

# Veiligheidsaspecten van de wegenstructuur en wegcategorisering in stedelijke gebieden

Atze Dijkstra

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV<sup>1</sup>

---

Bevordering van de verkeersveiligheid is mogelijk door maatregelen te richten op de drie elementen van het verkeerssysteem: mens, voertuig en weg. De 'weg' is samengesteld uit de 'verkeersinfrastructurele' factoren wegenstructuur, wegcategorisering en verkeerskundige vormen en regelgeving. Tussen deze factoren bestaat een onlosmakelijke wisselwerking. Deze factoren hebben invloed op de verkeersveiligheid. Dit paper wil inzicht geven in de kennis over de veiligheidsaspecten van (veranderingen in) deze factoren, toegespitst op stedelijke gebieden. Dit onderwerp is in diverse studies behandeld. Drie soorten methoden zijn in de literatuur te onderkennen: Statistische modelstudies ('generalized linear regression') die infrastructurale kenmerken relateren aan ongevallencijfers, studies (meestal met verkeersmodellen) die een samenhang tussen infrastructurale kenmerken en verkeersintensiteiten laten zien en, ten derde, studies die een directe relatie geven tussen de kenmerken en ongevallencijfers (meestal voor-/nastudies).

De studies met statistische modellering kenmerken zich door de geringe theoretische basis over de relatie tussen de variabelen. De resultaten van de studies met een verkeersmodel worden veelal bevestigd door voor-/nastudies. Deze studies hebben een grote mate van betrouwbaarheid van de uitspraken over de ongevalsreducties.

Bij modelstudies verdient het aanbeveling een check uit te voeren op de gerealiseerde effecten van in de praktijk uitgevoerde maatregelen. De modelstudies zijn overigens betrekkelijk gering in omvang wat betreft de gebiedsgrootte. Een goede schatting van het effect van een aangepaste wegenstructuur en wegcategorisering zou voor een grootschalig gebied (vervoerregio) moeten worden bepaald.

*Trefwoorden:* Verkeersveiligheid, wegcategorisering, wegennet, verkeersmodel, 'generalized linear regression'

---

---

<sup>1</sup>atze.dijkstra@swov.nl

## 1. Inleiding en probleemstelling

Bevordering van de verkeersveiligheid is mogelijk door maatregelen te richten op de drie elementen van het verkeerssysteem: mens, voertuig en weg. De 'weg' is voornamelijk samengesteld uit de factoren wegenstructuur, wegategorisering, verkeerskundige vorm- en regelgeving, en verdeling van het verkeer over het wegennet. Tussen deze factoren bestaat een onlosmakelijke wisselwerking. Verandering van een factor zal gevolgen hebben voor de andere factoren. Men neemt bijvoorbeeld een lokale verkeersmaatregel die leidt tot een andere verdeling van het verkeer over het wegennet. Dit kan ertoe leiden dat de feitelijke functie van de omliggende wegen af gaat wijken van de beoogde functie (vastgelegd in de wegategorisering) of dat de aanwezige vormgeving niet meer past bij de nieuwe situatie. De genoemde factoren hebben invloed op de verkeersveiligheid. Als al bekend zou zijn welke invloed elke factor afzonderlijk heeft op de verkeersveiligheid, dan is door de wisselwerking tussen de factoren moeilijk na te gaan wat het gezamenlijke effect op de verkeersveiligheid zal zijn bij een verandering in een van de factoren.

Bij de introductie in Nederland van Duurzaam Veilig (Koornstra et al., 1992) is sterk ingezet op de aanpassing van wegenstructuur en wegategorisering. De wegenstructuur is aangepast door verkeersaders zoveel mogelijk buiten de verblijfsgebieden te houden. De wegategorisering is gereorganiseerd door elke wegen slechts één verkeersfunctie toe te kennen: stroomfunctie, erftoegangsfunctie of gebiedsontsluitingsfunctie. Deze aanpassingen zijn in een periode van ongeveer twintig jaar op een groot deel van het wegennet toegepast (Weijermars & Van Schagen, 2009). Wat de invloed van deze twee factoren is op de verkeersveiligheid kan door de hiervoor genoemde wisselwerking met andere factoren lastig worden gekwantificeerd. Dit paper wil inzicht geven in de kennis over de veiligheidsaspecten van de factoren wegenstructuur en wegategorisering, toegespitst op stedelijke gebieden. Hierbij komen ook de relaties met de andere factoren van de weg aan bod. In het bijzonder richt dit paper zich op de veiligheidseffecten die ontstaan door veranderingen in de wegenstructuur en de wegategorisering.

## 2. Aanpak

De veiligheidseffecten van wegenstructuur en wegategorisering in stedelijke gebieden zijn in diverse studies behandeld. Het aantal studies is echter niet zo groot dat de techniek van de meta-analyse (Elvik et al., 2009) kan worden gehanteerd. Daarom is hier gekozen voor een bespreking van de relevante literatuur. Een deel van de studies stamt uit een vroegere periode waarin veel empirische studies naar dit onderwerp werden gedaan. In de huidige periode worden vooral statistische modelstudies en verkeersmodelstudies (rekenmodellen van diverse aard) uitgevoerd. Dit onderwerp krijgt betrekkelijk weinig aandacht in de literatuur waardoor het aantal beschikbare recente referenties gering is.

De beschikbare literatuur is verdeeld naar de aard van de uitgevoerde analyses: statistische studies en verkeersmodelstudies. De verkeersmodelstudies zijn verder onderverdeeld in studies die een relatie leggen tussen enerzijds de kenmerken van de wegenstructuur en

wegategorisering van stedelijke gebieden en anderzijds de veranderingen in hetzij verkeersintensiteiten, hetzij ongevalgegevens. Hierdoor ontstaat een indeling in drie soorten studies:

1. Studies die de wegenstructuur en kenmerken van sociaal-economische aard, van de bevolking en van het verkeer beschrijven met een groot aantal variabelen. Vervolgens relateert men die variabelen aan ongevallencijfers. Het resultaat bestaat uit statistische modellen die laten zien welke variabelen een kwantitatieve relatie hebben met ongevallencijfers.
2. Studies die laten zien welke samenhang bestaat tussen enerzijds kenmerken van de wegenstructuur, de ontsluiting van gebieden, de wegategorisering, en soms enkele kenmerken van de vormgeving, en anderzijds verkeersintensiteiten. De verandering in verkeersintensiteiten dient als een indicatie van de impact op verkeershinder en verkeersonveiligheid.
3. Studies die een directe relatie geven tussen de hiervoor (bij de tweede soort) genoemde kenmerken en ongevallencijfers.

De studies van de tweede en derde soort kunnen bestaan uit verkeersmodelstudies en voor-/nastudies. Onder verkeersmodelstudie wordt hier verstaan een studie waarin simulaties plaatsvinden van verplaatsingen of verkeer in een gemodelleerd wegennet. In deze studies veranderen in de meeste gevallen de kenmerken (modelmatig of in werkelijkheid) en bestudeert men de verandering van de verkeersintensiteiten en van de ongevallencijfers.

