

# Enkele aspecten van kruispuntveiligheid

R-2014-21A





## **Enkele aspecten van kruispuntveiligheid**

Rapportage voor het CROW-project Afwegingskader kruispunten

## Documentbeschrijving

Rapportnummer:	R-2014-21A
Titel:	Enkele aspecten van kruispuntveiligheid
Ondertitel:	Rapportage voor het CROW-project Afwegingskader kruispunten
Auteur(s):	Dr. ir. A. Dijkstra
Projectleider:	Dr. ir. A. Dijkstra
Projectnummer SWOV:	C05.01
Medegefinancierd door:	CROW kenniscentrum voor verkeer, vervoer en infrastructuur, en Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
Opdrachtnummer CROW:	F0206/2014-07/THES/ghop
Trefwoord(en):	Cross roads; junction; traffic; safety; risk; accident rate; priority (traffic); roundabout; layout; Netherlands; SWOV.
Projectinhoud:	CROW wil een afwegingskader tot stand brengen dat bedoeld is voor de keuze van een kruispunttype, afhankelijk van in elk geval de gewenste verkeerscapaciteit, de samenstelling van het verkeer, de beschikbare ruimte en de verkeersveiligheid. Dit rapport levert de kennis voor het veiligheidsaspect van dit afwegingskader. Het vormt het achterliggend onderzoeksrapport bij SWOV-rapport R-2014-21.
Aantal pagina's:	68 + 5
Uitgave:	SWOV, Den Haag, 2014

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

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV  
Postbus 93113  
2509 AC Den Haag  
Telefoon 070 317 33 33  
Telefax 070 320 12 61  
E-mail [info@swov.nl](mailto:info@swov.nl)  
Internet [www.swov.nl](http://www.swov.nl)

# Samenvatting

CROW zal in 2013/2014 basiskenmerken voor kruispunten en rotondes gaan samenstellen. Daarmee samenhangend wil CROW in dezelfde periode een afwegingskader tot stand brengen dat bedoeld is voor de keuze van een kruispunttype, afhankelijk van in elk geval de gewenste verkeerscapaciteit, de samenstelling van het verkeer, de beschikbare ruimte en de verkeersveiligheid. SWOV heeft voor dit afwegingskader het aspect verkeersveiligheid uitgewerkt. Daarvan is dit rapport de weergave.

Het beoogde afwegingskader voorziet in een leemte in de huidige verkeerskundige handboeken. Vooralsnog is er slechts een beperkt aantal (Nederlandse) handvatten voor afwegingen tussen kruispunttypen. Deze handvatten vormen belangrijke bronnen voor dit rapport. Daarnaast is gebruikgemaakt van een gegevensbestand dat SWOV heeft samengesteld waarin weg-, verkeers- en ongevalskenmerken zijn opgenomen.

Uit de beschikbare ongevallenstudies blijkt dat er drie bepalende kenmerken zijn voor kruispuntveiligheid:

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

## Kruispunttypen buiten de bebouwde kom

Voor kruispunten op regionale stroomwegen en gebiedsontsluitingswegen buiten de bebouwde kom is gevonden dat de onveiligheid van kruispunten met verkeerslichten (VRI) hoog is ten opzichte van andere kruispunttypen, zeker bij  $I_z/I_h$  groter dan 0,4.

Voor de veiligheid van langzaam verkeer geldt dat het procentuele aandeel van fietsers bij letselongevallen buiten de bebouwde kom op kruispunten van A- en N-wegen (stroom- en gebiedsontsluitingswegen) tussen 8 en 16% ligt en op kruispunten van wegen van lagere orde tussen 4 en 8%. Bij snor- en bromfietzers zijn deze percentages respectievelijk 9-24% en 3-14%.

Op kruispunten van gebiedsontsluitingswegen buiten de bebouwde kom geldt voor het aantal letselongevallen met langzaam verkeer: op drietaks-kruispunten en viertakskruispunten is dit hoger dan op rotondes.

Het procentuele aandeel ongevallen met langzaam verkeer op drietaks-kruispunten is ook hoger dan op rotondes; op viertakskruispunten geldt dit *niet*.

Het aantal letselongevallen met langzaam verkeer op kruispunten met VRI is hoger dan op kruispunten zonder VRI. Dit geldt ook voor het totaal aantal letselongevallen.

## Kruispunttypen binnen de bebouwde kom

Op kruispunten van gebiedsontsluitingswegen in de bebouwde kom is de onveiligheid van kruispunten met VRI hoog. De turborotonde lijkt echter in veel situaties een veilig alternatief voor het VRI-kruispunt.

Viertaksrotondes zijn veiliger dan viertakskruispunten met voorrang-regeling.

Het procentuele aandeel van fietsers bij letselongevallen op kruispunten binnen de bebouwde kom ligt tussen 18 en 31% op kruispunten gelegen op A- en N-wegen (stroom- en gebiedsontsluitingswegen) en tussen 9 en 14% op kruispunten gelegen op gebiedsontsluitingswegen (zijnde geen N-wegen). De percentages van snor- en bromfietsers zijn respectievelijk 38-54% en 9-15%.

Op drietakskruispunten van gebiedsontsluitingswegen binnen de bebouwde kom heeft een VRI-kruispunt een lager gemiddeld procentueel aandeel ongevallen met langzaam verkeer en op een gelijkwaardig kruispunt een hoger aandeel. Op viertakskruispunten liggen de procentuele aandelen van de kruispunttypen dicht bij elkaar; de kruispunten met een voorrang-regeling hebben het hoogste aandeel. De aandelen op rotondes liggen even hoog als op viertakskruispunten.

De ongevalsrisico's (aantal letselongevallen per hoeveelheid passerende fietsers, bromfietsers en motorvoertuigen) op drie- en viertakskruispunten op gebiedsontsluitingswegen in de bebouwde kom, liggen voor ongevallen met langzaam verkeer steeds veel lager dan voor ongevallen met uitsluitend snelverkeer (factor drie of hoger). Op viertaksrotondes is deze factor ongeveer vier.

## Effect van kruispuntverandering

Het veiligheidseffect van een verandering op een kruispunt of van een onderlinge vergelijking van alternatieven, is kwantitatief geschat voor vier soorten veranderingen:

- ander kruispunttype;
- meer of minder passerende motorvoertuigen ( $I_z + I_h$ );
- andere verhouding  $I_z/I_h$ ;
- meer of minder conflictpunten (met of zonder snelheidsreductie).

Deze kwantitatieve schattingen van veranderingen zijn geschikt om opgenomen te worden in software die laat zien wat de gevolgen voor veiligheid zijn van veranderingen op een kruispunt.

Het ongevalsrisico op een weg neemt toe naarmate er meer eraansluitingen zijn. Deze toename is pas substantieel bij 20 of meer aansluitingen per kilometer.

Omtrent het veiligheidseffect van het toevoegen van een extra kruispunt aan een bestaand netwerk geeft de literatuur geen informatie. Uit de kennis over extra aansluitingen kan worden afgeleid dat een extra kruispunt tot extra conflictpunten en dus tot ongevallen zal leiden. Maar het totale veiligheidseffect is afhankelijk van de veranderingen die optreden op de omliggende kruispunten. Het toegevoegde kruispunt onttrekt wellicht verkeer aan de omliggende kruispunten, die kunnen daardoor veiliger worden. Het totale veiligheidseffect is dus niet zonder nadere studie te geven.

Ten slotte herformuleert dit rapport de (Duurzaam Veilig-)eisen voor de indeling van kruispunten. Hierbij is voornamelijk uitgegaan van de functionele indeling van wegen, de homogeniteit van de kruisende verkeersstromen, en de herkenbaarheid voor verkeersdeelnemers.

# Summary

## Several aspects of intersection safety; Report for the CROW project Assessment Framework for Intersections

In 2013/2014 the CROW (Technology platform for transport, infrastructure and public space) will determine the basic characteristics for intersections and roundabouts. Correspondingly, CROW wants to establish an assessment framework that is meant for choosing an intersection type. The aspects that are to be considered in any case are the expected traffic volume, the traffic composition, the available space and the road safety. SWOV has worked out the road safety aspect for this framework; this report presents the results.

The intended framework provides for a shortcoming in the current traffic engineering manuals. So far only a limited number of handles is available (in the Netherlands) considerations about crossroads types. These handles have been important sources for this report. In addition, a data file was used in which road, traffic and crash characteristics are included; this data file has been compiled by SWOV.

The available crash studies indicate that there are three defining characteristics for intersection safety:

1. Intersection type;
2. Number of passing vehicles;
3. Ratio of lateral flow to main flow  $I_z/I_h$ .

### Types of rural intersections

It was found that for intersections on regional through roads and distributor roads, signalized intersections are relatively unsafe compared to other intersections, particularly at  $I_z/I_h$  greater than 0.4.

In relation with the safety of slow traffic, the percentages of cyclists in rural injury crashes at intersections of A and N roads (through roads and distributor roads) were found to be between 8 and 16% and between 4 en 8% at intersections of lower order roads. For light moped riders and moped riders these percentages were 9-24% and 3-14% respectively.

At intersections of rural distributor roads, the number of injury crashes involving slow traffic is greater at three- and four-legged intersections than at roundabouts.

The percentage of crashes involving slow traffic is also greater at three-legged intersections than at roundabouts; this is *not* the case for four-legged intersections.

The number of injury crashes involving slow traffic is greater at signalized intersections than at non-signalized intersections. This is also true for the total number of injury crashes.

### Types of urban intersections

At intersections of distributor roads in urban areas, signalized intersections are relatively unsafe. However, in many situations the turbo roundabout seems to be a safe alternative to the signalized intersection.

Four-arm roundabouts are safer than four-legged priority intersections.

The percentage of cyclists in injury crashes at urban intersections is between 18 and 31% at intersections of A and N roads (through roads and distributor roads) and between 9 and 14% at intersections of distributor roads that are *not* N roads. The percentages are between 38-54% for light moped riders and between 9-15% for moped riders.

At three-legged intersections of urban distributor roads, signalized intersections have a smaller average percentage of crashes involving slow traffic than intersections without designated priorities, which have a higher percentage. At four-legged intersections the percentages at these intersections are more similar; the priority intersections have the highest percentage. The percentages at roundabouts are similar to the percentages at four-legged intersections.

The crash rates (number of injury crashes per number of passing cyclists, moped riders and motor vehicles) at three- and four-legged intersections of urban distributor roads are always lower for crashes involving slow traffic than for crashes involving fast traffic only (by a factor of three or more). This factor is approximately four at four-arm roundabouts.

### Effects of changes at intersections

For four types of changes a quantitative estimate has been made of the safety effect of changes to an intersection or of a comparison of alternatives:

- different type of intersection;
- more or fewer passing motor vehicles ( $I_z + I_h$ );
- different ratio  $I_z / I_h$ ;
- more or fewer conflict points (with or without speed reduction).

These quantitative estimates of changes are suitable to be incorporated in software showing the safety effects of changes to an intersection.

The crash rate on a road increases when the number of accesses increases. This increase does not become considerable until the number of accesses is 20 or more per kilometre.

Currently, literature does not provide information about the safety effect of adding an extra intersection to an existing network. From what we know about additional connection it may be inferred that an extra intersection will result in additional conflict points and will therefore lead to crashes. But the total safety effect depends on the changes that occur on the surrounding intersections. The added intersection could possibly remove traffic from surrounding intersections, which as a result may become safer. The total safety effect can therefore not be given without further study.

Finally, this report reformulates the (Sustainable Safety) requirements for the layout of intersections. This is mainly based on the functional layout of roads, the homogeneity of the intersecting traffic flows, and the predictability for road users.



# Inhoud

<b>1. Inleiding</b>	<b>9</b>
1.1. Achtergrond	9
1.2. Probleemstelling en doel	9
1.3. Opbouw rapport en leeswijzer	9
<b>2. Effect van toevoegen van kruispunten en aansluitingen</b>	<b>11</b>
2.1. Aansluitingen op autosnelwegen	11
2.1.1. Afstanden tussen aansluitingen	11
2.1.2. Kruispunten nabij aansluitingen	14
2.1.3. Samenvatting van de gevonden resultaten in de hiervoor besproken literatuur	15
2.2. Erfaansluitingen	16
2.3. Conclusies en discussie	17
<b>3. Veiligheidseisen voor kruispunten opnieuw geformuleerd</b>	<b>18</b>
3.1. Bestaande veiligheidseisen	18
3.2. Tekortkomingen en aanvullende veiligheidseisen	21
3.3. DV-eisen opnieuw geformuleerd	22
3.4. Adequate verkeersvoorzieningen per DV-eis	23
3.5. Ongevallen per conflict- en locatietype	26
3.6. Voorgestelde verkeersvoorzieningen	28
<b>4. Veiligheid per kruispunttype</b>	<b>30</b>
4.1. Beschikbare bronnen (literatuur)	30
4.2. Kruispunten op enkelbaanswegen buiten de bebouwde kom	31
4.3. Kruispunten op verkeersaders (gebiedsontsluitingswegen) in de bebouwde kom	32
4.4. Rotondes	33
4.5. Urbane kruispunten	33
4.6. Kruispuntveiligheid van langzaam verkeer	34
4.7. Conclusies	37
4.8. Afbeeldingen	39
<b>5. Methode om verandering in kruispuntveiligheid vast te stellen</b>	<b>49</b>
5.1. Basis van de methode?	49
5.2. Kanttekeningen bij de methode	50
5.3. Hoofdpijnen van de methode	50
5.3.1. Ander kruispunttype	51
5.3.2. Meer of minder passerende motorvoertuigen ( $I_z + I_h$ )	52
5.3.3. Andere verhouding $I_z/I_h$	53
5.3.4. Meer of minder conflictpunten (met of zonder snelheidsreductie)	54
5.3.5. Relatieve veiligheid van kruispunttypen	54

5.4.	Voorbeelden van een (theoretische) toepassing	56
5.4.1.	Voorbeeld 1	56
5.4.2.	Voorbeeld 2	57
5.4.3.	Voorbeeld 3	57
5.4.4.	Voorbeeld 4	57
5.4.5.	Voorbeeld 5	58
5.4.6.	Voorbeeld 6	59
5.4.7.	Voorbeeld 7	60
<b>6.</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>61</b>
6.1.	Ongeveldichtheid, ongevalsrisico en procentueel aandeel ongevallen met langzaam verkeer	61
6.2.	Dichtheid van aansluitingen en kruispunten	62
6.3.	Kwantitatieve effecten van veranderingen en van alternatieven	63
	<b>Literatuur</b>	<b>65</b>
<b>Bijlage A</b>	<b>Conflictpunten en kruispuntveiligheid</b>	<b>69</b>
<b>Bijlage B</b>	<b>Kruispunttypen voor CROW-project Afwegingskader</b>	<b>73</b>

# 1. Inleiding

## 1.1. Achtergrond

CROW zal in 2013/2014 basissenmerken voor kruispunten en rotondes gaan samenstellen. Daarmee samenhangend wil CROW in dezelfde periode een afwegingskader tot stand brengen dat bedoeld is voor de keuze van een kruispunttype, afhankelijk van in elk geval de gewenste verkeerscapaciteit, de samenstelling van het verkeer, de beschikbare ruimte en de verkeersveiligheid.

SWOV geeft het veiligheidsaspect van dit afwegingskader vorm en stemde hierbij de werkzaamheden af zowel met het adviesbureau DTV Consultants, dat de andere aspecten van het afwegingskader uitvoerde, als met de begeleidingsgroep van het CROW.

## 1.2. Probleemstelling en doel

Het beoogde afwegingskader voorziet in een leemte in de huidige verkeerskundige handboeken. Vooralnog zijn er slechts een beperkt aantal (Nederlandse) handvatten voor afwegingen tussen kruispunttypen. Deze bestaande kennis is een goede basis voor een afwegingskader. Relevante kennis uit het buitenland zal in de analyse worden meegenomen. Ongetwijfeld ontbreekt er kennis, maar daarin kan (gedeeltelijk) in het uitvoeringsstadium worden voorzien.

Al geruime tijd hanteert de vakwereld de principes van Duurzaam veilig als leidend voor afwegingen op verkeerskundig gebied. Redenerend vanuit die principes is het mogelijk om eisen te formuleren voor de indeling van kruispunten. Daarbij zijn de functionele indeling van wegen, de homogeniteit van de kruisende verkeersstromen, en de herkenbaarheid voor verkeersdeelnemers van grote invloed.

Het project Afwegingskader kruispunten moet het mogelijk maken dat een verkeerskundige vooraf kan nagaan welke gevolgen de keuze voor een kruispunttype heeft op de aspecten doorstroming (capaciteit), ruimtebeslag, en verkeersveiligheid.

De geformuleerde eisen in dit rapport zullen naast de eisen gelegd moeten worden die voortvloeien uit de andere aspecten (capaciteit, samenstelling verkeer, ruimte).

## 1.3. Opbouw rapport en leeswijzer

Dit rapport geeft allereerst enig inzicht in de relatieve betekenis van kruisend en in-/uitvoegend verkeer op een weg. Dit maakt duidelijk welk effect het toevoegen van een kruispunt of uitrit kan hebben op de bestaande onveiligheid (*Hoofdstuk 2*).

Vervolgens is een beschrijving gegeven van de veiligheidsaspecten van bestaande kruispunttypen (*Hoofdstuk 3*). Gegeven de variëteit in omvang en samenstelling van de kruisende verkeersstromen en de variëteit in omgevingskenmerken, is nagegaan welke veiligheidseisen voor de

verschillende situaties relevant zijn. De gespecificeerde eisen zijn vertaald in daarbij passende kruispunttypen en –vormen. Er is een beschouwing gegeven over de consequenties (bij voorkeur in termen van ongevallen) van het niet volgen van het aanbevolen kruispunttype.

*Hoofdstuk 4* geeft een beschrijving van de onveiligheid van de verschillende kruispunttypen.

In *Hoofdstuk 5* is een aanpak uiteengezet voor het bepalen van de verschillen tussen kruispunttypen wat betreft het veiligheidsniveau. Dit kan voor bestaande kruispunttypen en voor afwijkende (niet bestaande) typen.

Tot slot geeft *Hoofdstuk 6* de conclusies en aanbevelingen.

## 2. Effect van toevoegen van kruispunten en aansluitingen

Wat gebeurt er als een kruispunt of een erfaansluiting aan het wegennet wordt toegevoegd? Het effect op de doorstroming is vaak vooraf met een rekenmodel vast te stellen. Het veiligheidseffect is minder duidelijk. Er is literatuur beschikbaar over aansluitingen op autosnelwegen. Verder gaat de literatuur vooral in op het effect van erfaansluitingen en veel minder op kruispunten. De literatuur heeft veel aandacht voor 'access management' waaronder, naast grip krijgen op het aantal aansluitingen, ook beperkingen vallen aangaande afslaan, rijrichting en beschikbare verkeersruimte. Dit hoofdstuk bespreekt de beschikbare kennis die, zoals hiervoor al is vermeld, hoofdzakelijk gericht is op aansluitingen op autosnelwegen en op erfaansluitingen.

