

Veilig samenspel van wegenstructuur, verkeerscirculatie en routekeuze

Ir. A. Dijkstra

R-2010-29

Veilig samenspel van wegenstructuur, verkeerscirculatie en routekeuze

Resultatenoverzicht van de projecten *Routekeuze in een wegennet* (2003-2006) en *Functie* (2007-2010)

Documentbeschrijving

Rapportnummer:	R-2010-29
Titel:	Veilig samenspel van wegenstructuur, verkeerscirculatie en routekeuze
Ondertitel:	Resultatenoverzicht van de projecten <i>Routekeuze in een wegennet</i> (2003-2006) en <i>Functie</i> (2007-2010)
Auteur(s):	Ir. A. Dijkstra
Projectleider:	Ir. A. Dijkstra
Projectnummer SWOV:	01.2
Trefwoord(en):	Traffic; safety; traffic flow; sustainable safety; itinerary; alignment; road network; accident rate; journey time; selection; origin destination traffic; SWOV; Netherlands.
Projectinhoud:	Dit rapport geeft een overzicht van de resultaten van twee projecten over een duurzaam veilige routekeuze. De SWOV is hierin nagegaan of de verkeersveiligheid kan verbeteren door de wegenstructuur en de wegategorisering aan te passen volgens de functionele eisen van Duurzaam Veilig. Onderzocht is onder meer of het bestaande verkeersnetwerk duurzaam veilig is, hoe de veiligheid van routes is vast te stellen en hoe veilig de huidige gekozen routes zijn.
Aantal pagina's:	38 + 2
Prijs:	€ 10,-
Uitgave:	SWOV, Leidschendam, 2010

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

De SWOV is in twee onderzoeksprojecten nagegaan of de verkeersveiligheid kan verbeteren door de wegenstructuur en de wegcatégorisering aan te passen volgens de functionele eisen van Duurzaam Veilig. Een van die eisen is dat de snelste route samenvalt met de veiligste route. In de praktijk blijkt dit vaak niet het geval te zijn. Met de resultaten uit dit onderzoek moet men in het plannings- en ontwerpstadium van het wegennetwerk kunnen nagaan in hoeverre het netwerk aan de eisen van Duurzaam Veilig voldoet.

Dit rapport geeft een overzicht van de resultaten van beide onderzoeksprojecten. Drie onderzoeksvragen stonden hierin centraal:

1. Welke onderzoeksmethoden zijn geschikt om de veiligheidsaspecten van 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?

Om deze vragen te kunnen beantwoorden, zijn verscheidene soorten (nieuwe) onderzoeksmethoden en veiligheidsindicatoren gebruikt. Het wegennetwerk is geanalyseerd met de zogeheten (aangepaste) kernmethode. De veiligheidsaspecten van routes is vastgesteld met drie veiligheidsindicatoren: een routescore die de veiligheid van een route beschrijft (DV-score), het aantal conflicten dat is berekend in een microsimulatiemodel (berekende conflicten) en het aantal geregistreerde ongevallen. Het aantal berekende conflicten is kwantitatief gerelateerd aan het aantal ongevallen, en het aantal conflicten is kwantitatief gerelateerd aan de routescore. Indirect (via het aantal conflicten) bestaat er een relatie tussen de DV-score en het aantal ongevallen. De DV-score is dus relevant voor verkeersveiligheidsonderzoek.

In een studiegebied zijn enkele routes (binnen dezelfde herkomstbestemmingsrelatie) onderzocht. Uit de vergelijking van hun DV-scores blijkt onder meer dat de snelste route en de meest gekozen route niet altijd het best scoren.

Ook is een proef uitgevoerd met een navigatiesysteem voor vrachtauto's, waarbij een snelste en een veiligste route werden berekend. De veiligste routes zijn gemiddeld iets langer dan de snelste routes. De veiligste routes hebben een grotere afgelegde afstand op stroomwegen en erftoegangswegen. De afgelegde afstand op erftoegangswegen zou volgens de criteria van Duurzaam Veilig echter zo kort mogelijk moeten zijn. Blijkbaar is dit criterium in deze proef iets tekortgedaan.

De veiligheid van de gereden routes is achteraf ook berekend met risicocijfers. Daaruit blijkt dat de snelste routes (significant) iets minder veilig zijn dan de veiligste routes.

Deze resultaten zijn overigens afhankelijk van het gegeven netwerk in het studiegebied. Door het netwerk aan te passen kunnen de resultaten veranderen.

Uit dit onderzoek blijkt dat in bestaande situaties de veiligste route inderdaad lang niet altijd samenvalt met de snelste route. Omdat automobilisten doorgaans kiezen voor de snelste route, beveelt de SWOV aan beleid te ontwikkelen om ervoor te zorgen dat de snelste route ook de veiligste route is.

Op grond van de bevindingen in de uitgevoerde studies wordt tevens aanbevolen het gebruik te stimuleren van microsimulatiemodellen die geschikt zijn om conflicten te berekenen. Daartoe dienen modules te worden geprogrammeerd die de output van elk type microsimulatiemodel kunnen bewerken.

De veiligheidscriteria voor routekeuze zijn geschikt om in te bouwen in software voor navigatiesystemen. Het verdient aanbeveling een proef uit te voeren met een groter aantal voertuigen dan in de gerapporteerde kleinschalige proef met vrachtauto's.

De SWOV beveelt ook aan de aangepaste kernmethode in de praktijk toe te laten passen op andere gebieden dan het studiegebied. Hieruit moet blijken of de toepassingen tot grote onderlinge verschillen in uitkomsten leiden. Ook zal dan meer duidelijkheid ontstaan over de generaliseerbaarheid en de praktische toepasbaarheid.

Summary

Safety interaction between road structure, traffic circulation and route choice; Overview of the results of the projects *Route choice in a road network (2003-2006)* and *Function (2007-2010)*

In two research projects SWOV investigated whether road safety can be improved by making changes in road structure and road categorization according to the functional requirements of Sustainable Safety. One of these demands is that the fastest route is also the safest route. This is often not the case in practice. The results of this research will make it possible to check in the planning and design phases of a road network to which extent it meets the Sustainable Safety requirements.

The present report contains an overview of the results of both research - projects. There were three leading questions:

1. Which research methods can be used to study the safety aspects of route choice?
2. What is the safety level of the routes that are chosen presently? This includes developing indicators and criteria to be able to determine the routes' safety.
3. Is it possible to influence route choice in favour of the safe routes? If so, in which manner? And what are the road safety effects?

Several (new) types of research methods and safety indicators were used to answer these questions. The road network has been analysed using the so-called (adapted) cluster-based method. The safety aspects of routes have been determined using three safety indicators: a route score which describes the safety of a route (DV-score), the number of conflicts that has been calculated in a microsimulation model (calculated conflicts), and the number of registered crashes. The number of calculated conflicts has a quantitative relation with the number of crashes, and the number of conflicts has a quantitative relation with the route score. Indirectly, through the number of conflicts, there is a relation between the DV-score and the number of crashes. The DV-score is therefore relevant for road safety research.

In a study area, several routes with the same origin-destination relation have been investigated. The comparison of their DV-scores shows that, among other things, the fastest route and the most chosen route do not always have the best scores.

A test with a navigation system for lorries which calculated both a fastest and a safest route was also carried out. On average, the safest routes are slightly longer than the fastest routes. The safest routes have a longer distance travelled on through roads and access roads. However, according to the Sustainable Safety criteria the distance travelled on access roads should be as short as possible. This criterion has apparently been stretched somewhat in this test.

The safety of the routes that were travelled has afterwards also been calculated using crash rates. This indicates that the fastest routes are significantly less safe than the safest routes.

These results, for that matter, are dependent on the give network in the study area. Adaptation of the network can change the results.

The present study shows that presently the safest route indeed often fails to be also the fastest route. Because drivers usually choose the fastest route, SWOV recommends developing policy to ensure that the fastest route is also the safest route.

Based on the findings of the two studies, SWOV also recommends encouraging the use of microsimulation models that are suitable for the calculation of conflicts. This requires programming modules that can adapt the output of every type of microsimulation model.

The safety criteria for route choice are suitable to be built into software for navigation systems. It is to be recommended to conduct a test with a greater number of vehicles than in the reported small-scale test with lorries. SWOV also recommends using the adapted cluster-based method in other areas than the area used in the study. This should indicate whether the application in different areas results in different findings. This will also throw some light on the possibilities for generalization and application.

Inhoud

Voorwoord	8
1. Inleiding	9
1.1. Een duurzaam veilig wegennet	9
1.2. Doelstelling en onderzoeksvragen	11
1.3. Leeswijzer	11
2. Onderzoeksmethoden en veiligheidsindicatoren	12
2.1. Een duurzaam veilig verkeersnetwerk met de kernenmethode	12
2.2. De DV-score als veiligheidsindicator	14
2.3. Het berekende conflict als veiligheidsindicator	16
2.4. De routekeuze van automobilisten	18
3. Relevantie van de onderzoeksmethoden en indicatoren	20
3.1. Relatie tussen berekende conflicten en geregistreerde ongevallen	20
3.2. Relatie tussen DV-score en berekende conflicten	23
3.3. Relaties tussen DV-score, berekende conflicten en ongevallen	26
3.4. Gekozen veilige routes via een navigatiesysteem	27
4. Toepassing van de methoden en indicatoren	28
4.1. Toepassing van de kernenmethode	28
4.2. Toepassing van enkele veiligheidsindicatoren op routes	29
4.3. Toepassing van enkele indicatoren op wegenstructuren	29
5. Conclusies en aanbevelingen	32
5.1. Conclusies	32
5.1.1. Methoden en veiligheidsindicatoren	32
5.1.2. Relevantie voor verkeersveiligheidsbeleid en -onderzoek	33
5.1.3. Toepassingen	34
5.2. Aanbevelingen	34
Literatuur	36
Bijlage	Overzicht van de gepubliceerde resultaten van beide projecten
	39

Voorwoord

In het onderzoeksprogramma van de SWOV was in de periode 2003-2006 het project *Routekeuze in een wegennet* opgenomen. In het daaropvolgende onderzoeksprogramma is het vervolg op dit onderzoeksproject *Functie* genoemd. In de periode 2003-2010 zijn verscheidene artikelen, congresbijdragen en rapporten verschenen over de opzet en de resultaten van onderdelen van deze twee projecten. Dit rapport geeft een zo volledig mogelijk overzicht van de resultaten.

In grote lijnen zullen deze resultaten ook onderdeel gaan vormen van een proefschrift dat de auteur zal gaan verdedigen bij de Universiteit Twente. Veel onderzoekers hebben aan beide projecten meegewerkt. Bij de start is Luc Wismans ingeschakeld. Vervolgens hebben Peter Morsink, Robert Louwerse, Wendy Weijermars, Paula Marchesini, Jacques Commandeur en Frits Bijleveld aan de resultaten bijgedragen. Hans Drolenga heeft het gebruik van een microsimulatiemodel S-Paramics in gang gezet en de eerste rapportage hierover mogelijk gemaakt. Vincent Kars is er vervolgens in geslaagd om alle mogelijkheden van het simulatiemodel in te zetten voor dit onderzoek.

1. Inleiding

In twee onderzoeksprojecten is de SWOV nagegaan of de verkeersveiligheid kan verbeteren door de wegenstructuur en de wegcategorisering aan te passen volgens de functionele eisen van Duurzaam Veilig. Dit rapport geeft een overzicht van de resultaten van beide projecten.

1.1. Een duurzaam veilig wegennet

Voor het doelmatig en veilig functioneren van het wegennet heeft Duurzaam Veilig een serie eisen geformuleerd. Die eisen hebben onder meer betrekking op de opbouw van het wegennet en, in samenhang daarmee, op de wegcategorisering. Bij wegcategorisering wordt de functie van elke verbinding in een wegennet gedefinieerd. In Nederland worden drie functies onderscheiden: stromen, gebieden ontsluiten en toegang bieden tot erven. Een verkeerssysteem bestaat dus uit stroomwegen, gebiedsontsluitingswegen en erftoegangswegen. Elke route in het verkeerssysteem is in deze termen te beschrijven.

Een belangrijke eis van Duurzaam Veilig is dat de snelste en de veiligste route moeten samenvallen. Deze eis is voortgekomen uit onderzoek naar routekeuze, waaruit blijkt dat verkeersdeelnemers doorgaans voor de snelste route kiezen. De straten in verblijfsgebieden (erftoegangswegen) zijn gewoonlijk zeer veilig, maar het is niet de bedoeling dat doorgaand verkeer die straten benut. Daarom is binnen Duurzaam Veilig als aanvullende eis gesteld dat een route zo moet zijn opgebouwd dat alleen het begin en einde van een rit over erftoegangswegen voert. Het overige (grootste) ritdeel verloopt via stroomwegen of, als die niet of in onvoldoende mate 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. De routekeuze kan ook beïnvloed worden 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 stroomwegen in een goed functionerend duurzaam veilig wegennet daadwerkelijk doorstromen. Anders zal de weerstand van een route door verblijfsgebieden al gauw opwegen tegen de weerstand van een route over stroomwegen.

