

Verkeersveiligheidsevaluaties van routekeuze

Ir. A. Dijkstra & ir. J. Drolenga

R-2006-19

Verkeersveiligheidsevaluaties van routekeuze

Bouwstenen voor een methode gebaseerd op het gebruik van
microsimulatiemodellen

Documentbeschrijving

Rapportnummer:	R-2006-19
Titel:	Verkeersveiligheidsevaluaties van routekeuze
Ondertitel:	Bouwstenen voor een methode gebaseerd op het gebruik van microsimulatiemodellen
Auteur(s):	Ir. A. Dijkstra & ir. J. Drolenga
Projectleider:	Ir. A. Dijkstra
Projectnummer SWOV:	39.301
Trefwoord(en):	Itinerary, decision process, safety, vehicle, mathematical model, micro, simulation, road network, accident rate, origin destination traffic, sustainable safety.
Projectinhoud:	De SWOV wil nagaan welke mogelijkheden er zijn om de routekeuze van bestuurders van motorvoertuigen zo te beïnvloeden dat die route past bij een van de functionele eisen van Duurzaam Veilig, namelijk dat de snelste en veiligste route moeten samenvallen. Onderzoek naar de verkeersveiligheid van routekeuze vereist indicatoren om de veiligheid van een gekozen route, en wijzigingen daarin, te kunnen beoordelen. In dit rapport worden deze indicatoren geformuleerd en toegepast op een testnetwerk in een microsimulatiemodel.
Aantal pagina's:	78 + 5
Prijs:	€ 15,-
Uitgave:	SWOV, Leidschendam, 2007

De informatie in deze publicatie is openbaar.
Overname is echter alleen toegestaan met bronvermelding.

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV
Postbus 1090
2260 BB Leidschendam
Telefoon 070 317 33 33
Telefax 070 320 12 61
E-mail info@swov.nl
Internet www.swov.nl

Samenvatting

In het onderzoeksproject *Routekeuze in een wegennet* wil de SWOV nagaan welke mogelijkheden er zijn om de routekeuze van bestuurders van motorvoertuigen zo te beïnvloeden dat die route past bij een van de functionele eisen van Duurzaam Veilig, namelijk dat de snelste en veiligste route moeten samenvallen.

Eerder is aangetoond dat microsimulatiemodellen een geschikt hulpmiddel zijn voor routekeuzeonderzoek. Het is mogelijk om er vooraf mee na te gaan hoe de routekeuze verandert als gevolg van nieuwe of aangepaste voorzieningen langs of op de weg, of in voertuigen. Onderzoek naar de verkeersveiligheid van routekeuze vereist indicatoren om de veiligheid van routekeuze, en wijzigingen daarin, te kunnen beoordelen. Dit rapport behandelt voornamelijk de formulering van deze indicatoren en de toepassing ervan op een testnetwerk in een microsimulatiemodel.

Er zijn twee typen verkeersveiligheidsindicatoren gekozen: algemene en voertuigafhankelijke.

De algemene indicatoren zijn onafhankelijk van de hoeveelheid verkeer in een wegennet. Ze zijn afgeleid uit de eigenschappen van routes die een sterke relatie hebben met verkeersveiligheid (bijvoorbeeld de lengte van de route, of het aantal en type overgangen tussen wegcategorieën). Aan de basis van deze algemene veiligheidscriteria ligt het 'routediagram', een methode om het Duurzaam Veilig-karakter van een route te visualiseren. Het gewenste routediagram laat een routeverloop zien dat alle wegcategorieën in de juiste volgorde en in de juiste lengteverhoudingen bevat. De afwijking van het gewenste diagram bepaalt de mate van veronderstelde onveiligheid van de route. Het routediagram geeft dus een kwalitatief beeld van de veiligheid, maar laat zich vertalen naar kwantitatieve veiligheidscriteria.

De voertuigafhankelijke indicatoren houden rekening met de actuele verkeerssituatie in het netwerk. Ze geven een kwantitatief inzicht in de mate waarin voertuigen langs een route andere voertuigen ontmoeten en hoe die ontmoeting verloopt; het zijn 'conflictmaten'. 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 resultaten van de gebruikte berekeningsmethoden blijken niet alle in dezelfde richting te wijzen wat de veiligheidseffecten van routekeuze betreft. Zowel de verklaring hiervoor als de bruikbaarheid van de methoden verdienen verder onderzoek.

In beginsel zijn de veiligheidscriteria voor routekeuze geschikt om in te bouwen in software voor routeplanners.

De toepassing van het microsimulatiemodel op een testnetwerk is niet voldoende om antwoord te geven op de vraag of microsimulatiemodellen een geschikt onderzoeksinstrument zijn bij verkeersveiligheidsonderzoek. Daarvoor dient een microsimulatie te worden uitgevoerd op een netwerk uit

de praktijk, waarbij de geregistreerde onveiligheid (meestal ongevallen) wordt afgezet tegen de berekende onveiligheid.

Er is meer onderzoek nodig naar de modellering van (ernstige) conflicten tussen verkeersdeelnemers. Met name moet het aantal berekende conflicten en de aard ervan overeenstemmen met conflicten die in werkelijkheid plaatsvinden. Daarvoor zijn waarnemingen in de praktijk noodzakelijk.

Summary

Safety assessment of route choice; Components for a method based on microsimulation models

In the SWOV study entitled *Route choice in a road network*, we wish to investigate the possibilities for influencing the route choice of motor vehicle drivers in such a way that the route meets one of Sustainable Safety's functional requirements, viz. the quickest and safest routes are one and the same.

It has previously been shown that microsimulation models are a suitable aid for route choice studies. They make it possible to examine beforehand how the route choice will change as a result of new or adapted facilities alongside or on the roads, or in vehicles. Studies of the safety of route choice, or changes in route choice, require safety indicators. In this report these indicators are formulated and applied in a test network in a microsimulation model.

We chose two types of road safety indicators: general and vehicle-dependant. The general indicators are independent of the traffic volume on a road network. They are derived from the route characteristics that are closely related to road safety, such as the route length or the number and type of transitions between different road types. These general safety criteria are rooted in the 'route diagram' which is a method of visualizing the Sustainable Safety character of a route. The correct route diagram shows a journey that contains all road types in the correct sequence and in the correct proportions of length. The deviation from the correct diagram determines how unsafe the presumed route is. Thus the route diagram expresses a qualitative safety that can be translated into quantitative criteria.

The vehicle-dependant indicators allow for the real-time traffic situation on the network. They express the extent to which vehicles encounter other vehicles along a route and how these meetings end; these are 'conflict indicators'. The mass of the vehicles, their direction, speed, and lateral position largely determine the severity of conflicts. We are still speaking here of calculated conflicts in a simulation model; in other words not of real conflicts, let alone near-misses.

The results of the calculation methods used do not all give the same safety effects of route choice. Further research is necessary to find the explanation for this and to determine the methods' utility.

In principle, the route choice safety criteria are suitable for (computer) programs used in route planners.

Applying the microsimulation model to a test network is insufficient for deciding on whether such models are a suitable road safety research instrument. To do this, a microsimulation must be tried out on a real-life road network, and the registered safety, usually expressed in crashes, should be compared with the calculated safety.

More research is needed to model serious conflicts between road users. What is especially important is that the number and nature of calculated conflicts must be similar to the real ones. That is why observations in real traffic are needed.

Inhoud

1.	Inleiding	9
1.1.	Achtergrond	9
1.2.	Indeling	10
2.	Eerder onderzoek en criteria simulatiemodellen	12
2.1.	Omvang verblijfsgebieden, netwerkstructuur en wegategorisering	12
2.1.1.	Omvang verblijfsgebieden	12
2.1.2.	Netwerkstructuur en verkeersveiligheid	14
2.1.3.	Wegategorisering	15
2.1.4.	Vraagstukken voor toekomstig onderzoek	15
2.2.	Overzicht van modellen en keuze van een microsimulatiemodel	16
2.2.1.	Inhoudelijke criteria	17
2.2.2.	Criteria bij het gebruik	20
2.2.3.	Overige criteria	21
2.2.4.	Afweging criteria	23
3.	Indicatoren voor verkeersveiligheid in microsimulatiemodellen	26
3.1.	Algemene verkeersveiligheidsindicatoren	27
3.1.1.	Kencijfers	27
3.1.2.	Duurzaam Veilig-eisen: het routediagram	28
3.1.3.	Duurzaam Veilig-gehalte van een route	32
3.1.4.	Duurzaam Veilig-gehalte van een HB-relatie	33
3.1.5.	Duurzaam Veilig-gehalte HB-relatie gegeven de infrastructuur	34
3.2.	Voertuigafhankelijke verkeersveiligheidsindicatoren	35
3.2.1.	Berekening time-to-collision op voertuigniveau	35
3.2.2.	Van TTC naar verkeersveiligheidsindicatoren op voertuigniveau	40
3.2.3.	Indicatoren voor volgtijd, volgafstand en snelheid	44
3.2.4.	Van voertuigniveau naar wegvak- of kruispuntniveau	46
3.2.5.	Van wegvak- en kruispuntniveau naar routeniveau	48
3.2.6.	Van routeniveau naar HB-niveau	49
4.	Een toepassing van verkeersveiligheidsindicatoren	51
4.1.	Beschrijving testnetwerk in Paramics	51
4.1.1.	Wegtypen	51
4.1.2.	Kruispunten	52
4.1.3.	Zones	52
4.1.4.	Uitvoering van de simulatie	54
4.1.5.	HB-relatie en bijbehorende routes	54
4.2.	Algemene verkeersveiligheidsindicatoren	54
4.2.1.	Duurzaam Veilig-gehalte	54
4.2.2.	Ernst- en risicomaten	60
4.3.	Verkeersveiligheidsindicatoren op voertuigniveau	61
4.3.1.	Aantal conflicten (Number of Collisions; NOC)	62
4.3.2.	Time Exposed Time-to-collision (TET)	63
4.3.3.	Time Integrated Time-to-collision (TIT)	63
4.3.4.	Potential Collision Energy (PCE)	63
4.3.5.	Volgafstand	65
4.3.6.	Volgtijd	65

4.3.7.	Snelheid	66
4.4.	Van wegvak- en kruispuntniveau naar routeniveau	68
4.5.	Van routeniveau naar HB-niveau	70
5.	Discussie, conclusies en aanbevelingen	73
5.1.	Discussie	73
5.2.	Conclusies en aanbevelingen	74
Literatuur		76
Bijlage	Voorbeelden van berekeningen met het Duurzaam Veilig- gehalte van een HB-relatie <i>gegeven de infrastructuur</i>	79

1. Inleiding

In het onderzoeksproject *Routekeuze in een wegennet* wil de SWOV nagaan welke mogelijkheden er zijn om de routekeuze van bestuurders van motorvoertuigen zo te beïnvloeden dat die route past bij een van de functionele eisen van Duurzaam Veilig, namelijk dat de snelste en veiligste route moeten samenvallen. In dit project staan drie onderzoeksvragen centraal:

1. Welke onderzoeksmethoden zijn geschikt om routekeuze mee te onderzoeken?
2. In welke mate zijn de huidige gekozen routes verkeersveilig? Hierbij horen de ontwikkeling van indicatoren en criteria om de veiligheid van routes vast te kunnen stellen.
3. Is het mogelijk om routekeuze te beïnvloeden in de richting van de veilige routes? Zo ja, op welke manier? En welke effecten geeft dat voor de verkeersveiligheid?

Dit rapport geeft de aanleiding en achtergrond van dit onderzoeksproject, en een samenvatting van het antwoord op de eerste onderzoeksvraag. In het bijzonder behandelt dit rapport echter de tweede onderzoeksvraag, en dan met name de verschillende indicatoren voor verkeersonveiligheid. In een vervolg op dit rapport komt de derde onderzoeksvraag aan bod.

1.1. Achtergrond

Duurzaam Veilig stelt niet alleen eisen aan de vormgeving van straten en wegen maar ook aan de structuur en het gebruik van het wegennet. Een belangrijke eis aan het wegennet is dat snelste en veiligste routes moeten samenvallen. Het mogelijk ongewenste gevolg van deze eis is dat autoverkeer dwars door verblijfsgebieden heen zou 'moeten' gaan rijden, gebieden met gewoonlijk zeer veilige straten of wegen. Daarom is er een aanvullende eis dat een route zo moet zijn opgebouwd dat alleen het begin en einde van een rit over erftoegangswegen voert, en het overige (grootste) ritdeel over stroomwegen of, als die niet of onvoldoende aanwezig zijn, over gebiedsontsluitingswegen.

Om een dergelijke routekeuze inderdaad te bewerkstelligen, zou de weerstand (meestal uitgedrukt in reistijd) van een route dwars door verblijfsgebieden groter moeten zijn dan van een route via stroomwegen en/of gebiedsontsluitingswegen. Daarnaast kan de routekeuze worden beïnvloed door aanwijzingen langs de weg of in het voertuig en eventueel door de vormgeving van de weg en zijn omgeving.

Overigens is het noodzakelijk dat voor een goed functionerend duurzaam veilig wegennet verkeer op stroomwegen daadwerkelijk kan stromen. Anders zal de weerstand van een route door verblijfsgebieden opwegen tegen de weerstand van een route over stroomwegen.

Voor een duurzaam veilig wegennet is ook van belang dat de wegcatégorisering overeenkomt met de gewenste functionele verdeling van het verkeer over het wegennet. Hierbij is de maaswijdte van gebiedsontsluitingswegen (en stroomwegen) aan de orde (Van Minnen, 1999). Over de beoogde maaswijdten van deze wegcatégorieën is weinig vastgelegd. Naast maaswijdte 'sec' kan ook het belang en de aard van verbindingen tussen verschillende soorten woonkernen (afhankelijk van aantal inwoners of

voorzieningen) maatgevend zijn voor de opbouw van een duurzaam veilig wegennet (Dijkstra, 2003).

Duurzaam Veilig wil verkeersveiligheid incorporeren in verkeersplannen en daardoor de verkeersveiligheid van de uiteindelijke verkeerssituaties vooraf beïnvloeden. In het planning- en ontwerpstadium van deze verkeersplannen moet men kunnen nagaan of het netwerk zal functioneren volgens de voorgaande netwerkeisen, met name ten aanzien van veiligheid.

Het is moeilijk om de gevolgen van een verkeersplan te overzien door de grote hoeveelheid gegevens die een rol spelen bij verkeersplannen (veel mogelijke herkomst- en bestemmingsgebieden, verplaatsingsmotieven, vervoerswijzen, alternatieve routes). Daarom gebruiken plannenmakers vaak verkeersmodellen en verkeerssimulatiemodellen. Verkeersmodellen verdelen de potentiële verplaatsingen tussen herkomst- en bestemmingsgebieden over de verschillende vervoerswijzen en verdelen vervolgens de resulterende ritten over de routes in de verschillende netwerken (met name voor fiets, openbaar vervoer en gemotoriseerd verkeer). De gangbare verkeersmodellen delen verkeer alleen toe aan de wegvakken van de verschillende netwerken (per vervoerswijze). Verkeersmodellen zijn vooral bedoeld om de doorstroming in een wegennet te optimaliseren. Verkeersveiligheid heeft geen speciale functie of doel binnen dergelijke modellen.

In microsimulatiemodellen is het mogelijk om afzonderlijke voertuigen een route te laten volgen door een netwerk. De routekeuze van elk gesimuleerd voertuig is afhankelijk van enkele vooraf ingestelde randvoorwaarden en van diverse variabelen (die een functie zijn van hulpmiddelen in het voertuig, voorzieningen op de weg, motief van de bestuurder, tijdstip, interactie met overig verkeer). Op deze manier is het mogelijk vooraf na te gaan hoe de routekeuze verandert als er nieuwe of aangepaste voorzieningen langs of op de weg, of in voertuigen zijn gepland.

Voor een onderzoek naar de effecten van routekeuze op verkeersveiligheid lijken microsimulatiemodellen een zeer geschikt hulpmiddel (zie eerste onderzoeksvraag). Dergelijke modellen kunnen al in het planning- en ontwerpstadium duidelijk maken welke verkeersveiligheidseffecten op kunnen gaan treden en welke mogelijkheden er zijn om die effecten te beïnvloeden. Ook is het mogelijk om met deze modellen de verkeerscirculatie te optimaliseren voor verkeersveiligheid in plaats van doorstroming.

1.2. Indeling

Zoals in de vorige paragraaf is beschreven, zijn microsimulatiemodellen zeer geschikt zijn als onderzoeksmethode (eerste onderzoeksvraag). *Hoofdstuk 2* van dit rapport vat samen aan welke criteria deze simulatiemodellen moeten voldoen voor toepassing in dit project. Ook geeft *Hoofdstuk 2* een kort overzicht van onderzoek dat voorafging aan het routekeuzeproject, en dat daarvoor relevant is.

Routekeuze kan men op verschillende manieren modelleren en simuleren, dat blijkt uit de verschillen tussen de bestaande modellen. Deze verschillen zijn niet in de eerste plaats onderwerp van studie in dit project. Gegeven de routekeuze in een voorliggend model is hier aan de orde welke eigenschappen elke route heeft en welke gevolgen dat heeft voor verkeersveilig-

heid. In dit onderzoeksproject ligt de nadruk op de ontwikkeling van indicatoren voor de verkeersveiligheid van routes, en op experimenten daarmee (zie de tweede onderzoeksvraag).

Dit rapport introduceert in *Hoofdstuk 3* verschillende indicatoren voor de verkeersveiligheid van elke (potentiële) route. Er zijn twee typen verkeersveiligheidsindicatoren gekozen: algemene en voertuigafhankelijke.

De algemene indicatoren of veiligheidscriteria zijn onafhankelijk van de feitelijke hoeveelheid verkeer in een wegennet. Ze betreffen de eisen aan de eigenschappen van een route die een sterke relatie hebben met verkeersveiligheid. Bijvoorbeeld een lange route leidt tot meer blootstelling aan onveiligheid dan een kortere route. Bijna alle criteria zijn afgeleid van het gewenste routediagram, ook wel Duurzaam Veilig- of DV-trappetje genoemd. Het gewenste routediagram laat een routeverloop zien dat alle wegcategorieën in de juiste volgorde en lengteverhoudingen bevat. De afwijking van een route van het gewenste diagram bepaalt de mate van veronderstelde onveiligheid.

De voertuigafhankelijke indicatoren houden rekening met de actuele verkeerssituatie in het netwerk. Ze geven een kwantitatief inzicht in de mate waarin voertuigen langs een route andere voertuigen ontmoeten en hoe die ontmoeting verloopt; het zijn conflictmaten. 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 gebruikte conflictmaten geven ieder voor zich een andere kijk op de onveiligheid van elke route.

Dit rapport behandelt een stadium van het onderzoek waarin alleen een testnetwerk is gebruikt om de voorgestelde indicatoren toe te passen. *Hoofdstuk 4* laat deze toepassing in het testnetwerk zien. In *Hoofdstuk 5* volgen ten slotte discussie, conclusies en aanbevelingen. In een later stadium zal het onderzoek zich richten op modellen van wegennetten uit de praktijk.

2. Eerder onderzoek en criteria simulatiemodellen

Allereerst behandelt dit hoofdstuk onderzoek dat voorafging aan het routekeuzeonderzoek, en dat daarvoor relevant is. Het betreft onderzoek naar de mogelijkheden om bestaande routes te beïnvloeden door de structuur van het wegennet aan te passen. De wegategorisering, de maaswijdte van de hoofdwegen, de feitelijke inrichting (vormgeving) van wegen en straten en de regelgeving hierop (snelheidslimiet, voorrang) bepalen mede welke routes bestuurders (onderbewust) kiezen.

Naar aanleiding van de eerste onderzoeksvraag ('Welke onderzoeksmethoden...?') zijn twee onderwerpen nader onderzocht: ten eerste is nagegaan welke microsimulatiemodellen in omloop zijn en hoe relevant of bruikbaar die zijn voor toepassing in dit project. En vervolgens is een microsimulatiemodel toegepast op een stedelijk gebied (Utrecht; zie ook *Paragraaf 2.1.3*). Met dit model van Utrecht is nagegaan hoe de routes per herkomst-bestemmingspaar verschillen in veiligheid (gebruikmakend van zogeheten routediagrammen).

2.1. Omvang verblijfsgebieden, netwerkstructuur en wegategorisering

Duurzaam Veilig stelt een aantal eisen die samenhangen met routekeuze: de verblijfsgebieden moeten zo groot mogelijk zijn, een verplaatsing moet zo kort mogelijk zijn, het verkeer rijdt zo min mogelijk over onveilige wegen en ten slotte moeten de kortste en veiligste route samenvallen. Deze eisen hebben gevolgen voor of raakvlakken met de omvang van verblijfsgebieden, de netwerkstructuur en de wegategorisering. Op deze onderwerpen gaan we hierna in.

2.1.1. Omvang verblijfsgebieden

Van Minnen & Slop (1994) hebben getracht met een ritduurcriterium de omvang van verblijfsgebieden en de maaswijdte van verkeersaders te bepalen. Zij stelden dat een bestuurder maximaal drie tot vijf minuten onder het regime van een lage snelheidslimiet zou willen rijden. Voor elk wegtype is dan te bepalen, gegeven de snelheidslimiet en maximaal gewenste tijdsduur, over welke lengte een bestuurder deze limiet aan moet houden. De boven- en ondergrenzen van het ritduurcriterium zijn vooralsnog niet door onderzoek vastgesteld. Daarmee is de praktische betekenis voorlopig gering. Vervolgens heeft Van Minnen (1999) onderzocht welke andere criteria van belang zijn voor de omvang van (stedelijke) verblijfsgebieden:

- totale ritlengte (binnen een gebied en op de wegen er omheen);
- motorvoertuigintensiteiten op de straten in het gebied;
- snelheden gemotoriseerd verkeer;
- aandeel doorgaand verkeer;
- bereikbaarheid voorzieningen;
- bereikbaarheid voor noodhulpdiensten en voertuigen voor openbaar vervoer.

Met modelberekeningen (eenvoudige berekeningen met een spreadsheet) concludeert Van Minnen (1999) dat een groter gebied de ritlengtes niet

vergroot. Deze conclusie geldt voor een vierkant gebied met aansluitingen aan twee of meer zijden (bij voorkeur aan alle vier zijden). Ook moet het aantal aansluitingen per zijde toenemen naarmate de lengte van de zijden toeneemt.

De verdeling van het verkeer in een gebied hangt sterk af van de gekozen interne verkeersstructuur en van de locatie en frequentie van de aansluitingen. Van Minnen (1999) geeft het volgende rekenvoorbeeld: een enkele aansluiting met een boomstructuur (zie *Afbeelding 2.1*) en een omvang van 20 tot 30 ha leidt tot intensiteiten van maximaal ongeveer 4.500 motorvoertuigen per etmaal op de straten waar men het gebied inkomt of verlaat. Een gebied met vier aansluitingen (elke zijde van het vierkant een aansluiting) en een omvang van 100 ha heeft dezelfde maximale intensiteiten. Een grotere omvang en vergelijkbare intensiteiten kan bij nog meer aansluitingen.

In gebieden die kleiner of gelijk zijn dan 200 ha bedraagt de afgelegde afstand binnen het gebied, bij voldoende aansluitingen, hooguit een kilometer. Bij een rijsnelheid van 20 km/uur legt men die afstand in drie minuten af, vermoedelijk niet bezwaarlijk voor de meeste bestuurders. Hiermee komt overigens het eerdergenoemde ritduurcriterium weer om de hoek kijken.

Het aandeel doorgaand verkeer in een verblijfsgebied, dus dat daar geen herkomst en bestemming heeft, kan men verminderen door:

- verhogen gemiddelde snelheid op de omliggende wegen van een gebied;
- verlagen gemiddelde snelheid in een gebied;
- verlengen van de sluiproutes;
- verminderen van het aantal aansluitingen.

Deze vier mogelijkheden zijn geëvalueerd in een modelstudie (micro-simulatiemodel AIMSUN) door Krabbenbos (2000) en bevestigd in een praktijkstudie door Van Minnen & Krabbenbos (2002). De bereikbaarheid van voorzieningen (winkels, andere openbare functies) ondervindt bij deze maatregelen nauwelijks belemmeringen zolang de omvang beneden 200 ha blijft; de extra ritduur is immers slechts enkele minuten. De bereikbaarheid voor voetgangers hangt gedeeltelijk af van de oversteekvoorzieningen en de intensiteiten in het gebied en op de omliggende wegen.

De bereikbaarheid voor noodhulpdiensten neemt af doordat een verblijfsgebied in het algemeen beperkingen oplegt aan deze voertuigen. Een snelheid van 30 km/uur in plaats van 50 km/uur leidt voor ambulances en brandweerauto's tot een maximale extra reistijd van 11 seconden bij een omvang van 25 ha en van 31 seconden bij 200 ha (Van Minnen, 1999). Of deze extra reistijd acceptabel is hangt mede af van de overige reistijd buiten het gebied. Dezelfde auteur schat dat voertuigen voor openbaar vervoer, in dit geval reguliere lijnbussen, in een gebied van 60 tot 70 ha een extra reistijd van ongeveer 40 seconden zullen oplopen. Ook voor deze extra reistijd geldt dat de rest van de reistijd buiten het gebied mede bepaalt of deze toename acceptabel is.

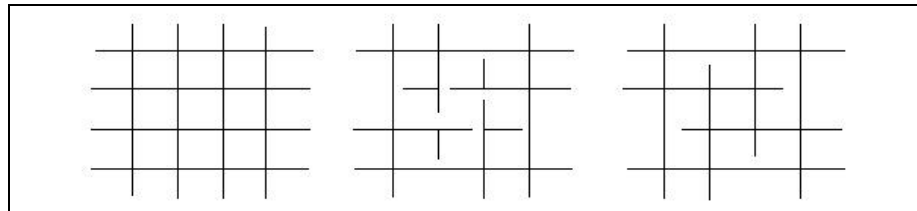
De voorgaande resultaten waren vooral mogelijk door rekenmodellen te gebruiken. In de praktijk is de variatie in omvang en structuur van verblijfsgebieden zo groot dat een goed opgezette evaluatie zeer omvangrijk, tijdrovend en kostbaar zal zijn. De modelberekeningen geven op een

tamelijk eenvoudige manier inzicht in de effecten van variaties in omvang en structuur.

2.1.2. *Netwerkstructuur en verkeersveiligheid*

Binnen verblijfsgebieden zijn grofweg drie verschillende verkeersstructuren mogelijk (Dijkstra, 1997):

- grid;
- boom;
- gemengd of 'limited access'.



Afbeelding 2.1. *Verkeersstructuren met van links naar rechts 'grid', 'boom', en 'gemengd' of 'limited access'.*

De gemengde structuur is geïntroduceerd door Marks (1957). Hij rapporteerde over een ongevalstudie die uitgevoerd is met gegevens uit Los Angeles. Er waren twee verkeersstructuren onderzocht: een gridsysteem en een systeem met limited access. Het gridsysteem vertoont bijna acht maal meer ongevallen dan het limited-access-systeem. Op kruispunten met vier takken is het aantal ongevallen per jaar per kruispunt in het gridsysteem drie maal zo hoog als in het limited-access-systeem. Volgens Marks (1957) kenmerkt een veilig ontwerp zich door:

- een limited-access-systeem, bij voorkeur met ontsluitingsstraten om de ± 350 meter;
- geen straten die twee hoofdwegen verbinden;
- verzamelstraten alleen als zij niet kruisen met doorgaande straten en als zij slechts aan één zijde aansluiten op een hoofdweg;
- kruispunten met vier takken zo veel mogelijk vermijden en bij voorkeur eenvoudige kruispunten met drie takken toepassen.