### 2.1. Aansluitingen op autosnelwegen

#### 2.1.1. Afstanden tussen aansluitingen

Wolhuter et al. (2005) en Ingham et al. (2000) hanteren voor de afstanden tussen aansluitingen het principe dat de bewegwijzering leidend is voor de minimale afstand (750 m). Als die afstand toch niet haalbaar is, dan zou de verkeersdichtheid niet groter mogen zijn dan 22-25 voertuigen/km/strook (Wolhuter et al., 2005). Als ook aan die voorwaarde niet voldaan kan worden, dan is een extra rijstrook nodig. In beide publicaties nemen de auteurs aan dat de verkeersveiligheid wordt gediend met de gestelde voorwaarden. Er ligt geen ongevallenstudie aan ten grondslag, alleen praktijkervaring.

Fitzpatrick et al. (2011) beschrijven de werkwijze die zij hebben gevolgd bij het samenstellen van richtlijnen voor de minimale afstand tussen toe- en afritten op 'freeways'<sup>1</sup> (Fitzpatrick et al., 2010). De aanleiding voor het opstellen van deze richtlijn is dat in het standaardwerk *Policy on geometric design of highways and streets* (AASHTO, 2011) geen verband is gelegd tussen de minimale afstand en de (ontwerp)snelheid. De auteurs veronderstellen dat dit verband van belang is voor het bepalen van de minimale afstand. Ze geven als voorbeeld de voorgeschreven minimale afstand in het Verenigd Koninkrijk: daar geldt:

$$spacing = 3,75 \times V$$

waarin *spacing* in m en *V* in km/uur; *spacing* is gerekend tussen de 'tips of the noses' (HA, 1994; p. 4.1).

Deze afstand geldt niet als een toerit vooraf gaat aan een afrit. In dat geval gelden grotere afstanden die afhangen van de omvang van de verkeersstromen en de daardoor benodigde weefafstanden (HA, 2006; p. 4.22).

Fitzpatrick et al. (2011) leggen in hun onderzoek een relatie tussen minimale afstand, snelheid en weefvaklengte. Op zeven locaties zijn weefbewegingen geobserveerd met videocamera's. Ook zijn gegevens over intensiteiten en

---

<sup>1</sup> Freeway: Amerikaanse benaming van autosnelweg

rijnsnelheid vastgelegd. De waarnemingen zijn tevens gebruikt voor de kalibratie van een simulatiemodel. Dit model is gebruikt om omstandigheden na te bootsen die niet waren waargenomen. Met de data en het simulatiemodel is een kwantitatieve relatie gelegd tussen vier variabelen:

1. benedenstroomse rijnsnelheid
2. benedenstroomse intensiteit,
3. verhouding tussen intensiteit op de toe- of afrit en de bovenstroomse intensiteit
4. weeflengte (tussen de puntstukken).

Voor verkeersveiligheid hanteren de auteurs een *accident modification factor* die is gevonden door Bonneson & Pratt (2008):

$$AMF_{wev} = e^{152,9/Lw}$$

waarin  $AMF_{wev}$  de *accident modification factor* voor de letselongevallen in het weefvak, en  $L_w$  de weefvaklengte (in ft).

Deze factor is bepaald uit gegevens van 588 Texaanse wegvakken en ongevallen op die wegvakken in een periode van drie jaar. De factor  $AMF_{wev}$  bedraagt 1,2 bij 800 ft (244 m) en 1,04 bij 4.000 ft (1.219 m).

Bared et al. (2006) hebben de veiligheid van afstanden tussen aansluitingen op *urban freeways*<sup>2</sup> bestudeerd. Ze hebben gegevens verzameld van 53 wegvakken (op drie wegen) in Californië; de ongevalgegevens omvatten een periode van vijf jaar.

Via *Negatieve Binomiale Regressie* zijn twee modellen gevonden, een model voor het totale aantal ongevallen en een model voor de letselongevallen.

De uiteindelijke modellen zijn gepresenteerd in FHWA (2007). Het model voor het totale aantal ongevallen is:

$$TC = y \times e^{(-9,91 + 1,39 \times \ln(AADT/LANE) + 0,57 \times \ln(SPACING) + 1,50 \times RRATIO + 0,37 \times HOV - 0,01 \times MEDWID + 0,27 \times MEDTYP)}$$

waarin  $TC$  het totale aantal ongevallen op het wegvak tussen twee aansluitingen,  $y$  het aantal jaren,  $AADT$  de annual average daily traffic,  $LANE$ , het aantal rijstroken halverwege het wegvak,  $SPACING$  de afstand tussen de aansluitingen,  $RRATIO$  de deling van de gesommeerde intensiteiten op de toe- en afritten en de intensiteit op de freeway,  $HOV$  de aan- of afwezigheid ( $HOV = 1$  resp.  $0$ ) van een HOV strook (voor voertuigen met twee of meer personen aan boord),  $MEDWID$  de breedte van de middenberm,  $MEDTYP = 0$  als de middenberm verhard is en  $1$  als dat niet zo is. Alle lengtematen zijn in *feet*.

Voor de letselongevallen (ongevallen met doden en/of gewonden) geldt het volgende model:

$$FI = y \times e^{(-10,92 + 1,37 \times \ln(AADT/LANE) + 0,57 \times \ln(SPACING) + 1,42 \times RRATIO + 0,34 \times HOV - 0,01 \times MEDWID + 0,35 \times MEDTYP)}$$

waarin  $FI$  is het aantal letselongevallen (Fatal and Injury crashes)

Aan de Californische gegevens zijn gegevens van wegen uit Washington State toegevoegd. De aanvulling omvat 100 wegvakken. De combinatie van

---

<sup>2</sup> Urban freeway: autosnelweg in stedelijk gebied

de gegevens van beide staten is alleen goed mogelijk voor het model voor de letselongevallen. Het model luidt:

$$FI = y \times e^{(-13,3269 + 1,3687 \times \ln(AADT/LANE) + 0,6184 \times \ln(SPACING) + 0,2632 \times RAMPAADT - 0,0032 \times MEDWID)}$$

waarin *RAMPAADT* is de gesommeerde intensiteit op de toe- en afritten.

Enkele rekenvoorbeelden met het laatstgenoemde model (*Tabel 1.1*) laten zien dat toevoegen van een aansluiting op een wegvak van 2,6 km lang, kan leiden tot een toename van het aantal letselongevallen met een factor 1,2 tot 2,2 (bij 1,2 zijn er lagere intensiteiten dan bij 2,2). Bij een wegvak van 4,8 km zijn er 1,7 tot 3,2 keer zoveel letselongevallen.

Table 6. Safety impact of splitting a freeway segment.							
Spacing Scenario	Spacing Change, km (mi)	Fatal/Injury Crashes per Year					
		Low Volumes		Average Volumes		High Volumes	
		Value	Increase	Value	Increase	Value	Increase
1	2.4 (1.50)	2 x 10.82	1.7	2 x 14.45	2.3	2 x 20.41	3.2
	4.83 (3.00)	19.93		26.62		37.61	
2	2.01 (1.25)	2 x 9.66	1.5	2 x 12.91	2.0	2 x 18.23	2.9
	4.02 (2.50)	17.81		23.78		33.60	
3	1.61 (1.00)	2 x 8.42	1.3	2 x 11.24	1.8	2 x 15.88	2.5
	3.22 (2.00)	15.51		20.72		29.27	
4	1.29 (0.80)	2 x 7.33	1.2	2 x 9.80	1.5	2 x 13.84	2.2
	2.57 (1.60)	13.51		18.05		25.49	

Where:  
 —Increase is 2 x crashes at split segment – 1 x crashes at nonsplit segment.  
 Assumptions:  
 —Median width (MEDWID): 40 feet.  
 —Freeway AADT (AADT): low 60,000, average 120,000, high 200,000.  
 —Number of lanes(NUMLANES): low 4, average 7, high 10.  
 —RAMPAADT (existing segment): low 20,000, average 30,000, high 50,000.  
 —RAMPAADT (split segment): low 10,000, average 15,000, high 25,000.

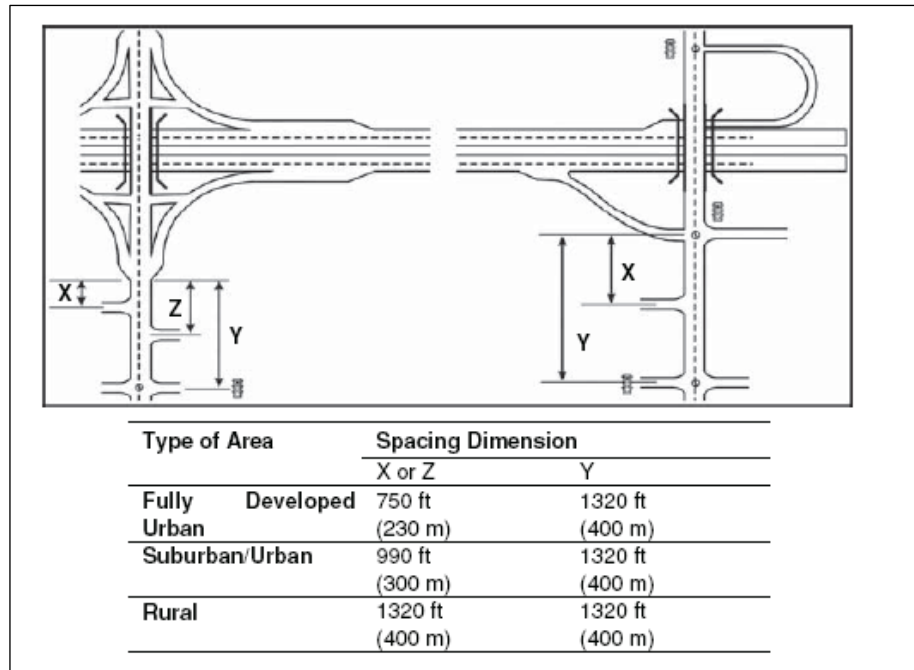
Bron: FHWA (2007)

Tabel 1.1. *Relatief veiligheidseffect door toevoegen van een aansluiting middenin een wegvak.*

Schnüll et al. (2000) onderzochten weefvakken op 'Autobahnen' in situaties waarin een toerit wordt gevolgd door een afrit. Er zijn zowel weefvakken op verbindingswegen als op de hoofdrijbanen onderzocht. De uitgevoerde ongevallenanalyse op 23 locaties levert weinig op: 212 ongevallen (inclusief ums-ongevallen) in 123 'ongevalsjaren' (van alle locaties zijn de perioden met ongevallen gesommeerd). Op vijf locaties zijn observaties van weefbewegingen uitgevoerd. Hieruit blijkt dat de meeste weefbewegingen plaatsvinden aan het begin van het weefvak. In het laatste gedeelte van het weefvak (een derde van de lengte) is er nog nauwelijks sprake van weven. Schnüll et al. hebben verder metingen uitgevoerd om de intensiteiten en de verkeersdichtheid in verschillende omstandigheden vast te stellen. De auteurs geven uiteindelijk alleen aanbevelingen voor de weefvakken op verbindingswegen. De minimale lengte van 230 - 300 meter mag worden verkort. In de huidige richtlijn (FGSV, 2008) is de minimale lengte 200 m (180 m bij 80 km/uur). Van de andere weefvakken zijn te weinig gegevens verzameld voor algemene uitspraken.

## 2.1.2. Kruispunten nabij aansluitingen

Flitsch et al. (2008) rapporteren over een onderzoek van Rakha et al. (2008). Deze onderzoekers analyseerden de invloed op de veiligheid van de afstand die een kruispunt (met één of twee zijtakken; zie *Afbeelding 1.1*) heeft tot aan de aansluiting op een *highway*<sup>3</sup>. Ze verzamelden gegevens van 168 random geselecteerde locaties. De afstanden varieerden van 25 m tot ruim 700 m.



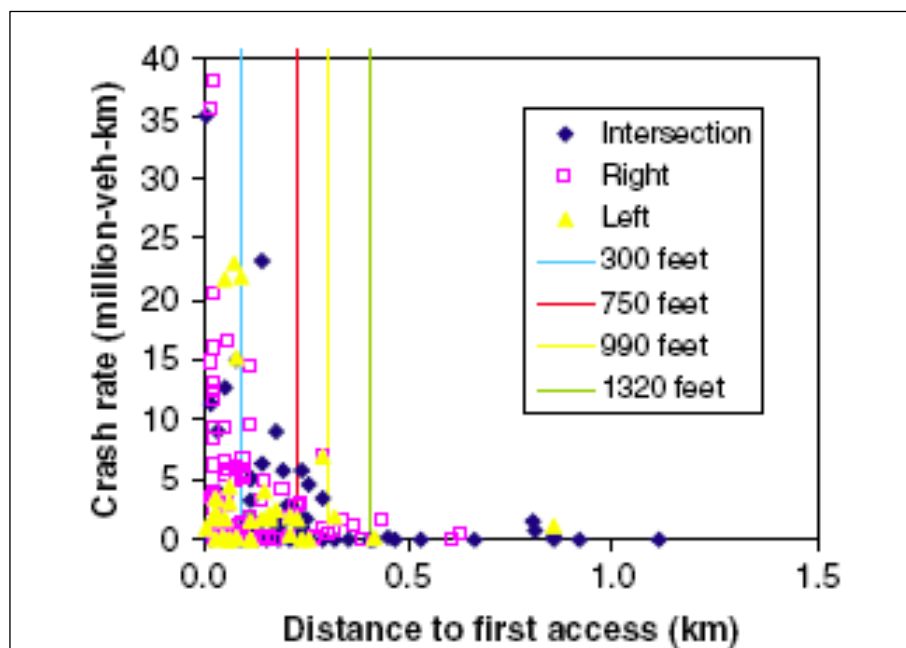
Bron: TRB (2003; p. 161)

*Afbeelding 1.1. Afstandsmaten op de kruisende enkelbaansweg nabij een aansluiting op een freeway*

Het aantal ongevalsrisico (aantal ongevallen per miljoen voertuigkilometer) neemt af naarmate deze afstand toeneemt. Tussen 0 en 300 m is het ongevalsrisico 6,59 en daarboven 2,39; in totaal is het gemiddeld risico 3,89. In *Afbeelding 1.2* is te zien dat al vanaf 400 m nauwelijks meer sprake is van een verhoogd risico.

<sup>3</sup> Highway: (in dit geval) belangrijke hoofdweg buiten de bebouwde kom (ten minste een gebiedsontsluitingsweg)





Bron: Flintsch et al. (2008)

Afbeelding 1.2. *Ongevalsrisico voor viertaks- en drietakskruispunten. Intersection: viertakskruispunt; Right en Left: zie Afbeelding 1.1 voor zijtak links of rechts*

Uit de modellering blijkt dat alleen de afstand van het kruispunt tot aan de aansluiting en de intensiteit (AADT) significante variabelen zijn om het ongevalsrisico te verklaren. De overige, dus niet-significante, variabelen zijn: middenberm, invoegstrook, urbaan/ruraal, voorsorteervak, aantal takken, wel of niet een VRI, aantal rijstroken en kruispunttype. De bevindingen ondersteunen de richtlijnen in de manual van TRB (2003).

### 2.1.3. *Samenvatting van de gevonden resultaten in de hiervoor besproken literatuur*

De belangrijkste literatuur over de verkeersveiligheid van de aansluitingsdichtheid op autosnelwegen is afkomstig uit de Verenigde Staten, Duitsland en Zuid-Afrika. De literatuur uit de VS geeft de beste aanknopingspunten met ongevallencijfers:

- De invloed van de weefvaklengte op het aantal ongevallen in het weefvak (ten opzichte van een 'oneindig' lang wegvak) bedraagt een factor 1,2 bij een weefvaklengte gelijk aan 244 m (800ft) en 1,04 bij een lengte van 1.219 m (4.000ft).
- Een ander resultaat uit de VS betreft de toename van het aantal ongevallen door toevoeging van een aansluiting midden op een bestaand wegvak. Enkele voorbeelden: toevoegen van een aansluiting op een wegvak van 2,6 km lang, kan leiden tot een toename van het aantal letselongevallen met een factor 1,2 tot 2,2 (bij 1,2 zijn er lagere intensiteiten dan bij 2,2, respectievelijk 60.000 en 200.000 voertuigen per etmaal). Bij toevoegen van een aansluiting op een wegvak van 4,8 km lang, zijn er 1,7 tot 3,2 keer zoveel letselongevallen.

De literatuur over de veiligheid van kruispunten nabij aansluitingen is eveneens afkomstig uit de VS. Er is onderzocht wat de invloed is op de

veiligheid van de afstand die een kruispunt (met één of twee zijtakken) heeft tot aan de aansluiting op een autosnelweg. Het ongevalsrisico (aantal ongevallen per miljoen voertuigkilometer) neemt af naarmate deze afstand toeneemt. Tussen 0 en 300 m is het ongevalsrisico 6,59 en daarboven 2,39; in totaal is het gemiddeld risico 3,89. Vanaf 400 m is er nauwelijks meer sprake van een verhoogd risico.

Uit de literatuur blijkt dat alleen de afstand van het kruispunt tot aan de aansluiting en de intensiteit (AADT) significante variabelen zijn om het ongevalsrisico te verklaren.

## 2.2. Erfaansluitingen

Op de gebiedsontsluitingswegen zouden in beginsel geen erfaansluitingen mogen voorkomen. Daarmee vermijden we de dwarsconflicten. Eventueel wel toegestaan zijn aansluitingen die alleen tot conflicten met con-/divergeren leiden (wel rechts afslaan vanaf de gebiedsontsluitingsweg naar de dwarsstraat toe en 'omgekeerd' alleen rechtsaf vanuit de dwarsstraat de gebiedsontsluitingsweg op).

Het effect van erfaansluitingen op het aantal ongevallen is in enkele buitenlandse studies te vinden. Een veel geciteerde studie is van Fee et al. (1970) die een duidelijke kwantitatieve relatie aantoont tussen het aantal erfaansluitingen voor bedrijven (per mijl) op Amerikaanse urbane hoofdwegen<sup>4</sup> en het aantal ongevallen per motorvoertuigmijl. Een minder sterk verband vindt Harwood (1986) in een onderzoek naar de veiligheid van verschillende dwarsprofielen op Amerikaanse 'sub-urban arterials'<sup>5</sup>: pas vanaf 40 (particuliere) inritten per kilometer neemt het aantal ongevallen aantoonbaar toe. In een Canadese studie door Li (1993) zijn eveneens voor suburbane hoofdwegen kwantitatieve relaties aangetoond tussen erfaansluitingen voor woningen en voor bedrijven.

Mauga & Kaseko (2010) tonen aan dat een extra uitrit tot 1% meer ongevallen leidt. Ook Eisele et al. (2004) laten zien dat het ongevalsrisico stijgt met de aansluitingsdichtheid: zie *Afbeelding 2.3*.