Een andere eis is dat de gekozen wegcategorisering overeenkomt met de gewenste functionele verdeling van het verkeer over het wegennet. Het is bijvoorbeeld gewenst dat wegen die als stroomwegen gedefinieerd zijn, in de praktijk ook daadwerkelijk als zodanig gebruikt worden. Dit raakt aan de structuur van het wegennet.

Een belangrijk structuurkenmerk is de afstand tussen de gebiedsontsluitingswegen (en van stroomwegen), de zogeheten maaswijdte. Over de beoogde maaswijdten van deze wegcategorieën is weinig vastgelegd, noch over andere kenmerken van de wegenstructuur. Aanvankelijk was in Duurzaam Veilig een criterium opgenomen dat de maaswijdte van de verschillende wegcategorieën bepaalde: het ritduurcriterium (Van Minnen & Slop, 1994). Dit criterium was gekozen om de tijdsduur te begrenzen die

nodig is om een 'hogere' wegcategorie te bereiken. Daarmee werd voorkomen dat weggebruikers onnodig (en vooral ongewenst) lang over wegen met een lage snelheidslimiet moesten rijden. Voor het ritduurcriterium zijn tot op heden geen onderbouwde waarden gevonden. Daarom is de maximale ritduur niet als criterium opgenomen in de (voorlopige) richtlijnen voor wegategorisering (CROW, 1997). Wel is de eis gesteld dat verblijfsgebieden 'zo groot mogelijk' moeten zijn. Deze eis houdt in dat een aaneengesloten gebied met erftoegangswegen zo min mogelijk doorsneden zou moeten worden door gebiedsontsluitingswegen, zodat de verkeersleefbaarheid (oversteekbaarheid, milieueffecten) beheersbaar blijft. Deze eis beïnvloedt weliswaar de maaswijdte van de gebiedsontsluitingswegen, maar in de praktijk is er een grote variatie in de omvang van de verblijfsgebieden (Van Minnen, 1999; Van Minnen & Krabbenbos, 2002).

Naast maaswijdte 'sec' kan ook de aard van de gewenste verbindingen tussen verschillende soorten woonkernen (afhankelijk van aantal inwoners of voorzieningen) maatgevend zijn voor de opbouw van een duurzaam veilig wegennet. Dijkstra (2003) heeft deze benadering toegepast op het wegennet in Zuid-Limburg: de zogeheten kernenmethode. De kernenmethode is ook in dit onderzoek naar routekeuze gebruikt om het duurzaam veilige karakter van het wegennet te bepalen en een wegennet te ontwerpen conform de eisen van Duurzaam Veilig.

Duurzaam Veilig wil veiligheid vooraf incorporeren in verkeersplannen. In het plannings- en ontwerpstadium van deze verkeersplannen moet men kunnen nagaan of het netwerk zal functioneren volgens de gestelde netwerkeisen, in het bijzonder wat veiligheid betreft. Het is moeilijk om de gevolgen van een verkeersplan te overzien, vanwege de grote hoeveelheid gegevens die een rol spelen bij verkeersplannen (veel mogelijke herkomsten en bestemmingen, verplaatsingsmotieven, vervoerwijzen, alternatieve routes). Daarom gebruiken plannenmakers vaak verkeersmodellen en verkeerssimulatiemodellen. Verkeersmodellen verdelen de potentiële verplaatsingen tussen herkomsten en bestemmingen over de verschillende vervoerwijzen. De resulterende ritten verdelen ze vervolgens over de routes in de verschillende netwerken (voor fiets, openbaar vervoer en gemotoriseerd verkeer). De klassieke verkeersmodellen geven alleen een toedeling van de totale hoeveelheid verkeer aan de wegvakken van de verschillende netwerken. Immers et al. (2001) geven een voorbeeld van de toepassing van een dergelijk model op de maaswijdte van het hoofdwegennet. 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, op de weg of in voertuigen zijn gepland. Van Minnen & Krabbenbos (2002) hebben een dergelijk model toegepast bij onderzoek naar de wegenstructuur in verblijfsgebieden. Ook in het hier besproken project is gebruikgemaakt van microsimulatiemodellen.

1.2. Doelstelling en onderzoeksvragen

De SWOV is in dit project nagegaan of de verkeersveiligheid inderdaad verbetert als de wegenstructuur en de wegategorisering worden aangepast volgens de functionele eisen van Duurzaam Veilig. Het doel hiervan is om in het plannings- en ontwerpstadium van verkeersplannen te kunnen nagaan in hoeverre het netwerk voldoet aan de eisen van Duurzaam Veilig, in het bijzonder wat veiligheid betreft.

Aanpassingen in het wegennetwerk zullen in de meeste gevallen tot een ander gebruik van het wegennet leiden, vooral via de veranderde routekeuze van weggebruikers. Ook de veranderde routes moeten passen bij de functionele eisen van Duurzaam Veilig. Bij dit project is uitgegaan van de eis dat de snelste en de veiligste route moeten samenvallen. Er is naar gestreefd om de routes zo veel als mogelijk ook aan de andere functionele eisen van Duurzaam Veilig te laten voldoen.

In dit project hebben drie onderzoeksvragen centraal gestaan:

1. Welke onderzoeksmethoden zijn geschikt om de veiligheidsaspecten van 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?

Het project bevindt zich nog niet in het stadium waarin op alle vragen een volledig antwoord geformuleerd kan worden. Dit rapport biedt in de eerste plaats een overzicht van de relevante onderzoeksresultaten. De onderzoeksvragen komen niet achtereenvolgens aan bod, maar worden per hoofdstuk nader uitgewerkt, voor zover daartoe resultaten voorhanden zijn.

1.3. Leeswijzer

Hoofdstuk 2 gaat uitgebreid in op de gehanteerde onderzoeksmethoden en veiligheidsindicatoren. Deze methoden en indicatoren zijn van belang om de eerste twee vragen te kunnen beantwoorden. Het hoofdstuk sluit af met de bespreking van een onderzoek in het studiegebied naar de manier waarop verkeersdeelnemers hun route kiezen.

In *Hoofdstuk 3* worden de besproken veiligheidsindicatoren gerelateerd aan de aantallen geregistreerde ongevallen, waarmee de relevantie van de methoden en indicatoren duidelijk wordt.

Hoofdstuk 4 gaat in op de toepassing van de methoden en veiligheidsindicatoren op het studiegebied.

Ten slotte komen in *Hoofdstuk 5* de conclusies en aanbevelingen aan bod.

2. Onderzoeksmethoden en veiligheidsindicatoren

Dit hoofdstuk biedt een overzicht van de gehanteerde onderzoeksmethoden en de indicatoren die zijn ontwikkeld om de veiligheid van een verkeersnetwerk te beoordelen.

Het duurzaam veilige karakter van een verkeersinfrastructuur wordt in sterke mate bepaald door de manier waarop het wegennet (de netwerkstructuur) is opgebouwd en waarop de wegcategorysering ervan is uitgewerkt. Met de zogeheten kernenmethode kan een verkeersnetwerk worden ontworpen dat aan de eisen van Duurzaam Veilig voldoet. In aangepaste vorm maakt de kernenmethode duidelijk in hoeverre het bestaande netwerk aan deze eisen voldoet. De kernenmethode wordt toegelicht in *Paragraaf 2.1*.

Door een verandering in de netwerkstructuur en/of door een andere verdeling van herkomsten en bestemmingen gaat het verkeer andere routes kiezen. In de ontwerpfasen zouden de implicaties hiervan voor verkeersveiligheid duidelijk moeten worden. Voor dit doeleinde is een indicator ontwikkeld die de veiligheid van routes bepaalt volgens de eisen van Duurzaam Veilig, de zogenaamde DV-score. Deze indicator komt aan bod in *Paragraaf 2.2*.

De verandering van de routekeuze verandert de verkeersstromen en daardoor ook de stromen die onderling conflicteren. Alleen een verkeersmodel kan de conflicten die de nieuwe situatie met zich meebrengt, goed in beeld brengen. Een specifiek type verkeersmodel, het microsimulatiemodel, maakt het mogelijk ontmoetingen tussen afzonderlijke voertuigen na te bootsen. Om de relatie van deze conflicten met verkeersveiligheid vast te kunnen stellen, zijn intermediaire indicatoren ontwikkeld. Hier gaat *Paragraaf 2.3* op in.

In het project is een studiegebied gekozen om de methoden en indicatoren toe te kunnen passen. Dit studiegebied, gelegen tussen Noordwijk, Katwijk, Leiden en Den Haag, is kort beschreven in *Paragraaf 2.4*. In het studiegebied is via een vragenlijst onderzocht welke routes autobestuurders gewoonlijk kiezen op weg naar Den Haag. Ook is via deze methode nagegaan wat de achtergronden zijn van hun routekeuze.

Bij de bespreking van de toegepaste methoden en indicatoren zal regelmatig worden verwezen naar uitwerkingen en achtergronden in diverse rapporten en congresbijdragen (papers). De evaluatie van de indicatoren komt in *Hoofdstuk 3* aan bod. In *Hoofdstuk 4* worden de resultaten besproken.

2.1. Een duurzaam veilig verkeersnetwerk met de kernenmethode

In een duurzaam veilig verkeersnetwerk spelen de wegcategorysering en de netwerkopbouw een belangrijke rol. De wegen in een verkeersnetwerk zijn onder te verdelen in drie wegcategorys: stroomwegen, gebiedsontsluitingswegen en erftoegangswegen. Aan elke verbinding in het wegennet kan volgens deze indeling een functie worden toegeschreven. Voorafgaand aan deze wegcategorysering dient het gebied waarin het wegennet ligt, nader te worden onderzocht. Deze fase noemen we netwerkopbouw. Tijdens de netwerkopbouw worden de sociaal-economische en demografische factoren geanalyseerd, wordt nagegaan welke vervoersstromen optreden en worden ten slotte de vervoersverbindingen bepaald die deze

stromen moeten kunnen verwerken. De netwerkopbouw bepaalt in belangrijke mate hoe het verkeer zich kan verdelen over het wegennet. De eisen van Duurzaam Veilig zijn voortgekomen uit de maatschappelijke doelstellingen op het gebied van bereikbaarheid, verkeersveiligheid en milieu. Het is de vraag of de bestaande netwerkopbouw en wegcatégorisering in overeenstemming zijn met deze doelstellingen. Om tot een duurzaam veilig verkeersnetwerk te komen, heeft Dijkstra (2003) de kernenmethode ontwikkeld en onlangs aangepast (Dijkstra, 2010a). De kernenmethode is een methode om verbindingen te ontwerpen die voldoen aan de eisen van Duurzaam Veilig. In aangepaste vorm maakt de kernenmethode duidelijk in hoeverre de bestaande wegenstructuur aan deze eisen voldoet.

In de kernenmethode wordt elk aaneengesloten bewoond gebied een kern genoemd. Meestal komt dit overeen met bestaande steden en dorpen. Soms is een stad opgesplitst in twee of meer kernen, omdat bijvoorbeeld een natuurlijke grens de stad verdeelt. De kernen in een regio worden verdeeld in een aantal klassen op grond van het aantal inwoners. De indeling in verschillende kerntypen staat of valt niet met een scherpe afbakening van de indeling in klassen. De indeling moet in grote lijnen kloppen met 'de cijfers' (omvang in aantal inwoners, aantal arbeidsplaatsen, aantal studenten, aantal bezoekers). Van belang is vooral dat de indeling overeenstemt met de relatieve positie die de kernen in een regio of landsdeel innemen. 'Positie' verwijst hier naar de functies die de kern herbergt, zoals bestuurlijke en culturele functies of de omvang van de bedrijvigheid. Een middelgrote kern kan soms in een regio dezelfde positie innemen als een grotere kern in een andere regio. Bij een indeling zouden beide kernen dezelfde plaats in de rangschikking moeten krijgen.

Voor de kernenmethode is door Dijkstra (2003) een eenvoudige indeling volgens het aantal inwoners gehanteerd. In de meeste gevallen correspondeert deze indeling met de positie die een kern bezit.

De werkwijze van de kernenmethode is erop gericht om verbindingen te leggen tussen kernen die daadwerkelijk aan elkaar gerelateerd zullen zijn. Zo hebben voorsteden een sterke relatie met de nabijgelegen grotere stad: Den Haag is bijvoorbeeld rechtstreeks verbonden met het nabijgelegen Leidschendam. Kleinere kernen, die verder weg liggen van deze grotere stad, zullen een minder sterke relatie hebben: Alphen aan den Rijn is niet rechtstreeks verbonden met Den Haag.

De aanleg van te veel rechtstreekse verbindingen vergt veel investeringen (kostbaar), gebruikt veel ruimte en maakt het wegennet gecompliceerd in gebruik; de bereikbaarheid is wel goed. Bij te weinig rechtstreekse verbindingen is de bereikbaarheid beperkt en de overlast op en langs die verbindingen groot; de totale kosten voor de aanleg van het geringere aantal verbindingen zijn wel lager (Bolt, 1983).

