

(Bijdragenr. 108)

## **Een veiligheidsprocedure op netwerkniveau**

Dr. ir. A. (Atze) Dijkstra

*(Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV)*

## Inleiding

Deze bijdrage laat een overall aanpak zien om verkeersveiligheidseffecten te vinden van enkele verkeersplanologische en verkeerstechnische factoren die enerzijds onderling samenhangen en die zich anderzijds op verschillende ruimtelijke niveaus bevinden (Dijkstra (2011)).

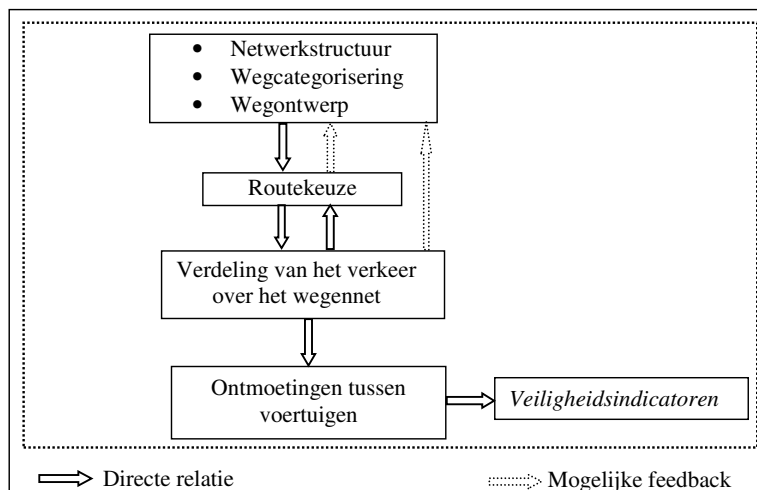
De aanpak bestaat uit twee delen:

- tot stand brengen van een integraal netwerkontwerp
- evalueren van de verkeersveiligheidseffecten van dat ontwerp.

Deze delen worden in de navolgende paragrafen besproken. Alvorens daarmee te starten volgt eerst een beschouwing over de veiligheidseffecten van verkeersinfrastructuur.

### ***Van netwerkstructuur naar veiligheidsindicatoren***

De confrontatie tussen de 'productie' van de wegbeheerders en de 'consumptie' van de weggebruikers is een continubedrijf. De wegbeheerder heeft een taak op weg- en verkeersgebied en stelt doelen om die taak goed te kunnen uitvoeren. De weggebruiker wil snel, veilig en comfortabel van herkomst naar bestemming. Het is voor een deel mogelijk deze twee werelden samen te laten vallen via de fysieke vormgeving van het wegennet. Door keuzen in de vormgeving van de netwerkstructuur, de wegategorisering en het wegontwerp zal de wegbeheerder het gedrag van de weggebruiker proberen te beïnvloeden. De verkeersveiligheidseffecten van deze keuzen zijn te vinden in de uiteindelijke verkeerssituaties op de weg. De routekeuze en de verdeling van het verkeer over het wegennet zijn twee factoren die tussen de fysieke vormgeving en de verkeerssituaties (ontmoetingen tussen verkeersdeelnemers) inzitten; zie *Afbeelding 1*.



*Afbeelding 1. Koppeling tussen netwerkstructuur en veiligheidsindicatoren*

*Afbeelding 1* laat zien dat er een grote afstand is tussen het niveau van de fysieke vormgeving van het wegennet en de verkeersveiligheidseffecten op straat. Is het

mogelijk om, ondanks die afstand en de vele factoren ertussen, de effecten vast te stellen van keuzen op het niveau van de fysieke vormgeving van het wegennet? Daartoe bespreken we eerst de tussenliggende factoren routekeuze, verdeling van het verkeer over het wegennet en ontmoetingen tussen voertuigen.