Deze aanbevelingen van Marks zijn jaren later ook weer 'terugggevonden' in het grote Nederlandse *Demonstratieproject herindelings- en herinrichting van stedelijke gebieden* (Janssen & Kraay, 1984; Janssen & Verhoef, 1989). Na de introductie van Duurzaam Veilig zijn nog niet alle bovengenoemde aanbevelingen expliciet als ontwerpeisen vastgelegd. Het Infopunt Duurzaam Veilig (2000) beveelt wel de gemengde structuur aan voor verblijfsgebieden.

De regionale netwerkstructuur is meestal een gegeven. Immers, Wilmink & Stada (2001) werken een alternatieve structuur uit, *Bypasses voor bereikbaarheid* genoemd, voor het wegennet in een deel van de Randstad. Het concept Bypasses houdt in dat een ontvlechting plaatsvindt van het wegennetwerk door verschillende stelsels te onderscheiden. Elk stelsel is bestemd voor een specifiek soort verplaatsingen, bijvoorbeeld lange-afstandsverkeer op een 'eigen' stelsel en regionaal verkeer op een ander stelsel. Volgens deze opbouw is het hoofdwegennet het stelsel voor de samenhang tussen de overige stelsels en voor de verbindingen tussen de

economische centra. Het onderliggend wegennet zou een volwaardig samenhangend stelsel moeten gaan vormen dat zo veel mogelijk om de (woon)kernen heen dient te liggen. In dit bereikbaarheidsconcept is het verder van belang dat de stelsels onderling goede verbindingen hebben.

Dijkstra & Hummel (2004) zijn nagegaan hoe bypasses duurzaam veilig kunnen worden vormgegeven. Vervolgens is, met een klassiek verkeersmodel, berekend welke veiligheidseffecten hierdoor optreden. Het concept blijkt tijd- en veiligheidswinst op te leveren.

Het gebruikte verkeersmodel geeft tamelijk grove indicaties van de veranderingen in de routekeuze. De routekeuze in dit model verandert voornamelijk doordat een toename of afname van de capaciteit tot respectievelijk meer of minder verkeer op wegvakken leidt. De invloed van verkeerssituaties op kruispunten en van lokale situaties op wegvakken op routekeuze is veel gedetailleerder te berekenen met een microsimulatiemodel.

2.1.3. *Wegcategorisering*

Binnen de netwerkstructuur is wegcategorysering een middel om de functie van de verschillende wegen en straten vast te leggen. Dijkstra (2003) stelt voor om voor wegennetten in het algemeen systematisch na te gaan of de verbindingen tussen de (woon)kernen voldoen aan de functionele eisen van Duurzaam Veilig. Toepassing van de methode die Dijkstra (2003) voorstelt kan tot de conclusie leiden dat er in het wegennet verbindingen van een bepaalde functie ontbreken of dat sommige verbindingen aanpassing behoeven (bijvoorbeeld functiewijziging). De gevolgen van het toevoegen of aanpassen van verbindingen zijn meestal niet in één oogopslag te doorgronden. Verkeersmodellen kunnen een praktische hulp bieden.

In het onderhavige routekeuzeproject is daarmee een eerste stap gezet door een test uit te voeren met een microsimulatiemodel. Van de wegcategorysering is de snelheidslimiet een belangrijk element. In een model van de regio Utrecht is de snelheidslimiet van een aantal wegen in de bebouwde kom aangepast. Met een microsimulatiemodel is nagegaan welke gevolgen dat heeft voor de doorstroming en voor veiligheid (Wismans, 2003b; Morsink, Dijkstra & Wismans, 2004). Het effect op de veiligheid is vastgesteld door na te gaan of de routes voldoen aan de eis dat verplaatsingen in Duurzaam Veilig moeten verlopen via een bepaald stramien, door Dijkstra (2003) functionaliteitsdiagram genoemd (later ook wel aangeduid met DV-trappetje of routediagram).

2.1.4. *Vraagstukken voor toekomstig onderzoek*

In de eerdere studies is nog onvoldoende nagegaan welke veiligheidseffecten optreden als de maaswijdte van de hoofdwegen verandert. De studies van Immers, Wilmink & Stada (2001) en Dijkstra & Hummel (2004) geven wel enig zicht op dergelijke effecten maar in die studies is geen microsimulatiemodel gebruikt. Door een microsimulatiemodel te gebruiken komen de veiligheidseffecten duidelijker naar voren.

Ook van een aanpassing van de wegcategorysering volgens de methode die Dijkstra (2003) voorstelt, zullen de effecten duidelijker worden door het gebruik van een microsimulatiemodel.

De effecten van een gelijktijdige aanpassing van wegcategory, maaswijdte van de hoofdwegen en een inrichting van de verblijfsgebieden zijn ooit onderzocht in het grootschalige project 'Demonstratiegebieden Eindhoven en Rijswijk' door Janssen & Kraay (1984). Het zou mogelijk moeten zijn om het verkeer en de wegennetten van die gebieden te modelleren en na te gaan of de destijds gevonden werkelijke effecten (met name andere verdeling van het verkeer en snelheidsdaling) ook optreden in de microsimulatie.

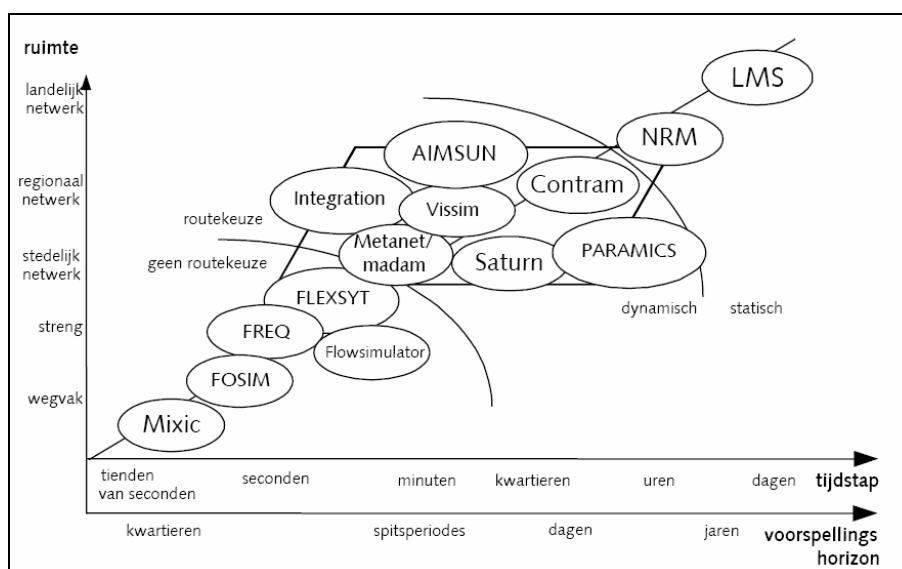
In het vervolg van dit onderzoeksproject zullen deze vraagstukken aandacht krijgen.

2.2. Overzicht van modellen en keuze van een microsimulatiemodel

Een model is een afbeelding van de werkelijkheid, zo ook een verkeersmodel. Het model is meestal ingebouwd in een 'softwarepakket' dat ook mogelijkheden voor in- en uitvoer van gegevens biedt. We spreken hier verder over een pakket omdat de meeste modellen onlosmakelijk geïntegreerd zijn in zo'n pakket. Alleen in die gevallen waarin wel degelijk het verkeersmodel wordt bedoeld gebruiken we het woord 'model'.

Er zijn veel pakketten beschikbaar; *Afbeelding 2.2* geeft een indruk van de bestaande pakketten en hun toepassingsgebied. De pakketten verschillen onderling in zeer veel opzichten. Een pakket moet voor het onderhavige routekeuzeproject aan de volgende vijf eisen voldoen; het pakket moet:

1. routekeuzegedrag kunnen simuleren;
2. zowel het hoofdwegennet als de overige wegen kunnen simuleren;
3. verkrijgbaar zijn voor de SWOV (sommige pakketten zijn alleen voor intern gebruik);
4. een algemeen gebruikersdoel hebben (sommige pakketten hebben zo'n specifieke doelgroep dat er geen toepassing mogelijk is voor derden);
5. aansluiting op de Nederlandse markt hebben (als anderen in Nederland, bijvoorbeeld gemeenten of regio's, er al gebruik van maken bevordert dat de latere toepassing van resultaten).



Afbeelding 2.2. Toepassingsgebied van verschillende verkeersmodellen (AVV, 2002).

Wismans (2003a) is van ruim zestig modelpakketten nagegaan of ze aan deze eisen voldoen. Vijf pakketten kwamen door deze selectie, alle microsimulatiemodellen:

- AIMSUN;
- INTEGRATION;
- Paramics 2000;
- Paramics Online;
- VISSIM.

Om tot een keuze te kunnen komen zijn in het vervolg van dit hoofdstuk verdere criteria opgesteld, waarmee deze resterende vijf pakketten zijn gewaardeerd. Deze criteria zijn door Wismans (2003a; in opdracht van de SWOV) geformuleerd. Een aantal van deze criteria heeft mogelijk onvoldoende onderscheidend vermogen en daarnaast weegt het ene criterium zwaarder dan het andere. De eerste stap is echter om zo goed mogelijk de criteria te omschrijven en te ordenen (*Paragraaf 2.2.1 t/m 2.2.3*). In de stap erna zijn ze tegen elkaar afgewogen om vast te stellen welke criteria doorslaggevend zijn bij de pakketkeuze (*Paragraaf 2.2.4*).

Bij de keuzecriteria is de volgende driedeling onderscheiden:

- I. Inhoudelijke criteria (wat kan wel of niet, invoer, uitvoer; *Paragraaf 2.2.1*)
- II. Criteria bij het gebruik (hoe is het model in gebruik, gebruiksvriendelijkheid; *Paragraaf 2.2.2*)
- III. Overige criteria (wat kost het model, is er een helpdesk, systeemeisen, kan het pakket eenvoudig worden aangepast of uitgebreid, is het in bezit van een samenwerkingspartner; *Paragraaf 2.2.3*).

2.2.1. *Inhoudelijke criteria*

De inhoudelijke criteria zijn ook weer onderverdeeld in drie categorieën:

- IA. Invoer
- IB. Modelleren
- IC. Uitvoer

Hierna volgt een bespreking van deze criteria.

IA. *Invoer*

Bij dit onderdeel gaan we na of een pakket de mogelijkheid biedt om bepaalde aspecten direct in te voeren. Dat betekent dat het pakket een 'knop' moet hebben om het bepaalde aspect in te voeren. Hier is er (nog) niet op gelet of dit op een goede manier gebeurt. Ook is hier niet nagegaan of het effect van de 'knop' doorwerkt in het verkeersgedrag en de verkeersafwikkeling en, zo niet, of dit op een indirecte wijze wel kan. Zie voor deze kwesties de criteria ad IB (Modelleren).

IA.1. Netwerkgrootte

In het pakket kunnen netwerken ter grootte van een middelgrote stad worden ingevoerd met inbegrip van alle wegcategorieën van Duurzaam Veilig. In beginsel kan dit in alle pakketten maar de grenzen van de gekozen modellen (wat betreft het aantal zones en wegvakken) verschillen wel. Deze zijn dan bepalend voor de toepassing in dit project. Aandachtspunt bij de netwerkgrootte is dat het in geen enkel pakket doenlijk is om elk infrastructureel detail te modelleren. Bij elke modelstudie zal daarom ook verkeer samen-

genomen worden in een bepaalde zone, waarbij de wegen in die zone dat interne verkeer niet krijgen toegewezen. Slechts een deel van alle wegen en straten maakt deel uit van het model. Meestal zijn alleen de belangrijke wegen en straten in het model opgenomen. Ook is er een beperking bij de omvang van de zones. De herkomstbestemmingsmatrix die wordt gebruikt in een verkeersmodel is veelal afkomstig uit een statisch model waarbij de zones op het niveau liggen van viercijferige postcodes.

IA.2. Modaliteiten

Het pakket moet verschillende vervoerswijzen kunnen modelleren. De huidige pakketten bieden alleen mogelijkheden voor personenauto's, vrachtauto's en bussen, alle met verschillende karakteristieken. Een pakket heeft meerwaarde voor verkeersveiligheidsonderzoek als modellering van fietsers en voetgangers mogelijk is.

IA.3. Maatregelen, invoer

In het pakket kunnen de volgende maatregelen worden ingevoerd:

- DRIP (Dynamisch Route Informatie Paneel);
- Navigatiesysteem;
- ACC (Advanced Cruise Control);
- GRIP (Grafisch Route Informatie Paneel);
- ISA (Intelligente Snelheid Aanpassing).

Het pakket heeft een pre als de effecten van deze maatregelen rechtstreeks door het model worden bepaald en dus de maatregelen direct ingevoerd kunnen worden en de gebruiker niet vooraf de effecten moet 'vertalen'.

IA.4. Geometrie, invoer

In de meeste pakketten zal het effect van bijvoorbeeld drempels ingevoerd moeten worden door de maximumsnelheid in de straat te beïnvloeden. Een pakket heeft een pre als dit soort aspecten zijn in te voeren en het model zelf de effecten hiervan bepaalt.

IA.5. Interface naar externe applicatie, invoer

Het pakket dient te beschikken over een interface naar een externe applicatie.

IB. *Modellering*

Bij modellering gaat het om de mogelijkheid om de aspecten te modelleren, ongeacht of dit op een directe of indirecte wijze gebeurt. Bij de mogelijkheden voor invoer kijken we bijvoorbeeld of het pakket de knop 'drempel' heeft. Maar bij de mogelijkheden voor modellering gaan we na of een drempel te modelleren is, bijvoorbeeld door de snelheidslimiet plaatselijk te verlagen.

IB.1. Geometrie, modellering

In het model is het mogelijk de effecten van geometrie op de verkeersafwikkeling te bepalen of mee te nemen. Denk hierbij aan het modelleren van puntmaatregelen (drempels) en lijnmaatregelen (wegversmallingen). Hierbij is het niet van belang of in het model invoer mogelijk is van bijvoorbeeld de rijstrookbreedte, maar wel of het effect van de rijstrookbreedte op een bepaalde wijze deel uitmaakt van het model.

IB.2. Maatregelen, modellering

Het pakket kan het effect van de volgende maatregelen, langs de weg of in het voertuig, modelleren:

- DRIP;
- Navigatiesysteem;
- ACC;
- GRIP;
- ISA.

In het pakket is het mogelijk om de effecten van deze maatregelen te bepalen, ongeacht op welke wijze de maatregelen ingevoerd dienen te worden.

IB.3. Interactie modaliteiten

Het pakket kan de interactie tussen de verschillende vervoerswijzen modelleren. Hierbij gaat het met name om aspecten als de interactie van auto's met fietsers op rotondes en kruispunten.

IB.4. Interface naar een externe applicatie, modellering

Het pakket biedt de mogelijkheid om zelf een aantal aspecten te programmeren en toe te voegen aan het model. Ook zou het mogelijk moeten zijn om daarbij de voertuig- en gedragsmodellen te wijzigen of uit te breiden. Dit is een belangrijk criterium voor een onderzoeksinstituut. Hoewel een groot aantal zaken te onderzoeken is met een pakket zonder deze mogelijkheid, worden de toepassingsmogelijkheden hierdoor wel sterk uitgebreid.

IB.5. Modellering van voertuigvolgedrag en rijstrookwisselgedrag

Het pakket modelleert deze aspecten naar behoren, deze modellen zijn gevalideerd en zijn op een of andere manier te beïnvloeden

IB.6. Modellering van routekeuze

Het pakket heeft een module voor routekeuze die zijn waarde reeds bewezen heeft in andere studies en kent daarnaast de mogelijkheid om verschillende soorten verkeersgedrag te modelleren. De pakketten kunnen verschillende soorten dynamische toedelingen gebruiken (dat wil zeggen toedelingen afhankelijk van de verkeersdrukke). Ook de instelmogelijkheden voor de gebruiker zijn daarbij verschillend. Een pakket waarbij bijvoorbeeld het routekeuzegedrag per voertuigtype kan verschillen scoort beter dan een pakket waarbij het routekeuzegedrag van elk voertuig gelijk is.

IB.7. Modellering van hiaatacceptatie

Het pakket kent een gevalideerd model voor hiaatacceptatie. Pakketten waarin dit model kan worden aangepast hebben een pre.

IC. *Uitvoer*

IC.1. Visualisatie van de uitvoer

Hierbij gaat het om de mogelijkheden wat betreft visualisatie van de verkeersafwikkeling.

IC.2. Statistische uitvoer routekeuze

Voor 'routekeuze' is van belang of het pakket statistische data over routekeuze genereert. Dit betreft vooral routes van de verschillende voertuigen tussen herkomsten en bestemmingen in een bepaald tijdsinterval.

IC.3. Statistische uitvoer bereikbaarheid

Dit betreft indicatoren als voertuigverliesuren, reistijden en snelheden. Mogelijkheden om de statistische gegevens hiervan uit te rekenen met behulp van andere door het pakket gegenereerde output (zoals de basisgegevens per voertuig) worden hierbij tevens meegenomen.

IC.4. Statistische uitvoer veiligheid

Statistische data omtrent veiligheid zijn het doel van deze modelaanpak en daarom een must. Voorbeelden zijn de afgeleide indicatoren zoals genoemd door Minderhoud & Bovy (2001) en FHWA (2003). Mogelijkheden om deze uit te rekenen met behulp van andere door het pakket gegenereerde output worden hierbij tevens meegenomen.

IC.5. Statistische uitvoer leefbaarheid

Data omtrent leefbaarheid, bijvoorbeeld emissies en voertuigkilometers op het onderliggend wegennet geven een beeld van externe effecten van maatregelen. Het pakket of daaraan gerelateerde hulpprogramma's dienen hiervoor mogelijkheden te geven.

2.2.2. Criteria bij het gebruik

De volgende zeven criteria bij het gebruik zijn niet verder onderverdeeld.

II.1. Invoer bij gebruik

Bij dit criterium gaat het om de wijze waarop de gegevens ingevoerd dienen te worden. Heeft het pakket een gebruiksvriendelijke omgeving waarin dit mogelijk is en is deze invoer ook makkelijk en snel te wijzigen? Daarnaast is het praktisch als er vooraf (*default*) waarden zijn vastgesteld.

II.2. Koppeling

De drie onderdelen van het pakket – invoer, model, uitvoer – zijn onderling gekoppeld. Aangezien de invoer van een dynamisch model veelal afkomstig is uit een statisch verkeersmodel is het handig als het model op een of andere manier gekoppeld kan worden aan een statisch model om bijvoorbeeld snel een netwerk en/of de matrix te genereren. Wat betreft de modelleerkant dienen er mogelijkheden te zijn om een extern geschreven rekenprogramma op een eenvoudige wijze te koppelen aan het model. Het is relevant te weten in welke programmeertaal dit externe programma is geschreven.

Ten slotte is het ook een pre als het model aan de uitvoerkant gekoppeld is aan een aantal andere pakketten, bijvoorbeeld voor de analyse van de resultaten of voor het gebruik van de in- en uitvoer van het pakket binnen een andere toepassing.

II.3. Handleiding

Er is een duidelijke handleiding voor de toepassing van het pakket aanwezig, waarmee de (beginnende) gebruiker uit de voeten kan. In de handleiding is duidelijk beschreven hoe het model werkt en hoe een bepaald soort verkeersgedrag is gemodelleerd.

II.4. Deskundigheid, gebruik

De benodigde deskundigheid voor het toepassen van het pakket zal voor alle modellen vrijwel gelijk zijn. Echter, indien het model de mogelijkheid heeft om zelf het een en ander er bij te programmeren dan is er ook andere deskundigheid noodzakelijk.

II.5. Analyse

Hierbij gaat het om de mogelijkheden die het pakket kent om de resultaten zowel tijdens de simulatie als na de simulatie te analyseren.

II.6. Visualisatie tijdens het gebruik

Hierbij gaat de mogelijkheden om de visualisatie vast te leggen in digitale bestanden die onafhankelijk van het pakket bekeken kunnen worden (bijvoorbeeld 'avi-files').

II.7. Transparant

Wat is de transparantie van het model? Is het duidelijk hoe het pakket de verschillende aspecten modelleert en is de ontwikkelaar ook open over deze modellering?

2.2.3. Overige criteria

De overige criteria zijn onderverdeeld in twee groepen:

- IIIA. financiële criteria;
- IIIB. restgroep.

IIIA. *Overige criteria, financieel*

IIIA.1. Aanschafkosten

Wat zijn de aanschafkosten van het pakket? Vaak hangt deze nog af van de verschillende opties die er bij de aanschaf zijn. Uitgangspunt is echter de prijs het volledige pakket, aangezien bij de vergelijking van de pakketten ook alle mogelijkheden worden meegenomen.

IIIA.2. Onderhoudskosten

Wat zijn de kosten voor onderhoud van de software? Het gaat hierbij om kosten die betaald moeten worden voor helpdesk-zaken als problemen met installatie en werking van het pakket en vragen over inhoudelijke zaken.

IIIA.3. Kosten updates

Vaak worden onderhoudskosten en kosten van updates samen gegeven. Dit criterium heeft alleen betrekking op het verkrijgen van nieuwe updates van het pakket.

IIIA.4. Kosten voor aanpassen programmatuur

Hoewel zeker interessant, zal hiervoor geen prijs te geven zijn. Een ontwikkelaar zal nagaan of aanpassingen commercieel verantwoord zijn en zo ja, op welke termijn deze aanpassingen opportuun zijn.

IIIA.5. Kosten van gebruik van het pakket

Bij de kosten van het gebruik van het pakket gaat het om de tijd die een toepassing ervan kost. De kosten van het gebruik van het pakket zullen voor alle pakketten ongeveer even groot zijn. Daarnaast geldt dat door het regelmatig gebruik van het pakket (en eventueel schrijven van (conversie)programma's) de benodigde tijd zal afnemen.

IIIB. *Overige criteria, restgroep*

IIIB.1. Helpdesk

Bestaat er een helpdesk? Hoe eenvoudig is deze te bereiken en bestaat het vertrouwen dat de hulp adequaat is?

IIIB.2. Aansluiting samenwerkingspartner

Wordt het pakket reeds gebruikt door een samenwerkingspartner?

IIIB.3. Aansluiting gebruik 'klanten'

Wordt het pakket reeds door/voor klanten toegepast en hoeveel zijn dat er dan?

IIIB.4. Systeemeisen

Wat zijn de systeemeisen van het pakket?

IIIB.5. Deskundigheid, overig

Is de benodigde deskundigheid voor het toepassen voor het pakket nu bij de SWOV aanwezig en zo nee, is hier dan 'eenvoudig' aan te komen?

IIIB.6. Continuïteit

Wat zijn de verwachtingen met betrekking tot de continuïteit van het pakket? Zijn er aanwijzingen om te veronderstellen dat deze in het geding kan komen? Dit is een lastig criterium dat waarschijnlijk niet/nauwelijks is in te vullen.

IIIB.7. Aansluiting bij reeds gemaakt producten van de SWOV

Zijn er mogelijkheden om het pakket aan te sluiten op producten als bijvoorbeeld de Verkeersveiligheidsverkenner?

IIIB.8. Bestaan er reeds gemodelleerde situaties voor Nederland in het bestaande pakket?

Adviesbureaus hebben al in diverse stedelijke gebieden en regio's modellen gebouwd. Door een bestaand model te gebruiken kan veel tijd en geld worden bespaard.

2.2.4. Afweging criteria

De criteria zijn in *Tabel 3.1* nog eens opgesomd. Ze zijn beoordeeld door een interne groep onderzoekers (projectteam *Routekeuze in een wegennet*). De volgende criteria kregen de hoogste prioriteit (zie ook *Tabel 3.2*):

- Interface naar een externe applicatie, modellering;
- Routekeuze, modellering;
- Interactie modaliteiten;
- Volg-/wisselgedrag;
- Hiaatacceptatie;
- Maatregelen, modellering;
- Statistisch, veiligheid;
- Statistisch, routekeuze;
- Helpdesk;
- Samenwerkingspartners;
- Klanten;
- Deskundigheid, overig;
- Producten SWOV;
- Transparantie.

De geprioriteerde criteria betreffen voornamelijk de modellering, de uitvoer, en de restgroep van de overige aspecten. Een lagere prioriteit ligt bij de invoer, het gebruik en de financiële aspecten.

Met deze prioriteitenlijst als uitgangspunt is door Wismans (2003a) gekeken naar de vijf pakketten die na de eerste selectie resteerden. Hieruit volgde dat niet één pakket op alle criteria het beste scoort. Dit betekent dat de toepassing bepaalt welk pakket daarvoor geschikt is. De opgestelde criteria en de toegekende prioriteiten leiden tot een beste score voor het pakket VISSIM, op korte afstand gevolgd door AIMSUN en PARAMICS (beide uitvoeringen). Bij deze afweging speelde overigens de modellering van het verkeersgedrag (voertuigvolgggedrag, rijstrookwisselgedrag, hiaatacceptatie en routekeuze) nauwelijks een rol. De literatuurstudie van Wismans (2003a) maakte het niet mogelijk om een uitspraak te doen omtrent de manier waarop een model dit gedrag modelleert. De kleine verschillen tussen de modellen volgen uit de mogelijkheden en aspecten die men bij de modellering relevant acht. INTEGRATION scoort duidelijk slechter dan de overige pakketten, met name door het ontbreken van een interface met een mogelijke externe applicatie.

Puur gelet op de mogelijkheden voor onderzoek naar routekeuze scoorde INTEGRATION juist weer sterk door de vele mogelijkheden binnen de dynamische toedeling en de wijze waarop dit pakket netwerken kan simuleren. Dit was reden om dit microsimulatiemodel toe te passen voor het bepalen van de mogelijkheden in de praktijk (Wismans, 2003b).