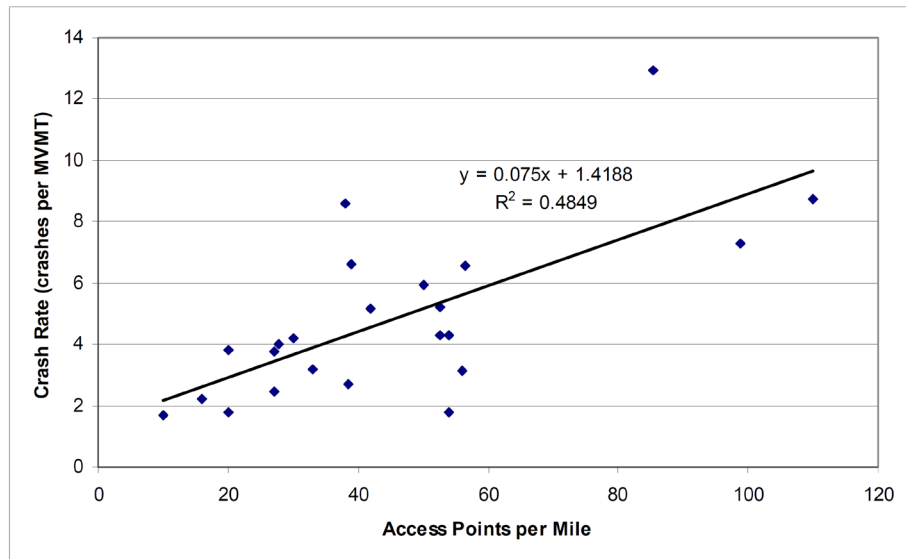
In Nederland is door Goudappel Coffeng (2001) een vergelijkend onderzoek gedaan naar de invloed van verschillende wegkenmerken op het aantal ongevallen. Het onderzoek betrof doorgaande 80 km/uur-wegen<sup>6</sup> (weglengte in totaal 300 km, 646 letselongevallen). Van alle onderzochte kenmerken, waaronder erfaansluitingen, blijken alleen de etmaalintensiteit en de aanwezigheid van parallelvoorzieningen een aantoonbare verlagende invloed op het aantal ongevallen per kilometer te hebben. De onderzochte wegen hebben gemiddeld 10,7 erfaansluitingen per kilometer (variërend van 1,5 tot 32,8 per kilometer). Dat Goudappel Coffeng (2001) in Nederland geen invloed van erfaansluitingen vindt, hoeft niet strijdig te zijn met de buitenlandse resultaten omdat de aansluitingsdichtheid in Nederland onder de dichtheden ligt die in de Noord-Amerikaanse studies worden genoemd.

---

<sup>4</sup> Urbane hoofdweg: meestal een gebiedsontsluitingsweg in stedelijk gebied

<sup>5</sup> Sub-urban arterials: gebiedsontsluitingsweg in verstedelijkt gebied

<sup>6</sup> 80 km/uur-wegen: gebiedsontsluitingswegen buiten de bebouwde kom



MVMT = Million vehicle-miles of travel

Bron: Eisele et al. (2004)

Afbeelding 2.3 Ongevalsrisico (aantal ongevallen per motorvoertuigmijl) als functie van aansluitingsdichtheid (aantal aansluitingen per mijl)

### 2.3. Conclusies en discussie

Toevoeging van een aansluiting op een autosnelweg leidt tot een toename van het aantal ongevallen: bijvoorbeeld toevoegen van een aansluiting op een wegvak van 2,6 km lang kan leiden tot een toename van het aantal letselongevallen met een factor 1,2 tot 2,2 (bij 1,2 zijn er lagere intensiteiten dan bij 2,2, respectievelijk 60.000 en 200.000 voertuigen per etmaal). Bij toevoegen van een aansluiting op een wegvak van 4,8 km lang, zijn er 1,7 tot 3,2 keer zoveel letselongevallen.

Het aantal ongevallen per afgelegde afstand (ongevalsrisico) op het wegvak tussen een aansluiting op een autosnelweg en het eerstvolgende kruispunt, is afhankelijk van zowel de afstand tussen het kruispunt en de aansluiting als de etmaalintensiteit.

Het ongevalsrisico op een weg neemt toe naarmate er meer erfaansluitingen zijn. Deze toename is pas substantieel bij 20 of meer aansluitingen per kilometer.

Omtrent het veiligheidseffect van het toevoegen van een extra kruispunt aan een bestaand netwerk geeft de literatuur geen informatie. Uit de kennis over extra aansluitingen kan worden afgeleid dat een extra kruispunt tot extra conflictpunten en dus tot ongevallen zal leiden. Maar het totale veiligheidseffect is afhankelijk van de veranderingen die optreden op de omliggende kruispunten. Het toegevoegde kruispunt onttrekt wellicht verkeer aan de omliggende kruispunten, die kunnen daardoor veiliger worden. Het totale veiligheidseffect is dus niet zonder nadere studie te geven.

### 3. Veiligheidseisen voor kruispunten opnieuw geformuleerd

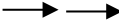


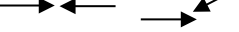
Eisen voor een duurzaam-veilige inrichting van wegvakken en kruispunten zijn eerder geformuleerd in publicaties van CROW (1997b, 2002 en 2013) en van Infopunt DV (1999 en 2000); *Paragraaf 3.1* geeft hiervan een overzicht.

Oorspronkelijk waren deze DV-eisen gericht op het voorkómen van de verschillende 'conflictypen' (zoals langsconflicten, dwarsconflicten en dergelijke) bij ongevallen. Deze directe koppeling tussen eis en conflicttype is bij de achtereenvolgende uitwerkingen van verschillende DV-maatregelen enigszins op de achtergrond geraakt. Om de achterliggende DV-principes van de huidige DV-eisen beter zichtbaar te maken, is een precieze omschrijving van de eisen wenselijk; in *Paragraaf 3.2* komt deze kwestie aan bod. Soms zijn aanvullende eisen nodig om de DV-principes volledig toe te kunnen passen; ook daar gaat *Paragraaf 3.2* op in. *Paragraaf 3.3* geeft het complete pakket van aangepaste en aanvullende eisen.

Welke verkeersvoorzieningen zijn nodig om een eis daadwerkelijk vorm te geven en daardoor ongevallen te kunnen voorkomen? *Paragraaf 3.4* geeft een algemene indruk van de soorten voorzieningen die bij de verschillende eisen passen. Een algemene toepassing van alle geschetste voorzieningen is onhaalbaar en zeker niet kosteneffectief. Voor een indicatie van prioriteiten is gebruikgemaakt van de verdeling van de dodelijke ongevallen over de conflict- en locatietypen. Daarmee is een weging mogelijk van de mogelijke verkeersvoorzieningen: een concentratie van ongevallen bij een bepaald conflict- en/of locatietype rechtvaardigt eerder een voorziening dan geen of zeer weinig ongevallen. *Paragraaf 3.5* eindigt met een aldus gewogen lijst met voorgestelde verkeersvoorzieningen.

#### 3.1. Bestaande veiligheidseisen

De algemene (functionele) eisen aan de duurzaam-veilige weginfrastructuur zijn aangevuld met eisen aan kruispunten van de verschillende wegcategorieën. Uitgangspunt hierbij is dat een conflict tussen voertuigen alleen mag en kan optreden bij geringe snelheids- en massaverschillen. Bijvoorbeeld op wegen met hoge rijnsnelheden en tegelijkertijd geringe onderlinge snelheidsverschillen zijn frontale conflicten niet acceptabel, maar convergeren/divergeren is nog toelaatbaar; *Tabel 3.1* definieert vier verschillende conflictgroepen.

Conflictgroep	Omschrijving	Illustratie
Langsconflicten	In dezelfde richting rijdende voertuigen	
Convergeren Divergeren	In dezelfde richting beginnende of eindigende voertuigen (invoegen of uitvoegen)	
Dwarsconflicten	Haaks op elkaar rijdende voertuigen	
Frontale conflicten	Tegemoetkomende voertuigen	

Tabel 3.1. *Verskillende soorten conflictgroepen.*

Vervolgens zijn voor kruispunten van de verschillende wegcategorieën de toegestane conflictgroepen bepaald (zie *Tabel 3.2*).

Bebouwing	Wegcategorie	Kruispunt
Buiten de bebouwde kom	Stroomweg	Convergeren/divergeren
	Gebiedsontsluitingsweg	Convergeren/divergeren Dwars (alleen langzaam verkeer)
	Erftoegangsweg	Alle
Binnen de bebouwde kom	Gebiedsontsluitingsweg	Convergeren/divergeren Dwars (alleen langzaam verkeer)
	Erftoegangsweg	Alle

Bron: CROW (1997)

Tabel 3.2. *Toegestane conflictgroepen op kruispunten van de verschillende wegcategorieën.*

De uitgewerkte eisen (ook wel operationele eisen genoemd) vormen de schakel tussen de concrete vormgevingselementen en de functionele eisen. Gegeven een operationele eis kan men de bijpassende vormgeving kiezen. Men kan bijvoorbeeld de eis dat motorvoertuigen op kruispunten van gebiedsontsluitingswegen alleen mogen convergeren en divergeren, oplossen door een rotonde te kiezen of een kruispunt met VRI toe te passen. Het is dus mogelijk verschillende vormgevingselementen te gebruiken voor het voldoen aan dezelfde eis. In dit rapport is aan de orde in welke mate deze vormgevingselementen de eis werkelijk gestalte geven. Ook kan een vormgevingselement passen bij twee of meer eisen.

De eisen aan kruispunten zijn niet erg gedetailleerd (*Tabel 3.3*) en betreffen uitsluitend de voorrangregeling en de eventuele snelheidsremmende maatregelen. De uitwerking van deze eisen is opgenomen in publicaties die hierna worden besproken.

Ten slotte zijn er operationele eisen voor de overgang tussen wegcategorieën. Om de herkenbaarheid van een overgang voor een weggebruiker te

vergroten, is steeds gekozen voor een kruispunt of een komgrens; zie verder *Tabel 3.4.*

Operationele eisen	Onderling kruisende categorieën						
	SW100/120 x GOW80	GOW80 x GOW80	GOW80 x GOW50/70	GOW80 x ETW60	GOW50/70 x GOW50/70	GOW50/70 x ETW30	ETW30 x ETW30
Maximale kruisingssnelheid in km/uur	60	40	30	30	30	15	15
Markering	Volledig	Volledig	Gedeeltelijk	Gedeeltelijk	Gedeeltelijk	Alleen haaietanden	Geen
Indeling kruisingsvlak	Voorsorteerstroken	Voorsorteerstroken	Voorsorteerstroken	Voorsorteerstroken op GOW	Voorsorteerstroken	Soms voorsorteerstroken op GOW	Geen voorsorteerstroken
Rijrichtingscheiding	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Alleen op GOW	Nee
Verharding, mate van vlakheid	Groot	Groot	Groot	Groot	Groot	Matig	Gering
Oversteken (voetgangers)	Niet toegestaan	Niet toegestaan	Alleen op voorziening	Ja, mits voorziening op GOW	Alleen op voorziening	Ja, mits voorziening op GOW	Ja
Fiets op rijbaan	Nee	Nee	Nee	Alleen op ETW	Nee	Alleen op ETW	Ja
Bromfiets op rijbaan	Nee	Nee	Alleen op GOW50	Alleen op ETW	Alleen op GOW50	Ja, behalve op GOW70	Ja
Langzaam gemotoriseerd verkeer op rijbaan	Nee	Nee	Alleen op GOW50	Alleen op ETW	Alleen op GOW50	Ja, behalve op GOW70	Ja
Snelheidsremmers	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Verlichting	Afstemmen op aansluitende wegvakken						

Bron: SWOV-bewerking van CROW (1997)

Tabel 3.3. *Operationele DV-eisen voor kruisende wegen en straten (niet alle combinaties van kruisende wegen zijn vermeld).*

Van wegcategorie		Naar wegcategorie				
		Buiten de bebouwde kom			Bebouwde kom	
		Stroomweg	Gebiedsontsluitingsweg	Erftoegangsweg	Gebiedsontsluitingsweg	Erftoegangsweg
<b>Buiten bebouwde kom</b>	Stroomweg		Kruispunt	<i>Niet toegestaan</i>	<i>Niet toegestaan</i>	<i>Niet toegestaan</i>
	Gebiedsontsluitingsweg	Kruispunt		Kruispunt	Komgrens of kruispunt	Komgrens en/of kruispunt
	Erftoegangsweg	<i>Niet toegestaan</i>	Kruispunt		Komgrens of kruispunt	Komgrens of kruispunt
<b>Bebouwde kom</b>	Gebiedsontsluitingsweg	<i>Niet toegestaan</i>	Komgrens of kruispunt	Komgrens of kruispunt		Kruispunt
	Erftoegangsweg	<i>Niet toegestaan</i>	Komgrens en/of kruispunt	Komgrens of kruispunt	Kruispunt	

Bron: SWOV-bewerking van CROW (1997)

Tabel 3.4. *Eisen aan overgangen tussen wegcategorieën.*

### 3.2. Tekortkomingen en aanvullende veiligheidseisen

De rechtstreekse koppeling van DV-eisen aan conflictgroepen heeft ertoe geleid dat niet alle aspecten van het wegontwerp in eisen zijn vertaald.

1. Overgang in dwarsprofiel: Discontinuïteiten in het dwarsprofiel (bijvoorbeeld de overgang van een dwarsprofiel met twee rijstroken naar een rijstrook of een tweerichtingsfietspad dat van de ene naar de andere kant van de weg overgaat) kunnen aanleiding vormen tot onveilige verkeerssituaties.
2. Zichtafstanden: Deze eis is al heel lang in bestaande richtlijnen opgenomen en zou voor duurzaam-veilige wegcategorieën weer opgepoetst moeten worden.
3. Rijbaanindeling vlak voor een kruisingsvlak: Een variant op de overgang in dwarsprofiel is de situatie vlak voor of nabij kruispunten. Ook daarbij kunnen grote discontinuïteiten tot onveiligheid leiden.
4. Categorieaanduiding: Alle kenmerken die de herkenbaarheid van de categorie vergroten en die niet per se noodzakelijk zijn voor het gebruik van de weg vallen onder deze eis. Een speciale vorm van markering (bijvoorbeeld anti-stroommarkering of een afwijkend soort kantmarkering) is voor de geleiding niet strikt noodzakelijk maar kan de herkenbaarheid sterk vergroten (Janssen et al., 1999)

Deze toegevoegde kenmerken zijn zeker relevant voor de verkeersveiligheid en ontbreken eigenlijk onterecht in de lijsten met DV-eisen.

In de DV-eisen is niet expliciet rekening gehouden met de aloude eisen aan kruispunten volgens Nap (1952):

- Zichtbaar
- Overzichtelijk
- Begrijpelijk
- Berijdbaar.

Wegman & Aarts (2005) hebben gepleit voor zogeheten veilige snelheden op kruispunten:

- Kruispunten bubeko
  - GOW x ETW, zonder langzaam verkeer: 50 km/uur
  - GOW x ETW, met langzaam verkeer: 30 km/uur
- Kruispunt bibeko
  - GOW: 50 km/uur
  - ETW: 30 km/uur
- Oversteekplaatsen voor voetgangers en fietser: 30 km/uur

Dijkstra et al. (2007) hebben gespecificeerde veilige snelheden voorgesteld op kruispunten met GOW (bibeko): zie *Tabel 3.5*.

op GOW	conflicteert met (op kruispunt)	veilige maximale snelheid [km/uur]
G langs	F dwars	30
G langs	V dwars	
F langs	G dwars	
G langs	G dwars	50

F = fietser; V = voetganger; G = gemotoriseerd voertuig

Twee conflicttypen, namelijk F langs × F dwars en F langs × V dwars, zijn niet in de tabel opgenomen omdat hier qua snelheidslimiet geen specifieke eisen behoeven te gelden.

Bron: Dijkstra et al., 2007)

Tabel 3.5. *Veilige snelheden op kruispunten met GOW (bibeko)*

### 3.3. DV-eisen opnieuw geformuleerd

Of een verkeersdeelnemer is gemotoriseerd en is omhuld door een voertuig, dat misschien ook nog een zwaar voertuig is, dat bepaalt in belangrijke mate de ernst en de afloop van conflicten en botsingen met andere verkeersdeelnemers.

De volgende variatie treedt gewoonlijk op:

1. Gemotoriseerd:
  - wel (auto, bromfiets)
  - niet (fiets, voetganger)
2. Beschermd (omhuld) door een voertuig:
  - wel (auto)
  - niet (fiets, bromfiets, voetganger)
3. Massa van het voertuig:
  - groot (vrachtauto, tram, bus, grotere bestelauto)
  - klein (bromfiets, fiets)
  - middelgroot (personenauto, kleinere bestelauto).

Volgens deze indeling zijn de genoemde verkeersdeelnemers als volgt gegroepeerd (*Tabel 3.6*).

		Gemotoriseerd			
		Wel		Niet	
		Wel beschermd	Niet beschermd	Wel beschermd	Niet beschermd
Massa	Groot	Vrachtauto, bus, tram	-	-	-
	Middelgroot	Personenauto, bestelauto	Motorfiets	-	-
	Gering	-	Bromfiets, snorfiets, elektrische fiets	-	Fiets, voetganger

Tabel 3.6. *Verkeersdeelnemers ingedeeld naar 'gemotoriseerd', 'beschermd' en 'massa'.*



Ook de rijrichtingen van de conflicterende of botsende verkeersdeelnemers zijn van groot belang voor de ernst en afloop:

4. Onderlinge rijrichtingen:
- zelfde richting
  - tegengesteld
  - dwars
  - rechtsafslaand versus rechtdoorgaand.

Ten slotte is het van belang op of nabij welk locatietype een conflict of botsing plaatsvindt:

5. Locatietype:
- wegvak
  - vlak voor kruispunt (gelijkvloers).

De eisen aan een DV-weginfrastructuur zijn erop gericht dat bepaalde combinaties van botspartners niet meer kunnen conflicteren in bepaalde omstandigheden (met name plaatselijke snelheidsverschillen en snelheidsniveau) doordat de aangebrachte verkeersvoorzieningen dat nagenoeg uitsluiten.

### 3.4. Adequate verkeersvoorzieningen per DV-eis

Om systematisch na te gaan welke eisen gelden voor welke combinaties van botspartners zijn er tabellen geproduceerd voor verschillende combinaties, gegeven een bepaald conflicttype. Uit elke eis volgt ten minste een voorkeur voor een noodzakelijke verkeersvoorziening. *Tabel 3.7* geeft een voorbeeld van de manier waarop voor elk genoemd conflicttype de eisen en voorzieningen zijn opgesomd.

Conflicttype X op wegvak of kruispunt			Gemotoriseerd			
			Wel			Niet
			Wel beschermd		Niet beschermd	
Gemotoriseerd	Beschermd	Massa	Grote massa	Middelgrote massa	Kleine massa	
Wel	Wel	Groot	Eis(en), bijpassende verkeersvoorziening			
		Middelgroot	Eis(en), bijpassende verkeersvoorziening	Eis(en), bijpassende verkeersvoorziening		
	Niet	Klein	Eis(en), bijpassende verkeersvoorziening	Eis(en), bijpassende verkeersvoorziening	Eis(en), bijpassende verkeersvoorziening	
Niet	Niet	Klein	Eis(en), bijpassende verkeersvoorziening	Eis(en), bijpassende verkeersvoorziening	Eis(en), bijpassende verkeersvoorziening	Eis(en), bijpassende verkeersvoorziening

*Tabel 3.7. Voorbeeld van een tabel voor conflicttype X met eisen en verkeersvoorzieningen die moeten voorkomen dat verschillende verkeersdeelnemers met elkaar conflicteren of botsen op een wegvak of een kruispunt.*

De beschouwde conflicttypen zijn verdeeld naar snelheidsverschillen (bewegend in dezelfde richting, in tegengestelde richting en in dwarsrichting). De bijbehorende eisen en voorzieningen zijn geformuleerd

voor alle wegtypen behalve autosnelwegen, en zijn opgenomen in de *Tabellen 3.8al t/m 3.8cll*.