## **Routekeuze**

Een weggebruiker laat zijn routekeuze voornamelijk bepalen door reistijd en reislengte. Verkeersveiligheid speelt nauwelijks een rol bij routekeuze. De routekeuze hangt ook af van 'stedelijk schoon' en de aankleding van de wegomgeving in het algemeen. Weggebruikers prefereren een route met weinig congestie en routes over snelwegen; ook stellen ze prijs op goede weg(dek)- en weersomstandigheden, situaties die weinig stress veroorzaken en een route waarop zo min mogelijk (onnodig) hoeft te worden gestopt. Snelwegen worden zeer op prijs gesteld, die worden geassocieerd met een laag stressniveau. Het aantal gekozen alternatieve routes (voor dezelfde herkomst-bestemmingsrelatie) hangt af van het type gebied (ruraal of urbaan) en van de drukte op het hoofdwegennet; de meeste weggebruikers gebruiken twee of drie alternatieve routes.

## **Verdeling van het verkeer over het wegennet (verkeerscirculatie)**

De verkeerscirculatie hangt af van de netwerkstructuur, de wegategorisering, het wegontwerp en van de routekeuze. Wegategorisering moet de weggebruiker ondersteunen bij het maken van snelle en veilige verplaatsingen. Het wegontwerp moet ervoor zorgen dat binnen dezelfde wegcategorie zoveel mogelijk gelijksoortige verkeerssituaties voorkomen. De weggebruiker moet uit de wegkenmerken en de actuele verkeerssituatie kunnen afleiden welke verkeerssituaties verwacht kunnen worden en welk gedrag daarbij past.

## **Ontmoetingen tussen voertuigen**

De ontmoetingen tussen voertuigen zijn in de gekozen aanpak ingedeeld in vier soorten:

- Frontaal
- Dwarsrichting
- Kop-staart
- Convergerend

De ernst van de afloop van ongevallen van de soorten 'frontaal' en 'dwarsrichting' is veel groter dan van 'kop-staart' en 'convergerend'. Daarom is het voor de verkeersveiligheid van belang te focussen op de beheersing van de twee eerstgenoemde soorten.

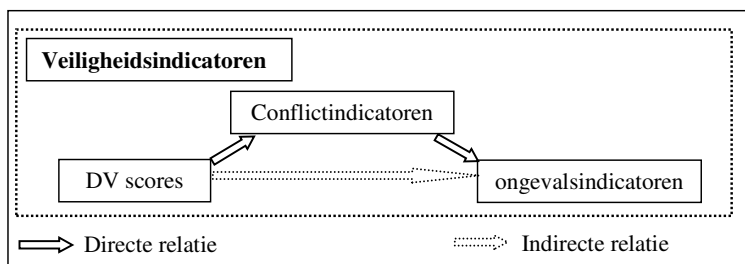
## Veiligheidsindicatoren

Er zijn drie soorten veiligheidsindicatoren gehanteerd om de verkeersveiligheidseffecten te kunnen vaststellen:

- DV score
- Conflict tussen voertuigen
- Geregistreerd ongeval

De DV score drukt uit in hoeverre de verkeersinfrastructuur voldoet aan de eisen van Duurzaam Veilig. Een conflict tussen voertuigen is vastgesteld door in een microsimulatiemodel de ernst te bepalen van ontmoetingen tussen voertuigen. Een geregistreerd ongeval is geselecteerd uit de nationale database voor ongevallen van RWS/DVS. Deze drie indicatoren staan uitgebreider beschreven in Bijlage 1.