De beschrijving van de literatuur is bedoeld om een beeld te vormen van de beschikbare kennis over veiligheidseffecten van wegenstructuur en wegategorisering in stedelijke gebieden. Het is niet de bedoeling om de gehanteerde statistische modellen en verkeersmodellen te beoordelen wat betreft de mathematische en statistische aspecten. Het gaat in deze paper om de bijdrage van dergelijke modellen aan de kennis over wegenstructuur en wegategorisering in relatie tot verkeersveiligheid.

### **3. Wegenstructuur en verkeerskenmerken gerelateerd aan ongevallencijfers**

In deze paragraaf behandelen we studies waarin statistische modellen (voornamelijk 'generalized linear regression' modellen) zijn geschat waarmee de kwantitatieve relaties tussen diverse variabelen en ongevallencijfers zijn onderzocht. Deze paragraaf geeft antwoord op de vraag of objectieve kenmerken omtrent verkeersinfrastructuur, vervoer en verkeer een statistische verklaring geven voor de ongevalfrequentie. Deze bespreking gaat niet gedetailleerd in op de gehanteerde statistische technieken. Daarvoor wordt verwezen naar enkele verderop genoemde bronnen.

Hadayeghi et al. (2003) beschikken van 463 verkeerszones in Toronto (Ontaria, Canada) over sociaal-economische, weg-, verkeers-, en bevolkingsgegevens alsmede ongevalgegevens. Tot de weg- en verkeersgegevens behoren het aantal kruispunten, de kruispunt dichtheid, de weglengte van hoofdwegen en overige wegen, de snelheidslimiet, de verhouding tussen

intensiteit en capaciteit (I/C-verhouding), de hoeveelheid in- en uitgaand verkeer en het aantal motorvoertuigkilometers. De gegevens zijn verzameld door de lokale overheidsinstanties.

De auteurs gebruiken 'generalized linear regression' modellen waarin de aanname is dat de ongevallen zijn verdeeld volgens een negatief binomiale verdeling. Volgens Miaou (1994) is dit modeltype beter dan het ook veel gehanteerde model met een Poissonverdeling van de ongevallen. Hadayeghi et al. (2003) hebben modellen opgesteld voor het totaal aantal ongevallen, ernstige ongevallen, ongevallen in de ochtendspits (totaal en ernstig). De modellen voor de spits zijn beter dan voor de gehele dag, vermoedelijk doordat de verkeersgegevens (in dit geval verwerkt in de I/C-verhouding) gelden voor die periode. Het beste model (totaal aantal ongevallen in de ochtendspits) bevat de significante variabelen weglengte, aantal werkenden, I/C-verhouding en snelheidslimiet. Verder is er een ander soort model gehanteerd: een model dat rekening houdt met de ruimtelijke spreiding van de variabelen over het gehele onderzoeksgebied (geographically weighted regression). Dit model bevat snelheidslimiet, I/C-verhouding, aantal huishoudens, kruispunt dichtheid en weglengte als significante variabelen. Dit modeltype scoort beter dan de andere modeltypen.

Hadayeghi et al. (2007) hebben hun studie uit 2003 voortgezet. De opzet in de voortgezette studie is om een risicomodel te schatten. Dit doen ze weer met 'generalized linear modeling', met de aanname van een negatief binomiale verdeling van de ongevallen. Er zijn 23 modellen opgesteld, twaalf voor alle ongevallen, elf voor ernstige ongevallen. Een deel van de modellen bevat variabelen die voornamelijk het verkeer en de verkeersstructuur beschrijven, een ander deel ('uitgebreide modellen') bevat slechts enkele van deze variabelen en daarnaast vooral sociaaleconomische en bevolkingsvariabelen.

De uitgebreide modellen geven statistisch gezien de beste resultaten. Dit betekent dat het aantal afgelegde kilometers, de weglengte, het aantal kruispunten met VRI, de hoeveelheid bedrijfsterrein en industrieel terrein (in m<sup>2</sup>) en het aantal inwoners een goede schatting geven voor het aantal (ernstige) ongevallen.

Ladrón de Guevara et al. (2004) modelleren de gegevens van 859 verkeerszones in het stedelijk gebied van Tucson (Arizona, VS). Ook deze auteurs beschikken over sociaal-economische, verkeers-, en bevolkingsgegevens alsmede ongevalgegevens. Ook zij gebruiken 'generalized linear modeling' met de aanname van een negatief binomiale verdeling van de ongevallen. Er zijn vier modellen geschat voor dodelijke ongevallen, letselongevallen (met alle soorten letselernst), ongevallen met uitsluitend materiële schade en voor een combinatie van dodelijke en letselongevallen. Het laatstgenoemde model geeft het beste resultaat. In dit model zijn kruispunt dichtheid en weglengte per weg categorie de significante variabelen van de verkeersstructuur. Slechts twee andere variabelen komen in het model voor: bevolkingsdichtheid en aantal werkenden. De auteurs corrigeren niet voor de ruimtelijke spreiding zoals Hadayeghi et al. (2003) deden.

Quddus (2008) heeft verscheidene statistische modellen opgesteld voor het aantal slachtoffers in 633 Londense districten ('wards'). De modellen bevatten drie soorten verklarende variabelen: verkeerskenmerken, wegkenmerken en sociaal-demografische kenmerken. De verkeerskenmerken bestaan uit de verkeersintensiteit en de gemiddelde rijsnelheid, de wegkenmerken uit aantal kruispunten en rotondes, lengte van verschillende wegtypen,

bochtigheid en aantal bushaltes, en sociaal-demografische kenmerken uit inwoners jonger en ouder dan 60 jaar, aantal arbeidzame personen, aantal huishoudens zonder auto. Voor de expositie is, bij gebrek aan gegevens over het aantal motorvoertuigkilometers, een schatting gemaakt van het aantal auto's dat gemiddeld in een district rijdt.

De gehanteerde statistische modellen zijn in twee groepen onderscheiden: niet-ruimtelijke en ruimtelijke modellen. De niet-ruimtelijke modellen, met de aanname van een negatief binomiale verdeling van de ongevallen, corrigeren niet voor ruimtelijke afhankelijkheid van de districten onderling. De ruimtelijke modellen, dat zijn hier hiërarchische Baysiaanse modellen, doen dat wel (Miaou et al., 2003).