Aspect	Categorie	Nummer	Criterium
Inhoudelijk	Invoer	IA.1	Netwerkgrootte
		IA.2	Modaliteiten
		IA.3	Maatregelen, invoer
		IA.4	Geometrie, invoer
		IA.5	Interface naar een externe applicatie, invoer
	Modellering	IB.1	Geometrie, modellering
		IB.2	Maatregelen, modellering
		IB.3	Interactie modaliteiten
		IB.4	Interface naar een externe applicatie, modellering
		IB.5	Volg/wisselgedrag
		IB.6	Routekeuze
		IB.7	Hiaatacceptatie
	Uitvoer	IC.1	Visualisatie, uitvoer
		IC.2	Statistisch, routekeuze
		IC.3	Statistisch, bereikbaarheid
IC.4		Statistisch, veiligheid	
IC.5		Statistisch, leefbaarheid	
Gebruik	Idem	II.1	Invoer
		II.2	Koppeling
		II.3	Handleiding
		II.4	Deskundigheid, gebruik
		II.5	Analyse
		II.6	Visualisatie, gebruik
		II.7	Transparantie
Overig	Financieel	IIIA.1	Aanschafkosten
		IIIA.2	Onderhoudskosten
		IIIA.3	Updatekosten
		IIIA.4	Aanpassen programmatuur
		IIIA.5	Gebruik
	Restgroep	IIIB.1	Helpdesk
		IIIB.2	Samenwerkingspartners
		IIIB.3	Klanten
		IIIB.4	Systeemeisen
		IIIB.5	Deskundigheid, overig
		IIIB.6	Continuïteit
		IIIB.7	Producten SWOV
		IIIB.8	Bestaande modellen Nederland

Tabel 2.1. *Criteria voor de modelkeuze naar categorie en aspect.*

Rang-orde	Nummer	Criterium	Volgorde van belangrijkheid
1	IB.4	Interface naar een externe applicatie, modellering	++++++
2	IB.6	Routekeuze, modellering	++++++
3	IB.3	Interactie modaliteiten	+++++
4	IB.5	Volg/wisselgedrag	+++++
5	IB.7	Hiaatacceptatie	+++++
6	IB.2	Maatregelen, modellering	+++++
7	IC.4	Statistisch, veiligheid	++++
8	IC.2	Statistisch, routekeuze	++++
9	IIIB.1	Helpdesk	++++
10	IIIB.2	Samenwerkingspartners	++++
11	IIIB.3	Klanten	++++
12	IIIB.5	Deskundigheid, overig	++++
13	IIIB.7	Producten SWOV	++++
14	II.7	Transparantie	++++
15	IIIB.8	Bestaande modellen Nederland	+++
16	IB.1	Geometrie, modellering	+++
17	IC.3	Statistisch, bereikbaarheid	+++
18	IIIA.5	Gebruik	+++
19	IA.2	Modaliteiten	+++
20	IA.5	Interface naar een externe applicatie, invoer	+++
21	IIIB.6	Continuïteit	++
22	IC.5	Statistisch, leefbaarheid	++
23	IIIA.4	Aanpassen programmatuur	++
24	IA.3	Maatregelen, invoer	++
25	IIIA.2	Onderhoudskosten	++
26	IIIA.3	Kosten update	++
27	II.3	Handleiding	++
28	IA.4	Geometrie, invoer	++
29	II.2	Koppeling	+
30	II.5	Analyse	+
31	IA.1	Netwerkgrootte	+
32	IIIB.4	Systeemeisen	+
33	IC.1	Visualisatie, uitvoer	+
34	II.1	Invoer bij gebruik	+
35	II.4	Deskundigheid, gebruik	+
36	II.6	Visualisatie, gebruik	+
37	IIIA.1	Aanschafkosten	+

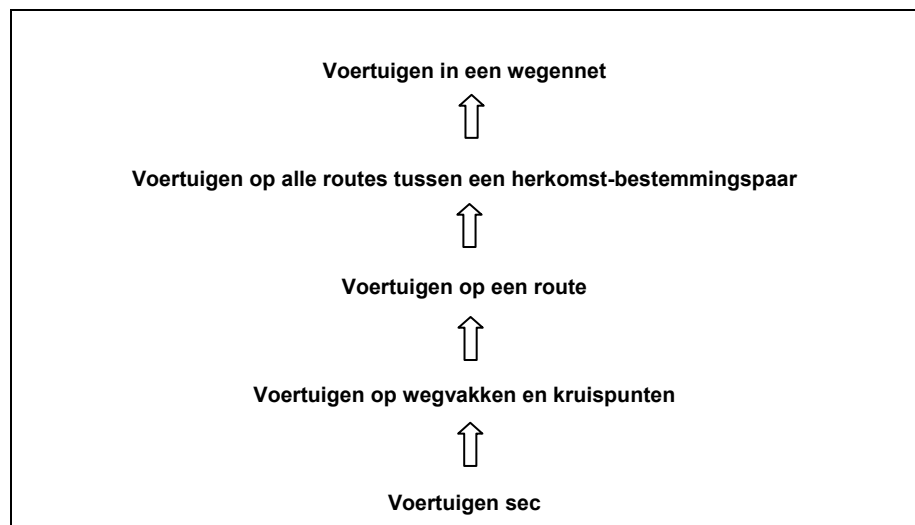
Tabel 2.2. *Criteria voor de modelkeuze naar belang voor het project 'Routekeuze in een wegennet'.*

3. Indicatoren voor verkeersveiligheid in microsimulatiemodellen

In dit hoofdstuk wordt een aantal verkeersveiligheidsindicatoren voor routes geïntroduceerd die in microsimulatiemodellen berekend kunnen worden. Een route wordt in dit verband gezien als een aaneenschakeling van wegvakken en kruispunten om vanuit een bepaalde herkomst een bepaalde bestemming te bereiken.

Er zijn twee redenen om een indicatie van de verkeersveiligheid van routes te willen hebben. Ten eerste geeft dit de mogelijkheid om op het niveau van herkomst-bestemming, en van daaruit op netwerkniveau de totale verkeersveiligheid te optimaliseren door de voertuigen op een dusdanige manier te verdelen over de verschillende routes dat de totale verkeersonveiligheid zo klein mogelijk is. Ten tweede wordt de mogelijkheid geschapen om verkeersveiligheid in de routekeuze van individuele voertuigen mee te nemen in microsimulatiemodellen. Normaliter wordt deze routekeuze in modellen vaak alleen afhankelijk gemaakt van reistijd en afstand.

Verkeersveiligheidsindicatoren kunnen op een aantal niveaus worden berekend. In *Afbeelding 3.1* worden vijf verschillende niveaus onderscheiden (te lezen van beneden naar boven).



Afbeelding 3.1. Niveaus waarop verkeersveiligheidsindicatoren kunnen worden berekend, uitgaande van een veiligheidsindicator op voertuigniveau.

De verkeersveiligheidsindicatoren op voertuigniveau (zoals snelheids- en richtingsverschillen) bepalen de veiligheid op de hogere niveaus. Het volgende niveau, wegvakken en kruispunten ontstaat door de veiligheid van alle passerende voertuigen te sommeren. Vervolgens is de veiligheid op routeniveau weer een optelsom van de wegvakken en kruispunten op die route. Een route is samen met andere routes weer onderdeel van een herkomst-bestemmingsrelatie (HB-relatie); de optelling van deze routes geeft de onveiligheid op HB-niveau. Door alle mogelijke HB-relaties te

beschouwen komen we ten slotte terecht op het hoogste niveau, het wegnnet.

In dit onderzoek onderscheiden we algemene verkeersveiligheidsindicatoren (*Paragraaf 3.1*) en voertuigafhankelijke verkeersveiligheidsindicatoren (*Paragraaf 3.2*).

Algemene indicatoren

Onder algemene indicatoren verstaan we hier de traditionele kencijfers voor onveiligheid (Janssen, 1988) en het routediagram ('DV-trappetje'). De kencijfers geven een gemiddelde voor het aantal ongevallen en slachtoffers op wegvak- en kruispuntniveau. Ophoging naar routeniveau is mogelijk door de ongevallen op de wegvakken en kruispunten van een route te sommeren. Het routediagram bevindt zich naar zijn aard op routeniveau. Het route-diagram geeft een kwalitatief beeld van de veiligheid, maar laat zich vertalen naar kwantitatieve criteria.

De algemene indicatoren zijn onafhankelijk van de feitelijke hoeveelheid verkeer in een wegnnet, ze hebben een 'statisch' karakter.

Voertuigafhankelijke indicatoren

De berekening van voertuigafhankelijke verkeersveiligheidsindicatoren start op voertuigniveau. Deze indicatoren kunnen de actuele verkeerssituatie in het netwerk 'meenemen'; ze zijn daarom dynamisch van aard. De voertuigafhankelijke indicatoren zijn de uitkomst van een simulatie van voertuigbewegingen en geven potentiële conflicten aan. Ze hebben geen directe relatie met ongevallen, ze drukken slechts uit op welke manier voertuigen met een bepaalde massa en snelheid elkaar, in een simulatie, naderen.

3.1. **Algemene verkeersveiligheidsindicatoren**

3.1.1. *Kencijfers*

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

Janssen (1988) geeft de algemene uitdrukking voor een kencijfer:

$$Kencijfer = \frac{Onveiligheid}{Expositie} \quad (1)$$

Vaak wordt de onveiligheid gekwantificeerd door gebruik te maken van geregistreerde ongevallen. Als expositiemaat wordt vaak de hoeveelheid voertuigen of het aantal voertuigkilometers genomen.

Een voorbeeld van een kencijfer is het aantal letselongevallen per 'verkeersprestatie', dat wil zeggen per miljoen afgelegde voertuigkilometers. Dit kencijfer wordt ook wel het risico van een weg- of kruispunttype genoemd. Het risico(cijfer) op basis van de verkeersprestatie houdt niet alleen rekening met het aantal ongevallen maar ook met de weglengte en het aantal passerende motorvoertuigen (Janssen, 2005). Namelijk, door de lengte van het wegvak te combineren met de verkeersintensiteit berekenen

we de verkeersprestatie, in miljoen afgelegde voertuigkilometers per jaar, als volgt:

$$VP_i = L_i * I_i * 365 \quad (2)$$

waarin VP_i de verkeersprestatie van wegvak i in miljoen afgelegde voertuigkilometers per jaar, L_i de lengte van wegvak i in km en I_i de etmaalintensiteit voor wegvak i .

Door de verkeersprestatie VP_i vervolgens te vermenigvuldigen met het bijbehorende kencijfer K_i wordt het aantal te verwachten letselongevallen LO_i op wegvak i geschat:

$$LO_i = K_i * VP_i \quad (3)$$

Het kencijfer voor wegvak i is afhankelijk van het wegtype. Voor de inmiddels gebruikelijke indeling in erftoegangswegen (ETW), gebiedsontsluitingswegen (GOW) en stroomwegen (SW) zijn nog geen kencijfers vastgesteld. In dit rapport gebruiken we kencijfers voor wegtypen met verschillende snelheidslimieten; de kencijfers zijn afgeleid uit Janssen (2005); zie *Tabel 3.1*. In de gegeven kencijfers zijn de ongevallen op de kruispunten van deze wegvakken al verrekend.

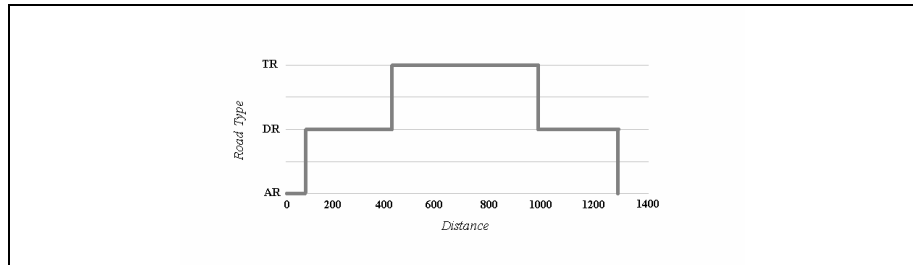
Wegtype met snelheidslimiet in km/uur	Kencijfer in aantal letselongevallen per miljard motorvoertuigkilometer
30	122
50	272
70	12

Tabel 3.1. *Kencijfers voor drie wegtypen (naar Janssen, 2005).*

De ongevallen op een route schatten we door de berekende ongevallen LO_i op de aaneengesloten wegvakken te sommeren.

3.1.2. *Duurzaam Veilig-eisen: het routediagram*

Met de afstanden en categorieën van wegvakken die deel uitmaken van een willekeurige route kan voor elke route een routediagram (functionaliteitsdiagram of DV-trappetje) worden gemaakt. Een routediagrammen geeft een visuele indruk van het Duurzaam Veilig-karakter van een route door het verloop van de route over de wegcategorieën in het netwerk tegen de afstand uit te zetten. De gedachtegang achter het routediagram is dat een route duurzaam veiliger is naarmate hij meer volgens het volgende patroon verloopt: vanuit een herkomst via de kleinst mogelijke afstand over de lager gelegen wegcategorieën naar de in een wegennetwerk hoogst gelegen wegcategorie, en dat via de juiste opwaartse overgangen (slechts één categorie per overgang); daar zo lang mogelijk blijven, waarna vervolgens via de juiste neerwaartse overgangen (één categorie per overgang) via de kleinst mogelijke afstand over de lager gelegen wegcategorieën de bestemming wordt bereikt. Een voorbeeld van een routediagram is in *Afbeelding 3.2* weergegeven.



Afbeelding 3.2. Routediagram voor een willekeurige route, met AR = erftoegangsweg ('access road'), DR = gebiedsontsluitingsweg ('distributor road') en TR = stroomweg ('through-road').

Zoals gezegd geven routediagrammen slechts een visuele indruk. Zodra we routes onderling gaan vergelijken blijken de tekortkomingen van deze visuele weergave. Voor een kwantitatieve beoordeling scoren we elke route aan de hand van negen criteria. Deze criteria hebben de auteurs opgesteld op grond van algemene kennis over verkeersonveiligheid (Dijkstra, Drolenga & Van Maarseveen, 2007). Deze criteria zijn alle kwantitatief van aard en hebben dezelfde 'richting': hoe lager de score op een criterium, des te beter voor de verkeersveiligheid. De negen criteria lichten we in de volgende paragrafen stuk voor stuk toe.

3.1.2.1. Aantal overgangen tussen wegcategorieën beperkt

Een optimaal routediagram heeft het juiste aantal categorieovergangen. In een netwerk waarin N aantal wegcategorieën aanwezig zijn, dient een route maximaal $(N-1)$ opwaartse categorieovergangen te hebben en maximaal $(N-1)$ neergaande categorieovergangen. Het teveel aan overgangen dient te worden bestraft. In formulevorm:

$$\begin{aligned} \text{Als } O \leq (2N - 2) \quad \text{dan } EO &= 0 \\ \text{Als } O > (2N - 2) \quad \text{dan } EO &= 2 + O - 2N \end{aligned}$$

waarin O het totaal aantal categorieovergangen in de betreffende route, N het aantal wegcategorieën in het netwerk en EO het aantal extra overgangen.

3.1.2.2. Aard van de overgang klopt (niet meer dan één tree tegelijk)

Bij de aard van de overgangen is het van belang om onderscheid te maken tussen opwaartse en neergaande overgangen. Bij een opwaartse overgang wordt naar een hoger gelegen categorie gegaan, bij een neergaande overgang naar een lager gelegen categorie. Door het verschil van de categorieën te nemen kan worden gekeken of de overgang juist is. De aard van de overgang wordt als volgt berekend:

$$AO = |C_j - C_i|$$

waarin AO de aard van de overgang, C_j de eerstvolgende categorie na de beschouwde categorie C_i .

Een categorieovergang voldoet aan deze tweede eis als $AO = 1$. Als $AO > 1$ voldoet de categorieovergang niet. Het aantal foute categorieovergangen in een route wordt op deze manier geteld.

3.1.2.3. Zo min mogelijk ontbrekende wegcategorieën

De derde eis is dat zo veel mogelijk wegcategorieën moeten worden aangedaan. Het aantal aangedane wegcategorieën in de route ten opzichte van het aantal aanwezige wegcategorieën in het netwerk wordt als volgt beschouwd:

$$OWC = WCN - WCR$$

waarin OWC het aantal ontbrekende wegcategorieën, WCN het aantal aanwezige wegcategorieën in het netwerk en WCR het aantal aangedane wegcategorieën in de beschouwde route.

3.1.2.4. Aandeel in lengte van erftoegangswegen zo laag mogelijk

Vanuit het oogpunt van verkeersveiligheid dient doorgaand verkeer in 30km/uur- en 60km/uur-zones vermeden te worden. Het aandeel in lengte van erftoegangswegen AL_{ETW} in de totale weglengte L_{TOT} wordt als volgt berekend:

$$AL_{ETW} = \frac{L_{ETW}}{L_{TOT}} \times 100\%$$

3.1.2.5. Aandeel in lengte van gebiedsontsluitingswegen zo laag mogelijk

Gebiedsontsluitingswegen zijn het onveiligst in termen van ongevalsrisico; daarom dient het aandeel in lengte van deze wegen zo laag mogelijk te zijn. Het aandeel in lengte van gebiedsontsluitingswegen AL_{GOW} in de totale weglengte L_{TOT} wordt als volgt berekend:

$$AL_{GOW} = \frac{L_{GOW}}{L_{TOT}} \times 100\%$$

3.1.2.6. Afgelegde afstand

Hoe kleiner de totale afstand L_{TOT} van een route hoe minder een voertuig aan verkeersonveiligheid wordt blootgesteld. Hierbij is de totale afstand L_{TOT} gelijk aan de som van de afstand over erftoegangswegen L_{ETW} , de afstand over gebiedsontsluitingswegen L_{GOW} en de afstand over stroomwegen L_{SW} . In formulevorm:

$$L_{TOT} = L_{ETW} + L_{GOW} + L_{SW}$$

3.1.2.7. Reistijd

De totale reistijd R wordt voor elke route berekend op basis van een netwerk zonder enig verkeer (leeg netwerk). Hiervoor worden de lengten van de

categorieën gedeeld door de snelheidslimiet (V) van de betreffende categorie, gesommeerd. In formulevorm:

$$R = \frac{L_{ETW}}{V_{ETW}} + \frac{L_{GOW}}{V_{GOW}} + \frac{L_{SW}}{V_{SW}}$$

3.1.2.8. Zo min mogelijk linksafbewegingen

Voor elke route kan het aantal linksafbewegingen (LAB) op kruispunten worden geregistreerd. Links afslaan is de manoeuvre met het hoogste risico (Drolenga, 2005). Daarom geldt hier: hoe groter het aantal linksafbewegingen op de route hoe slechter de score.

3.1.2.9. Geringe kruispunt dichtheid binnen GOW

Deze eis heeft tot doel om het aantal verstoringen op de gebiedsontsluitingswegen in de route te minimaliseren. Hierbij wordt de kruispunt dichtheid KPD gedefinieerd als het aantal kruispunten K per km weglengte. In formulevorm:

$$KPD = \frac{K}{L_{GOW}}$$

3.1.2.10. Negen criteria samengevat

De negen beschreven criteria zijn opgesomd in *Tabel 3.2*. Deze criteria zijn niet alle onafhankelijk van elkaar, bijvoorbeeld reistijd en afgelegde afstand hebben bij een leeg netwerk een duidelijke onderlinge relatie. In een netwerk met congestie kan de directe relatie tussen reistijd en afstand echter sterk verminderen. Een andere afhankelijkheid bestaat er tussen het aandeel van een bepaald wegtype en de afgelegde afstand: twee routes met een gelijke lengte aan bijvoorbeeld erftoegangswegen kunnen verschillen in aandeel erftoegangsweg als de routes verschillen in totale lengte.

criterium	Toelichting	Eenheid
1	Overgangen weg categorieën beperkt	Aantal extra overgangen
2	Aard van de overgang klopt	Aantal foute overgangen
3	Zo min mogelijk ontbrekende weg categorieën	Aantal ontbrekende weg categorieën
4	Aandeel in lengte van erftoegangswegen zo laag mogelijk	Percentage van totale afstand
5	Aandeel in lengte van gebiedsontsluitingswegen zo laag mogelijk	Percentage van totale afstand
6	Afgelegde afstand	Meter
7	Reistijd	Seconde
8	Zo min mogelijk links afslaan	Aantal malen links afslaan
9	Geringe kruispunt dichtheid tussen kruispunten van gebiedsontsluitingswegen onderling	Aantal per km

Tabel 3.2. Negen kwantitatieve veiligheids criteria voor routes, gebaseerd op het routediagram.

3.1.3. Duurzaam Veilig-gehalte van een route

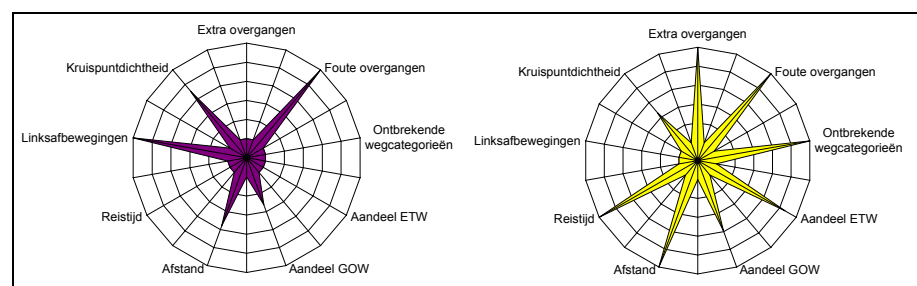
Voor elke route berekenen we de scores op de negen bovenstaande criteria door de gegevens te verzamelen en de formules toe te passen. Met een multicriteria-analyse wordt vervolgens geprobeerd tot een rangorde van alternatieve routes te komen. Om de scores van verschillende routes te kunnen vergelijken is standaardisatie van de criteriumscores nodig. De scores worden gestandaardiseerd op basis van intervalstandaardisatie. Dit betekent dat het beste alternatief een waarde van 0 krijgt, het slechtste een waarde van 1, en de overige alternatieven tussen de 0 en 1 worden geschaald. Dit gebeurt door elke criteriumscore te verminderen met de laagst behaalde score op het betreffende criterium en dit verschil te delen door het verschil tussen de maximum- en de minimumscore voor het betreffende criterium, in formulevorm:

$$G_{ji} = \frac{C_{ji} - \min_j \{C_{ji}\}}{\max_j \{C_{ji}\} - \min_j \{C_{ji}\}} \quad (4)$$

waarin G_{ji} de gestandaardiseerde score van alternatief i op criterium j , C_{ji} de criteriumscore van alternatief i op criterium j .

Bij de bepaling van de minimale én maximale score op een criterium dienen niet alleen de daadwerkelijk gereden routes meegenomen te worden, maar ook niet-gereden routes die de infrastructuur wel biedt.

Door de gestandaardiseerde scores op de negen criteria in sterdiagrammen weer te geven kunnen routes makkelijk met elkaar vergeleken worden. De negen punten van een ster representeren de negen criteria. Voor het visuele effect tonen we echter de waarden ' $1 - G_{ji}$ '. Hoe langer een sterpunt, hoe dichter de waarde bij 1 ligt (en de criteriumscore bij 0), dus hoe beter de score van deze route ten opzichte van alternatieve routes. Dit betekent dat hoe vollediger de ster is, hoe duurzaam veiliger de route. In *Afbeelding 3.3* zijn de scores op de negen criteria van een tweetal routes als voorbeeld weergegeven.



Afbeelding 3.3. Routesterren van twee willekeurige routes.

De linkerroute (donkere ster) scoort het slechts op de eerste eis, het aantal extra overgangen omdat geen punt of een gedeelte daarvan zichtbaar is. De rechterroute (lichte ster) scoort op deze eis daarentegen het beste omdat de punt in zijn geheel zichtbaar is. Doordat de lichte ster vollediger is dan de donkere ster kan geconcludeerd worden dat de rechterroute beter voldoet aan de Duurzaam Veilig-eisen dan de linkerroute.

Gewichten criteria

Nadat de scores gestandaardiseerd zijn, kunnen gewichten aan de criteria worden toegekend. Gekozen kan worden voor de situatie dat elk criterium even belangrijk is, dan krijgt elk criterium hetzelfde gewicht. Als een of meer criteria belangrijker gevonden worden kunnen deze een hoger gewicht krijgen dan minder belangrijke criteria. De som van de gewichten van de criteria moet in totaal 1 zijn. Bij negen criteria die alle even belangrijk worden gevonden krijgt elk criterium dus een gewicht van 1/9. In dit rapport kiezen we voor gelijke gewichten. In een vervolgstudie zullen we nagaan of er een onderbouwing mogelijk is voor een andere verdeling van de gewichten.

Duurzaam Veilig-gehalte route

Om tot een totaalscore per route te komen wordt de gestandaardiseerde score vermenigvuldigd met het gewicht en over de negen criteria opgeteld tot totaalscores (*gewogen-sommeringsmethode*). De uitkomst van deze totaalscore geeft de mate van onveiligheid aan. Om tot een veiligheidsscore te komen (in het vervolg ook Duurzaam Veilig-gehalte genoemd), wordt de onveiligheidsscore van 1 afgetrokken en vermenigvuldigd met 100% zodat het Duurzaam Veilig-gehalte tussen de 0 en 100% ligt. In formulevorm:

$$VV_r = 100 - 100 \times \sum_{c=1}^C ss_c \times g_c \quad (5)$$

waarin VV_r de veiligheidsscore of het Duurzaam Veilig-gehalte van route r , C het aantal criteria, ss_c de gestandaardiseerde score op criterium c en g_c het gewicht van criterium c .

3.1.4. *Duurzaam Veilig-gehalte van een HB-relatie*

Met de berekende veiligheidsscores van de verschillende routes die mogelijk zijn bij een herkomst-bestemmingsrelatie (HB-relatie) en de verdeling van de voertuigen over deze routes, berekenen we het veiligheidsniveau van een HB-relatie. Hierbij is het van belang om ook het veiligheidsgehalte mee te nemen van routes die in een simulatie niet gekozen worden. In een andere simulatie kan er immers wel verkeer over deze routes gaan rijden.

Verdeling voertuigen over routes

De verdeling van de voertuigen over de routes per HB-relatie wordt aangegeven door het percentage van het totaal aantal voertuigen per HB-relatie dat via route r reist. In formulevorm:

$$V_{HB,r} = \frac{I_r}{I_{HB}} \times 100\% \quad (6)$$

waarin $V_{HB,r}$ het percentage voertuigen dat via route r van herkomst H naar bestemming B reist, I_r het absoluut aantal voertuigen dat via route r reist en I_{HB} het totaal aantal voertuigen dat van herkomst H naar bestemming B reist.

Veiligheidsgehalte HB

De onveiligheidsscores worden per route vermenigvuldigd met het percentage van de voertuigen dat via deze route reist, en over de verschillende routes opgeteld tot een totaalscore voor een HB-relatie. De

uitkomst van deze totaalscore geeft de mate van onveiligheid van de HB-relatie aan. Om tot een veiligheidsscore te komen, wordt de onveiligheidscore van 1 afgetrokken en vermenigvuldigd met 100%. De veiligheidsscore of het Duurzaam Veilig-gehalte bevindt zich zo weer tussen de 0 en 100%. In formulevorm:

$$VV_{HB} = 100 - \sum_{r=1}^R \frac{(100 - VV_r) \times V_{HB,r}}{100} \quad (7)$$

of eenvoudiger geschreven:

$$VV_{HB} = \sum_{r=1}^R \frac{VV_r \times V_{HB,r}}{100} \quad (8)$$

waarin VV_{HB} het Duurzaam Veilig-gehalte van HB-relatie HB , R het aantal routes behorende bij HB-relatie HB , VV_r de veiligheidsscore van route r bepaald met *Formule 5* en $V_{HB,r}$ het percentage voertuigen dat via route r van herkomst H naar bestemming B reist (*Formule 6*).

3.1.5. Duurzaam Veilig-gehalte HB-relatie **gegeven de infrastructuur**

Bij het Duurzaam Veilig-gehalte van een HB-relatie in de vorige paragraaf zijn zowel de infrastructurale kenmerken van de routes als de routekeuze een gegeven. Verbeteringen in de infrastructurale kenmerken kunnen het Duurzaam Veilig-gehalte verhogen, evenals een andere routekeuze dat kan doen. Om deze twee, elkaar wellicht beïnvloedende, effecten te scheiden introduceren we het Duurzaam Veilig-gehalte van een HB-relatie **gegeven de (bestaande) infrastructuur**. Hierbij negeren we de infrastructurale onvolkomenheden van de routes. Op deze manier krijgen we meer inzicht in de mogelijk te behalen veiligheidswinst door de routekeuze van voertuigen te beïnvloeden.

De veiligste route binnen een HB-relatie, die niet per definitie een veiligheidsgehalte van 100 hoeft te hebben, wordt gestandaardiseerd naar de waarde 100 en de minst veilige route naar de waarde 0. Als alle voertuigen gebruikmaken van de veiligste route is het veiligheidsgehalte van de beschouwde HB-relatie **gegeven de infrastructuur** gelijk aan 100 en valt er door routebeïnvloeding geen winst meer te behalen. Als alle voertuigen gebruikmaken van de onveiligste route is het veiligheidsgehalte van de beschouwde HB-relatie **gegeven de infrastructuur** gelijk aan 0.