De kernenmethode levert 'theoretisch gewenste' verbindingen op. Dat wil zeggen: de wenselijkheid van de verbindingen is puur beredeneerd vanuit het vervoersbelang. De potentiële onderlinge aantrekkingskracht van kernen staat voorop. Het relatieve belang van een verbinding hangt af van de kernen die ze verbindt. Een verbinding tussen twee kernen die tot de 'hoogste' klassen behoren (veel inwoners) is van groter belang dan een verbinding tussen een grote kern en een kleine kern of een verbinding tussen twee kleine kernen.

Het relatieve belang van een verbinding bepaalt de uiteindelijke categorisering ervan (Dijkstra, 2010a). Bij de categorisering komen de

verkeersveiligheidsaspecten nadrukkelijk aan bod. De (aangepaste) kernenmethode sluit aan op een al lang gebruikte methode (*Integrierte Netzgestaltung*) in Duitsland (FGSV 1988, 2008).

De aangepaste kernenmethode maakt in de eerste plaats duidelijk of de verbindingen die van belang zijn ook in werkelijkheid aanwezig zijn en zo ja, of ze de gewenste functie vervullen.

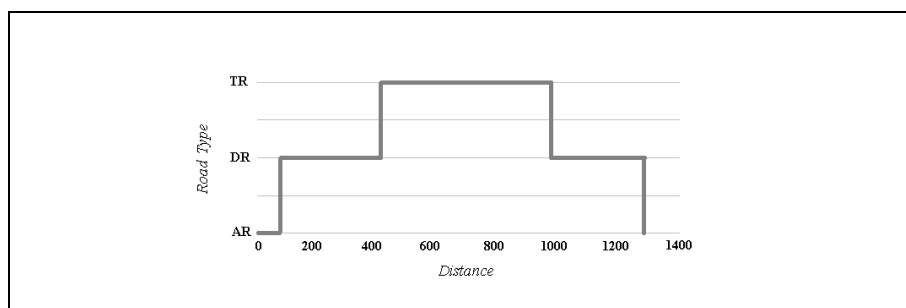
Voor de aangepaste kernenmethode is het verder van belang te weten of een groep geselecteerde kernen deel uitmaakt van één regio of van meer regio's. Een regio is in dit verband een aaneengesloten gebied waarvan het bekend is dat de kernen een onderling sterke relatie hebben. Dit hoeft niet per se overeen te komen met een bestuurlijke regio, die in de eerste plaats door een politieke keuze tot stand komt. Binnen een gekozen regio zullen de meeste grotere kernen onderling worden verbonden. Daardoor zullen in een regio met kernen die ver uit elkaar liggen, veel en lange verbindingen gewenst zijn. Deze ver uit elkaar liggende kernen hebben echter in veel gevallen geen onderling sterke relatie. Dan behoren ze ook niet in dezelfde regio thuis en kan een kleinere regio worden gekozen.

De verbindingen in een kleine regio behoeven niet noodzakelijk hogere verkeersintensiteiten te hebben dan in een grotere regio. De verkeersintensiteit hangt vooral af van de omvang van de onderling verbonden kernen, niet van de omvang van de regio.

Paragraaf 4.1 beschrijft de toepassing van de aangepaste kernenmethode op het studiegebied.

2.2. De DV-score als veiligheidsindicator

In een duurzaam veilig verkeersnetwerk valt de snelste route idealiter samen met de veiligste route. Onderzoek naar de verkeersveiligheid van de gekozen route vereist indicatoren om de veiligheid van routes te kunnen beoordelen. In dit onderzoek is aan de hand van dergelijke indicatoren een 'routescore' ontwikkeld om de veiligheid van een route te beoordelen. De gekozen 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' (of DV-trappetje); zie *Afbeelding 2.1*.



Afbeelding 2.1. Routediagram voor een willekeurige route, met AR = erf-toegangsweg ('access road'), DR = gebiedsontsluitingsweg ('distributor road') en TR = stroomweg ('through-road') (Dijkstra & Drolenga, 2006).

Het routediagram visualiseert het karakter van een route volgens de normen van Duurzaam Veilig. Het gewenste routediagram laat een routeverloop zien dat alle wegcategorieën in de juiste volgorde en in de juiste lengteverhoudingen¹⁾ 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. Elke route kan op grond van deze kwantitatieve criteria worden beoordeeld. De kwantitatieve veiligheidscriteria (*Tabel 2.1*) zijn zo samengesteld dat er een Duurzaam Veilig-score (DV-score) tot stand komt die uitdrukt in welke mate de route voldoet aan de criteria (van 0 tot 100%).

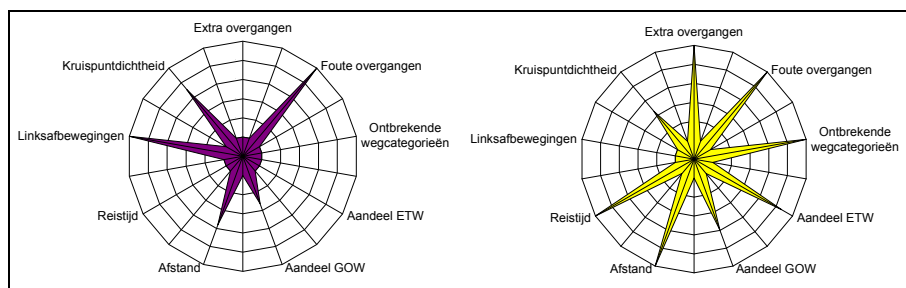
criterium	Toelichting	Eenheid
1	Overgangen wegcategorieën beperkt	Aantal extra overgangen
2	Aard van de overgang klopt	Aantal foute overgangen
3	Zo min mogelijk ontbrekende wegcategorieën	Aantal ontbrekende wegcategorieën
4	Aandeel in lengte van erftoegangswegen zo laag mogelijk	Percentage van totale 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 2.1. *Negen kwantitatieve veiligheidscriteria voor routes, gebaseerd op het routediagram (Dijkstra & Drolenga, 2006).*

Deze routescore of DV-score kan men op twee niveaus berekenen: op het niveau van de route en op het niveau van de herkomst-bestemmingsrelatie (HB-relatie). In het laatste geval betreft het alle routes die beschikbaar zijn voor een bepaalde HB-relatie.

Met een routester kan per route worden gevisualiseerd in welke mate aan de verschillende criteria wordt voldaan (*Afbeelding 2.2*). Een route voldoet aan alle criteria als alle punten van een routester volledig zichtbaar zijn.

¹ De juiste lengteverhouding wil zeggen dat de afgelegde weg over de stroomweg veel langer zou moeten zijn dan de afgelegde weg over de andere wegcategorieën.



Afbeelding 2.2. Routesterren van twee willekeurige routes (Dijkstra & Drolenga, 2006).

In beginsel zijn de veiligheidscriteria voor routekeuze geschikt om in te bouwen in software voor routeplanners (zie ook de experimentele toepassing ervan bij vrachtauto's in *Paragraaf 3.3*).

2.3. Het berekende conflict als veiligheidsindicator

Met de DV-score is te bepalen hoe veilig een route is op basis van de kenmerken van die route zelf. Bij verkeersveiligheid zijn echter ook altijd verkeersdeelnemers betrokken. Als het verkeersnetwerk wordt aangepast aan de eisen van Duurzaam Veilig, dan zullen zij andere routes kiezen en daarmee ook weer de verkeersveiligheid beïnvloeden. Om een goede inschatting te maken van de verkeersveiligheid, dient de routekeuze dus ook op het niveau van de verkeersdeelnemers geanalyseerd te worden. Vooral het aantal mogelijke conflicten – ontmoetingen waarbij de voertuigen elkaar erg dicht naderen – dient onderzocht te worden. Daarvoor is een microsimulatiemodel het geschikte instrument. Met dit model is een voertuigafhankelijke veiligheidsindicator te ontwikkelen: het berekende conflict.

De verandering van de routekeuze verandert de verkeersstromen in het wegennetwerk en daardoor ook de stromen die onderling conflicteren. In een gebied met de omvang van bijvoorbeeld een regio gaat het om tienduizenden voertuigen per dag waarvan de routes kunnen veranderen. De veranderingen zijn niet voor elke route gelijk, maar hangen af van de alternatieve routes die per verplaatsing beschikbaar zijn. Door de omvang en de aard van de veranderingen kan alleen een verkeersmodel de nieuwe situatie en de mogelijke conflicten daarin goed in beeld brengen. Het microsimulatiemodel maakt het mogelijk om ontmoetingen tussen afzonderlijke voertuigen na te bootsen. Het microsimulatiemodel, als instrument om de veiligheidsaspecten van een routekeuze nader te bestuderen, is gekozen op basis van een studie van Wismans (2003), waarin:

- bestaande verkeersmodellen zijn geïventariseerd;
- eigenschappen, voor- en nadelen en toepassingsgebied ervan zijn beschreven;
- gestelde eisen voor het onderhavige project zijn verzameld;
- nagegaan is in welke mate de modellen voldoen aan de eisen.

Deze analyse leverde uiteindelijk het microsimulatiemodel op als geschiktst instrument. Van de beschikbare pakketten voor het bouwen van een simulatiemodel is, om pragmatische redenen, gekozen voor *S-Paramics* (Dijkstra & Drolenga, 2006).

Een belangrijke reden om voor een microsimulatiemodel te kiezen, betreft de mogelijkheid om voertuigafhankelijke veiligheidsindicatoren te produceren. Deze 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. Overigens is hier steeds sprake van berekende conflicten in een simulatiemodel, dus geen werkelijke conflicten, laat staan (bijna-)ongevallen.

Bij de bepaling van wat een conflict is, speelt de *Time-To-Collision* (TTC) een belangrijke rol. De TTC is de tijd die resteert totdat twee conflicterende voertuigen gaan botsen, aannemende dat geen van beide voertuigen nog een vermijdende actie gaat ondernemen. De TTC neemt af naarmate de voertuigen elkaar dichter naderen. Zodra een vermijdende actie plaatsvindt, neemt de TTC weer toe. Voor de berekening van conflicten is de *kritieke waarde* van de TTC van belang. Gegeven de kritieke waarde tellen alleen de conflicten mee die een TTC hebben gelijk of onder die waarde. Dijkstra & Drolenga (2006) laten zien dat men in het onderzoek meestal 2,5 s als kritieke waarde hanteert, maar dat lagere waarden (tot 1,5 s) ook voorkomen (zie ook *Paragraaf 3.1*).

S-Paramics levert per seconde de uitvoer van gegevens over posities van alle voertuigen in het model. De berekening van de veiligheidsindicatoren vindt niet plaats binnen het model *S-Paramics*. De uitgevoerde gegevens worden door een afzonderlijk algoritme omgezet in veiligheidsindicatoren, zoals de TTC-waarden en het aantal conflicten.

Met het pakket *S-Paramics* zijn drie soorten microsimulatiemodellen gebouwd:

- kleinschalig testnetwerk;
- model van het studiegebied Noordwijk, Katwijk, Leiden en Den Haag;
- grootschalig testnetwerk.

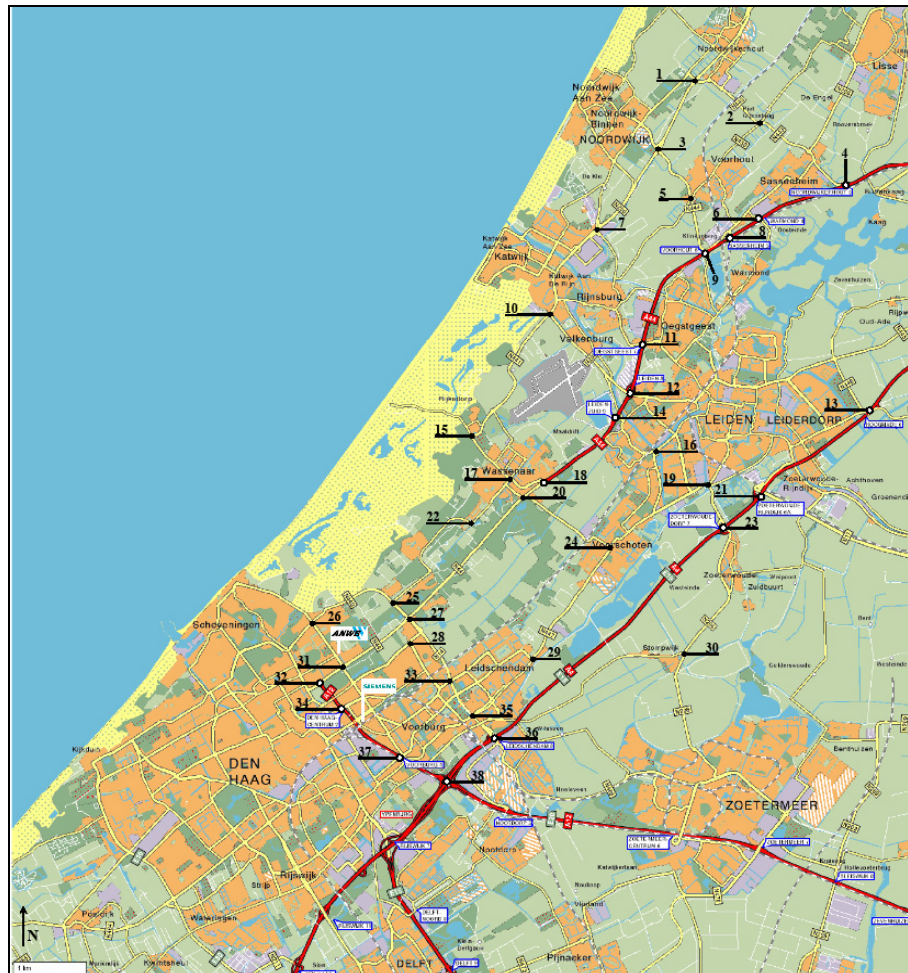
Het kleinschalige testnetwerk is door Dijkstra, Drolenga & Van Maarseveen (2007) gebruikt om bestaande en ontworpen indicatoren uit te testen. Dijkstra et al. (2010) hebben met het model van het studiegebied de relatie onderzocht tussen berekende conflicten en geregistreerde ongevallen. Ook is met dit model door Dijkstra & Marchesini (2010) de relatie tussen berekende conflicten en DV-score nagegaan. Het grootschalige testnetwerk is door Dijkstra (te verschijnen) gebouwd om verschillende netwerkstructuren te evalueren wat betreft het effect op de berekende conflicten.