Bewegend in dezelfde richting KRUISPUNT			Gemotoriseerd			
			Wel			Niet
			Wel beschermd		Niet beschermd	
Gemotoriseerd	Beschermd	Massa	Grote massa	Middelgrote massa	Kleine massa	
Wel	Wel	Groot	Snelheidsverlaging			
		Middelgroot	Snelheidsverlaging	Snelheidsverlaging		
	Niet	Klein	Snelheidsverlaging;	Snelheidsverlaging	Geen eis	
Niet	Niet	Klein	Snelheidsverlaging; rechtsafslaand vs recht- doorgaand ontvlechten	Snelheidsverlaging	Geen eis	Geen eis

Tabel 3.8al. *Eisen om conflicten te voorkomen tussen verkeersdeelnemers die verschillen in motorisering, bescherming en massa: bewegend in dezelfde richting bij nadering van een kruispunt.*

Bewegend in dezelfde richting KRUISPUNT			Gemotoriseerd			
			Wel			Niet
			Wel beschermd		Niet beschermd	
Gemotoriseerd	Beschermd	Voertuig	Vrachtauto	Personenauto	Bromfiets	Fiets
Wel	Wel	Vrachtauto	Rotonde of snelheidsremmer			
		Personenauto	Rotonde of snelheidsremmer	Rotonde of snelheidsremmer		
	Niet	Bromfiets	Rotonde of snelheidsremmer	Rotonde of snelheidsremmer	N.v.t.	
Niet	Niet	Fiets	Rotonde of snelheidsremmer; bij VRI: OFOS	Rotonde of snelheidsremmer	N.v.t.	N.v.t.

Tabel 3.8all. *Voorzieningen om conflicten te voorkomen tussen verschillende soorten verkeersdeelnemers: bewegend in dezelfde richting bij nadering van een kruispunt.*

Bij nadering van een kruispunt dient men de snelheid te verlagen teneinde adequaat te kunnen reageren op kruisende en afslaande voertuigen en overstekende voetgangers. Tijdige snelheidsverlaging kan alleen door voor aankondigingen van de kruispuntsituatie. Vervolgens dienen voorzieningen vlak voor (drempels) of op het kruispunt (plateaus) een lagere snelheid af te dwingen. In het geval van een rotonde leidt de gehele kruispuntsvorm tot snelheidsverlaging. Overigens hangt de keuze van de snelheidsremmers af van de plaatselijke feitelijke rijnsnelheden. In het geval van een verkeersregelinstallatie (VRI) dient ontvlechting van rechtsafslaande vrachtauto's en recht doorgaande fietsers plaats te vinden, bij voorkeur door een opgeblazen fietsopstelstrook (OFOS).

Bewegend in tegengestelde richting KRUISPUNT			Gemotoriseerd			
			Wel			Niet
			Wel beschermd		Niet beschermd	
Gemotoriseerd	Beschermd	Massa	Grote massa	Middelgrote massa	Kleine massa	
Wel	Wel	Groot	Bij limiet >30 km/uur: scheiden			
		Middelgroot	Bij limiet >30 km/uur: scheiden	Bij limiet >30 km/uur: scheiden		
	Niet	Klein	Bij limiet >30 km/uur: scheiden	Bij limiet >30 km/uur: scheiden	Geen eis	
Niet	Niet	Klein	Bij limiet >30 km/uur: scheiden	Bij limiet >30 km/uur: scheiden	Geen eis	Geen eis

Tabel 3.8bl. *Eisen om conflicten te voorkomen tussen verkeersdeelnemers die verschillen in motorisering, bescherming en massa: bewegend in tegengestelde richting bij nadering van een kruispunt.*

Bewegend in tegengestelde richting KRUISPUNT			Gemotoriseerd			
			Wel			Niet
			Wel beschermd		Niet beschermd	
Gemotoriseerd	Beschermd	Voertuig	Vrachtauto	Personenauto	Bromfiets	Fiets
Wel	Wel	Vrachtauto	Bij limiet >50 km/uur: fysieke scheiding; bij limiet >30 km/uur: moeilijk overrijdbaar			
		Personenauto	Bij limiet >50 km/uur: fysieke scheiding; bij limiet >30 km/uur: moeilijk overrijdbaar	Bij limiet >50 km/uur: scheiding; bij limiet >30 km/uur: moeilijk overrijdbaar		
	Niet	Bromfiets	Bij limiet >30 km/uur: moeilijk overrijdbare scheiding	Bij limiet >30 km/uur: moeilijk overrijdbare scheiding	N.v.t.	
Niet	Niet	Fiets	Bij limiet >30 km/uur: moeilijk overrijdbare scheiding	Bij limiet >30 km/uur: moeilijk overrijdbare scheiding	N.v.t.	N.v.t.

Tabel 3.8bII. *Voorzieningen voor scheiding van verschillende soorten verkeersdeelnemers: bewegend in tegengestelde richting bij nadering van een kruispunt.*

Verkeersdeelnemers die een kruispunt naderen moeten ruimtelijk gescheiden van hun tegenliggers het kruispunt kunnen passeren. Dit is met name relevant op kruispunten die deel uitmaken van routes met een limiet >30 km/uur. Een fysieke scheiding is noodzakelijk bij kruispunten waar de limiet vlak ervoor >50 km/uur bedraagt. Bij limieten >30 km/uur en voor conflicten tussen wel en niet beschermde verkeersdeelnemers kan een moeilijk overrijdbare scheiding volstaan.

Ter voorkoming van conflicten tussen linksafslaande voertuigen en tegemoetkomende rechtdoorgaande voertuigen dient een extra opstelstrook (voor linksafslaan) te worden aangebracht.

Bewegend in dwarsrichting KRUISPUNT			Gemotoriseerd			
			Wel			Niet
			Wel beschermd		Niet beschermd	
Gemotoriseerd	Beschermd	Massa	Grote massa	Middelgrote massa	Kleine massa	
Wel	Wel	Groot	Snelheidsverlaging			
		Middelgroot	Snelheidsverlaging	Snelheidsverlaging		
	Niet	Klein	Snelheidsverlaging	Snelheidsverlaging	Snelheidsverlaging	
Niet	Niet	Klein	Snelheidsverlaging	Snelheidsverlaging	Snelheidsverlaging	Snelheidsverlaging

Tabel 3.8cl. *Eisen om conflict te voorkomen tussen verkeersdeelnemers die verschillen in motorisering, bescherming en massa: bewegend in dwarsrichting (of afslaand versus rechtdoorgaand) bij nadering van een kruispunt.*

Bewegend in dwarsrichting KRUISPUNT			Gemotoriseerd			
			Wel			Niet
			Wel beschermd		Niet beschermd	
Gemotoriseerd	Beschermd	Voertuig	Vrachtauto	Personenauto	Bromfiets	Fiets
Wel	Wel	Vrachtauto	Rotonde of snelheidsremmer			
		Personenauto	Rotonde of snelheidsremmer	Rotonde of snelheidsremmer		
	Niet	Bromfiets	Rotonde of snelheidsremmer	Rotonde of snelheidsremmer	Snelheidsremmer	
Niet	Niet	Fiets	Rotonde of snelheidsremmer	Rotonde of snelheidsremmer	Snelheidsremmer	Snelheidsremmer

Tabel 3.8cII. *Voorzieningen voor scheiding van verschillende soorten verkeersdeelnemers: bewegend in dwarsrichting (of afslaand versus rechtdoorgaand) bij nadering van een kruispunt.*

Dwarsconflicten bij kruispunten zijn in belangrijke mate te voorkomen door snelheidsverlaging te bereiken bij nadering van een kruispunt. Dit kan met snelheidsremmers worden uitgevoerd, maar ook door het kruispunt als rotonde vorm te geven.

### 3.5. Ongevallen per conflict- en locatietype

De voorgaande indelingen van eisen, conflicttypen, locatietypen en bijbehorende verkeersvoorzieningen zijn theoretisch van aard. Er heeft namelijk nog geen koppeling plaatsgevonden met werkelijk opgetreden ongevallen. Sommige conflicttypen leiden tot meer en/of ernstiger ongevallen, afhankelijk van onder andere locatietype en conflictpartners. Om deze koppeling te maken is het aantal dodelijke ongevallen in een jaar (ongevallen waarbij ten minste een dode viel) verdeeld over de hiervoor gebruikte conflicttypen,

-partners en locatietypen. In *Tabel 3.9* zijn alleen de aantallen dodelijke ongevallen vermeld als bij de betreffende combinatie van conflict-, bots- en locatietype tenminste drie dodelijke ongevallen voorvielen. Aldus kunnen we 378 (van de in totaal 932) dodelijke ongevallen toedelen.

Veel van deze ongevallen zijn enkelvoudige ongevallen met een motorvoertuig (zelfde richting, wegvak). Vooral de 135 dodelijke enkelvoudige ongevallen bij een snelheidslimiet van 80 km/uur lijken te rechtvaardigen dat er veiliger bermen (berijdbaar, goede obstakelvrije zones) tot stand komen. Het aantal dodelijke ongevallen tussen motorvoertuigen onderling bedraagt 94, waarvan 48 tussen voertuigen in tegengestelde richting op wegvakken met een snelheidslimiet van 80 km/uur. Deze ongevallen rechtvaardigen de rijrichtingscheiding op deze wegen. Het aantal dodelijke ongevallen met tegengesteld rijdende voertuigen (met afslaan) op kruispunten (limiet 80 km/uur) bedraagt 9. Een betrekkelijk laag aantal dat niet direct om speciale voorzieningen vraagt, zoals aangepaste voorsorteerstroken.

Conflicttype	Locatietype	Botspartners			
		Motorvoertuigen enkelvoudig	Motorvoertuigen onderling	Voetgangers en fietsers onderling	Personen- of vrachtauto vs. voetganger of fiets
Zelfde richting	WEGVAK	50 km/uur: <b>24</b> 80 km/uur: <b>135</b> <b>TOTAAL: 159</b>			50 km/uur: <b>4</b> 80 km/uur: <b>6</b> <b>TOTAAL: 10</b> (fiets vs. auto)
Zelfde richting	KRUISPUNT				
Zelfde richting, rechtsafslaan vs. rechtdoorgaan					50 km/uur: <b>20</b> (13 fiets vs. vrachtauto)
Tegengestelde richting	WEGVAK		80 km/uur: <b>48</b>		
Tegengestelde richting	KRUISPUNT				
Tegengestelde richting, met afslaan			80 km/uur: <b>9</b>		80 km/uur: <b>3</b>
Dwarsrichting	WEGVAK		80 km/uur: <b>3</b>		50 km/uur: <b>38</b> 80 km/uur: <b>12</b> <b>TOTAAL: 50</b> (voetg. vs. auto)
Dwarsrichting	KRUISPUNT		50 km/uur: <b>9</b> 70 km/uur: <b>3</b> 80 km/uur: <b>22</b> <b>TOTAAL: 34</b>		50 km/uur: <b>29</b> , (16 fiets vs. auto en 13 voetg. vs. auto) 80 km/uur: <b>13</b> (fiets vs. auto) <b>TOTAAL: 42</b>
<b>TOTAAL</b>	Alle typen	50 km/uur: <b>24</b> 80 km/uur: <b>135</b> <b>TOTAAL: 378</b>	50 km/uur: <b>5</b> 70 km/uur: <b>3</b> 80 km/uur: <b>82</b> <b>TOTAAL: 94</b>	50 km/uur: - 80 km/uur: - <b>TOTAAL: -</b>	50 km/uur: <b>91</b> 80 km/uur: <b>34</b> <b>TOTAAL: 125</b>

Tabel 3.9. Aantallen dodelijke ongevallen in een jaar bij botsingen op wegvakken en op en nabij kruispunten (limieten  $\geq 50$  km/uur en  $\leq 80$  km/uur). Alleen conflicttypen met drie of meer ongevallen (met dodelijke afloop) zijn meegeteld. Dit zijn er 378 van het totale aantal van 932 dodelijke ongevallen in dat jaar.

Overigens bieden rotondes ook voor dit conflicttype een oplossing. Op kruispunten met een snelheidslimiet van 80 km/uur botsen kruisende voertuigen 22 keer met dodelijke afloop. Hier is de naderingssnelheid bij kruispunten in het geding.

#### *Personen-/vrachtauto versus voetganger/fiets*

De 125 dodelijke ongevallen tussen personen-/vrachtauto en voetganger/fiets komen in belangrijke mate voor bij een snelheidslimiet van 50 km/uur (91 ongevallen) en voor het overige (34 ongevallen) op wegen met een limiet van 80 km/uur. Op kruispunten zijn 13 dodelijke ongevallen geregistreerd waarbij een vrachtauto en een fiets botsten (rechtsafslaan versus rechtdoorgaan). Dit fenomeen heeft geleid tot het verplicht stellen van speciale spiegels op vrachtauto's. Een opgeblazen fietsopstelstrook (OFOS) zou bij kruispunten met verkeerslichten de fiets fysiek en visueel scheiden van de vrachtauto. Overstekende voetgangers zijn betrokken bij 13 dodelijke ongevallen op kruispunten (limiet 50 km/uur) en bij 50 dodelijke ongevallen op wegvakken (38 ongevallen bij een limiet van 50 km/uur en 12 ongevallen bij 80 km/uur). Het is niet bekend of deze ongevallen op bestaande oversteekvoorzieningen plaatsvonden. Dat Duurzaam Veilig meer aandacht vraagt voor beveiligd oversteken lijkt terecht.

### 3.6. **Voorgestelde verkeersvoorzieningen**

De feitelijk optredende ongevallen (*Paragraaf 3.5*) hebben enige richting kunnen geven aan de relevantie van de eerdergenoemde voorzieningen in *Paragraaf 3.4*. Volgens dezelfde indeling als de dodelijke ongevallen in *Tabel 3.9*, zijn in *Tabel 3.10* de belangrijkste DV-verkeersvoorzieningen genoemd.

Conflict	Locatietype	Conflict- of botspartners			
		Motorvoertuigen enkelvoudig	Motorvoertuigen onderling	Voetgangers, fietsers en bromfietzers onderling	Personen- of vrachtauto vs. voetganger, fiets of bromfiets
Zelfde richting	WEGVAK	<i>Limiet <math>\geq 70</math> km/uur: semi-verharde berm en obstakelvrije zone</i>	Limiet $\geq 70$ km/uur: inhaalstrook of weefvak	Voetganger en limiet $\geq 50$ km/uur: pad Fiets & bromfiets: geen voorz. of bij fietspad: BOR	<i>Voetganger en limiet <math>\geq 50</math> km/uur: pad Fiets &amp; bromfiets en limiet 50 km/uur: strook of pad &amp; BOR; limiet <math>\geq 70</math> km/uur: pad</i>
Zelfde richting	KRUISPUNT	N.v.t.	Rotonde of snelheidsremmer	N.v.t.	Rotonde of snelheidsremmer
Zelfde richting, rechtsafslaan vs. rechtdoorgaan		N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	<i>Bij pad en limiet 50 km/uur: afknotten Bij VRI: OFOS</i>
Tegengestelde richting	WEGVAK	N.v.t.	<i>Fysieke scheiding</i>	Pad: asstreep	Fysieke scheiding
Tegengestelde richting	KRUISPUNT	N.v.t.	Rotonde of fysieke / moeilijk overrijdbare scheiding	N.v.t.	Fysieke of moeilijk overrijdbare scheiding
Tegengestelde richting, met afslaan		N.v.t.	<i>Indien geen rotonde: opstelstrook voor linksaf</i>	N.v.t.	<i>Tussenberm</i>
Dwarsrichting	WEGVAK	N.v.t.	<i>Limiet 50 km/uur: drietakskruispunt Hogere limiet: geen aansluiting</i>	N.v.t.	<i>Limiet <math>\geq 50</math> km/uur: geregelde oversteekplaats</i>
Dwarsrichting	KRUISPUNT	N.v.t.	<i>Rotonde of snelheidsremmer</i>	Snelheidsremmer	<i>Rotonde of snelheidsremmer</i>

Bron: Dijkstra (2003)

Tabel 3.10. *Belangrijkste verkeersvoorzieningen ter voorkoming van conflicten of botsingen op wegvakken en bij nadering van kruispunten. Cursieve tekst: verkeersvoorzieningen die een koppeling hebben met de dodelijke ongevallen vermeld in Tabel 3.9.*

## 4. Veiligheid per kruispunttype

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 conflictpunten. 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 dit hoofdstuk 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. In *Paragraaf 4.6* is speciale aandacht gegeven aan het aandeel langzaam verkeer in de kruispuntveiligheid. In *Paragraaf 4.7* zijn de conclusies van dit hoofdstuk vermeld. Voor de overzichtelijkheid zijn in *Paragraaf 4.8* alle afbeeldingen (*Afbeelding 4.1* tot en met *Afbeelding 4.24*) opgenomen.

### 4.1. Beschikbare bronnen (literatuur)<sup>7</sup>

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).

---

<sup>7</sup> In de besproken literatuur is dikwijls sprake van verkeersaders, N-wegen en hoofdweegen. Dit zijn in de terminologie van Duurzaam Veilig gebiedsontsluitingswegen. Ook is sprake van A-wegen: dit zijn (regionale) stroomwegen



## 4.2. 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 voorrangsregeling (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 4.1*) zien de relatieve aantallen letselongevallen, 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 4.2*) zijn de verschillen groter. Alleen bij de lagere intensiteiten zijn gelijkvloerse kruispunten significant onveiliger dan ongelijkvloerse typen.

Klasse c (*Afbeelding 4.3*) 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 4.4*), 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 4.5* 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 4.6*) bevinden zich alle in de intensiteitsklassen onder de 15.000 mvt/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 4.7*) 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.

### 4.3. **Kruispunten op verkeersaders (gebiedsontsluitingswegen) 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 voorrangregeling;
- drietakskruispunten met verkeerslichten;
- viertakskruispunten met een voorrangregeling;
- viertakskruispunten met verkeerslichten.

De relatieve veiligheid van deze kruispunttypen is in *Afbeelding 4.8* 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 voorrangregeling zijn onveiliger dan de beide typen drietakskruispunten.

Janssen beschouwde vijf kruispunttypen:

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

Deze vijf typen zijn in *Afbeelding 4.9* 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 4.10* 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.

#### 4.4. 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 4.11* toegevoegd aan de gegevens van Janssen (2003) in *Afbeelding 4.9*. 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.

#### 4.5. 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 zijstroom. In de *Afbeeldingen 4.12* en *4.13* 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 4.14* en *4.15*. 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.

#### 4.6. Kruispuntveiligheid van langzaam verkeer

In de voorgaande paragrafen is geen uitsplitsing gemaakt van de ongevallen naar verkeersdeelname. Het is wenselijk een beeld te krijgen van de kruispuntveiligheid van kwetsbare verkeersdeelnemers, in het bijzonder langzaam verkeer. De genoemde studies geven die uitsplitsing meestal niet. In de studies van Arnoldus et al. (2000), Janssen (2002) en Schoon & Bos (2002) is de verkeersdeelname wel gespecificeerd. Daarnaast is in het SWOV Ongevallen Databestand (SWOD) (Schermers & Duivenvoorden, 2010) ook een dergelijk onderscheid mogelijk.

