-1999) in een peri-urbane omgeving. De resultaten bevestigen de trends die al zichtbaar waren op de kaart. De hoofdwegen vormen een invloedrijke ruimtelijke structuur voor de laatste twee periodes (1994-1996 en 1997-1999). Een groot aandeel van het netwerk dat behoort tot de zwarte zones is stabiel (40 %) en vormt een harde kern van zwarte zones waarvan het totnogtoe onmogelijk was om de veiligheid te verhogen hetzij door aanpassingen aan de infrastructuur hetzij door de signalisatie te optimaliseren. De hypothese die stelt dat de verdeling van zwarte zones varieert in functie van tijd en ruimte kan worden verworpen.

Verklarende factoren voor verkeers(on)veiligheid blijken erg schaalafhankelijk te zijn. In plaats van verschillende modellen te bouwen voor verschillende schaalniveaus werden via multi-level analyse interacties op verschillende schaalniveaus en tussen deze schaalniveaus bestudeerd en gemodelleerd. Deze studie heeft het belang van de hectometer (wegsectie) als ruimtelijke basis-éénheid en de beperkte bruikbaarheid van multi-level modellen voor verkeersveiligheid aangetoond. Andere statistische technieken zijn misschien te verkiezen boven MLM. De resultaten van deze analyse moeten weliswaar voorzichtig worden geïnterpreteerd omdat ze gebaseerd zijn op slechts één dataset en uitsluitend de omgeving en de infrastructuur als verklarende variabelen in beschouwing nemen.