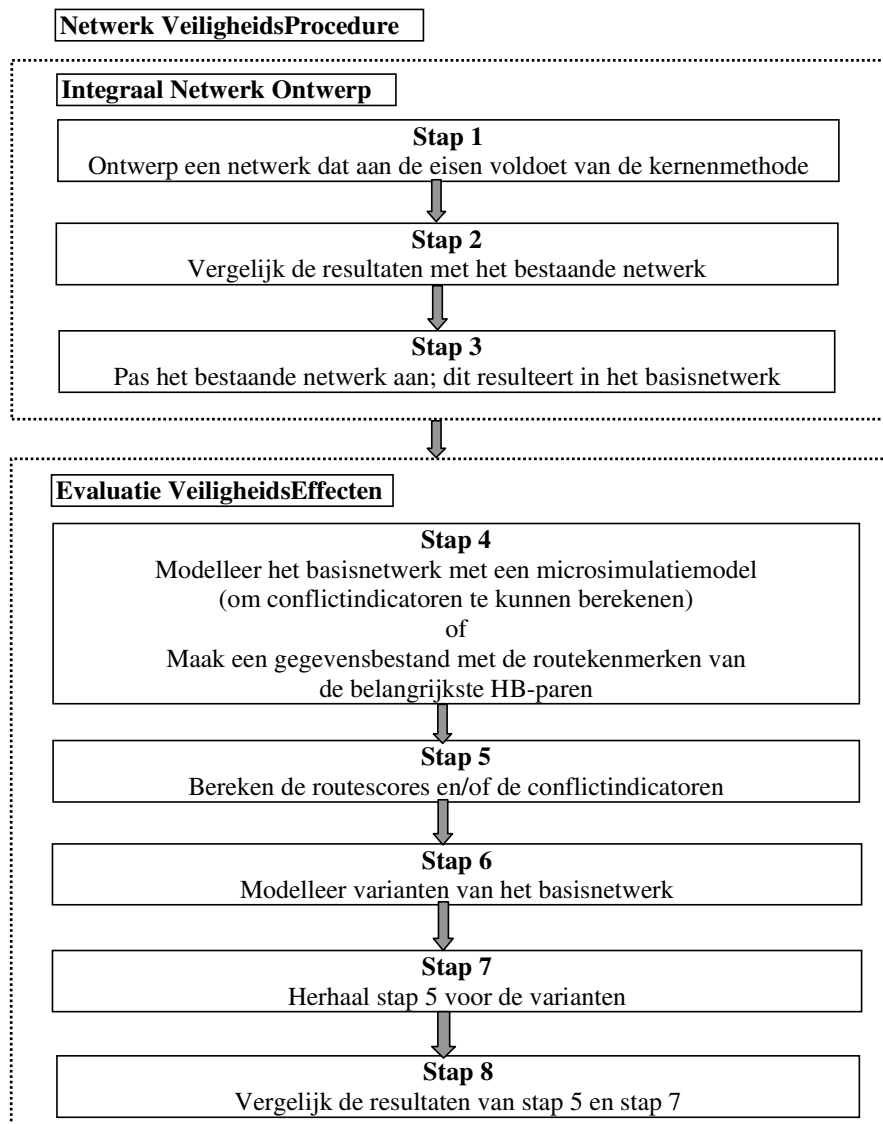
De drie soorten indicatoren zijn onderling aan elkaar gerelateerd; zie *Afbeelding 2*. De veronderstelling was dat de conflicten direct gerelateerd zouden zijn aan de geregistreerde ongevallen: omdat meer conflicten tot meer ongevallen zullen leiden. De DV score zou direct aan de conflicten zijn gerelateerd, omdat een onveiligere infrastructuur (lage DV score) tot meer conflicten zou leiden. Als beide veronderstellingen blijken te kloppen dan is de DV score gerelateerd aan het aantal ongevallen. De bevindingen in *Bijlage 1* tonen aan dat deze veronderstellingen kunnen worden bevestigd.



Afbeelding 2. Relaties tussen DV score, conflicten in een model en geregistreerde ongevallen

## Netwerkveiligheidsprocedure

De netwerkveiligheidsprocedure koppelt de netwerkstructuur en de wegategorisering aan de veiligheidsindicatoren. Hiermee is het mogelijk om de veiligheidseffecten te vinden door wijzigingen in de factoren die *Afbeelding 1* laat zien. De procedure bestaat uit acht stappen; zie ook *Afbeelding 3*.



Afbeelding 3. Acht stappen in de Netwerk VeiligheidsProcedure

### Stap 1

In het *integrale netwerk ontwerp* worden eerst de (woon)kernen in een gebied systematisch onderling verbonden. Dit resulteert in een aantal 'voorgeschreven verbindingen'. De beoogde netwerkstructuur is uit deze verbindingen opgebouwd. Sommige van deze verbindingen zullen overbodig zijn, bijvoorbeeld omdat de afstand ertussen gering is of omdat een indirecte verbinding (via andere verbindingen) ook volstaat. Die overbodige verbindingen worden uit het netwerk verwijderd. Vervolgens categoriseert men de resterende verbindingen rekening houdend met de kenmerken van de beoogde verbindingen en van de ruimtelijke omgeving ervan. Deze stap wordt verder beschreven in *Bijlage 2*.

