

Gaat een robuust wegennet samen met Duurzaam Veilig?

Ir. A. Dijkstra (SWOV) & ir. H.L. Tromp (Goudappel Coffeng)

R-2010-24

Gaat een robuust wegennet samen met Duurzaam Veilig?

Verslag van een pilotstudie

Documentbeschrijving

Rapportnummer:	R-2010-24
Titel:	Gaat een robuust wegennet samen met Duurzaam Veilig?
Ondertitel:	Verslag van een pilotstudie
Auteur(s):	Ir. A. Dijkstra (SWOV) & ir. H.L. Tromp (Goudappel Coffeng)
Projectleider:	Ir. A. Dijkstra
Projectnummer SWOV:	07.32
Trefwoord(en):	Traffic flow; congestion (traffic); road network; safety; traffic; sustainable safety; layout; junction; cross roads; mathematical model; Netherlands; SWOV.
Projectinhoud:	De visie 'Robuust wegennet' van de ANWB wil een antwoord vormen op de toenemende kwetsbaarheid van het huidige wegennet voor verstoringen in de doorstroming. Deze visie bevat echter nog geen duidelijkheid omtrent de verkeersveiligheids-effecten van een dergelijk wegennet. De SWOV heeft daarom in samenwerking met de ANWB een verkennend onderzoek uitgevoerd. Dit rapport doet verslag van dit onderzoek.
Aantal pagina's:	50 + 17
Prijs:	€ 12,50
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 visie 'Robuust wegennet' van de ANWB, in samenwerking met TNO, wil een antwoord vormen op de toenemende kwetsbaarheid van het huidige wegennet voor verstoringen in de doorstroming. Deze visie bevat echter nog geen duidelijkheid omtrent de verkeersveiligheidseffecten van een dergelijk wegennet. De SWOV heeft daarom in samenwerking met de ANWB een verkennend onderzoek uitgevoerd. Goudappel Coffeng heeft voor dit onderzoek modelberekeningen uitgevoerd.

Voor een kleinschalig studiegebied, rondom de Velsertunnel (A22) en Wijkertunnel (A9), zijn modelberekeningen gedaan voor twee duurzaam veilige en twee robuuste varianten van een wegennet. De visies Robuust en Duurzaam Veilig zijn zo onderling vergeleken wat betreft hun effecten op de routekeuze, doorstroming en de verkeersveiligheid. Van het wegennet zijn de volgende vijf varianten onderscheiden:

1. referentiesituatie;
2. robuust wegennet;
3. robuust wegennet met een incident op de A9;
4. duurzaam veilig wegennet;
5. duurzaam veilig wegennet met een incident op de A9.

Voor de doorgerekende varianten van het wegennet zijn keuzes gemaakt op verschillende niveaus:

- *Netwerkopbouw en wegategorisering*: voor alle varianten is aangenomen dat de bestaande autosnelweg A22 een regionale stroomweg is. In de referentiesituatie heeft deze een dubbele hoofdrijbaan; fietsers kruisen deze weg via fietstunnels. Deze referentiesituatie is dus niet de bestaande, maar een fictieve situatie.
- *Knooppuntypen en kruispuntypen*: aangenomen is dat de A22 is voorzien van twee gelijkvloerse kruispunten. In de referentiesituatie zijn dat viertakskruispunten met verkeerslichten. Bij Robuust zijn dat rotondes met een onderdoorgang voor de hoofdrichting, en bij Duurzaam Veilig zijn dat turborotondes met bypasses. Bij Robuust kruisen fietsers de A22 daar gelijkvloers via de rotondes; bij Duurzaam Veilig blijven fietsers de tunnels gebruiken.
- *Dwarsprofielen van de wegvakken*: voor zowel Robuust als Duurzaam Veilig is de A22 ten opzichte van de referentiesituatie versmald tot een regionale stroomweg met één rijstrook per richting, waarbij de rijrichtingen wel fysiek blijven gescheiden. Bij incidenten is er bij Robuust een extra rijstrook beschikbaar; bij Duurzaam Veilig is aanvullende capaciteit beschikbaar op het onderliggend wegennet.

In de bovengenoemde wegennetvarianten zijn ook kruispuntypen gekozen waarvan het veiligheidsniveau niet uit ervaring bekend is. Om te beginnen is daarom eerst een methode opgezet om dit te kunnen schatten. Deze methode gebruikt relatieve veiligheidsniveaus, ten opzichte van het onveiligste kruispunttype, het viertakskruispunt met verkeerslichten. Het veiligheidsniveau van een rotonde is bijvoorbeeld gemiddeld drie keer veiliger dan een viertakskruispunt met verkeerslichten. Dezelfde werkwijze met relatieve veiligheid is gevolgd bij de aangepaste dwarsprofielen op

wegvakken. Op deze manier is de verandering in veiligheid door de robuuste respectievelijk duurzaam veilige aanpassingen ten opzichte van de referentiesituatie geschat.

Doorstroming

In de varianten Robuust en Duurzaam Veilig is de doorstroming tijdens een gewone ochtendspits voldoende. De situatie verandert als een incident wordt gesimuleerd in de Wijkertunnel (A9). Dan is de doorstroming bij een robuust wegnnet nog redelijk, maar bij Duurzaam Veilig resteert er te weinig doorstroming. Robuust wegnnet profiteert bij een incident namelijk van de onderdoorgang voor doorgaand verkeer bij de rotondes. Terwijl de turborotondes bij Duurzaam Veilig, ondanks de bypasses, te veel vertraging opleveren voor het doorgaande verkeer. Hierdoor loopt het verkeer op de autosnelweg A9 vast.

Het fietsverkeer is niet gesimuleerd in het verkeersmodel. Aan de doorstroming van het autoverkeer is echter te zien dat fietsers in de variant Robuust met een incident nog nauwelijks de rotondes kunnen passeren door de grotere aantallen motorvoertuigen die de route over de A22 gelijkvloers volgen.

Veiligheid

De kruispunten veranderen door zowel de robuuste als de duurzaam veilige aanpassingen aanzienlijk in veiligheid. Dat komt vooral doordat in alle varianten de relatief onveilige kruispunten met verkeersregelinstallatie zijn omgebouwd tot relatief veilige rotondetypen. Op de kruispunten is er eigenlijk niet zozeer sprake van Duurzaam Veilig versus Robuust maar van gelijkvloers versus ongelijkvloers. Door de ongelijkvloers kruisende hoofdstroom is op de kruispunten de robuuste variant veiliger dan de duurzaam veilige. Beide varianten, Duurzaam Veilig en Robuust, zijn op de kruispunten veel veiliger dan in de referentiesituatie (viertakskruispunt met verkeerslichten).

Voor veranderingen in de doorstroming en veiligheid van het fietsverkeer zijn alleen de Robuust-varianten relevant. Voor de veiligheid is het zaak dat de hoofdstroom van het autoverkeer daar ongelijkvloers de rotondes passeert waarover de fietsers gelijkvloers kruisen. De fietsers kruisen daardoor gelijkvloers met slechts een klein deel van het passerende autoverkeer. Op deze rotondes geldt de gebruikelijke regeling buiten de bebouwde kom, dat fietsers het autoverkeer voorrang verlenen. Dit komt ten goede aan de veiligheid van de fietsers, ongeacht de hoeveelheid kruisend autoverkeer. Het oponthoud voor fietsers is echter evenredig met de toename van de hoeveelheid autoverkeer op de rotonde.

Op de wegvakken van de A9 tussen de aansluiting met de A22 en de tunnel is Robuust iets (5%) veiliger dan Duurzaam Veilig. Op de gezamenlijke wegvakken van de A22 en van de routes parallel aan de A22 zijn de robuuste variant en de duurzaam veilige variant even veilig; beide varianten zijn veiliger dan de referentiesituatie. Bij een incident lijkt Robuust echter onveiliger te zijn dan Duurzaam Veilig. Dit komt doordat tijdens de simulatieperiode in de robuuste variant met incident grotere aantallen voertuigen de A22 passeren dan de in de duurzaam veilige variant met incident. Bij Duurzaam Veilig staan echter voertuigen elders 'in een wachtrij' die later alsnog de A22 zullen passeren en dan de bijbehorende onveiligheid zullen leveren. Een langere simulatieperiode zou een beter beeld hebben kunnen geven van de totale onveiligheid op de A22 van beide varianten.

Vervolg

Voor algemene uitspraken over de verschillen tussen een robuust wegennet en een duurzaam veilig wegennet zullen veel meer situaties moeten worden doorgerekend dan in deze pilotstudie is gedaan. Deze pilotstudie vertegenwoordigt namelijk geen algemeen representatief verkeerskundig probleem, maar een specifieke situatie waarvoor specifieke oplossingen zijn aangedragen. De verschillen tussen Duurzaam Veilig en Robuust, zowel voor doorstroming als voor verkeersveiligheid, blijken in deze pilotstudie betrekkelijk gering te zijn. Het lijkt daarom mogelijk om beide varianten te integreren tot een variant die meer doorstroming biedt en tegelijkertijd optimaal veilig is. Een vervolgstudie moet een overzicht geven van de mogelijkheden daartoe. Deze mogelijkheden voor toepassing van een geïntegreerd robuust en duurzaam veilig wegennet kunnen kleinschalig zijn (zoals in de onderhavige pilotstudie) maar ook grootschalig (zoals in de TNO-studie).

Summary

Can a robust roads network go hand in hand with Sustainable Safety? Report of a pilot study

The Royal Dutch Touring Club ANWB's vision of a 'robust roads network', developed in cooperation with the Netherlands Organization for Applied Scientific Research TNO, is intended to provide a solution for the increasing vulnerability of the present road network for disturbances in the traffic flow. However, the vision does not yet elucidate on the safety effects of such a road network. Together with ANWB, SWOV therefore carried out an exploratory study. The Dutch traffic and transport consultants Goudappel Coffeng performed the model calculations for this study.

Model calculations for two sustainably safe and two robust variants of a road network were made for a small-scale study area around Velsertunnel (A22) and Wijkertunnel (A9). This enabled comparison of the visions Robust and Sustainable Safety for their effects on route choice, traffic flow and road safety. The five variants of road network that have been distinguished are:

1. reference situation;
2. robust roads network;
3. robust roads network with an incident on the A9;
4. sustainably safe road network;
5. sustainably safe road network with an incident on the A9.

For the calculated variants of the road network choices were made at different levels:

- *Network structure and road categorization:* The existing motorway A22 was assumed to be a regional flow road in all variants. In the reference situation this motorway has double main carriageways; bicycles use bicycle tunnels to cross this road. Therefore, this reference situation is not the existing situation, but it is fictional.
- *Interchange and intersection types:* the A22 is assumed to be equipped with two intersections at grade. In the reference situation these are signalized four-arm junctions. In Robust they are roundabouts with an underpass for the main direction, and in Sustainable Safety they are turbo roundabouts with bypasses. In Robust cyclists have a level crossing of the A22 via the roundabouts; in Sustainable Safety cyclists continue to use the tunnels.
- *Cross-sectional profile of the road sections:* in comparison with the reference situation, the A22 has for Robust as well as for Sustainable Safety been narrowed into a regional flow road with a single carriageway in each direction, the driving directions remaining physically separated. In case of an incident, Robust has an extra lane available; Sustainable Safety has supplementary capacity on the secondary road network.

In the above road network variants, intersection types whose safety level is not known from experience were also chosen. Therefore, a method was devised first to make estimates possible. This method uses relative safety levels in relation with the most unsafe intersection type, the signalized four-arm intersection. The safety level of a roundabout, for example, is three

times greater, on average, than that of a signalized four-arm intersection. The same method using relative safety was followed for the adapted cross-sectional profiles of the road sections. This way, estimates were made of the changes in safety as a result of the respective robust and sustainably safe adaptations compared to the reference situation.

Traffic flow

In both the variants Robust and Sustainable Safety, the traffic flow during a normal morning peak is sufficient. The situation changes when an incident in the Wijkertunnel (A9) is simulated. The traffic flow in a robust roads network is then still reasonable, but in Sustainable Safety the remaining traffic flow is too limited. In case of an incident, the robust roads network benefits from the underpass for through traffic at roundabouts. Sustainable Safety's turbo roundabouts, on the other hand, cause too many delays for through traffic despite the bypasses. This results in congestion on the A9 motorway. The traffic model did not simulate bicycle traffic. Observation of the motorized vehicle flow, however, makes clear that in the variant Robust with incident cyclist can barely pass the roundabouts due to the increased numbers of vehicles following the level route on the A22.

Safety

The intersections undergo considerable changes in safety as a result of the Robust as well as of the Sustainable Safety adaptations. This is mainly due to the fact that in all variants the relatively unsafe signalized intersections have been converted in relatively safe types of roundabout. Concerning the intersections, it is not so much a matter of Sustainable Safety versus Robust, but of grade versus grade separated. The grade separated intersecting main traffic flow makes the Robust variant safer than the Sustainable Safety variant. Both variants, Sustainable Safety and Robust, are much safer at intersections than the reference situation (signalized four-arm intersection).

Only the Robust variants are relevant for changes in the flow and safety of bicycle traffic. In the interest of safety it is important that the main flow of motorized traffic uses grade separated intersections at those locations where cyclists have a level crossing. This gives cyclists a level crossing while encountering only a small part of the passing motorized traffic. The customary priority regulation for non-urban roundabouts is valid here: motorized traffic has right-of-way on cyclists. This priority regulation is safer for cyclists, irrespective of the amount of intersecting motorized traffic. However, the delay for cyclists is proportional to the amount of motorized traffic on the roundabout.

Robust is somewhat safer (5%) than Sustainable Safety at the A9 road sections between the connection with the A22 and the tunnel. When the A22 road sections and the routes parallel to the A22 are taken together, the Robust variant and the Sustainable Safety variant are equally safe; both variants are safer than the reference situation. In case of an incident, however, Robust seems to be less safe than Sustainable Safety. The reason being that during the simulation period greater numbers of vehicles pass on the A22 in the Robust variant with incident than in the Sustainable Safety variant with incident. In the Sustainable Safety variant, however, the vehicles are in a queue elsewhere and will pass on the A22 later, but with the corresponding unsafe situation. A longer simulation period could have given a better picture of the total unsafety on the A22 for both variants.

Continuation

Calculations will need to be made for many more situations than those used in this pilot study to allow general statements about the differences between a robust roads network and a sustainably safe road network. As it is, the present pilot study does not represent a general representative road traffic problem, but deals with a specific situation with its own specific solutions. In the present pilot study, the differences between Sustainable Safety and Robust, both in relation with traffic flow and road safety, appear to be relatively small. It seems therefore possible to integrate the two variants into a variant that improves the traffic flow and at the same time is optimally safe. A follow-up study should result in an overview of the possibilities for such a step. These application possibilities for an integrated robust and sustainably safe road network can be small-scale, like in the present pilot study, but they can also be large-scale, like in the TNO study.

Inhoud

1. Inleiding	11
1.1. Doel en type onderzoek	11
1.2. Opzet pilotstudie en dit rapport	12
2. Robuust wegennet en duurzaam veilig wegennet in het kort	13
2.1. Robuust wegennet	13
2.2. Duurzaam veilig wegennet	13
2.3. Overeenkomsten en verschillen tussen beide concepten	13
2.3.1. Overeenkomsten	13
2.3.2. Verschillen	14
3. Kenmerken van een robuust wegennet en een duurzaam veilig wegennet	15
3.1. Robuust wegennet	15
3.1.1. Wegvakken	15
3.1.2. Kruispunten en opritten	15
3.2. Duurzaam veilig wegennet	16
3.2.1. Wegvakken	16
3.2.2. Kruispunten	16
3.3. Gemeenschappelijke kenmerken en 'strijdige' kenmerken	17
3.3.1. Wegvakken	17
3.3.2. Kruispunten	17
4. Methode om verandering in kruispuntveiligheid vast te stellen	18
4.1. Basis van de methode?	18
4.2. Kanttekeningen bij de methode	19
4.3. Hoofdpijnen van de methode	19
4.3.1. Ander kruispunttype	20
4.3.2. Meer of minder passerende motorvoertuigen (I_z+I_h)	21
4.3.3. Andere verhouding I_z/I_h	22
4.3.4. Meer of minder conflictpunten (met of zonder snelheidsreductie)	23
4.4. Voorbeelden van een (theoretische) toepassing	23
4.4.1. Voorbeeld 1	24
4.4.2. Voorbeeld 2	24
4.4.3. Voorbeeld 3	25
4.4.4. Voorbeeld 4	26
4.4.5. Voorbeeld 5	26
5. Methode om verandering in wegvakveiligheid vast te stellen	28
5.1. Wegvakveiligheid afgeleid van kencijfers voor wegen	28
5.2. Bepaling van de relatieve veiligheid van wegvakken op nieuwe wegtypen	30
6. De uitgevoerde pilotstudie: het gebied rondom de Velser- en Wijkertunnel	32
6.1. Beschrijving van de situatie	32
6.1.1. Huidige situatie	32
6.1.2. Downgraden van het wegennet	33

6.2.	Varianten en modelberekeningen	34
6.2.1.	Basisvariant	34
6.2.2.	Varianten Robuust	34
6.2.3.	Varianten Duurzaam Veilig	34
6.3.	Aanpak van de berekeningen	35
6.4.	Resultaten	36
6.4.1.	Effecten op doorstroming	36
6.4.2.	Effecten op verkeersveiligheid: kruispunten 2 en 3	36
6.4.3.	Effecten op verkeersveiligheid: wegvakken tussen kruispunt 1 en knooppunt 4 op de A22	40
6.4.4.	Effecten op verkeersveiligheid: routes die parallel lopen aan de A22 tussen kruispunt 1 en knooppunt 4	40
6.4.5.	Gezamenlijk effect op verkeersveiligheid van wegvakken A22 en van twee routes parallel aan de A22	41
6.4.6.	Effecten op verkeersveiligheid: wegvakken van de A9	43
6.5.	Conclusies en discussie	43
7.	Conclusies, discussie en aanbevelingen	45
7.1.	Conclusies	45
7.1.1.	Gebruikte methode	45
7.1.2.	Pilotstudie met duurzaam veilig en robuust wegennet	46
7.2.	Discussie en aanbevelingen	47
	Literatuur	49
Bijlage A	Kruispuntveiligheid	51
Bijlage B	Conflictpunten en kruispuntveiligheid	64

1. Inleiding

De doorstroming op het Nederlandse hoofdwegennet neemt geleidelijk af door een toenemend gebruik en een nagenoeg gelijkblijvende capaciteit. Daarmee komt de bereikbaarheid van de economische centra onder zware druk te staan. In 2008 heeft de ANWB, in samenwerking met TNO, zijn visie op een 'robuust wegennet' openbaar gemaakt (Schrijver et al., 2008). Deze visie wil een antwoord vormen op de toenemende kwetsbaarheid van het huidige wegennet voor verstoringen in de doorstroming. De ANWB wil hiermee een constructieve bijdrage leveren aan de discussie over een betere bereikbaarheid van ons land. De ANWB heeft de minister van Verkeer en Waterstaat in overweging gegeven om de resultaten van zijn visie en het onderliggende TNO-onderzoek als vertrekpunt te gebruiken voor het ontwikkelen van een nieuw infrastructuurbeleid. Inmiddels spreekt het Ministerie van Verkeer en Waterstaat in de nota *Mobiliteitsaanpak* (VenW, 2008) inderdaad over het streven naar een robuust wegennet. De gepresenteerde ANWB-visie bevat nog geen duidelijkheid omtrent de verkeersveiligheids- en milieueffecten. De SWOV is geïnteresseerd in de verkeersveiligheidseffecten en heeft daarom, in samenwerking met de ANWB, een verkennend onderzoek uitgevoerd; Goudappel Coffeng heeft daarvoor de modelberekeningen uitgevoerd. Dit rapport brengt over deze pilotstudie verslag uit.

1.1. Doel en type onderzoek

De SWOV wil de ANWB-visie evalueren wat betreft de effecten op de verkeersveiligheid. Evenals de ANWB heeft de SWOV daarvoor een modelmatige aanpak gekozen.

De ANWB heeft de visie uitgewerkt voor een deel van de Randstad, met gebruik van een dynamisch verkeersmodel. Zo'n model maakt het mogelijk de veranderingen in routekeuze gedetailleerd te modelleren. Een ontworpen robuust wegennet kan met dat model worden nagebootst. De veranderde verkeerscirculatie in het robuuste wegennet kan met het dynamische model worden berekend. Het model houdt rekening met vertragingen en met (kleinschalige) infrastructurele aanpassingen van wegvakken en kruispunten. Bij een robuust wegennet is het toegepaste kruispunttype van belang voor de doorstroming. Dit kruispunteffect kan heel goed via een dynamisch model worden vastgesteld.

Een dergelijke modelmatige aanpak is de aangewezen (en gebruikelijke) manier om de effecten van grootschalige veranderingen in het wegennet te prognosticeren. De SWOV heeft daarom dezelfde aanpak gekozen om de effecten op de verkeersveiligheid te evalueren: een *modelstudie* van een regionaal wegennet. Om de doorlooptijd van het project te bekorten, en de ontwikkelingskosten te beperken, is een studiegebied geselecteerd waarvoor al een dynamisch verkeersmodel beschikbaar was. Dit studiegebied, de wegen rondom de Wijker- en Velsertunnel, is gebruikt om een wegennet te ontwerpen vanuit de visie van Duurzaam Veilig en vanuit de visie Robuust wegennet. Beide visies zijn onderling vergeleken wat betreft hun effecten op de bereikbaarheid/doorstroming en de verkeersveiligheid. Door de beperkte opzet en omvang heeft deze studie het karakter van een *pilotstudie*.

1.2. Opzet pilotstudie en dit rapport

Bij een modelstudie met een dynamisch model worden prognoses van de (veranderde) verkeerscirculatie gedaan op het niveau van wegvakken en kruispunten. Het model laat de veranderde doorstroming zien als gevolg van een veranderd dwarsprofiel op een wegvak of een veranderd kruispunttype. De effecten op de verkeersveiligheid moeten bij dit detailniveau aansluiten. Aangezien de bestaande kennis over verkeersveiligheid, in het bijzonder voor kruispunten, hier niet direct op aansluit, is eerst een studie uitgevoerd naar de beschikbare kennis over de veiligheid van kruispunten en wegvakken. Vervolgens is deze kennis zo toegepast dat veranderingen in dwarsprofielen en kruispunttypen zijn uit te drukken in relatieve veranderingen in veiligheid. Deze relatieve veranderingen zijn gebruikt om de gevolgen van de modeluitkomsten voor de verkeersveiligheid te bepalen.