De negatief binomiale modellen geven als significante verklarende variabelen: inwoners ouder dan 60 jaar (meer van deze groep, dan minder slachtoffers), weglengte van hoofdwegen en woonstraten en gemiddelde rijsnelheid. Het aantal kruispunten en rotondes was niet significant, evenals het aantal bushaltes. De ruimtelijke modellen hebben als significante variabelen: hoeveelheid verkeer, weglengte van hoofdwegen en woonstraten, aantal werknemers en aantal huishoudens zonder auto. Overigens was in de negatief binomiale modellen de gemiddelde rijsnelheid negatief gecorreleerd met het aantal slachtoffers, dus hoe hoger de snelheid des te minder slachtoffers. Dit resultaat is bij de ruimtelijke modellen afwezig. Rijsnelheid is hoofdzakelijk gerelateerd aan wegcategorie, weglengte en weginrichting: de weglengte is significant gebleken, de andere twee variabelen zaten niet in de modellen. Als een hogere gemiddelde snelheid op hoofdstraten voorkomt dan in woonstraten, dan zou volgens de negatief binomiale modellen de veiligheid op hoofdstraten groter zijn. Maar hoofdstraten zijn juist onveiligere dan woonstraten (Dijkstra (1997)). Op het punt van rijsnelheid is het resultaat van de ruimtelijke modellen daarom beter dan van de negatief binomiale modellen.

Quddus (2008) concludeert voor de wegenstructuur en categorisering dat bochtigheid op dit niveau (grootstedelijke districten) geen rol speelt, dat de verkeersintensiteit alsmede de lengte van hoofdwegen en woonstraten positief gecorreleerd zijn met het aantal slachtoffers en dat het aantal kruispunten en rotondes en het aantal bushaltes er niet toe doen.

De aanpak bij de hiervoor besproken studies is sterk gedreven door de beschikbare data. Een achterliggende theorie die bepaalt welke variabelen wel en niet relevant zullen zijn, ontbreekt meestal, of is niet expliciet beschreven. Deze aanpak geeft steeds een uitkomst met variabelen die wel of niet een statistisch significante relatie hebben met de onveiligheidcijfers. Soms zal het wel of niet significant zijn voortkomen uit de beschikbare aantallen waarnemingen en soms uit de variatie van de waarnemingen binnen een variabele. En er blijven soms relaties verborgen doordat er variabelen ontbreken in het model.

In dit type studies is de beschikbaarheid van voldoende gegevens over ongevallen essentieel. De registratie van ongevallen in Nederland neemt echter sterk af (Wijlhuizen et al., 2012). Dit raakt de representativiteit van de nog wel beschikbare ongevalsgegevens. Per locatie zijn er nog slechts zeer geringe aantallen ongevallen geregistreerd.

#### 4. Veranderingen in wegenstructuur en wegategorisering, gerelateerd aan verkeersintensiteiten

Deze paragraaf geeft resultaten van studies waarin een kwantitatieve relatie tussen diverse kenmerken en verkeersintensiteiten is onderzocht. Daarbij hebben de auteurs verondersteld dat een verandering in verkeersintensiteiten (meestal een verlaging) een verbetering kan opleveren voor verkeershinder en verkeersonveiligheid. De besproken studies zijn met een 'verkeersmodel' uitgevoerd. Hier wordt onder verkeersmodel een rekenmodel verstaan waarin verkeer wordt toegedeeld aan de wegen in een vastgelegde wegenstructuur. In *Paragraaf 5* zal met resultaten van praktijkstudies worden nagegaan of de bevindingen in deze paragraaf zijn te staven met empirische gegevens.

Van Minnen (1999) heeft via een simulatiestudie onderzocht welke intensiteiten in een woongebied per straat tot stand komen als gevolg van het aantal aansluitingen van het gebied op de randwegen. Deze simulatiestudie is eenvoudig van opzet: het uitgaande verkeer wordt via de kortste route naar de randwegen geleid. Alle woningen produceren dezelfde hoeveelheid ritten (zie ook hierna).

Van Minnen is nagegaan hoe de totale ritlengte over straten en randwegen afhangt van het aantal aansluitingen. Een derde variabele was de gebiedsgrootte. De netwerkopbouw was in alle gevallen een gridstructuur. De omvang van een gebied heeft geen nadelige gevolgen voor het totaal aantal afgelegde voertuigkilometers (randwegen en straten gezamenlijk) mits aan twee voorwaarden wordt voldaan (Van Minnen, 1999; p. 18):

- een meerzijdige, bij voorkeur alzijdige, ontsluiting van het gebied;
- een voldoende aansluitingsdichtheid, ook bij grotere gebieden.

Een groter gebied leidt wel tot hogere intensiteiten op (sommige) straten in het gebied.

Van Minnen varieerde vervolgens de gebiedsgrootte (in ha.), de bebouwingsdichtheid (aantal woningen per ha.) en het aantal aansluitingen op de randwegen. De aanname was dat er per woning in totaal vijf autoritten per etmaal (heen en terug samengenomen) plaatsvinden; dit is gebaseerd op een schatting van Walraad & Poppe (1998). Deze schatting is een gemiddelde voor gebieden met verschillende omvang. Van Minnen berekende de maximale intensiteiten op de straten die als aansluiting dienen. Volgens Infopunt (2000) ligt de maximale acceptabele intensiteit op straten in woongebieden tussen 3.000 en 5.000 motorvoertuigen per etmaal, afhankelijk van de ligging van het gebied in een respectievelijk verstedelijkte of grootstedelijke omgeving. Overigens zijn deze waarden gebaseerd op enkele waarnemingen in de praktijk, niet op een systematisch onderzoek ernaar. Van Minnen (1999) concludeerde dat een enkelvoudige aansluiting alleen bij een kleine gebiedsomvang (tot 30 ha.) tot acceptabele intensiteiten leidt. Bij gebieden met een omvang tussen 150 en 200 ha. zijn ten minste zes aansluitingen nodig om acceptabele intensiteiten te kunnen garanderen. Bij Van Minnen waren de randwegen niet aangesloten op een omliggend wegennet. Die aansluiting kan op verschillende manieren worden aangebracht. Krabbenbos et al. (2002) hebben dat in een studie met een microsimumodel onderzocht voor verschillende varianten in een vierkant gebied (640m bij 640 m). De aansluiting

van de randwegen op het aanliggende wegennet is aangebracht of in de hoekpunten of in het midden van elke zijde. In het gebied is een rasterstructuur verondersteld met drie straten in beide richtingen. De maximale snelheid op de randwegen is 50 km/h, op de interne straten 30 km/h. De aansluitingen zijn volgens 16 varianten (verschillend aantal zijden, verschillend aantal aansluitingen per zijde) verdeeld over de zijden van het vierkant. Het gebied bevat 40 woningen per hectare; de aanname voor het aantal ritten in het spitsuur is 0,46 per woning. Van Minnen (1999) ging uit van gemiddeld vijf ritten per woning per etmaal. De algemene vuistregel voor de spitsuurintensiteit is 10% van de etmaalintensiteit, dus 0,5 rit per woning per spitsuur. De aanname van Krabbenbos is hiermee in overeenstemming. Een volgende variabele in deze modelstudie is de mate van doorgaand verkeer in het gebied, die is of 'laag' of 'hoog'. De totale hoeveelheid bestemmingsverkeer voor het gebied bedraagt 760 voertuigen, het doorgaande verkeer omvat 534 voertuigen in de lage variant en 3.740 in de hoge variant. Volgens Krabbenbos et al. (2002) is er *geen vaste regel* te geven voor de optimale hoeveelheid aansluit(richt)ingen en de verdeling ervan. Dit is namelijk afhankelijk van de manier van aansluiting op het omliggende wegennet (midden van een zijde of hoekpunt) en van de hoeveelheid doorgaand verkeer. De aansluiting op het omliggende wegennet bepaalt de aanwezigheid van sluipverkeer in het gebied: de aansluitingen in het midden van de zijden bieden de snelste sluiproutes, want hierdoor kan het doorgaand verkeer zonder enige omweg dwars door het gebied rijden (in plaats van er omheen). De aansluitingen op de hoekpunten bieden een even lange route door het gebied als via de randwegen. Door de hogere snelheidslimiet op de randwegen is het niet aantrekkelijk door het gebied heen te rijden.