## **Stap 2**

Vervolgens vergelijkt men de resterende 'voorgeschreven verbindingen' met de bestaande verbindingen en hun categorisering. De gevonden verschillen hiertussen kunnen aanleiding vormen het beoogde netwerk aan te passen, zowel wat betreft de aanwezigheid van een verbinding als de categorisering ervan.

## **Stap 3**

In deze stap komt het basisnetwerk tot stand, gelet op de resultaten van Stap 2 en van algemenere overwegingen omtrent de beoogde netwerkstructuur, wegcategorysering en het wegontwerp. Voor elk van deze drie niveaus evalueert men de combinatie van doelen, ontwerpvariabelen en 'best practices' voor verkeersveiligheid. Een voorbeeld hiervan is het doel (op netwerkniveau) om voertuigen elkaar minder te laten kruisen. Dit kan via de ontwerpvariabelen type netwerkstructuur, kruispunt dichtheid en wegcategorysering. Voor deze drie ontwerpvariabelen zijn via de literatuur 'best practices' vastgesteld (Dijkstra, 2011); zie *Afbeelding 4*.

## **Stap 4**

Deze stap is de voorbereiding van de berekeningen in de volgende stap. Er zijn twee mogelijke werkwijzen. De eerste werkwijze maakt gebruik van een microsimulatiemodel om daarmee de conflictindicatoren te berekenen. De andere werkwijze hanteert de DV scores. Om die te gebruiken dienen eerst gegevens verzameld te worden over belangrijk geachte routes.

## **Stap 5**

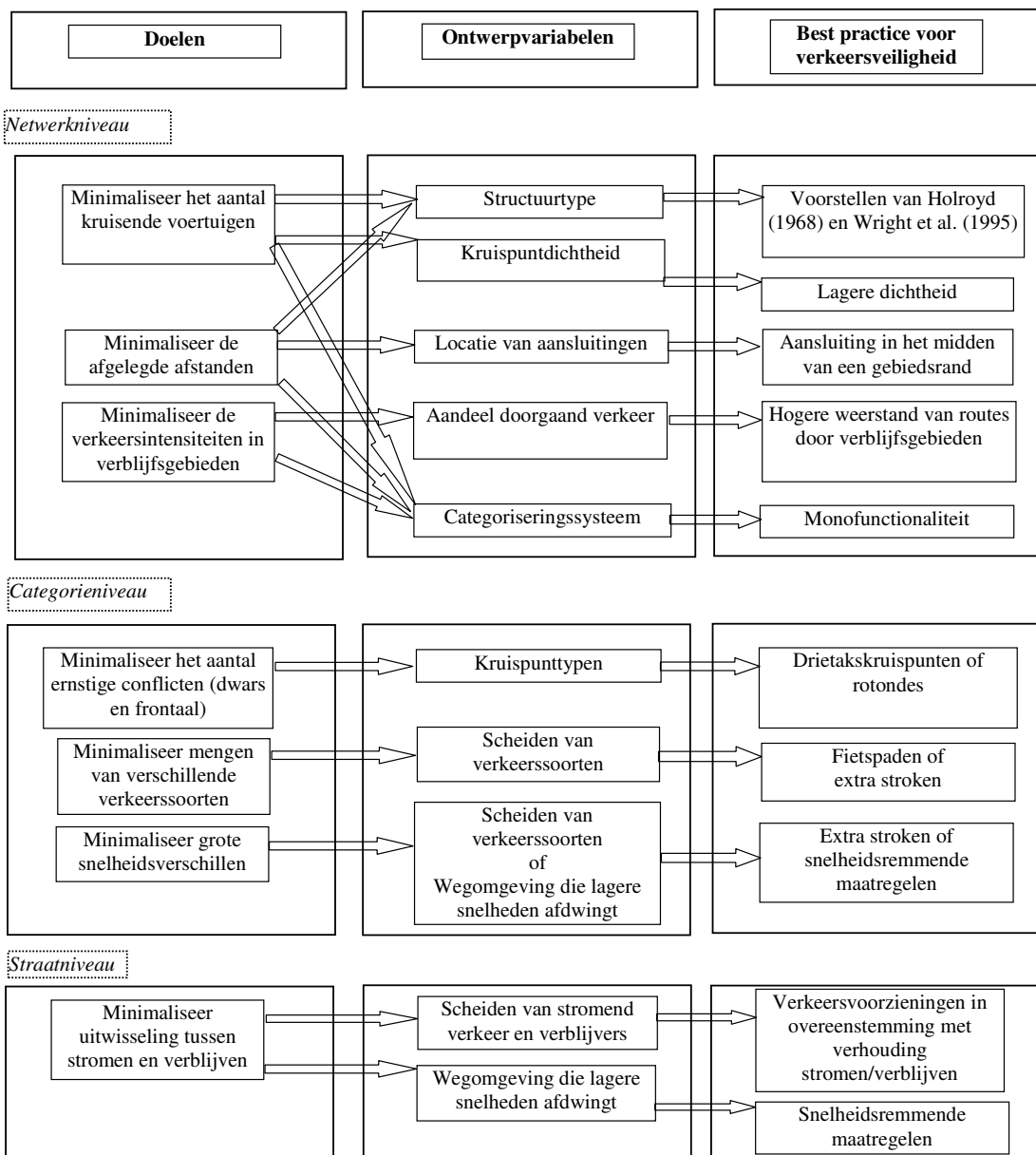
In deze stap berekent men de conflictindicatoren of DV scores. De berekeningen met de DV scores kunnen met een spreadsheet worden uitgevoerd.