Allereerst beschrijft *Hoofdstuk 2* in het kort wat we verstaan onder een duurzaam veilig wegennet en een robuust wegennet. *Hoofdstuk 3* beschrijft uitgebreider de kenmerken van beide soorten wegennetten. In beide hoofdstukken komen daarbij overeenkomsten en verschillen aan bod. *Hoofdstuk 4* gaat in op de manier waarop veranderingen in de kruispuntveiligheid worden bepaald. Daarvoor is in *Bijlage A* en *Bijlage B* de bestaande kennis over kruispuntveiligheid beschreven en worden de resultaten van verschillende studies tegen elkaar afgezet. Voor de methode om de veranderingen in wegvakveiligheid vast te stellen (*Hoofdstuk 5*) kon worden teruggegrepen op eerdere studies. *Hoofdstuk 6* behandelt vervolgens de uitgevoerde pilotstudie; het beschrijft het studiegebied en de uitgevoerde modelberekeningen. Ook geeft *Hoofdstuk 6* de geschatte relatieve veranderingen in verkeersveiligheid voor de verschillende kruispunten en wegvakken. In *Hoofdstuk 7* ten slotte, volgen de conclusies, discussie en aanbevelingen.

2. Robuust wegennet en duurzaam veilig wegennet in het kort

2.1. Robuust wegennet

De *Visie robuust wegennet* is onderbouwd door TNO (Schrijver et al., 2008), die eerder een sterk verwante benadering heeft uitgebracht onder de titel *Bypasses voor bereikbaarheid* (Immers et al., 2001). In beide benaderingen staat de ontvlechting van langeafstandsverplaatsingen en regionale verplaatsingen centraal. In een robuust wegennet stroomt het verkeer op de hoofdwegen zo veel mogelijk door, onder andere door het verkeer op toegangspunten tijdelijk te bufferen. Robuust betekent volgens TNO 'functiebehoud onder wisselende omstandigheden': de stroomfunctie van de hoofdwegen moet zo veel mogelijk in stand blijven. Tijdens incidenten moet reservecapaciteit beschikbaar zijn. Dat is mogelijk door een opwaardering van onderliggende wegen en een herstructurering van knooppunten. Deze benadering gaat ervan uit dat het huidige stelsel van hoofdwegen niet meer verder kan worden verbeterd zonder er andere (stelsels van) wegen bij te betrekken.

2.2. Duurzaam veilig wegennet

In Duurzaam Veilig is categorisering het *leitmotiv*: een wegverbinding functioneert naar behoren als functie, vorm en gebruik ervan op elkaar zijn afgestemd. In een duurzaam veilig verkeerssysteem zijn de stroom- en erftoegangsfunctie strikt gescheiden. Voor elke functie bestaat een aparte wegcategorie: stroomwegen en erftoegangswegen. De wegen die beide categorieën verbinden zijn de gebiedsontsluitingswegen. Een gebiedsontsluitingsweg mag niet alleen maar de stroomfunctie bieden, hij moet ook uitwisseling tussen de andere categorieën faciliteren. De scheiding van de stroom- en uitwisselingsfunctie binnen deze categorie zou via de vormgeving tot stand moeten komen, met name door stromen alleen op wegvakken, en uitwisseling alleen op kruispunten (fysiek) mogelijk te maken. Elke wegcategorie heeft een kenmerkende snelheidslimiet. Voor wegen buiten de bebouwde kom zijn die limieten 60, 80 en 100/120 km/uur voor respectievelijk erftoegangswegen, gebiedsontsluitingswegen en stroomwegen. Door werkzaamheden of door omgevingskenmerken kunnen lokaal andere limieten wenselijk zijn (Dijkstra, 2010).

2.3. Overeenkomsten en verschillen tussen beide concepten

2.3.1. Overeenkomsten

Leggen we de bereikbaarheidsvisie Robuust naast de veiligheidsvisie Duurzaam Veilig, dan blijkt dat de visies op dezelfde lijn liggen ten aanzien van de stroomfunctie van het hoofdwegennet. Het behoud van de stroomfunctie is van cruciaal belang voor zowel de verkeersveiligheid als de bereikbaarheid. Als de hoofdstructuur functioneert zoals beoogd, dan zal langeafstandsverkeer niet uitwijken naar het onderliggend wegennet. Het onderliggend wegennet zal dan naar behoren kunnen blijven functioneren. Bij incidenten op het hoofdwegennet zou het langeafstandsverkeer moeten

kunnen profiteren van voldoende reservecapaciteit op het onderliggend wegennet. Op een juiste manier uitgewerkt, zullen hierdoor de verkeersveiligheid en de bereikbaarheid op alle niveaus (nationaal, regionaal, lokaal) kunnen toenemen. De reservecapaciteit op het onderliggend wegennet mag de onveiligheid niet doen toenemen.

2.3.2. *Verschillen*

De beide visies wijken van elkaar af wat betreft de vormgeving van de regionale hoofdwegen. In de uitwerking die de SWOV heeft gegeven aan Bypasses voor bereikbaarheid (Dijkstra & Hummel, 2004) hebben de regionale hoofdwegen alle kenmerken van een stroomweg, inclusief de snelheidslimiet (100 km/uur) en de ongelijkvloerse knooppunten. Het lijkt erop dat de TNO/ANWB-visie een regionale stroomweg voorstaat die op deze punten minder verkeersveiligheid biedt. Het TNO-rapport van Schrijver et al. (2008) verwijst terecht naar het slechte veiligheidsniveau van de huidige N-wegen. Juist om dat niveau van onveiligheid te vermijden dienen de kenmerken van regionale stroomwegen volgens de Duurzaam Veilig-visie van een geheel andere orde te zijn dan die van de huidige N-wegen.

De visie Duurzaam Veilig staat verder een evenwichtige verhouding voor van de verschillende wegcategorieën waaruit een wegennet is opgebouwd. De SWOV heeft dit uitgewerkt voor enkele regionale netwerkanalyses (Schermers et al., 2007). Een dergelijke benadering lijkt ook gewenst voor het robuuste wegennet. Vooralsnog is het namelijk in de TNO/ANWB-visie onduidelijk wat de plaats wordt van de regionale gebiedsontsluitingswegen en van de lokale hoofdwegen.

Bijvoorbeeld: de opwaardering van de huidige regionale ontsluitingsweg tussen Rotterdam en Pijnacker v.v. (N471) tot een regionale stroomweg zou betekenen dat de regionale ontsluitingsfunctie zou verslechteren of zou moeten worden overgenomen door een andere (nieuwe?) verbinding. Een ander voorbeeld is de 'Rotterdamse ruit' van autosnelwegen. Ontvlechting van langeafstandsverplaatsingen en regionale verplaatsingen zou betekenen dat het regionale verkeer en het bovenregionale verkeer over een eigen wegenstructuur moeten kunnen beschikken. Daarvoor is dus aanvullende infrastructuur nodig is. Verder moet worden voorkomen dat extra verkeer terechtkomt op lokale wegen (binnen de ruit) die er niet op zijn toegerust. Voor de verkeersveiligheid zal dat tot een verslechterde situatie leiden. Ook zullen er dan problemen ontstaan voor de leefbaarheid binnen de ruit.

3. Kenmerken van een robuust wegennet en een duurzaam veilig wegennet

In *Hoofdstuk 2* is kort geschetst wat we verstaan onder een robuust wegennet en onder een duurzaam veilig wegennet. Dit hoofdstuk beschrijft uitgebreider de kenmerken van deze soorten wegennetten. Ook wordt duidelijk gemaakt welke kenmerken kunnen samengaan en welke elkaar nagenoeg uitsluiten.

3.1. Robuust wegennet

De meeste wegen in het huidige wegennet hebben een vaste capaciteit: bij bijzondere omstandigheden is het niet mogelijk om de capaciteit tijdelijk te verhogen. In een robuust wegennet zou dat juist wel mogelijk moeten zijn. Op wegvakken en kruispunten zijn er binnen deze visie verschillende soorten maatregelen mogelijk om dit te bereiken.

3.1.1. Wegvakken

De capaciteit van wegvakken hangt vooral af, zeker buiten de bebouwde kom, van het aantal rijstroken per richting. Op enkele autosnelwegen is al enkele jaren de *spitsstrook* een manier om gedurende de spitsuren extra capaciteit te leveren door de vluchtstrook als tijdelijke rijstrook open te stellen. Bij incidenten zal de wegbeheerder trachten zo snel mogelijk deze strook weer beschikbaar te stellen voor hulpdiensten.

Ook een *wisselstrook* kan extra capaciteit leveren. Dit is een rijstrook die beurtelings beschikbaar is voor de drukste richting. Soms is er voor de rijrichtingscheiding een verplaatsbare barrière aanwezig die via een speciaal voertuig in positie wordt gebracht.

Scheiding tussen doorgaand verkeer en uitvoegend en/of invoegend verkeer is mogelijk door *aparte rijbanen* (voor dezelfde rijrichting) aan te leggen. Op een parallelbaan geldt meestal een lagere snelheidslimiet dan op de rijbaan voor doorgaand verkeer.

3.1.2. Kruispunten en opritten

Kruispunten bepalen in het stedelijk gebied de capaciteit van het wegennet. *Tabel 3.1* geeft een overzicht van de capaciteit van enkele kruispunttypen.

Via een *bypass* vergroot men permanent de capaciteit van een specifieke richting (meestal een rechts afslaannde richting). Een *ongelijkvloerse* uitvoering van een bypass (meestal voor het rechtdoor gaande verkeer op de hoofdstroom) geeft eveneens een aanzienlijke verhoging van de capaciteit.

Om kruispunten tijdelijk extra capaciteit te laten bieden, zijn in het geval van een verkeerslichtenregeling faciliteiten in te bouwen die de VRI-regeling aanpast aan de *actuele 'vraag'* vanuit de verschillende richtingen.

Bij opritten wordt voorgesteld zogeheten *buffers* aan te leggen. Bij een buffer wachten voertuigen enige tijd totdat er ruimte beschikbaar is op de autosnelweg. Een buffer bestaat uit een aantal naast elkaar gelegen rijstroken die ten minste enkele tientallen meters lang zijn.

	Capaciteit in een spitsuur van alle vier toeritten tezamen [mvt per uur]	Maximale capaciteit van een tak (in de richting van het kruispunt of de rotonde)
Kruispunt met voorrangregeling	1.500	1.100
Kruispunt met VRI, drie rijstroken per toevoertak	3.500	3.800
Enkelstrooksrotonde	2.000	1.100 - 1.500
Turborotonde, basisvorm	3.500	1.900 - 2.100

Tabel 3.1. *Praktische capaciteit van enkele kruispunttypen met vier takken (CROW, 2008).*

3.2. Duurzaam veilig wegennet

Een wegennet is duurzaam veilig als de wegen op de juiste manier zijn gecategoriseerd en als de verkeersvoorzieningen voldoen aan de DV-eisen (CROW, 1997). De DV-eisen zijn uitgewerkt in diverse richtlijnen en aanbevelingen. De wegcategory is onder andere uitgewerkt door Dijkstra (2003).

In deze paragraaf komen de voor Duurzaam Veilig kenmerkende voorzieningen op wegvakken en kruispunten aan de orde.

3.2.1. Wegvakken

Op wegvakken buiten de bebouwde kom, met snelheidslimieten vanaf 80 km/uur, mogen voertuigen niet op de andere weghelft, met voertuigen in tegengestelde richting, terechtkomen. Een *fysieke rijrichtingscheiding* moet dit bewerkstelligen. Bij snelheidslimieten van 50 of 70 km/uur kan men volstaan met alleen een dubbele asmarkering als rijrichtingscheiding

Een bestuurder die met zijn voertuig van de weg afraakt, heeft baat bij een *semiverharde berm*. Deze berm zorgt ervoor dat het voertuig bestuurbaar blijft.

Botsingen met obstakels zijn vermijdbaar door een *obstakelvrije zone* aan te brengen. De breedte ervan is afhankelijk van de geldende snelheidslimiet of van de ontwerpsnelheid.

3.2.2. Kruispunten

De DV-eisen voor kruispunten op gebiedsontsluitingswegen beogen haakse conflicten uit te sluiten, tenzij de voertuigen elkaar met lage snelheid (50 km/uur of lager) kruisen. Ook conflicten tussen voertuigen in tegengestelde richting (bijvoorbeeld links afslaand voertuig en tegemoetkomend voertuig) passen niet bij een duurzaam veilig kruispunt. Op een rotonde komen alleen convergerende en divergerende conflicten voor. Daarom past een rotonde zeer goed in Duurzaam Veilig.

De *enkelstrooksrotonde* is in betrekkelijk korte tijd relatief veel toegepast. Vervanging van een kruispunt door een rotonde resulteert in een forse afname van het aantal letselongevallen (ongeveer 70%).

Een *turborotonde* heeft meer capaciteit dan de enkelstrooksrotonde. Door de extra rijstroken op de rotonde neemt het aantal mogelijke conflicten iets toe. Fortuijn (2005) constateert in een evaluatie dat het veiligheidseffect van een turborotonde desondanks even groot is als van een enkelstrooksrotonde.

3.3. **Gemeenschappelijke kenmerken en 'strijdige' kenmerken**

Een wegennet dat robuust en duurzaam veilig is zou een combinatie van de hiervoor genoemde kenmerken moeten bezitten. Sommige kenmerken van het ene soort wegennet passen soms niet goed bij de andere soort.

3.3.1. *Wegvakken*

De semiverharde berm en de obstakelvrije zone van Duurzaam Veilig zijn toe te passen in een robuust wegennet.

Een fysieke rijrichtingscheiding op wegen met een snelheidslimiet van 80 km/uur is vereist bij Duurzaam Veilig maar zal niet altijd in het huidige of robuuste wegennet aanwezig kunnen zijn.

Aparte rijbanen om doorgaand verkeer te scheiden van afslaand en invoegend verkeer passen bij de DV-eisen.

Een spitsstrook past eigenlijk niet in Duurzaam Veilig omdat automobilisten minder snel op een veilige manier hun voertuig tot stilstand kunnen brengen. Anderzijds zijn er bij spitsstroken vaak op regelmatige afstand pechvoorzieningen aangebracht (refuges) en kan de wegbeheerder via camera-toezicht snel ingrijpen als er onverhoopt een voertuig stilstaat op de spitsstrook.

De wisselstrook past in Duurzaam Veilig als er sprake is van fysieke rijrichtingscheiding door een barrier.

3.3.2. *Kruispunten*

De voorzieningen die de capaciteit verhogen in een robuust wegennet passen in Duurzaam Veilig als er geen extra ongewenste conflicten ontstaan. Dit geldt voor de bypass en de ongelijkvloerse bypass.

Verkeerslichten passen niet in een duurzaam veilig wegennet omdat er ongewenste conflicten op kunnen treden als een regeling niet geheel conflictvrij is (links afslaand verkeer heeft tegelijk groen met tegemoetkomend verkeer) en als verkeersdeelnemers door rood licht rijden.

De rotonde past niet altijd in een robuust wegennet omdat de capaciteit geringer is dan van een kruispunt met verkeerslichten. Combinaties van rotonde en ongelijkvloerse bypasses passen in beide soorten wegennetten.

4. Methode om verandering in kruispuntveiligheid vast te stellen

Een verandering op een kruispunt (type, aantal passerende motorvoertuigen) kan gevolgen hebben voor de verkeersveiligheid. In de *Bijlagen A en B* is zo veel mogelijk relevante kennis over kruispuntveiligheid uiteen gezet. Deze kennis heeft beperkingen: niet alle gewenste (klassen van) variabelen zijn in te vullen. De vraag is nu of het mogelijk is om met deze kennis de effecten op de verkeersveiligheid te schatten ten gevolge van een verandering op een kruispunt. Dit hoofdstuk presenteert een praktische methode.

4.1. Basis van de methode?

Uit *Bijlage A* blijkt dat drie kenmerken bepalend zijn voor de kruispuntveiligheid:

- het kruispunttype;
- het aantal passerende motorvoertuigen: de som van de zijstroom I_z en de hoofdstroom I_h ;
- de verhouding tussen zijstroom en hoofdstroom: I_z/I_h .

Het laatstgenoemde punt geldt vooral voor kruispunten op hoofdwegen buiten de bebouwde kom.

De onveiligheid van kruispunten met verkeerslichten buiten de bebouwde kom is (bij een vergelijkbaar aantal passerende motorvoertuigen) hoog ten opzichte van andere typen. Ongelijkvloerse kruispunttypen zijn een veiliger alternatief.

Ook op verkeersaders in de bebouwde kom is de onveiligheid van kruispunten met verkeerslichten hoog. Deze kruispunten worden vaak toegepast bij aantallen passerende motorvoertuigen die niet verwerkt kunnen worden door reguliere kruispunttypen.

In situaties met veel passerende motorvoertuigen, zowel binnen als buiten de bebouwde kom, lijkt de turbotonde een veilig alternatief voor het kruispunt met verkeerslichten.

Bijlage B bespreekt het belang van conflictpunten voor onveiligheid.

Conflictpunten zijn de locaties waar voertuigen met elkaar in aanraking kunnen komen. Een conflictpunt kan zo zijn vormgegeven dat de rijsnelheid van de voertuigen op dat punt gewoonlijk lager is dan 30 km/uur; een dergelijk punt is hier aangeduid als 'met snelheidsreductie'. Het ongevalsrisico of het aantal ongevallen per kruispunt neemt toe met het aantal conflictpunten (met of zonder snelheidsreductie). De relatie tussen het aantal conflictpunten en de ongevallencijfers is zo sterk dat er een schatting gemaakt kan worden van het verwachte risico op grond van het aantal conflictpunten (met of zonder snelheidsreductie). Dit is dan een risicoschatting voor een situatie waarin het aantal passerende motorvoertuigen niet wijzigt, maar waarin alleen het aantal conflictpunten verandert.

4.2. Kanttekeningen bij de methode

In *Bijlage A* zijn vooral ongevalgegevens gebruikt uit vergelijkende studies. Dat wil zeggen dat bestaande kruispunten onderling zijn vergeleken. De verschillen die daaruit blijken, bijvoorbeeld tussen het ene en het andere kruispunttype, betekenen niet per se dat hetzelfde verschil zal worden gevonden na de ombouw van een individueel kruispunt (van het ene naar het andere type). In de eerste plaats zijn de gevonden verschillen gemiddelden en een individueel kruispunt zal bijna altijd daarvan afwijken. En in de tweede plaats is er alleen vergeleken tussen bestaande situaties op verschillende locaties, en dat is iets anders dan een voor-en-nastudie uitvoeren waarbij de veranderingen op hetzelfde kruispunten worden waargenomen. Niettegenstaande deze bedenkingen zijn de gevonden risico's (*Bijlage A*) hier gebruikt om een schatting te geven van effecten van veranderingen.

Een ander bezwaar is dat sommige studies resultaten laten zien van variabelen die in klassen zijn verdeeld. Daarbij is het altijd de vraag hoe (dis)continu deze variabelen werkelijk verlopen. Om dit bezwaar te ondervangen zijn er ter ondersteuning in *Bijlage A* ook grafieken opgenomen die laten zien hoe deze variabelen verlopen: continu stijgend of dalend, of met duidelijke discontinuïteiten.

Ten slotte is er het bezwaar omtrent 'niet-significante' verschillen tussen klassen van variabelen. In de gevallen dat er statistisch gezien geen verschil kan worden aangetoond (zie *Bijlage A*) is dat vaak omdat het aantal ongevallen te klein is om het verschil aan te tonen. Een groter aantal ongevallen zou wel degelijk een verschil aantonen. Bij de toepassing van deze methode (in *Hoofdstuk 6*) is aangenomen dat er wel degelijk verschillen bestaan tussen de waarden in de gehanteerde klassen. Dit is alleen gedaan om de toepassing van de voorgestelde methode meer te verduidelijken. De toepassing zou bij een groot aantal 'gelijke' waarden voor verschillende klassen minder inzichtelijk worden.

4.3. Hoofdpijnen van de methode

Volgens de *Bijlagen A* en *B* zijn er vier mogelijke veranderingen waarvan een verkeersveiligheidseffect mag worden verwacht:

1. ander kruispunttype;
2. meer of minder passerende motorvoertuigen (I_z+I_h);
3. andere verhouding I_z/I_h ;
4. meer of minder conflictpunten (met of zonder snelheidsreductie).

In sommige gevallen zullen twee of meer soorten veranderingen optreden. In dat geval dient men voor de schatting van de verandering in kruispuntveiligheid de bovengenoemde volgorde aan te houden, en de veranderingen stapsgewijs door te rekenen. De keuze voor deze volgorde is voornamelijk gebaseerd op de manier waarop 'crash prediction models' en vergelijkbare methoden gewoonlijk zijn opgebouwd (Reurings et al., 2006). Voor verschillende kruispunttypen bestaan er aparte modellen, waarna vervolgens het aantal passerende motorvoertuigen een belangrijke variabele is, vaak aangevuld met de verhouding van de intensiteiten op de zijstroom en op de hoofdstroom.

De vierde verandering, het aantal en de aard van de conflictpunten (zie voor uitleg *Paragraaf 4.3.4*), is hier toegevoegd om de risicoschatting te preciseren voor varianten op bestaande kruispunttypen. Dit is het minst zekere deel van de totale schatting. De invloed op de eerdere drie mogelijke veranderingen wordt niet verstoort in de totale schatting maar, desgewenst, zichtbaar als laatste stap toegevoegd.

Voor deze vier soorten veranderingen is in de volgende subparagrafen uiteengezet op welke manier men het effect op de verkeersveiligheid kan schatten.

4.3.1. *Ander kruispunttype*

Bij een verandering van kruispunttype is de ligging binnen of buiten de bebouwde kom bepalend voor de schatting. In *Bijlage A* is uiteengezet welke gegevens zijn gebruikt voor de risicoschattingen. Voor de schatting bij 'verandering van kruispunttype' is gekozen voor de resultaten uit twee studies van Janssen (1992 en 2003), over respectievelijk kruispunten op enkelbaanswegen buiten de bebouwde kom en kruispunten op verkeersaders in de bebouwde kom. In de genoemde studies is voor de indeling van kruispunten buiten de bebouwde kom een andere invalshoek gekozen dan binnen de bebouwde kom. Buiten de bebouwde kom is de verhouding tussen de intensiteit op de zijstroom en op de hoofdstroom van belang geacht, binnen de kom is (alleen) het aantal kruispunttakken als indeling gehanteerd. Deze keuze kwam voort uit zowel de beschikbaarheid van gegevens als de noodzaak om voldoende aantallen ongevallen per 'cel' aan te houden voor statistische toetsing. Het is niet meer mogelijk om andere indelingen te maken, omdat de oorspronkelijke gegevens niet meer te achterhalen zijn.

Tabel 4.1 geeft voor drie kruispunttypen buiten de bebouwde kom het relatieve aantal letselongevallen per kruispunt. Het ongevallencijfer van deze kruispunttypen is tevens afhankelijk van de verhouding I_z/I_h .

Kruispunttype (vier takken)	I_z/I_h			
	0 - 0,1	0,1 - 0,4	0,4 - 0,75	0,75 - 1
Ongelijkvloers	0,24	0,30	0,72	0,28
Gelijkvloers	0,47	0,48	0,92	0,86
Verkeerslichten (VRI)	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabel 4.1. Relatief aantal letselongevallen per kruispunt (t.o.v. het kruispunt met verkeerslichten), voor viertakskruispunten buiten de bebouwde kom, afhankelijk van I_z/I_h (Janssen, 1992).

De relatieve aantallen in *Tabel 4.1* zijn afgeleid uit ongevalgegevens die Janssen (1992) heeft gerapporteerd (en niet in *Bijlage A* zijn opgenomen). *Tabel 4.2* geeft voor vijf kruispunttypen in de bebouwde kom het relatieve aantal letselongevallen per kruispunt. Het aantal kruispunttakken bedraagt drie of vier.