Krabbenbos et al. (2002) hebben ook vier woongebieden onderzocht die verschillen in aantal aansluitingen en aantal aansluitrichtingen. Zij bepaalde het aandeel bestemmingsverkeer en sluipverkeer. Het geringe aantal waarnemingen en het ontbreken van een referentiegebied maakt het alleen mogelijk een conclusie te trekken over het bestemmingsverkeer: een toename van het aantal aansluitrichtingen leidt tot een afname van de ritlengte van het bestemmingsverkeer in die gebieden.

Gadd (1997) heeft een modelstudie uitgevoerd om na te gaan op welke manier voldaan kan worden aan eisen aangaande capaciteit, verkeersveiligheid en milieu. Hij evalueert een eenvoudig netwerk met een randweg die een vierkant gebied begrensd. In dit gebied lopen twee diagonale, elkaar kruisende ontsluitingswegen. De randweg is met de omgeving verbonden op de hoekpunten. In de eerste simulatie zijn de wegen van gelijke orde (geen categorisering) en zijn de kruispunten niet voorzien van een verkeersregelinstallatie. De ontsluitingswegen krijgen veel doorgaand verkeer te verwerken (maximaal de helft van de hoeveelheid verkeer op de randweg. In een volgende simulatie is de randweg van een hogere categorie dan de ontsluitingswegen, bij gelijkblijvende wegkenmerken. Er zijn verkeersregelinstallaties op de hoeken van de randweg. Op de viertakskruispunten binnen het gebied geldt de gewone voorrangregeling. De intensiteiten op de ontsluitingswegen zijn nu nog maximaal een kwart van die op de randweg. Het aantal afgelegde voertuigkilometers (op randweg en ontsluitingswegen) is met 3% toegenomen. In de derde simulatie is de categorisering ongewijzigd, de verkeersregelinstallaties zijn ongewijzigd maar op de viertakskruispunten is een regeling met stopborden aangebracht. De intensiteiten op de ontsluitingswegen zijn nu nog maximaal 21% van die op de randweg; de afgelegde kilometers zijn gelijk gebleven. In de laatste simulatie is op de interne

viertakskruispunten een iets grotere vertraging ingebouwd. Nu resteert er nog maar een intensiteit van maximaal 9% van die op de randweg; de afgelegde kilometers zijn gelijk gebleven. De weerstand voor doorgaand verkeer is zo ver opgevoerd dat er nauwelijks doorgaand verkeer resteert. Dit komt de verkeersveiligheid en het milieu in het gebied ten goede. Door de maatregelen is de intensiteit op de randweg met ruim 20% toegenomen. Om de gunstige effecten in het gebied op te laten wegen tegen de verslechtingen op de randweg zijn er specifieke maatregelen op de randwegen nodig voor milieu en verkeersveiligheid.

Skoupil et al. (1983) hebben onderzocht welke veranderingen in de verkeerscirculatie zich voordoen in vijf woongebieden als enkele straten ontoegankelijk worden gemaakt voor het autoverkeer. Zij deden dit met een modelstudie. Het model is gekalibreerd op de bestaande situatie met doorgaand verkeer. De aangepaste situaties zijn met het model doorgerekend. De vijf gemodelleerde stratennetten omvatten verzamel- en ontsluitingstraten van het onderzoeksgebied alsmede randwegen en enkele daarmee in verbinding staande hoofdwegen. De onderzochte wegen en straten liggen in een zogeheten invloedsgebied dat nagenoeg alle herkomsten en bestemmingen bevat van de ritten van en naar elk onderzoeksgebied; dit is vastgesteld in een straatenquête. Voor elk onderzoeksgebied is nagegaan welke veranderingen optreden in de verdeling van het autoverkeer over het netwerk, uitgedrukt in motorvoertuigkilometers op de verschillende straattypen. De aangebrachte veranderingen leiden tot aanzienlijke veranderingen in de circulatie van het doorgaande verkeer via het onderzoeksgebied. In elk gebied zijn twee netwerktypen toegepast:

- een circulatiesysteem waarin het nog mogelijk is door het gehele gebied heen te rijden en waarbij de woonstraten anders zijn vormgegeven, op kruispunten sommige richtingen zijn verboden, en straten soms doodlopend zijn gemaakt;
- een systeem waarin het onderzoeksgebied in zones is verdeeld waardoor het niet mogelijk is door het gehele gebied te rijden.

Beide systemen geven een substantiële vermindering van het doorgaande verkeer. Het tweede systeem met de zones geeft in drie van de vier gevallen de grootste reductie.

Één onderzoeksgebied is afwijkend aangepast door voornamelijk eenrichtingsverkeer in te stellen. Ook die maatregel leidt tot minder doorgaand verkeer.

Verder hebben Skoupil et al. onderzocht welke veranderingen optreden in het verkeer dat herkomst of bestemming in een onderzoeksgebied heeft. De aangebrachte circulatiesystemen verhogen het aantal motorvoertuigkilometers. Het systeem met zones leidt tot minder voertuigkilometers op gebiedsstraten zowel in vergelijking met de nulsituatie als met het andere circulatiesysteem. Het leidt daarentegen tot meer kilometers op de randwegen en overige wegen dan bij de nulsituatie en het andere systeem.

De gehanteerde modellen zijn een sterke vereenvoudiging van de werkelijkheid. Toch maken ze duidelijk dat wegenstructuur en wegategorisering een grote invloed kunnen hebben op de verkeersintensiteiten. De resultaten van de hier besproken studies zijn niet getoetst aan evaluaties van werkelijk uitgevoerde maatregelen. Desondanks zijn de gevonden effecten (de verandering van de intensiteiten in relatie tot de aard van de maatregelen) wel in lijn met wat van dergelijke maatregelen wordt verwacht.



## 5. Veranderingen in wegenstructuur en wegategorisering, gerelateerd aan ongevallencijfers

Deze paragraaf geeft de directe kwantitatieve relaties tussen kenmerken en ongevallencijfers. Anders dan in *Paragraaf 3*, zijn verschillen tussen situaties bestudeerd, met name onderlinge vergelijkingen van bestaande situaties (vergelijkende praktijkstudie), varianten van verschillende toekomstige situaties (modelstudie) of een aanpassing van een bestaande situatie (voor-/nastudie).