## **Stap 6**

Gegeven de uitkomsten van stap 5 zijn er waarschijnlijk aanpassingen van het basisnetwerk wenselijk. Er worden varianten van het basisnetwerk ontworpen.

## **Stap 7**

De berekeningen zoals in stap 5 worden nu uitgevoerd voor de varianten.



Afbeelding 4. Doelen, ontwerpvariabelen en 'best practices' voor verkeersveiligheid naar ruimtelijk ontwerpniveau

## Stap 8

Tot slot vergelijkt men de resultaten van de berekeningen voor het basisnetwerk en de varianten ervan.

## ***Toepassing Integraal Netwerkontwerp***

Het integrale netwerkontwerp is toegepast op een studiegebied dat ligt tussen Noordwijk, Katwijk, Leiden en Den Haag (NKLG). De structuur van het wegennet in dit gebied is onderzocht met behulp van de kernenmethode. Uit de toepassing hiervan volgen voorgeschreven verbindingen tussen de kernen en een wegcategorisering van deze verbindingen. De kernenmethode is gevoelig voor de omvang van het onderzochte gebied. Om het effect hiervan 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. 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.

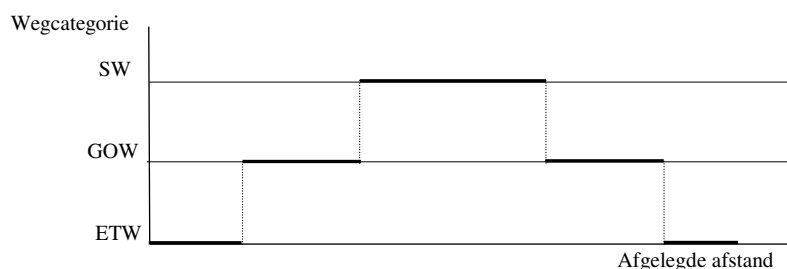


## BIJLAGE 1 Veiligheidsindicatoren

De achtergronden van de veiligheidsindicatoren zijn uitgebreider beschreven door Dijkstra (2010, 2011).

### DV score

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 5*.



Afbeelding 5. Routediagram voor een willekeurige route

**Tabel 1. Veiligheidscriteria voor een route**

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 1. Negen kwantitatieve veiligheidscriteria voor routes

De afwijking van het gewenste routediagram 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. Met de kwantitatieve veiligheidscriteria (*Tabel 1*) kan een Duurzaam Veilig score (DV score) worden samengesteld. De DV score drukt uit in welke mate de route voldoet aan de criteria (van 0 tot 100%).