De gestandaardiseerde verkeersveiligheidsscore van een route r wordt als volgt gedefinieerd:

$$VV_{rs} = 100 \times \frac{VV_r - \min_r \{VV_r\}}{\max_r \{VV_r\} - \min_r \{VV_r\}} \quad (9)$$

Door de gestandaardiseerde veiligheidsscore van een route VV_{rs} in plaats van de niet-gestandaardiseerde veiligheidsscore VV_r te gebruiken, kan de veiligheidsscore van een HB **gegeven de infrastructuur** als volgt worden gedefinieerd:

$$VV_{HB} = \sum_{r=1}^R \frac{VV_{rs} \times V_{HB,r}}{100} \quad (10)$$

Zie de *Bijlage* voor enkele voorbeelden van toepassingen op HB-relaties.

3.2. Voertuigafhankelijke verkeersveiligheidsindicatoren

In deze paragraaf geven we vier voertuigafhankelijke verkeersveiligheidsindicatoren voor routes. Deze zijn gerelateerd aan de time-to-collision (TTC). De TTC is de resterende tijdsduur tot een botsing met een voorliggend (op wegvakken) of conflicterend (op kruispunten) voertuig, als beide voertuigen hun koers en snelheid niet zouden aanpassen. Om deze verkeersveiligheidsindicatoren voor routes te kunnen berekenen dienen we eerst de TTC op voertuigniveau te bepalen, hierbij onderscheid makend in voertuigen die zich op wegvakken bevinden en op kruispunten. De methode hiervoor wordt toegelicht in *Paragraaf 3.2.1*. Op basis van de TTC op voertuigniveau worden in *Paragraaf 3.2.2* de vier verkeersveiligheidsindicatoren op voertuigniveau bepaald:

- aantal conflicten (Number of Conflicts; NOC);
- tijdsduur van conflicten (Time Exposed TTC; TET);
- sterkte van conflicten (Time Integrated TTC; TIT);
- potentiële botsenergie (Potential Collision Energy; PCE).

Bij het berekenen van conflicten speelt de kleinst acceptabele TTC-waarde, de zogeheten kritieke waarde, een belangrijke rol. In *Paragraaf 3.2.4* worden de vier verkeersveiligheidsindicatoren voor wegvakken en kruispunten bepaald op basis van de op voertuigniveau verkregen resultaten. Hierbij maken we onderscheid in absolute en relatieve maten. De verkeersveiligheidsindicatoren op wegvak- en kruispuntniveau worden in *Paragraaf 3.2.5* gebruikt voor een indicatie van de veiligheid van routes. *Paragraaf 3.2.6* beschrijft de verkeersveiligheid van een herkomst-bestemmingsrelatie, die tot stand komt door een combinatie van de berekende veiligheid van verschillende routes en de verdeling van de voertuigen over deze routes.

3.2.1. Berekening time-to-collision op voertuigniveau

De time-to-collision staat voor de tijdsduur tot een botsing met een voorliggend (op wegvakken) of conflicterend (op kruispunten) voertuig als beide voertuigen hun koers en snelheid niet aanpassen. De TTC is een indicator voor een verkeersconflict en is dus gerelateerd aan het ongevalsrisico. Kleine TTC's betekenen een hoger ongevalsrisico, grote TTC's betekenen een lager ongevalsrisico.

Een netwerk in een microsimulatiemodel kan opgedeeld worden in wegvakken en kruispunten. Dit is van belang omdat de bepaling van een TTC voor een voertuig op een wegvak verschilt met die van een TTC op een kruispunt. Een TTC-waarde voor een voertuig op een wegvak wordt gebaseerd op zijn voorligger, bij een kruispunt wordt de TTC-waarde berekend op basis van een of meer voertuig(en) op een andere tak van het kruispunt. Daarnaast kan een voertuig op een wegvak op een willekeurig tijdstip hoogstens één TTC-waarde hebben, op een kruispunt kan een voertuig meer dan één TTC-waarde tegelijk hebben.

3.2.1.1. Onderscheid wegvakken en kruispunten: veilige stopafstand

De grenslijn tussen het eind van een wegvak en het begin van een kruispunt wordt vastgelegd door de veilige stopafstand, kortweg de VSA genoemd. De VSA voor een voertuig i op wegvak j bestaat uit twee delen, een afstand die het voertuig aflegt gedurende de reactietijd van de bestuurder en een afstand die het voertuig als remweg heeft door de gekozen remvertraging:

$$VSA_{ij} = \left(\frac{V_j}{3,6} \times rt_i \right) + \left(\frac{V_j^2}{2 \times 3,6^2 \times A_i} \right) \quad (11)$$

waarin V_j de snelheidslimiet in km/uur voor wegvak j , rt_i de reactietijd van voertuig (bestuurder) i in seconden en A_i de remvertraging in m/s^2 van voertuig i (PIARC, 2004; p. 391).

Reactietijd

De reactietijd is de tijd tussen het ontvangen van informatie en het ondernemen van een actie ten gevolge van deze informatie. Lamm, Psarianos & Mailaender (1999) constateren dat de reactietijd varieert van bestuurder tot bestuurder en een functie is van alertheid, complexiteit en verwachting. De alertheid van de bestuurder heeft te maken met zijn of haar fysieke toestand. Hierbij kan vermoeidheid een rol spelen. Maar ook afleiding, zoals mobiel bellen of het praten met een rijder kan invloed hebben op de alertheid van de bestuurder.

Daarnaast is de mate waarin een hindernis verwacht wordt bepalend voor de reactietijd. Wanneer een bestuurder op een autosnelweg plotseling een hindernis waarneemt zal de reactietijd langer zijn dan wanneer een bestuurder een kruispunt nadert. Bij het kruispunt is de kans op een hindernis groter en kan de bestuurder dit verwachten.

De relatie tussen de reactietijd in seconden en de complexiteit beschrijven Lamm, Psarianos & Mailaender (1999) voor een gemiddelde en een 'trage' bestuurder (percentiel 85%). De hoeveelheid informatie die nodig is om te besluiten tussen twee gelijkwaardige alternatieven noemt men een 'bit'. Beginnend bij een 'nulbitbeslissing', waarbij er slechts een alternatief is (naast 'geen actie'), heeft een bestuurder tijd nodig om tot actie over te gaan. Die tijd neemt toe naar gelang het aantal bits stijgt. Voor een 85-percentielbestuurder ligt de reactietijd bij een verwachte nulbitbeslissing op 1 seconde, en bij een verwachte eenbitbeslissing op 1,75 seconden. Bij een onverwachte nulbitbeslissing heeft de 85-percentielbestuurder een reactietijd van 1,5 seconde, bij een eenbitbeslissing 2,5 seconden.

De keuze van een kenmerkende reactietijd om de veilige stopafstand mee te berekenen, is dus erg afhankelijk van aannames omtrent de complexiteit en het 'soort' bestuurder.

Remvertraging

De remvertraging is een voertuigeigenschap. Voor een personenauto is een gemiddelde remvertraging van $4,0 m/s^2$ kenmerkend, voor een bestelbus $3,7 m/s^2$, voor een middelgrote vrachtwagen (15 ton) $3,2 m/s^2$, en voor een grote vrachtwagen (38 ton) $3,0 m/s^2$.

Veilige stopafstand VSA

Als voorbeeld nemen we een reactietijd aan van 1 seconde en een remvertraging van $4 m/s^2$. De veilige stopafstanden zijn voor een aantal

snelheidslimieten weergegeven in *Tabel 3.3*. Zoals hiervoor beschreven is de veilige stopafstand opgebouwd uit een reactieweg en een remweg.

Snelheidslimiet (km/uur)	Reactieweg (m)	Remweg (m)	Veilige stopafstand (m)
30	8,3	8,7	17,0
50	13,9	24,1	38,0
70	19,4	47,3	66,7

Tabel 3.3. *Veilige stopafstanden bij verschillende snelheidslimieten, en bij een reactietijd van 1 seconde en een remvertraging van 4 m/s².*

3.2.1.2. TTC op wegvakken

Voor de voertuigen op wegvakken en waarvan de nog af te leggen afstand tot een kruispunt groter is dan de VSA van het betreffende wegvak, gaan we na of er een voorligger¹ aanwezig is:

Voorligger aanwezig

Als een voertuig een voorligger heeft wordt de TTC voor voertuig i op tijdstip t ten opzichte van een leidend voertuig $i-1$ berekend volgens de onderstaande formule (Minderhoud & Bovy, 2001):

$$TTC_i(t) = \frac{X_{i-1}(t) - X_i(t) - l_i}{V_i(t) - V_{i-1}(t)} \quad \text{als } d_{ij}(t) \geq VSA_j$$

waarin X de positie, l de afstand tussen de voertuigen i en $i-1$, V de snelheid, d_{ij} de afstand van voertuig i tot het einde van wegvak j , en waarin VSA_j bepaald wordt volgens *Formule 11*.

De TTC kan alleen berekend worden als het volgende voertuig sneller rijdt dan het voorliggende voertuig. Als dat voorliggende voertuig sneller rijdt dan het volgende voertuig is de TTC negatief; er zal dan geen botsing plaatsvinden. Als de voertuigen precies dezelfde snelheid hebben is de TTC nul, en ook dan zal er geen botsing plaatsvinden.

Geen voorligger

Als er geen voertuig voor het beschouwde voertuig rijdt bestaat er op dat moment geen TTC-waarde en wordt het voertuig 'vrij' genoemd.

3.2.1.3. TTC op kruispunten

Een voertuig 'nadert een kruispunt' als de afstand tot het kruispunt kleiner is dan de veilige stopafstand VSA van het wegvak. De TTC voor een voertuig dat een kruispunt nadert, is óf een TTC die in interactie met een voertuig op dezelfde stroom wordt berekend, óf een of meer TTC's op basis van een voertuig op een of meer conflicterende stromen. Vogel (2003) maakt onderscheid in 'passieve' en 'actieve' voertuigen.

¹ Een eventuele voorligger kan zich al wél binnen de VSA tot een kruispunt bevinden.

Passieve voertuigen

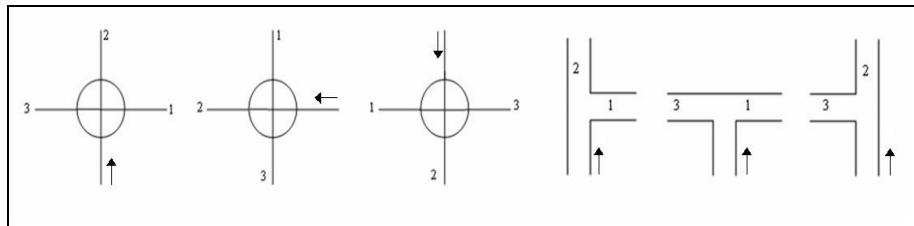
Een voertuig wordt passief genoemd als het een voorligger heeft op dezelfde kruispunttak, dat wil zeggen een voertuig waarvan de afstand tot het kruispunt kleiner is dan die van het beschouwde voertuig. De TTC-waarde voor een passief voertuig berekenen we op basis van zijn voorligger, net zoals bij de methode voor voertuigen waarvan de afstand tot een kruispunt groter is dan de VSA, zie *Formule 11*.

Actieve voertuigen

Een actief voertuig is een voertuig dat in conflict komt met een voertuig op een conflicterende stroom of met meer voertuigen op verschillende conflicterende stromen tegelijk.

Conflicterende stromen

De conflicterende stromen voor een voertuig worden bepaald door het type kruispunt (drie- of viertaks) en de manoeuvres (rechtsaf, rechtdoor of linksaf) van zowel het beschouwde voertuig als die van het potentieel conflicterende voertuig. De potentiële conflictstromen worden tegen de klok in genummerd. In *Afbeelding 4.4* staat een aantal voorbeelden van deze nummering bij een voertuig i (voorgesteld door een pijltje) rijdend op een viertakskruispunt (aan de linkerzijde van de afbeelding) en een drietakskruispunt (aan de rechterzijde).



Afbeelding 3.4. Nummering takken van viertaks- en drietakskruispunten.

Twee conflicterende voertuigen voeren allebei een manoeuvre uit. In *Tabel 3.4* worden voor voertuig i , met manoeuvre m , de potentiële conflicten gedefinieerd en benoemd met voertuig j , zich bevindend op tak n met manoeuvre o .

Manoeuvre <i>m</i>	Tak <i>n</i>	Manoeuvre <i>o</i>	Conflicttype
RA	2	LA	Convergerend
RA	3	RD	Convergerend
RD	1	RA	Convergerend
RD	1	RD	Dwars
RD	1	LA	Dwars
RD	2	LA	Frontaal
RD	3	RD	Dwars
RD	3	LA	Convergerend
LA	1	RD	Convergerend
LA	1	LA	Dwars
LA	2	RA	Convergerend
LA	2	RD	Frontaal
LA	3	RD	Dwars
LA	3	LA	Dwars

Tabel 3.4. *Conflicterende stromen, met als manoeuvres RA = rechtsaf; RD = rechtdoor; LA = linksaf.*

Benodigde tijd tot conflictvlak

Per tijdstap t wordt voor beide actieve voertuigen de benodigde tijd geschat om het 'conflictvlak' te bereiken. De afmetingen van dit conflictvlak worden bepaald door de breedte van beide voertuigen. De geschatte tijd is de afstand tot het conflictvlak gedeeld door de snelheid. In formulevorm (Van der Horst, 1990):

$$AT_i(t) = \frac{d_i(t)}{V_i(t)}$$

waarin AT_i de benodigde tijd voor voertuig i om het conflictvlak te bereiken op tijdstip t , d_i de afstand tot het conflictvlak op tijdstip t en V_i de snelheid op tijdstip t .

Eerste voertuig

Met de geschatte aankomsttijden per tijdstap wordt vervolgens bepaald welk voertuig als eerste aan zal komen op het conflictvlak, dat wil zeggen welk voertuig de laagste AT heeft, bepaald met bovenstaande formule. Het voertuig dat als eerste zal aankomen wordt voertuig i genoemd, het tweede voertuig is voertuig k .

Ontruimingstijd

Voor het voertuig dat als eerste zal aankomen op het conflictvlak (voertuig i) wordt de tijd berekend die nodig is om het conflictvlak weer te verlaten. Deze benodigde tijd is het tijdsverschil tussen het geschatte moment dat het voertuig het conflictvlak betreedt (AT_i) en het geschatte moment dat het voertuig het conflictvlak verlaat. Voor convergerende conflicten is de benodigde ontruimingstijd TO voor voertuig i op tijdstip t gelijk aan (Van der Horst, 1990):

$$TO_i(t) = \frac{l_i + b_k}{V_i(t)}$$

waarin l_i de lengte van voertuig i , b_k de breedte van voertuig k en $V_i(t)$ de snelheid van voertuig i op tijdstip t .

Deze formule is geschikt voor alle convergerende conflicten. Maar ook bij andere conflicttypen is er een gebied waarin deze formule bruikbaar is. Bijvoorbeeld bij een frontaal conflict wanneer beide voertuigen elkaar onder een (kleine) hoek raken (zie *Tabel 3.4*).

Botskoers

Actieve voertuigen liggen op botskoers als het verschil tussen de aankomsttijden van beide voertuigen i en k kleiner is dan de benodigde ontruimingstijd van het eerste voertuig i :

$$AT_k(t) - AT_i(t) < TO_i(t)$$

Als dit het geval is, is de TTC gelijk aan de aankomsttijd van het tweede voertuig:

$$TTC_{i,k}(t) = AT_k(t)$$

Als het verschil tussen de aankomsttijden van beide voertuigen groter is dan de benodigde ontruimingstijd van het eerste voertuig liggen de voertuigen niet op botskoers en vindt geen berekening van de TTC plaats.

Vrije voertuigen

Een voertuig is vrij als er geen andere voertuigen op conflicterende stromen aanwezig zijn. Voor een vrij voertuig bestaat er geen TTC-waarde.

3.2.2. Van TTC naar verkeersveiligheidsindicatoren op voertuigniveau

Als een TTC van een voertuig onder een kritieke TTC-waarde komt, kan er worden gesproken van een onveilige situatie, aangeduid als een conflict-situatie. Tijdens een rit kan een voertuig diverse ontmoetingen hebben, en dus ook verscheidene conflictsituatie meemaken als de TTC meer dan één keer onder deze kritieke waarde komt.

Minderhoud & Bovy (2001) concluderen dat er in verschillende onderzoeken verschillende waarden voor kritieke TTC's worden gehanteerd. Volgens Archer (2005) is een TTC van 1,5 seconde de kritieke waarde voor de verkeersveiligheid in stedelijk gebied. Van der Horst (1990) neemt in zijn analyse alle TTC-waarden mee die lager zijn dan 2,5 seconde. Er zijn kennelijk verschillende kritieke waarden van TTC te rechtvaardigen. Lu et al. (2001) maken in hun studie naar de TTC op kruispunten onderscheid in drie klassen conflictrisico's op grond van verschillende TTC-waarden (zie *Tabel 3.5*).

Conflictrisico	TTC-waarde
Laag	1,5 sec \geq TTC < 2,0 sec
Gemiddeld	1,0 sec \geq TTC < 1,5 sec
Hoog	TTC < 1,0 sec

Tabel 3.5. *Risiconiveaus van conflicten, afhankelijk van de TTC-waarde (Lu, et al., 2001).*

In de volgende paragrafen zullen naast het aantal conflicten (NOC) een drietal andere verkeersveiligheidsindicatoren op voertuigniveau worden geïllustreerd: de tijdsduur van conflicten (TET), de sterkte van conflicten (TIT) en de potentiële botsenergie (PCE).

3.2.2.1. Aantal conflicten (Number of Conflicts, NOC)

In de meeste gevallen is op een wegvak of kruispunt ook ander verkeer aanwezig en vinden er ontmoetingen plaats. Dit zijn situaties waarbij twee voertuigen elkaar in de tijd en de ruimte naderen en waar ze elkaars gedrag onderling kunnen beïnvloeden. Bij het overgrote deel van de ontmoetingen is een gecontroleerde aanpassing van koers of snelheid voldoende om de ontmoeting normaal af te wikkelen.

Onder een conflict wordt een kritische verkeerssituatie verstaan waarbij twee (of meer) weggebruikers elkaar zodanig naderen dat een botsing dreigt en er een reële kans is op lichamelijk letsel of materiële schade als hun koers en snelheid onveranderd blijven. De FHWA (2003) definieert een conflict als een waar te nemen situatie waarin twee of meer voertuigen elkaar in ruimte en tijd naderen en er risico op botsen is indien hun bewegingen onveranderd blijven.

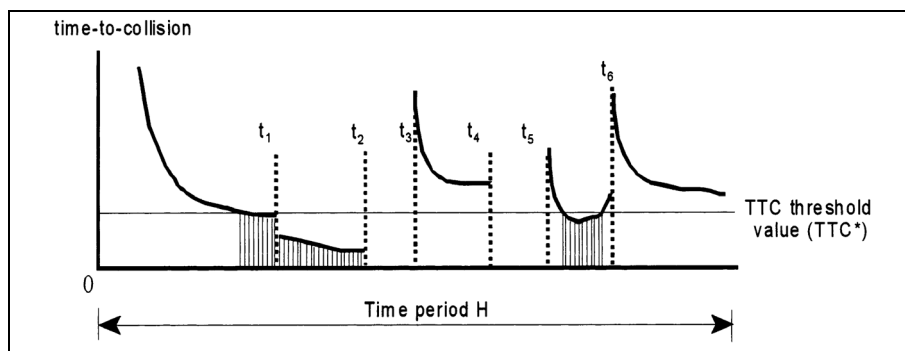
In deze *Paragraaf 3.2* is de TTC als maat voor een conflict genoemd. Deze maat is bruikbaar bij bestudering van één conflict. Een voertuig raakt echter gedurende een rit meestal betrokken bij meer conflicten. Om daar uitdrukking aan te geven hanteren we voor de conflicten waar voertuig i bij betrokken raakt de indicator NOC_i :

$$NOC_i = \sum_{n=0}^T \delta_i(\zeta_n)$$

waarin: $\delta_i(\zeta_n) = 1$ als: $0 \leq TTC_i(\zeta_n) \leq TTC^*$ en $TTC_i(\zeta_{n+1}) > TTC^*$ en
 $= 0$ anders.

TTC_i is de TTC voor voertuig i op tijdstip t zoals berekend in *Paragraaf 3.2.1*, TTC^* de kritieke TTC-waarde, ζ_0 het tijdstip dat voertuig i het netwerk betreedt en ζ_T het tijdstip dat het voertuig het netwerk verlaat.

In het volgende voorbeeld van Minderhoud & Bovy (2001) is gedurende de tijdsperiode H het verloop van de TTC van een voertuig weergegeven (zie *Afbeelding 3.5*). Hierin komt de TTC twee keer onder de kritieke TTC-waarde en is voertuig i zodoende bij twee conflicten betrokken.



Afbeelding 3.5. Het TTC-verloop van een voertuig met twee conflicten gedurende tijdsperiode H (Minderhoud & Bovy, 2001).

Voor een voertuig kan het totaal aantal conflicten gedurende zijn rit door het netwerk bepaald worden. Ook kan ervoor gekozen worden om onderscheid te maken naar conflicttypen: conflicten op wegvakken en op kruispunten. Laatstgenoemde conflicten kunnen weer onderscheiden worden naar frontale conflicten, dwarsconflicten en convergerende conflicten. Door de laagst behaalde (of eigenlijk berekende) TTC-waarden van voertuigen in conflictsituaties te verdelen in een aantal klassen, kan een indicatie van de verkeersveiligheid op wegvakken en kruispunten, routes en een geheel netwerk verkregen worden.

3.2.2.2. Tijdsduur van conflicten (Time Exposed Time-to-collision; TET)

De NOC-indicator laat wel het aantal, maar niet de duur van de vastgestelde conflicten zien. De TET-indicator (Time Exposed Time-to-collision) geeft aan dat de TTC van een voertuig zich, gedurende een bepaalde tijdsperiode, onder een kritieke waarde (TTC^*) begeeft. De TET is dus een sommatie van de momenten dat een voertuig een TTC heeft onder de TTC^* . Dat betekent dat hoe kleiner de TET is hoe minder lang een voertuig zich in een conflictsituatie bevindt en dus hoe verkeersveiliger de situatie is.

In het voorbeeld van *Afbeelding 3.5* is de tijd dat de TTC van het voertuig onder de TTC^* (horizontale lijn) komt af te lezen aan de verticale arcering. Deze momenten bij elkaar opgeteld geeft de waarde van de TET-indicator. In formulevorm:

$$TET_i^* = \sum_{t=0}^T \delta_i(t) \cdot \tau_{sc}$$

waarin: TET_i^* = TET-waarde voor voertuig i
 $\delta_i(t)$ = 1 als: $0 \leq TTC_i(t) \leq TTC^*$ en
 = 0 anders
 τ_{sc} = tijdstap (sec)

3.2.2.3. Sterkte van conflicten (Time Integrated Time-to-collision; TIT)

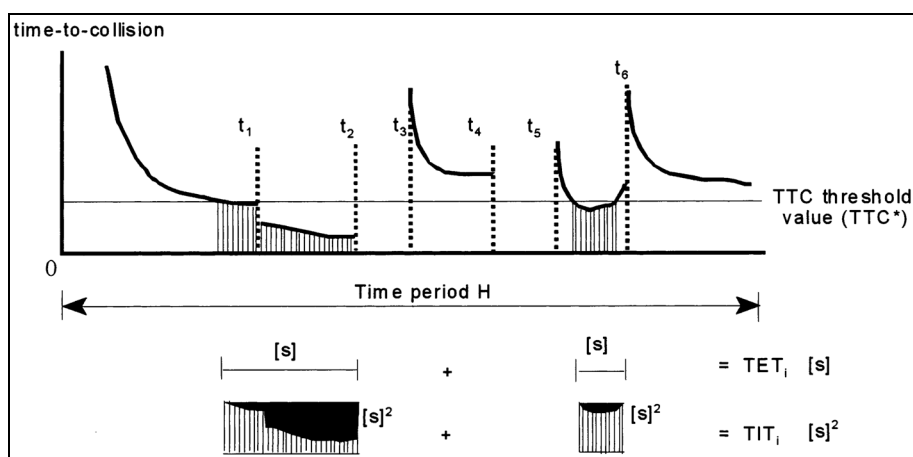
De TET-indicator laat wel zien hoe lang, maar niet hoeveel de TTC-waarden lager liggen dan de kritieke waarde. Als voorbeeld een situatie waarbij een kritieke TTC^* van 3 seconden is ingesteld: een TTC die gedurende 3 seconden een waarde van 1 seconde heeft wordt in de berekening van de

TET indicator even zwaar meegerekend als een TTC die gedurende 3 seconden een waarde van 2 seconden heeft. In het eerste geval is er echter sprake van een onveiligere situatie dan in het tweede geval.

Om de sterkte van de TTC-waarde mee te laten tellen is de TIT-indicator ontwikkeld. De Time Integrated Time-to-collision (TIT) berekent 'het oppervlak' dat optreedt tussen de TTC* en de TTC. In formulevorm:

$$TIT_i^* = \sum_{t=0}^T [TTC^* - TTC_i(t)] \cdot \tau_{sc} \quad \text{voor } 0 \leq TTC_i(t) \leq TTC^*$$

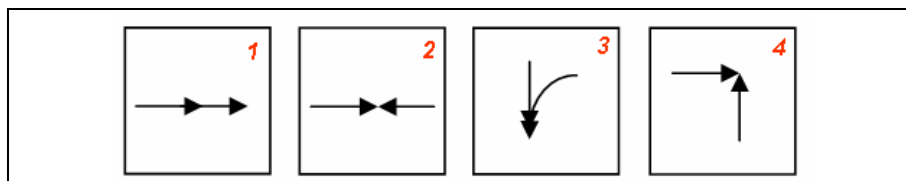
In *Afbeelding 3.6* zijn zowel de TET-waarden als de TIT-waarden uit het voorbeeld van *Afbeelding 3.5* gevisualiseerd.



Afbeelding 3.6. Time Exposed Time-to-collision (in sec) en Time Integrated Time-to-collision (in sec²) bij een gegeven TTC-verloop (Minderhoud & Bovy, 2001).

3.2.2.4. Potentiële botsenergie (Potential Collision Energy, PCE)

De drie conflictmaten die hiervoor zijn besproken geven nog geen zicht op de mogelijke gevolgen van een conflict. Een manier om de *impact* van een conflict weer te geven is via de potentiële botsenergie. Die geeft aan hoeveel energie vrijkomt als de voertuigen die met elkaar in conflict zijn tegen elkaar zouden botsen. De potentiële botsenergie is opgebouwd uit de massa's en snelheden van de betrokken voertuigen en de manier waarop die voertuigen elkaar raken: het type conflict. Op wegvakken onderscheiden we alleen langsc conflicten (type 1 in *Afbeelding 3.7*) en op kruispunten frontale conflicten (type 2), convergerende conflicten (type 3) en dwarsconflicten (type 4).



Afbeelding 3.7. Conflicttypen.

Langsconflict

Voor de berekening van de potentiële botsenergie PCE_T op tijdstip t bij een langsconflict tussen voertuig i met massa m_i en voertuig k met massa m_k wordt de kinetische energie van beide voertuigen van elkaar afgetrokken. In formulevorm:

$$PCE_T(t) = \frac{1}{2}(m_i \cdot v_i^2(t) - m_k \cdot v_k^2(t))$$

waarin m is massa en v is snelheid.