Kruispunttype	Drie takken	Vier takken
Rotonde	--	0,32
Voorrang	0,65	0,38
Verkeerslichten (VRI)	1,00	1,00

Tabel 4.2. *Relatief aantal letselongevallen per kruispunt (t.o.v. het kruispunt met verkeerslichten), voor drie- en viertakskruispunten in de bebouwde kom (Janssen, 2003).*

In zowel *Tabel 4.1* als *Tabel 4.2* is binnen een 'groep' kruispunttypen (met drie of vier takken, in klasse I_z/I_h) het relatieve aantal letselongevallen per kruispunt berekend ten opzichte van een kruispunt met verkeerslichten.

4.3.2. Meer of minder passerende motorvoertuigen (I_z+I_h)

Het aantal passerende motorvoertuigen is een belangrijke factor naast het kruispunttype en de verhouding zijstroom/hoofdstroom. *Tabel 4.3* geeft voor drie intensiteitsklassen de veiligheidscijfers (relatieve aantallen letselongevallen) voor kruispunten in de bebouwde kom, *Tabel 4.4* voor vier intensiteitsklassen buiten de kom. In beide tabellen is per kruispunttype de relatief onveiligste intensiteitsklasse op de waarde 1,00 gesteld. Alleen een vergelijking van waarden die binnen één kruispunttype onder elkaar staan is relevant.

Kruispunttype	Intensiteitsklasse (I_z+I_h) [mvt/etmaal]	Drie takken	Vier takken
Rotonde	< 10.000	--	0,23
	10.000 - 20.000	--	0,78
	>20.000	--	1,00
Voorrang	< 10.000	0,60	0,70
	10.000 - 20.000	1,00	1,00
	>20.000	--	--
Verkeerslichten (VRI)	< 10.000	0,82	0,43
	10.000 - 20.000	0,63	0,62
	>20.000	1,00	1,00

Tabel 4.3. *Relatief aantal letselongevallen per kruispunt (t.o.v. de intensiteitsklasse met het hoogste risico), voor drie- en viertakskruispunten in de bebouwde kom (Janssen, 2003).*

Kruispunttype (vier takken)	Intensiteitsklasse (I_z+I_h) [mvt/etmaal]	I_z/I_h			
		0 - 0,1	0,1 - 0,4	0,4 - 0,75	0,75 - 1
Ongelijkvloers	< 6.000	--	0,06	--	--
	6.000 - 11.000	(1,00)	--	--	--
	11.000 - 13.000	--	1,00	--	--
	> 13.000	--	--	(1,00)	(1,00)
Gelijkvloers met voorrangsregeling	< 6.000	0,49	0,43	0,74	--
	6.000 - 11.000	1,00	1,00	--	(1,00)
	11.000 - 13.000	--	--	1,00	--
	> 13.000	--	--	--	--
Gelijkvloers met VRI	< 6.000	--	--	--	--
	6.000 - 11.000	--	--	--	--
	11.000 - 13.000	(1,00)	1,00	0,57	--
	> 13.000	--	0,77	1,00	(1,00)

Tabel 4.4. *Relatief aantal letselongevallen per kruispunt (t.o.v. de intensiteitsklasse met het hoogste risico) voor viertakskruispunten buiten de bebouwde kom, uitgesplitst naar de verhouding I_z/I_h (Janssen, 1992).*

Deze indeling in klassen betekent dat het moeilijk is om veranderingen in veiligheid te schatten voor kleine veranderingen in de intensiteit. Indien gewenst kan men terugrijpen op de afbeeldingen in *Bijlage A* waarin het relatief aantal ongevallen is afgezet tegen het aantal passerende motorvoertuigen.

4.3.3. *Andere verhouding I_z/I_h*

Gegevens over de veiligheid in de verschillende klassen van I_z/I_h zijn alleen voor buiten de bebouwde kom beschikbaar. *Tabel 4.5* geeft binnen drie kruispunttypen het relatieve aantal ongevallen per kruispunt voor de verschillende klassen van I_z/I_h . Deze informatie is overigens lang niet voor alle klassen beschikbaar. Dat heeft vaak te maken met de toepasbaarheid van de verschillende kruispunttypen in een klasse.

Per kruispunttype is de relatief hoogste risicowaarde binnen een intensiteitsklasse op 1,00 gesteld. Alleen een vergelijking van waarden die binnen één kruispunttype onder elkaar staan is relevant. Bijvoorbeeld bij het type 'Gelijkvloers met VRI' mag men in de klasse 11.000 tot 13.000 de waarden 0,67, 0,94 en 1,00 onderling vergelijken.

Kruispunttype (vier takken)	I_z/I_h	Intensiteitsklasse (I_z+I_h) [mvt/etmaal]			
		< 6.000	6.000 - 11.000	11.000 - 13.000	> 13.000
Ongelijkvloers	0,0 - 0,1	--	(1,00)	--	--
	0,1 - 0,4	(1,00)	--	(1,00)	--
	0,4 - 0,75	--	--	--	1,00
	0,75 - 1,0	--	--	--	0,40
Gelijkvloers met voorrangsregeling	0,0 - 0,1	0,21	0,37	--	--
	0,1 - 0,4	0,25	0,52	--	--
	0,4 - 0,75	1,00	--	(1,00)	--
	0,75 - 1,0	--	1,00	--	--
Gelijkvloers met VRI	0,0 - 0,1	--	--	0,67	--
	0,1 - 0,4	--	--	1,00	0,47
	0,4 - 0,75	--	--	0,94	1,00
	0,75 - 1,0	--	--	--	0,80

Tabel 4.5. Relatief aantal letselongevallen per kruispunt (t.o.v. de klasse van I_z/I_h met het hoogste risico), voor viertakskruispunten buiten de bebouwde kom, uitgesplitst naar intensiteitsklasse (Janssen, 1992).

4.3.4. Meer of minder conflictpunten (met of zonder snelheidsreductie)

In *Bijlage B* is duidelijk gemaakt dat er een kwantitatieve relatie bestaat tussen het aantal conflictpunten en het risico. In *Tabel 4.6* zijn de risicocijfers vermeld die het sterkst gerelateerd zijn aan het aantal conflictpunten zonder snelheidsreductie. De risicocijfers uit *Tabel 4.6* zijn ook gebruikt bij het samenstellen van *Afbeelding B.3 (Bijlage B)*.

Kruispunttype	Aantal conflicten		Relatief zonder snelheidsreductie	Risico (Ogden, 1996)	Risico (Janssen, 2003)
	Totaal	Zonder snelheidsreductie			
Rotonde	4	0	0	0,31	0,64
Drietaks	6	2	0,50	0,63	0,82
Viertaks	24	4	1,00	1,00	1,00

Tabel 4.6. Aantal conflictpunten per kruispunttype, alsmede het (relatief) aantal conflictpunten zonder snelheidsreductie en het relatief letselongevalsrisico t.o.v. een viertakskruispunt (Ogden, 1996 en Janssen, 2003).

4.4. Voorbeelden van een (theoretische) toepassing

De voorgestelde methode passen we hier toe op enkele theoretische voorbeelden. Van een huidige en toekomstige situatie geven we een beperkt aantal kenmerken. Met deze kenmerken lopen we het lijstje van vier mogelijke veranderingen uit *Paragraaf 4.3* af. Ten slotte volgt een schatting van de procentuele verandering in het aantal letselongevallen.

4.4.1. Voorbeeld 1

Huidige situatie:

- bebouwde kom;
- viertakskruispunt met verkeerslichten;
- $I_z/I_h = 0,5$;
- $I_z+I_h = 25.000$ mvt/etmaal.

Nieuwe situatie:

- bebouwde kom;
- turborotonde;
- $I_z/I_h = 0,5$;
- $I_z+I_h = 20.000$ mvt/etmaal.

Volgens *Paragraaf 4.3* is de gewenste volgorde van analyse:

1. ander kruispunttype;
2. meer of minder passerende motorvoertuigen (I_z+I_h);
3. andere verhouding I_z/I_h ;
4. meer of minder conflictpunten (met of zonder snelheidsreductie).

Het kruispunttype verandert van viertakskruispunt met verkeerslichten in een turborotonde. Aangezien volgens Fortuijn (2005) het netto veiligheidseffect van een turborotonde even groot is als van een enkelstrooksrotonde, gaat het veiligheidsniveau door deze verandering van 1,0 naar 0,32 (zie *Tabel 4.2*).

Tevens verandert de etmaalintensiteit, maar het niveau blijft binnen dezelfde intensiteitsklasse. De verhouding I_z/I_h verandert niet. Het aantal conflictpunten is verminderd, maar dat is een vermindering die in de verandering van kruispunttype is inbegrepen. Alleen varianten op één kruispunttype komen in deze vierde stap aan bod.

Het veiligheidsniveau verbetert dus met $\{(1,0 - 0,32)/1,0\} \times 100\% = 68\%$.

4.4.2. Voorbeeld 2

Huidige situatie:

- buiten bebouwde kom;
- viertakskruispunt met voorrangregeling;
- $I_z/I_h = 0,25$;
- $I_z+I_h = 10.000$ mvt/etmaal.

Nieuwe situatie:

- buiten bebouwde kom;
- viertakskruispunt met verkeerslichten;
- $I_z/I_h = 0,5$;
- $I_z+I_h = 20.000$ mvt/etmaal.

Volgens de gewenste volgorde in *Paragraaf 4.3* gaat de analyse als volgt. Het kruispunttype gaat veranderen. Volgens *Tabel 4.1* is het relatief aantal ongevallen in de huidige situatie 0,48. Dat gaat in de nieuwe situatie naar 1,0. Het aantal passerende motorvoertuigen verdubbelt, volgens *Tabel 4.4* (VRI, I_z/I_h in de huidige situatie tussen 0,1 en 0,4) gaat het relatief aantal ongevallen van 1,0 naar 0,77. Ten slotte gaat de verhouding van de

zijstroom en hoofdstroom van 0,25 naar 0,5. *Tabel 4.5* laat zien dat hierdoor bij VRI het relatief aantal ongevallen van 0,47 naar 1,0 gaat.

De vierde stap is hier niet nodig omdat er een regulier aangepast kruispunttype is gekozen.

In totaal is het effect:

$(1,0 / 0,48) \times (0,77 / 1,0) \times (1 / 0,47) = 3,41$ (t.o.v. 1,0 in de voorsituatie).

Het aantal ongevallen gaat omhoog met $\{(3,41-1,0) / 1,0\} \times 100\% = 241\%$.

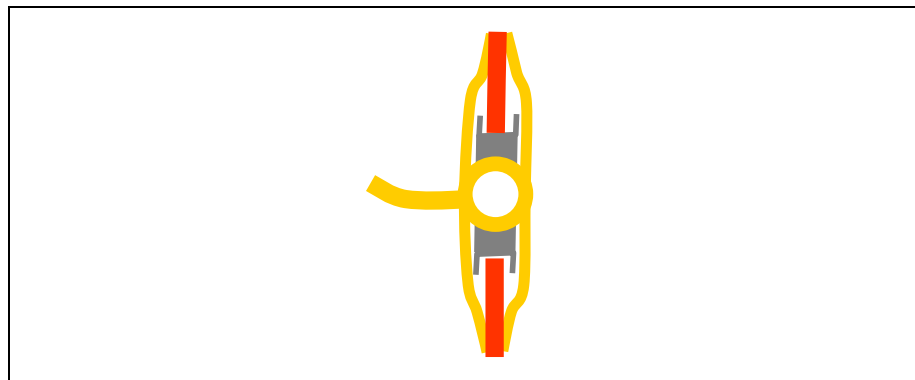
4.4.3. Voorbeeld 3

Huidige situatie:

- buiten bebouwde kom;
- drietakskruispunt met verkeerslichten;
- $I_z/I_h = 0,25$;
- $I_z+I_h = 25.000$ mvt/etmaal.

Nieuwe situatie:

- buiten bebouwde kom;
- kruispunttype zoals in *Afbeelding 4.1* is te zien;
- $I_z/I_h = 0,25$;
- $I_z+I_h = 30.000$ mvt/etmaal.



Afbeelding 4.1. Kruispunttype Rotonde met onderdoorgang

In beginsel functioneert het voorgestelde kruispunttype als rotonde, waarbij de hoofdstroom via de onderdoorgang gaat en dus niet direct conflicteert met de zijstroom. Er vindt wel divergeren en convergeren plaats, ver vóór en na de rotonde en de onderdoorgang.

Een drietakskruispunt met verkeerslichten vervangen door kruispunt met voorangsregeling geeft volgens *Tabel 4.2* binnen de bebouwde kom een verandering in het relatief aantal ongevallen van 1,00 naar 0,65. Over drietaksrotondes buiten de bebouwde kom is weinig bekend. Ongetwijfeld zal zo'n rotonde veiliger zijn dan een kruispunt met voorangsregeling. Er is een stijging van het aantal passerende motorvoertuigen voorzien. De voor- en de nasituatie bevinden zich in de hoogste intensiteitsklasse. Dit is schijn omdat in de nieuwe situatie de volledige hoofdstroom ($0,75 \times 30.000 = 22.500$ voertuigen) het kruispunt 'mijdt' en de onderdoorgang neemt. Op de rotonde resteren 7.500 passerende voertuigen. Daardoor neemt het relatief aantal ongevallen af van 0,35 naar 0,15 (*Afbeelding A.11* in *Bijlage A*). De verhouding van zij- en hoofdstroom blijft gelijk.

Het aantal conflictpunten van het voorgestelde kruispunttype is minder dan bij een reguliere rotonde. *Tabel 4.6* maakt duidelijk dat een viertaksrotonde vier conflictpunten heeft. De hier voorgestelde rotonde heeft er drie, zowel voor als na de verandering. Deze variant is op dit aspect niet beter.

De geschatte verandering is: $(0,65 / 1,0) \times (0,15 / 0,35) = 0,28$. De daling in het aantal ongevallen op dit kruispunt is naar schatting dus 72%.

4.4.4. Voorbeeld 4

Huidige situatie:

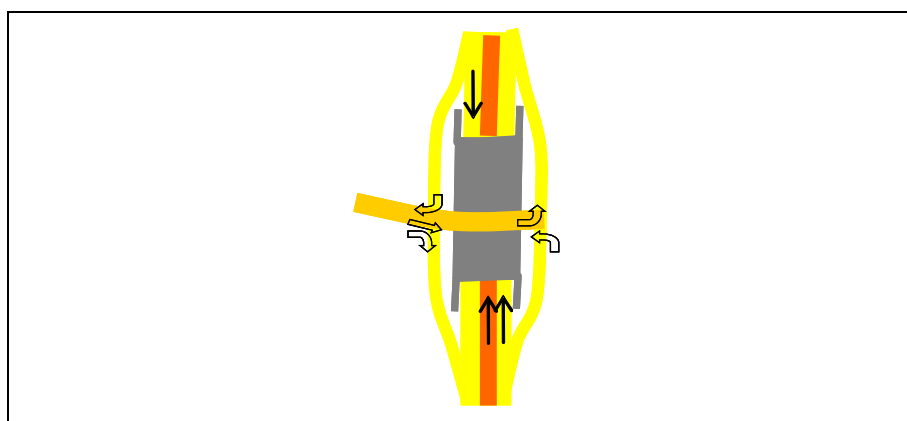
- buiten bebouwde kom;
- drietakskruispunt met verkeerslichten;
- $I_z/I_h = 0,25$;
- $I_z+I_h = 25.000$ mvt/etmaal.

Nieuwe situatie:

- buiten bebouwde kom;
- kruispunttype zoals in *Afbeelding 4.2* is te zien;
- $I_z/I_h = 0,25$;
- $I_z+I_h = 30.000$ mvt/etmaal.

De voorgestelde nieuwe situatie betreft een drietakskruispunt met voorangsregeling en onderdoorgang. Deze situatie is nagenoeg gelijk aan de situatie in *Paragraaf 4.4.3*. Want op de conflictpunten buigen alle verkeersstromen (de open pijlen in *Afbeelding 4.2*) af. Hierdoor is er een snelheidsreductie die vergelijkbaar is met die op een rotonde. De extra rijstrook voor het rechtdoor gaande verkeer geeft geen extra kruisende conflicten.

De overige wijzigingen zijn zoals in *Paragraaf 4.4.3*. De verwachte verandering van het aantal ongevallen is eveneens -72% .



Afbeelding 4.2. Kruispunttype Drietakskruispunt met voorangsregeling, met onderdoorgang en met extra rijstrook op de hoofdrichting.

4.4.5. Voorbeeld 5

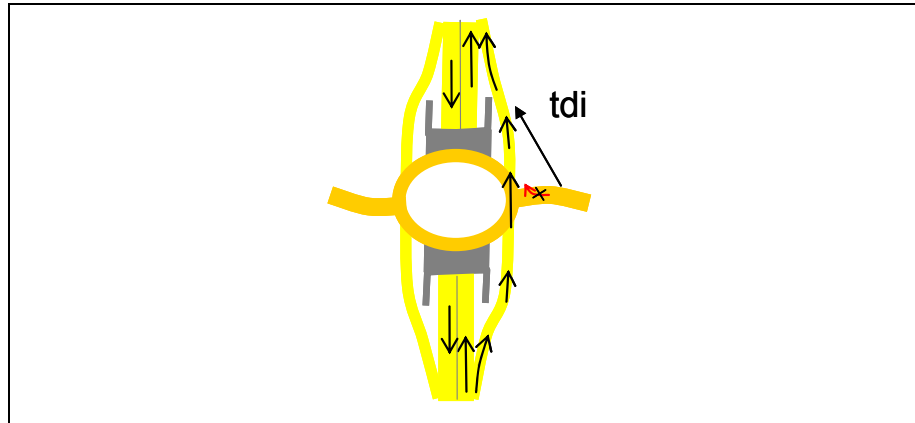
Huidige situatie:

- buiten bebouwde kom;
- viertakskruispunt met verkeerslichten;

- $l_z/l_h = 0,25$;
- $l_z+l_h = 25.000$ mvt/etmaal.

Nieuwe situatie:

- buiten bebouwde kom;
- kruispunttype zoals in *Afbeelding 4.3* is te zien;
- $l_z/l_h = 0,25$;
- $l_z+l_h = 25.000$ mvt/etmaal.



Afbeelding 4.3. Kruispunttype Rotonde met onderdoorgang en met toeritdoseerinstallatie (TDI).

Op dit aangepaste kruispunttype vindt buffering plaats van de zijstroom, terwijl de hoofdstroom gedeeltelijk gebruikmaakt van de af- en oprit. Het relatief aantal ongevallen op een viertaksrotonde bedraagt, volgens *Tabel 4.2*, 0,32 t.o.v. een viertakskruispunt met verkeerslichten. Dit cijfer geldt weliswaar voor de bebouwde kom maar Fortuijn (2005) vond een nagenoeg zelfde verhouding op rotondes en kruispunten buiten de bebouwde kom.

Het aantal en de aard van de conflictpunten op deze rotonde is anders dan gewoonlijk. De onderdoorgang zal het aantal conflicten sterk doen verminderen. Een deel van de hoofdstroom gebruikt echter de af- en oprit, en passeert dus de rotonde. We nemen aan dat 40% van de hoofdstroom via de rotonde gaat: $0,4 \times 0,75 \times 25.000 = 7.500$ voertuigen. Samen met de 6.250 voertuigen van de zijstroom passeren 13.750 voertuigen de rotonde. Het relatief aantal letselongevallen is dan (*Bijlage A, Afbeelding A.11*) niet 0,32 (bij 25.000 motorvoertuigen) maar 0,23.

De verhouding tussen hoofd- en zijstroom blijven ongewijzigd.

De toeritdoseerinstallatie op een zijtak geeft geen verandering in het aantal en de aard van de conflicten. We nemen aan dat dit geen effect heeft op het aantal ongevallen.

De geschatte verandering bedraagt dan: $(0,32 / 1,0) \times (0,23 / 0,32) = 0,23$. Dat is een daling van 77%.

5. Methode om verandering in wegvakveiligheid vast te stellen

Elk wegvaktype heeft een karakteristiek aantal ongevallen per motorvoertuigkilometer. In de 'klassieke' kencijfers voor wegen (Janssen, 1988) zijn wegtypen gehanteerd waarin de ongevallen op wegvakken en op de bijbehorende kruispunten zijn samengenomen. In dit rapport is echter gekozen voor een aparte behandeling van kruispunt- en wegvakveiligheid. De wegvakveiligheid zullen we afleiden van de (bekende) kencijfers voor wegtypen.

5.1. Wegvakveiligheid afgeleid van kencijfers voor wegen

Janssen (2002) heeft voor de wegtypen met klassieke kencijfers een onderverdeling gemaakt in wegvak- en kruispuntongevallen. In *Tabel 5.1* is deze onderverdeling gegeven voor wegtypen die in dit rapport relevant kunnen zijn.

Wegtypen	Gebruikelijke snelheidslimiet	Aandeel (in %) van het aantal ongevallen op	
		Wegvakken	Kruispunten
<i>Buiten de bebouwde kom</i>			
Autosnelweg	100 of 120	81	19
Autoweg met dubbele hoofdrijbaan	100	38	62
Autoweg met enkele hoofdrijbaan	100	56	44
Weg met geslotenverklaring en dubbele hoofdrijbaan	80	60	40
Weg met geslotenverklaring en enkele hoofdrijbaan	80	61	39
<i>Binnen de bebouwde kom</i>			
Weg met geslotenverklaring en dubbele hoofdrijbaan	50	25	75
Weg met geslotenverklaring en enkele hoofdrijbaan	50	48	52

Tabel 5.1. *Aandeel (in %) van het aantal ongevallen op wegvakken en op kruispunten voor enkele bekende wegtypen, naar Janssen (2002).*

Vervolgens is deze procentuele verdeling gebruikt om voor elk wegtype op zowel wegvakken als kruispunten het aantal ongevallen per motorvoertuigkilometer (ongevalsrisico) te bepalen. Het ongevalsrisico per wegtype (som van wegvakken en kruispunten) is afkomstig van Janssen (2002): zie *Tabel 5.2*.

Wegtypen	Aantal ongevallen per miljard motorvoertuigkilometer		
	Wegvakken	Kruispunten	Som van wegvak en kruispunt
<i>Buiten bebouwde kom</i>			
Autosnelweg	33,5	7,9	41,4
Autoweg met dubbele hoofdrijbaan	35,8	58,4	94,3
Autoweg met enkele hoofdrijbaan	37,9	29,8	67,7
Weg met geslotenverklaring en dubbele hoofdrijbaan	82,3	54,8	137,1
Weg met geslotenverklaring en enkele hoofdrijbaan	99,5	63,6	163,2
<i>Binnen de bebouwde kom</i>			
Weg met geslotenverklaring en dubbele hoofdrijbaan	68,1	204,4	272,5
Weg met geslotenverklaring en enkele hoofdrijbaan	162,3	175,8	338,1

Tabel 5.2. *Risico (aantal ongevallen per miljard motorvoertuigkilometer) op wegvakken en kruispunten van enkele bekende wegtypen (bewerking van Janssen, 2002).*

Evenals bij de kruispuntveiligheid zal er bij wegvakken met een relatieve veiligheid worden gewerkt. In dit rapport zijn wegen met een geslotenverklaring en dubbele hoofdrijbaan gekozen als referentie (zie *Paragraaf 5.2*). De wegvakveiligheid is uitgedrukt ten opzichte van dit wegtype. In *Tabel 5.3* zijn de uitkomsten vermeld.