### **Berekend conflict**

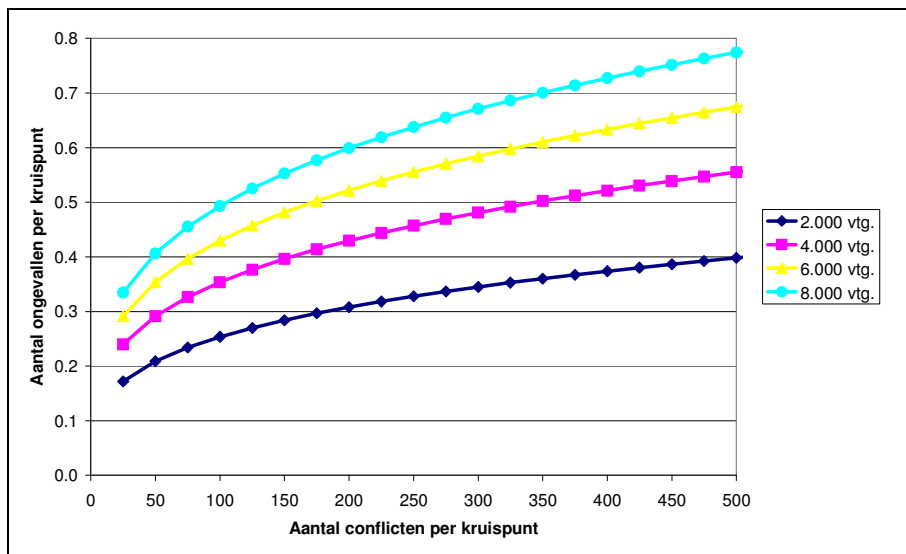
Om een goede inschatting te maken van de verkeersveiligheid, dient de routekeuze ook op het niveau van de verkeersdeelnemers geanalyseerd te worden. Vooral het aantal mogelijke conflicten – ontmoetingen waarbij de voertuigen elkaar erg dicht naderen – dient onderzocht te worden. Daarvoor is een microsimulatiemodel het geschikte instrument. Met dit model is een voertuigafhankelijke veiligheidsindicator te ontwikkelen: het berekende conflict. Het microsimulatiemodel maakt het mogelijk om ontmoetingen tussen afzonderlijke voertuigen na te bootsen.

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.

Met het pakket *S-Paramics* is een model van het studiegebied gebouwd. Met dit model is de relatie onderzocht tussen berekende conflicten en geregistreerde ongevallen. Ook is met dit model de relatie tussen berekende conflicten en DV score nagegaan.

Er zijn conflicten berekend voor 569 kruispunten in het model van het studiegebied: in totaal 220.000 conflicten. 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; het betreft alle geregistreerde ongevallen. 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.

Er 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. Het model dat de beste resultaat geeft is weergegeven in *Afbeelding 6*.



Afbeelding 6. Aantal verwachte ongevallen per kruispunt afgezet tegen het aantal berekende conflicten per kruispunt, afhankelijk van het aantal passerende voertuigen per kruispunt.

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 de simulatieperiode van vier uur zijn 11.659 HB-paren aangetroffen waarvan herkomst en bestemming in het studiegebied liggen. 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. 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.

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 resultaten van de toetsing van de hypothesen zijn:

1. naarmate de reistijd korter is, zijn er minder conflicten langs een route;
2. een hogere DV score gaat gepaard met minder conflicten, met een lagere conflictdichtheid en met een lager conflictrisico;
3. ook voor alleen langere routes gaat een hogere DV score gepaard met minder conflicten.

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

## **BIJLAGE 2 Integraal Netwerkontwerp (Kernenmethode)**

De achtergronden van de kernenmethode zijn uitgebreider beschreven door Dijkstra (2003 en 2011)

De 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.

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 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. De kernenmethode levert 'theoretisch voorgeschreven' 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. Bij de categorisering komen de verkeersveiligheidsaspecten nadrukkelijk aan bod. De kernenmethode sluit aan op een al lang gebruikte methode in Duitsland.

## **Referenties**

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

Dijkstra, A (2010). *Veilig samenspel van wegenstructuur, verkeerscirculatie en routekeuze*. R-2010-29. SWOV, Leidschendam.

Dijkstra, A. (2011). *En route to safer roads; How road structure and road classification can affect road safety*. Proefschrift. Universiteit Twente. SWOV, Leidschendam.