Frontaal conflict en dwarsconflict

Voor de berekening van de potentiële botsenergie PCE_T op tijdstip t bij een frontaal conflict of een dwarsconflict tussen voertuig i en voertuig k wordt de kinetische energie van beide voertuigen bij elkaar opgeteld. In formulevorm:

$$PCE_T(t) = \frac{1}{2}(m_i \cdot v_i^2(t) + m_k \cdot v_k^2(t))$$

Convergerend conflict

Voor de berekening van de potentiële botsenergie PCE_T op tijdstip t bij een convergerend conflict tussen voertuig i en voertuig k wordt de kinetische energie van beide voertuigen bij elkaar opgeteld en gecorrigeerd door een factor voor de hoek tussen de voertuigen (aangenomen hoek is 45°). In formulevorm:

$$PCE_T(t) = \frac{1}{4}(m_i \cdot v_i^2(t) + m_k \cdot v_k^2(t))$$

Verdeling PCE over voertuigen

De totale potentiële botsenergie PCE_T die vrijkomt als de voertuigen i en k met massa m zouden botsen op tijdstip t berekenen we met de drie hiervoor gegeven formules. Deze energie wordt naar massa verdeeld over de voertuigen. Het lichtste voertuig krijgt het grootste deel van de potentiële botsenergie te verwerken, het zwaarste voertuig het kleinste deel. De te verwerken potentiële botsenergie PCE voor voertuig i wordt als volgt berekend:

$$PCE_i(t) = \frac{m_k}{m_i + m_k} \cdot PCE_T(t)$$

en analoog voor voertuig k :

$$PCE_k(t) = \frac{m_i}{m_i + m_k} \cdot PCE_T(t)$$

3.2.3. *Indicatoren voor volgtijd, volgafstand en snelheid*

In de volgende paragrafen zullen aanvullend op de vier eerder behandelde verkeersveiligheidsindicatoren op voertuigniveau nog drie andere worden geïntroduceerd, geënt op volgafstand, volgtijd en snelheid. Deze indicatoren zijn niet direct afgeleid van de TTC. Wel hebben ze nauwe verwantschap met de TTC omdat ze opgebouwd zijn uit de afstand tussen twee voertuigen

en het snelheidsverschil tussen de voertuigen. Analoog aan de manier waarop Minderhoud & Bovy (2001) de TET en TIT hebben afgeleid van de TTC zullen we hierna soortgelijke indicatoren afleiden, gericht op de duur en op de ernst van de situaties.

3.2.3.1. Volgafstand (Distance Headway)

De volgafstand is gelijk aan de afstand tussen een voertuig en zijn voorligger. Een volgafstand kan gerefereerd worden aan een 'veilige afstand' waarbij een botsing met een voorligger onmogelijk is, indien deze voorligger onverwacht gedrag vertoont. Als een volgafstand kleiner is dan de veilige volgafstand is er sprake van een onveilige situatie. Het aantal kritische volgafstanden op een wegvak of op alle wegvakken tezamen kan een verkeersveiligheidsindicator zijn.

Time Exposed Distance Headway (TEDH)

De TEDH (Time Exposed Distance Headway) geeft de tijdsduur aan dat de volgafstand van een voertuig zich onder een kritieke waarde (volgafstand*) bevindt gedurende een bepaalde tijdsperiode. De TEDH is dus een sommatie van de momenten dat een voertuig een volgafstand heeft onder de volgafstand*. Dat betekent hoe kleiner de TEDH, hoe verkeersveiliger een situatie is. In formulevorm:

$$TEDH_i^* = \sum_{t=0}^T \delta_i(t) \cdot \tau_{sc}$$

waarin: $TEDH_i^*$ = TEDH-waarde voor voertuig i

$\delta_i(t)$ = 1 als: $0 \leq \text{volgafstand}_i(t) \leq \text{volgafstand}^*$ en
= 0 anders

τ_{sc} = tijdstap (sec)

Time Integrated Distance Headway (TIDH)

De TIDH (Time Integrated Distance Headway) berekent het oppervlak dat optreedt tussen de volgafstand en de volgafstand*. In formulevorm:

$$TIDH_i^* = \sum_{t=0}^T [\text{volgafstand}^* - \text{volgafstand}_i(t)] \cdot \tau_{sc}$$

voor $0 \leq \text{volgafstand}_i(t) \leq \text{volgafstand}^*$

3.2.3.2. Volgtijd (Time Headway)

Vogel (2003) introduceert volgtijd als indicator om de verkeersveiligheid te kunnen bepalen. De volgtijd is de tijd tussen een voertuig en zijn voorligger. Als een volgtijd onder een kritieke waarde komt is er sprake van een onveilige situatie. Het aantal kleine volgtijden kan gelden als een verkeersveiligheidsindicator op wegvakken of op alle wegvakken tezamen.

Time Exposed Time Headway (TETH)

De TETH (Time Exposed Time Headway) geeft de tijdsduur aan dat de volgtijd van een voertuig zich onder een kritieke waarde (volgtijd*) bevindt gedurende een bepaalde tijdsperiode. De TETH is dus een sommatie van de momenten dat een voertuig een volgtijd heeft onder de volgtijd*. Dat

betekent hoe kleiner de TETH hoe verkeersveiliger een situatie. In formulevorm:

$$TETH_i^* = \sum_{t=0}^T \delta_i(t) \cdot \tau_{sc}$$

waarin: $TETH_i^*$ = TETH-waarde voor voertuig i
 $\delta_i(t)$ = 1 als: $0 \leq \text{volgtijd}_i(t) \leq \text{volgtijd}^*$ en
 = 0 anders
 τ_{sc} = tijdstap (sec)

Time Integrated Time Headway (TITH)

De TITH (Time Integrated Time Headway) berekent het oppervlak dat optreedt tussen de volgtijd en de volgtijd*. In formulevorm:

$$TITH_i^* = \sum_{t=0}^T [\text{volgtijd}^* - \text{volgtijd}_i(t)] \cdot \tau_{sc}$$

voor $0 \leq \text{volgtijd}_i(t) \leq \text{volgtijd}^*$

3.2.3.3. Snelheid (Speed)

De snelheid van elk voertuig is, bij het gebruik van een microsimulatiemodel, op elk willekeurig moment bekend. We leiden hiervan enkele indicatoren af.

Time Exposed Speed (TES)

De TES (Time Exposed Speed) geeft de tijdsduur aan dat de snelheid van een voertuig zich boven de snelheidslimiet (snelheid*) van een wegvak bevindt gedurende een bepaalde tijdsperiode. De TES is dus een sommatie van de momenten dat een voertuig een snelheid heeft boven de snelheidslimiet. Dat betekent dat hoe kleiner de TES is hoe verkeersveiliger een situatie is. In formulevorm:

$$TES_i^* = \sum_{t=0}^T \delta_i(t) \cdot \tau_{sc}$$

waarin: TES_i^* = TES-waarde voor voertuig i
 $\delta_i(t)$ = 1 als $\text{snelheid}_i(t) \geq \text{snelheid}^*$ en
 = 0 anders
 τ_{sc} = tijdstap (sec)

Time Integrated Speed (TIS)

De TIS (Time Integrated Speed) berekent het oppervlak tussen de snelheid en de snelheidslimiet* dat optreedt. In formulevorm:

$$TIS_i^* = \sum_{t=0}^T [\text{snelheid}_i(t) - \text{snelheid}^*] \cdot \tau_{sc} \quad \text{voor } 0 \leq \text{snelheid}_i(t) \leq \text{snelheid}^*$$

3.2.4. Van voertuigniveau naar wegvak- of kruispuntniveau

De scores van de verschillende verkeersveiligheidsindicatoren op voertuigniveau kunnen per wegvak of kruispunt gesommeerd worden, met als gevolg een indicatie van de verkeersveiligheid van een wegvak of kruispunt.

Zo is het aantal conflicten dat gedurende een tijdsperiode op een wegvak optreedt een maat voor de verkeersveiligheid van het wegvak. Als de absolute score gedeeld wordt door een expositiemaat, bijvoorbeeld het aantal gepasseerde voertuigen per tijdseenheid, ontstaat een relatieve maat. Hiermee is het mogelijk om verschillende wegvakken en verschillende simulaties met elkaar te vergelijken.

In de volgende twee subparagrafen wordt de rekenstap van de verkeersveiligheid op voertuigniveau naar die op wegvak- en kruispuntniveau algemeen gehouden. Dit houdt in dat de verkeersveiligheid door verschillende indicatoren op voertuigniveau kan worden ingevuld: het aantal conflicten, de TET, de TIT en de potentiële botsenergie, maar ook de indicatoren voor volgafstand, volgtijd en snelheid. De manier om op wegvak- of kruispuntniveau te komen is voor alle verkeersveiligheidsindicatoren gelijk.

3.2.4.1. Wegvakken

Absolute maat

De verkeersonveiligheid VOV op wegvak m gedurende tijdsperiode T is gelijk aan de som van de verkeersonveiligheid waarbij het aantal I voertuigen dat gedurende tijdsperiode T wegvak m passeert, betrokken is. In formulevorm:

$$VOV_{m,T} = \sum_{i=0}^I VOV_{i,m,T} \quad (12)$$

Hierin wordt de verkeersonveiligheid VOV vormgegeven door het aantal conflicten (NOC), de TET, de TIT of de potentiële botsenergie PCE, alsmede de indicatoren TEDH/TIDH, TETH/TITH, en TES/TIS.

Relatieve maat

De relatieve verkeersonveiligheid $RVOV$ voor wegvak m gedurende tijdsperiode T is gelijk aan het absolute verkeersonveiligheid zoals berekend met de voorgaande formule gedeeld door het aantal I voertuigen dat gedurende tijdsperiode T wegvak m passeert. In formulevorm:

$$RVOV_{m,T} = \frac{VOV_{m,T}}{I_{m,T}} \quad (13)$$

3.2.4.2. Kruispunten

Absolute maat

Langsconflicten

De verkeersonveiligheid VOV voor langsconflicten op kruispunt n voor manoeuvre m gedurende tijdsperiode T is gelijk aan de som van de verkeersonveiligheid waarin de I voertuigen die manoeuvre m op kruispunt n gedurende tijdsperiode T uitvoeren, betrokken zijn. In formulevorm:

$$VOV_{n,m,T} = \sum_{i=0}^I VOV_{i,n,m,T} \quad (14)$$

In deze formule zijn er voor manoeuvre m in beginsel drie opties: rechtsaf, rechtdoor en linksaf. Op een viertakskruispunt zijn twaalf rijrichtingen

aanwezig (4 takken maal 3 manoeuvres) en op een drietakskruispunt zes (3 takken x 2 manoeuvres). Soms zijn er extra manoeuvres op een kruispunt mogelijk, bijvoorbeeld exclusieve fiets- of busmanoeuvres. In dat geval dient een specifieke analyse van de conflicterende manoeuvres plaats te vinden.

Convergerende, dwars- en frontale conflicten

De verkeersonveiligheid VOV voor convergerende, dwars- en frontale conflicten op kruispunt n en manoeuvre m gedurende tijdsperiode T is gelijk aan de som van het aantal conflicten waarin de I voertuigen die manoeuvre m op kruispunt n gedurende tijdsperiode T uitvoeren, betrokken zijn. Doordat een conflict tussen twee voertuigen op hetzelfde kruispunt plaatsvindt en dus voor beide voertuigen als conflict wordt meegeteld, dienen de conflicten voor het kruispunten gedeeld te worden door twee. In formulevorm:

$$VOV_{n,m,T} = \sum_{i=0}^I VOV_{i,n,m,T} \times 0,5 \quad (15)$$

waarin manoeuvre m rechtsaf, rechtdoor en linksaf kan zijn of nog verder gespecificeerd op stroomniveau. Op een viertakskruispunt zijn twaalf rijrichtingen (4 takken x 3 richtingen [rechtsaf, rechtdoor en linksaf]) aanwezig en op een drietakskruispunt zes (3 takken x 2 richtingen).

Relatieve maat

De relatieve verkeersonveiligheid $RVOV$ voor kruispunt n gedurende tijdsperiode T is gelijk aan de onveiligheid VOV zoals berekend met een van beide voorgaande formules (voor langs- of andere conflicten) gedeeld door het aantal gepasseerde voertuigen I die manoeuvre m op kruispunt n uitvoeren gedurende tijdsperiode T . In formulevorm:

$$RVOV_{n,m,T} = \frac{VOV_{n,m,T}}{I_{n,m,T}} \quad (16)$$

3.2.5. *Van wegvak- en kruispuntniveau naar routeniveau*

Een route r wordt gedefinieerd als een te volgen aaneenschakeling van M aantal wegvakken en N aantal kruispunten om van herkomst i bij bestemming j te komen. Om de verkeersveiligheid van een route aan te geven wordt de relatieve verkeersonveiligheid gebruikt voor wegvakken en kruispunten.

De verkeersveiligheid voor een route r tussen herkomst i en bestemming j is gelijk aan de som van de verkeersonveiligheid (VOV) gedurende tijdsperiode T op de M aantal wegvakken en N aantal kruispunten (zie de formules voor de absolute maten in *Paragraaf 3.2.4*) gespecificeerd naar manoeuvre, die deel uitmaken van de route. In formulevorm:

$$VOV_{ij,r,T} = \sum_{m=0}^M VOV_{m,T} + \sum_{n=0}^N VOV_{n,m,T} \quad (17)$$

En de relatieve indicator voor de route is:

$$RVOV_{ij,r,T} = \frac{VOV_{ij,r,T}}{I_{ij,T}} \quad (18)$$

Als er geen voertuigen gebruikmaken van een route wil dat niet zeggen dat *RVOV* niet kan worden berekend. Er zijn namelijk wel degelijk voertuigen die van de wegvakken op een route gebruikmaken, maar de route zelf niet afmaken. Die aantallen passerende voertuigen tellen mee voor de *RVOV*. Op dezelfde wijze tellen ook op routes die wel worden gevolgd nog extra voertuigen mee voor de *RVOV*, ook al volbrengen ze die route niet.

Afhankelijk van de beschouwde conflictmaat (NOC, TET, TIT, enzovoort) zal de eenheid van de (relatieve) indicator uit *Formule 18* variëren. Het is daarom nodig om de indicator om te rekenen naar een percentage. Dit is gedaan analoog aan de berekening in *Paragraaf 3.1.3*.

3.2.6. Van routeniveau naar HB-niveau

Met de verkeersveiligheidsindicatoren op routeniveau, zoals beschreven in *Paragraaf 3.2.5*, en met alle routes die bij een bepaalde HB-relatie horen, is het mogelijk om de verkeersveiligheid van een HB-relatie te berekenen. Door inzichtelijk te maken hoe de voertuigen zich over deze routes verdelen wordt gekeken in hoeverre en hoeveel voertuigen de veiligste route kiezen. Hierbij is het van belang om ook het veiligheidsgehalte mee te nemen van routes die in een simulatie niet gekozen worden. In een andere simulatie kan er immers wel verkeer over deze routes gaan rijden.

Verdeling voertuigen over alle routes

De verdeling van de voertuigen over de routes per HB-relatie wordt aangegeven door het percentage van het totaal aantal voertuigen per HB-relatie dat via route *r* reist. In formulevorm:

$$V_{HB,r} = \frac{I_r}{I_{HB}} \times 100\% \quad (19)$$

waarin $V_{HB,r}$ het percentage voertuigen dat via route *r* van herkomst *H* naar bestemming *B* reist, I_r het absoluut aantal voertuigen dat via route *r* reist en I_{HB} het totaal aantal voertuigen dat van herkomst *H* naar bestemming *B* reist.

Veiligheidsgehalte HB

Om het veiligheidsgehalte van een HB-relatie te kunnen definiëren worden de scores op het aantal conflicten, TET, TIT en potentiële botsenergie gestandaardiseerd. De gestandaardiseerde verkeersveiligheidsscore van een route *r* wordt als volgt gedefinieerd:

$$VV_r = 100 \times \frac{VV_r - \min_r \{VV_r\}}{\max_r \{VV_r\} - \min_r \{VV_r\}} \quad (20)$$

waarin de verkeersveiligheidsscore van een route VV_r wordt bepaald door het aantal conflicten (NOC), de TET, TIT, potentiële botsenergie (PCE) of een van de indicatoren TEDH/TIDH, TETH/TITH, en TES/TIS.

De veiligheidsscore van een HB-relatie wordt dan als volgt gedefinieerd:

$$VV_{HB} = 100 - \sum_{r=1}^R \frac{(100 - VV_{rs}) \times V_{HB,r}}{100} \quad (21)$$

ofwel

$$VV_{HB} = \sum_{r=1}^R \frac{VV_{rs} \times V_{HB,r}}{100} \quad (22)$$

waarin de gestandaardiseerde verkeersveiligheidsscore van een route VV_{rs} door een van de bovengenoemde conflictmaten wordt bepaald.

In het volgende hoofdstuk zullen zowel de voertuigafhankelijke als de algemene verkeersveiligheidsindicatoren worden toegepast in een testnetwerk.

4. Een toepassing van verkeersveiligheidsindicatoren

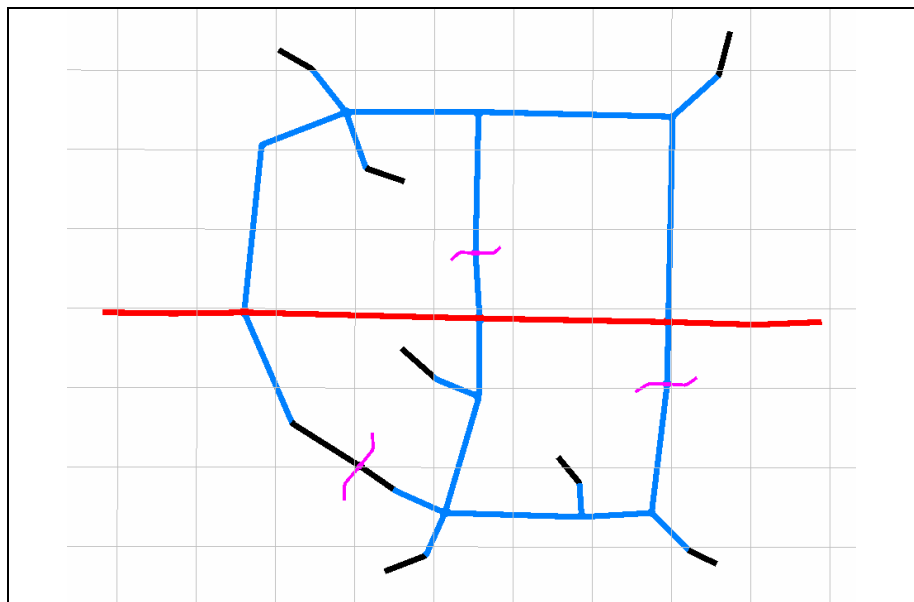
In dit hoofdstuk zullen we de beschreven verkeersveiligheidsindicatoren uit *Hoofdstuk 3* toepassen in het microsimulatiepakket S-Paramics. In dit pakket is daartoe een aantal simulaties met een tijdsperiode van een uur uitgevoerd op een zogeheten 'synthetisch testnetwerk': verschillende routes van een HB-relatie binnen de bebouwde kom. De discussie en conclusies naar aanleiding van deze toepassing zijn opgenomen in *Hoofdstuk 5*.

4.1. Beschrijving testnetwerk in Paramics

4.1.1. Wegtypen

Het testnetwerk bestaat uit kruispunten (*nodes*), wegvakken (*links*) die zich tussen de *nodes* in bevinden, en zones die verkeer genereren en opnemen. Dit testnetwerk bestaat uit vier verschillende wegtypen (zie *Afbeelding 4.1*):

- voetpaden (paars);
- wegen met snelheidslimiet van 30 km/uur (zwart);
- wegen met snelheidslimiet van 50 km/uur (blauw);
- wegen met snelheidslimiet van 70 km/uur (rood).

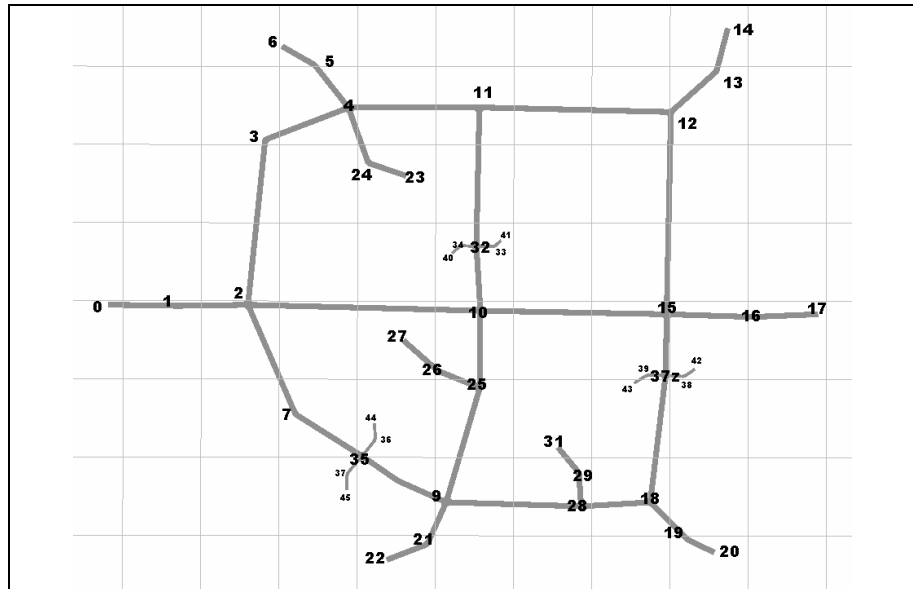


Afbeelding 4.1. Wegtypen in het testnetwerk.

Dwars door het netwerk loopt een voorrangsweg van 70 km/uur die aan weerszijden een externe zone heeft (met verkeer zonder herkomst of bestemming in het testnetwerk). Voertuigen die niet via deze externe zones het netwerk betreden of verlaten maken altijd gebruik van 30km/uur-wegen (zwart). Voor deze voertuigen begint en eindigt een route door het netwerk dus altijd op een 30km/uur-weg. Ook zijn er drie voetgangersoversteekplaatsen gesimuleerd, te herkennen aan de drie paarse voetpaden die de wegen kruisen. In twee gevallen betreft het een voetgangersoversteekplaats op een 50km/uur-weg, de derde bevindt zich in een 30km/uur-zone.

4.1.2. Kruispunten

In *Afbeelding 4.2* zijn de kruispunten genummerd; S-Paramics kent deze nummering automatisch toe. De enige functie van deze nummering is een eenduidige benaming van wegvakken en kruispunten.



Afbeelding 4.2. Kruispunten in het testnetwerk.

De viertakskruispunten 2, 10 en 15 zijn voorrangskruispunten. Op de overige viertakskruispunten (4 en 9) alsmede op de drietakskruispunten (11, 12, 18, 25 en 28) is de voorrang niet geregeld (rechts heeft voorrang).

Op de voetgangersoversteekplaatsen (kruispunten 32, 35 en 37z) hebben de voetgangers voorrang.

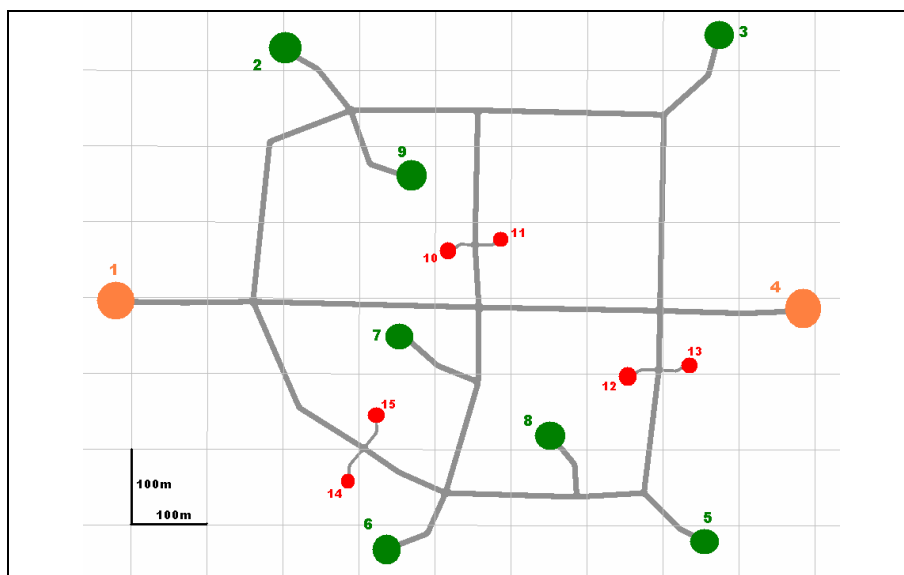
De wegvakken in het netwerk worden aangeduid door een combinatie van begin- en eindkruispunt. Zo rijdt het verkeer van kruispunt 2 naar kruispunt 10 via wegvak 2-10. Het tegemoetkomend verkeer rijdt op wegvak 10-2.

4.1.3. Zones

Zones fungeren als herkomst en als bestemming, dat wil zeggen ze 'genereren' voertuigen, maar nemen ook voertuigen op van het netwerk. In het synthetisch testnetwerk zijn twee externe zones (oranje cirkels) aanwezig en zeven interne zones (groene cirkels), daarnaast zijn er zes voetgangerszones (rode cirkels), die gemaakt zijn om drie oversteekplaatsen na te bootsen (zie *Afbeelding 4.3*).

De zones worden gebruikt om de HB-matrix op te stellen. In deze matrix wordt voor elke HB-relatie het aantal voertuigen ingevuld. De volgende typen verkeer worden daarin onderscheiden:

- Doorgaand verkeer, zowel herkomst- als bestemmingszone is een externe zone.
- Vertrekkend verkeer, een interne zone als herkomst en externe zone als bestemming.
- Binnenkomend verkeer, een externe zone als herkomst en een interne zone als bestemming.



Afbeelding 4.3. Zones in het testnetwerk.

- D. Intern verkeer, zowel herkomst- als bestemmingszone is een interne zone.
- E. Voetgangers, zowel herkomst- als bestemmingszone is een voetgangerszone.

In Tabel 4.1 zijn de relaties tussen de verschillende zones 1 t/m 9 aangegeven voor de motorvoertuigen, met daarin het type verkeer (A, B, C of D). In Tabel 4.2 zijn de relaties tussen de zones aangegeven voor de voetgangers (type E).

Herkomst	Bestemming								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	C	C	A	C	C	C	C	C
2	B	-	D	B	D	D	D	D	D
3	B	D	-	B	D	D	D	D	D
4	A	C	C	-	C	C	C	C	C
5	B	D	D	B	-	D	D	D	D
6	B	D	D	D	D	-	D	D	D
7	B	D	D	B	D	D	-	D	D
8	B	D	D	B	D	D	D	-	D
9	B	D	D	B	D	D	D	D	-

Tabel 4.1. HB-relaties voor motorvoertuigen in het testnetwerk.