De DV-score en het berekende conflict gelden in dit onderzoek als de belangrijkste indicatoren voor verkeersveiligheid, naast het ongeval, dat uiteindelijk natuurlijk de enige 'echte' indicator is. In *Hoofdstuk 3* worden de relaties tussen DV-score, berekende conflicten en geregistreerde ongevallen besproken.

2.4. De routekeuze van automobilisten

Een van de uitgangspunten van dit project is dat verkeersdeelnemers doorgaans kiezen voor de snelste of kortste route. De eis van Duurzaam Veilig dat de snelste en de veiligste route moeten samenvallen, is op deze veronderstelling gebaseerd. En ook in microsimulatiemodellen, waarin de verkeersafwikkeling en de gedragskeuzen van automobilisten op een wegennetwerk zo goed mogelijk worden nagebootst, wordt vaak verondersteld dat 'snelste' en 'kortste' de belangrijkste motieven voor routekeuze zijn.

In de literatuur is al veel te vinden over de diverse aspecten van routekeuze (Goldenbeld et al, 2006; Dijkstra et al., 2007). Er was echter ook behoefte aan feitelijke en actuele informatie over de routekeuze in het studiegebied Noordwijk, Katwijk, Leiden en Den Haag (NKLG, *Afbeelding 2.3*). Daarom is een vragenlijstonderzoek uitgevoerd naar routekeuze van automobilisten in studiegebied. Aan meer dan 400 automobilisten uit vier woongebieden op 20-25 km afstand ten noorden van Den Haag is gevraagd welke routes zij regelmatig met de auto naar Den Haag rijden, en welke alternatieve routes zij eventueel nemen.



Afbeelding 2.3. Onderzoekgebied Noordwijk, Katwijk, Leiden en Den Haag.

Het onderzoek beoogde een beeld te krijgen van het routekeuzegedrag van automobilisten en van de verschillende factoren die daar mogelijk bij meespelen. Twee vragen stonden centraal:

1. Welke routes kiezen automobilisten naar Den Haag onder normale omstandigheden en welke redenen hebben zij daarvoor?
2. In welke mate en waardoor laten automobilisten zich beïnvloeden om een alternatieve route te nemen?

Het gebruik van routes over autosnelwegen blijkt voor de verschillende woongebieden ongeveer 25 percentagepunten uiteen te lopen. Rijdt het merendeel van de automobilisten normaal gesproken vooral over de auto(snel)weg, als alternatieve route noemen ze vaak een route over het onderliggend wegennet (ongeveer 28%).

Over het geheel genomen rijdt ongeveer twee op de vijf automobilisten wel eens over (grotendeels) onderliggend wegennet naar Den Haag, al dan niet daartoe uitgenodigd door files of vertragingen op andere delen van het wegennet. Met name wanneer – zoals hier – de afstand niet veel meer dan 20 km bedraagt en wanneer een snelle, korte aansluiting op het autosnelwegennet ontbreekt, kunnen routes over het onderliggend wegennet qua reistijd en -afstand concurreren met die over het autosnelwegennet. De capaciteit van het onderliggende wegennet is niet afgestemd op grote verkeersstromen. Het aantal automobilisten dat de onderliggende wegen kan gebruiken zonder opnieuw in files terecht te komen, is daardoor beperkt.

Ook in dit onderzoek noemen automobilisten de motieven ‘snelste route’ en ‘kortste route’ verreweg het meest als eerste reden voor routekeuze. De reden ‘bekendheid met route’ komt in dit onderzoek op de plaats. De reden ‘veiligheid’ speelt vrijwel geen rol.

De resultaten uit dit onderzoek naar routekeuze – actuele, valide, Nederlandse gegevens uit de praktijk – zijn door Dijkstra (2010b) gebruikt om enkele veiligheidsindicatoren te testen (*Paragraaf 4.2*).

3. Relevantie van de onderzoeksmethoden en indicatoren

In *Hoofdstuk 2* zijn de methoden en indicatoren beschreven die in dit project zijn gebruikt. Uiteindelijk zouden deze methoden en indicatoren zicht moeten geven op de daadwerkelijke verkeersveiligheidssituatie. Met andere woorden: zijn ze relevant? Dat is waar dit hoofdstuk op ingaat. De enige 'echte' indicator voor verkeersonveiligheid is het ongeval. De gehanteerde indicatoren in dit project dienen in elk geval een relatie te hebben met ongevallen. Die relatie kan soms indirect verlopen via een andere indicator, die op zijn beurt wel direct gerelateerd is aan het ongeval. Allereerst is de relatie onderzocht tussen enerzijds de indicator uit het microsimulatiemodel, het berekende conflict, en anderzijds het ongeval. In *Paragraaf 3.1* komt deze relatie aan bod. Vervolgens is de relatie tussen de DV-score en het ongeval op een indirecte manier gelegd, namelijk via het berekende conflict. Een directe relatie kan hier niet worden gelegd, omdat de DV-score wordt berekend per route en op een route te weinig ongevallen gebeuren om de relatie statistisch te bepalen. *Paragraaf 3.2* laat zien hoe de relatie tussen de DV-score en het berekende conflict is gelegd. Ten slotte is de DV-score experimenteel gebruikt om veilige routes van vrachtauto-bestuurders te plannen. De veiligheidsniveaus van de gereden veilige routes en van de theoretisch snelste routes zijn onderling vergeleken (*Paragraaf 3.3*).

3.1. Relatie tussen berekende conflicten en geregistreerde ongevallen

In dit project is een belangrijke indicator voor verkeersveiligheid het conflict dat in het microsimulatiemodel is berekend (zie *Paragraaf 2.3* voor de definitie van het hier bedoelde 'berekende conflict'). Om daadwerkelijk iets te kunnen zeggen over de verkeersveiligheid, dient het aantal berekende conflicten gerelateerd te zijn aan het aantal geregistreerde ongevallen.

Bij de berekening van een conflict spelen de instellingen van het microsimulatiemodel een belangrijke rol. De mogelijkheid tot het ontstaan van conflicten in een microsimulatiemodel is afhankelijk van de vooraf ingestelde voertuigparameters, zoals maximale remvertraging, variaties in de rijsnelheid, beperkingen in manoeuvres, en acceptatie van *gaps* bij invoegen en kruisen. De variaties in de instellingen per voertuig gevoegd bij de *at random* toewijzing van voertuigen aan het verkeer, zorgen ervoor dat de ontmoeting van twee voertuigen geen vooraf vastgelegde onvermijdelijke gebeurtenis is. Naarmate voertuigen elkaar dichter naderen, en naarmate de mogelijkheden afnemen om een botsing te vermijden, neemt de ernst van een conflict toe. Door een grote mate van toeval ontstaan er in het model conflicten, variërend in ernst.

De veronderstelling is dat de conflicten op kruispunten zullen toenemen naarmate meer voertuigen elkaar kruisen. Dezelfde veronderstelling geldt voor het aantal ongevallen op kruispunten: hoe meer kruisende voertuigen, hoe meer ongevallen. Als deze beide veronderstellingen kloppen, dan ligt een relatie tussen ongevallen, conflicten en passerende motorvoertuigen in de rede.

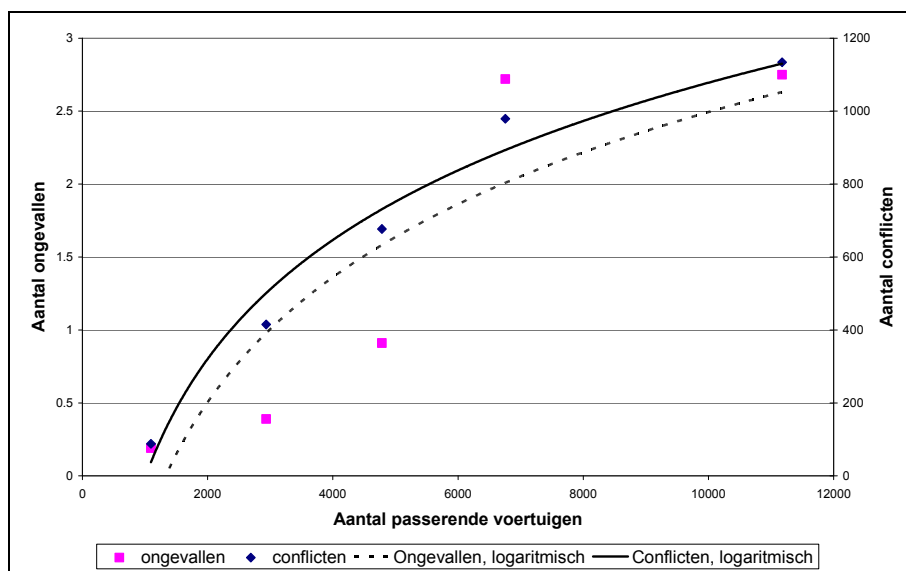
Dijkstra et al. (2010) hebben dit onderzocht. Hiertoe zijn conflicten berekend voor alle 569 kruispunten in het model voor het studiegebied Noordwijk, Katwijk, Leiden en Den Haag (NKLK); in totaal zijn 220.000 conflicten

voorgevallen. Tevens zijn ongevallen geselecteerd die in de periode 2002 tot en met 2007 daadwerkelijk in dit gebied zijn geregistreerd. Bij deze ongevallen dienden alleen motorvoertuigen te zijn betrokken. Deze ongevallen moeten hebben plaatsgevonden op werkdagen tussen 6.00 en 10.00 uur; die periode is gelijk aan die van het simulatiemodel. Na deze selectie resteren 372 ongevallen.

Om tot een goede schatting te komen van het aantal passerende motorvoertuigen per kruispunt, is in het simulatiemodel een gemiddelde waarde bepaald uit een serie runs. Deze runs hadden een gelijke invoer; alleen de zogeheten startwaarde was variabel. Die waarde bepaalt de vertrektijd van de voertuigen. Daardoor verschillen de runs wat betreft de vertrektijden en dientengevolge ook wat betreft de tijdstippen en locaties waarop voertuigen wegen passeren en waarop voertuigen elkaar tegenkomen. Het aantal passerende motorvoertuigen is een gemiddelde van tien runs. Tien runs zijn voldoende voor het bepalen van een gemiddelde waarde. Dat is gebleken uit een uitgebreidere test met 36 runs.

Afbeelding 3.1 laat zien dat de genoemde veronderstellingen lijken te kloppen: hoe meer kruisende voertuigen, hoe meer ongevallen en hoe meer conflicten. Daarmee lijkt een relatie tussen het aantal berekende conflicten en het aantal ongevallen te zijn aangetoond. Om meer zekerheid te krijgen over deze relatie, zijn statistische analyses uitgevoerd. Daartoe zijn kwantitatieve modellen geschat waarin de afhankelijke variabele gelijk is aan het aantal ongevallen en de onafhankelijke variabelen gelijk zijn aan het aantal passerende motorvoertuigen en het aantal conflicten.

Conflicten kunnen al plaatsvinden ruim voor het kruisingsvlak (vooral kop-staartconflicten). Of deze minder ernstige conflicten van belang zijn voor het resultaat, is in deze analyses verwerkt door de lengte van de kruispunttakken te variëren (25 of 50 meter, gerekend vanaf het kruispuntvlak). Het belang van deze kop-staartconflicten blijkt als deze lengte een significante rol in het uiteindelijke model zou spelen.