Marks (1957) rapporteert over een vergelijkende ongevallenstudie die is uitgevoerd met gegevens uit Los Angeles. Er waren twee verkeersstructuren onderzocht: een gridstructuur en een systeem met 'limited access' (limac). De gridstructuur vertoont bijna acht maal meer ongevallen dan het limac-systeem. Op kruispunten met vier takken is het aantal ongevallen per jaar per kruispunt in het gridstructuur drie maal zo hoog als in het limac-systeem. Volgens Marks (1957) kenmerkt een veilig ontwerp zich door:

1. een limac-systeem, bij voorkeur met ontsluitingsstraten om de  $\pm 350$  meter (een maat die Le Corbusier (1987) tientallen jaren daarvoor, namelijk in 1924, ook noemt);
2. geen straten die twee hoofdwegen verbinden;
3. verzamelstraten dienen niet te kruisen met doorgaande straten en slechts aan één zijde aan te sluiten op een hoofdweg;
4. kruispunten met vier takken zoveel mogelijk vermijden en bij voorkeur eenvoudige kruispunten met drie takken toepassen.

De aanbevelingen van Marks zijn vele jaren later in het grote Nederlandse 'Demonstratieproject herindeling en herinrichting van stedelijke gebieden' (Janssen & Kraay, 1984) ook weer 'teruggevonden'. In dit demonstratieproject, gekoppeld aan een grootschalige voor- en nastudie, zijn in de gemeenten Eindhoven en Rijswijk in enkele woonwijken en op de randwegen ervan, veranderingen aangebracht die het doorgaande verkeer moesten verhinderen, de doorstroming op de randwegen moesten bevorderen en die tevens het verkeersgedrag in de wijken (met name rijsnelheid) moesten beïnvloeden. De maatregelen bleken effectief te zijn: het meeste doorgaande verkeer is uit de wijken verdwenen. De genomen maatregelen zijn in drie soorten, opties genoemd, te verdelen:

1. voornamelijk invoeren van eenrichtingsverkeer;
2. aanleg van snelheidsremmende voorzieningen, gedeeltelijk gecombineerd met eenrichtingsverkeer;
3. instellen van woonerven.

Bij de opzet van het project is verondersteld dat de effecten van de drie opties zouden verschillen. Dat blijkt nauwelijks te zijn opgetreden. In de afname van het doorgaand verkeer zijn verschillen gevonden tussen gebieden maar die zijn niet terug te voeren op de opties. Hoe een gebied precies

is ingericht of hoe de verkeerscirculatie in het gebied precies is, dat beïnvloedt niet de mate van doorgaand verkeer. Dat is vooral te beïnvloeden door het gebied minder aantrekkelijk te maken voor doorgaand verkeer en door de doorstroming op de randwegen te verbeteren.

Janssen (1991) rapporteert over de effecten van de maatregelen op het aantal ongevallen. Het aantal letselongevallen in de woonwijken daalde, gecorrigeerd voor de ontwikkelingen in de controlegebieden, met bijna 80%. In de woongebieden is het aantal letselongevallen per miljoen motorvoertuigkilometer gedaald met 75%, op de randwegen met 16%. Het aantal motorvoertuigkilometer in de woongebieden daalde 30%, op de randwegen steeg het enkele procenten. De maatregelen zijn in veel opzichten effectief gebleken. De verschillen tussen de effecten van de drie opties bleken echter gering te zijn. In de jaren tachtig zijn de maatregelen op grote schaal in de praktijk toegepast (in de vorm van zone 30) (VenW, 1984). De aard van de inrichting van een zone 30 uit die periode is 'compleet' in vergelijking met de 'sobere' inrichting die vanaf 1997 in het Startprogramma Duurzaam Veilig (VNG, IPO, VenW & UvW, 1998) is ingezet. De sobere inrichting geeft minder goede resultaten voor verkeersveiligheid (Berends & Stipdonk, 2009).

In dezelfde periode als het Nederlandse demonstratieproject zijn in enkele andere Europese landen ook dergelijke projecten uitgevoerd en geëvalueerd. Pfundt et al. (1979) laten zien dat het aantal letselongevallen in de woongebieden met ruim 40% is afgenomen. Op de randwegen is het aantal letselongevallen ook verminderd, zij het in geringere mate. De effecten in de Duitse projecten zijn substantieel maar kleiner dan in Eindhoven-Rijswijk. Dit verschil in effect is te verklaren uit de minder stringente maatregelen in Duitsland.

Engel & Thomsen (1983) rapporteren over de wijk Østerbro in Kopenhagen. Het aantal ongevallen in het gebied is met 49% afgenomen. Het aantal slachtoffers is (na correctie) met 40% verminderd. Ook in dit project zijn grote reducties gevonden.

Dijkstra & Van de Pol (1991) hebben een schatting gemaakt van het effect van de opening (in 1989/1990) van de rondweg rond Amsterdam (autosnelweg A10) op het aantal ongevallen. De ongevallen op de hoofdwegen in en rondom Amsterdam zijn daarvoor geïnventariseerd. De wegen zijn gecategoriseerd volgens een systeem dat door Janssen (1988) en Dijkstra (1990) is toegepast. Van elke wegcategorie is de lengte en de gemiddelde etmaalintensiteit bepaald. Daaruit is het aantal afgelegde motorvoertuigkilometers berekend voor een periode van drie jaar. Daaruit is voor elke categorie het risico (aantal ongevallen per miljoen motorvoertuigkilometer) afgeleid. Voor de onveiligheid in de periode na opening van de rondweg is aangenomen dat het ongevalsrisico constant blijft. In de naperiode zijn wijzigingen aangebracht in enkele wegcategorieën. In sommige gevallen is de weglengte van een categorie veranderd door de aanleg van nieuwe wegen of door aanpassing van wegkenmerken (bijvoorbeeld meer rijstroken). Tevens zijn de gemiddelde etmaalintensiteiten (afgeleid uit tellingen) gewijzigd door de andere verkeerscirculatie. De nieuwe waarden van intensiteiten en weglengten geven andere aantallen motorvoertuigkilometers. Gecombineerd met de risicocijfers zijn de aantallen ongevallen per categorie geschat. Het aantal ongevallen (1.762 in de driejarige voorperiode) daalt volgens deze methode naar schatting met ongeveer 3,5% (-64 ongevallen). De daling van het aantal ongevallen op sommige hoofdwegen in de bebouwde kom Amsterdam (-145) wordt gedeeltelijk gecompenseerd door een toename (+80) op de auto(snel)wegen rond Amsterdam.

