

# Evaluatie van maatregelen met microsimulatiemodellen

## Toepassingsmogelijkheden bij verkeersveiligheidsonderzoek

### Samenvatting

Onderzoek met verkeersmodellen is relatief nieuw in het werkveld van de verkeersveiligheid. Al langer worden verkeersmodellen gebruikt voor de evaluatie van infrastructurele en verkeersmanagementmaatregelen t.a.v. verkeersdoorstroming en reistijden. Het gebruik van verkeersmodellen voor verkeersveiligheid richt zich vooral op de effectschatting (impact assessment) van Intelligente Transport Systemen (ITS) en het gebruik van kencijfers en Accident Prediction Models (APM) in combinatie met een verkeersmodel. Binnen het SWOV-onderzoek 'Routekeuze in een wegennet' is een microsimulatiemodel toegepast. Hiervoor is onderzoek gedaan hoe met behulp van een microsimulatiemodel de verkeersveiligheid van een gekozen route, en wijzigingen daarin kunnen worden beoordeeld.

*Hans Drolenga, Grontmij*

*Luc Wismans, Goudappel Coffeng*

*Atze Dijkstra, SWOV*

*Peter Morsink, SWOV*

### Inleiding

Dit paper geeft een overzicht van de state-of-the-art van verkeersmodellen voor verkeersveiligheidsonderzoek, zowel van toepassingen waarbij effecten van verkeersveiligheidsmaatregelen zijn doorgerekend met verkeersmodellen (input) als van toepassingen waarbij getracht is om verkeersveiligheidseffecten te kwantificeren met verkeersmodellen (output). Daarnaast wordt een overzicht gegeven van indicatoren om verkeersveiligheid in modellen te bestuderen die in het kader van het SWOV-onderzoeksproject 'Routekeuze in een wegennet' zijn ontwikkeld. Afgesloten wordt met een blik in de toekomst: welke ontwikkelingen zijn er op het gebied van microsimulatiemodellen en verkeersveiligheidsonderzoek nog te verwachten.

### State-of-the-art van verkeersmodellen voor verkeersveiligheidsonderzoek

#### *Algemeen*

Verkeersmodellen ontstaan vanuit de behoefte aan inzicht in de effecten van mogelijke toekomstscenario's op het verkeers- en vervoerssysteem. De modellen beogen daarin samen-

hangen te tonen tussen verkeersstromen en het aanbod van infrastructuur, en verandering daarin, op basis van een totaalbeeld van het verkeer, ook al is er soms maar beperkte informatie beschikbaar.

In de jaren '80 is de ontwikkeling en toepassing van dynamische verkeersmodellen in gang gezet, mede door de toename van de capaciteit van de computers. Tot nu toe is een sterke groei te zien in de ontwikkeling en toepassing van deze modellen. De historie en elkaar snel opvolgende nieuwe ontwikkelingen maken dat verkeersmodellen door verkeerskundigen breed geaccepteerd worden als een veelzijdig instrument voor het verkrijgen van inzicht in het verkeerssysteem.

Dynamische verkeersmodellen zijn tijdsbeschrijvende modellen, die de resulterende verkeersafwikkeling berekenen en daarbij rekening houden met veranderingen in de vraag naar en het aanbod van infrastructuur. De toestand op tijdstip  $t+1$  wordt daarbij berekend op basis van de toestand op tijdstip  $t$ . Dynamische verkeersmodellen worden ook wel simulatiemodellen genoemd en kunnen verder worden onderverdeeld in macroscopische, mesoscopische en microscopische modellen. Microscopische dynamische modellen gaan uit van de kleinste eenheid (individuele voertuigen en verkeersdeelnemers) die op basis van gedragsregels wordt afgewikkeld over het wegennet. In de modellen worden de eigenschappen en gedragingen van verkeersdeelnemers, voertuigen en infrastructuurelementen betrokken, die bij elkaar opgeteld een totaalbeeld van het verkeer kunnen geven. De meeste modellen zijn gebaseerd op zowel de mechanische en functionele eigenschappen van voertuigen (en ingebouwde systemen) als het gedrag van de bestuurder. Bij gedrag gaat het hierbij met name om de modellering van routekeuzegedrag, rijstrookwisselgedrag, hiaatacceptatie en voertuigvolggedrag. De modellen bieden daarbij vaak de mogelijkheid om specifieke verdelingen van parameters behorend bij dit gedrag (bijvoorbeeld agressiviteit, bekendheid met het netwerk, hiaatacceptatie) over individuele verkeersdeelnemers (voertuig-bestuurder combinaties) toe te passen.