Afbeelding 3.1. Aantal ongevallen en aantal conflicten afgezet tegen het aantal passerende motorvoertuigen (Dijkstra et al., 2010).

Kwantitatieve modellen

Om een model te laten corresponderen met de werkelijkheid, is het van belang dat de aannames kloppen. Maar over die aannames valt te discussiëren. Daarom zijn er modellen geschat met verschillende aannames over:

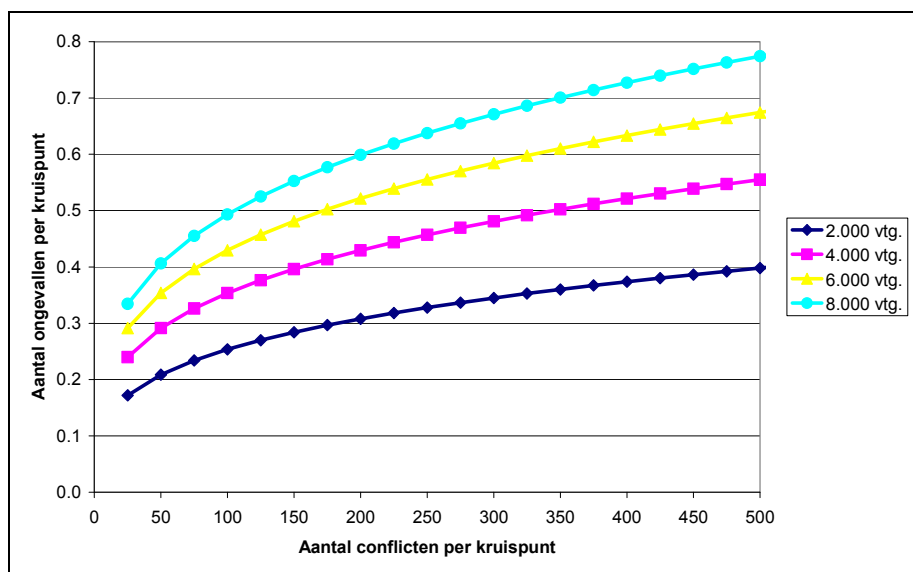
- de kritieke waarde van de TTC (1,5 of 2,0 of 2,5 seconde);
- de lengte van de kruispunttakken (25 of 50 meter);
- de statistische verdeling van de ongevallen (hier zijn gebruikt de Negatief Binomiale verdeling (NB) en de Poisson verdeling) (Marchesini, 2009).

Het resultaat van de analyses is het zogeheten log-lineaire model. Dit model brengt het beste tot uitdrukking dat er een niet-lineair verband is tussen verkeersintensiteiten en ongevallen:

$$\mu = e^{-6.31} \cdot flow^{0.48} \cdot noc^{0.28}$$

Hierin is μ het aantal ongevallen, $flow$ het aantal passerende motorvoertuigen en noc het aantal conflicten.

Het model geldt voor een kritieke waarde van 2,5 s. De lengte van de kruispunttakken is 50 m. De aanname is dat de ongevallen zijn verdeeld volgens de Negatief Binomiale verdeling. Van alle geteste log-lineaire modellen past het bovenstaande model (statistisch gezien) het beste bij de waarnemingen en berekende waarden (Dijkstra et al., 2010). Er is ook onderzocht of het aantal takken per kruispunt (drie of vier) relevant is voor deze log-lineaire modellen. Dat blijkt niet het geval. In *Afbeelding 3.2* zijn de resultaten weergegeven.



Afbeelding 3.2. Aantal verwachte ongevallen per kruispunt afgezet tegen het aantal berekende conflicten per kruispunt, afhankelijk van het aantal passerende voertuigen per kruispunt (Dijkstra et al., 2010).

Kruispunten met verkeerslichten

In de voorgaande analyse is nog geen aandacht geschonken aan de berekening van conflicten op kruispunten met verkeerslichten. In het simulatiemodel rijden voertuigen niet door het rode licht. Bij een

verkeerslichtenregeling kunnen sommige conflicterende richtingen tegelijk groen krijgen (links afslaande voertuigen die conflicteren met tegemoetkomende rechtdoor gaande of rechts afslaande voertuigen). In dat geval komen er wel conflicten voor. Er is bij dit kruispunttype dus bij voorbaat een verschil tussen conflicten en ongevallen, want er ontstaan wel ongevallen vanwege 'door rood rijden' en geen conflicten. In *Tabel 3.1* is de verdeling van de botstypen vermeld, gesplitst naar kruispunttype en aantal takken. Bij de kruispunten met verkeerslichten wijken de verdelingen van conflicten en ongevallen aanzienlijk af.

Type	Aantal takken	Frontaal		Kop-staart		Dwars	
		Conflict (%)	Ongeval (%)	Conflict (%)	Ongeval (%)	Conflict (%)	Ongeval (%)
Voorrang	3	34,2	35,7	28,4	25,0	37,2	39,3
	4	22,6	26,1	30,6	21,7	46,7	52,2
Verkeerslichten	3	20,8	14,8	60,8	44,4	18,4	40,7
	4	5,4	17,5	74,3	45,6	20,2	35,6

Tabel 3.1. *Procentuele verdeling van botstypen voor ongevallen en conflicten op verschillende kruispunttypen (Dijkstra et al., 2010).*

Een ander verschil ontstaat doordat de voertuigen die een kruispunt met verkeerslichten naderen (bij rood licht) volgens het simulatiemodel veel kop-staartconflicten genereren, naar verhouding meer dan er ongevallen voorkomen (zie kolom Kop-staart in *Tabel 3.1*). Deze discrepantie kan het gevolg zijn van de manier waarop het model de voertuigen een kruispunt laat naderen en/of van de geringe ernst van dit type conflict, waardoor er weinig relatie zal zijn met geregistreerde ongevallen.

In dit onderzoek is de relatie tussen berekende conflicten en ongevallen duidelijk aangetoond: het log-lineaire model drukt uit dat er een niet-lineair, kwantitatief verband is tussen verkeersintensiteiten en ongevallen. Alleen bij kruispunten met verkeerslichten is geen verband gevonden. Dijkstra et al. (2010) bevelen aan om aanvullende studie plaats te laten vinden naar de mogelijkheden om voor kruispunten met verkeerslichten het aantal conflicten en ongevallen beter op elkaar af te kunnen laten stemmen.

3.2. Relatie tussen DV-score en berekende conflicten

Ook de relatie tussen DV-score en berekende conflicten is onderzocht. De berekening van de DV-score gebeurt per gereden route en per herkomst-bestemmingspaar (HB-paar). Daartoe zijn eerst relevante routes en HB-paren geselecteerd. In het simulatiemodel worden drie soorten HB-paren onderscheiden:

- herkomst en bestemming liggen in het studiegebied;
- alleen de herkomst of de bestemming ligt in het studiegebied;
- herkomst en bestemming liggen buiten het studiegebied.

Van de eerste soort zijn er in de simulatieperiode van vier uur (zie *Paragraaf 3.1*) 11.659 aangetroffen. Om routes onderling te kunnen vergelijken binnen een HB-paar, zijn er ten minste twee routes per HB-paar nodig. Aan deze voorwaarde voldoen 6.581 HB-paren. Hier horen 25.181

gereden routes bij; dat is gemiddeld 3,83 routes per HB-paar. Het grootste aantal aangetroffen routes in een HB-paar bedraagt 34 routes. Er zijn 2.685 HB-paren met twee routes in het simulatiemodel.

Voor alle 25.181 routes zijn DV-scores berekend. Tevens is het aantal conflicten per route bepaald. Een conflict moet direct gerelateerd zijn aan een route, bijvoorbeeld doordat ten minste één conflictpartner langs (een deel van) de route rijdt. Dat is hier opgelost door alleen dwarsconflicten te selecteren. Bij frontale conflicten en kop-staartconflicten kunnen beide conflictpartners namelijk op de kruisende weg rijden en niet op de geselecteerde route.

De DV-score is berekend volgens de opzet in *Paragraaf 2.2*, dus met alle negen criteria even zwaar meegewogen. Daarnaast is de DV-score berekend met vele combinaties van weegfactoren. Deze combinaties zijn zo veel mogelijk systematisch samengesteld, opdat, na analyse, de optimale DV-score naar voren zou moeten komen.

Er is een serie hypothesen opgesteld om relaties tussen variabelen te kunnen toetsen. In deze hypothesen zijn uitspraken gedaan over de conflictindicatoren 'conflictdichtheid' en 'conflictrisico'. De belangrijkste hypothesen waren:

1. Hoe korter de reistijd langs een route, des te lager het aantal conflicten;
2. Hoe korter de reistijd langs een route, des te lager het aantal conflicten per kilometer (conflictdichtheid);
3. Hoe korter de reistijd langs een route, des te lager het aantal conflicten per motorvoertuigkilometer (conflictrisico);
4. Hoe hoger de DV-score van een route, des te lager het aantal conflicten;
5. Hoe hoger de DV-score van een route, des te lager het aantal conflicten per kilometer (conflictdichtheid);
6. Hoe hoger de DV-score van een route, des te lager het aantal conflicten per motorvoertuigkilometer (conflictrisico);

Een aanvullende hypothese is dat de vierde hypothese voor langere routes een beter resultaat geeft dan voor alle routes. Deze hypothese is gesteld omdat de lengte van de routes sterk varieert: van 62 meter (!) tot 23,9 kilometer.

De opzet van deze analyse bestaat uit een onderlinge vergelijking van telkens twee routes. Dit gebeurt voor een groot aantal 'routeparen'. Deze vergelijking toetst twee variabelen, bijvoorbeeld:

- Is de DV-score van de ene route groter of kleiner dan van de andere route?
- Is het aantal conflicten op de ene route groter of kleiner dan op de andere route?

Tevens is voor de routes binnen elk HB-paar nagegaan of de veronderstelde kwantitatieve relatie tussen twee variabelen aanwezig is wat betreft de 'richting' van die relatie. Als bijvoorbeeld de hypothese is dat een hogere DV-score gerelateerd is aan minder linksafbewegingen, dan zou de richting van de relatie negatief moeten zijn (want toename van de ene variabele gaat gepaard met afname van de andere).

Dijkstra & Marchesini (2010) noemen de voor- en nadelen van deze aanpak. Zij bevelen aan om in een vervolgstudie een geavanceerdere toets te selecteren (of te ontwikkelen) en toe te passen.

Resultaten van toetsing hypothesen

De uitkomsten van de toetsen zijn dat:

- naarmate de reistijd korter is, er minder conflicten zijn langs een route;
- een hogere DV-score gepaard gaat met minder conflicten (*Afbeelding 3.3*), met een lagere conflictdichtheid en met een lager conflictrisico;
- ook voor alleen langere routes een hogere DV-score gepaard gaat met minder conflicten.

De hypothesen 2 en 3 worden niet bevestigd.

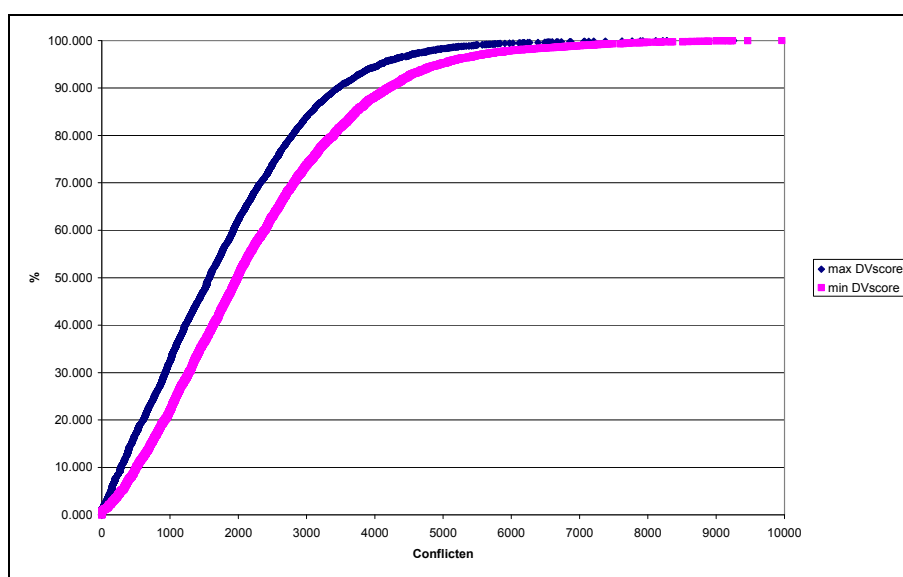
De resultaten zijn afhankelijk van het gegeven netwerk in het studiegebied.

Door het netwerk aan te passen, kunnen de resultaten veranderen.

Weging van criteria in DV-score

Er zijn alternatieve DV-scores berekend met steeds een andere weging van de criteria waaruit de DV-score is opgebouwd. De analyse van de verschillende DV-scores leidt tot twee varianten (hier wghDV en DV9 genoemd, zie ook *Tabel 3.2*) die een sterke relatie hebben met een conflictindicator:

- DV-score en wghDV-score hebben een sterke relatie met het aantal conflicten en met de conflictdichtheid;
- wghDV-score en DV9-score hebben een sterke relatie met het conflictrisico.