Wegtypen	Relatief aantal ongevallen per miljard motorvoertuigkilometer		
	Wegvakken	Kruispunten	Som van wegvak en kruispunt
<i>Buiten bebouwde kom</i>			
Autosnelweg	0,41	0,14	0,30
Autoweg met dubbele hoofdrijbaan	0,44	1,07	0,69
Autoweg met enkele hoofdrijbaan	0,46	0,54	0,49
Weg met geslotenverklaring en dubbele hoofdrijbaan	1,00	1,00	1,00
Weg met geslotenverklaring en enkele hoofdrijbaan	1,21	1,16	1,19
<i>Binnen de bebouwde kom</i>			
Weg met geslotenverklaring en dubbele hoofdrijbaan	0,83	3,73	1,99
Weg met geslotenverklaring en enkele hoofdrijbaan	1,97	3,21	2,47

Tabel 5.3. *Relatief ongevalennisico (t.o.v. weg met geslotenverklaring en dubbele hoofdrijbaan) op wegvakken en kruispunten van enkele bekende wegtypen.*

5.2. Bepaling van de relatieve veiligheid van wegvakken op nieuwe wegtypen

In dit rapport zijn drie wegvaktypen van belang: een wegvaktype dat als referentie of uitgangssituatie geldt, een duurzaam veilig wegvaktype en een robuust type.

Als referentie is gekozen voor een wegvak met twee hoofdrijbanen en twee rijstroken per rijbaan. Op het wegvak geldt een snelheidslimiet van 80 km/uur. De referentie lijkt hierdoor veel op het wegtype met een geslotenverklaring en dubbele hoofdrijbaan. De kenmerken van de andere wegvaktypen zijn:

Duurzaam veilig wegvaktype: 2x1

- limiet is 80 km/uur;
- twee gescheiden rijbanen;
- één rijstrook per rijbaan;
- fysieke scheiding tussen de rijbanen;
- obstakelvrije zone volgens *Handboek Wegontwerp* (CROW, 2002).

Robuust wegvaktype 2x1 + 1

- limiet is 80 km/uur;
- gescheiden rijrichtingen;
- één vaste rijstrook per rijrichting;
- een extra rijstrook voor de drukste richting;
- fysieke scheiding tussen de rijrichtingen (verplaatsbare barri er o.i.d.);
- obstakelvrije zone volgens *Handboek Wegontwerp* (CROW, 2002).

De relatieve wegvakveiligheid van de wegvaktypen '2x1' en '2x1 + 1' is bepaald ten opzichte van het wegvaktype met een geslotenverklaring en dubbele hoofdrijbaan. Schoon (2000) heeft het effect geschat van wegvak- en kruispuntmaatregelen. Voor het wegvaktype '2x1' bedraagt het reductiepercentage 39. Dit omvat alle DV-maatregelen op dit wegvaktype. Voor het wegvaktype '2x1 + 1' nemen we aan dat de maatregelen voor beheersing van rij snelheden niet goed werken omdat er meer dan één rijstrook per richting is. Daardoor is het reductiepercentage iets lager. Janssen (2002) laat zien dat het aandeel van de wegvakongevallen op wegtypen met twee rijstroken per richting, 26% bedraagt. We nemen hier aan dat op wegen met een slechts een rijstrook per richting dit aandeel nihil is. In dat geval is het relatief aantal ongevallen bij '2x1' 26% lager dan bij '2x1 + 1'. Ten opzichte van het referentiewegvak zijn de relatieve risico's van de wegvaktypen zoals vermeld in *Tabel 5.4*.

Wegtypen buiten bebouwde kom	Wegvakken: relatief aantal ongevallen per miljoen motorvoertuigkilometer
Duurzaam Veilig (2x1)	0,61
Robuust (2x1 + 1)	0,74
Weg met geslotenverklaring en dubbele hoofdrijbaan	1,00

Tabel 5.4. *Relatief aantal ongevallen per motorvoertuigkilometer (t.o.v. weg met geslotenverklaring en dubbele hoofdrijbaan) op wegvakken van duurzaam veilige en robuuste wegtypen.*

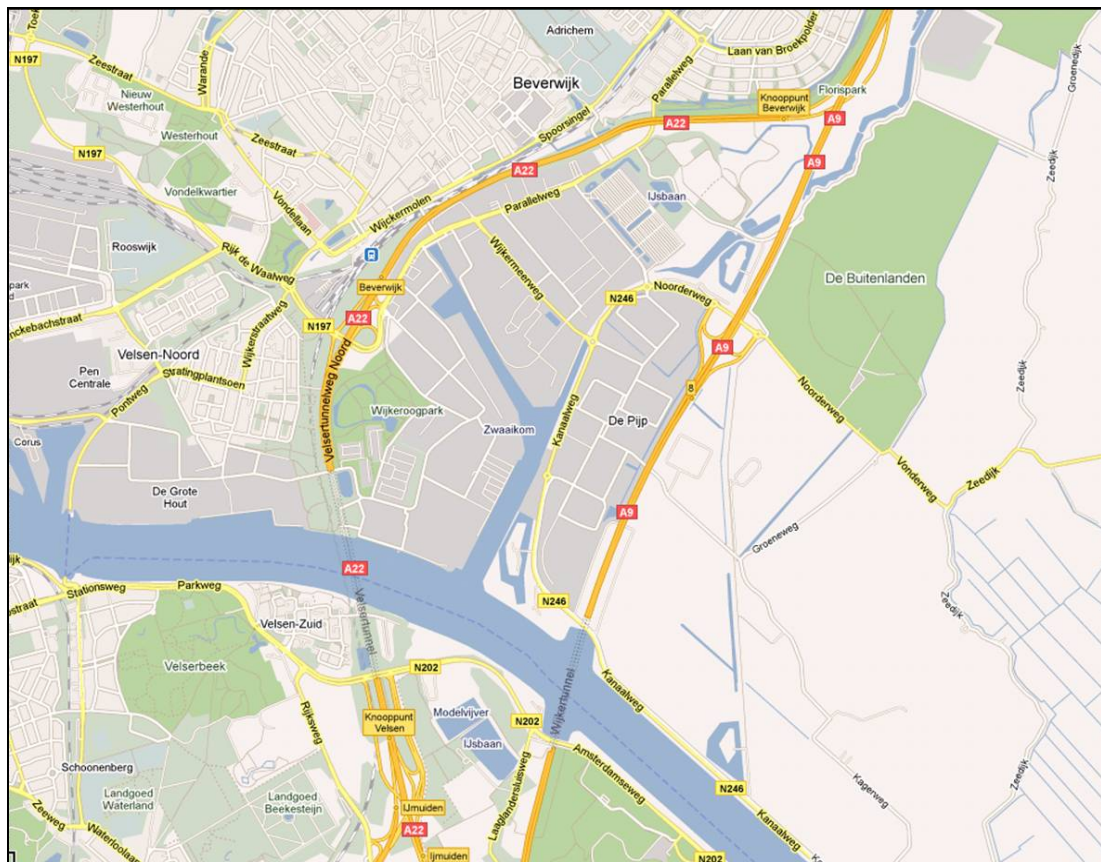
Evenals in *Hoofdstuk 4* is er het bezwaar omtrent het verschil tussen klassen: zijn de verschillen tussen de waarden per wegtype (in dit geval 0,61, 0,74 en 1,00) statistisch significant? Als er bij dit soort cijfers statistisch gezien geen verschil zou kunnen worden aangetoond is dat vaak omdat het aantal ongevallen te klein is om het verschil aan te tonen. Een groter aantal ongevallen zou wel degelijk een verschil aantonen. Bij de toepassing in *Hoofdstuk 6* is aangenomen dat er wel degelijk verschillen bestaan tussen de waarden in de gehanteerde klassen. Dit is alleen gedaan om de toepassing van de voorgestelde methode meer te verduidelijken. De toepassing zou bij een groot aantal 'gelijke' waarden voor verschillende klassen minder inzichtelijk worden.

6. De uitgevoerde pilotstudie: het gebied rondom de Velsers- en Wijkertunnel

6.1. Beschrijving van de situatie

6.1.1. Huidige situatie

De Wijkertunnel werd in 1996 geopend als aanvulling op de Velsertunnel. De weg via de Wijkertunnel duidt men aan als rijksweg A9 en het gedeelte door de Velsertunnel als A22; zie *Afbeelding 6.1*. De A22 is een stuk snelweg dat in 1957 voltooid is. De A9 heeft van de A22 de interregionale stroomfunctie overgenomen. De A22 wordt nu vooral gebruikt voor regionale verplaatsingen, loopt langs Velsen-Noord en snijdt door Beverwijk heen. Hierdoor is de directe verbinding tussen Beverwijk en bedrijventerrein De Pijp bijna geheel verdwenen. De A22 is over de gehele route 2x2-strooks en heeft één afrit ter hoogte van de Velsertaverse. Deze ene afrit voor zowel Beverwijk als Velsen en Wijk aan Zee is eigenlijk niet voldoende om het verkeer af te wikkelen. Daarom is een extra aansluiting op de A22 ontworpen als een half klaverblad. Door de beperkte ruimte tussen de aansluiting en de tunnel is dit ontwerp echter nooit tot uitvoering gekomen. Op dit moment zijn er drie doorgangen onder de A22 en vindt er veel verkeersuitwisseling plaats via deze onderdoorgangen.

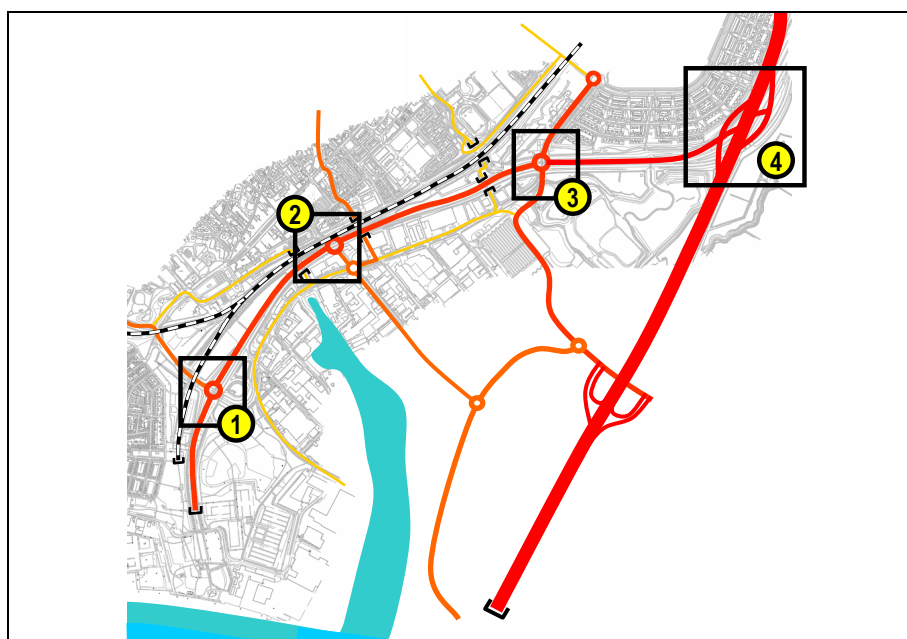


Afbeelding 6.1. Onderzoeksgebied met A9 en A22.

Om de doorstroming op het wegennet te vergroten zou de regio moeten kiezen tussen uitbreiden van de A22 met aansluitingen conform de systematiek van snelwegen (maar dat is niet logisch vanwege het grote aandeel regionaal verkeer), of downgraden van de A22 tot regionale route met meer aansluitingen. Het is nog niet erg gebruikelijk om een bestaande snelweg te downgraden en dit zal dan ook goed moeten worden beargumenteerd. Een weg die is gedowngraded kan de doorstroming bevorderen. Dit voordeel zal moeten worden afgewogen tegen het mogelijke nadeel van minder veiligheid.

6.1.2. Downgraden van het wegennet

In deze pilotstudie zullen de doorstroming en veiligheid in dit gebied worden vergeleken voor een robuust en een duurzaam veilig wegennet. In beide typen wegennetten zal de A22 een regionale route zijn. De modelberekeningen voor een robuust respectievelijk duurzaam veilig wegennet zijn daarom gedaan ten opzichte van een *fictief aangepaste* huidige situatie, waarin de A22 reeds is gedowngraded. Het downgraden van de A22 gaat gepaard met een andere vormgeving van deze weg; in *Afbeelding 6.2* is een mogelijke aanpassing getoond. De A22 is daarbij vervangen door twee ver uit elkaar gelegen rijbanen met elk twee rijstroken. Door de extra ruimte tussen de rijbanen biedt deze oplossing de mogelijkheid om nieuwe gelijkvloerse aansluitingen te maken. Deze aansluitingen zullen worden geregeld met verkeerslichten. De vraag is uiteraard wat deze aansluitingen betekenen voor het dwarsprofiel en het snelheidsregime op de wegvakken, maar vooral is het de vraag hoe de kruispunten vormgegeven kunnen worden. De intensiteiten blijven namelijk erg hoog, zeker wanneer er een incident is op de parallelle rijksweg A9. In beginsel eist Rijkswaterstaat dat het verkeer op een rijksweg moet blijven stromen. Vanuit het belang van Rijkswaterstaat redenerend kan deze aanpassing van de A22 robuustheid bieden door bij incidenten de verkeerslichten zo te regelen dat de doorgaande richting een hogere capaciteit krijgt.



Afbeelding 6.2. Aanpassing van de huidige situatie van de A22 tot regionale route, met twee gelijkvloerse kruispunten (genummerd als 2 en 3).

6.2. Varianten en modelberekeningen

De hiervoor geschetste *fictieve* aanpassing van de huidige situatie is als basisvariant, dat wil zeggen als referentie, voor de modelberekeningen genomen. Alle andere varianten zijn hiervan afgeleid en betreffen eveneens fictieve situaties. Er zijn geen berekeningen uitgevoerd voor de huidige situatie waarin de A22 een autosnelweg is met ongelijkvloerse kruisingen en aansluitingen.

6.2.1. Basisvariant

In de fictieve basisvariant heeft de A22 wegvakken met een dwarsprofiel bestaande uit twee rijstroken per rijrichting. De ingestelde snelheidslimiet is 70 km/uur. De kruispunten 2 en 3 (zie *Afbeelding 6.2*) zijn viertakskruispunten en hebben verkeersregelinstallaties. Kruispunt 1 blijft ongewijzigd dus een ongelijkvloerse kruising. In de andere varianten is kruispunt 1 ook niet aangepast. In de basisvariant kruisen fietsers de A22 uitsluitend ongelijkvloers via tunnels.

6.2.2. Varianten Robuust

Er zijn twee varianten van aanpassing naar een robuust wegennet door-gerekend. Daarin zijn de kruispunten 2 en 3 beide uitgevoerd als tweestrooksrotonde met een onderdoorgang voor de hoofdstroom. Kruispunt 1 blijft ongelijkvloers. Op kruispunt 2 en 3 kruisen fietsers de A22 gelijkvloers via de rotonde, op kruispunt 1 via een tunnel. De wegvakken van de A22 tussen kruispunt 1 en knooppunt 4 hebben een dwarsprofiel met één rijstrook per richting. In bijzondere omstandigheden, bijvoorbeeld een incident, is een extra rijstrook beschikbaar voor de drukste rijrichting: '2x1 + 1'. Op géén van de wegvakken is langzaam verkeer toegestaan. De twee varianten van een robuust wegennet zijn:

1. een normale ochtendspits van 7.00 tot 9.00 uur;
2. een situatie met een incident in de Wijkertunnel (A9) tijdens de ochtendspits van 7.00 tot 9.00 uur. Tijdens dit incident kan verkeer in beide richtingen slechts van één tunnelbuis gebruikmaken. In deze variant is ook het effect van toeritdoseerinstallaties (TDI's) nagegaan die het verkeer reguleren dat zich op de kruispunten 2 en 3 bij de hoofdstroom wil voegen.

6.2.3. Varianten Duurzaam Veilig

Ook voor de aanpassing naar een duurzaam veilig wegennet zijn er twee varianten door-gerekend: met en zonder incident in de Wijkertunnel. In deze Duurzaam Veilig-varianten hebben de wegvakken van de A22 tussen kruispunt 1 en knooppunt 4 een dwarsprofiel met één rijstrook per richting: '2x1'. Bij een incident is er extra capaciteit beschikbaar op het onderliggende (parallele) wegennet.

De kruispunten 2 en 3 zijn als turborotonde uitgevoerd met bypasses voor alle rechts afslaande richtingen. Kruispunt 1 is niet gewijzigd, dat wil zeggen ongelijkvloers gebleven. Fietsers kruisen de A22 op alle kruispunten ongelijkvloers via tunnels. In deze Duurzaam Veilig-varianten is voor lokaal en regionaal verkeer de capaciteit verhoogd op de wegen die parallel lopen aan de A22. Ook op deze wegvakken is langzaam verkeer niet toegestaan.

6.3. Aanpak van de berekeningen

Een belangrijke bron van informatie bij deze casus is het herkomst- en bestemmingspatroon. Uit de beschikbare gegevens hierover blijkt hoeveel doorgaand verkeer er is en wat de belangrijkste bestemmingen zijn in het studiegebied. Op basis daarvan is de categorisering volgens Duurzaam Veilig met bijbehorende vormgeving onderbouwd, en daarmee het nieuwe netwerk zoals in *Afbeelding 6.2*, met deels nog onbekende vormgeving en risicocijfers. We hebben de analyses met deze informatie over herkomst- bestemmingspatronen gebruikt uit een statisch verkeersmodel, die al eerder (buiten dit project) in het kader van dit vraagstuk zijn gedaan. Daarna zijn in een iteratief proces vormgeving en gebruik van het netwerk geoptimaliseerd. Dat wil zeggen, de capaciteit is via de vormgeving afgestemd op de verkeersvraag. Dit is gedaan voor zowel de duurzaam veilige variant als de variant voor een robuust wegennet.

Rol van een verkeersmodel

Veranderingen in het routekeuzegedrag leiden niet alleen tot andere wegvakintensiteiten, maar ook tot een andere verdeling van regionaal en doorgaand verkeer op wegvakken. De verdeling van het verkeer over het wegennet is in elk van de genoemde varianten anders. Het is nauwelijks mogelijk die veranderingen 'uit het hoofd' te bepalen. Een verkeersmodel is het gebruikelijke instrument hiervoor. Met een dergelijk model kan men de verdeling van doorgaand en regionaal verkeer over de wegvakken zichtbaar maken. Het model houdt rekening met rijnsnelheden en vertragingen op de wegvakken.

Waarom een dynamisch verkeersmodel?

Er zijn statische en dynamische verkeersmodellen. In deze studie is een dynamisch model gebruikt. Bij statische verkeersmodellen wordt gebruikgemaakt van de waarneming dat de rijnsnelheid afneemt naarmate de intensiteit de beschikbare capaciteit benadert. Daarmee neemt een statisch model voor lief dat er soms meer verkeer op een wegvak wordt toegelaten dan de capaciteit. Een dynamisch model doet dat niet. Als gedurende de simulatie de capaciteit wordt benaderd, wordt nieuw verkeer 'tegengehouden'. Dit verkeer gaat op zoek naar alternatieve routes. Als die er niet zijn, loopt het wegennet vol met wachtend verkeer (files). Belangrijk voor een juiste routekeuze is dat niet alleen rekening wordt gehouden met de capaciteit van wegvakken, maar ook (en vooral) met de capaciteit van kruispunten (bij voorkeur van elke rijrichting).

Een dynamisch model kan dus 'spelen' met kruispuntvormen. Die eigenschap is in het kader van dit project essentieel; denk aan bypasses voor rechts afslaand verkeer of een onderdoorgang voor rechtdoor gaand verkeer (ongelijkvloerse kruising van een rotonde). Ook zijn effecten te berekenen van veranderingen in routekeuze door toeritdosering.

Veiligheidsberekening

De uitkomsten van het gebruikt verkeersmodel bestaan uit verkeersintensiteiten per wegvak. Vervolgens wordt de onveiligheid van een wegvak bepaald door deze intensiteit te vermenigvuldigen met het (relatieve) risicocijfer dat voor dat wegvak geldt.

6.4. Resultaten

6.4.1. Effecten op doorstroming

Wat de doorstroming betreft, werken de varianten voor een robuust wegnnet naar wens. Ook in het geval van een incident blijft het verkeer doorstromen. Het verkeer via de onderdoorgang neemt dan iets toe, maar vooral neemt bij een incident het aantal motorvoertuigen toe dat gelijkvloers over de rotonde rijdt.

De Duurzaam Veilig-varianten pakken minder goed uit voor de doorstroming; in het bijzonder loopt bij een incident het verkeer op de A9 vast. In *Tabel 6.1* is dat te zien aan de lagere intensiteiten op kruispunt 2 en 3; in de spits kan er minder verkeer langs deze route dan bij Robuust. Het doorgaande verkeer op de turborotondes moet te veel wachten doordat het voorrang moet geven aan verkeer op de rotonde. Een TDI neemt dit effect niet weg, want die heeft vooral effect op het (tegenhouden) van verkeer op de zijwegen.

	Kruispunt 2		Kruispunt 3	
	Totaal	Waarvan door onderdoorgang	Totaal	Waarvan door onderdoorgang
Basisvariant met VRI	3.888	--	3.274	--
Duurzaam Veilig met turbo-rotonde en bypasses:				
Normale ochtendspits	3.855	--	3.263	--
Ochtendspits met incident	4.051	--	3.989	--
Robuust met tweestrooks-rotonde en onderdoorgang:				
Normale ochtendspits	3.731	2.423	3.226	1.493
Ochtendspits met incident	5.158	2.511	4.611	1.551

Tabel 6.1. *Intensiteit per uur in de ochtendspits (aantal personenauto-equivalenten) op de kruispunten 2 en 3.*

6.4.2. Effecten op verkeersveiligheid: kruispunten 2 en 3

In *Hoofdstuk 4* is een methode beschreven waarmee de relatieve veiligheid van kruispunten kan worden bepaald. De methode passen we hier toe op de kruispunten 2 en 3. Deze methode is gericht op het autoverkeer, niet op het langzaam verkeer. Over de veiligheid van fietsers is te zeggen dat deze het beste gewaarborgd is als fietsers de A22 ongelijkvloers, via tunnels kruisen. In de variant Robuust kruisen de fietsers via de rotonde. De hoofdstroom van het autoverkeer rijdt niet via deze rotondes maar passeert ongelijkvloers. Bij een incident echter, zullen fietsers in de variant Robuust nog nauwelijks de rotondes kunnen passeren door de grotere aantallen motorvoertuigen (zie *Tabel 6.1*). Fietsers moeten namelijk voorrang verlenen aan het autoverkeer (gebruikelijk op rotondes buiten de bebouwde kom) en lopen daardoor een vertraging op die evenredig is met de toename in het autoverkeer.