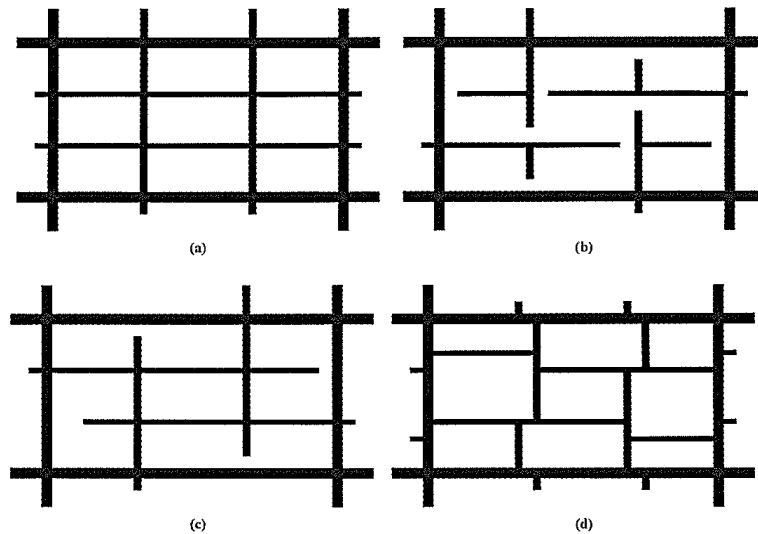
Poppe (1997) heeft de wegategorisering van Duurzaam Veilig toegepast in het wegennet van Midden-Nederland, dit is grofweg de provincie Utrecht en enkele aanliggende gebieden. Voor dit gebied was het verkeersmodel Midden-Nederland beschikbaar met daarin de bestaande wegategorisering volgens ROA en RONA. Poppe heeft het wegennet aangepast volgens de beginselen van Duurzaam Veilig (Van Minnen & Slop, 1994). Daarin nemen de gebiedsontsluitingswegen en de stroomwegen een belangrijke plaats in. Tevens zijn de lage snelheidslimieten in verblijfsgebieden (60 km/h buiten en 30 km/h binnen de bebouwde kom) en de veel toegepaste rotondes op gebiedsontsluitingswegen van belang. De gebruikte netwerkopbouw gaat in belangrijke mate uit van de bestaande hoofdwegstructuur. De verblijfsgebieden zijn op verschillende punten toegankelijk, boomstructuren zijn zoveel mogelijk vermeden. Daardoor vermijdt men teveel omrijden.

De studie vergelijkt de effecten van twee netwerken: de variant die in de regio is voorgesteld voor het jaar 2010 (de MIT-variant) en de DV-variant zoals door de Poppe voorgesteld. De risicocijfers per wegcategorie zijn gelijk genomen voor beide varianten, gebaseerd op cijfers die SWOV (1997) heeft bepaald. In de DV-variant is de verkeerscirculatie anders dan in de MIT-variant omdat er andere netwerkopbouw is (snelheidslimieten zijn anders en wegen zijn anders gecategoriseerd). Het berekende aantal slachtoffers in de DV-variant is ongeveer 5% lager dan in de MIT-variant. In de DV-variant zijn het aantal afgelegde motorvoertuigkilometers en het aantal 'rijdende' voertuiguren praktisch gelijk aan de MIT-variant. In de DV-variant is echter het aantal voertuigverliesuren (het aantal uren dat gewacht wordt bij kruispunten) beduidend geringer dan in de MIT-variant, namelijk 15%. Dit blijkt te herleiden tot de geringere wachttijd bij rotondes waarvan er bij de DV-variant veel in het model zijn ingebouwd.

Lovegrove & Sayed (2006, 2007) nemen de aanpak van Hadayeghi et al. (2003) en Ladrón de Guevara et al. (2004) als uitgangspunt. Ze hebben 47 crash prediction models (CPM) afgeleid uit 22 variabelen. De modellen zijn ingedeeld naar factoren die een beschrijving geven van expositie, sociaal-demografie, vervoersvraag en verkeersnetwerk. Van de genoemde variabelen is in veel gevallen (ook) de dichtheid ervan als variabele gekozen. Sommige variabelen zijn met een verkeersmodel gekwantificeerd. Lovegrove & Sayed (2006) hebben hun aanpak toegepast op drie wijken waar 'traffic calming' was toegepast. Het modelresultaat voor het totale gebied (drie wijken tezamen genomen) stemt redelijk overeen met de waargenomen ongevallenreducties, de resultaten voor de afzonderlijke wijken vertonen grote verschillen tussen waargenomen en gemodelleerde ongevallenreducties.

De auteurs onderzoeken ook netwerkstructuren die afkomstig zijn van Dijkstra (1997) en die later zijn overgenomen door Infopunt (2000): raster, boom en 'limited access', in *Afbeelding 1* respectievelijk afgebeeld als structuur (a), (b) en (c). Tevens hebben zij een structuur toegevoegd die uitsluitend drietakskruispunten bevat maar wel routes dwars door het gebied heen mogelijk maakt: (d) in *Afbeelding 1*). De variabelen in het gebruikte model zijn in belangrijke mate gevoed met waargenomen gegevens uit vergelijkbare buurten in de praktijk. De ongevallendichtheid van de toegevoegde structuur (structuur d in *Afbeelding 1*) blijkt het laagst te zijn, direct gevolgd door 'limited access' (structuur c). Deze structuur is door de auteurs overigens gemodificeerd door de viertakskruispunten aan te passen tot bajonetten. Een vergelijking van de berekende ongevallendichtheden met de gemiddelde dichtheden in woonwijken leidt tot de conclusie dat de berekende waarden realistisch zijn. De rasterstructuur komt, zoals verwacht, met de hoogste

ongevallendichtheid naar voren, ook hoger dan de gemiddelde dichtheid in de praktijk. Rifaat & Tay (2009) kwamen tot ongeveer dezelfde conclusies met gegevens uit Calgary.



Afbeelding 1. Vier verkeerstructuren voor woongebieden (volgens Lovegrove & Sayed, 2007)

De resultaten van de hiervoor besproken studies van Marks (1957), Janssen (1991), Pfundt et al, (1997) en Engel & Thomsen (1983) zijn verkregen door gedurende langere tijd (enkele jaren voor en na de invoering) de effecten van verkeersmaatregelen te volgen. De betrouwbaarheid van de uitspraken over de ongevalsreducties zijn daardoor vrij groot. De maatregelen zijn in verschillende landen uitgevoerd, maar wijzen in dezelfde richting.

De studie van Dijkstra & Van de Pol (1991) hanteert een methode die een schatting mogelijk maakt van toekomstige onveiligheid. De werkelijke onveiligheid na uitvoering van de maatregelen is niet onderzocht. Daardoor is betrouwbaarheid van de schatting niet erg groot. De methode maakt het wel mogelijk om vooraf de veiligheidseffecten van alternatieve uitvoeringsvarianten onderling te vergelijken; zie bijvoorbeeld Van der Sluis & Janssen (2000).