Afbeelding 3.3. Verdeling van de aantallen conflicten voor routes met een maximale DV-score en met een minimale DV-score binnen een HB-paar, voor 6.581 HB-paren.

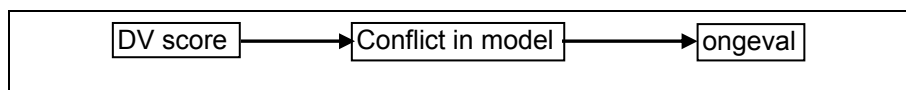
Criterion	Toelichting	DV score	wghDV score	DV9 score
1	Overgangen wegcategorieën beperkt	0,11	0,11	0
2	Aard van de overgang klopt	0,11	0,11	0
3	Zo min mogelijk ontbrekende wegcategorieën	0,11	0,11	0
4	Aandeel in lengte van erftoegangswegen zo laag mogelijk	0,11	0,05	0
5	Aandeel in lengte van gebiedsontsluitingswegen zo laag mogelijk	0,11	0,12	0
6	Afgelegde afstand	0,11	0	0
7	Reistijd	0,11	0,1	0
8	Zo min mogelijk links afslaan	0,11	0,2	0
9	Geringe kruispunt dichtheid tussen kruispunten van gebiedsontsluitingswegen onderling	0,11	0,2	1
	SOM	1	1	1

Tabel 3.2. *Wegingsfactoren voor de DV-score en voor twee varianten ervan (Dijkstra, te verschijnen).*

Dat de DV9-score zo goed uit de bus komt, lijkt opmerkelijk. Deze score bestaat tenslotte alleen uit het criterium 'kruispunt dichtheid'. De conflicten op de routes bestaan echter vrijwel uitsluitend uit kruispuntconflicten, waardoor de kruispunt dichtheid een erg belangrijke factor is. Daardoor geeft juist de DV9-score een goed resultaat (Dijkstra, te verschijnen).

3.3. Relaties tussen DV-score, berekende conflicten en ongevallen

Drie veiligheidsindicatoren zijn in dit rapport aan bod gekomen: de DV-score, berekende conflicten in een simulatiemodel en geregistreerde ongevallen. In *Paragraaf 3.1* is een directe relatie gelegd tussen de conflicten in een simulatiemodel en de geregistreerde ongevallen. In *Paragraaf 3.2* is de relatie geanalyseerd tussen de DV-score en de conflicten. *Afbeelding 3.4* laat zien dat de veronderstelling is dat de DV-score, via de conflicten in een simulatiemodel, is gerelateerd aan de geregistreerde ongevallen. Het gevonden kwantitatieve model in *Paragraaf 3.1* toont dat de conflicten in een simulatiemodel zijn gerelateerd aan de geregistreerde ongevallen. Als er volgens het model meer conflicten op een kruispunt plaatsvinden, dan betekent dit dat er meer ongevallen zullen gaan voorkomen. De resultaten van *Paragraaf 3.2* maken duidelijk dat de DV-score is gerelateerd aan het aantal conflicten. Een hogere DV-score (en dus een betere overeenstemming met de eisen van Duurzaam Veilig) op (de kruispunten van) een route komt overeen met minder conflicten. Deze beide relaties houden in dat de DV-score indirect is gerelateerd aan het aantal geregistreerde ongevallen. Een hogere DV-score houdt dus een lager aantal ongevallen in (Dijkstra & Marchesini, 2010).



Afbeelding 3.4. Relaties tussen DV score, conflicten in een model en geregistreeerde ongevallen

3.4. Gekozen veilige routes via een navigatiesysteem

Als onderdeel van het project *Intelligent Vehicles* (Feenstra et al., 2009) is een praktijkproef uitgevoerd waarbij vrachtautochauffeurs konden kiezen tussen de veiligste en de snelste route. Bij dit onderzoek is gebruikgemaakt van zowel de DV-score als de ongevallenrisicocijfers per wegcategorie. De vraag was of er een relatie bestaat tussen deze twee getallen.

De vrachtwagenchauffeurs konden via hun navigatiesysteem een route kiezen. Voor de berekening van de veiligste route is de DV-score gebruikt. Bij de planning van elke nieuwe route zijn steeds de tien snelste routes berekend, vervolgens is de DV-score van elke route berekend en daaruit de veiligste route geselecteerd. Het is mogelijk dat daardoor veiliger routes (die niet tot de tien snelste routes behoorden) buiten beeld zijn gebleven. Dertig chauffeurs hebben aan deze proef deelgenomen, gedurende negen weken. De gegevens van de gemaakte ritten zijn geanalyseerd door Feenstra et al. (2009). Het aantal geanalyseerde routes bedraagt 1.221. Bij 78% van de routes valt de snelste route samen met de veiligste route. Dat sluit goed aan bij het doel van Duurzaam Veilig. De veiligste routes zijn iets langer dan de snelste routes (statistisch significant met $p < 0,0001$). De veiligste routes hebben een grotere afgelegde afstand op stroomwegen en erftoegangswegen. De afgelegde afstand op erftoegangswegen zou volgens de DV-criteria zo kort mogelijk moeten zijn. Blijkbaar is dit criterium door de andere acht criteria iets tekortgedaan.

De veiligheid van de routes is vervolgens berekend met risicocijfers (zie *Tabel 3.3*). Gegeven deze cijfers zijn de snelste routes iets minder veilig dan de veiligste routes; dit verschil is statistisch significant met $p < 0,0001$. Het onderzoek heeft duidelijk gemaakt dat er inderdaad een relatie bestaat tussen de veilige routes volgens de DV-score en de veiligheid zoals die is berekend met een risicocijfer.

Wegcategorie	Risico (slachtoffers per miljoen afgelegde kilometer)
Stroomweg	0,07
Gebiedsontsluitingsweg	0,54
Erftoegangsweg	0,57

Tabel 3.3. Risicocijfers per wegcategorie (Feenstra et al., 2009).

4. Toepassing van de methoden en indicatoren

Dit hoofdstuk bespreekt de resultaten van de toepassing van de gehanteerde onderzoeksmethoden en veiligheidsindicatoren. Het studiegebied Noordwijk, Katwijk, Leiden en Den Haag (NKLG) is niet alleen gebruikt bij de vragenlijst over routekeuze (*Paragraaf 2.4*), maar ook voor de toepassing van het microsimulatiemodel. Het doel hierbij was om de sterkte van de relatie te vinden tussen de berekende conflicten en de ongevallen (*Paragraaf 3.1*) en tussen de berekende conflicten en de DV-score (*Paragraaf 3.2*). Daarnaast is het studiegebied gebruikt om de wegenstructuur te onderzoeken met de kernenmethode (*Paragraaf 2.1*); *Paragraaf 4.1* gaat hier op in. Het studiegebied is verder gebruikt om enkele veiligheidsindicatoren toe te passen op routes tussen Katwijk en Den Haag en tussen Leiden en Den Haag (*Paragraaf 4.2*). De gegeven resultaten in de *Paragrafen 4.1 en 4.2* zijn afkomstig van Dijkstra (2010b). Ten slotte is een vereenvoudigd model van het studiegebied gebruikt om verschillende theoretische netwerkstructuren onderling te vergelijken wat betreft de berekende conflicten (*Paragraaf 4.3*).

4.1. Toepassing van de kernenmethode

De structuur van het wegennet in het NKLG-gebied is onderzocht met behulp van de aangepaste kernenmethode (Dijkstra, 2010b, zie *Paragraaf 2.1*). Uit de toepassing van de aangepaste kernenmethode volgen gewenste verbindingen tussen de kernen en een wegcategorisering van deze verbindingen. Om het effect van de omvang van een regio na te gaan, zijn er twee varianten onderzocht. In de ene variant bestaat het studiegebied uit één regio, in de andere variant uit twee regio's. Deze twee varianten maken duidelijk dat het aantal verbindingen en de gemiddelde lengte ervan alleen beperkt kunnen blijven in een relatief kleine regio. Voor het studiegebied leidt deze gevolgtrekking tot twee regio's: Den Haag en omstreken en Leiden en omstreken.

Vervolgens is voor beide varianten de wegcategorisering van de bestaande verbindingen in het NKLG-gebied vergeleken met de gewenste wegcategorisering. In het studiegebied blijken veel verbindingen tussen kernen te verlopen via wegen die een veel hogere verkeersfunctie hebben dan volgens de kernenmethode voor deze verbindingen gewenst zou zijn. Schermers et al. (2008) en Weijermars (2008) hebben dit eveneens vastgesteld voor andere (ook buitenlandse) regio's. Deze bevinding geeft duidelijk aan hoe het Nederlandse wegennet is samengesteld, namelijk zo veel mogelijk geënt op een hoofdwegenstructuur met autosnelwegen die zo veel mogelijk verplaatsingen faciliteren, ongeacht de afstand tussen herkomst en bestemming. In een robuust wegennet, dat wil zeggen een wegennet dat qua doorstroming minder kwetsbaar is bij incidenten, zouden de autosnelwegen vooral bestemd moeten zijn voor langeafstandsverplaatsingen en het onderliggende hoofdwegennet voor de regionale verplaatsingen.

4.2. Toepassing van enkele veiligheidsindicatoren op routes

Er zijn twee herkomst-bestemmingsrelaties (HB-relaties) in het studiegebied nader bekeken: tussen Leiden-Zuid en Leidschendam en tussen Katwijk en Leidschendam. In de eerstgenoemde relatie zijn er vier routes beschikbaar, in de tweede relatie drie routes. De routes (binnen dezelfde HB-relatie) zijn onderling vergeleken via de bepaling van de DV-scores. Uit deze vergelijking blijkt dat de snelste route niet altijd het best scoort op de DV-score. Ook de meest gekozen route scoort niet altijd het best (Dijkstra, 2010b).

Gewogen criteria

De gewichten van de criteria in de routescore (*Tabel 2.1*) zijn in eerste instantie alle even groot. In een tweede analyse zijn er (fictieve) gewichten toegekend, die onderling verschillen. Ook met die DV-scores zijn de routes vergeleken. De DV-scores veranderen enigszins door de toepassing van gewichten. De veranderingen zijn betrekkelijk gering en beïnvloeden de onderlinge verschillen tussen de routes nauwelijks.

HB-relatie

Tevens zijn de DV-scores voor de HB-relaties berekend. Een DV-score voor een HB-relatie is hoger naarmate de routes met een hogere DV-score daadwerkelijk worden gebruikt. De DV-scores voor een HB-relatie zijn berekend met en zonder aangepaste gewichten. De invloed van de gewichten is ook in dit geval gering.

De reistijd per route is gerelateerd aan het feitelijke gebruik van een route. Onder 'feitelijk gebruik' verstaan we hier niet het aantal voertuigen dat is gemeten 'langs de weg', maar het aantal verplaatsingen per route dat volgt uit de opgave van de ondervraagden in het vragenlijstonderzoek van Goldenbeld et al. (2006). De verdeling van het verkeer over de routes (binnen een HB-relatie) wordt maar zeer gedeeltelijk verklaard door de gemiddelde reistijd.

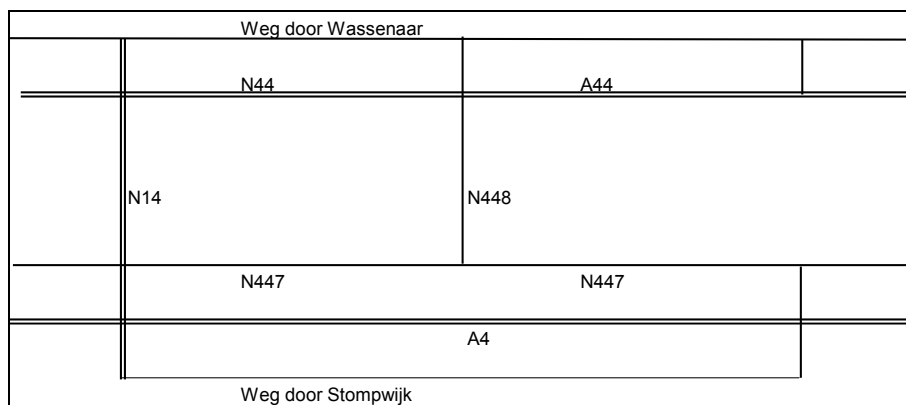
Een (fictieve) herverdeling van het verkeer beïnvloedt de veiligheidsscores merkbaar.

Aanvullende criteria

De gebruikte veiligheidscriteria voor routes drukken de veiligheid uit van de automobilisten die de routes in zijn geheel volgen, dat wil zeggen deze route als HB-relatie hebben. De veiligheid van de overige gebruikers van de routes, zowel automobilisten die een route gedeeltelijk volgen als niet-automobilisten die van de route gebruikmaken, komt niet geheel in deze criteria tot uitdrukking. Er zijn aanvullende criteria nodig om de veiligheid van vooral het niet-gemotoriseerde verkeer op een route te garanderen.