Relatieve veiligheid

De kruispunten 2 en 3 behoren in elke (hoofd)variant tot een ander kruispunttype:

- Basis, viertakskruispunt met verkeersregelininstallatie (VRI);
- Robuust, tweestrooksrotonde met onderdoorgang;
- Duurzaam Veilig, turborotonde met vier bypasses.

Met de methode uit *Hoofdstuk 4*, gericht op autoverkeer, is de verkeersveiligheid van kruispunten 2 en 3 in de verschillende varianten beschouwd. *Paragraaf 4.4* bevat voorbeelden van berekeningen van de verandering in relatieve veiligheid bij verandering naar een nieuw of aangepast kruispunttype. In de vergelijking van een turborotonde met de referentie – het kruispunt met verkeersregelininstallatie – hanteren we de gegevens uit *Tabel 4.2*: de turborotonde heeft een relatieve veiligheid van 0,32. In de *Tabellen 6.2 en 6.3* is dit getal in kolom C weergegeven. De verandering in intensiteit (uit *Tabel 6.1*) is met een verhoudingsgetal weergegeven in kolom A. De vermenigvuldiging van kolom A met kolom C geeft de relatieve veiligheid van de turborotonde in de betreffende variant.

De vergelijking tussen een tweestrooksrotonde met onderdoorgang en een kruispunt met verkeersregelininstallatie gaat conform voorbeeld 5 van *Paragraaf 4.4*. Voor de twee varianten van een robuust wegennet zijn de resultaten vermeld in de kolommen B en C van de *Tabellen 6.2 en 6.3*.

	Relatieve intensiteit per uur A	Volgens <i>Afbeelding A.11</i> B	Volgens <i>Tabel 4.2</i> C	Relatieve onveiligheid AxC of BxC
Basisvariant met VRI	1,00	--	1,00	1,00
Duurzaam Veilig met turborotonde en bypasses:				
Normale ochtendspits	0,99	--	0,32	0,32
Ochtendspits met incident	1,04	--	0,32	0,33
Robuust met tweestrooksrotonde en onderdoorgang:				
Normale ochtendspits	--	(0,32/0,39=) 0,82	0,32	0,26
Ochtendspits met incident	--	0,82	0,32	0,26

Tabel 6.2. Berekening van de relatieve onveiligheid van kruispunt 2 voor elke variant.

De rotonde met onderdoorgang blijkt volgens de berekeningen veiliger te zijn dan een turborotonde. Dit komt door de conflictvrije ongelijkvloerse doorgang van een groot deel van het passerende verkeer.

	Relatieve intensiteit per uur A	Volgens Afbeelding A.11 B	Volgens Tabel 4.2 C	Relatieve onveiligheid Ax C of B x C
Basisvariant met VRI	1,00	--	1,00	1,00
Duurzaam Veilig met turbo-rotonde en bypasses:				
Normale ochtendspits	1,00	--	0,32	0,32
Ochtendspits met incident	1,22	--	0,32	0,39
Robuust met tweestrooks-rotonde en onderdoorgang:				
Normale ochtendspits	--	(0,25/0,35=) 0,71	0,32	0,23
Ochtendspits met incident	--	0,71	0,32	0,23

Tabel 6.3. Berekening van de relatieve onveiligheid van kruispunt 3 voor elke variant.

Verandering in veiligheid per variant

Per variant berekenen we de verandering in de onveiligheid op de kruispunten 2 en 3 samen ten opzichte van de basisvariant. Dat gebeurt volgens het voorbeeld in Tabel 6.4. In dit voorbeeld behoren kruispunten A en B tot hetzelfde type. In de basisvariant is de onveiligheid voor beide kruispunten 1,0. Kruispunt B is een factor 1,5 onveiliger dan kruispunt A ten gevolge van een hogere intensiteit. In totaal is de onveiligheid op beide kruispunten (1,0 + 1,5 =) 2,5. In variant X krijgen beide kruispunten door verandering van kruispunttype een relatieve onveiligheid van 0,5. Vermenigvuldigen we cijfers van regel 2 en regel 3 (Tabel 6.4) dan volgt daaruit de relatieve veiligheid van de kruispunten in variant X ten opzichte van de basisvariant en van kruispunt B ten opzichte van kruispunt A. Die cijfers opgeteld geven een totale veiligheid gelijk aan 1,25. Dat is 50% lager dan de 2,50 in de basisvariant.

Variant	Kruispunt A	Kruispunt B	Som	
Basis	1,00	1,00		Gelijke kruispunttypen
	1,00	1,50	2,50	Relatief t.o.v. kruispunt A
Variant X	0,50	0,50		Per kruispunt t.o.v. basis
	0,50	0,75	1,25	t.o.v. kruispunt A en basis
Vershil			-50,0%	

Tabel 6.4. Voorbeeld van berekening van verandering in relatieve kruispunt-onveiligheid.

We passen deze werkwijze toe op de vier varianten. In de variant Duurzaam Veilig is de verandering in onveiligheid tijdens een normale ochtendspits -68% (Tabel 6.5) en tijdens een ochtendspits met incident -64% (Tabel 6.6). In de variant Robuust is de onveiligheid met 75% afgenomen, zowel bij de normale ochtendspits (Tabel 6.7) als in het geval met een incident (Tabel 6.8).

Variant	Kruispunt 2	Kruispunt 3	Som	
Basis	1,00	1,00		Gelijke kruispunttypen
	1,00	0,85	1,85	Relatief t.o.v. kruispunt 2
DV, normaal	0,32	0,32		Per kruispunt t.o.v. basis (<i>Tabel 6.2/6.3</i>)
	0,32	0,27	0,59	t.o.v. kruispunt 2 en basis
Vershil			-68,0%	

Tabel 6.5. *Variant Duurzaam Veilig, normale ochtendspits: verandering in relatieve onveiligheid ten gevolge van beide kruispunten.*

De veranderingen in veiligheid zijn aanzienlijk. Dat komt vooral doordat relatief onveilige kruispunten met een verkeersregelininstallatie in alle varianten zijn omgebouwd tot relatief veilige rotondetypen.

Variant	Kruispunt 2	Kruispunt 3	Som	
Basis	1,00	1,00		Gelijke kruispunttypen
	1,00	0,98	1,98	Relatief t.o.v. kruispunt 2
DV, incident	0,33	0,39		Per kruispunt t.o.v. basis (<i>Tabel 6.2/6.3</i>)
	0,33	0,38	0,71	t.o.v. kruispunt 2 en basis
Vershil			-64,0%	

Tabel 6.6. *Variant Duurzaam Veilig, ochtendspits met incident: verandering in relatieve onveiligheid ten gevolge van beide kruispunten.*

Variant	Kruispunt 2	Kruispunt 3	Som	
Basis	1,00	1,00		Gelijke kruispunttypen
	1,00	0,86	1,86	Relatief t.o.v. kruispunt 2
Robuust, normaal	0,26	0,23		Per kruispunt t.o.v. basis (<i>Tabel 6.2/6.3</i>)
	0,26	0,20	0,46	t.o.v. kruispunt 2 en basis
Vershil			-75,4%	

Tabel 6.7. *Variant Robuust, normale ochtendspits: verandering in relatieve onveiligheid ten gevolge van beide kruispunten.*

Variant	Kruispunt 2	Kruispunt 3	Som	
Basis	1,00	1,00		Gelijke kruispunttypen
	1,00	0,89	1,89	Relatief t.o.v. kruispunt 2
Robuust, incident	0,26	0,23		Per kruispunt t.o.v. basis (<i>Tabel 6.2/6.3</i>)
	0,26	0,21	0,47	t.o.v. kruispunt 2 en basis
Vershil			-75,4%	

Tabel 6.8. *Variant Robuust, ochtendspits met incident: verandering in relatieve onveiligheid ten gevolge van beide kruispunten.*

6.4.3. Effecten op verkeersveiligheid: wegvakken tussen kruispunt 1 en knooppunt 4 op de A22

Het dwarsprofiel van de wegvakken tussen kruispunt 1 en knooppunt 4 (*Afbeelding 6.2*) is in de twee varianten van de A22 als volgt:

- Duurzaam Veilig: 2x1;
- Robuust: 2x1 + 1 (alleen tijdens een incident, in de relevante rijrichting).

In *Tabel 5.4* is de relatieve onveiligheid van beide dwarsprofielen gegeven. Voor het overige zijn er verschillen tussen de varianten wat betreft het aantal passerende motorvoertuigen; de verkeersprestatie (aantal motorvoertuig-kilometers) moet dus voor elke variant worden bepaald door het aantal voertuigen te vermenigvuldigen met de wegvaklengte. In *Tabel 6.9* is de uitkomst voor de relatieve onveiligheid vermeld. De variant Duurzaam Veilig is op de A22 veiliger dan Robuust omdat het dwarsprofiel bij incidenten veiliger is en omdat in het geval met een incident de verkeersprestatie veel hoger ligt bij Robuust dan bij Duurzaam Veilig.

	Relatieve onveiligheid dwarsprofiel	Relatieve verkeersprestatie	Relatieve onveiligheid wegvakken A22
Basisvariant met VRI	1,00	1,00	1,00
Duurzaam Veilig met turbo-rotonde en bypasses:			
Normale ochtendspits	0,61	0,99	0,60
Ochtendspits met incident	0,61	1,04	0,64
Robuust met tweestrooks-rotonde en onderdoorgang:			
Normale ochtendspits	0,61	0,96	0,59
Ochtendspits met incident	0,74	1,33	0,98

Tabel 6.9. Wegvakveiligheid per variant: A22.

6.4.4. Effecten op verkeersveiligheid: routes die parallel lopen aan de A22 tussen kruispunt 1 en knooppunt 4

Parallel aan de A22 lopen twee routes die deel uitmaken van het onderliggende lokale wegennet. In de basisvariant bedraagt het gemiddeld aantal voertuigen op de twee parallelle routes ongeveer 2.250 voertuigen per uur in beide richtingen. In de Duurzaam Veilig-variant is de capaciteit hoger bij een incident.

Veranderingen in veiligheid op deze parallelle routes zijn er vooral bij een incident in de Duurzaam Veilig-variant. In dat geval is de intensiteit op de parallelle routes namelijk 90% hoger dan in de basisvariant (*Tabel 6.10*). De aanname is dat de hogere capaciteit bij een incident in de Duurzaam Veilig-variant mogelijk is door een aangepast wegtype. Dit wegtype (dubbele hoofdrijbaan binnen de bebouwde kom) is veiliger dan het wegtype in de andere varianten (enkele hoofdrijbaan; zie *Tabel 5.3*, laatste kolom). De relatieve onveiligheid van Robuust is bij een incident 70% (= 100% x 1,08 / 1,54) van Duurzaam Veilig.

	Relatieve onveiligheid wegtypen (som wegvakken en kruispunten)	Relatieve verkeersprestatie	Relatieve onveiligheid parallelle routes (som wegvakken en kruispunten)
Basisvariant met VRI	1,00	1,00	1,00
Duurzaam Veilig met turbo-rotonde en bypasses			
Normale ochtendspits	1,00	1,06	1,06
Ochtendspits met incident	0,81	1,90	1,54
Robuust met tweestrooks-rotonde en onderdoorgang			
Normale ochtendspits	1,00	1,11	1,11
Ochtendspits met incident	1,00	1,08	1,08

Tabel 6.10. *Veiligheid per variant: routes parallel aan de A22.*

6.4.5. *Gezamenlijk effect op verkeersveiligheid van wegvakken A22 en van twee routes parallel aan de A22*

Voor het gezamenlijk verkeersveiligheidseffect op de wegvakken (*Paragraaf 6.4.3 en 6.4.4*) dienen de onveiligheid en de verkeersprestatie van alle wegvakken in alle varianten te worden gerelateerd aan de wegvakken van de A22 in de basisvariant. Pas daarna kunnen de effecten worden opgeteld. Voor de wegvakken van de A22 staan de juiste relatieve waarden in *Tabel 6.9*. Voor de parallelle routes moeten andere relatieve waarden worden bepaald dan in *Tabel 6.10* staan, namelijk niet ten opzichte van de parallelle routes in de basisvariant, maar ten opzichte van de A22-wegvakken. De relatieve onveiligheid van de wegtypen op de parallelle routes (binnen de bebouwde kom) staat zoals gezegd in de laatste kolom van *Tabel 5.3* vermeld. De relatieve verkeersprestatie is berekend uit de verhouding van de verkeersprestaties op de parallelle routes en van de verkeersprestatie op de A22. Deze verkeersprestaties zijn verkregen via modelberekeningen. In *Tabel 6.11* zijn deze nieuwe relatieve cijfers voor de parallelle routes vermeld inclusief de daaruit volgende relatieve onveiligheid van de varianten.

	Relatieve onveiligheid wegtypen t.o.v. basisvariant A22 (som wegvakken en kruispunten)	Relatieve verkeersprestatie t.o.v. basisvariant	Relatieve onveiligheid parallelle routes t.o.v. basisvariant A22 (som wegvakken en kruispunten)
Basisvariant met VRI	2,47	0,15	0,37
Duurzaam Veilig met turbo-rotonde en bypasses			
Normale ochtendspits	2,47	0,16	0,39
Ochtendspits met incident	1,99	0,29	0,57
Robuust met tweestrooks-rotonde en onderdoorgang			
Normale ochtendspits	2,47	0,17	0,41
Ochtendspits met incident	2,47	0,16	0,40

Tabel 6.11. *Veiligheid per variant: routes parallel aan A22 t.o.v. de A22 in de basisvariant.*

Vervolgens is het mogelijk om per variant te bepalen wat de som is van de relatieve onveiligheid op de parallelle routes en op de wegvakken van de A22. Hierbij moet worden opgemerkt dat in de onveiligheid op de parallelle routes ook de kruispunten zijn meegenomen. Dit is niet geheel juist, maar is beter dan de onveiligheid op de kruispunten van de parallelle routes geheel buiten beschouwing te laten. Uit *Tabel 5.3* blijkt overigens dat verschillen in kruispuntveiligheid tussen beide wegtypen (3,73 en 3,21) kleiner zijn dan de verschillen tussen de wegvakken (0,83 en 1,97).

In *Tabel 6.12* zijn de resultaten van deze optelling vermeld, evenals de daar weer uit volgende relatieve onveiligheid ten opzichte van de basisvariant. De variant Robuust en de Duurzaam Veilig-variant zijn op deze wegvakken even veilig en tevens veiliger dan de overige varianten (de basisvariant en beide varianten met een incident). De variant Robuust bij een incident is op deze wegvakken onveiliger dan de overige varianten.

	Parallelle routes: Relatieve onveiligheid (<i>Tabel 6.11</i>)	A22: Relatieve onveiligheid (<i>Tabel 6.9</i>)	Som relatieve onveiligheid	Relatieve onveiligheid t.o.v. basisvariant
Basisvariant met VRI	0,37	1,00	1,37	1,00
Duurzaam Veilig met turbo-rotonde en bypasses:				
Normale ochtendspits	0,39	0,60	1,00	0,73
Ochtendspits met incident	0,57	0,64	1,20	0,88
Robuust met tweestrooks-rotonde en onderdoorgang:				
Normale ochtendspits	0,41	0,59	1,00	0,73
Ochtendspits met incident	0,40	0,98	1,38	1,01

Tabel 6.12. *Wegvakveiligheid per variant: A22 plus parallelle routes.*

6.4.6. Effecten op verkeersveiligheid: wegvakken van de A9

Op het deel van de A9 tussen de aansluiting met de A22 en de tunnel, is de vormgeving van de wegvakken voor alle varianten gelijk. In de basisvariant passeren 12.500 voertuigen per uur (beide richtingen gesommeerd). In de andere varianten veranderen de verkeersintensiteiten vooral in de gevallen met een incident. In de variant Duurzaam Veilig behoudt de A9 bij een incident in de tunnel hogere intensiteiten dan in de variant Robuust (zie Tabel 6.13). Naar verhouding zijn bij een incident de A9-wegvakken 5% veiliger (= $100\% \times 0,80 / 0,85$) in de variant Robuust dan in de variant Duurzaam Veilig.

	Relatieve onveiligheid dwarsprofiel	Relatieve verkeersprestatie	Relatieve onveiligheid wegvakken A9
Basisvariant met VRI	1,00	1,00	1,00
Duurzaam Veilig met turbo-rotonde en bypasses			
Normale ochtendspits	1,00	1,02	1,02
Ochtendspits met incident	1,00	0,85	0,85
Robuust met tweestrooks-rotonde en onderdoorgang			
Normale ochtendspits	1,00	1,02	1,02
Ochtendspits met incident	1,00	0,80	0,80

Tabel 6.13. Wegvakveiligheid per variant: A9.

6.5. Conclusies en discussie

Zowel een robuuste als een duurzaam veilige variant van het beschouwde A22-traject heeft aanzienlijke gevolgen voor de veiligheid op de kruispunten 2 en 3. Dat komt vooral doordat in alle varianten de relatief onveilige kruispunten met verkeersregelinstantie zijn omgebouwd tot relatief veilige rotondetypen. Overigens is de gebruikte methode gericht op het autoverkeer. Voor de veiligheid van het fietsverkeer is het relevant dat de hoofdstroom van het autoverkeer bij de Robuust-varianten niet via gelijkvloerse rotondes rijdt maar ongelijkvloers passeert. Alleen in deze Robuust-varianten kruist het fietsverkeer de rotondes bij kruispunt 2 en 3 gelijkvloers. Bij een incident zullen fietsers nog maar nauwelijks de rotondes kunnen passeren door de grote aantallen motorvoertuigen die de route over de A22 niet alleen onderlangs, maar ook gelijkvloers over de rotondes volgen. Omdat de rotondes buiten de bebouwde kom liggen moeten fietsers namelijk voorrang verlenen aan het autoverkeer.

Op de kruispunten is er eigenlijk niet zozeer sprake van Duurzaam Veilig versus Robuust, maar van gelijkvloers versus ongelijkvloers. Vanwege de onderdoorgang kunnen in de robuuste variant veel meer voertuigen passeren dan in de duurzaam veilige. Door de ongelijkvloers kruisende hoofdstroom is Robuust op de kruispunten ook veiliger dan Duurzaam Veilig. Beide varianten zijn veel veiliger ten opzichte van de fictieve basisvariant met verkeerslichten.

Op de aangepaste wegvakken van de A22 is volgens deze berekening Duurzaam Veilig veiliger dan Robuust. Bij een incident passeren tijdens de simulatieperiode in de robuuste variant grotere aantallen voertuigen de A22 dan in de duurzaam veilige variant, waardoor het aantal afgelegde motorvoertuigkilometers (de verkeersprestatie) hoger is. In het algemeen neemt het aantal ongevallen evenredig toe met de verkeersprestatie. Het lijkt hierdoor alsof Robuust op deze wegvakken onveiliger is dan Duurzaam Veilig. Bij Duurzaam Veilig staan echter voertuigen elders (buiten het studiegebied) in een wachtrij die later alsnog de A22 zullen passeren, en dan de bijbehorende onveiligheid zullen leveren. Een langere simulatieperiode zou een beter beeld hebben kunnen geven van de totale onveiligheid op de A22 van beide varianten.

De Robuust-variant is bij incidenten onveiliger door het dwarsprofiel van de A22. Door de extra rijstrook tijdens een incident treden er namelijk inhaalbewegingen op.

Op de gezamenlijke wegvakken van de A22 en de routes parallel aan de A22 zijn de robuuste variant en de duurzaam veilige variant even veilig. Tevens zijn ze veiliger dan de overige varianten (de basisvariant en beide varianten met een incident).

Op de wegvakken van de A9 tussen de Wijkertunnel en de aansluiting met de A22, is de variant Robuust iets veiliger (5%) dan de Duurzaam Veilig-variant.

De onveiligheid van wegvakken en kruispunten is om twee redenen niet opgeteld tot een gezamenlijke (relatieve) waarde voor onveiligheid. Ten eerste is hier opzettelijk veel aandacht geschonken aan de kruispuntveiligheid en de optelsom van wegvakken en kruispunten verzwakt die aandacht. Ten tweede is het optellen van kruispuntveiligheid en wegvakveiligheid lastig omdat er verschillende eenheden worden gebruikt: bij wegvakken ongevallen per lengte of per motorvoertuigkilometer en bij kruispunten ongevallen per aantallen passerende voertuigen. Het is niet onmogelijk om een dergelijke berekening te maken, maar de meerwaarde ervan voor dit rapport is gering.

7. Conclusies, discussie en aanbevelingen

De conclusies, discussie en aanbevelingen in dit rapport zijn tweeledig. Enerzijds zijn er methoden voorgesteld om effecten van verschillende wegnetten op doorstroming en verkeersveiligheid vast te kunnen stellen. Anderzijds is er met gebruik van deze methode een pilotstudie uitgevoerd waaruit bevindingen volgen over dit soort effecten voor één onderzoeksgebied.

De conclusies naar aanleiding van de gekozen methoden staan in *Paragraaf 7.1.1*; de conclusies naar aanleiding van de uitgevoerde pilotstudie in *Paragraaf 7.1.2*. In *Paragraaf 7.2* volgen ten slotte een discussie en aanbevelingen.

7.1. Conclusies

7.1.1. Gebruikte methode

Verschillende (fictieve) wegnettvarianten zullen ook verschillende (nieuwe) kruispunttypen en wegvakdwarsprofielen bevatten. Om deze varianten met elkaar te kunnen vergelijken zullen ook de veiligheidseffecten van deze elementen moeten worden geschat. Voor verschillende wegvakdwarsprofielen zijn er schattingen bekend; voor kruispunten is dit in onvoldoende mate het geval. Daarom is in deze studie een schattingsmethode voor kruispuntveiligheid voorgesteld. Naar aanleiding van deze methodeontwikkeling zijn de volgende conclusies te trekken.

Voor de kruispuntveiligheid zijn er vier kenmerken bepalend:

- kruispunttype;
- aantal passerende motorvoertuigen (de som van de zijstroom I_z en de hoofdstroom I_h);
- verhouding van zijstroom tot hoofdstroom (I_z/I_h);
- aantal conflictpunten.

Op kruispunten van hoofdwegen buiten de bebouwde kom verklaart de verhouding van zijstroom tot hoofdstroom I_z/I_h in belangrijke mate het veiligheidsniveau op een kruispunttype. Het totale aantal passerende motorvoertuigen is eveneens van belang. De onveiligheid van kruispunten met verkeerslichten is (bij vergelijkbaar aantal passerende motorvoertuigen) hoog ten opzichte van andere kruispunttypen. Ongelijkvloerse kruispunttypen zijn een veiliger alternatief.

Ook op verkeersaders binnen de bebouwde kom is de onveiligheid van kruispunten met verkeerslichten hoog. Dit soort kruispunten wordt vaak toegepast bij aantallen passerende motorvoertuigen die niet verwerkt kunnen worden door reguliere kruispunttypen.

Zowel binnen als buiten de bebouwde kom lijkt in situaties met veel passerende motorvoertuigen, de turborotonde een veilig alternatief voor het kruispunt met verkeerslichten.