*Procentueel aandeel ongevallen met langzaam verkeer naar kruispunttype*  
Arnoldus et al. (2000) hebben de kruispuntveiligheid onderzocht van snelverkeer en langzaam verkeer (als verzamelnaam van fietsers, snor- en bromfietsers). Deze studie betreft kruispunten in de bebouwde kom. Daarbij hebben zij tevens de kruispunt passages van zowel langzaam verkeer als snelverkeer geteld. In *Tabel 4.1* is het procentuele aandeel van de letselongevallen<sup>8</sup> met langzaam verkeer vermeld. Op de drietakskruispunten heeft een VRI-kruispunt een lager gemiddeld procentueel aandeel en een gelijkwaardig kruispunt een hoger aandeel. Op de viertakskruispunten liggen de aandelen van de kruispunttypen dicht bij elkaar; de kruispunten met een voorrangregeling hebben het hoogste aandeel.

<sup>8</sup> Letselongeval: ongeval met ten minste een slachtoffer (licht gewond of ernstig gewond of gedood).

Kruispunt	Drietaks	Viertaks
VRI	21	27
Voorrang geregeld	34	35
Gelijkwaardig	50	32
Totaal	31	28

Tabel 4.1. *Procentueel aandeel letselongevallen met langzaam verkeer (fietsers, snor- en bromfietsers) naar kruispunttype (bibeko)*

Voor viertaksrotondes is in *Tabel 4.2* het aandeel letselongevallen met langzaam verkeer gegeven. Het aandeel op rotondes met fiets en bromfiets uit de voorrang ligt hoger dan het gemiddelde aandeel voor alle viertaksrotondes. De aandelen op rotondes liggen even hoog als op viertakskruispunten.

Rotonde	Viertaks
Voorrang (brom)fiets	26
Geen voorrang	37
Totaal	28

Tabel 4.2. *Procentueel aandeel letselongevallen met langzaam verkeer naar voorrang (brom)fiets op rotonde (bibeko)*

#### *Ongevalsrisico langzaam verkeer per kruispunttype*

Arnoldus et al. (2000) berekenden ook het aantal letselongevallen per miljoen passages (risico) van zowel langzaam verkeer als snelverkeer. De risicocijfers op kruispunten liggen voor ongevallen met langzaam verkeer steeds veel lager dan voor ongevallen met uitsluitend snelverkeer (factor 3 of hoger). Op drietaksrotondes ziet het er anders uit: het risico van ongevallen met langzaam verkeer is wel lager dan van ongevallen met uitsluitend snelverkeer, maar de factor is 2 à 3. De viertaksrotondes liggen met het procentuele aandeel tussen drietaksrotondes en kruispunten in.

#### *Procentueel aandeel ongevallen met langzaam verkeer op kruispunten naar wegtype*

Schoon & Bos (2002) hebben de onveiligheid bestudeerd van kruispunten op wegen binnen en buiten de bebouwde kom. Zij maken geen onderscheid naar kruispunttype, wel naar verkeersdeelname binnen het langzaam verkeer (lopen, fietsen, snor- en bromfietsen). Het procentuele aandeel van fietsers bij letselongevallen op kruispunten buiten de bebouwde kom ligt tussen 8 en 16% op kruispunten gelegen op A- en N-wegen en tussen 4 en 8% op kruispunten gelegen op wegen van lagere orde. Bij snor- en bromfietsers zijn deze percentages respectievelijk 9-24% en 3-14%.

Het procentuele aandeel van fietsers bij letselongevallen binnen de bebouwde kom ligt hoger, namelijk tussen 18 en 31% op kruispunten gelegen op A- en N-wegen en tussen 9 en 14% op kruispunten gelegen op verkeersaders. Ook de percentages van snor- en bromfietsers zijn hoger, respectievelijk 38-54% en 9-15%.

In *Tabel 4.3* is de ernst van de letselongevallen gegeven voor wegvakken kruispunten gelegen op A- en N-wegen. De ernst van de afloop ligt voor fietsers en snor-/bromfietsers in dezelfde orde van grootte, zowel op wegvakken en kruispunten. Alleen de wegvakken in de bebouwde kom hebben een iets lagere ernst voor fietsers.

Verkeersdeelname	A- en N-wegen bubeko <sup>1)</sup> (alleen letselongevallen)		A- en N-wegen bibeko <sup>1)</sup> (alleen letselongevallen)	
	Wegvakken	Kruispunten	Wegvakken	Kruispunten
Voetganger	50 <sup>2)</sup>	te weinig ongevallen <sup>2)</sup>	48 - 50 <sup>2)</sup>	te weinig ongevallen <sup>2)</sup>
Fietsers	30 - 34 <sup>2)</sup>	39 - 60	15 - 23	35 - 40 <sup>2)</sup>
Brom- en snorfietser	31 - 38 <sup>2)</sup>	33 - 38 <sup>2)</sup>	23 - 26	15 - 33
Personen- en bestelauto	33 - 52	35 - 47	31 - 35	23 - 34
Vrachtauto	33 - 45 (68; AW-1b.2s)	50 - 63 <sup>2)</sup>	te weinig ongevallen <sup>2)</sup>	te weinig ongevallen <sup>2)</sup>
Totaal	33 - 51	33 - 46	26 - 33	24 - 34

1) b = baan; s = strook;

2) Alleen die ernstfactoren zijn beschouwd, waaraan ongeveer 20 ongevallen of meer ten grondslag lagen.

AW = autoweg; ernstfactor = aantal ernstige ongevallen (dood of ziekenhuisopname), vermenigvuldigd met 100, ten opzichte van het totaal aantal letselongevallen.

Bron: Schoon & Bos (2002)

*Tabel 4.3. Laagste en hoogste waarden van de ernstfactor van letselongevallen op wegvakken en kruispunten van A- en N-wegen buiten en binnen de bebouwde kom*

Janssen (2002) heeft ook de onveiligheid geanalyseerd van kruispunten op wegen binnen en buiten de bebouwde kom. Hij maakt geen onderscheid naar kruispunttype, ook niet naar verkeersdeelname binnen het langzaam verkeer (lopen, fietsen, snor- en bromfietsen). De procentuele aandelen die hij noemt stemmen overeen met Schoon & Bos (2002).

Het SWOV Ongevallen Databestand (SWOD) bevat gegevens over provinciale wegen in enkele provincies. In dit rapport zijn gegevens gebruikt van kruispunten gelegen op N-wegen. De kruispunten zijn in te delen naar aantal takken en naar kruispunt/rotonde. Zowel het totaal aantal letselongevallen als het aantal letselongevallen met langzaam verkeer (lopen, fietsen, snor- en bromfietsen) is hierna in enkele afbeeldingen weergegeven. In *Afbeelding 4.16* is het aantal letselongevallen (totaal en langzaam verkeer) op drietaksrotondes (aantal ongevallen per kruispunt) uitgezet tegen de etmaalintensiteit (aantal passerende motorvoertuigen per etmaal) op de N-weg. Het aantal kruisende motorvoertuigen is niet bekend, de hoeveelheid passerend langzaam verkeer ook niet.

In dit type afbeeldingen is de veronderstelling dat het aantal ongevallen toeneemt met de verkeersintensiteit. Voor het totaal aantal letselongevallen in *Afbeelding 4.16* geldt dat zeker.

Vervolgens is in *Afbeelding 4.17* het procentuele aandeel letselongevallen met langzaam verkeer uitgezet tegen de etmaalintensiteit. Dit aandeel varieert aanzienlijk.

*Afbeelding 4.18* tot en met *Afbeelding 4.23* hebben dezelfde soort inhoud als de voorgaande *Afbeelding 4.16* en *Afbeelding 4.17* maar geven de informatie over viertaksrotondes, drietakskruispunten en viertakskruispunten.

De relatie tussen het totaal aantal letselongevallen op viertaksrotondes (*Afbeelding 4.18*) is voorbeeldig stijgend. Het procentuele aandeel langzaam verkeer op viertaksrotondes (*Afbeelding 4.19*) varieert sterk; de tendens is dat er meer percentages onder de 40% zitten dan erboven. Het aantal letselongevallen met langzaam verkeer op drietakskruispunten (*Afbeelding 4.20*) is hoger dan op rotondes; dit geldt ook voor viertakskruispunten (*Afbeelding 4.22*). Het procentuele aandeel ongevallen met langzaam verkeer op drietakskruispunten (*Afbeelding 4.21*) is ook hoger dan op rotondes; op viertakskruispunten (*Afbeelding 4.23*) geldt dit *niet*.

*Afbeelding 4.24* is bedoeld om het verschil tussen viertakskruispunten met en zonder VRI te laten zien. Het aantal kruispunten met VRI in het SWOD is beperkt.

Het aantal letselongevallen met langzaam verkeer op kruispunten met VRI is hoger dan op kruispunten zonder VRI. Dit geldt ook voor het totaal aantal letselongevallen. Het spreekt vanzelf dat de etmaalintensiteiten op kruispunten zonder VRI meestal lager liggen dan op kruispunten met VRI: ook dit beïnvloedt het aantal letselongevallen.

#### 4.7. Conclusies

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 (stroom- en gebiedsontsluitingswegen) 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 veel veiliger alternatief.

Ook op *kruispunten van verkeersaders (gebiedsontsluitingswegen) 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 andere kruispunttypen. De turborotonde lijkt echter in veel situaties een veilig alternatief voor het kruispunt met verkeerslichten. Viertaksrotondes zijn veiliger dan viertakskruispunten (met voorrangregeling).

Voor de veiligheid van langzaam verkeer geldt dat het procentuele aandeel van fietsers bij letselongevallen buiten de bebouwde kom op *kruispunten van A- en N-wegen* tussen 8 en 16% ligt en op *kruispunten van wegen van lagere orde* tussen 4 en 8%. Bij snor- en bromfietsers zijn deze percentages respectievelijk 9-24% en 3-14%.

Het procentuele aandeel van fietsers bij letselongevallen op kruispunten binnen de bebouwde kom ligt hoger, namelijk tussen 18 en 31% op

*kruispunten gelegen op A- en N-wegen* en tussen 9 en 14% op *kruispunten gelegen op verkeersaders*. Ook de percentages van snor- en bromfietzers zijn hoger, respectievelijk 38-54% en 9-15%.

De veiligheid van langzaam verkeer op *kruispunten van verkeersaders in de bebouwde kom* is gespecificeerd voor het aandeel letselongevallen met langzaam verkeer. Op drietakskruispunten heeft een VRI-kruispunt een lager gemiddeld procentueel aandeel en een gelijkwaardig kruispunt een hoger aandeel. Op viertakskruispunten liggen de aandelen van de kruispunttypen dicht bij elkaar; de kruispunten met een voorrangsregeling hebben het hoogste aandeel.

Het aandeel letselongevallen op viertaksrotondes met bromfiets en bromfiets uit de voorrang ligt hoger dan het gemiddelde aandeel voor alle viertaksrotondes. De aandelen op rotondes liggen even hoog als op viertakskruispunten.

De risicocijfers op kruispunten van verkeersaders in de bebouwde kom liggen voor ongevallen met langzaam verkeer steeds veel lager dan voor ongevallen met uitsluitend snelverkeer (factor 3 of hoger). Op drietaksrotondes ziet het er anders uit: het risico van ongevallen met langzaam verkeer is wel lager dan van ongevallen met uitsluitend snelverkeer, maar de factor is 2 à 3. De viertaksrotondes liggen met het procentuele aandeel tussen drietaksrotondes en kruispunten in.

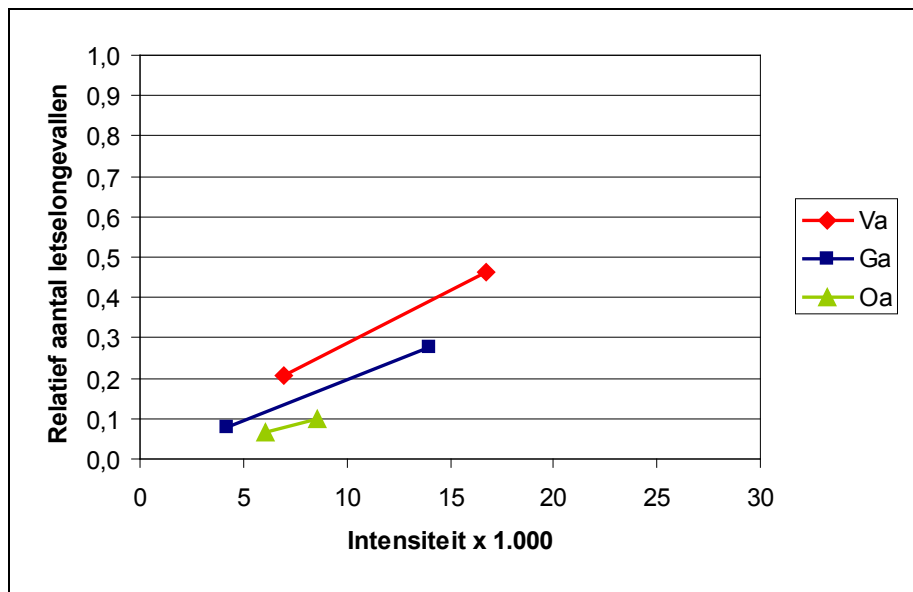
Op kruispunten van N-wegen buiten de bebouwde kom geldt het volgende: Het aantal letselongevallen met langzaam verkeer op drietakskruispunten is hoger dan op rotondes; dit geldt ook voor viertakskruispunten.

Het procentuele aandeel ongevallen met langzaam verkeer op drietakskruispunten is ook hoger dan op rotondes; op viertakskruispunten geldt dit *niet*.

Het aantal letselongevallen met langzaam verkeer op kruispunten met VRI is hoger dan op kruispunten zonder VRI. Dit geldt ook voor het totaal aantal letselongevallen. Het spreekt vanzelf dat de etmaalintensiteiten op kruispunten zonder VRI meestal lager liggen dan op kruispunten met VRI: ook dit beïnvloedt het aantal letselongevallen.

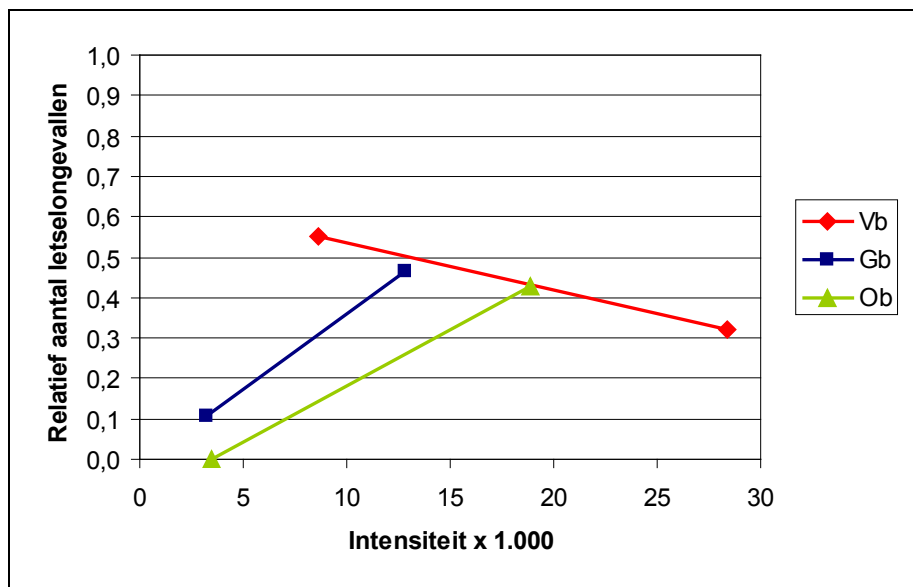


4.8. Afbeeldingen



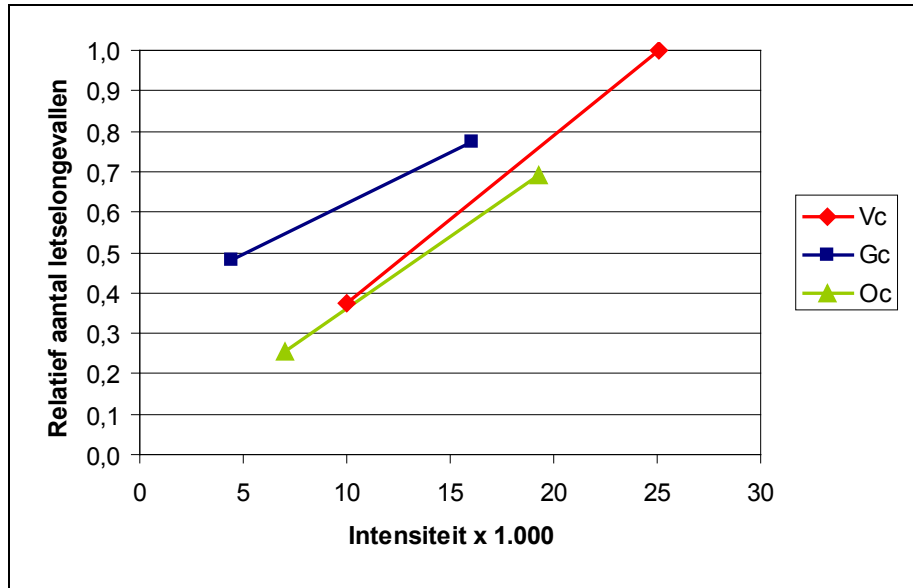
V = met verkeerslichten; G = gelijkvloers; O = ongelijkvloers; a:  $I_z/I_h$  is 0 - 0,1

Afbeelding 4.1. Relatief aantal letselongevallen afgezet ten het aantal passerende motorvoertuigen, voor kruispunten met  $I_z/I_h$  tussen 0 en 0,1 (Janssen, 1992).



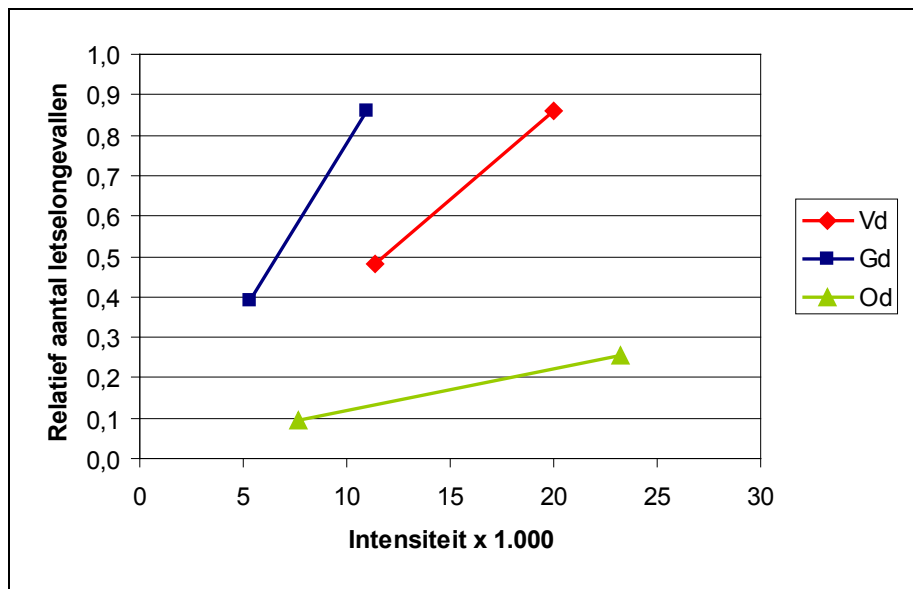
V = met verkeerslichten; G = gelijkvloers; O = ongelijkvloers; b:  $I_z/I_h$  is 0,1 - 0,4

Afbeelding 4.2. Relatief aantal letselongevallen afgezet ten het aantal passerende motorvoertuigen, voor kruispunten met  $I_z/I_h$  tussen 0,1 en 0,4 (Janssen, 1992).