HVB	10	11	12	13	14	15
10	-	E	-	-	-	-
11	E	-	-	-	-	-
12	-	-	-	E	-	-
13	-	-	E	-	-	-
14	-	-	-	-	-	E
15	-	-	-	-	E	-

Tabel 4.2. *HB-relaties voor voetgangers in het testnetwerk.*

4.1.4. *Uitvoering van de simulatie*

Bij de simulatie worden eigenschappen aan voertuigen en hun bestuurders toegewezen op basis van een 'random generator'. Vanuit wetenschappelijk oogpunt zijn verscheidene simulaties gewenst om de gemiddelde situatie te bepalen, bijvoorbeeld op basis van dertig simulaties met verschillende random waarden bepaal je een gemiddelde van de resultaten. In de praktijk gebeurt dit overigens zelden, en ook in deze toepassing niet. Dat is geen bezwaar, omdat deze toepassing namelijk niet bedoeld is om te zoeken naar resultaten die een gemiddeld beeld moeten geven van een toekomstige situatie.

De beschreven simulatie is uitgevoerd met de instellingen van S-Paramics zoals die in 2006 standaard waren ingesteld. Deze instellingen betreffen onder andere kenmerken van bestuurders, voertuigen en hun relaties met de wegomgeving.

4.1.5. *HB-relatie en bijbehorende routes*

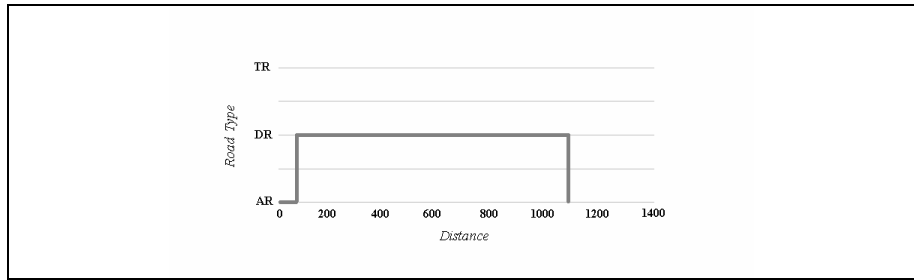
De verschillende verkeersveiligheidsindicatoren kunnen voor elke HB-relatie in het netwerk worden toegepast. In dit rapport wordt als voorbeeld steeds HB-relatie 2-5 beschouwd. In deze HB-relatie zijn zes routes als verbinding mogelijk (nummering volgens *Afbeelding 4.2*):

- R1. Kruispunt 4-11-12-15-18;
- R2. Kruispunt 4-11-10-15-18;
- R3. Kruispunt 4-11-10-9-18;
- R4. Kruispunt 4-2-10-15-18;
- R5. Kruispunt 4-2-10-9-18;
- R6. Kruispunt 4-2-9-18.

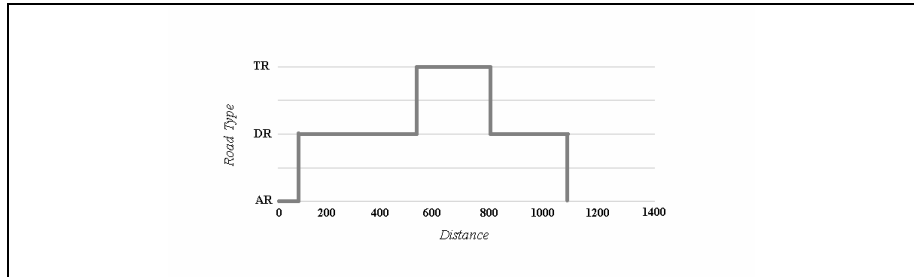
4.2. **Algemene verkeersveiligheidsindicatoren**

4.2.1. *Duurzaam Veilig-gehalte*

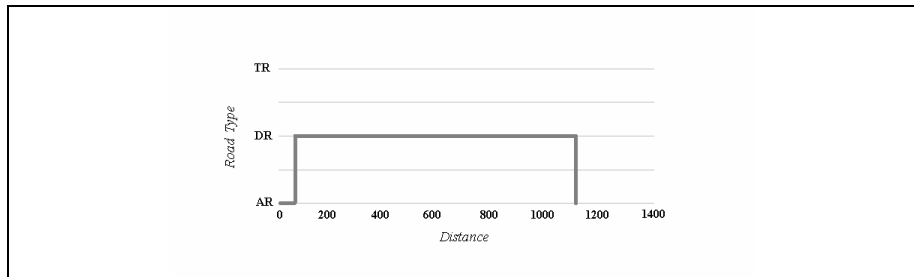
Allereerst zijn de zes routes in het testnetwerk visueel weergegeven als routediagrammen (zie ook *Paragraaf 3.1.2*) in de *Afbeeldingen 4.4* tot en met *4.9*.



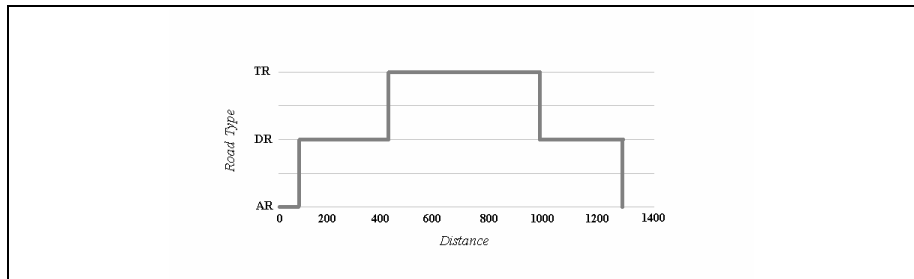
Afbeelding 4.4. Routediagram route 1.



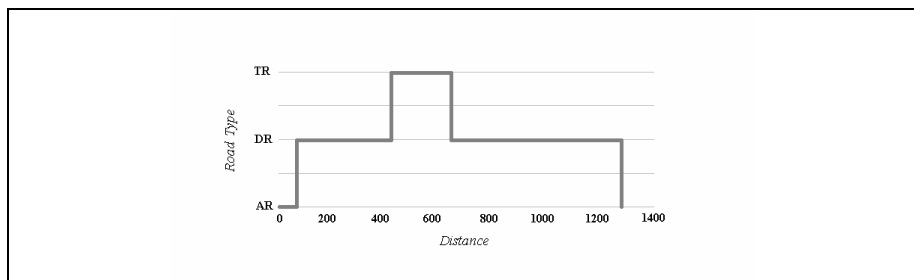
Afbeelding 4.5. Routediagram route 2.



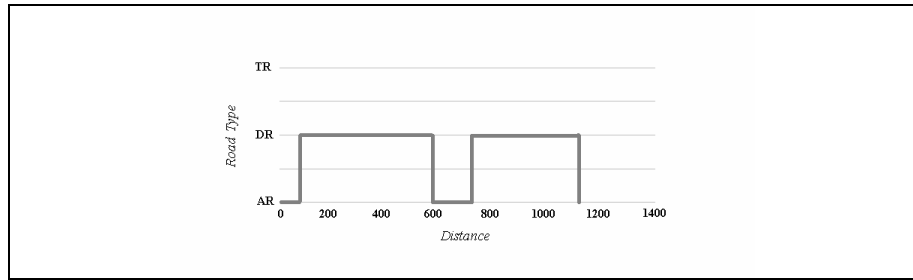
Afbeelding 4.6. Routediagram route 3.



Afbeelding 4.7. Routediagram route 4.



Afbeelding 4.8. Routediagram route 5.



Afbeelding 4.9. Routediagram route 6.

Voor de aangeduide zes routes zijn gegevens verzameld om de scores op de negen Duurzaam Veilig-criteria te kunnen berekenen zoals beschreven in *Paragraaf 3.1.2*. Deze berekende scores zijn per route in *Tabel 4.3* weergegeven.

Criterium	Beschrijving	R1	R2	R3	R4	R5	R6
1	Aantal extra overgangen	0	0	0	0	0	2
2	Aantal foute overgangen	0	0	0	0	0	0
3	Aantal ontbrekende wegcategorieën	1	0	1	0	0	1
4	ETW t.o.v. totale afstand (%)	7,9	8,5	8,3	6,7	6,6	20,6
5	GOW t.o.v. totale afstand (%)	92,1	68,9	91,7	53,1	71,6	79,4
6	Afstand (m)	1142	1055	1087	1334	1366	1192
7	Reistijd (sec)	87	75	83	90	96	98
8	Aantal linksafbewegingen	2	3	2	2	2	0
9	Aantal kruispunten per km	5,7	6,9	8	5,6	6,1	6,3

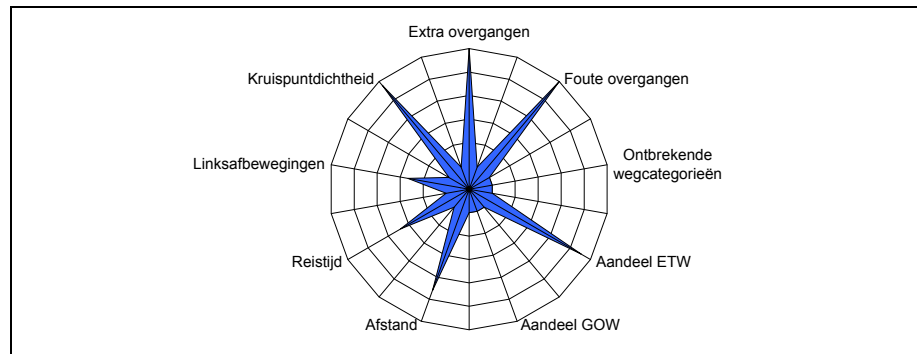
Tabel 4.3. Berekende scores per route op negen Duurzaam Veilig-criteria.

De gestandaardiseerde scores zijn volgens *Formule 4* in *Paragraaf 3.1.3* berekend en weergegeven in *Tabel 4.4*.

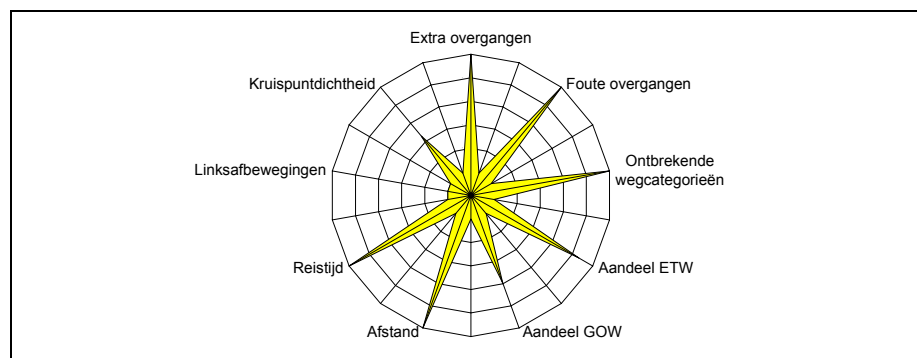
Criterium	Beschrijving	R1	R2	R3	R4	R5	R6
1	Aantal extra overgangen	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
2	Aantal foute overgangen	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	Aantal ontbrekende wegcategorieën	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00
4	ETW t.o.v. totale afstand (%)	0,09	0,14	0,12	0,01	0,00	1,00
5	GOW t.o.v. totale afstand (%)	1,00	0,41	0,99	0,00	0,47	0,67
6	Afstand (m)	0,28	0,00	0,10	0,90	1,00	0,44
7	Reistijd (sec)	0,52	0,00	0,35	0,65	0,91	1,00
8	Aantal linksafbewegingen	0,67	1,00	0,67	0,67	0,67	0,00
9	Aantal kruispunten per km	0,04	0,54	1,00	0,00	0,21	0,29

Tabel 4.4. Gestandaardiseerde scores per route op negen Duurzaam Veilig-criteria.

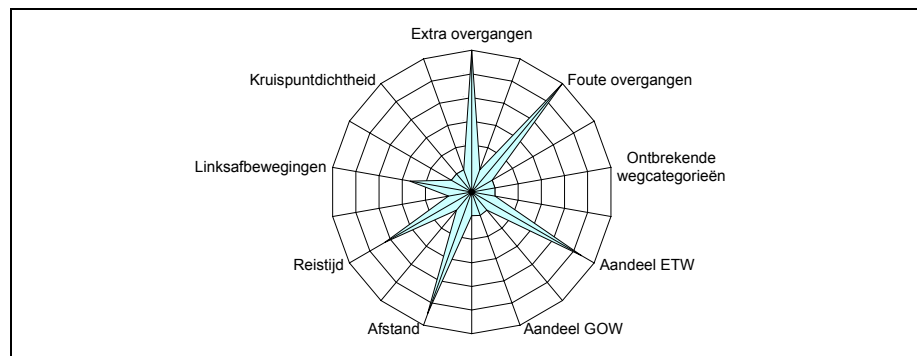
De routesterren zoals geïntroduceerd in *Paragraaf 3.1.3* zijn voor elke route weergegeven in de *Afbeeldingen 4.10* tot en met *4.15*.



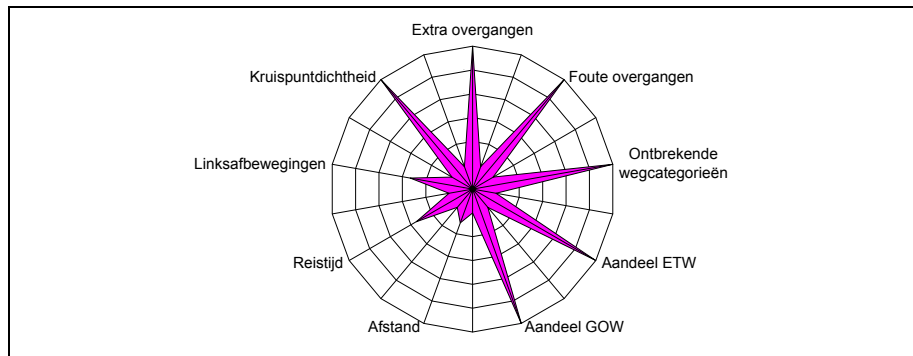
Afbeelding 4.10. *Routester route 1.*



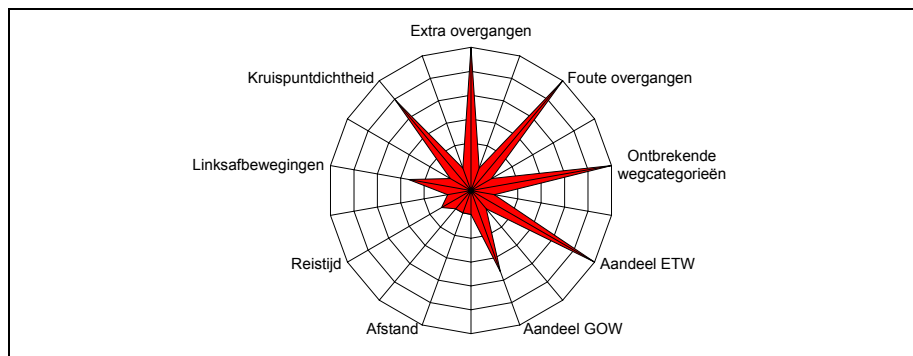
Afbeelding 4.11. *Routester route 2.*



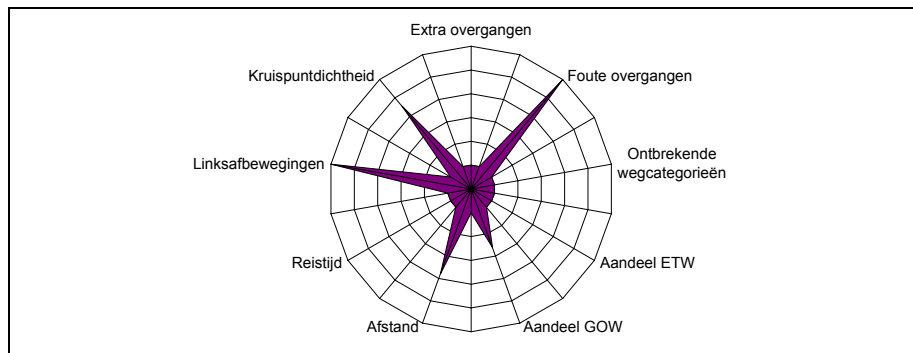
Afbeelding 4.12. *Routester route 3.*



Abbeelding 4.13. Routester route 4.



Abbeelding 4.14. Routester route 5.



Abbeelding 4.15. Routester route 6.

Gewichten en totaalscore

Er is voor gekozen om alle criteria even zwaar mee te wegen (zie *Paragraaf 3.1.3* voor de gewichten van criteria). Elk criterium krijgt zodoende een gewicht van 1/9, dat in *Tabel 4.5* is vermenigvuldigd met de gestandaardiseerde scores. Door dit product per route over de negen criteria te sommeren, wordt per route de onveiligheidsscore verkregen. Het Duurzaam Veilig-gehalte is vervolgens bepaald met *Formule 5* uit *Paragraaf 3.1.3*.

Rangorde routes

Op basis van het Duurzaam Veilig-gehalte kan een rangorde van routes gemaakt worden. Route 2 en route 4 zijn nagenoeg gelijk, gevolgd door route 5 en kort daarachter route 1. Route 3 en route 6 sluiten de rij, met de laatste op zeer aanzienlijke afstand; zie ook *Tabel 4.6*.

Criterion	Beschrijving	Gewicht	R1	R2	R3	R4	R5	R6
1	Aantal extra overgangen	1/9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,111
2	Aantal foute overgangen	1/9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	Aantal ontbrekende wegcategorieën	1/9	0,111	0,000	0,111	0,000	0,000	0,111
4	ETW t.o.v. totale afstand (%)	1/9	0,010	0,016	0,013	0,001	0,000	0,111
5	GOW t.o.v. totale afstand (%)	1/9	0,111	0,046	0,110	0,000	0,052	0,074
6	Afstand (m)	1/9	0,031	0,000	0,011	0,100	0,111	0,049
7	Reistijd (sec)	1/9	0,058	0,000	0,039	0,072	0,101	0,111
8	Aantal linksaf-bewegingen	1/9	0,074	0,111	0,074	0,074	0,074	0,000
9	Aantal kruispunten per km	1/9	0,004	0,060	0,111	0,000	0,023	0,032
SOM onveiligheidsscores		1	0,400	0,232	0,470	0,248	0,362	0,600
Duurzaam Veilig-gehalte			60%	77%	53%	75%	64%	40%

Tabel 4.5. Berekening van het Duurzaam Veilig-gehalte van de routes uit de gestandaardiseerde scores per route en het toegekende gewicht op negen Duurzaam Veilig-criteria.

Route	Duurzaam Veilig-gehalte
R2	77%
R4	75%
R5	64%
R1	60%
R3	53%
R6	40%

Tabel 4.6. Rangorde routes op basis van Duurzaam Veilig-gehalte.

Van routeniveau naar HB-niveau

Met de Duurzaam Veilig-gehaltes van de routes en de verdeling van de voertuigen over de routes wordt het veiligheidsniveau van HB-relatie 2-5 berekend.

Uit de simulatieresultaten blijkt dat 60% van de voertuigen via route 2 reist, 20% via route 1, 13% via route 6 en 7% via route 4. Met *Formule 7* in *Paragraaf 3.1.4* kan nu het veiligheidsgehalte van HB-relatie 2-5 worden berekend. In *Tabel 4.7* staat per route het percentage dat een route bijdraagt aan de totale onveiligheid van de beschouwde HB-relatie. De som van deze onveiligheden levert 31,25%. De mate waarin de voertuigen zich op een veilige manier over de routes verspreiden komt bij HB-relatie 2-5 dan op 69%.

Route	Duurzaam Veilig-gehalte	Verdeling verkeer	Onveiligheid HB-relatie 2-5
1	60%	20%	8%
2	77%	60%	13,8%
3	53%	0%	0%
4	75%	7%	1,75%
5	64%	0%	0%
6	40%	13%	7,8%

Tabel 4.7. *Verdeling verkeer en onveiligheid HB-relatie 2-5 over zes routes.*

Als we uitgaan van de infrastructuur die er nu eenmaal ligt, dan rekenen we met gestandaardiseerde Duurzaam Veilig-gehaltenes. De route die het meest aan de Duurzaam Veilig-criteria voldoet, route 2, wordt daartoe gestandaardiseerd op 100% volgens *Formule 9* in *Paragraaf 3.1.5*. De route die het minst voldoet aan de Duurzaam Veilig-criteria, route 6, wordt gestandaardiseerd op 0%. De andere routes worden er tussenin geschaald volgens diezelfde formule (zie *Tabel 4.8*).

Route	Duurzaam Veilig-gehalte	Gestandaardiseerd Duurzaam Veilig-gehalte	Verdeling verkeer	Onveiligheid HB-relatie 2-5
1	60%	54%	20%	9,2%
2	77%	100%	60%	0%
3	53%	35%	0%	0%
4	75%	95%	7%	0,35%
5	64%	65%	0%	0%
6	40%	0%	13%	13%

Tabel 4.8. *Verdeling verkeer en onveiligheid HB-relatie 2-5 over zes routes, gegeven de infrastructuur.*

Opgeteld heeft de HB-relatie 2-5 een onveiligheidsscore van 22,6%. De mate waarin de voertuigen zich volgens het Duurzaam Veilig-principe over de gegeven infrastructuur verspreiden bij HB-relatie 2-5 is 77%. De hoogste score, van 100%, zou worden bereikt als alle voertuigen route 2 zouden kiezen.

4.2.2. *Ernst- en risicomaten*

Gedurende de simulatie met S-Paramics is voor elk wegvak de intensiteit geregistreerd. Door de lengte van het wegvak te combineren met de intensiteit berekenen we de verkeersprestatie, uitgedrukt in miljoen afgelegde voertuigkilometers in een jaar (zie *Paragraaf 3.1.1*). De tijdsduur van de simulatie was een heel uur.

Met de kencijfers uit *Tabel 3.1* berekenen we de letselongevallen op alle wegvakken die deel uitmaken van de routes. Vervolgens sommeren we per route de berekende letselongevallen. De resultaten van de zes routes staan in *Tabel 4.9* weergegeven.

Route	Aantal letselongevallen (*10 ⁻⁵)
4	2,97
6	3,15
5	4,74
2	4,86
1	4,94
3	6,64

Tabel 4.9. *Berekend aantal letselongevallen per uur op de zes routes.*

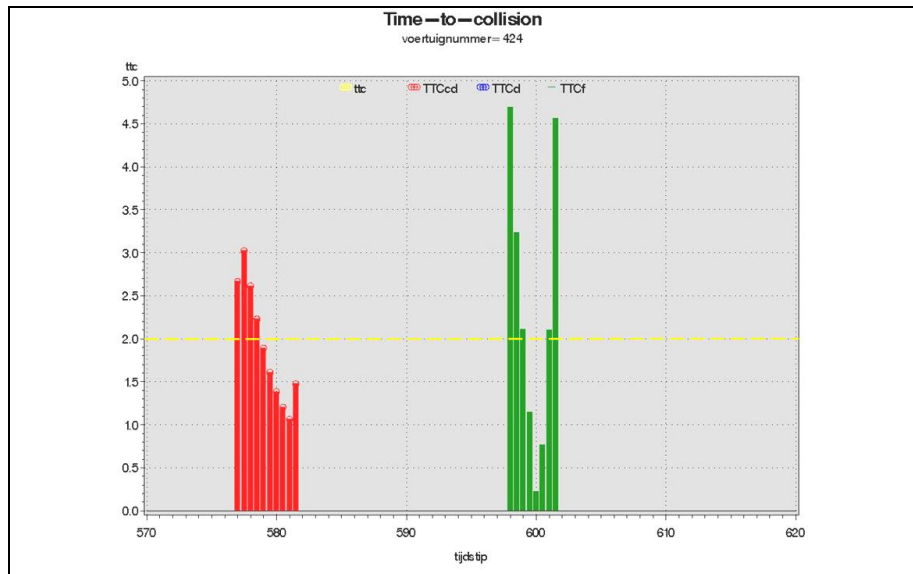
4.3. Verkeersveiligheidsindicatoren op voertuigniveau

Voor elk voertuig dat in de simulatie met S-Paramics gedurende een uur op het netwerk aanwezig is geweest, hebben we de TTC bepaald zoals beschreven in *Paragraaf 3.2.1*. Er zijn tijdstappen van 0,5 seconde genomen. Voor deze berekening is een veiligheidsmodule geschreven in het statistische pakket SAS. Deze module berekent veiligheidsindicatoren met de formules beschreven in *Hoofdstuk 3*. De module gebruikt daarvoor de uitkomsten van de simulatie (Drolenga, 2006). De verkeersveiligheidsindicatoren op voertuigniveau zijn berekend op basis van de TTC's op voertuigniveau en een aangenomen kritieke TTC-waarde van 2 seconden. We beschouwen de verkeersveiligheidsindicatoren aan de hand van het TTC-verloop van een willekeurig voertuig op een willekeurige route.

Op de verticale as van *Afbeelding 4.16* staan de TTC-waarden aangegeven die liggen tussen 0 en 5 seconden. Op de horizontale as is de tijd (tijdstappen van 0,5 seconde) weergegeven. Het begin en het einde van de horizontale as (570 seconden en 620 seconden) geven de momenten aan dat het beschouwde voertuig het netwerk betreedt respectievelijk verlaat. De rit van het beschouwde voertuig heeft dus welgeteld 50 seconden geduurd. In dit voorbeeld zijn er twee situaties waarin het beschouwde voertuig een ander voertuig ontmoet en er wellicht sprake is van een kritieke situatie. De gele stippellijn geeft de kritieke TTC-waarde aan. Elk groepje staven geeft een ontmoeting aan. Bij de (linker) rode staven is er sprake van een convergerende ontmoeting en de (rechter) groene staven geven een frontale ontmoeting aan, beide op een kruispunt. Daarnaast geven gele staven TTC's aan op wegvakken en blauwe staven TTC van dwarsconflicten op kruispunten. Het beschouwde voertuig ontmoet blijkbaar geen voertuigen op wegvakken en dwars conflicterende voertuigen op kruispunten.

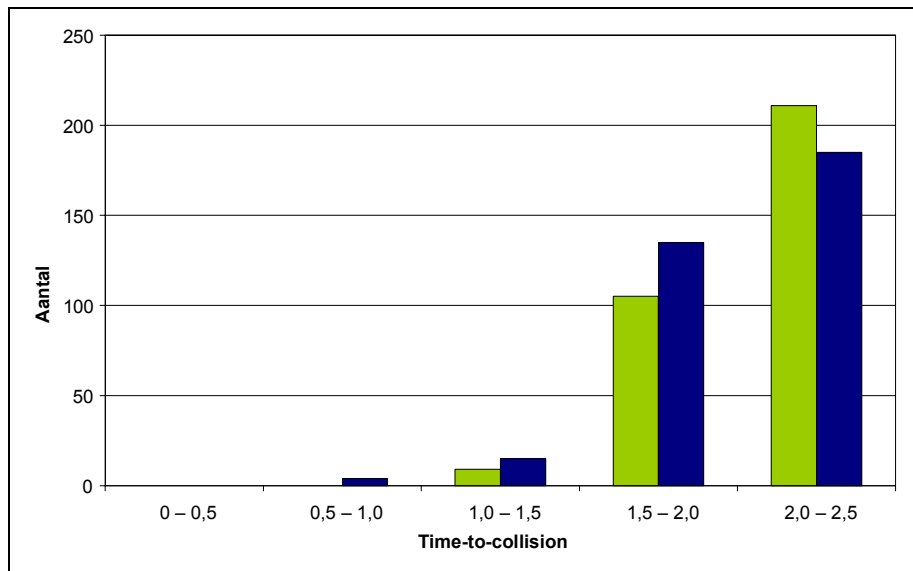
4.3.1. Aantal conflicten (*Number of Collisions; NOC*)

Er wordt van een conflict gesproken als de TTC onder de kritieke TTC-waarde duikt (zie *Paragraaf 3.2.2*). Uit het TTC-verloop van het beschouwde voertuig in *Afbeelding 4.16* kan geconcludeerd worden dat beide ontmoetingen gedurende de rit van het voertuig conflictsituaties zijn. Het linkerdeel representeert een convergerend conflict, het rechterdeel een frontaal conflict.