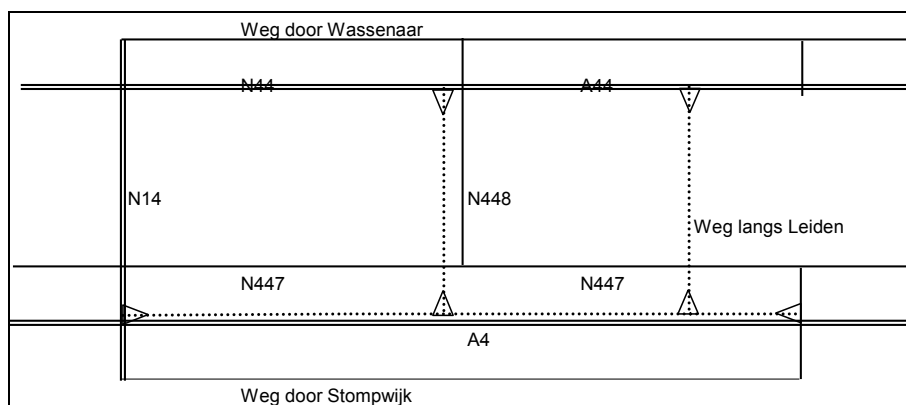
4.3. Toepassing van enkele indicatoren op wegenstructuren

Het effect van een wegenstructuur op de verkeersveiligheid blijkt moeilijk om vast te stellen (Dijkstra & Drolenga, 2006). Via microsimulatie is het mogelijk om de veiligheid van wegenstructuren te evalueren via de eerder besproken veiligheidsindicatoren. Met het pakket *S-Paramics* is een regionale wegenstructuur gebouwd die qua opbouw lijkt op het studiegebied, namelijk met vijf parallelle verbindingen met twee dwarsverbindingen (zie *Afbeelding 4.1*).



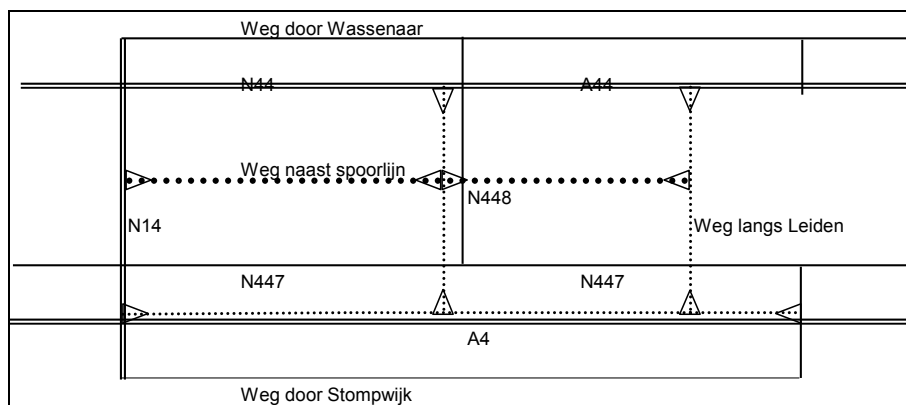
Afbeelding 4.1. *Basisvariant*

Vervolgens is een variant gebouwd waarin twee extra dwarsverbindingen zijn toegevoegd. Hierdoor kan het verkeer zich beter verdelen over de verbindingen (*Afbeelding 4.2*).



Afbeelding 4.2. *Variant 1 met dwarsverbindingen en parallelweg A4.*

Een tweede variant (*Afbeelding 4.3*) heeft, naast de twee extra dwarsverbindingen van de vorige variant, ook een extra parallelle verbinding (geplaatst naast het tracé van de bestaande spoorlijn). Deze verbinding ontlast de N44.



Afbeelding 4.3. *Variant 2 met dwarsverbindingen, parallelweg A4 en weg langs spoorlijn.*

Conflicttypen

Elke structuur is tienmaal gesimuleerd gedurende een periode van twee uur. Daaruit zijn gemiddelde waarden berekend voor voertuigintensiteiten en conflicten. Deze waarden zijn voor elk wegvak en kruispunt berekend. Voor de kruispunten zijn de conflicten uitgesplitst in de conflicttypen kop-staart, dwars, frontaal en convergerend. *Tabel 4.1* laat zien hoe in de eerste en tweede variant de aantallen conflicten per conflicttype zijn veranderd ten opzichte van de basisvariant. De ernstiger conflicten, frontaal en dwars, zijn ook gesommeerd. Deze ernstiger conflicten zijn gezamenlijk in de tweede variant 10% minder aanwezig dan in de beide andere varianten. Overigens is het totale aantal kruispuntpassages in de tweede variant 4% lager dan in de basisvariant.

Wegenstructuur	Kop-staart	Dwars	Frontaal	Convergerend	Totaal	Dwars en frontaal	Kruispuntpassages
Basisvariant	100	100	100	100	100	100	100
Variant 1	85	112	88	100	97	99	98
Variant 2	77	99	82	103	89	90	96

Tabel 4.1. *Verdeling van conflicten over conflicttypen (basisvariant = 100), per variant.*

Conflicttrisico

Voor alle kruispunten is het aantal conflicten per aantal passerende motorvoertuigen (conflictrisico) berekend. De conflictrisico's zijn uitgesplitst naar conflicttype. Vervolgens zijn de veranderingen van de conflictrisico's ten opzichte van de basisvariant bepaald (*Tabel 4.2*).

Wegenstructuur	Kop-staart	Dwars	Frontaal	Convergerend	Totaal
Basisvariant	100	100	100	100	100
Variant 1	87	114	90	102	99
Variant 2	80	103	85	107	93

Tabel 4.2. *Conflicttrisico per conflicttype, per variant.*

Het totale conflictrisico van de tweede variant is lager dan van de eerste variant en van de basisvariant (-7%). Deze afname is vooral bereikt door de afname van de frontale conflicten (-15% ten opzichte van de basisvariant) en de kop-staartconflicten (-20%).

Het conflictrisico van de laterale conflicten in de eerste variant is aanzienlijk hoger dan in de basisvariant (+14%); de frontale conflicten zijn 10% afgenomen.

Conclusies

Deze simulaties laten zien dat de verschillen tussen de structuren relatief gering zijn wat betreft het aantal conflicten. De tweede variant verdeelt het verkeer evenwichtiger dan de andere varianten. De tweede variant heeft minder conflicten en een lager aantal conflicten per motorvoertuigkilometer. De weglengte van de tweede variant is aanzienlijk groter.

Deze werkwijze levert een groot aantal conflicten per kruispunt op, veel meer dan bij een ongevalanalyse. Daardoor zullen kwantitatieve analyses tot 'hardere' resultaten leiden dan ongevalanalyses.

5. Conclusies en aanbevelingen

Dit rapport geeft een samenvatting van de resultaten van twee aaneensluitende meerjarige projecten. Het resultaat van deze projecten bestaat uit nieuwe methoden en uit toepassingen ervan. De publicaties waarin de resultaten zijn besproken, zijn opgesomd in de *Bijlage*. De resultaten maken het mogelijk om vooraf de veiligheidseffecten te schatten van aanpassingen die ingrijpen op het samenspel van wegenstructuur, verkeerscirculatie en routekeuze.

5.1. Conclusies

5.1.1. *Methoden en veiligheidsindicatoren*

Kernenmethode

Voor het doelmatig en veilig functioneren van het wegennet heeft Duurzaam Veilig een serie eisen geformuleerd. Om te toetsen of een wegennet hieraan voldoet, is de zogeheten kernenmethode ontwikkeld. De kernenmethode maakt in de eerste plaats duidelijk of de verbindingen die voor de structuur van belang zijn, ook in werkelijkheid aanwezig zijn. Als dat het geval is, wordt in een volgende stap getoetst of deze verbindingen de gewenste verkeersfunctie daadwerkelijk vervullen. De uiteindelijke categorisering van een verbinding is afhankelijk van het relatieve belang van die verbinding in het wegennet. Bij de categorisering komen de verkeersveiligheidsaspecten nadrukkelijk aan bod.

DV-score, conflictindicatoren en ongevalindicatoren

Om de veiligheidsaspecten van veranderingen in routekeuze te bestuderen, zijn verschillende veiligheidsindicatoren gehanteerd: de routescore volgens Duurzaam Veilig (DV-score), conflictindicatoren en ongevalindicatoren. Deze indicatoren zijn gericht op een karakteristiek aspect van de veiligheid op een route (aaneengesloten serie wegvakken en kruispunten). De DV-score beschrijft de algemene kenmerken van een route als geheel. Met het berekend conflict is de ernst van de onderlinge conflicten van voertuigen op en nabij kruispunten te onderzoeken. Ten slotte geeft het aantal geregistreerde ongevallen informatie over de daadwerkelijke verkeerssituatie.

Veiligheid als motief voor routekeuze

Automobilisten noemen in dit onderzoek de motieven 'snelste route' en 'kortste route' verreweg het meest als eerste reden voor routekeuze. De reden 'bekendheid met route' komt in dit onderzoek op de derde plaats. De reden 'veiligheid' speelt vrijwel geen rol. De bevinding dat 'snel' en 'kort' eruit springen als de twee voornaamste motieven bij routekeuze, bevestigt resultaten uit ander onderzoek. In dit project is deze bevinding als een van de uitgangspunten gehanteerd. De eis van Duurzaam Veilig dat de snelste en de veiligste route met elkaar moeten samenvallen, is hierop gebaseerd.

5.1.2. *Relevantie voor verkeersveiligheidsbeleid en -onderzoek*

Relaties tussen DV-score, conflictindicatoren en ongevalindicatoren

Er is een directe samenhang gevonden tussen berekende conflicten en ongevallen en tussen berekende conflicten en DV-score. Het aantal berekende conflicten is kwantitatief gerelateerd aan het aantal ongevallen, en het aantal conflicten is kwantitatief gerelateerd aan de routescore. Deze aangetoonde relaties houden in dat er indirect (via het aantal conflicten) een relatie bestaat tussen de DV-score en het aantal ongevallen. De DV-score is dus relevant voor verkeersveiligheidsonderzoek.

DV-score en conflicten

Een hogere DV-score gaat gepaard met minder conflicten, met een lagere conflictdichtheid en met een lager conflictrisico. Ook voor alleen langere routes gaat een hogere routescore gepaard met minder conflicten.

Gewogen DV-score

De DV-scores veranderen enigszins door de toepassing van gewichten per criterium. Deze veranderingen zijn betrekkelijk gering en beïnvloeden de onderlinge verschillen tussen de routes nauwelijks. Het aanbrengen van gewichten om een relatie leggen met conflictindicatoren is blijkbaar niet nodig.

DV-score en reistijd

In een studiegebied zijn routes (binnen dezelfde herkomst-bestemmingsrelatie) onderling met elkaar vergeleken op basis van de DV-scores. Uit deze vergelijking blijkt dat de snelste route niet altijd het best scoort op de DV-score. Ook de meest gekozen route scoort niet altijd het best.

De verdeling van het verkeer over de routes (binnen een herkomst-bestemmingsrelatie) wordt maar zeer gedeeltelijk verklaard door de gemiddelde reistijd. Naarmate de reistijd korter is, zijn er minder conflicten langs een route.

Deze resultaten zijn overigens afhankelijk van het gegeven netwerk in het studiegebied. Door het netwerk aan te passen kunnen de resultaten veranderen.

Navigatiesystemen en veiligste route

Er is een proef uitgevoerd met een navigatiesysteem voor vrachtauto's waarbij een snelste en een veiligste route werden berekend. De vrachtautochauffeurs konden kiezen tussen de veiligste en de snelste route. Bij 78% van de gereden routes valt de snelste route samen met de veiligste route. Dat sluit goed aan bij het doel van Duurzaam Veilig. De veiligste routes zijn iets langer dan de snelste routes. De veiligste routes hebben een grotere afgelegde afstand op stroomwegen en erftoegangswegen. De afgelegde afstand op erftoegangswegen zou volgens de criteria van Duurzaam Veilig zo kort mogelijk moeten zijn. Blijkbaar is dit criterium in deze proef iets tekortgedaan door de andere acht criteria.

De veiligheid van de gereden routes is achteraf ook berekend met risicocijfers. Daaruit blijkt dat de snelste routes (significant) iets minder veilig zijn dan de veiligste routes.

5.1.3. Toepassingen

Verkeersstructuur en berekende conflicten

De simulaties met verschillende wegenstructuren laten zien dat de verschillen tussen de structuren relatief gering zijn wat betreft het aantal conflicten. De variant met een aantal extra verbindingen verdeelt het verkeer evenwichtiger dan de andere varianten. Deze variant heeft minder berekende conflicten en een lager conflictrisico; de weglengte ervan is aanzienlijk groter.