#### *Huidige verkeersveiligheidstoepassingen*

In de literatuur zijn er zowel toepassingen waarbij effecten van verkeersveiligheidsmaatregelen zijn doorgerekend met verkeersmodellen (input) als toepassingen waarbij getracht is om de verkeersveiligheidseffecten te kwantificeren met verkeersmodellen (output).

Met betrekking tot de inputzijde, het modelleren van verkeersveiligheidsmaatregelen ligt de nadruk vooral bij ITS-systemen en daarbinnen vaak ADA-systemen. Er bestaan infrastructuur- en verkeersmanagementtoepassingen gericht op verkeersveiligheid die met microsimu-

latie zijn doorgerekend, echter dit is een zeer beperkt aantal. Vaak betreft het onderzoek naar het effect van deze verkeersveiligheidsmaatregelen op de afwikkeling, bijvoorbeeld afhankelijk van penetratiegraden van ADA-systemen.

Met betrekking tot de ouputzijde, het kwantificeren van verkeersveiligheidseffecten, is al het nodige onderzoek verricht en zijn er toepassingen geweest in relatie tot microsimulatiemodellen. De meest directe indicatoren om verkeersveiligheid te beschrijven hebben betrekking op letselongevallen. Binnen een verkeersmodel kunnen zich echter geen ongevallen voordoen (de gedragsmodellen en voertuigeigenschappen zijn dusdanig dat voertuigen niet zullen botsen). Daarbij wordt het modelleren van daadwerkelijk ongevallen ook niet erg zinvol en werkbaar geacht in verband met de veelzijdige toedracht van ongevallen, en hun onvoorspelbare karakter. Hierdoor is het zeer complex om het optreden van een ongeval op een bepaalde plek, op een bepaald tijdstip, met een bepaalde bestuurder en in bepaalde omstandigheden, aan één of meerdere specifieke condities te koppelen, die in een verkeersmodel kunnen worden gemodelleerd. Er wordt daarom gebruik gemaakt van alternatieve methoden zoals het gebruik van risicocijfers of afgeleide indicatoren.

#### *Aandachtspunten en initiatieven voor verbetering*

De gedragsmodellen binnen microsimulatiemodellen kennen over het algemeen mogelijkheden voor variaties van gedrag tussen bestuurders. Zelden echter is er de mogelijkheid tot variatie binnen het gedrag van individuele bestuurders. Daarnaast laat de transparantie van de modellen te wensen over, mede omdat menselijke gedragsvariaties en specifieke voertuig- of systeeminstellingen nogal eens gecombineerd worden, via een beperkt aantal instelbare parameters in een soort gecombineerde voertuig-bestuurderentiteiten. Ook gedragen in een simulatie alle voertuig-bestuurdercombinaties zich op een 'veilige' manier, terwijl in de werkelijkheid bestuurders fouten kunnen maken waardoor onveilige situaties kunnen ontstaan. De variatie tussen bestuurders gebeurt door random sampling. Dat suggereert wel meer realisme, maar is vaak arbitrair en niet erg significant voor de resultaten. Daarnaast is er twijfel over de consistentie in gedrag bij de verschillende distributies van variabelen.

Binnen verschillende onderzoeken is dan ook onderzoek gedaan naar het verbeteren van de gedragsmodellen naar meer realistisch gedrag waarbij bestuurders bijvoorbeeld ook fouten kunnen maken. Deze uitbreiding van de gedragsmodellen met cognitieve modellen wordt ook wel de stap richting nanoscopische simulatiemodellen genoemd. Daarnaast zijn er verschillende onderzoeken waarbij het gedrag van bestuurders nader is onderzocht op basis van o.a. simulatoronderzoek, video-observaties en floating car data waarmee de modellering is verbeterd.