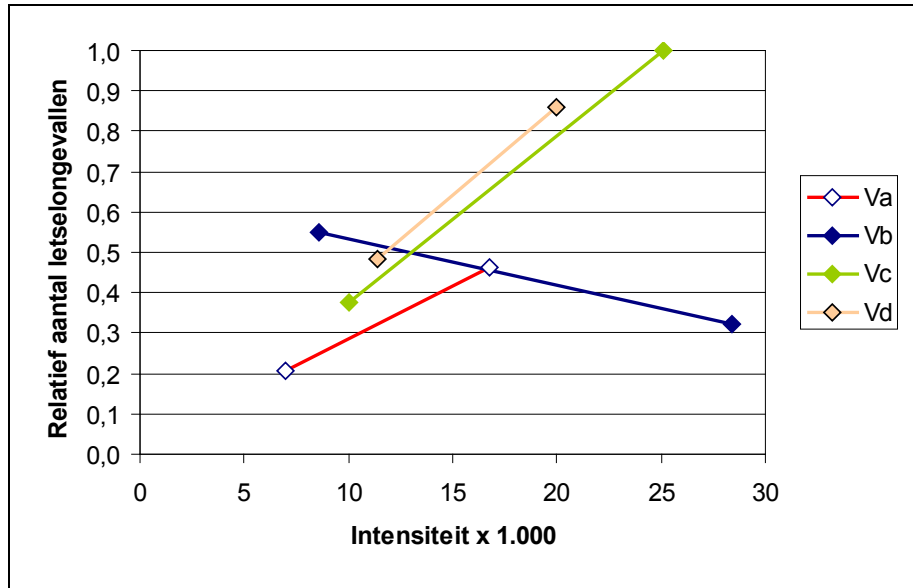
V = met verkeerslichten; G = gelijkvloers; O = ongelijkvloers; c:  $I_z/I_h$  is 0,4 - 0,75

Afbeelding 4.3. . Relatief aantal letselongevallen afgezet ten het aantal passerende motorvoertuigen, voor kruispunten met  $I_z/I_h$  tussen 0,4 en 0,75 (Janssen, 1992).

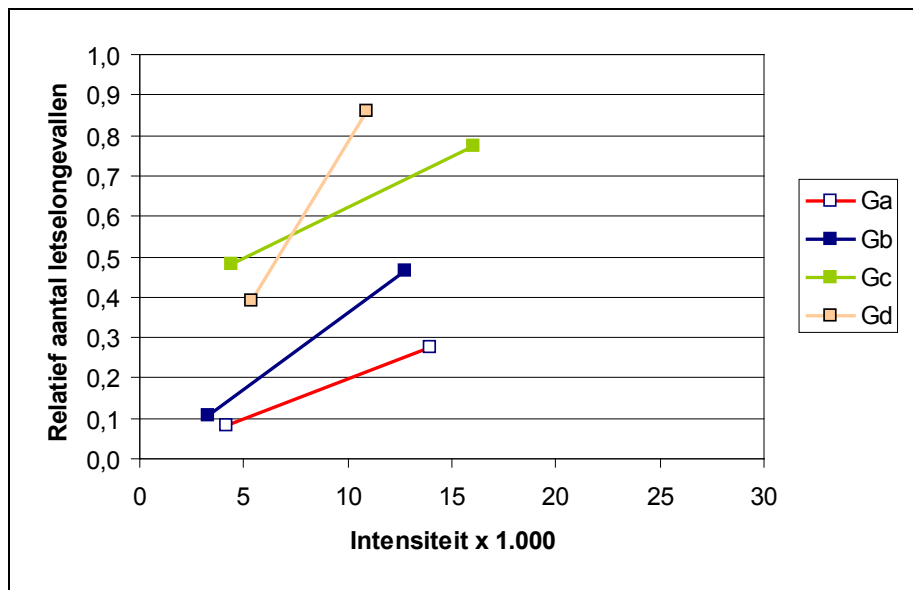


V = met verkeerslichten; G = gelijkvloers; O = ongelijkvloers; d:  $I_z/I_h$  is 0,75 - 1,0

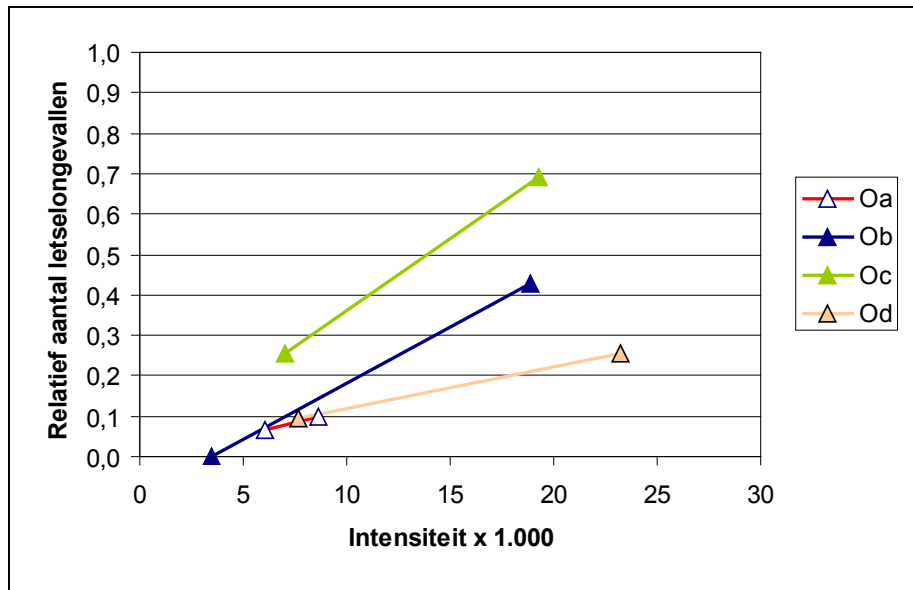
Afbeelding 4.4. Relatief aantal letselongevallen afgezet ten het aantal passerende motorvoertuigen, voor kruispunten met  $I_z/I_h$  tussen 0,75 en 1,0 (Janssen, 1992).



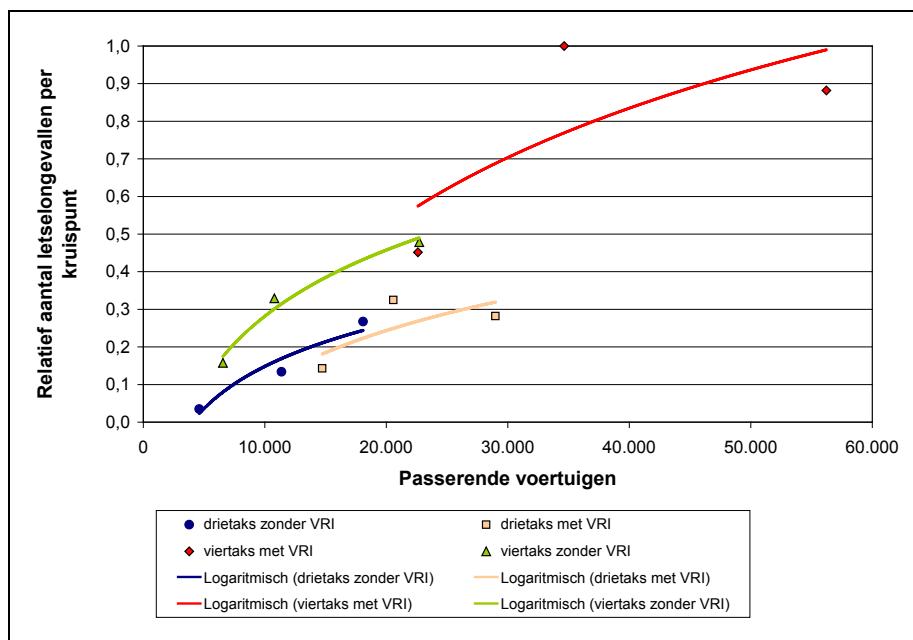
Afbeelding 4.5. *Relatief aantal ongevallen op kruispunten met verkeerslichten, afgezet tegen het aantal passerende motorvoertuigen (Janssen, 1992).*



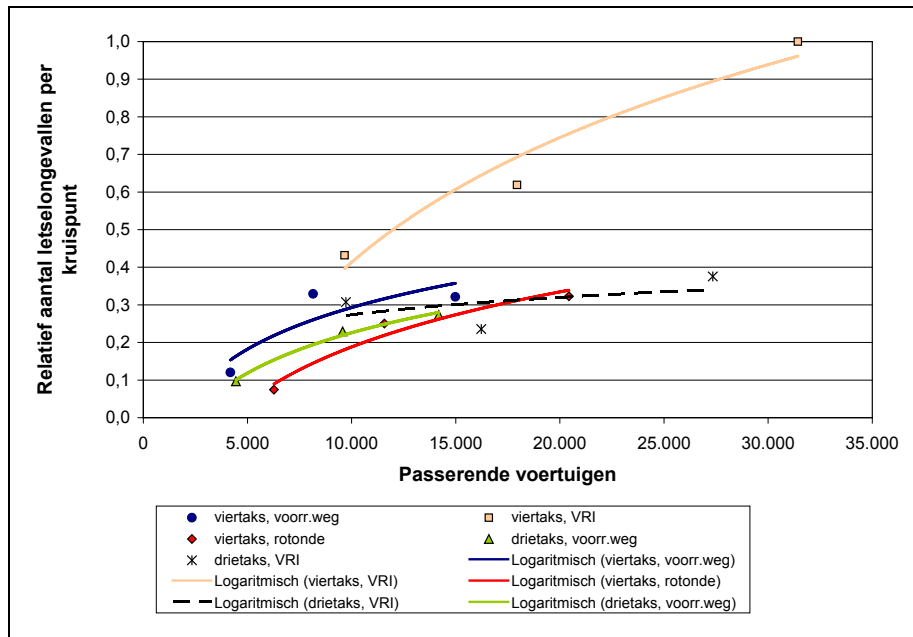
Afbeelding 4.6. *Relatief aantal ongevallen op gelijkvloerse kruispunten (met voorrangregeling), afgezet tegen het aantal passerende motorvoertuigen (Janssen, 1992).*



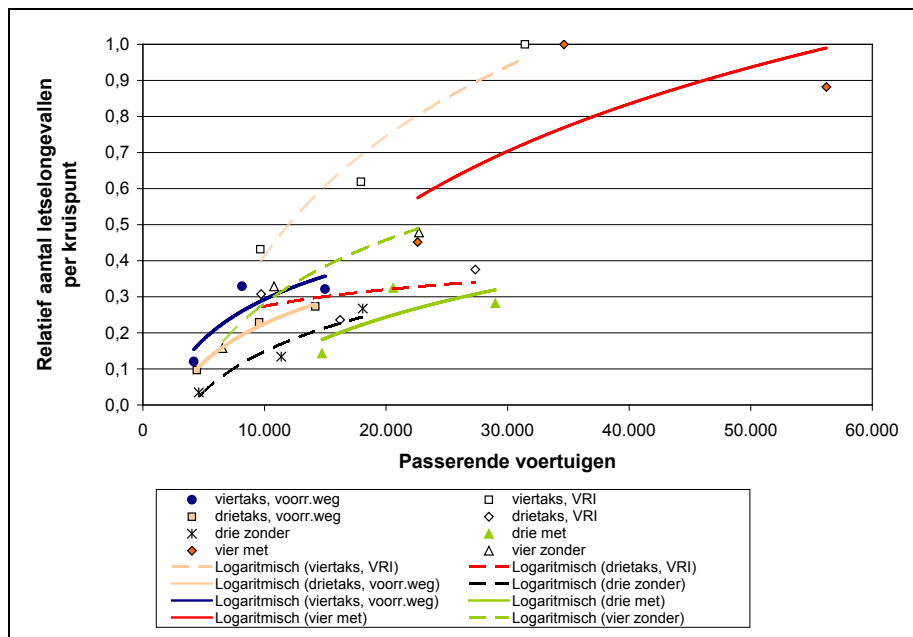
Afbeelding 4.7. Relatief aantal ongevallen op ongelijkvloerse kruispunten, afgezet tegen het aantal passerende motorvoertuigen (Janssen, 1992).



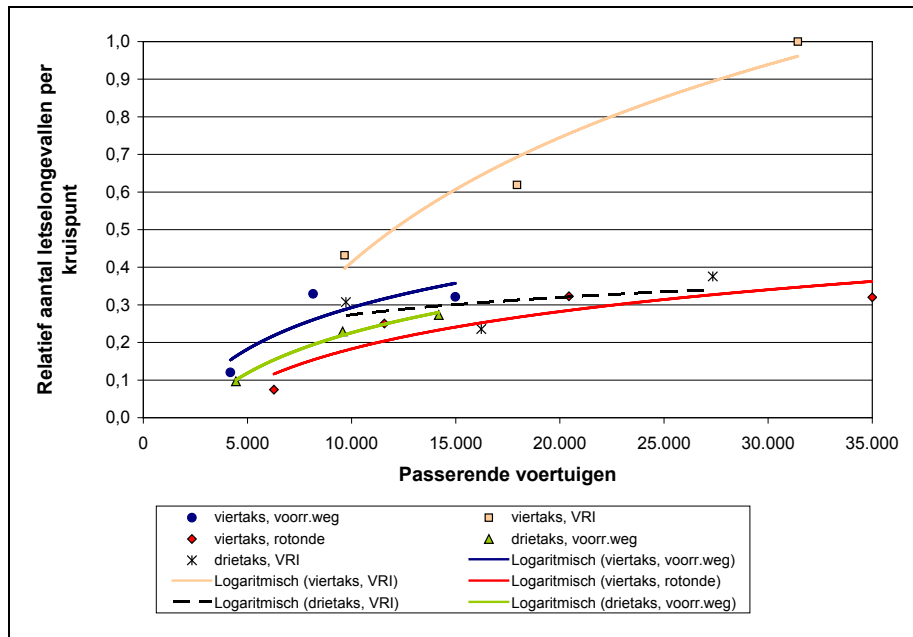
Afbeelding 4.8. Relatief aantal ongevallen op kruispunten in de bebouwde kom, afgezet tegen het aantal passerende motorvoertuigen (Dijkstra, 1990).



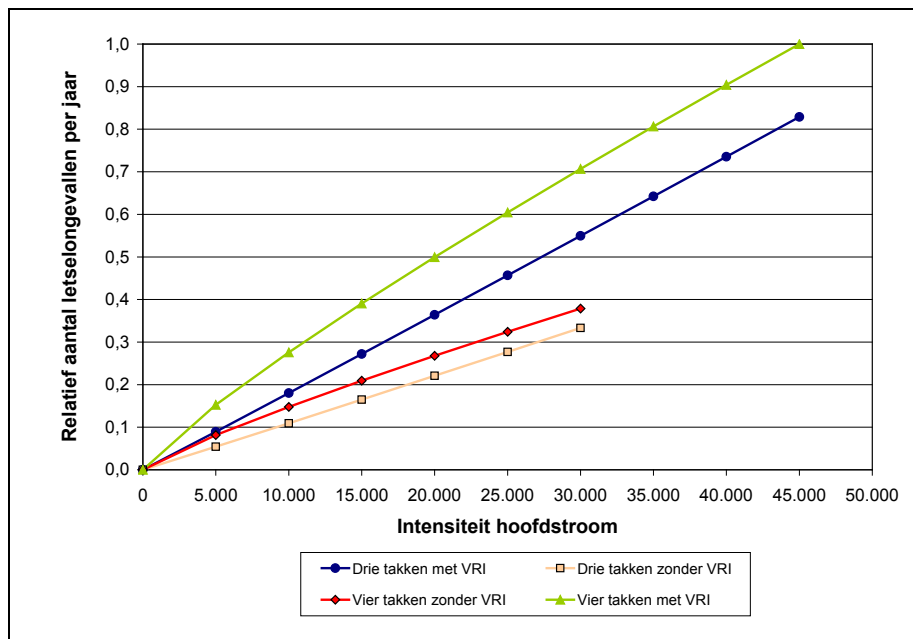
Afbeelding 4.9. Relatief aantal ongevallen op kruispunten in de bebouwde kom, afgezet tegen het aantal passerende motorvoertuigen (Janssen, 2003).



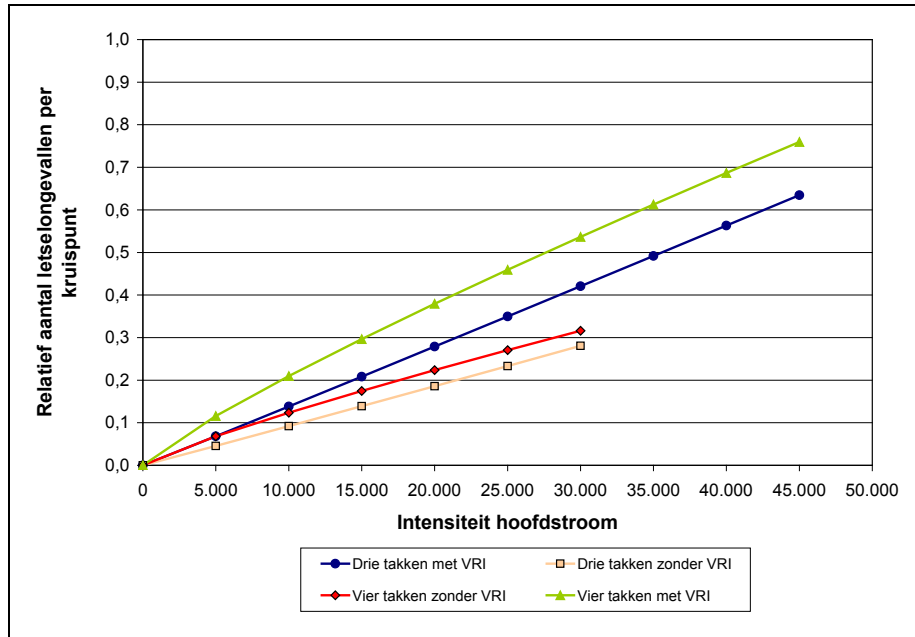
Afbeelding 4.10. Relatief aantal ongevallen op kruispunten in de bebouwde kom, afgezet tegen het aantal passerende motorvoertuigen: vergelijking van resultaten Janssen (2003) met Dijkstra (1990).