Poppe (1997) gebruikt een verkeersmodel (een rekenmodel dat het verkeer toedeelt aan een gemodelleerd wegennet) om na te gaan of veranderingen optreden door een gewijzigde wegategorisering. Ook hier is niet een koppeling met veranderingen in de werkelijkheid gelegd. Maar hier zijn twee varianten onderling vergeleken. Bij overigens gelijke aannames is dit een goede manier van vergelijken. Voor de aanpak van Lovegrove & Sayed (2006, 2007) geldt hetzelfde.

## 6. Conclusies en resultaten

Er zijn verscheidene statistische modellen (meestal 'generalized linear models') opgesteld die het aantal ongevallen of slachtoffers relateren aan variabelen die gebaseerd zijn op sociaal-

economische, verkeers(structuur)-, en bevolkingsgegevens. De variabelen die een duidelijke samenhang vertonen met de verkeersonveiligheid zijn:

- snelheidslimiet, I/C-verhouding, aantal huishoudens, kruispunt dichtheid en weglengte (Hadayeghi et al., 2003);
- het aantal afgelegde kilometers, de weglengte, het aantal kruispunten met VRI, de hoeveelheid bedrijfsterrein en industrieel terrein (in m<sup>2</sup>) en het aantal inwoners (Hadayeghi et al., 2007);
- kruispunt dichtheid en weglengte per weg categorie, bevolkingsdichtheid en aantal werkenden (Ladrón de Guevara et al., 2004);
- verkeersintensiteit, weglengte van hoofdwegen en woonstraten, aantal werknemers en aantal huishoudens zonder auto (Quddus, 2008). Deze auteur rapporteert ook dat op het niveau van grootstedelijke districten de gemiddelde rijsnelheid, het aantal kruispunten en rotondes en het aantal bushaltes er voor de verkeersonveiligheid niet toe doen.

In deze uitkomsten is de weglengte altijd aanwezig alsmede het aantal werknemers of inwoners. De onderzoekers hebben verschillende sets variabelen gebruikt, daarom kunnen de overige resultaten bij voorbaat niet consistent zijn.

Deze aanpak met statistische modellen kenmerkt zich door de geringe theoretische basis over de relatie tussen de variabelen. De keuze van variabelen in een model lijkt in belangrijke mate te worden gedreven door de beschikbaarheid van de variabelen en in veel mindere mate door inhoudelijke overwegingen.

De beschikbare (recente) literatuur over dit onderwerp is betrekkelijk gering.

*Resultaten uit studies die een relatie leggen tussen wegenstructuur en wegategorisering enerzijds en verkeersintensiteiten en/of ongevallencijfers anderzijds*

1. De laagste ongevallendichtheid is te vinden bij een verkeerstructuur die uitsluitend drietakskruispunten bevat maar wel routes dwars door het gebied heen mogelijk maakt. Een structuur met 'limited access' heeft een iets grotere ongevallendichtheid. De rasterstructuur komt, zoals verwacht, met de hoogste ongevallendichtheid naar voren.
2. De aansluiting op het omliggende wegennet bepaalt de aanwezigheid van sluipverkeer in een gebied: de aansluitingen in het midden van de zijden bieden de snelste sluiproutes, want hierdoor kan het doorgaand verkeer zonder enige omweg dwars door het gebied rijden (in plaats van er omheen). De aansluitingen op de hoekpunten bieden een even lange route door het gebied als via de randwegen. Een hogere snelheidslimiet op de randwegen maakt het niet aantrekkelijk door een gebied heen te rijden. Een toename van het aantal aansluitrichtingen leidt tot een afname van de ritlengte van het bestemmingsverkeer.
3. Diverse verkeersmaatregelen in een gebied (eenrichtingsverkeer, afsluitingen van een straat of van bepaalde richtingen op een kruispunt, interne zonering, snelheidsremmers) kunnen de weerstand voor doorgaand verkeer zo ver opvoeren dat nauwelijks doorgaand verkeer resteert. Dit komt de verkeersveiligheid en het milieu in het gebied ten goede. Door deze maatregelen neemt de intensiteit op de randwegen toe. Om de gunstige effecten in het gebied

op te laten wegen tegen de verslechtingen op de randweg zijn er specifieke maatregelen op de randwegen nodig voor milieu en verkeersveiligheid.

4. Een regionaal wegennet met een wegategorisering volgens Duurzaam Veilig leidt tot iets minder slachtoffers (-5%) dan een traditionele wegategorisering. Door het grotere aantal rotondes bij Duurzaam Veilig is het aantal voertuigverliesuren ongeveer 15% lager dan in een traditioneel wegennet.

Voor-/nastudies in verschillende landen bevestigen de resultaten die onder de voorgaande vier punten zijn gegeven voor modelstudies. De gevonden reducties van het aantal ongevallen en slachtoffers binnen de aangepaste gebieden bedragen 40 tot 80%. In de meeste gevallen is de verkeersonveiligheid op de randwegen niet of nauwelijks toegenomen doordat aanvullende maatregelen zijn genomen. Deze studies hebben een grote mate van betrouwbaarheid van de uitspraken over de ongevalsreducties.

## 7. Aanbevelingen en discussie

Het is beter om bij het gebruik van statistische modellen vooraf de variabelen te selecteren aan de hand van een theorie over de relatie tussen de variabelen onderling en tussen de variabelen en de ongevalsfrequentie

Bij modelstudies zoals hier beschreven verdient het aanbeveling een check uit te voeren op de gerealiseerde effecten van in de praktijk uitgevoerde maatregelen. De modelstudies zijn overigens betrekkelijk gering in omvang wat betreft de gebiedsgrootte. Een goede schatting van het effect van een aangepaste wegenstructuur en wegategorisering zou voor een grootschalig gebied (vervoerregio) moeten worden bepaald.

De geconstateerde afname in de aantallen en representativiteit van ongevalscijfers noopt tot het introduceren van andere veiligheidsindicatoren. Die moeten wel gevalideerd worden met gegevens over ongevallen.

De kennis over effecten van wegenstructuur en categorisering op de onveiligheid, verdient verspreiding onder personen die werkzaam zijn in de sector verkeer en vervoer.

## Referenties

Berends, E.M. & Stipdonk, H.L. (2009). *De veiligheid van voetgangers en fietsers op 30km/uur-erftoegangswegen*. R-2009-6. SWOV, Leidschendam.

Dijkstra, A. & Pol, W.H.M. van de (1991). *Effecten op leefbaarheid: aspect verkeersveiligheid; Studie effecten openstelling ringweg Amsterdam*. Rijkswaterstaat. Dienst Verkeerskunde, Rotterdam.

Dijkstra, A. (1990). *Probleemsituaties op verkeersaders in de bebouwde kom; Tweede fase: selectie van probleemsituaties*. R-90-13. SWOV, Leidschendam.

Dijkstra, A. (1997). *A sustainable safe traffic and transport system: déjà vu in urban planning?* In: Proceedings of the conference Traffic safety on two continents, VII konferens 9A, Part 3, September 22-24, Lisbon.