Elk kruispunttype heeft een aantal conflictpunten, dat wil zeggen locaties waar voertuigen met elkaar in aanraking kunnen komen. Een conflictpunt kan zo zijn vormgegeven dat er op dat punt snelheidsreductie optreedt en de rijnsnelheid van de voertuigen gewoonlijk lager is dan 30 km/uur. Het (relatief) risico of het (relatief) aantal ongevallen per kruispunt neemt toe met het (relatief) aantal conflictpunten (met of zonder snelheidsreductie). Vanwege deze relatie kan er een schatting gemaakt worden van het verwachte risico op grond van het aantal conflictpunten (met of zonder snelheidsreductie). Dit is dan een risicoschatting voor een situatie waarin het aantal passerende motorvoertuigen niet wijzigt, maar waarin alleen het aantal conflictpunten verandert.

7.1.2. *Pilotstudie met duurzaam veilig en robuust wegennet*

In de pilotstudie zijn zowel robuuste als duurzaam veilige varianten beschouwd van het A22-traject tussen de Velsertunnel en de aansluiting met de A9. Alle varianten – zowel Robuust als Duurzaam Veilig, en zowel met als zonder incident in de tunnel van de A9 – blijken aanzienlijke gevolgen te hebben voor de veiligheid op de aangepaste kruispunten 2 en 3. Dat komt vooral doordat in alle varianten de relatief onveilige kruispunten met verkeersregelinstallatie zijn veranderd in relatief veilige rotondetypen.

Fietsverkeer kruist de A22 ongelijkvloers in de basisvariant en in de Duurzaam Veilig-varianten. In de Robuust-varianten kruist het fietsverkeer de A22 gelijkvloers via de rotondes. Dit fietsverkeer is niet gesimuleerd in het verkeersmodel. Aan de doorstroming van het autoverkeer is echter te zien dat fietsers in de variant Robuust met een incident nog nauwelijks de rotondes kunnen passeren door de grotere aantallen motorvoertuigen die de route over de A22 gelijkvloers over de rotondes volgen.

Op de kruispunten is er eigenlijk niet zozeer sprake van Duurzaam Veilig versus Robuust maar van gelijkvloers versus ongelijkvloers. Vanwege de onderdoorgang kunnen in de Robuust-variant veel meer voertuigen passeren dan in de Duurzaam Veilig-variant. Door de ongelijkvloers kruisende hoofdstroom is Robuust op de kruispunten ook veiliger dan Duurzaam Veilig.

De kruispuntvarianten in Duurzaam Veilig en Robuust zijn allebei veel veiliger dan de basisvariant met verkeerslichten.

Op de aangepaste wegvakken van de A22 is volgens deze berekening Duurzaam Veilig veiliger dan Robuust. Bij een incident passeren tijdens de simulatieperiode in de robuuste variant grotere aantallen voertuigen de A22 dan in de duurzaam veilige variant, waardoor het aantal afgelegde motorvoertuigkilometers (de verkeersprestatie) hoger is. In het algemeen neemt het aantal ongevallen evenredig toe met de verkeersprestatie. Het lijkt hierdoor alsof Robuust op deze wegvakken onveiliger is dan Duurzaam Veilig. Bij Duurzaam Veilig staan echter voertuigen elders (buiten het studiegebied) in een wachtrij die later alsnog de A22 zullen passeren, en dan de bijbehorende onveiligheid zullen leveren. Een langere simulatieperiode zou een beter beeld hebben kunnen geven van de totale onveiligheid op de A22 van beide varianten.

De Robuust-variant is bij incidenten onveilig door het dwarsprofiel van de A22. Door de extra rijstrook tijdens een incident treden er namelijk inhaalbewegingen op.

Op de gezamenlijke wegvakken van de A22 en de routes parallel aan de A22 zijn de robuuste variant en de duurzaam veilige variant even veilig. Tevens zijn ze veiliger dan de overige varianten (de basisvariant en beide varianten met een incident).

Op de wegvakken van de A9 tussen de Wijkertunnel en de aansluiting met de A22, is de variant Robuust iets veiliger (5%) dan de Duurzaam Veilig-variant.

7.2. Discussie en aanbevelingen

De kennis omtrent kruispuntveiligheid is onvoldoende om effecten van maatregelen nauwkeurig te kunnen evalueren. Er dient meer helderheid te komen over veiligheidsaspecten van verschillende kruispunttypen, namelijk:

- de kwantitatieve relatie tussen het aantal ongevallen per kruispunt en het aantal passerende voertuigen;
- de effecten van specifieke maatregelen, zoals bypasses, ongelijkvloers laten kruisen van de hoofdstroom of andere belangrijke stromen, aanwezigheid van gelijkvloerse oversteekvoorzieningen, aantal opstelstroken per tak, gedeeltelijk conflictvrije verkeersregeling;
- de effecten van verandering van kruispunttype, vastgesteld in voor-en-nastudies.

Voor bovengenoemde kennis dienen geschikte en voldoende gegevens te worden verzameld over weg- en verkeerskenmerken. Dit betreft algemene kruispuntkenmerken, de verkeersintensiteiten (uitgesplitst naar kruispunttak), de aanwezigheid van verkeerslichtenregeling (en aard van de regeling), de indeling van opstelvakken per tak, de aanwezigheid en aard van oversteekvoorzieningen, en de intensiteit van oversteekbewegingen.

Het fietsverkeer is niet gesimuleerd in het verkeersmodel. Voor veranderingen in de doorstroming en veiligheid van het fietsverkeer zijn alleen de robuuste varianten relevant. Voor de veiligheid is het zaak dat de hoofdstroom van het autoverkeer daar ongelijkvloers de rotondes passeert waarover de fietsers gelijkvloers kruisen. De fietsers moeten voorrang verlenen aan het autoverkeer dat de rotonde gelijkvloers passeert. Dat komt ten goede aan de veiligheid van de fietsers, ongeacht de hoeveelheid kruisend autoverkeer. Het oponthoud voor fietsers is echter evenredig met de toename van de hoeveelheid autoverkeer op de rotonde.

De uitgevoerde pilotstudie kan niet tot algemene uitspraken leiden over het verschil tussen een robuust wegennet en een duurzaam veilig wegennet. Deze pilotstudie betreft namelijk geen representatief verkeerskundig probleem maar een specifieke situatie waarvoor specifieke oplossingen zijn aangedragen.

In deze pilotstudie komen hoge verkeersintensiteiten voor, waarbij zowel de robuuste varianten als de duurzaam veilige varianten (redelijk) goed scoren op veiligheid en doorstroming. Hieruit zouden we voorzichtig kunnen

afleiden dat in andere gebieden met lagere intensiteiten beide visies ook goed uitpakken.

De uiteindelijke doelstelling is om na te gaan welk effect een robuust wegennet heeft op de verkeersveiligheid. Deze pilotstudie zou overeenkomsten en verschillen tussen Robuust en Duurzaam Veilig moeten laten zien. Dit laatste doel is zeker gehaald. Om de uiteindelijke doelstelling te halen zullen veel meer situaties moeten worden doorgerekend dan in deze pilotstudie, met deze (geringe) omvang en strekking is gedaan.

Het is aan te bevelen om in een vervolgstudie een overzicht te geven van de mogelijkheden die er zijn om verschillende toepassingen van een robuust wegennet tevens duurzaam veilig te maken. Dit kunnen kleinschalige toepassingen zijn (zoals in de onderhavige pilotstudie), maar ook grootschalige (zoals in de ANWB/TNO-studie).

In deze pilotstudie zijn voor de dagelijkse verkeerssituatie betrekkelijk geringe verschillen gevonden tussen een duurzaam veilig en een robuust wegennet, zowel wat de doorstroming als wat de verkeersveiligheid betreft. Bij een incident levert de robuuste oplossing een aanzienlijk hogere capaciteit. Het lijkt mogelijk om beide varianten te integreren tot een variant die meer doorstroming biedt en tegelijkertijd optimaal veilig is.

In de pilotstudie is gekozen voor ongelijkvloerse doorgangen. Een dergelijke oplossing kost meer dan de meeste gelijkvloerse kruispunttypen. Een kosten-batenanalyse kan duidelijk maken of de kosten van de ongelijkvloerse oplossing opwegen tegen de (maatschappelijke) baten.

Een gecombineerde aanpak met een robuust en veilig wegennet zou een belangrijke rol kunnen spelen bij het opstellen van ruimtelijke plannen voor regio's, de zogeheten regionale gebiedsagenda's (VenW, 2008).

Literatuur

- CROW (1993). *(On)gelijkvloerse kruispunten in enkelbaanswegen*. Publicatie 71. CROW, Ede.
- CROW (2002). *Handboek Wegontwerp; Gebiedsontsluitingswegen*. Publicatie 164c. CROW, Ede.
- CROW (2008). *Turborotondes*. Publicatie 257. CROW, Ede.
- Dijkstra, A. (1990). *Probleemsituaties op verkeersaders in de bebouwde kom; Tweede fase: selectie van probleemsituaties*. R-90-13. SWOV, Leidschendam.
- Dijkstra, A. (2003). *Kwaliteitsaspecten van duurzaam-veilige weginfrastructuur; Voorstel voor een stelsel van DV-eisen waarin alle DV-principes zijn opgenomen*. R-2003-10. SWOV, Leidschendam
- Dijkstra, A (2010). *Welke aanknopingspunten bieden netwerkopbouw en wegcategorysering om de verkeersveiligheid te vergroten*. R-2010-3. SWOV, Leidschendam.
- Dijkstra, A. & Hummel, T. (2004). *Veiligheidsaspecten van het concept 'Bypasses voor bereikbaarheid'; Analyse van het concept van TNO Inro in het perspectief van Duurzaam Veilig*. R-2004-6. SWOV, Leidschendam.
- Fortuijn, L.G.H. (2005). *Veiligheidseffect turborotondes in vergelijking met enkelstrooksrotondes*. In: Verkeerskundige Werkdagen 2005, CROW, Ede.
- Immers, L.H.; Wilmink, I.R. & Stada, J.E. (2001). *Bypasses voor bereikbaarheid*. Rapport Inro-VV/2001-28. Afdeling verkeer en vervoer. TNO Inro, Delft.
- Janssen, S.T.M.C. (1988). *De verkeersonveiligheid van wegtypen in 1986 en 2010*. R-88-3. SWOV, Leidschendam.
- Janssen, S.T.M.C. (1992). *Veiligheid van ongelijkvloerse kruispunten op enkelbaanswegen*. R-92-35. SWOV, Leidschendam.
- Janssen, S.T.M.C. (2002). *Methode voor berekening van duurzaam-veilige kencijfers op basis van veranderingen in ongevalspatronen*. R-2002-23. SWOV, Leidschendam
- Janssen, S.T.M.C. (2003). *Veiligheid op kruisingen van verkeersaders binnen de bebouwde kom*. R-2002-36. SWOV, Leidschendam.
- Ogden, K.W. (1996). *Safer Roads: a guide to road safety engineering*. ISBN 0-291-39829-4. Aldershot, Sydney.

Reurings, M., Janssen, Th., Eenink, R., Elvik, R., Cardoso, J. & Stefan, Ch. (2006). *Accident prediction models and road safety impact assessment: a state-of-the-art*. Ripcord-Iserest consortium. SWOV, Leidschendam.

Schermers, G.; Drolenga, J. & Tromp, H.L. (2007). *Verkeersveiligheid in regionale netwerkanalyses*. Publicatie R-2007-12. SWOV. Leidschendam.

Schoon, C.C. (2000). *Verkeersveiligheidsanalyse van het concept-NVVP; Deel 1: Effectiviteit van maatregelen*. D-2000-9 I. SWOV, Leidschendam.

Schrijver, J., Egeter, B., Immers, B. & Snelder, M. (2008). *Visie robuust wegennet ANWB*. Rapport 2008-D-R0661/B. TNO Mobiliteit en Logistiek, Delft.

TTI (2009). *Roadway safety design workbook*. Texas Transportation Institute, Austin.

VenW (2008). *Mobiliteitsaanpak; Vlot en veilig van deur tot deur*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 's-Gravenhage.

De verkeersveiligheid op een kruispunt hangt sterk af van het aantal mogelijke conflicten en de aard ervan. Een bekend voorbeeld is het aantal conflictpunten op een viertakskruispunt en op een rotonde, respectievelijk 24 en 4. Op een viertakskruispunt hebben de vier rechtdoor gaande verkeersstromen geen snelheidsbeperking, op een rotonde hebben alle verkeersstromen een snelheidsbeperking. Door deze verschillen zal bij vervanging van een viertakskruispunt door een rotonde het aantal letselongevallen met ongeveer 70% dalen (Van Minnen, 1990; Fortuijn, 2005).

In deze bijlage is nagegaan of het met de beschikbare bronnen mogelijk is om het veiligheidsniveau van de verschillende kruispunttypen vast te stellen. In de eerste plaats is getracht het absolute niveau vast te stellen, uitgedrukt in het aantal letselongevallen per kruispunt per jaar, afgezet tegen het aantal passerende motorvoertuigen. Het absolute niveau is tijdsafhankelijk, het aantal geregistreerde ongevallen daalt als gevolg van de verbetering van de verkeersveiligheid en de afname van de registratiegraad. Tussen verschillende gebieden (tussen delen van het land, tussen ruraal en urbaan) kan er ook een niveauverschil bestaan. Daarom is ook een relatief veiligheidsniveau van elk kruispunttype bepaald ten opzichte van een (hier gekozen) referentietype: het viertakskruispunt met verkeerslichten.

Beschikbare bronnen

Slechts een beperkt aantal bronnen is beschikbaar om meer zicht te krijgen op de veiligheid van kruispunttypen in Nederland. Er is een overzicht van de belangrijkste kruispunttypen op enkelbaanswegen (Janssen, 1992). Over kruispunten in de bebouwde kom hebben Dijkstra (1990) en Janssen (2003) gerapporteerd. Gegevens over verschillende soorten rotondes zijn te vinden in Fortuijn (2005). Met deze bronnen is hier een overzicht gemaakt van kruispuntveiligheid in termen van het aantal letselongevallen per kruispunt per jaar, afgezet tegen het aantal passerende motorvoertuigen. De gehanteerde gegevens zijn voor een deel afkomstig uit oudere bronnen. Om na te gaan of de gevonden verhoudingen tussen de kruispunttypen ook uit recentere studies blijken, is een vergelijking gemaakt met recentere gegevens over grootschalige kruispunten in Amerikaanse urbane gebieden (TTI, 2009).

Bij de bespreking zijn steeds de relatieve aantallen letselongevallen gepresenteerd, dat wil zeggen de aantallen ongevallen zijn gerelateerd aan het aantal ongevallen op het onveiligste (sub)type (meestal een viertakskruispunt met verkeerslichten).

Kruispunten op enkelbaanswegen buiten de bebouwde kom

Janssen (1992) heeft drie viertakskruispunttypen op enkelbaanswegen buiten de bebouwde kom onderzocht:

- kruispunten met verkeerslichten (V);
- kruispunten met een voorrangregeling (G);
- kruispunten met een ongelijkvloerse kruising van de rechtdoor gaande richtingen, bestaande uit de typen Haarlemmermeer, half klaverblad, of kwadrant (O).

De resultaten uit het onderzoek van Janssen hebben geleid tot een publicatie van het CROW (1993) over deze kruispunttypen. Een belangrijk onderscheidende variabele voor de veiligheid op deze kruispunttypen is de verhouding tussen het aantal voertuigen op de zijstroom (I_z) en op de hoofdstroom (I_h). De verhouding I_z/I_h is in vier klassen verdeeld:

- a. tussen 0 en 0,1
- b. tussen 0,1 en 0,4
- c. tussen 0,4 en 0,75
- d. tussen 0,75 en 1

Per klasse I_z/I_h

In klasse a (*Afbeelding A.1*) zien de relatieve aantallen letselgevallen, afgezet tegen het aantal passerende motorvoertuigen (hoofdstroom en zijstroom opgeteld). We zien kleine verschillen tussen de drie kruispunttypen. Na statistische toetsing blijken deze verschillen niet significant te zijn. In klasse b (*Afbeelding A.2*) zijn de verschillen groter. Alleen bij de lagere intensiteiten zijn gelijkvloerse kruispunten significant onveiliger dan ongelijkvloerse typen.

Klasse c (*Afbeelding A.3*) laat zien dat de relatieve onveiligheid groter is dan bij klasse a en b. Weer geldt dat bij de lagere intensiteiten gelijkvloerse kruispunten significant onveiliger zijn dan ongelijkvloerse typen.

Klasse d (*Afbeelding A.4*), ten slotte, geeft grotere verschillen tussen de typen te zien. De ongelijkvloerse typen zijn veiliger dan gelijkvloerse kruispunten met of zonder verkeerslichten. De gelijkvloerse kruispunten komen alleen voor bij de laagste intensiteitsklassen (minder dan 10.000 motorvoertuigen per etmaal).

Per kruispunttype

In *Afbeelding A.5* zijn de vier klassen van I_z/I_h getekend voor de kruispunten met verkeerslichten. Bij de lagere intensiteitsklassen zijn er geen significante verschillen. Bij de hoogste intensiteitsklasse (meer dan 20.000 voertuigen per etmaal) is klasse b (tussen 0,1 en 0,4) veiliger dan klasse c (tussen 0,4 en 0,75).

De vier klassen van de gelijkvloerse kruispunten (*Afbeelding A.6*) bevinden zich alle in de intensiteitsklassen onder de 15.000 mv/etmaal. Statistisch gezien is klasse a veiliger dan de overige klassen, is klasse b veiliger dan c en d, en verschillen klasse c en d niet.

Voor de ongelijkvloerse typen (*Afbeelding A.7*) geldt er dat a en d veiliger zijn dan c, en dat a, b en d onderling niet verschillen.

Relatief veiligste of onveiligste kruispunttype

In klasse a is er geen veiligste type aan te wijzen. In klasse b zijn bij lage intensiteiten de ongelijkvloerse typen veiliger dan gelijkvloerse kruispunten, dit geldt ook in klasse c. Ongelijkvloerse kruispunttypen zijn in alle intensiteitsklassen veiliger dan andere typen voor klasse d.

Kruispunten met verkeerslichten worden toegepast in alle intensiteitsklassen, soms in hogere klassen dan de ongelijkvloerse typen. De onveiligheid ervan is relatief hoog, zeker bij klasse c en d.

Gevolgtrekking voor de toepassing

Het kruispunttype is een belangrijke factor voor de kruispuntveiligheid. Voor elk kruispunttype is het toepassingsgebied wat betreft de intensiteiten tamelijk 'breed'. Binnen een kruispunttype heeft de verhouding I_z/I_h een

belangrijke invloed op het aantal ongevallen. Bij de toepassing van een kruispunttype zijn deze drie factoren (type, intensiteiten en I_z/I_h) van groot belang voor de resulterende onveiligheid.

Kruispunten op verkeersaders in de bebouwde kom

Tweemaal is de onveiligheid van kruispunten in de bebouwde kom uitgebreid onderzocht: Dijkstra (1990) inventariseerde kruispunten op verkeersaders in de bebouwde kom. De selectie van bebouwde kommen was een representatieve steekproef van verkeersaders, rekening houdend met de urbanisatiegraad van de bebouwde kommen. Janssen (2003) inventariseerde kruispunten in de bebouwde kom met fiets- en bromfietsverkeer en een belangrijke functie voor het autoverkeer. Ook deze steekproef was zo veel mogelijk representatief voor dit soort kruispunten.

Dijkstra beschouwde vier kruispunttypen:

- drietakskruispunten met een voorrangsregeling;
- drietakskruispunten met verkeerslichten;
- viertakskruispunten met een voorrangsregeling;
- viertakskruispunten met verkeerslichten.

De relatieve veiligheid van deze kruispunttypen is in *Afbeelding A.8* getoond. Viertakskruispunten met verkeerslichten zijn het onveiligst, maar wat betreft het aantal passerende motorvoertuigen overlapt dit kruispunttype nauwelijks met de andere typen. De andere typen hebben wel veel overlap in intensiteit. De viertakskruispunten met een voorrangsregeling zijn onveiliger dan de beide typen drietakskruispunten.

Janssen beschouwde vijf kruispunttypen:

- drietakskruispunten met een voorrangsregeling;
- drietakskruispunten met verkeerslichten;
- viertakskruispunten met een voorrangsregeling;
- viertakskruispunten met verkeerslichten;
- rotondes met vier takken.

Deze vijf typen zijn in *Afbeelding A.9* opgenomen. Viertakskruispunten met verkeerslichten zijn het onveiligst. Dit type is, voor zover de intensiteiten overeenstemmen, onveiliger dan de overige kruispunttypen.

Onder ongeveer 15.000 motorvoertuigen per etmaal zijn rotondes veiliger dan de overige typen.

In *Afbeelding A.10* zijn de resultaten van Janssen en Dijkstra samengevoegd (respectievelijk met getrokken lijnen en met gestippelde lijnen). De viertakskruispunten met verkeerslichten van beide auteurs liggen qua veiligheidsniveau op gelijke hoogte, wat betreft de intensiteiten is er wel verschil. Janssen heeft kruispunten waarlangs minder motorvoertuigen passeren dan bij Dijkstra. Ook bij de andere typen heeft Dijkstra hogere intensiteiten dan Janssen gevonden. De ligging van de typen ten opzichte van elkaar is bij Janssen en Dijkstra vergelijkbaar.

Gevolgtrekking voor de toepassing

In de bebouwde kom zijn kruispunttype en intensiteit, net als hiervoor buiten de bebouwde kom, van belang voor de kruispuntveiligheid. De genoemde bronnen geven geen indicatie voor een eventueel belang van I_z/I_h voor de onveiligheid.

Rotondes

Sinds de publicaties van Dijkstra (1990) en Janssen (2003) is een nieuw type rotonde ontstaan: de turborotonde. Aan de hand van eerder vermelde referenties en van Fortuijn (2005) is getracht het (relatieve) veiligheidsniveau en intensiteitsbereik van turborotondes te schatten.

Janssen (2003) vindt voor een enkelstrooksrotonde gemiddeld 1,58 letselongevallen (l.o.) per rotonde per jaar en voor een viertakskruispunt met voorrangregeling 1,88 l.o. per jaar. Janssen (1992) vindt voor een gelijkvloers kruispunt 0,72 - 1,15 l.o. per jaar (bij $0,4 < I_z/I_h < 0,75$). Fortuijn (2005) heeft rotondes onderzocht die tussen 1991 en 1994 zijn aangelegd. In de voorsituatie waren er 1,81 l.o. per jaar op de voorrangskruispunten en in de nasituatie 0,15 l.o. per jaar op de enkelstrooksrotondes (92% daling). Op rotondes die in een latere periode zijn aangelegd vindt Fortuijn in de voorsituatie 0,98 l.o. per jaar op voorrangskruispunten en 0,26 l.o. per jaar op enkelstrooksrotondes (73% daling). Kruispunten (waaronder een kruispunt met verkeerslichten) die tot turborotonde zijn omgebouwd dalen van 2,43 tot 0,44 l.o. per jaar (82% daling).