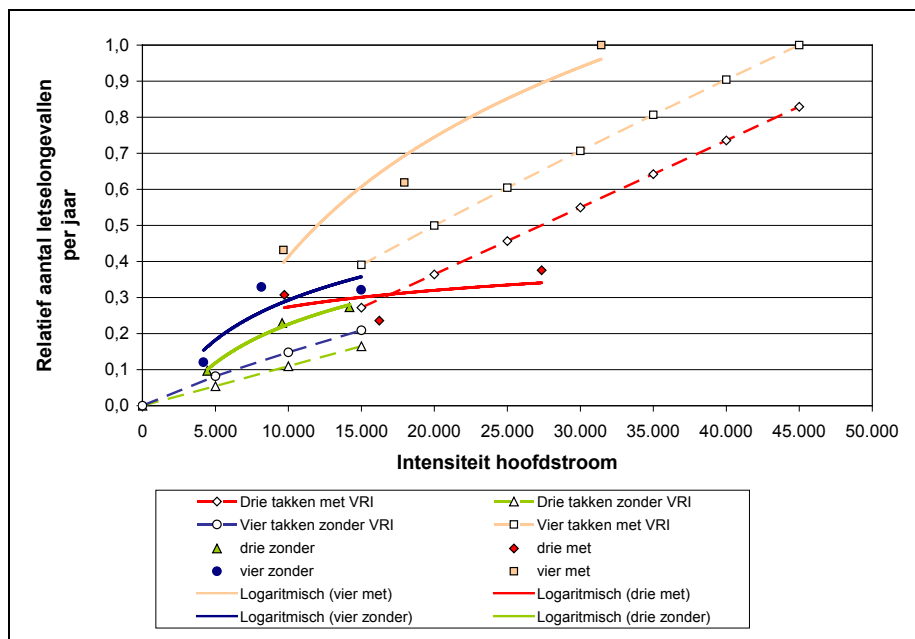
Afbeelding 4.11. Resultaten van Janssen (2003) aangevuld met schatting omtrent turborotondes.



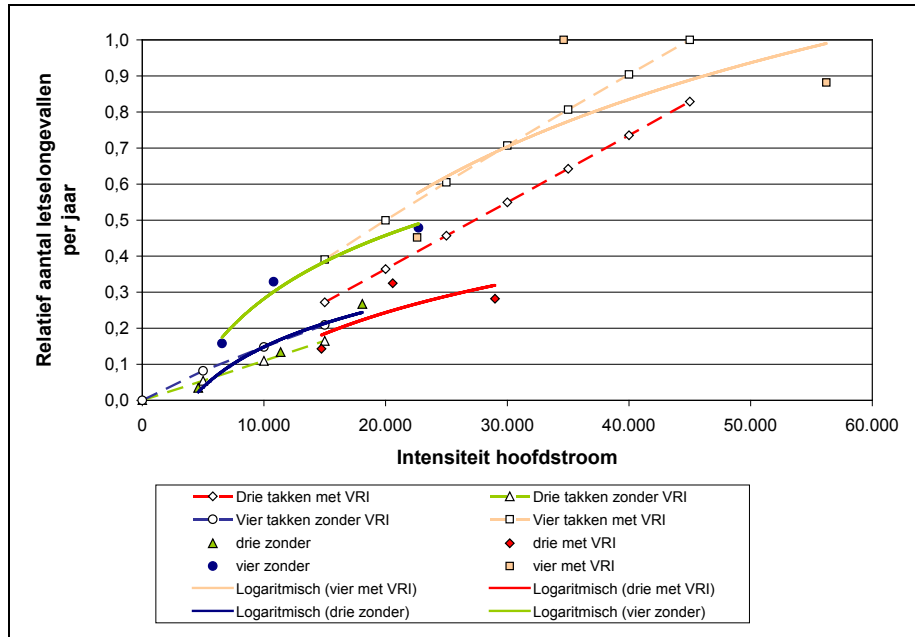
Afbeelding 4.12. Resultaten van toepassing crash prediction model voor vier urbane kruispuistypen,  $I_z = 0,5 I_h$  (TTI, 2009).



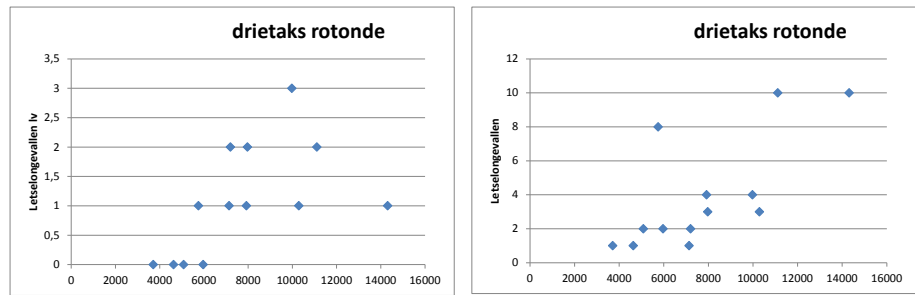
Afbeelding 4.13. Resultaten van toepassing crash prediction model voor vier urbane kruispunttypen,  $I_z = 0,25 I_h$  (TTI, 2009).



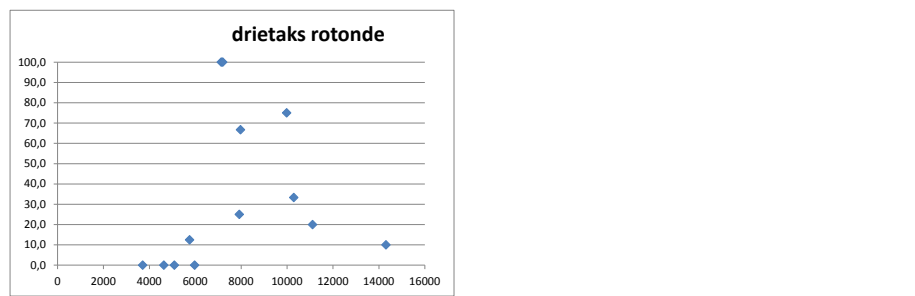
Afbeelding 4.14. Vergelijking van Janssen (2003) met TTI (2009).



Afbeelding 4.15. Vergelijking van Dijkstra (1990) met TTI (2009).

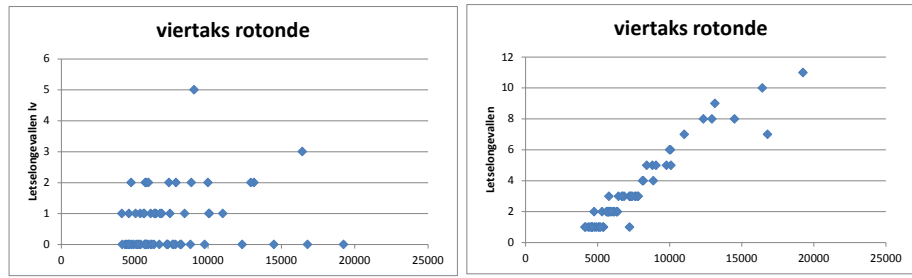


Afbeelding 4.16. Letselongevallen met langzaam verkeer (linker afbeelding) en met alle verkeersdeelnemers op drietaksrotondes

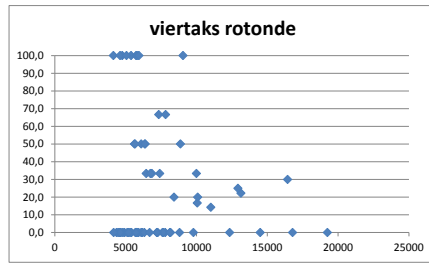


Afbeelding 4.17. Procentueel aandeel letselongevallen met langzaam verkeer op drietaksrotondes.

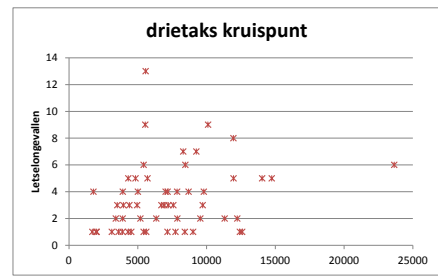
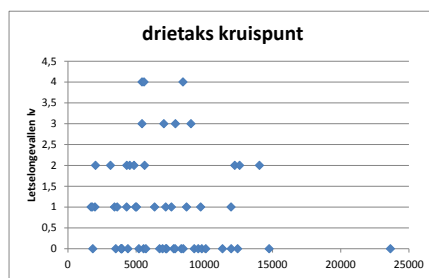




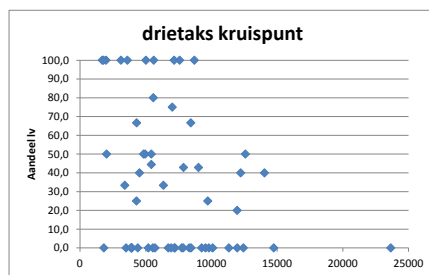
Afbeelding 4.18. Letselongevallen met langzaam verkeer (linker afbeelding) en met alle verkeersdeelnemers op viertaksrotonde



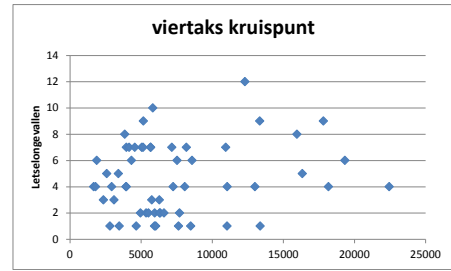
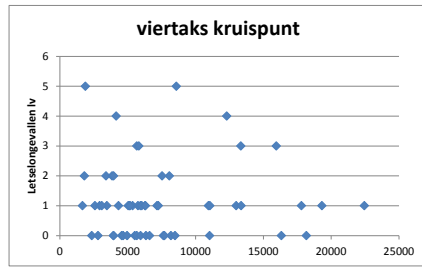
Afbeelding 4.19. Procentueel aandeel letselongevallen met langzaam verkeer op viertaksrotondes



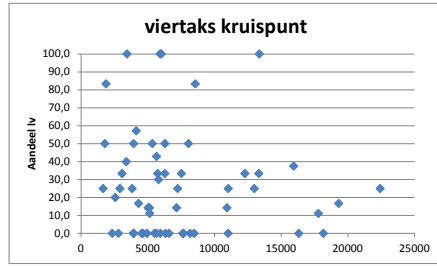
Afbeelding 4.20. Letselongevallen met langzaam verkeer (linker afbeelding) en met alle verkeersdeelnemers op drietaks kruispunten



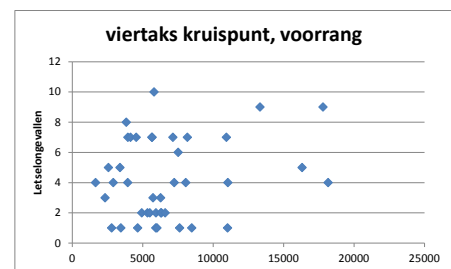
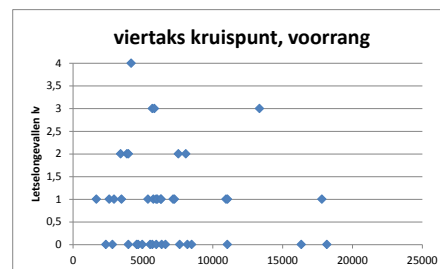
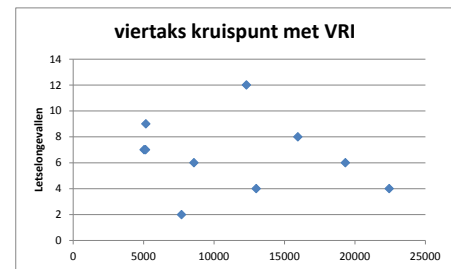
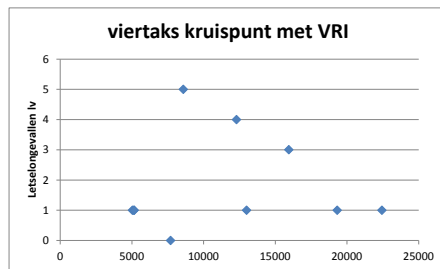
Afbeelding 4.21. Procentueel aandeel letselongevallen met langzaam verkeer op drietaks kruispunten



Afbeelding 4.22. Letselongevallen met langzaam verkeer (linker afbeelding) en met alle verkeersdeelnemers op viertakskruispunten



Afbeelding 4.23. Procentueel aandeel letselongevallen met langzaam verkeer op viertakskruispunten.



Afbeelding 4.24. Letselongevallen met langzaam verkeer (linker afbeelding) en met alle verkeersdeelnemers op viertakskruispunten met (bovenste afbeeldingen) en zonder VRI (met voorrang geregeld)

## 5. Methode om verandering in kruispuntveiligheid vast te stellen

Een verandering op een kruispunt (type, aantal passerende motorvoertuigen) kan gevolgen hebben voor de verkeersveiligheid. In *Hoofdstuk 4 en Bijlage A* is zo veel mogelijk relevante kennis over kruispuntveiligheid uiteengezet. 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.

### 5.1. Basis van de methode?

Uit *Hoofdstuk 4* 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 A* 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.

## 5.2. Kanttekeningen bij de methode

In *Hoofdstuk 4* 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 (*Hoofdstuk 4*) 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 *Hoofdstuk 4* 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 *Hoofdstuk 4*) 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 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.

## 5.3. Hoofdpijnen van de methode

Volgens *Hoofdstuk 4* en *Bijlage A* 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 5.3.4*), 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.

### 5.3.1. *Ander kruispunttype*

Bij een verandering van kruispunttype is de ligging binnen of buiten de bebouwde kom bepalend voor de schatting. In *Hoofdstuk 4* 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 5.1* 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)	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>

*Tabel 5.1. 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 5.1* zijn afgeleid uit ongevallengegevens die Janssen (1992) heeft gerapporteerd (en niet in *Hoofdstuk 4* zijn opgenomen).

Voor de relatieve onveiligheid van turbotondes is geen onderscheid naar de verhouding  $I_z/I_h$  mogelijk. Fortuijn (2005) laat zien dat de relatieve veiligheid van een turbotonde 0,35 is ten opzichte van een kruispunt met VRI.

Tabel 5.2 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)	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>

Tabel 5.2. *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 5.1 als Tabel 5.2 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.

### 5.3.2. 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 5.3 geeft voor drie intensiteitsklassen de veiligheidscijfers (relatieve aantallen letselongevallen) voor kruispunten in de bebouwde kom, Tabel 5.4 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	--	<b>1,00</b>
Voorrang	< 10.000	0,60	0,70
	10.000 - 20.000	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
	>20.000	--	--
Verkeerslichten (VRI)	< 10.000	0,82	0,43
	10.000 - 20.000	0,63	0,62
	>20.000	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>

Tabel 5.3. *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	--	<b>1,00</b>	--	--
	> 13.000	--	--	(1,00)	(1,00)
Gelijkvloers met voorrangsregeling	< 6.000	0,49	0,43	0,74	--
	6.000 - 11.000	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	--	(1,00)
	11.000 - 13.000	--	--	<b>1,00</b>	--
	> 13.000	--	--	--	--
Gelijkvloers met VRI	< 6.000	--	--	--	--
	6.000 - 11.000	--	--	--	--
	11.000 - 13.000	(1,00)	<b>1,00</b>	0,57	--
	> 13.000	--	0,77	<b>1,00</b>	(1,00)

Tabel 5.4. *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.

### 5.3.3. *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	--	--	--	<b>1,00</b>
	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	<b>1,00</b>	--	(1,00)	--
	0,75 - 1,0	--	<b>1,00</b>	--	--
Gelijkvloers met VRI	0,0 - 0,1	--	--	0,67	--
	0,1 - 0,4	--	--	<b>1,00</b>	0,47
	0,4 - 0,75	--	--	0,94	<b>1,00</b>
	0,75 - 1,0	--	--	--	0,80

Tabel 5.5. 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).

#### 5.3.4. Meer of minder conflictpunten (met of zonder snelheidsreductie)

In *Bijlage A* is duidelijk gemaakt dat er een kwantitatieve relatie bestaat tussen het aantal conflictpunten en het risico. In *Tabel 5.6* zijn de risicocijfers vermeld die het sterkst gerelateerd zijn aan het aantal conflictpunten zonder snelheidsreductie. De risicocijfers uit *Tabel 5.6* zijn ook gebruikt bij het samenstellen van *Afbeelding A.3* (*Bijlage A*).

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	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>

Tabel 5.6. 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)

#### 5.3.5. Relatieve veiligheid van kruispunttypen

In het project heeft DTV Consultants (DTV, 2013) een aantal kruispunttypen gedefinieerd die een rol spelen bij het afwegen van kruispunttypen (*Bijlage B*). Voor de onderlinge vergelijking van de veiligheid van deze kruispunttypen is hier een verdere verdeling gemaakt naar kruispuntklasse en bebouwing. In *Tabel 5.7* is de relatieve onveiligheid (letselongevallen) gegeven voor elk kruispunttype inbegrepen de verdere verdeling in bebouwing en kruispuntklasse. Er is aangenomen dat kruispunttypen alleen



worden toegepast in bepaalde kruispuntklassen; zie de gegevens in *Hoofdstuk 4*. Daarom zijn in *Tabel 5.7* alleen de relevant geachte kruispuntklassen ingevuld. Per kolom heeft het onveiligste kruispunttype de factor 1. Vervolgens zijn de andere typen daaraan gerelateerd en die hebben een factor die kleiner of gelijk is aan 1.

		Binnen bebouwde kom			Buiten bebouwde kom		
		Intensiteitsklasse x1.000 passerende motorvoertuigen (som van alle takken) per etmaal					
		<10	10-20	>20	<6	6-13	>13
	Kruispunttype						
	Gelijkwaardig	(laag)			(laag)		
Voorrang	Voorrang geregeld	0,52	0,52		<b>1,00</b>		
	Idem met linksafvak		?			<b>1,00</b>	
	Idem met middeneiland					1,00	
Rotonde	Enkelstrooks rotonde	0,17	0,40	0,32	0,64	0,42	
	Idem met bypass			?			?
Turbo	Turbo			?			0,38
	Idem complex						?
VRI	VRI	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>		0,69	?
	Idem, complex			?		?	<b>1,00</b>
	Idem, zeer complex						?
	Idem, zeer complex						?

Aanname voor witte cellen: dit type komt nauwelijks voor in deze kruispuntklasse.  
 De tabel moet worden gelezen per kolom: binnen elke kolom heeft het type met de hoogste onveiligheid een verhoudingsgetal **1,00**.  
 Bij de gelijkwaardige kruispunten staat '(laag)' omdat op deze kruispunten erg weinig ongevallen voorkomen. Dit kruispunttype past vooral in een zone 30 of een zone 60.  
 De vraagtekens betekenen dat hier geen ongevallengegevens over bekend zijn.

*Tabel 5.7. Relatieve onveiligheid van kruispunttypen (letselongevallen) naar bebouwing en naar intensiteitsklasse*

Enkele cellen kunnen nog niet worden gevuld door gebrek aan gegevens. Er zijn wel schattingen mogelijk met de methode die hiervoor is beschreven.

#### *Toepassing van de relatieve cijfers*

De gegeven relatieve cijfers gelden bij de vergelijking van alternatieve kruispunttypen. De bezwaren van *Paragraaf 5.2* gelden ook voor deze relatieve cijfers.

De gegeven relatieve cijfers kunnen afwijken van effecten die zijn gevonden in voor- en nastudies. In dergelijke studies zijn de resultaten soms vertekend doordat maatregelen zijn genomen op locaties die op dat moment erg onveilig waren. Het effect van de maatregel kan dan groter zijn dan bij een

toepassing op een minder onveilige locatie. De relatieve cijfers in *Tabel 5.7* zijn afkomstig uit vergelijkende studies en hebben dit nadeel niet. De cijfers zijn bedoeld zowel voor situaties waarin men een bestaand kruispunttype wil veranderen als voor situaties waarin voor het eerst een kruispunt zal worden gebouwd. In beide gevallen vergelijkt men gemiddelde waarden van veiligheidsniveaus. In een bestaande situatie kan de onveiligheid van het bestaande kruispunt afwijken van het hier gegeven gemiddelde niveau

#### 5.4. Voorbeelden van een (theoretische) toepassing

De voorgestelde methode passen we hier toe op enkele voorbeelden. Voorbeeld 1 geeft het effect van een nieuwe situatie met een ander kruispunttype en andere verkeerskenmerken. De voorbeelden 2, 3 en 4 geven de veiligheidsniveaus van twee alternatieven in dezelfde situatie. Ten slotte geven de voorbeelden 5, 6 en 7 de effecten van toepassing van afwijkende (nog niet bestaande) kruispunttypen. In elk voorbeeld lopen we het lijstje na van de vier mogelijke veranderingen uit *Paragraaf 5.3* af. Elk voorbeeld eindigt met een schatting van de procentuele verandering in het aantal letselongevallen.