Een eerste belangrijk aandachtspunt voor de meestal binnen microsimulatiemodellen gebruikte afgeleide indicatoren is hun geschiktheid en validiteit. Voor functioneel geschikte indicatoren is een statistisch betrouwbaar causaal verband met letselongevallen noodzakelijk voor een kwantificatie van verkeersveiligheidseffecten. Validatie van de indicatoren moet daarom continu aandacht blijven krijgen. De lacunes die daar nog liggen zijn een onderwerp van veel lopend onderzoek. Een tweede belangrijk aandachtspunt is de nauwkeurigheid waarmee voertuigbewegingen en interacties tussen voertuigen worden gemodelleerd. De afgeleide indicatoren beschrijven verkeersbewegingen op een gedetailleerde manier. Rareiten, zoals onrealistische bewegingen of manoeuvres moeten daarom worden voorkomen. Met name de nauwkeurigheid van laterale bewegingen en het realiteitsgehalte van de verkeersafwikkeling op kruispunten dienen verbeterd te worden. Het laatste item heeft ook een sterke relatie met bestuurdersmodellen en is in verschillende studies onderwerp van onderzoek.

### **Routekeuze in een wegennet**

In 2003 heeft de SWOV het onderzoeksproject Routekeuze in een wegennet gestart om de aard van dergelijke routekeuzemechanismen te onderzoeken. Het is niet alleen de bedoeling om de mechanismen te beschrijven maar ook na te gaan of een doelbewuste beïnvloeding van deze mechanismen mogelijk is, en tot welke effecten (bereikbaarheid, doorstroming, veiligheid) dit zal leiden. De aangeduide mechanismen zijn tamelijk gecompliceerd. De meest aangewezen manier om er een studie naar te doen is via het gebruik van verkeerssimulatiemodellen, en in het bijzonder microsimulatiemodellen.

Om de verkeersveiligheid in modellen te bestuderen zijn in het onderzoek drie soorten indicatoren onderscheiden die zijn toegepast in combinatie met het gebruik van het simulatiepakket S-Paramics (Dijkstra & Drolenga, 2007):

#### *1. Indicatoren samenhangend met ongevallencijfers (de SWOV-kencijfers)*

Kencijfers kwantificeren de verkeersonveiligheid van bepaalde weg- of kruispunttypen. Een kencijfer wordt bepaald door de onveiligheid over een bepaald wegtype of kruispunttype af te zetten tegen een expositiemaat.

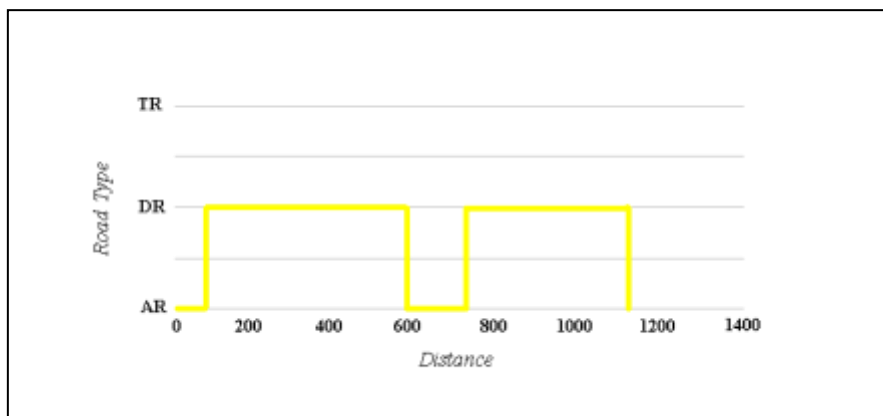
#### *2. Indicatoren die zijn afgeleid van het gewenste routediagram*

Goldenbeld et al. (2006) zijn nagaan welke factoren van belang zijn voor routekeuze. Dit betreft de routekeuze op regionaal niveau: autobestuurders die regelmatig naar Den Haag rijden komende vanaf het gebied dat Katwijk, Leiden en tussenliggende kernen omvat. Uit de

studie blijkt dat snelste en kortste route de belangrijkste keuzecriteria zijn, veiligheid komt pas op de achtste plaats. Als de snelste route en veiligste route samenvallen, komt veiligheid als vanzelf aan bod, anders niet.