Afbeelding 4.16. *TTC-verloop willekeurig voertuig.*

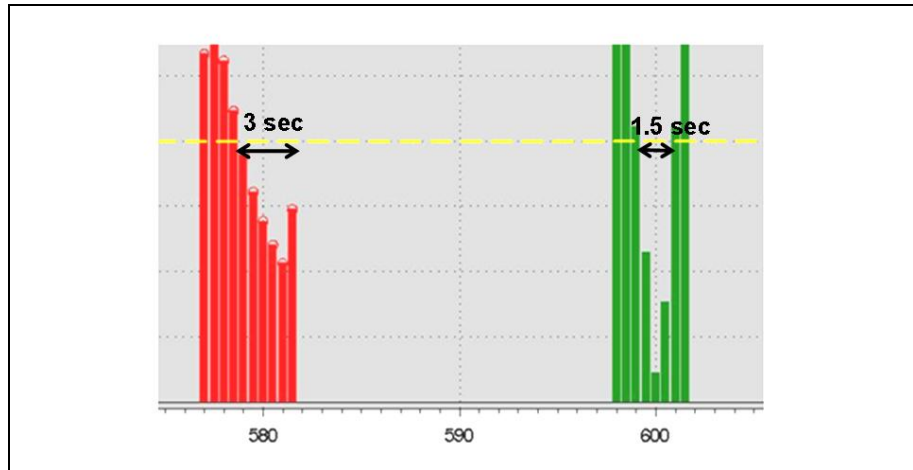
De TTC-waarden kunnen niet alleen per voertuig worden berekend, maar ook van alle voertuigen op een wegvak, kruispunt of route en dergelijke. Het aantal keren dat de TTC onder de kritieke waarde duikt is dan het aantal conflicten op die locatie (of route, enzovoort). Zo kunnen locaties met elkaar worden vergeleken. Een voorbeeld van TTC-berekeningen is in *Afbeelding 4.17* weergegeven. Daarin zijn de laagste TTC-waarden op twee willekeurige kruispunten weergegeven en met elkaar vergeleken. Door de TTC-waarden in categorieën in te delen zijn in feite risicogroepen onderscheiden. Een dergelijke visualisatie zou bijvoorbeeld ook als basis kunnen dienen om de kritieke TTC* te kiezen.



Afbeelding 4.17. *Laagste TTC-waarden van ontmoetingen naar risiconiveau op twee willekeurige kruispunten.*

4.3.2. Time Exposed Time-to-collision (TET)

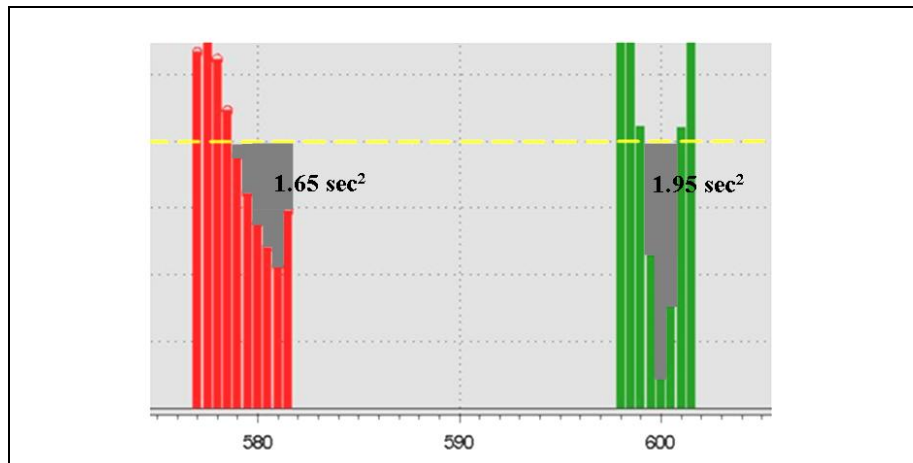
Afbeelding 4.18 is een ingezoomd beeld van Afbeelding 4.16 daar waar de TTC onder de kritieke waarde komt. De tijdsduur dat dit gebeurt, de TET, is voor het convergerend conflict 3 sec en voor het frontaal conflict 1,5 sec.



Afbeelding 4.18. Time Exposed Time-to-collision (TET) van het beschouwde voertuig uit Afbeelding 4.16.

4.3.3. Time Integrated Time-to-collision (TIT)

De mate waarin de TTC onder de kritieke waarde komt, dat wil zeggen de tijdsduur vermenigvuldigd met het TTC-verschil – de TIT – is voor het convergerend conflict $1,65 \text{ sec}^2$ en voor het frontaal conflict $1,95 \text{ sec}^2$; zie ook Afbeelding 4.19.



Afbeelding 4.19. Time Integrated Time-to-collision (TIT) van het beschouwde voertuig uit Afbeelding 4.16.

4.3.4. Potential Collision Energy (PCE)

De massa van het beschouwde voertuig is 900 kg. In het convergerend conflict is de massa van de tegenpartij gelijk, ook 900 kg. Bij het frontaal conflict is het beschouwde voertuig echter de mindere: de massa van de

tegenpartij is 2250 kg. Met deze massa's, de snelheid van het beschouwde voertuig (snelheid I) en de snelheid van het conflicterende voertuig (snelheid II) is de totale potentiële botsenergie berekend, alsmede het deel van deze energie dat het beschouwde voertuig te verwerken zou krijgen. Dit is gedaan met de formules in *Paragraaf 3.2.2.4*. De resultaten voor het convergerend conflict zijn in *Tabel 4.10* weergegeven en voor het frontaal conflict in *Tabel 4.11*.

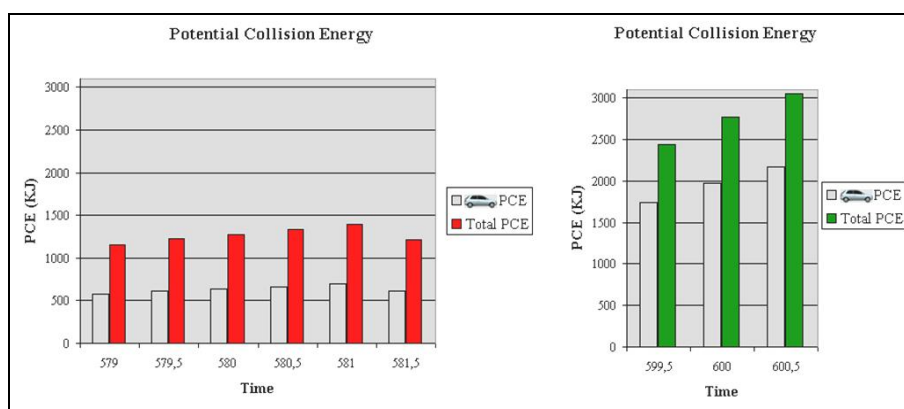
Tijdstip	Snelheid I (km/uur)	Snelheid II (km/uur)	Totale PCE KJ	PCE I KJ
579	28,8	49,6	1159	580
579,5	30,9	49,8	1222	611
580	32,7	49,9	1277	638
580,5	34,3	50,0	1328	664
581	36,3	50,0	1392	696
581,5	30,5	50,0	1217	609

Tabel 4.10. *Potentiële botsenergie convergerend conflict.*

Tijdstip	Snelheid I (km/uur)	Snelheid II (km/uur)	Totale PCE KJ	PCE I KJ
599,5	20,8	42,4	2442	1744
600	15,1	46,2	2771	1978
600,5	9,9	49,0	3045	2174

Tabel 4.11. *Potentiële botsenergie frontaal conflict.*

De potentiële botsenergie voor het beschouwde voertuig in verhouding met de totale potentiële botsenergie is weergegeven in *Afbeelding 4.20*, waarbij het linkerplaatje het convergerend conflict weergeeft en het rechterplaatje het frontaal conflict.

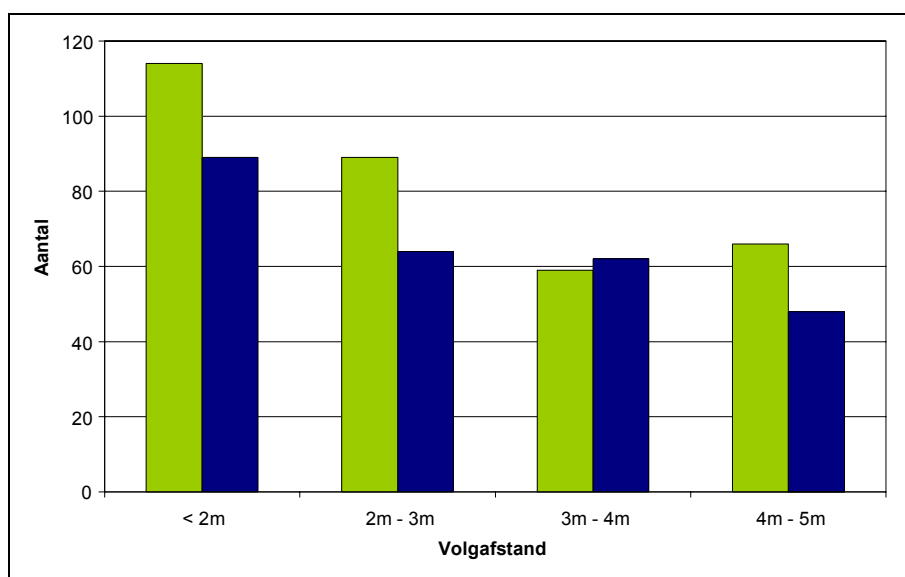


Afbeelding 4.20. *Potentiële botsenergie convergerend en frontaal conflict, en het aandeel te verwerken door het beschouwde voertuig uit Afbeelding 4.16.*

De botsenergie die het beschouwde voertuig gedurende de tijdsduur van het conflict in totaal zou krijgen te verwerken is de som van de energie in de opeenvolgende tijdstappen. Voor het convergerend conflict is deze gelijk aan 3798 kJ en voor het frontaal conflict 5896 kJ.

4.3.5. Volgafstand

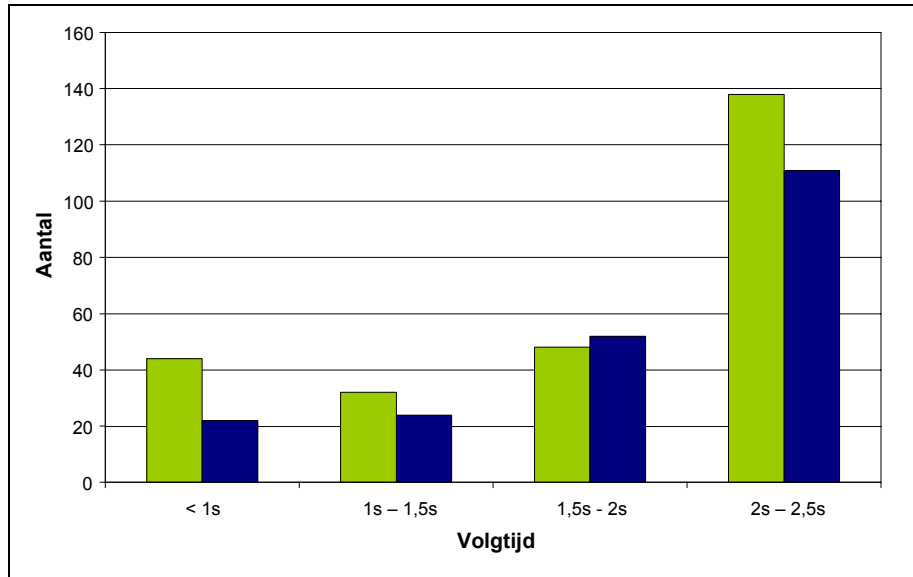
Als voorbeeld van de berekening van volgafstanden geven we de aantallen korte volgafstanden, onderverdeeld in verschillende categorieën (risicogroepen), op twee willekeurige wegvakken in *Afbeelding 4.21*. Op deze wijze kunnen verschillende locaties (of routes, enzovoort) met elkaar worden vergeleken. Op basis van dergelijke visualisaties zou bijvoorbeeld de kritieke *volgafstand** gekozen kunnen worden, waarna de veiligheidsindicatoren TEDH en TIDH uit *Paragraaf 3.2.3.1* kunnen worden bepaald.



Afbeelding 4.21. Kortste volgafstanden op twee willekeurige wegvakken naar risicogroep.

4.3.6. Volgtijd

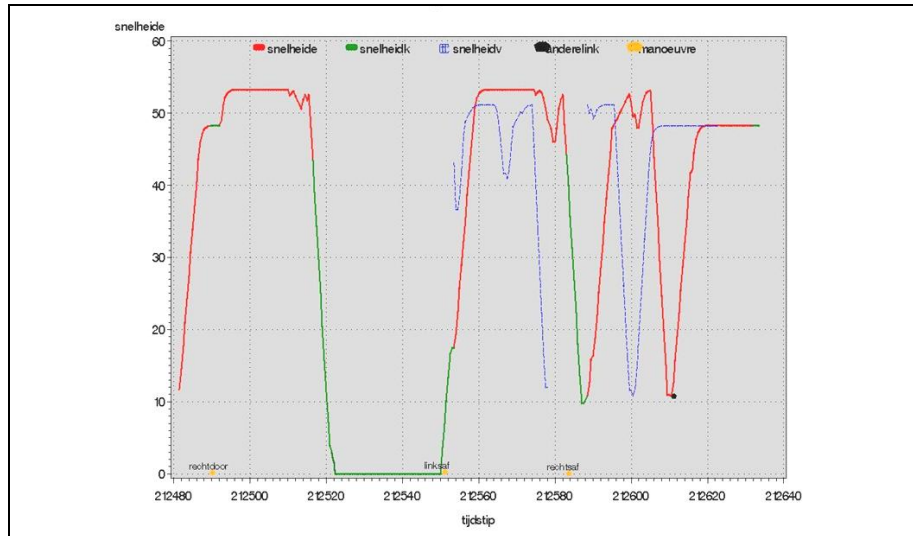
Van de berekening van volgtijden geeft *Afbeelding 4.22* een soortgelijk voorbeeld als hierboven van volgafstanden. Te zien zijn kortste volgtijden op dezelfde twee willekeurige wegvakken als in *Afbeelding 4.21*. Op basis van dergelijke weergaven zou bijvoorbeeld de kritieke *volgtijd** kunnen worden gekozen (zie *Paragraaf 3.2.3.2*) of verschillende locaties met elkaar kunnen worden vergeleken.



Afbeelding 4.22. Kortste volgtijden op de twee wegvakken uit Afbeelding 4.21, naar risicogroep.

4.3.7. Snelheid

In Afbeelding 4.23 is het snelheidsverloop van een willekeurig voertuig uit de simulatie weergegeven (een ander dan hiervoor is beschouwd). Op de verticale as is de snelheid in km/uur weergegeven. Op de horizontale as is de tijd (tijdstappen van 0,5 seconden) uitgezet. Het begin en het einde van de horizontale as (212480 seconden en 212640 seconden) geven de momenten aan dat het beschouwde voertuig het netwerk betreedt, respectievelijk verlaat. De rit door het netwerk van het beschouwde voertuig heeft dus welgeteld 160 seconden geduurd. De rode lijn geeft de snelheid van het beschouwde voertuig op wegvakken weer, deze lijn wordt groen wanneer het voertuig zich binnen de veilige stopafstand van een kruispunt bevindt. De blauw gestippelde lijn geeft de snelheid van de voorligger aan, mits deze aanwezig is. Bij de oranje bolletjes nabij de horizontale as wordt aangegeven welke manoeuvre wordt uitgevoerd op een kruispunt, de zwarte bolletjes geven een knik in een wegvak aan, daar waar geen sprake is van een kruispunt dus.



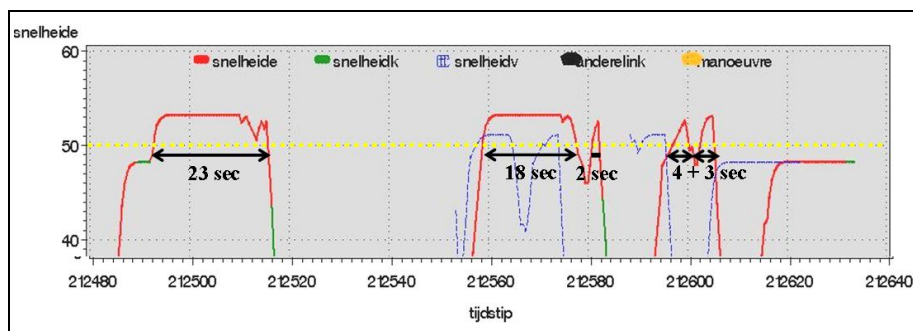
Afbeelding 4.23. Snelheidsverloop willekeurig voertuig.

In het voorbeeld is goed te zien dat het voertuig met 10 km/uur op het netwerk wordt gezet en daarna tot circa 48 km/uur optrekt om bij een kruispunt rechtdoor te gaan, daarna accelereert naar ongeveer 54 km/uur om vervolgens af te remmen totdat hij stilstaat. Hier moet het voertuig een tijd wachten voordat het linksaf slaat op een kruispunt en op een wegvak terecht komt waar hij weer accelereert naar ongeveer 54 km/uur én waar hij te maken heeft met een voorligger. Op een gegeven moment remt zijn voorligger drastisch om zijn manoeuvre op een kruispunt uit te kunnen voeren. Een aantal seconden later doet het beschouwde voertuig hetzelfde: hij remt af en met 10 km/uur slaat hij rechtsaf. Ook op het nieuwe wegvak is er sprake van een voorligger: terwijl het beschouwde voertuig nog aan het accelereren is naar 54 km/uur remt zijn voorligger af voor een knik in een wegvak. Even later doet het beschouwde voertuig hetzelfde, waarna beide voertuigen met dezelfde snelheid achter elkaar aan rijden (ongeveer 48 km/uur) en het netwerk na elkaar verlaten.

Dat het voertuig in deze simulatie sneller gaat dan de snelheidslimiet (50 km/uur) hangt af van de instellingen van S-Paramics. Bij de normale instellingen zoals hier, liggen de rijnsnelheden rond de ingestelde snelheidslimiet. Door de zogeheten 'agressiewaarde' aan te passen kunnen in een simulatie meer voertuigen sneller dan de limiet rijden (en andere voertuigen inhalen).

Time Exposed Speed (TES)

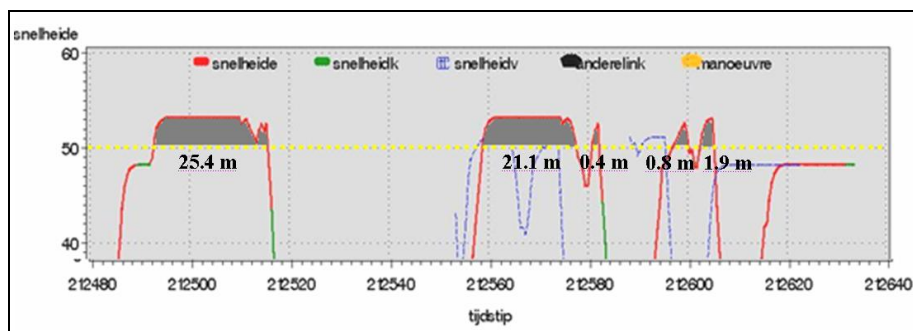
Afbeelding 4.24 is een ingezoomd beeld van Afbeelding 4.23 daar waar de snelheid boven de snelheidslimiet van 50 km/uur komt. De tijd dat de snelheid boven de snelheidslimiet komt, de TES, is gelijk aan de som van 23 seconden, 18 seconden, 2, 4 en 3 seconden, in totaal 50 seconden.



Afbeelding 4.24. *Time Exposed Speed (TES)* van het beschouwde voertuig uit Afbeelding 4.23.

Time Integrated Speed (TIS)

Als het oppervlak wordt berekend (m) van de momenten dat het voertuig boven de snelheidslimiet komt, de TIS, wordt de impact meegenomen. De TIS voor het beschouwde voertuig is gelijk aan de som van 25,4 meter, 21,1 meter, 0,4 meter, 0,8 meter en 1,9 meter: 49,6 meter; zie Afbeelding 4.25.



Afbeelding 4.25. *Time Integrated Speed (TIS)* van het beschouwde voertuig uit Afbeelding 4.23.

4.4. Van wegvak- en kruispuntniveau naar routeniveau

In *Paragraaf 3.2.5* is aangegeven hoe we relatieve indicatoren per route bepalen. In deze paragraaf wordt volstaan met de relatieve maten (de 'vehicle ratios') van de vier indicatoren NOC, TET, TIT en PCE voor de zes routes van HB-relatie 2-5. Naast de verdeling van de voertuigen over de routes ($V_{HB,r}$) is ook de rangorde van de routes weergegeven, waarbij geldt dat de bovenste route het beste scoort (laagste score op de verkeersonveiligheidsratio).

Conflict Vehicle Ratio (NOCVR)

De NOCVR-waarden voor de routes zijn in volgorde van NOCVR in *Tabel 4.12* weergegeven. In *Paragraaf 3.2.5* is al duidelijk gemaakt dat de relatieve maten voor een route berekend kunnen worden ook als $V_{HB,r} = 0$, omdat alle voertuigen op de wegvakken van de routes meetellen, ook die de route niet volledig volgen.

Het NOCVR van bijvoorbeeld route 1 is 0,72. Dat betekent dat 10 op de 14 voertuigen zich gedurende de route in een conflictsituatie bevindt.

Routes 1 en 6 hebben de laagste NOCVR-waarden, deze routes volgen de randwegen in het netwerk en kruisen de hoofdweg. Route 6 heeft echter het

laagste Duurzaam Veilig-gehalte (*Paragraaf 4.2.1*), vooral door het zeer slechte routediagram. Kennelijk is er wel een gunstige verhouding tussen het aantal conflicten en de hoeveelheid passerend verkeer. Route 4 scoort goed op het Duurzaam Veilig-gehalte, maar heeft de op-een-na hoogste NOCVR-waarde. Bij deze route pakt de combinatie van een lang gedeelte hoofdweg met veel conflicten en ook veel passerend verkeer ongunstig uit. Route 2 scoort middelmatig, terwijl deze wel door het meeste verkeer van HB-relatie 2-5 wordt gevolgd.

Route	NOCVR	V _{HB,r}
1	0,72	20%
6	0,75	13%
2	0,83	60%
3	0,86	0%
4	1,14	7%
5	1,17	0%

Tabel 4.12. *Conflict Vehicles Ratios voor zes routes.*

Time Exposed Time-to-collision Vehicle Ratio (TETVR)

In volgorde van TETVR-waarde staan in *Tabel 4.13* de scores voor alle zes routes.

Gemiddeld bevindt een voertuig dat route 1 rijdt zich een kleine seconde in een onveilige situatie. Het rijden van route 5 is gemiddeld bijna tweemaal zo onveilig. Route 1 voert langs de randwegen, terwijl route 5 tot afslaan manoeuvres op de hoofdweg noopt. Route 2 is qua manoeuvres vergelijkbaar met route 5 en heeft toch een betere score. Wellicht ontstaat dit verschil door de verschillen in hoeveelheid (overig) verkeer op beide routes.

Route	TETVR	V _{HB,r}
1	0,96	20%
2	1,24	60%
6	1,32	13%
3	1,37	0%
4	1,74	7%
5	1,87	0%

Tabel 4.13. *Time Exposed Time-to-collision Vehicles Ratios voor zes routes.*

Time Integrated Time-to-collision Vehicle Ratio (TITVR)

De TITVR-waarden (*Tabel 4.14*) geven gedeeltelijk een andere volgorde dan de TETVR. Route 1 blijft de beste score houden. Route 6 scoort hier het slechtst en had een middelmatige TETVR. Overigens zijn de verschillen tussen de TITVR-waarden erg klein. Het verschil van bijna een factor twee tussen route 1 en 5 bij de TETVR is hier weggefallen, ernstige conflicten komen op alle routes in gelijke mate voor.

Route	TITVR	V _{HB,r}
1	0,23	20%
5	0,24	0%
3	0,26	0%
4	0,26	7%
2	0,28	60%
6	0,28	13%

Tabel 4.14. *Time Integrated Time-to-collision Vehicles Ratios voor zes routes.*

Potential Collision Energy Vehicle Ratio Route (PCEVR)

De PCEVR-waarden in *Tabel 4.15* geven een beste score voor route 6, die ook al bij de NOCVR goed scoort. Route 1 heeft ook hier een goede score. Route 2, met een hoog Duurzaam Veilig-gehalte, soort hier slecht. Deze indicator geeft resultaten die duidelijk afwijken van de andere indicatoren.

Route	PCEVR	V _{HB,r}
6	262	13%
1	363	20%
3	450	0%
5	554	0%
2	582	60%
4	686	7%

Tabel 4.15. *Potential Collision Energy Vehicles Ratios voor zes routes.*

Conclusies

De volgorde waarin routes scoren op een indicator verschilt soms aanzienlijk tussen de indicatoren. Een route met een hoog Duurzaam Veilig-gehalte scoort niet altijd goed op de overige indicatoren. Route 1 scoort wel goed op alle indicatoren en redelijk op het Duurzaam Veilig-gehalte; deze route heeft echter een matig routediagram. Route 2 met het hoogste Duurzaam Veilig-gehalte heeft een goede score bij de TETVR, maar scoort verder matig tot slecht.

Vooralsnog is de conclusie dat verder onderzoek nodig is naar de betekenis van de verschillende indicatoren voor het gebruik bij routekeuzeonderzoek.

4.5. Van routeniveau naar HB-niveau

Met de veiligheidsscores van de zes routes en de verdeling van de voertuigen over deze routes wordt het veiligheidsniveau van HB-relatie 2-5 bepaald. Hiertoe worden de verkeersveiligheidsratio's gestandaardiseerd met *Formule 20* in *Paragraaf 3.2.6*. Deze gestandaardiseerde waarden worden per verkeersveiligheidsindicator in tabellen hieronder gepresenteerd.

Conflict Vehicle Ratio (NOCVR_s)

Met *Formule 21* in *Paragraaf 3.2.6* is het totale veiligheidsgehalte van HB-relatie 2-5 berekend op basis van het aantal conflicten. In *Tabel 4.16* staat

het percentage waarin een route bijdraagt aan de totale onveiligheid van de beschouwde HB-relatie. De som van deze onveiligheden levert 22%. De mate waarin de voertuigen zich op een veilige manier over de routes verspreiden komt bij HB-relatie 2-5 dan op $(100-22 =)$ 78%.

Route	NOCVR	$V_{HB,r}$	NOCVR _s	Onveiligheid HB-relatie 2-5
1	0,72	20%	100%	0%
6	0,75	13%	93,3%	0,87%
2	0,83	60%	75,6%	14,6%
3	0,86	0%	68,9%	0%
4	1,14	7%	6,7%	6,53%
5	1,17	0%	0%	0%
Totaal				22,0%

Tabel 4.16. *Gestandaardiseerde Conflict Vehicle Ratios voor zes routes.*

Time Exposed Time-to-collision Vehicle Ratio (TETVR_s)

We berekenen het veiligheidsgehalte van HB-relatie 2-5 op basis van de TETVR_s eveneens met *Formule 21*. Het percentage onveiligheid bedraagt 30% (*Tabel 4.17*), dat van de veiligheid dus 70%. Dit percentage heeft dezelfde orde van grootte als de indicator NOCVR_s.