Conclusies

Een turborotonde heeft hoger aantal letselongevallen dan een enkelstrooksrotonde. Dit hangt samen met de hogere intensiteiten op turborotondes. In de voorsituatie van turborotondes was er hogere ongevallenfrequentie dan in de voorsituatie van enkelstrooksrotondes. De reductiepercentages voor-na bij turborotondes liggen in de zelfde orde van grootte als bij enkelstrooksrotondes. Een turborotonde is waarschijnlijk relatief gezien (gecorrigeerd voor intensiteiten) even veilig als een enkelstrooksrotonde. De turborotonde is in *Afbeelding A.11* toegevoegd aan de gegevens van Janssen (2003) in *Afbeelding A.9*. Het aantal ongevallen op een rotonde laat een minder grote afhankelijkheid zien van een toename in intensiteit dan het aantal ongevallen op een viertakskruispunt met verkeerslichten.

Urbane kruispunten

TTI (2009) heeft 'crash prediction models' afgeleid van gegevens over urbane kruispunten in de Amerikaanse staat Texas. Er is een model beschikbaar voor vier kruispunttypen:

- drietakskruispunten met een voorrangregeling;
- drietakskruispunten met verkeerslichten;
- viertakskruispunten met een voorrangregeling;
- viertakskruispunten met verkeerslichten.

Het model heeft als invoervariabelen de intensiteit op de hoofdstroom en de intensiteit op de zijstream. In de *Afbeeldingen A.12* en *A.13* zijn de berekende relatieve aantallen ongevallen (t.o.v. viertakskruispunten met verkeerslichten) getoond voor respectievelijk $I_z/I_h = 0,5$ en voor $I_z/I_h = 0,25$. De modellen hebben geen 'ingebouwde' onder- of bovengrenzen voor de intensiteiten. Voor de getoonde afbeeldingen is aangenomen dat kruispunten zonder verkeerslichten bij lagere intensiteiten worden toegepast dan kruispunten met verkeerslichten.

De resultaten van TTI (2009) zijn afgezet tegen de resultaten van Janssen (2003) en Dijkstra (1990) in respectievelijk *Afbeelding A.14* en *A.15*. Bij Janssen zijn de verschillen tussen drietaks- en viertaks kruispunten met verkeerslichten veel groter dan bij TTI. Naar verhouding zijn de kruispunten met voorrangregeling bij Janssen onveiliger dan bij TTI.

De viertakskruispunten met verkeerslichten liggen bij Dijkstra en TTI in hetzelfde bereik. De drietakskruispunten met voorrangregeling zijn bij Dijkstra even veilig als bij TTI. De drietakskruispunten met verkeerslichten zijn bij Dijkstra veiliger dan bij TTI, terwijl de viertakskruispunten met voorrangregeling bij zowel Janssen als Dijkstra onveiliger zijn dan bij TTI.

Resumé

Er is een beperkt aantal bronnen beschikbaar om de verkeersveiligheid van verschillende kruispunttypen te bepalen.

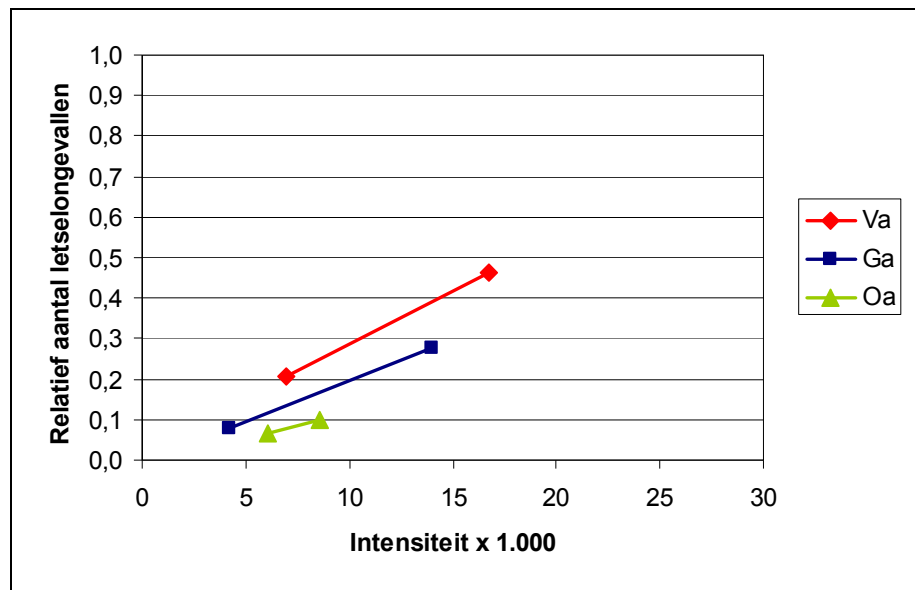
Uit deze studies blijkt dat er drie bepalende kenmerken zijn voor kruispuntveiligheid:

1. Kruispunttype
2. Aantal passerende motorvoertuigen
3. Verhouding van zijstroom tot hoofdstroom I_z/I_h

Voor kruispunten op hoofdwegen buiten de bebouwde kom is gevonden dat de verhouding van zijstroom tot hoofdstroom I_z/I_h in belangrijke mate het veiligheidsniveau op een kruispunttype verklaart. Daarnaast is het totaal aantal passerende motorvoertuigen relevant. De onveiligheid van kruispunten met verkeerslichten is hoog ten opzichte van andere typen, zeker bij I_z/I_h groter dan 0,4. Ongelijkvloerse kruispunttypen zijn een veiliger alternatief.

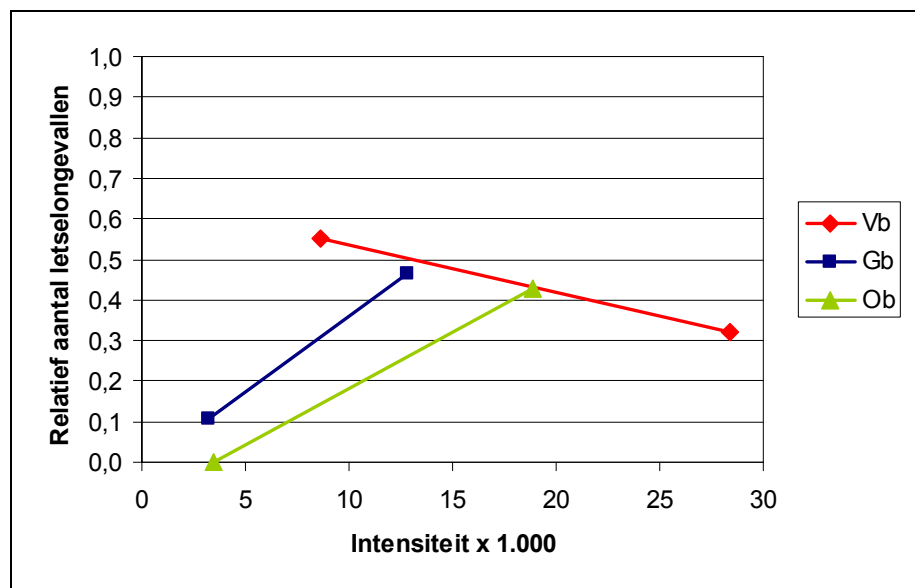
Ook op verkeersaders in de bebouwde kom is de onveiligheid van kruispunten met verkeerslichten hoog. De toepassing van deze kruispunten vindt vaak plaats bij aantallen passerende motorvoertuigen die niet verwerkt kunnen worden door reguliere kruispunttypen. De turbotonde lijkt echter in veel situaties een veilig alternatief voor het kruispunt met verkeerslichten.

Afbeeldingen



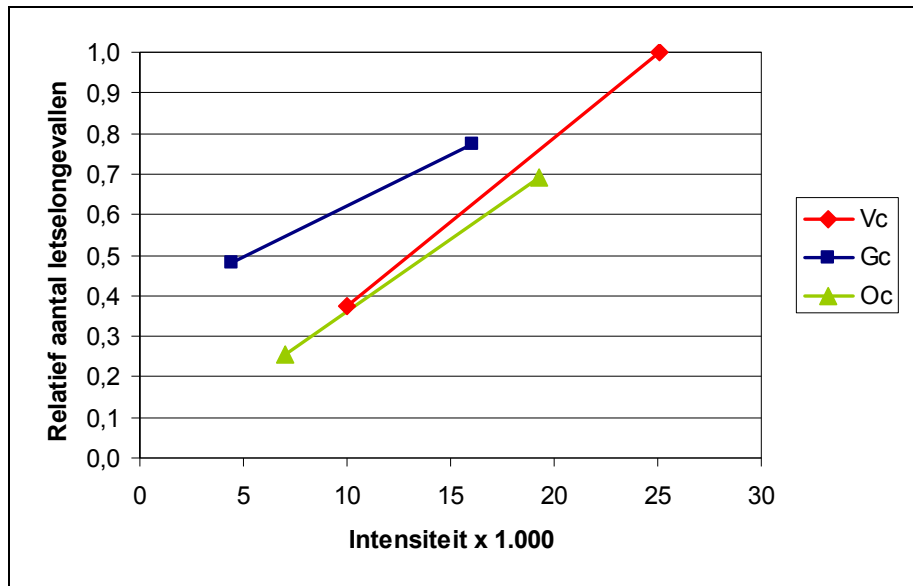
V = met verkeerslichten; G = gelijkvloers; O = ongelijkvloers; a: I_z/I_h is 0 - 0,1

Afbeelding A.1. *Relatief aantal letselongevallen afgezet ten het aantal passerende motorvoertuigen, voor kruispunten met I_z/I_h tussen 0 en 0,1 (Janssen, 1992).*



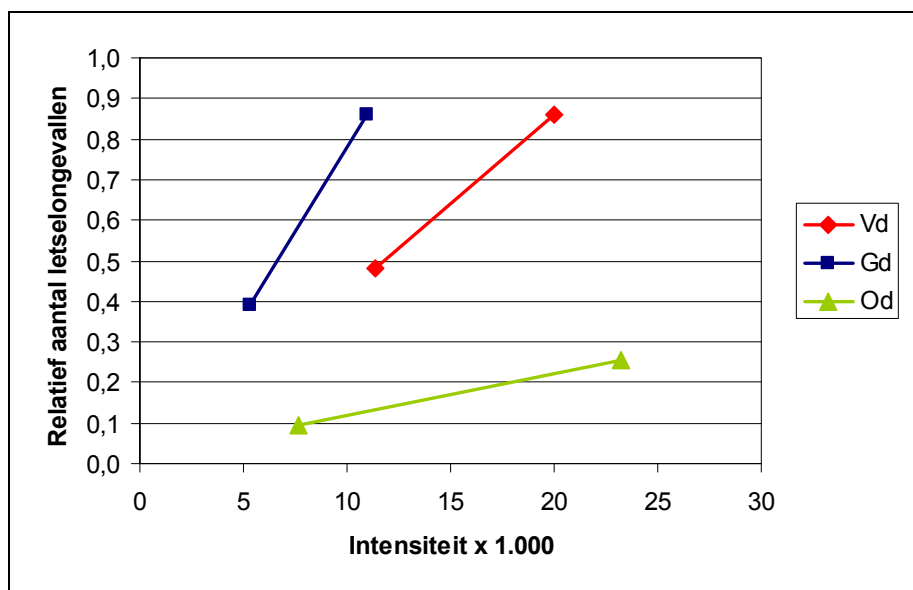
V = met verkeerslichten; G = gelijkvloers; O = ongelijkvloers; b: I_z/I_h is 0,1 - 0,4

Afbeelding A.2. *Relatief aantal letselongevallen afgezet ten het aantal passerende motorvoertuigen, voor kruispunten met I_z/I_h tussen 0,1 en 0,4 (Janssen, 1992).*



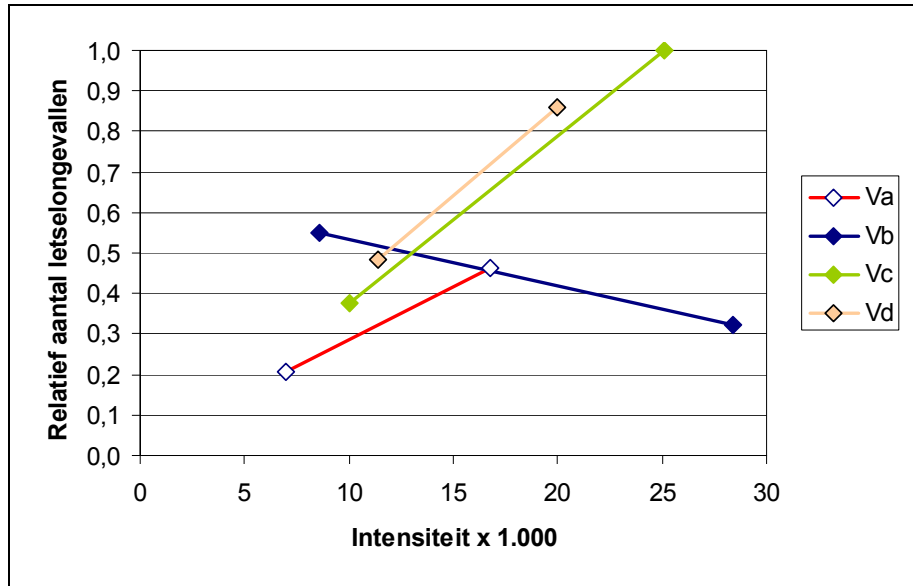
V = met verkeerslichten; G = gelijkvloers; O = ongelijkvloers; c: I_z/I_h is 0,4 - 0,75

Afbeelding A.3. . Relatief aantal letselongevallen afgezet ten het aantal passerende motorvoertuigen, voor kruispunten met I_z/I_h tussen 0,4 en 0,75 (Janssen, 1992).

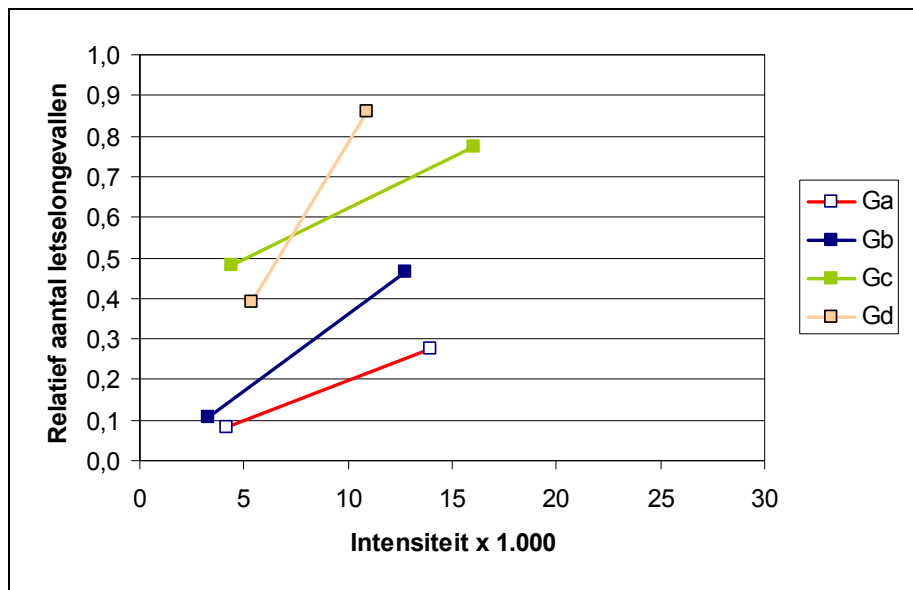


V = met verkeerslichten; G = gelijkvloers; O = ongelijkvloers; d: I_z/I_h is 0,75 - 1,0

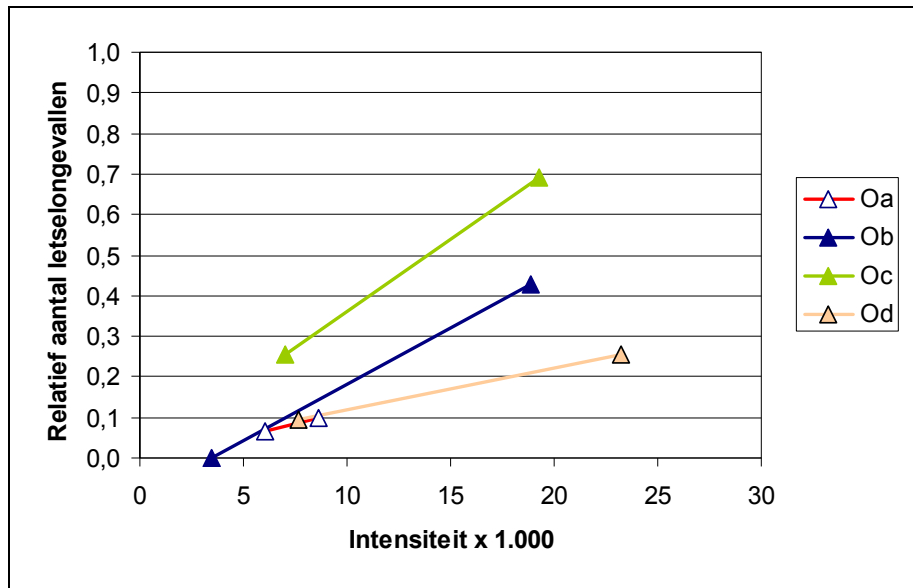
Afbeelding A.4. Relatief aantal letselongevallen afgezet ten het aantal passerende motorvoertuigen, voor kruispunten met I_z/I_h tussen 0,75 en 1,0 (Janssen, 1992).



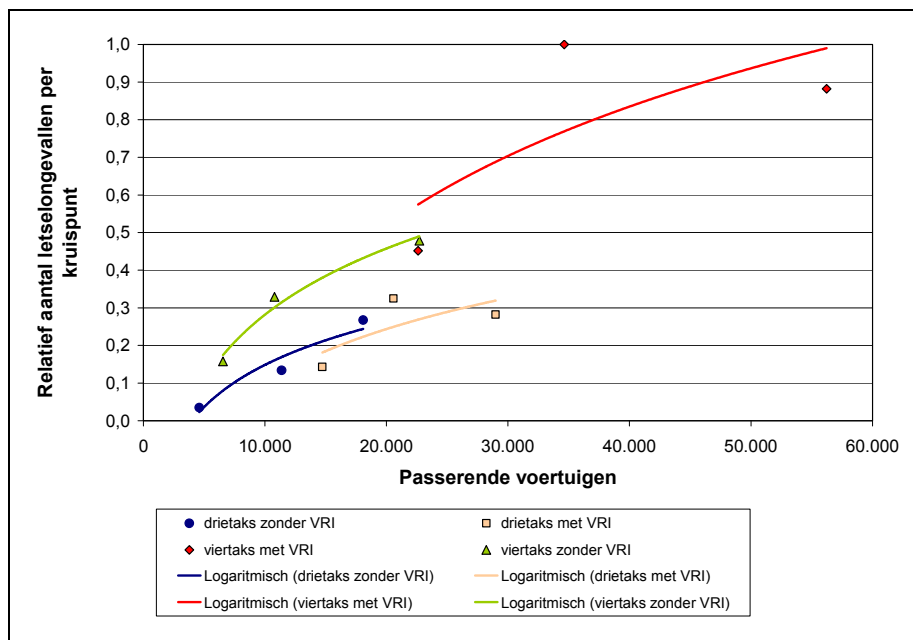
Afbeelding A.5. Relatief aantal ongevallen op kruispunten met verkeerslichten, afgezet tegen het aantal passerende motorvoertuigen (Janssen, 1992).



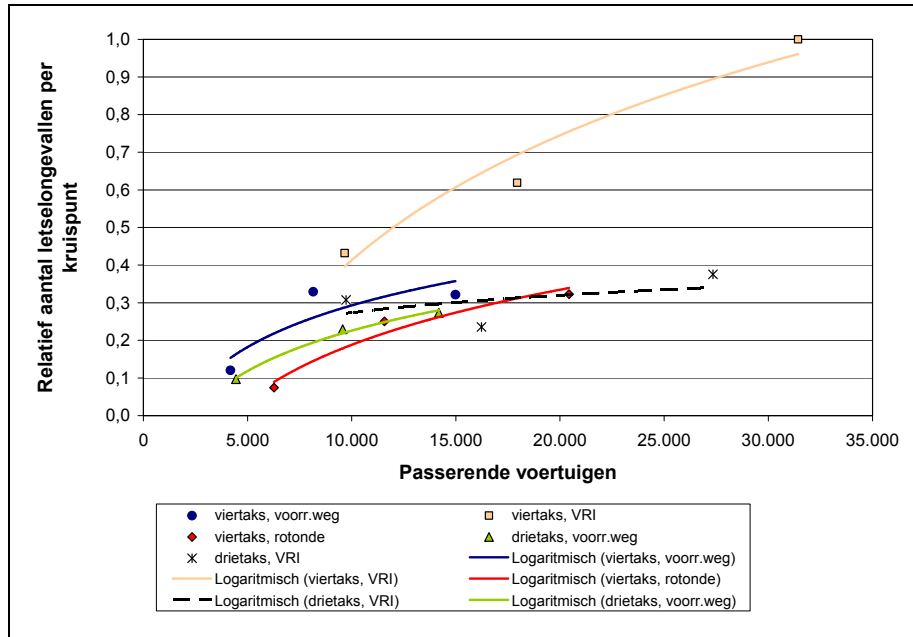
Afbeelding A.6. Relatief aantal ongevallen op gelijkvloerse kruispunten (met voorrangregeling), afgezet tegen het aantal passerende motorvoertuigen (Janssen, 1992).



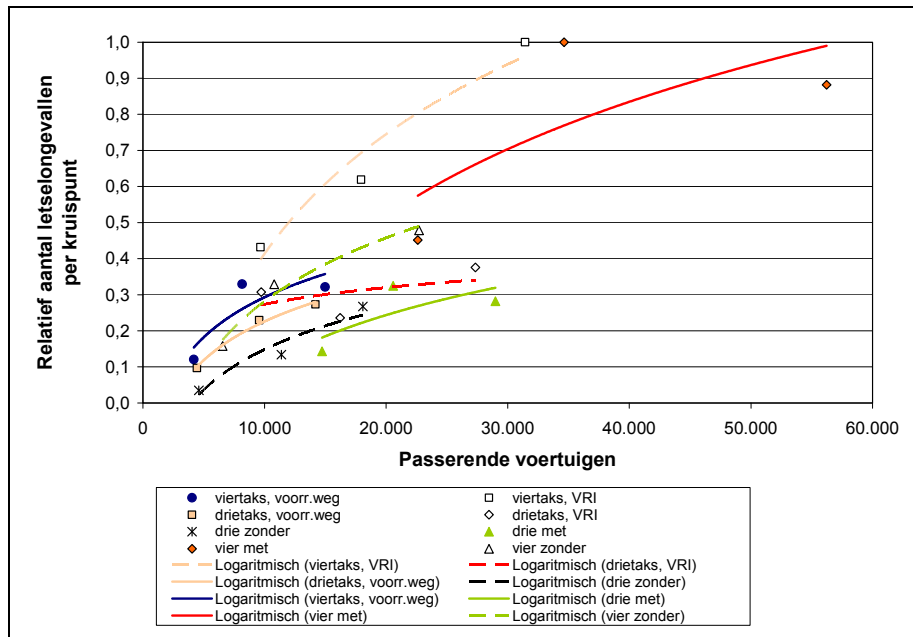
Afbeelding A.7. Relatief aantal ongevallen op ongelijkvloerse kruispunten, afgezet tegen het aantal passerende motorvoertuigen (Janssen, 1992).