Duurzaam Veilig eist daarom dat de snelste en veiligste route moeten samenvallen. Bereikbaarheids- of doorstromingsaspecten bepalen wat de snelste route is, veiligheidsaspecten wat de veiligste route is. Deze eis legt een link tussen beide aspecten, op verschillende niveaus: op straatniveau, op routeniveau en op netwerkniveau. De doorstroming op een bepaald wegvak kan de aanvankelijk snelste route doen verlangsamen, waardoor verkeersdeelnemers andere routes kiezen. Vervolgens zullen deze verkeersdeelnemers op de nieuw gekozen routes weer invloed hebben op verkeer dat al voor die routes had gekozen. Dat kan leiden tot nieuwe verschuivingen en op die manier het verkeer in het gehele wegennet beïnvloeden. Dit leidt tot andere snelste routes en heeft, door een andere hoeveelheid en samenstelling van het verkeer en van de verkeersbewegingen, ook effect op de verkeersveiligheid. Dit mechanisme van verdeling van het verkeer is dus van belang voor de gestelde DV-eis.

Het routediagram laat een routeverloop zien dat alle wegcategorieën in de juiste volgorde en in de juiste lengteverhoudingen bevat.



*Figuur 1. "Fout" routediagram.*

De indicatoren betreffen de eisen aan de eigenschappen van een route die een sterke relatie hebben met verkeersveiligheid. Bijvoorbeeld een lange route leidt tot meer expositie aan onveiligheid dan een kortere route. Bijna alle criteria zijn afgeleid van het gewenste routediagram. De afwijking van een route van het gewenste diagram bepaalt de mate van veronderstelde onveiligheid.

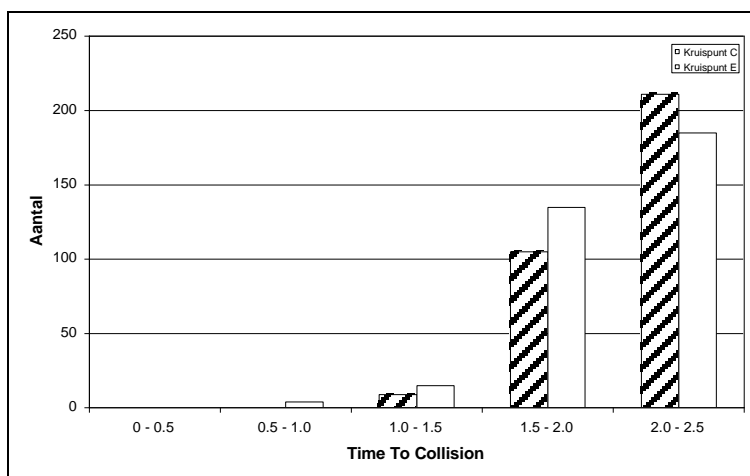
criterium	Toelichting	Eenheid
1	Overgangen wegcategorieën beperkt	Aantal extra overgangen
2	Aard van de overgang klopt	Aantal foute overgangen
3	Zo min mogelijk ontbrekende wegcategorieën	Aantal ontbrekende wegcategorieën
4	Aandeel in lengte van Erftoegangswegen zo laag mogelijk	Percentage t.o.v. totale afstand
5	Aandeel in lengte van gebiedsontsluitingswegen zo laag mogelijk	Percentage t.o.v. totale afstand
6	Afgelegde afstand	Meter
7	Reistijd	Seconde
8	Zo min mogelijk linksafslaan	Aantal malen linksafslaan
9	Geringe kruispunt dichtheid tussen kruispunten van gebiedsontsluitingswegen onderling	Aantal/km

Tabel 1. Negen criteria voor de keuze van een veilige route.

### 3. Indicatoren afgeleid van conflicten tussen voertuigen in het simulatiemodel

De conflictmaten geven een kwantitatief inzicht in de mate waarin voertuigen langs een route andere voertuigen ontmoeten en hoe die ontmoeting verloopt. De aard van de voertuigen (massa), hun richting, snelheid en positie (in het dwarsprofiel) bepalen in belangrijke mate de ernst van de conflicten. Er is hier steeds sprake van berekende conflicten in een simulatiemodel, dus geen werkelijke conflicten, laat staan (bijna-)ongevallen.

De uitkomsten van het microsimulatiemodel wat betreft routekeuze zijn nog niet afgezet tegen waarnemingen in de praktijk. Mede daarom heeft dit deelonderzoek nog geen definitief antwoord gegeven op de vraag of microsimulatiemodellen een geschikt onderzoeksinstrument zijn bij dit soort (routekeuze)onderzoek.



Figuur 2. Aantal TTC's per kruispunt naar ernst.