Deze werkwijze levert een groot aantal conflicten per kruispunt op, veel meer dan bij een ongevalanalyse. Daardoor zullen kwantitatieve analyses tot 'hardere' resultaten leiden (statistisch gezien) dan ongevalanalyses.

Kernenmethode toegepast

Uit de toepassing van de kernenmethode op een studiegebied blijken veel verbindingen tussen kernen te verlopen via wegen die een hogere verkeersfunctie hebben dan volgens deze methode voor deze verbindingen gewenst zou zijn. Dit is (door anderen) eveneens vastgesteld voor andere (ook buitenlandse) regio's. Deze bevinding geeft duidelijk aan hoe het Nederlandse wegennet is samengesteld, namelijk zo veel mogelijk geënt op een hoofdwegenstructuur met autosnelwegen die zo veel mogelijk verplaatsingen faciliteren, ongeacht de afstand tussen herkomst en bestemming.

5.2. Aanbevelingen

Voor praktijkdoeleinden

- Uit dit onderzoek blijkt dat in bestaande situaties de veiligste route lang niet altijd samenvalt met de snelste route. Omdat automobilisten vooral kiezen voor de snelste route, wordt aanbevolen beleid te ontwikkelen om ervoor te zorgen dat de snelste route ook de veiligste route is.
- Op grond van de bevindingen in de uitgevoerde studies wordt aanbevolen het gebruik te stimuleren van microsimulatiemodellen die geschikt zijn om conflicten te berekenen. Daartoe dienen modules te worden geprogrammeerd die de output van elk type microsimulatiemodel kunnen bewerken.
- De veiligheidscriteria voor routekeuze zijn geschikt om in te bouwen in software voor navigatiesystemen. Het verdient aanbeveling een proef uit te voeren met een groter aantal voertuigen dan in de gerapporteerde kleinschalige proef met vrachtauto's.
- Het verdient aanbeveling de aangepaste kernenmethode in de praktijk toe te laten passen op andere gebieden dan het studiegebied. Hieruit moet blijken of de toepassingen tot grote onderlinge verschillen in uitkomsten leiden. Ook zal dan meer duidelijkheid kunnen ontstaan over de generaliseerbaarheid en de praktische toepasbaarheid.
- In een robuust wegennet, dat wil zeggen een wegennet dat qua doorstroming minder kwetsbaar is bij incidenten, zouden de autosnelwegen vooral bestemd moeten zijn voor langeafstandsverplaatsingen en het onderliggende hoofdwegennet voor regionale verplaatsingen. Deze ontvlechting bevordert de doorstroming en is ook verkeersveilig.

Voor onderzoeksdoeleinden

- Het zou duidelijker moeten worden hoe microsimulatiemodellen op kruispuntvlakken de posities van voertuigen bepalen. Ook de mogelijkheden tot detaillering van de positie zouden duidelijker moeten worden.
- Er dient een aanvullende studie plaats te vinden naar de mogelijkheden om voor kruispunten met verkeerslichten het aantal berekende conflicten en de geregistreerde ongevallen beter op elkaar af te laten stemmen. Hierbij zijn conflicten als gevolg van rijden door rood en kop-staart-conflicten relevant.
- Het huidige microsimulatiemodel simuleert niet alle soorten conflicten. In het bijzonder flankconflicten met fietsers en het van de weg afraken van motorvoertuigen worden niet bij de simulatie betrokken. Er dient een werkwijze te worden gekozen die het mogelijk maakt de bijdrage van deze conflicten aan de totale onveiligheid direct te berekenen (zoals bij de andere conflicten is gedaan) of indirect te schatten (via aanvullende indicatoren).
- In deze studies is niet ingegaan op de relatie tussen werkelijke conflicten 'op straat' en de gemodelleerde conflicten. Om de gemodelleerde conflicten te berekenen zijn diverse aannames gedaan over deze relatie. Om deze aannames beter te onderdouwen, zijn waarnemingen gewenst van conflicten op straat.

Literatuur

Bolt, D. (1983). *Urban form and energy for transportation*. A study for Projectbureau IVVS. Planologisch Studiecentrum TNO, Delft.

CROW (1997). *Handboek Categorisering wegen op duurzaam veilige basis; Deel I. (Voorlopige) Functionele en operationele eisen*. Publicatie 116. Stichting Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek CROW, Ede.

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. (2007). *Zoeken naar veilige en vlotte routes*. In: Verkeerskundige Werkdagen 2007, 13 en 14 juni 2007. Hilversum.

Dijkstra, A. (2010a). *Welke aanknopingspunten bieden netwerkopbouw en wegcategorysering om de verkeersveiligheid te vergroten? Eisen aan een duurzaam veilig wegennet*. R-2010-3. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Dijkstra, A. (2010b). *Analyse van regionale verbindingen en routes*. D-2010-4. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Dijkstra, A. (te verschijnen). *How road structure and traffic circulation can affect road safety*. Proefschrift. Universiteit Twente. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Dijkstra, A., Bald, S. & Gaitanidou, E. (eds.). (2008). *Overview of resulting tools, guidelines, and instruments*. Research in the framework of the European Research project In-Safety. Deliverable D3.4 to the European Commission.

Dijkstra, A. & Drolenga, J. (2006). *Verkeersveiligheidsevaluaties van routekeuze; bouwstenen voor een methode gebaseerd op het gebruik van microsимулатiemodellen*. R-2006-19. SWOV, Leidschendam.

Dijkstra, A. & Drolenga, J. (2008). *Safety effects of route choice in a road network: simulation of changing route choice; Research in the framework of the European Research project In-Safety*. R-2008-10. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Dijkstra, A., Drolenga, J. & Maarseveen, M. van (2007). *Method for assessing safety of routes in a road network*. In: Transportation Research Record. Volume 2019, p. 82-90. Transportation Research Board, Washington D.C.

Dijkstra, A., Drolenga, J. & Morsink, P. (2006) *How to choose routes which are both fastest and safest?* In: Proceedings of the 11th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems. 29-31 August 2006, Delft.

Dijkstra, A. & Marchesini, P. (2010). *Safety assessment of routes in a regional network*. In: Proceedings of the European Transport Conference 2010, 11-13 October, Glasgow.

Dijkstra, A., Marchesini, P., Bijleveld, F., Kars, V., Drolenga, H. & Maarseveen, M. van (2010). *Are calculated conflicts in a microsimulation model predicting the number of crashes?* In: Transportation Research Record, vol. 2147, p. 105-112. Transportation Research Board, Washington D.C.

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

Drolenga, J. (2006b). *Vergelijking van geregistreerde ongevallen en verkeersveiligheidsindicatoren van kruispunten in een stedelijk netwerk*. [Intern rapport].

Drolenga, J., Wismans, L., Dijkstra, A. & Morsink, P. (2008). *Evaluatie van maatregelen met microsimulatiemodellen; Toepassingmogelijkheden bij verkeersveiligheidsonderzoek*. In: Nationaal Verkeersveiligheidscongres NVVC 2008. Rotterdam, 24 april 2008. Gepubliceerd op www.nvvc-congres.nl.

Feenstra, P.J., Klunder, G.A., Faber, F., Horst, A.R.A. van der, Muizelaar, T.J., Bie, J., Paau, S., Walta, L. & Dijkstra, A. (2009). *Study on a safest route functionality with financial incentive for professional drivers. Professional pilot Transumo IV*. TNO-rapport DV-2009-C653. TNO, Soesterberg.

FGSV (1988). *Richtlinien für die Anlage von Straßen RAS. Teil: Leitfaden für die funktionelle Gliederung des Straßennetzes RAS-N*. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV, Köln.

FGSV (2008). *Richtlinien für integrierte Netzgestaltung RIN*. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV, Köln.

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

Immers, L.H., Wilmink, 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.

Minnen, J. van (1999). *Geschikte grootte van verblijfsgebieden; Een theoretische studie met toetsing aan praktijkervaringen*. R-99-25. 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 & 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.

Mollu, K., Bérénos, M. & Dijkstra, A. (2008a). *Vergelijking van drie verkeersveiligheidsindicatoren: ongevallen, conflictobservaties en microsimulatie*. In: Bijdragen aan Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk, 20/21 november 2008, Santpoort.

Mollu, K., Bérénos, M. & Dijkstra, A. (2008b). *Verkeersveiligheid meten; Ongevallen, conflictobservatie en microsimulatie: wie van de drie?* In: Verkeerskunde, vol. 59, nr. 10, p. 40-45.

Morsink, P., Dijkstra, A. & Wismans, L. (2004). *Preliminary Route Choice Analysis for a Sustainably-safe Traffic and Transport System*. Conference Proceedings European Transport Conference 2004, 4-6 October, Strasbourg.

Schermers, G., Drolenga, J. & Tromp, H.L. (2008). *Verkeersveiligheid in regionale netwerkanalyses*. R-2007-12. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Weijermars, W.A.M. (red.) (2008). *Safety Performance Indicators for roads. Pilots in The Netherlands, Greece, Israel and Portugal*. Deliverable D3.10c of the EU FP6 project Safetynet. European Commission, Brussels.

Weijermars, W. & Dijkstra, A. (2008). *Verkeersveiligheid van routes en van routekeuze; Indicatoren om de veiligheid van routes te beschrijven*. In: Bijdragen aan Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk, 20/21 november 2008, Santpoort.

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

Overzicht van de gepubliceerde resultaten van beide projecten

Dijkstra, A. (2007). *Zoeken naar veilige en vlotte routes*. I: Verkeerskundige Werkdagen 2007. 13 en 14 juni, Hilversum.

Dijkstra, A. (2010a). *Welke aanknopingspunten bieden netwerkopbouw en wegcategorysering om de verkeersveiligheid te vergroten? Eisen aan een duurzaam-veilig wegennet*. R-2010-3. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Dijkstra, A. (2010b). *Analyse van regionale verbindingen en routes*. D-2010-4. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Dijkstra, A. (te verschijnen). *How road structure and traffic circulation can affect road safety*. Proefschrift. Universiteit Twente. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

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

Dijkstra, A., Drolenga, J. & Morsink, P. (2006) *How to choose routes which are both fastest and safest?* In: Proceedings of the 11th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems. 29-31 August 2006, Delft.

Dijkstra, A., Drolenga, J. & Maarseveen, M. van (2007). *Method for assessing safety of routes in a road network*. Transportation Research Record. Volume 2019, p. 82-90. TRB, Washington DC.

Dijkstra, A. & Drolenga, J. (2008). *Safety effects of route choice in a road network: simulation of changing route choice; Research in the framework of the European Research project In-Safety*. R-2008-10. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Dijkstra, A., Bald, S. & Gaitanidou, E. (eds.). (2008). *Overview of resulting tools, guidelines, and instruments*. Research in the framework of the European Research project In-Safety. Deliverable D3.4 to the European Commission.

Dijkstra, A. & Marchesini, P. (2010). *Safety assessment of routes in a regional network*. In: Proceedings of the European Transport Conference 2010, 11-13 October, Glasgow.

Dijkstra, A., Marchesini, P., Bijleveld, F., Kars, V., Drolenga, H. & Maarseveen, M. van (2010). *Are calculated conflicts in a microsimulation model predicting the number of crashes?* In: Transportation Research Record, vol. 2147, p. 105-112. Transportation Research Board, Washington D.C.

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

Drolenga, J. (2006b). *Vergelijking van geregistreerde ongevallen en verkeersveiligheidsindicatoren van kruispunten in een stedelijk netwerk*. [Intern rapport]

Drolenga, J., Wismans, L., Dijkstra, A. & Morsink, P. (2008). *Evaluatie van maatregelen met microsimulatiemodellen; Toepassingmogelijkheden bij verkeersveiligheidsonderzoek*. In: Nationaal Verkeersveiligheidscongres NVVC 2008. Rotterdam, 24 april 2008. Gepubliceerd op www.nvvc-congres.nl.

Feenstra, P.J. , Klunder, G.A., Faber, F., Horst, A.R.A. van der, Muizelaar, T.J., Bie, J., Paau, S., Walta, L. & Dijkstra, A. (2009). *Study on a safest route functionality with financial incentive for professional drivers. Professional pilot Transumo IV*. TNO-rapport DV-2009-C653. TNO, Soesterberg.

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

Mollu, K., Bérénos, M. & Dijkstra, A. (2008a). *Vergelijking van drie verkeersveiligheidsindicatoren: ongevallen, conflictobservaties en microsimulatie*. In: Bijdragen aan Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk, 20/21 november 2008, Santpoort.

Mollu, K., Bérénos, M. & Dijkstra, A. (2008b). *Verkeersveiligheid meten; Ongevallen, conflictobservatie en microsimulatie: wie van de drie?* In: Verkeerskunde, vol. 59, nr. 10, p. 40-45.

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.

Weijermars, W. & Dijkstra, A. (2008). *Verkeersveiligheid van routes en van routekeuze; Indicatoren om de veiligheid van routes te beschrijven*. In: Bijdragen aan Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk, 20/21 november 2008, Santpoort.

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