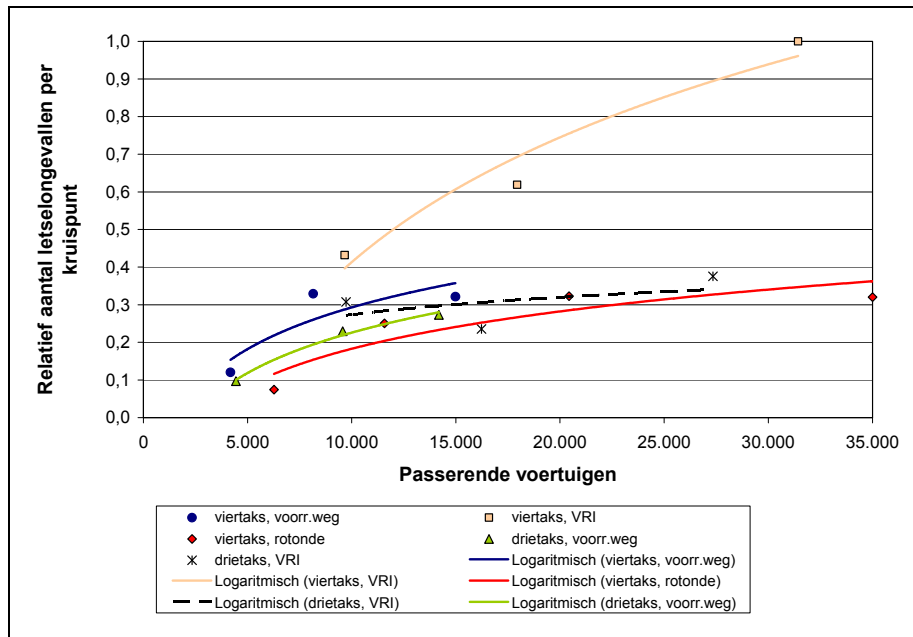
Afbeelding A.8. Relatief aantal ongevallen op kruispunten in de bebouwde kom, afgezet tegen het aantal passerende motorvoertuigen (Dijkstra, 1990).



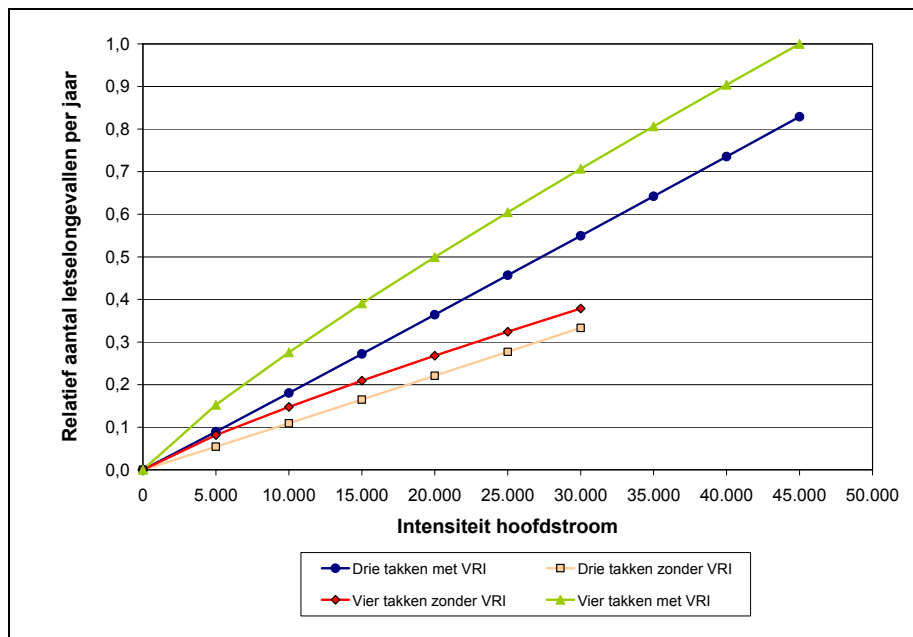
Afbeelding A.9. Relatief aantal ongevallen op kruispunten in de bebouwde kom, afgezet tegen het aantal passerende motorvoertuigen (Janssen, 2003).



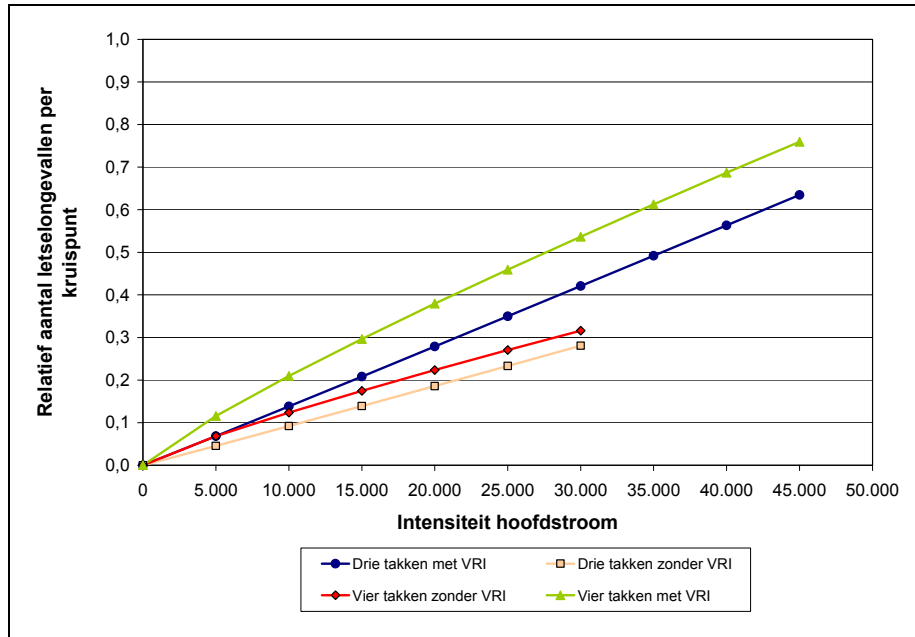
Afbeelding A.10. Relatief aantal ongevallen op kruispunten in de bebouwde kom, afgezet tegen het aantal passerende motorvoertuigen: vergelijking van resultaten Janssen (2003) met Dijkstra (1990).



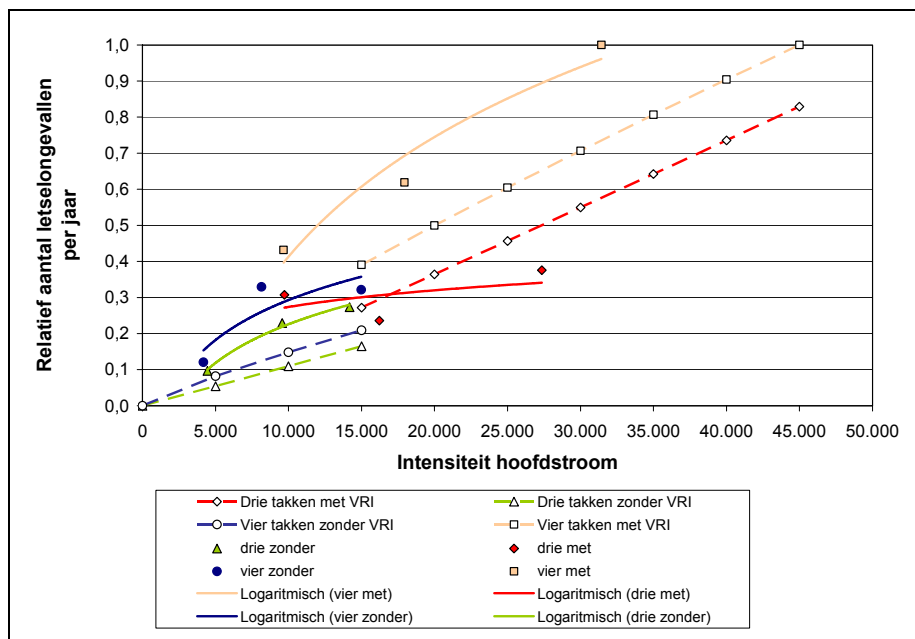
Afbeelding A.11. Resultaten van Janssen (2003) aangevuld met schatting omtrent turborotondes.



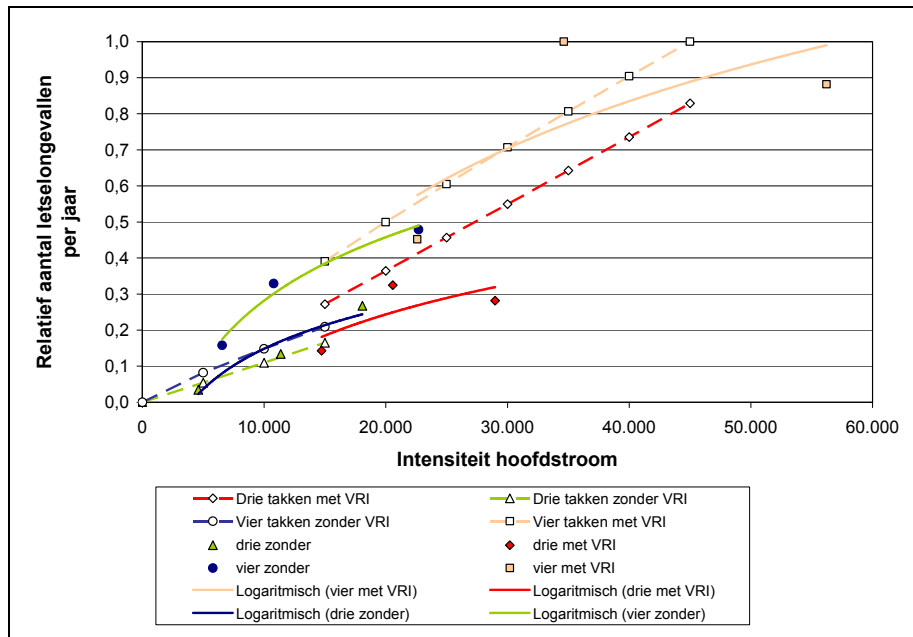
Afbeelding A.12. Resultaten van toepassing crash prediction model voor vier urbane kruispuntypen, $I_z = 0,5 I_h$ (TTI, 2009).



Afbeelding A.13. Resultaten van toepassing crash prediction model voor vier urbane kruispunttypen, $I_z = 0,25 I_h$ (TTI, 2009).



Afbeelding A.14. Vergelijking van Janssen (2003) met TTI (2009).



Afbeelding A.15. Vergelijking van Dijkstra (1990) met TTI (2009).

Bijlage B

Conflictpunten en kruispuntveiligheid

Of voertuigen kunnen botsen, en onder welke hoek, hangt af van de inrichting van het kruispunt. Een rotonde is een kruispunttype met weinig conflictpunten, een viertakskruispunt heeft de meeste conflictpunten. In deze bijlage is beschreven in hoeverre het (relatieve) aantal conflictpunten per kruispunt samenhangt met het ongevalrisico en de ongevallendichtheid.

Conflictpunten

Het aantal conflictpunten per kruispunttype is hier nagegaan voor viertakskruispunten, drietakskruispunten, enkelstrooksrotondes en bajonetkruispunten; zie *Tabel B.1*.

Een aantal conflictpunten kan in beginsel (tenzij er specifieke maatregelen zijn getroffen) worden gepasseerd zonder dat de rijsnelheid hoeft te worden teruggebracht (tot minder dan 30 km/uur); zie *Tabel B.1*.

Verder is in *Tabel B.1* per kruispunttype het aantal conflictpunten (totaal en zonder snelheidsreductie) gedeeld door het aantal conflictpunten op viertakskruispunten.

Kruispunttype	Aantal conflicten			Relatief t.o.v. viertakskruispunt	
	Totaal	Zonder snelheidsreductie	Aandeel zonder snelheidsreductie	Aantal conflicten	Zonder snelheidsreductie
Rotonde	4	0	0	0,17	0
Drietaks	6	2	0,33	0,25	0,50
Viertaks	24	4	0,17	1,00	1,00
Bajonet	12	4	0,33	0,5	1,00

Tabel B.1. Enkele gegevens per kruispunttype omtrent conflictpunten.

Het aantal conflictpunten zonder snelheidsreductie is naar verhouding (t.o.v. het viertakskruispunt) ongunstig op drietakskruispunten en bajonetkruispunten. Hier staat een betrekkelijk gering totaal aantal conflictpunten tegenover. De rotonde scoort in alle opzichten (de vijf rijen in *Tabel B.1*) het best.

Relatie tussen conflictpunten en risico

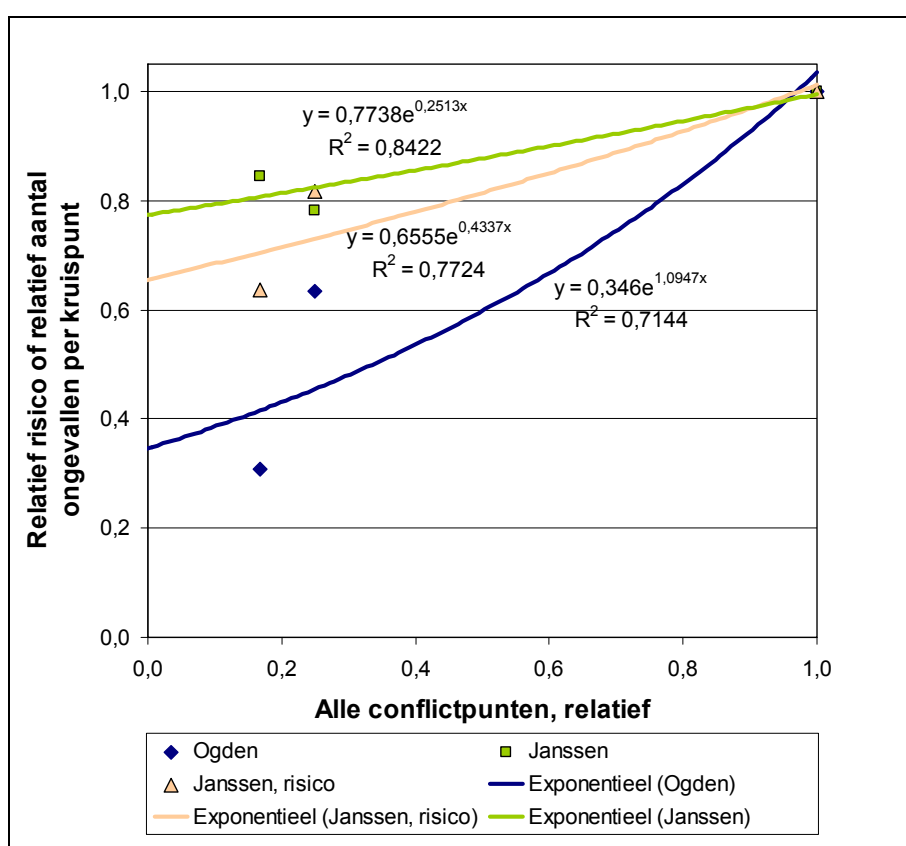
In *Tabel B.2* zijn ongevalrisico's (aantal ongevallen per miljoen passerende motorvoertuigen) vermeld van Ogden (1996). Hieraan zijn gegevens van Janssen (2003) over risicocijfers en het aantal ongevallen per kruispunt per jaar toegevoegd.

De gegevens uit *Tabel B.2* zijn gebruikt bij het samenstellen van enkele grafieken waarin een (relatief) veiligheidscijfer wordt afgezet tegen een (relatief) aantal conflictpunten. In *Afbeelding B.1* zijn het relatief risico en het relatief aantal ongevallen per kruispunt (t.o.v. het viertakskruispunt) voor drie kruispunttypen uitgezet tegen het relatief aantal conflictpunten. We zien drie

stijgende lijnen: de lijn met de cijfers van Ogden is het steilst, de twee lijnen van Janssen zijn onderling nauwelijks verschillend.

Kruispunttype	Risico (Ogden, 1996)		Ongevallen per kruispunt (Janssen, 2003)		Risico (Janssen, 2003)	
	Ongevallen/mln passerende mvt	Relatief t.o.v. viertaks	Gemiddeld aantal per type	Relatief t.o.v. viertaks	Ongevallen/mln passerende mvt	Relatief t.o.v. viertaks
Rotonde	0,16	0,31	1,59	0,85	0,07	0,64
Drietaks	0,33	0,63	1,47	0,78	0,09	0,82
Viertaks	0,52	1,00	1,88	1	0,11	1,00
Bajonet	0,29	0,56	onbekend	--	onbekend	--

Tabel B.2 Enkele gegevens per kruispunttype omtrent het (relatieve) ongevallenniveau.

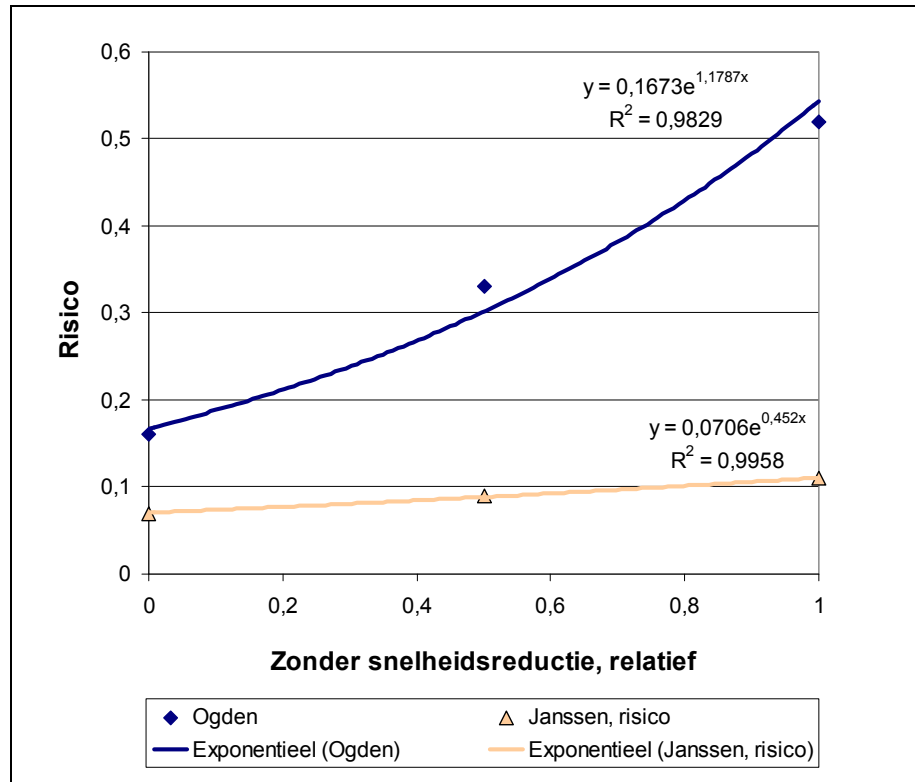


Afbeelding B.1. Relatief risico en relatief aantal ongevallen per kruispunt, afgezet tegen het relatieve aantal conflictpunten.

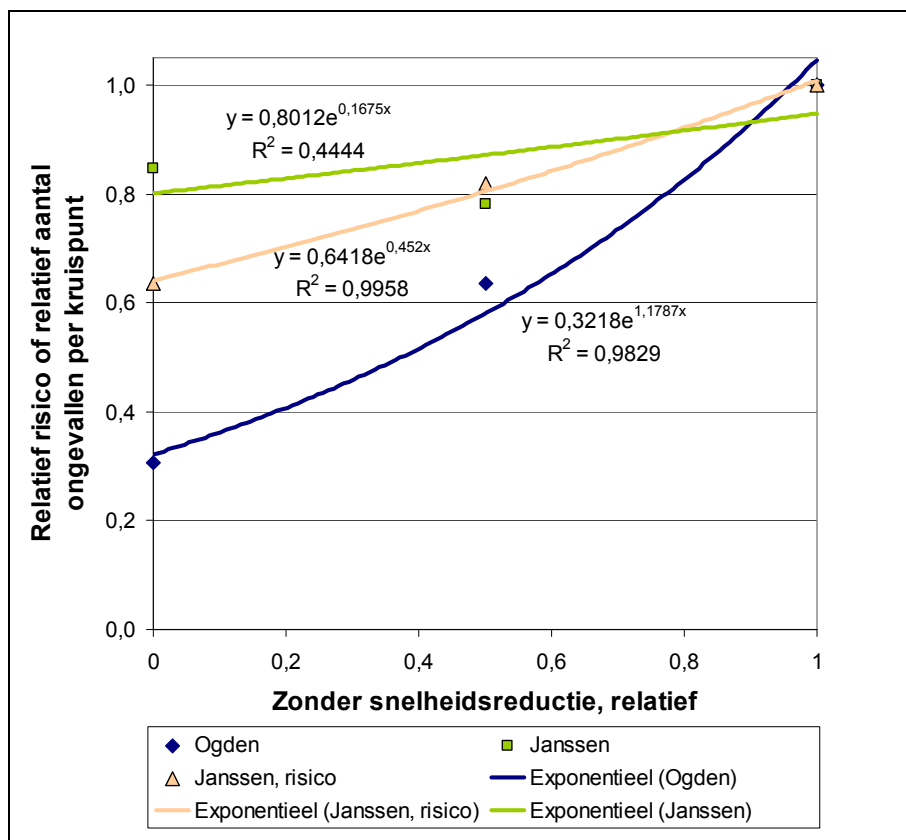
Vervolgens is in Afbeelding B.2 het absolute risico afgezet tegen het relatief aantal conflictpunten zonder snelheidsreductie. Het risico bij Janssen stijgt nauwelijks en bij Ogden heel sterk.

Afbeelding B.3 geeft het relatief risico en het relatief aantal ongevallen per kruispunt voor de drie kruispunttypen uitgezet tegen het relatief aantal conflictpunten zonder snelheidsreductie. Ook hier weer een sterke stijging bij Ogden. De lijnen bij de cijfers van Janssen verschillen onderling weer weinig.

Uit de weergegeven grafieken volgt dat het (relatief) risico of het (relatief) aantal ongevallen per kruispunt, toeneemt met het (relatief) aantal conflictpunten. Deze relatie lijkt zo sterk dat er een schatting gemaakt kan worden van het verwachte risico gegeven het aantal conflictpunten. Het is ook duidelijk dat er grote verschillen zijn tussen de getoonde grafieken. Als we ons zouden beperken tot de grafieken met Nederlandse gegevens dan zou de grafiek van Janssen voor het relatief risico de sterkst stijgende relatie te zien geven.



Afbeelding B.2. *Risico afgezet tegen het relatieve aantal conflictpunten zonder snelheidsreductie.*



Afbeelding B.3. Relatief risico en relatief aantal ongevallen per kruispunt, afgezet tegen het relatieve aantal conflictpunten zonder snelheidsreductie.