Route	TETVR	$V_{HB,r}$	TETVR _s	Onveiligheid HB-relatie 2-5
1	0,96	20%	100%	0%
2	1,24	60%	69,2%	18,48%
6	1,32	13%	60,4%	5,15%
3	1,37	0%	54,9%	0%
4	1,74	7%	14,3%	6%
5	1,87	0%	0%	0%
Totaal				29,6%

Tabel 4.17. *Gestandaardiseerde Time Exposed Time-to-collision Vehicle Ratios voor zes routes.*

Time Integrated Time-to-collision Vehicle Ratio (TITVR_s)

De berekening op basis van de TITVR_s levert een percentage veiligheid op van 23% (afgeleid uit *Tabel 4.18*). Blijkbaar is de ernst van de conflicten voor deze HB-relatie tamelijk groot. De bijdrage van route 2 hieraan is het sterkst.

Potential Collision Energy Vehicle Ratio (PCEVR_s)

Deze indicator levert een veiligheidsgehalte op van 43%, hoger dan de TITVR_s maar lager dan de NOCVR_s en de TETVR_s. ook hier is de bijdrage van route 2 het sterkst; zie *Tabel 4.19*.

Route	TITVR	$V_{HB,r}$	TITVR _s	Onveiligheid HB-relatie 2-5
1	0,23	20%	100%	0%
5	0,24	0%	80%	0%
3	0,26	0%	40%	0%
4	0,26	7%	40%	4,2%
2	0,28	60%	0%	60%
6	0,28	13%	0%	13%
Totaal				77,2%

Tabel 4.18. *Gestandaardiseerde Time Integrated Time-to-collision Vehicle Ratios voor zes routes.*

Route	PCEVR	$V_{HB,r}$	PCEVR _s	Onveiligheid HB-relatie 2-5
6	262	13%	100%	0%
1	363	20%	76,2%	4,76%
3	450	0%	55,7%	0%
5	554	0%	31,1%	0%
2	582	60%	24,5%	45,3%
4	686	7%	0%	7%
Totaal				57,1%

Tabel 4.19. *Gestandaardiseerde Potential Collision Energy Vehicle Ratios voor zes routes.*

In de *Tabel 4.16* tot en met *4.19* staan de routes in een volgorde die wordt aangegeven door de betreffende indicator. Zetten we deze volgordes naast elkaar dan ontstaat *Tabel 4.20*. De indicatoren blijken onderling te verschillen qua volgorde van routes. Vooral nog is een verklaring hiervoor niet te geven. Daarvoor zijn simulaties nodig die de karakteristieken van de verschillende indicatoren beter laten zien: bijvoorbeeld meer zware voertuigen hebben invloed op de PCEVR, of een andere verdeling van het verkeer kan de richtingen waaronder voertuigen met elkaar conflicteren doen veranderen, en daardoor de TETVR en TITVR beïnvloeden.

NOCVR	TETVR	TITVR	PCEVR
1	1	1	6
6	2	5	1
2	6	3	3
3	3	4	5
4	4	2	2
5	5	6	4

Tabel 4.20. *Volgorde van routes wat betreft hun score op vier conflictindicatoren.*

5. Discussie, conclusies en aanbevelingen

5.1. Discussie

Er is een eerste aanzet gegeven voor de toepassing van een reeks indicatoren die in *Hoofdstuk 3* zijn gedefinieerd en beschreven. Het *routediagram* was al eerder toegepast (Morsink, Dijkstra & Wismans, 2004). Die toepassing maakte duidelijk dat alleen een kwalitatieve beoordeling onvoldoende zicht geeft op de verschillende aspecten die de veiligheid van een route bepalen.

De negen criteria in de *routester* geven een zo veel mogelijk kwantitatieve invulling van diverse aspecten. Daarbij hebben de criteria voorlopig gelijke gewichten gekregen. Deze criteria zijn niet alle onafhankelijk van elkaar, bijvoorbeeld reistijd en afgelegde afstand hebben bij een leeg netwerk een duidelijke onderlinge relatie die bij een toestand van congestie weer sterk kan afnemen. Meer onderzoek naar de relaties tussen deze criteria is nog nodig. Dit leidt mogelijk tot minder criteria. In elk geval zou meer duidelijkheid moeten ontstaan omtrent de relatieve 'zwaarte' van elk criterium. De zwaarte kunnen we onder andere proberen af te leiden uit de koppeling tussen criteria en ongevalgegevens. Bijvoorbeeld het criterium 'zo min mogelijk linksafbewegingen' is direct te koppelen aan de ongevallen op kruispunten met voertuigen die links afslaan (Drolenga, 2005). Criteria die een expositiemaat betreffen, zoals 'aandeel erftoegangswegen' en 'afgelegde afstand' hebben een duidelijke relatie met ongevalsrisico. Hoe de criteria scoren zou kunnen blijken uit berekeningen met enkele alternatieve routes in verschillende netwerken.

De conflictindicatoren *NOC*, *TET*, *TIT* en *PCE* leveren absolute hoeveelheden op die op zich niet zoveel waarde hebben. Daarom zijn de relatieve indicatoren *NOCVR*, *TETVR*, *TITVR* en *PCEVR* ingevoerd die de 'hoeveelheden conflict' of de hoeveelheid opgebouwde energie relateren aan de aantallen passerende voertuigen. Daarbij rekenen we met alle passerende voertuigen op een route, ook de voertuigen die maar een deel van die route volgen. Dit lijkt gerechtvaardigd omdat de veiligheid op een route ontstaat door een samenspel van *alle* betrokken verkeersdeelnemers. Dit verhoogt het dynamisch karakter van de veiligheidsindicatoren van routekeuze. Want veranderingen (ver) buiten de bestudeerde routes kunnen toch een impact hebben op de veiligheid van sommige routes, bijvoorbeeld omdat meer verkeer gebruik moet maken van, of kruist met, de bestudeerde routes. Met een microsимулатiemodel zijn dergelijke dynamische effecten goed te bestuderen.

De conflictindicatoren *volgafstand*, *volgtijd* en *snellheid* en enkele afgeleide indicatoren hiervan zijn in dit rapport geïntroduceerd maar nog niet volledig op het testnetwerk toegepast. Nadere studie moet inzicht gaan geven in de meerwaarde van deze indicatoren.

Voor alle conflictindicatoren geldt dat niet bekend is of de berekende waarden een indicator zijn voor het aantal ongevallen. In dit rapport gebruiken we de indicatoren uitsluitend om routes onderling te kunnen vergelijken. De vergelijking richt zich hierbij op de conflicten die kenmerkend zijn voor de verschillende routes, dus een route met relatief veel linksafbewegingen heeft andere, en waarschijnlijk meer, berekende conflicten dan een route met minder van dergelijke bewegingen. In een vervolgstudie gaan we na of er

werkelijk een relatie is te vinden tussen de gebruikte conflictindicatoren en het aantal ongevallen. Ook als die relatie zwak is kunnen we de conflictindicatoren gebruiken voor een vergelijking van routes. De conflictindicatoren sluiten namelijk goed aan bij de werkwijze in Duurzaam Veilig, waarin een systematische analyse van mogelijke conflicten plaatsvindt: welke conflicten kunnen nog optreden en in welke omstandigheden? Het simulatiemodel maakt het mogelijk deze analyse voor een geheel netwerk uit te voeren.

Het is nog te vroeg om met de resultaten uit deze studie om indicatoren af te schrijven of te omarmen. Alle indicatoren zijn te gebruiken in het planstadium en in bestaande situaties. Voor de toepassing van het routediagram en de routester volstaat een beperkte set wegkenmerken, een simulatiemodel is niet nodig. De conflictindicatoren zijn (uitsluitend) output van een microsimulatiemodel, en kunnen goed dienen voor het onderling vergelijken van alternatieve routes.

5.2. Conclusies en aanbevelingen

Dit deelonderzoek geeft uitwerking aan vier verschillende methoden om verkeersveiligheidseffecten van routekeuze vast te stellen:

- routediagram (DV-trappetje);
- veiligheidscriteria (routester);
- diverse conflictmaten via een microsimulatiemodel;
- ernst- en risicomaten.

De verschillende indicatoren blijken verschillende uitkomsten te laten zien, met name als we de routes rangschikken naar de score op de indicatoren. Zowel de verklaring hiervoor als de bruikbaarheid van de methoden verdienen verder onderzoek.

Het hier toegepaste microsimulatiemodel S-Paramics biedt veel mogelijkheden om

- routekeuze van individuele voertuigen vast te stellen;
- verkeersveiligheidseffecten vast te stellen (via conflictmaten en veiligheidscriteria);
- beïnvloeding van routekeuze te modelleren.

De toepassing van het microsimulatiemodel op een testnetwerk is niet voldoende om antwoord te geven op de vraag of microsimulatiemodellen een geschikt onderzoeksinstrument zijn bij verkeersveiligheidsonderzoek. Daarvoor dient een microsimulatie te worden uitgevoerd op een netwerk uit de praktijk, waarbij de geregistreerde onveiligheid (meestal ongevallen) wordt afgezet tegen de berekende onveiligheid.

Er is meer onderzoek nodig naar de modellering van (ernstige) conflicten tussen verkeersdeelnemers. Met name moet het aantal berekende conflicten en de aard ervan overeenstemmen met conflicten die in werkelijkheid plaatsvinden. Daarvoor zijn waarnemingen in de praktijk noodzakelijk.

In eerdere studies naar het effect van aanpassingen van (het gebruik van) de wegenstructuur is nog onvoldoende nagegaan welke veiligheidseffecten optreden als de maaswijdte van de hoofdwegen verandert. Door een

microsimulatiemodel te gebruiken komen de veiligheidseffecten duidelijker naar voren.

Ook de effecten van een aanpassing van de wegcategorisering zouden duidelijker worden door het gebruik van een microsimulatiemodel.

De effecten van een gelijktijdige aanpassing van wegcategorisering, maaswijdte van de hoofdwegen en een inrichting van de verblijfsgebieden is ongeveer 25 jaar geleden onderzocht in het grootschalige project *Demonstratiegebieden Eindhoven en Rijswijk*. Veel gedetailleerde gegevens over het verkeer en de wegenstructuur zijn toen verzameld. Het zou mogelijk moeten zijn om het verkeer en de wegennetten van die gebieden te modelleren en na te gaan of de destijds gevonden werkelijke effecten ook optreden in de microsimulatie.

De veiligheidscriteria voor routekeuze zijn geschikt om in te bouwen in software voor routeplanners.

Alle hier geïntroduceerde indicatoren zijn te gebruiken in het planstadium en in bestaande situaties. Voor de toepassing van het routediagram en de routester volstaat een beperkte set wegkenmerken, een simulatiemodel is niet nodig. De conflictindicatoren zijn (uitsluitend) output van een microsimulatiemodel, en kunnen goed dienen voor het onderling vergelijken van alternatieve routes.

Literatuur

Archer, J. (2005). *Indicators for traffic safety assessment and prediction and their application in micro-simulation modeling; A study of urban and suburban intersections*. Doctoral Thesis. Centre for Traffic Simulation Research, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

AVV (2002). *Leidraad model- en evaluatiestudies benuttingsmaatregelen. Grontmij Verkeer en Infrastructuur*. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. Adviesdienst Verkeer en Vervoer, Rotterdam.

Drolenga, J. (2005). *Het ontwerp van een verkeersveiligheidsindicator van routes*. Afstudeerverslag Universiteit Twente, Enschede.

Drolenga, J. (2006). *Technische beschrijving van een veiligheidsmodule; Uitvoer van S-Paramics bewerkt met SAS*. [Intern rapport].

Dijkstra, A (1997). *A sustainably safe traffic and transport system: déjà-vu in urban planning?* D-97-12. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Dijkstra, A. (2003). *Kwaliteitsaspecten van duurzaam-veilige weginfrastructuur; Voorstel voor een stelsel van DV-eisen waarin alle DV-principes zijn opgenomen*. R-2003-10. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam

Dijkstra, A. & Hummel, T. (2004). *Veiligheidsaspecten van het concept 'Bypasses voor bereikbaarheid'; Analyse van het concept van TNO Inro in het perspectief van Duurzaam Veilig*. R-2004-6. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Dijkstra, A., Drolenga, J. & Maarseveen, M.F.A.M. van (2007). *A method for assessing the safety of routes in a road network*. In: Compendium of papers of the 86th TRB Annual Meeting of the Transportation Research Board, 21-25 January 2007, Washington, D.C.

FHWA (2003). *Surrogate safety measures from traffic simulation models*. FHWA-RD-03-050. Federal Highway Administration FHWA, U.S. Department of Transportation DOT, McLean, Virginia, USA.

Horst, A.R.A. van der (1990). *A time-based analysis of road user behaviour in normal and critical encounters*. PhD thesis Delft University of Technology. Institute for Perception IZF TNO, Soesterberg.

Immers, L.H., Wilmlink, I.R. & Stada, J.E. (2001). *Bypasses voor bereikbaarheid*. TNO-rapport Inro-VV/2001-28 / 01 7N 094 71831. Afdeling Verkeer en Vervoer, TNO Infrastructuur, Transport en Regionale Ontwikkeling Inro, Delft.

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

Janssen, S.T.M.C. (1988). *De verkeersonveiligheid van wegtypen in 1986 en 2010; Resultaten van berekeningen voor een beleidsscenario uit het Structuurschema Verkeer en Vervoer SVV*. R-88-3. 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.

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

Janssen, S.T.M.C. & Verhoef, P.J.G. (1989). *Demonstratieproject herindelings- en herinrichting van stedelijke gebieden (in de gemeenten Rijswijk en Eindhoven); Eindrapport van het ongevalsonderzoek; Een evaluatie van de maatregelen na een periode van vijf jaar (1982 t/m 1986)*. R-89-27. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Krabbenbos, J. (2000). *Verkeersleefbaarheid in woongebieden; Een modelstudie naar de relaties tussen kenmerken van ontsluitingsstructuren en verkeersleefbaarheid met toetsing aan de praktijk*. Afstudeerrapport Universiteit Twente, Enschede.

Lamm, R., Psarianos, B. & Mailaender, T. (1999). *Highway design and traffic safety engineering handbook*. McGraw-Hill, New York etc.

Lu, J., Dissanayake, S., Castillo, N. & Williams, K. (2001). *Safety evaluation of right turns followed by U-turns as an alternative to direct left turns; Conflict analysis*. Florida Department of Transport, Tallahassee.

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

Minderhoud, M.M. & Bovy, P.H.L. (2001). *Extended time-to-collision measures for road traffic safety assessment*. In: Accident Analysis and Prevention, Vol. 33, p. 89-97.

Minnen, J. van & Krabbenbos, J. (2002). *Praktijkonderzoek ontsluitingsstructuren van woongebieden; De invloed van het aantal aansluitrichtingen op de ritlengte*. R-2002-11. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Minnen, J. van & Slop, M. (1994). *Concept-ontwerpeisen duurzaam-veilig wegennet; Tussenrapportage van het 'Vooronderzoek pilot-ontwerp duurzaam-veilig regionaal wegennet'*. R-94-11. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Minnen, J. van (1999). *Geschiede grootte van verblijfsgebieden; Een theoretische studie met toetsing aan praktijkervaringen*. R-99-25. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Morsink, P., Dijkstra, A. & Wismans, L. (2004). *Preliminary route choice analysis for a sustainably-safe traffic and transport system*. In: Proceedings of the European Transport Conference 2004, 4-6 October, Strasbourg.

PIARC (2004). Road safety manual. World Road Association PIARC, Paris.

Vogel, K. (2003). *A comparison of headway and time to collision as safety indicators*. In: Accident Analysis and Prevention, Vol. 35, p. 427-433.

Wismans, L. (2003a). *Modelkeuze; Notitie ter ondersteuning van de modelkeuze*. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam. [Intern rapport.]

Wismans, L. (2003b). *Analyse Routekeuze; Dynamisch model Utrecht*. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam. [Intern rapport.]

Voorbeelden van berekeningen met het Duurzaam Veilig-gehalte van een HB-relatie *gegeven de infrastructuur*

In deze bijlage worden enkele voorbeelden getoond waarmee het verschil tussen het Duurzaam Veilig-gehalte voor een HB-relatie en het Duurzaam Veilig-gehalte voor een HB-relatie *gegeven de infrastructuur* wordt geïllustreerd (*Paragraaf 3.1.5*). Hiertoe worden drie voorbeelden onderscheiden: een HB-relatie met twee routes, een HB-relatie met drie routes en een HB-relatie met vier routes. Binnen elk voorbeeld worden steeds twee varianten bekeken door de verdeling van het aantal voertuigen over de verschillende (gelijkblijvende) routes te variëren.

Voorbeeld HB-relatie met twee routes

Bij een willekeurige HB-relatie wordt van een tweetal routes gebruikgemaakt: route 1 en 2. Het merendeel van de voertuigen (85%) kiest route 2, route 1 trekt 15% van de voertuigen aan. Van de twee routes voldoet route 1 het beste aan de Duurzaam Veilig-criteria: een Duurzaam Veilig-gehalte van 72% in tegenstelling tot een Duurzaam Veilig-gehalte van 20% voor route 2.

De bijdragen van de routes aan de HB-verkeersonveiligheid zijn in *Tabel 1* berekend door *Formule 7* in *Paragraaf 3.1.4* te gebruiken. De verkeersonveiligheid VV_r wordt omgezet naar een onveiligheidsmaat $(100 - VV_r)$, vermenigvuldigd met het percentage voertuigen ($V_{HB,r}$) dat de betreffende route kiest en gedeeld door honderd. De som van deze routebijdragen vormt de totale verkeersonveiligheid van de HB-relatie. In dit geval is deze gelijk aan 72,2%. Het Duurzaam Veilig-gehalte is dan gelijk aan $(100 - 72,2) = 27,8\%$.

Route	VV_r	$V_{HB,r}$	Onveiligheid HB-relatie
1	72%	15%	4,2%
2	20%	85%	68%
		100%	72,2%

Tabel 1.

Voor het bepalen van het Duurzaam Veilig-gehalte *gegeven de infrastructuur* worden als eerste de Duurzaam Veilig-gehalten van de routes gestandaardiseerd volgens *Formule 9* in *Paragraaf 3.1.5*. In dit geval betekent dat route 1, de veiligste route, een gestandaardiseerd Duurzaam Veilig-gehalte van 100 krijgt toegewezen en route 2, de onveiligste route, een gestandaardiseerd Duurzaam Veilig-gehalte van 0, zie ook *Tabel 2*. De gestandaardiseerde Duurzaam Veilig-gehalten van de routes worden vervolgens weer omgezet naar een onveiligheidsmaat $(100 - VV_{rs})$, vermenigvuldigd met het procentuele aantal voertuigen ($V_{HB,r}$) dat de betreffende route kiest en gedeeld door honderd. De som van deze routebijdragen vormt de totale HB-verkeersonveiligheid *gegeven de*

infrastructuur. In dit geval is dit gelijk aan 85%. Het Duurzaam Veilig-gehalte *gegeven de infrastructuur* is dan gelijk aan $(100 - 85 =)$ **15%**.

Route	VV_{rs}	$V_{HB,r}$	Onveiligheid HB-relatie
1	100%	15%	0%
2	0%	85%	85%
		100%	85%

Tabel 2.

Andere verdeling van het verkeer over de routes

Dezelfde routes blijven bestaan bij de beschouwde HB-relatie maar de verdeling van de voertuigen over deze routes verandert. Dit heeft zowel consequenties voor het Duurzaam Veilig-gehalte als het Duurzaam Veilig-gehalte *gegeven de infrastructuur* voor de beschouwde HB-relatie. In *Tabel 3* is te zien dat 85% van de voertuigen nu niet via route 2 maar via 1 reist. De overgebleven voertuigen kiezen route 2. Bij de gelijk gebleven Duurzaam Veilig-gehaltes van de routes wordt tot een Duurzaam Veilig-gehalte voor de beschouwde HB-relatie van $(100-35,8=)$ **62,4%** gekomen. Dit is een aanzienlijk hogere score dan bij de andere verdeling, veroorzaakt doordat veel meer voertuigen de veiligste route kiezen.

Route	VV_r	$V_{HB,r}$	Onveiligheid HB-relatie
1	72%	85%	23,8%
2	20%	15%	12%
		100%	35,8%

Tabel 3.

In *Tabel 4* zijn de Duurzaam Veilig-gehaltes van de routes gestandaardiseerd volgens dezelfde methode als hierboven beschreven. Een totale HB-verkeersonveiligheid van 15% wordt hiermee verkregen, goed voor een Duurzaam Veilig-gehalte *gegeven de infrastructuur* voor de HB-relatie van **85%**.

Route	VV_{rs}	$V_{HB,r}$	Onveiligheid HB-relatie
1	100%	85%	0%
2	0%	15%	15%
		100%	15%

Tabel 4.

Voorbeeld HB-relatie met drie routes

In dit voorbeeld worden bij een willekeurig gekozen HB-relatie drie routes bereden. Het merendeel van de voertuigen (65%) kiest route 3, 25% kiest route 2 en 10% route 1, zie ook *Tabel 5*. Route 1 scoort het beste op de Duurzaam Veilig-criteria, getuige het Duurzaam Veilig-gehalte van 72. Route 2 scoort 55% en route 3 is het minst veilig: een score van 20%. In *Tabel 5* zijn de bijdragen van de verschillende routes aan de totale HB-verkeersonveiligheid berekend op dezelfde manier als in het voorbeeld van de HB-relatie met twee routes. Duidelijk waar te nemen is dat route 3 de

grootste bijdrage aan de onveiligheid levert, veroorzaakt door het feit dat een groot aantal voertuigen deze onveiligste route kiezen. Een totale HB-verkeersonveiligheid van 66% levert een Duurzaam Veilig-gehalte voor de HB-relatie van **34%** op.

Route	VV _r	V _{HB,r}	Onveiligheid HB-relatie
1	72%	10%	2,8%
2	55%	25%	11,25%
3	20%	65%	52%
		100%	66,05%

Tabel 5.

In *Tabel 6* zijn de Duurzaam Veilig-gehaltenes van de verschillende routes uit *Tabel 5* gestandaardiseerd. De meest veilige route, route 1, krijgt een gestandaardiseerd Duurzaam Veilig-gehalte van 100%. De onveiligste route, route 3, 0% en route 2 daar tussen in: 67%.

Met deze gestandaardiseerde Duurzaam Veilig-gehaltenes van de routes wordt een Duurzaam Veilig-gehalte voor de HB-relatie *gegeven de infrastructuur* van **26,8%** gevonden.

Route	VV _{rs}	V _{HB,r}	Onveiligheid HB-relatie
1	100%	10%	0%
2	67,3%	25%	8,17%
3	0%	65%	65%
		100%	73,17%

Tabel 6.

Andere verdeling van het verkeer over de routes

Dezelfde drie routes blijven bestaan bij de beschouwde HB-relatie maar de verdeling van de voertuigen over deze routes verandert. Dit heeft zowel consequenties voor het Duurzaam Veilig-gehalte als het Duurzaam Veilig-gehalte *gegeven de infrastructuur* voor de beschouwde HB-relatie. In *Tabel 7* is te zien dat het merendeel (65%) van de voertuigen route 1 kiest, de veiligste route. Maar 10% van de voertuigen kiest de onveiligste route, route 3. Dit resulteert in een veel hoger Duurzaam Veilig-gehalte voor de betreffende HB-relatie: **62,6%**.

Route	VV _r	V _{HB,r}	Onveiligheid HB-relatie
1	72%	65%	18,2%
2	55%	25%	11,25%
3	20%	10%	8%
		100%	37,45%

Tabel 7.

Met de gestandaardiseerde Duurzaam Veilig-gehaltenes van de routes in *Tabel 8* wordt een Duurzaam Veilig-gehalte *gegeven de infrastructuur* van $(100-18,2)= 81,8\%$ gevonden.

Route	VV_{rs}	$V_{HB,r}$	Onveiligheid HB-relatie
1	100%	65%	0%
2	67,3%	25%	8,17%
3	0%	10%	10%
		100%	18,17%

Tabel 8.

Voorbeeld HB-relatie met vier routes

In dit voorbeeld worden bij een willekeurig gekozen HB-relatie vier routes bereden. Het merendeel van de voertuigen (45%) kiest route 4, 27% kiest route 1, 23% route 2 en een klein gedeelte (5%) kiest route 3, zie ook *Tabel 9*.

Route 1 scoort het beste op de Duurzaam Veilig-criteria, getuige het Duurzaam Veilig-gehalte van 72. Route 2 scoort 55% en route 4 is het minst veiligst, een score van 20%. Route 3 scoort 33%.

In *Tabel 9* zijn de bijdragen van de verschillende routes aan de totale HB-verkeersonveiligheid berekent op dezelfde manier als in de voorbeelden van de HB-relatie met twee en drie routes. Duidelijk waar te nemen is dat route 4 de grootste bijdrage levert, veroorzaakt door het feit dat een groot aantal voertuigen deze onveiligste route kiezen. Een totale HB-verkeersonveiligheid van 57% levert een Duurzaam Veilig-gehalte voor de HB-relatie van **43%** op.

Route	VV_r	$V_{HB,r}$	Onveiligheid HB-relatie
1	72%	27%	7,56%
2	55%	23%	10,35%
3	33%	5%	3,35%
4	20%	45%	36%
		100%	57,26%

Tabel 9.

In *Tabel 10* zijn de Duurzaam Veilig-gehaltenes van de verschillende routes uit *Tabel 9* gestandaardiseerd. De meest veilige route, route 1, krijgt een gestandaardiseerd Duurzaam Veilig-gehalte van 100%. De onveiligste route, route 4, 0% en route 2 en 3 daar tussen in: 67% respectievelijk 25%.

Met deze gestandaardiseerde Duurzaam Veilig-gehaltenes van de routes wordt een Duurzaam Veilig-gehalte voor de HB-relatie *gegeven de infrastructuur* van **43,7%** gevonden.

Route	VV _{rs}	V _{HB,r}	Onveiligheid HB-relatie
1	100%	27%	0%
2	67,3%	23%	7,51%
3	25%	5%	3,75%
4	0%	45%	45%
		100%	56,26%

Tabel 10.

Andere verdeling van het verkeer over de routes

Dezelfde vier routes blijven bestaan bij de beschouwde HB-relatie maar de verdeling van de voertuigen over deze routes verandert. Dit heeft zowel consequenties voor het Duurzaam Veilig-gehalte als het Duurzaam Veilig-gehalte *gegeven de infrastructuur* voor de beschouwde HB-relatie. In *Tabel 11* is te zien dat nog meer verkeer de onveiligste route, route 4, kiest (80%). Dit resulteert in een nog lager Duurzaam Veilig-gehalte voor de betreffende HB-relatie: **25%**.

Route	VV _r	V _{HB,r}	Onveiligheid HB-relatie
1	72%	2%	0,56%
2	55%	7%	3,15%
3	33%	11%	7,37%
4	20%	80%	64%
		100%	75,08%

Tabel 11.

Met de gestandaardiseerde Duurzaam Veilig-gehaltenes van de routes in *Tabel 12* wordt een Duurzaam Veilig-gehalte *gegeven de infrastructuur* van $(100-90,5)=$ **9,5%** gevonden.

Route	VV _{rs}	V _{HB,r}	Onveiligheid HB-relatie
1	100%	2%	0%
2	67,3%	7%	2,28%
3	25%	11%	8,25%
4	0%	80%	80%
		100%	90,53%

Tabel 12.