## **Verdere ontwikkelingen**

Een brede verzameling van ADAS is in aanleg geschikt voor evaluaties met verkeersmodellen (Morsink & Wismans, 2007). Microsimulatie is daarbij nodig om op het niveau van individuele voertuigen en individuele bestuurders relevante onderzoeksvariabelen te kunnen toepassen, gerelateerd aan de functionaliteit van de systemen en daaraan gekoppeld bestuurdersgedrag. Op korte termijn ligt het niet voor de hand dat grote aanpassingen (bestuurder-voertuigmodel, indicatoren) in de beschikbare pakketten worden doorgevoerd. Daardoor zal in eerste instantie uitgegaan moeten worden van een relatief eenvoudig model met enkele primaire gedragskenmerken in een beperkt aantal variaties. Het zal daarbij vooral gaan om kwalitatieve voorspellingen van ongevallenreducties door ADAS. Een meer kwantitatieve voorspelling kan enkel plaatsvinden wanneer systeem- en gedragseffecten voldoende realistisch kunnen worden gemodelleerd, en dan enkel met betrekking tot die effecten waarvoor een sterk causaal verband is met ongevallen. Wanneer deze zaken zich in de loop der tijd verbeteren, dan kunnen de modellen een sterker voorspellend karakter krijgen. Als een eerste aanzet hiervoor is men in verschillende onderzoeken begonnen met het combineren of integreren van simulator- en simulatiestudies en soms ook veldexperimenten voor het verbeteren van bestuurdersmodellen. Naast verbeteren van de bestuurdersmodellen zullen koppelingen van simulatoronderzoek met verkeerssimulaties ook nuttig blijven voor combinaties van effectbepalingen op microniveau en netwerkniveau. En simulatoronderzoek kan profiteren van simulatiemodellen, omdat op die manier het omringende verkeer in de simulator realistischer kan worden. Ook dat gebeurt her en der al.

De kencijfers die momenteel in verkeersmodellen worden toegepast, hebben overwegend een statisch karakter. De nadruk ligt meestal op het prognosticeren van de verschillen in het gebruik van wegtypen en daarmee de verkeersveiligheid (de expositiekant). Een recent voorbeeld van onderzoek waarin deze aanpak wordt gehanteerd zijn de zogeheten netwerk-analyses (Schermers et al., 2008). Daarnaast zijn er APM's in ontwikkeling (Reurings et al., 2005) die veranderingen van intensiteiten, snelheden en/of wegkenmerken en wegtypen relateren aan ongevallen. Met deze kennis kan er meer nadruk komen te liggen op het prognosticeren van de wijzigingen in kencijfer door maatregelen (risicokant). Dit kan uiteindelijk resulteren in een soort dynamische kencijfers die zich als functie van de tijd of plaats aanpassen aan de lokale omstandigheden. Deze zouden vervolgens in verschillende typen dynamische modellen toegepast kunnen worden, en een koppeling met de door de SWOV ontwikkelde Verkeersveiligheidsverkenner Voor de Regio (Janssen, 2005) lijkt erg relevant.

## Referenties

Dijkstra, A. & Drolenga, J. (2007). *Verkeersveiligheidsevaluaties van routekeuze: bouwstenen voor een methode gebaseerd op het gebruik van microsimulatiemodellen*. R-2006-19. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Goldenbeld, Ch., Drolenga, J. & Smits, A. (2007). *Routekeuze van automobilisten. Resultaten van een vragenlijstonderzoek*. R-2006-33. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Janssen, S.T.M.C. (2005). *De Verkeersveiligheidsverkenner gebruikt in de regio; De rekenmethode en de aannamen daarin*. R-2005-6. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Morsink, P.L.J. & Wismans, L.J.J. *Verkeersmodellen en verkeersveiligheid. Een verkenning van toepassingsmogelijkheden voor verkeersveiligheidsonderzoek*. D-2007-xx (te verschijnen). Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Reurings, M., Janssen, T., Eenink, R., Elvik, R., Cardoso, J. & Stefan, C. (2005). *Accident prediction models and road safety impact assessment: a state-of-the-art*. Deliverable D2.1 of the RIPCoRD-ISEREST project. European Commission, Brussels.

Schermers, G. (SWOV), Drolenga, J. (Grontmij) & Tromp, H.L. (Goudappel Coffeng) (2008). *Verkeersveiligheid in regionale netwerkanalyses. Verkenning van een kwantitatieve analyse in Zuid-Limburg en Stadsregio Arnhem Nijmegen*. R-2007-12. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.