Elvik, R. Høy, A. Vaa, T. & Sørensen, M. (eds.) (2009). *The handbook of road safety measures*. Emerald Group, Bingley.

Engel, U. & Thomsen, L.K. (1983). *Trafiksanerung på Østerbro; Sammenfatning*. Rådet for Trafiksikkerhedsforskning, Copenhagen.

Gadd, M.L. (1997). *Road network planning - towards a comprehensive approach*. In: IPENZ Transactions, Volume 24, No. 1/CE.

Hadayeghi, A.; Shalaby, A.S. & Persaud, B.N. (2003). *Macrolevel accident prediction models for evaluating safety of urban transportation systems*. In: Transportation Research Record 1840. pp. 87-95. Transportation Research Board, Washington, D.C.

Hadayeghi, A.; Shalaby, A.S. & Persaud, B.N. (2007). *Safety prediction models; Proactive tool for safety evaluation in urban transportation planning applications*. In: Transportation Research Record 2019. pp. 225-236. Transportation Research Board, Washington, D.C.

Infopunt DV (2000). *Duurzaam-veilige inrichting van wegen binnen de bebouwde kom; Een gedachtevorming*. Infopunt Duurzaam Veilig Verkeer, Ede.

Janssen, S.T.M.C. & Kraay, J.H. (1984). *Demonstratieproject herindeling en herinrichting van stedelijke gebieden (in de gemeenten Eindhoven en Rijswijk); Eindrapport van het onderzoek Verkeersveiligheid*. R-84-29. SWOV, Leidschendam.

Janssen, S.T.M.C. (1988). *De verkeersonveiligheid van wegtypen in 1986 en 2010*. R-88-3. SWOV, Leidschendam.

Janssen, S.T.M.C. (1991). *Road safety in urban districts; Final results of accident studies in the Dutch demonstration projects of the 1970s*. In: Traffic Engineering and Control, Volume 32, Nr. 6, pp. 292 - 296.

Koornstra, M.J., Mathijssen, M.P.M., Mulder, J.A.G., Roszbach, R. & Wegman, F.C.M. (1992). *Naar een duurzaam veilig wegverkeer - Nationale verkeersveiligheidsverkenning voor de jaren 1990/2010*, SWOV, Leidschendam.

Krabbenbos, J.; Maarseveen, M.F.A.M. van & Zuidgeest, M.H.P. (2002). *Evaluating access road network structures for built-up areas from a sustainable transport perspective*. In: Sucharov, L.J. & Brebbia, C.A. (eds.), Urban Transport VIII, WIT Press, Southampton, UK.

Ládrón de Guevara, F.; Washington, S.P. & Oh, J. (2004). *Forecasting crashes at the planning level; simultaneous negative binomial crash model applied in Tucson, Arizona*. In: Transportation Research Record 1897. pp. 191-199. Transportation Research Board, Washington, D.C.

Le Corbusier (1987). *The city of tomorrow*. The Architectural Press, London (translation of the original French version published in 1924 as *Urbanisme*)

Lovegrove, G.R. & Sayed, T. (2006). *Using macro-level collision prediction models in road safety planning applications*. In: Transportation Research Record 1950. pp. 73-92. Transportation Research Board, Washington, D.C.

Lovegrove, G.R. & Sayed, T. (2007). *Macro-level collision prediction models to enhance traditional reactive road safety improvement programs*. In: Transportation Research Record 2019. pp. 65-73. Transportation Research Board, Washington, D.C.

Marks, H. (1957). *Subdividing for traffic safety*. In: Traffic Quarterly, July, pp. 308-325.

Miaou, S.-P. (1994). *The relationship between truck accidents and geometric design of road sections: Poisson versus negative binomial regressions*. In: Accident Analysis and Prevention, Volume 26, pp. 471-482.

Miaou, S.-P.; Song, J.J. & Mallick, B.K. (2003). *Roadway traffic crash mapping; a space-time modeling approach*. Journal of Transportation and Statistics, Volume 6, Nr. 1, pp. 33-57.

Minnen, J. van & Slop, M. (1994). *Concept-ontwerpeisen duurzaam-veilig wegennet*. R-94-11. SWOV, Leidschendam.

Minnen, J. van (1999). *Geschiede grootte van verblijfsgebieden*. R-99-25. SWOV, Leidschendam.

Pfundt, K. et al. (1979). *Großversuch Verkehrsberuhigung in Wohngebieten*. Schlußbericht der Beratergruppe. Der Minister für WMV des Landes Nordrhein-Westfalen. Kirschbaum Verlag, Köln.

Poppe, F. (1997). *Duurzaam-veilig en bereikbaarheid: proefproject Midden-Nederland*. R-97-40. SWOV, Leidschendam.

Quddus, M.A. (2008). *Modelling area-wide count outcomes with spatial correlation and heterogeneity: an analysis of London crash data*. In: Accident Analysis and Prevention, Volume 40, pp. 1486-1497.

Rifaat, S.M. & Tay, R. (2009). *Effects of street patterns on injury risks in two-vehicle crashes*. In: Transportation Research Record 2102. pp. 61-67. Transportation Research Board, Washington, D.C.

Skoupil, G.; Müller, P. & Topp, H.H. (1983). *Folgen der Verdrängung von Kfz-Verkehr aus verkehrsberuhigten Bereichen und dessen Bündelung auf Randstraßen*. Heft 400. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik. Bundesministerium für Verkehr, Bonn.

Sluis, J. van der & Janssen, S.T.M.C. (2000). *A method to assess road safety of planned infrastructure: case study of Maastricht in the framework of the European research project DUMAS*, Workpackage 9. D-2000-14. SWOV, Leidschendam.

SWOV (1997). *Implementatie van duurzaam-veilige maatregelen in het Westland : een studie naar de aanpak, de kosten en de gevolgen voor de veiligheid van een duurzaam-veilige infrastructuur volgens een drietal scenario's*. R-97-46. SWOV, Leidschendam.

VenW (1984). *Handboek 30 km/h maatregelen*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag.

VNG; IPO; VenW & UvW (1997). *Startprogramma Duurzaam Veilig Verkeer 1997-2000*. Vereniging van Nederlandse Gemeenten, Interprovinciaal Overleg, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Unie van Waterschappen, 's Gravenhage.

Walraad, A. & Poppe, F. (1998). *Verkeersleefbaarheid in nieuwbouwlocaties: aanbevelingen voor een goede verkeersstructuur*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Adviesdienst Verkeer en Vervoer, Rotterdam.



Weijermars, W.A.M. & Schagen, I.N.L.G. (eds.) (2009). *Tien jaar Duurzaam Veilig*. R-2009-14. SWOV, Leidschendam.

Wijlhuizen, G.J., Goldenbeld, Ch, Kars, V. & Wegman, F.C.M. (2012). *Monitor verkeersveiligheid 2012*. R-2012-20. SWOV, Leidschendam.