##### 5.4.1. 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;
- turbotonde;
- $I_z/I_h = 0,5$ ;
- $I_z+I_h = 20.000$  mvt/etmaal.

Volgens *Paragraaf 5.3* 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 turbotonde. Aangezien volgens Fortuijn (2005) het netto veiligheidseffect van een turbotonde even groot is als van een enkelstrooksrotonde, gaat het veiligheidsniveau door deze verandering van 1,0 naar 0,32 (zie *Tabel 5.2*).

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  $\{(1,0 - 0,32)/1,0\} \times 100\% = 68\%$ .

#### 5.4.2. Voorbeeld 2

##### Alternatief 1:

- bebouwde kom;
- viertakskruispunt met voorrangsregeling
- $I_z/I_h = 0,25$ ;
- $I_z+I_h = 15.000$  mvt/etmaal.

##### Alternatief 2:

- bebouwde kom;
- rotonde;
- $I_z/I_h = 0,25$ ;
- $I_z+I_h = 15.000$  mvt/etmaal.

Volgens de gewenste volgorde van analyse (*Paragraaf 5.3*) is (zie hiervoor) is alleen een ander kruispunttype relevant.

Het relatieve veiligheidsniveau van alternatief 2 is 0,32 en dat van alternatief 1 is 0,32. Dus alternatief 2 (rotonde) is  $\{(0,38 - 0,38)/0,38\} \times 100\% = 16\%$  veiliger dan alternatief 1 (voorrangskruispunt).

#### 5.4.3. Voorbeeld 3

##### Alternatief 1:

- Buiten bebouwde kom;
- viertakskruispunt met VRI
- $I_z/I_h = 0,25$ ;
- $I_z+I_h = 12.000$  mvt/etmaal.

##### Alternatief 2:

- Buiten bebouwde kom;
- viertakskruispunt met voorrangsregeling;
- $I_z/I_h = 0,25$ ;
- $I_z+I_h = 12.000$  mvt/etmaal.

Volgens de gewenste volgorde van analyse (*Paragraaf 5.3*) is (zie hiervoor) is alleen een ander kruispunttype relevant.

Het relatieve veiligheidsniveau van alternatief 2 is 0,48 en dat van alternatief 1 is 1,00.

Dus alternatief 2 (voorrangsregeling) is  $\{(1,00 - 0,48)/1,00\} \times 100\% = 52\%$  veiliger dan alternatief 1 (VRI).

#### 5.4.4. Voorbeeld 4

##### Alternatief 1:

- Buiten bebouwde kom;
- viertakskruispunt met VRI
- $I_z/I_h = 0,25$ ;
- $I_z+I_h = 25.000$  mvt/etmaal.

Alternatief 2:

- Buiten bebouwde kom;
- turborotonde;
- $I_z/I_h = 0,25$ ;
- $I_z+I_h = 25.000$  mvt/etmaal.

Volgens de gewenste volgorde van analyse (*Paragraaf 5.3*) is (zie hiervoor) is alleen een ander kruispunttype relevant.

Het relatieve veiligheidsniveau van alternatief 2 is 0,35 en dat van alternatief 1 is 1,00.

Dus alternatief 2 (turbo) is  $\{(1,00 - 0,35)/1,00\} \times 100\% = 65\%$  veiliger dan alternatief 1 (VRI).

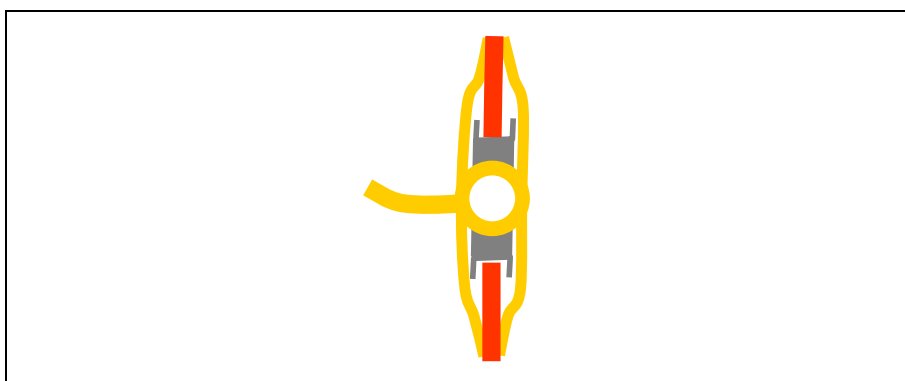
#### 5.4.5. Voorbeeld 5

Huidige situatie:

- buiten bebouwde kom;
- drietaxskruispunt 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 5.1* is te zien;
- $I_z/I_h = 0,25$ ;
- $I_z+I_h = 30.000$  mvt/etmaal.



Afbeelding 5.1. *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 drietaxskruispunt met verkeerslichten vervangen door kruispunt met voorangsregeling geeft volgens *Tabel 5.2* binnen de bebouwde kom een verandering in het relatief aantal ongevallen van 1,00 naar 0,65. Over drietaxsrotondes 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 4.11*).

De verhouding van zij- en hoofdstroom blijft gelijk.

Het aantal conflictpunten van het voorgestelde kruispunttype is minder dan bij een reguliere rotonde. *Tabel 5.6* 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%.

#### 5.4.6. Voorbeeld 6

Huidige situatie:

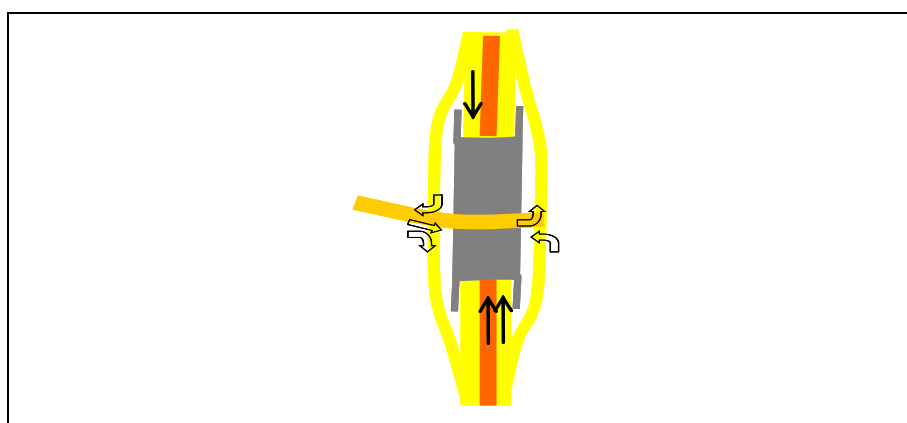
- buiten bebouwde kom;
- drietakskruispunt met verkeerslichten;
- $I_z/I_h = 0,25$ ;
- $I_z+I_h = 25.000$  mvt/etmaal.

Nieuwe situatie:

- buiten bebouwde kom;
- kruispunttype zoals in *Afbeelding 5.2* 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 voorrangregeling en onderdoorgang. Deze situatie is nagenoeg gelijk aan de situatie in *Paragraaf 5.4.3*. Want op de conflictpunten buigen alle verkeersstromen (de open pijlen in *Afbeelding 5.2*) 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 5.4.3*. De verwachte verandering van het aantal ongevallen is eveneens -72% .



Afbeelding 5.2. Kruispunttype Drietakskruispunt met voorrangregeling, met onderdoorgang en met extra rijstrook op de hoofdrichting.

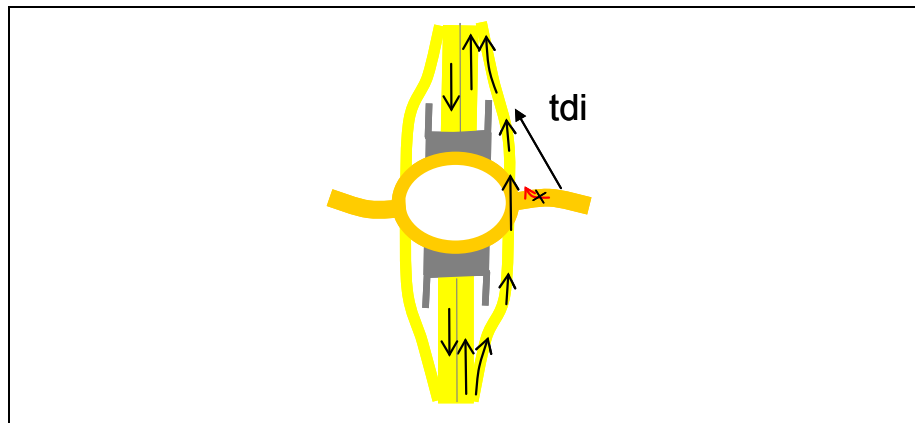
#### 5.4.7. Voorbeeld 7

Huidige situatie:

- buiten bebouwde kom;
- viertakskruispunt 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 5.3* is te zien;
- $I_z/I_h = 0,25$ ;
- $I_z+I_h = 25.000$  mvt/etmaal.



Afbeelding 5.3. Kruispunttype Ronde 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 5.2*, 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 (*Afbeelding 4.11*) 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%.

## 6. Conclusies en aanbevelingen

De kennis over de onveiligheid op kruispunten is beperkt, zeker als een onderscheid naar kruispunttype, aantal passerende motorvoertuigen en aandeel langzaam verkeer is gewenst.

Het verdient aanbeveling meer gegevens te verzamelen over kenmerken van kruispunten. Ook het veiligheidseffect van het toevoegen van een extra kruispunt aan een wegennet verdient nader onderzoek.

### 6.1. Ongeveldichtheid, ongevalsrisico en procentueel aandeel ongevallen met langzaam verkeer

Uit de beschikbare 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 (gebiedsontsluitingswegen) 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 veel veiliger alternatief.

Ook op *kruispunten van verkeersaders (gebiedsontsluitingswegen) 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 andere kruispunttypen. De turbotronde lijkt echter in veel situaties een veilig alternatief voor het kruispunt met verkeerslichten. Viertaksrotondes zijn veiliger dan viertakskruispunten (met voorrangregeling).

Voor de veiligheid van langzaam verkeer geldt dat het procentuele aandeel van fietsers bij letselongevallen buiten de bebouwde kom op *kruispunten van A- en N-wegen (stroom- en gebiedsontsluitingswegen)* tussen 8 en 16% ligt en op *kruispunten van wegen van lagere orde* tussen 4 en 8%. Bij snor- en bromfietsers zijn deze percentages respectievelijk 9-24% en 3-14%.

Het procentuele aandeel van fietsers bij letselongevallen op kruispunten binnen de bebouwde kom ligt hoger, namelijk tussen 18 en 31% op *kruispunten gelegen op A- en N-wegen* en tussen 9 en 14% op *kruispunten gelegen op verkeersaders*. Ook de percentages van snor- en bromfietsers zijn hoger, respectievelijk 38-54% en 9-15%.

De veiligheid van langzaam verkeer op *kruispunten van verkeersaders in de bebouwde kom* is gespecificeerd voor het aandeel letselongevallen met langzaam verkeer. Op drietakskruispunten heeft een VRI-kruispunt een lager gemiddeld procentueel aandeel en een gelijkwaardig kruispunt een

hoger aandeel. Op viertakskruispunten liggen de aandelen van de kruispunttypen dichter bij elkaar; de kruispunten met een voorrangregeling hebben het hoogste aandeel.

Het aandeel letselongevallen op viertaksrotondes met bromfiets en bromfiets uit de voorrang ligt hoger dan het gemiddelde aandeel voor alle viertaksrotondes. De aandelen op rotondes liggen even hoog als op viertakskruispunten.

De ongevalsrisico's op kruispunten op verkeersaders in de bebouwde kom, liggen voor ongevallen met langzaam verkeer steeds veel lager dan voor ongevallen met uitsluitend snelverkeer (factor 3 of hoger). Op drietaksrotondes ziet het er anders uit: het risico van ongevallen met langzaam verkeer is wel lager dan van ongevallen met uitsluitend snelverkeer, maar de factor is 2 à 3. De viertaksrotondes liggen met het procentuele aandeel tussen drietaksrotondes en kruispunten in.

Op kruispunten van N-wegen buiten de bebouwde kom geldt het volgende: Het aantal letselongevallen met langzaam verkeer op drietakskruispunten is hoger dan op rotondes; dit geldt ook voor viertakskruispunten.

Het procentuele aandeel ongevallen met langzaam verkeer op drietakskruispunten is ook hoger dan op rotondes; op viertakskruispunten geldt dit *niet*.

Het aantal letselongevallen met langzaam verkeer op kruispunten met VRI is hoger dan op kruispunten zonder VRI. Dit geldt ook voor het totaal aantal letselongevallen. Het spreekt vanzelf dat de etmaalintensiteiten op kruispunten zonder VRI meestal lager liggen dan op kruispunten met VRI: ook dit beïnvloedt het aantal letselongevallen.

## 6.2. Dichtheid van aansluitingen en kruispunten

Toevoeging van een aansluiting op een autosnelweg leidt tot een toename van het aantal ongevallen: bijvoorbeeld toevoegen van een aansluiting op een wegvak van 2,6 km lang kan leiden tot een toename van het aantal letselongevallen met een factor 1,2 tot 2,2 (bij 1,2 zijn er lagere intensiteiten dan bij 2,2, respectievelijk 60.000 en 200.000 voertuigen per etmaal). Bij toevoegen van een aansluiting op een wegvak van 4,8 km lang, zijn er 1,7 tot 3,2 keer zoveel letselongevallen.

Het aantal ongevallen per afgelegde afstand (ongevalsrisico) op het wegvak tussen een aansluiting op een autosnelweg en het eerstvolgende kruispunt, is afhankelijk van zowel de afstand tussen het kruispunt en de aansluiting als de etmaalintensiteit.

Het ongevalsrisico op een weg neemt toe naarmate er meer erfaansluitingen zijn. Deze toename is pas substantieel bij 20 of meer aansluitingen per kilometer.

Omtrent het veiligheidseffect van het toevoegen van een extra kruispunt aan een bestaand netwerk geeft de literatuur geen informatie. Uit de kennis over extra aansluitingen kan worden afgeleid dat een extra kruispunt tot extra conflictpunten en dus tot ongevallen zal leiden. Maar het totale veiligheidseffect is afhankelijk van de veranderingen die optreden op de omliggende kruispunten. Het toegevoegde kruispunt onttrekt wellicht verkeer aan de omliggende kruispunten, die kunnen daardoor veiliger worden. Het totale veiligheidseffect is dus niet zonder nadere studie te geven.



### 6.3. Kwantitatieve effecten van veranderingen en van alternatieven

Het veiligheidseffect van een verandering op een kruispunt of van een onderlinge vergelijking van alternatieven, is kwantitatief geschat voor vier soorten veranderingen:

- ander kruispunttype;
- meer of minder passerende motorvoertuigen ( $I_z+I_h$ );
- andere verhouding  $I_z/I_h$ ;
- meer of minder conflictpunten (met of zonder snelheidsreductie).

In sommige gevallen zullen twee of meer soorten veranderingen tegelijk 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 laatstgenoemde verandering, het aantal en de aard van de conflictpunten, is 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.

Deze kwantitatieve schattingen van veranderingen zijn geschikt om opgenomen te worden in software die laat zien wat de gevolgen voor veiligheid zijn van veranderingen op een kruispunt.

Aan deze software kan de hiervoor vermelde kennis worden toegevoegd over:

- het aandeel van ongevallen met langzaam verkeer, uitgesplitst naar kruispunttype;
- het ongevalsrisico en de ongevalsdichtheid van ongevallen met langzaam verkeer, uitgesplitst naar kruispunttype;
- het effect van het aantal erfaansluitingen op een wegvak.

## **Oneliners Afwegingskader kruispunten**

### *Algemeen*

1. Rotondes zijn het veiligste kruispunttype.
2. Kruispunten met verkeerslichten zijn onveiliger dan andere kruispunttypen.
3. Het ongevalsrisico op een weg neemt toe naarmate er meer erfaansluitingen zijn.
4. Het kruispunttype, het aantal passerende motorvoertuigen en de verhouding tussen hoofd- en zijstroom bepalen de kruispuntveiligheid.

### *Gebiedsontsluitingswegen binnen de bebouwde kom*

5. Op kruispunten en rotondes is het letselongevalsrisico voor langzaam verkeer veel lager dan voor gemotoriseerd verkeer.
6. Het letselongevalsrisico voor langzaam verkeer ligt op rotondes lager dan op andere kruispunttypen.
7. Het letselongevalsrisico voor langzaam verkeer (bij ongevallen met motorvoertuigen) op rotondes ligt lager dan op andere kruispunttypen.
8. Het letselongevalsrisico voor langzaam verkeer (bij ongevallen met motorvoertuigen) op VRI-kruispunten is gelijk aan het risico op voorrangsgeregelde kruispunten.

### *Gebiedsontsluitingswegen buiten de bebouwde kom*

9. Het aantal letselongevallen met langzaam verkeer op drietaks- en viertakskruispunten is hoger dan op rotondes (bij gelijke intensiteitsklassen).
10. Langzaam verkeer heeft een groter aandeel in het aantal letselongevallen op voorrangsgeregelde kruispunten dan op VRI-kruispunten
11. Langzaam verkeer heeft een groter aandeel in het aantal letselongevallen op viertakskruispunten dan op rotondes.

# Literatuur

AASHTO (2011). *A policy on geometric design of highways and streets (the "Green Book")*. 6th edition. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC.

Arnoldus, J.G. Braimaister, L.G. Huls, G. & Janssen, S.T.M.C. (2000). *Kencijfers voor (brom)fietsverkeer : verzameling en bewerking van verkeersveiligheidsdata voor kruispunten binnen de bebouwde kom*. R-2000-6. SWOV, Leidschendam.

Bared, J.G.; Edara, P.K. & Kim, T. (2006). *Safety impact of interchange spacing on urban freeways*. In: Compendium of papers CD-ROM, Annual meeting Transportation Research Board, Washington DC.

Bonneson, J. & Pratt, M. (2008). *Calibration factors handbook: safety prediction models calibrated with Texas highway system data*. Report No. FHWA/TX-08/0-4703-5. Transportation Institute, College Station, Texas.

CROW (1993). *(On)gelijkvloerse kruispunten in enkelbaanswegen*. Publicatie 71. CROW, Ede.

CROW (1997). *Handboek categorisering wegen op duurzaam veilige basis. Deel 1: (voorlopige) functionele en operationele eisen*. Publicatie 116. CROW, Ede.

CROW (2002). *Handboek Wegontwerp; vier delen*. Publicaties 164a, b, c en d. CROW, Ede.

CROW (2008). *Turborotondes*. Publicatie 257. CROW, Ede.

CROW (2012). *Basiskennmerken wegontwerp : categorisering en inrichting van wegen*. Publicatie 315. CROW, Ede.

CROW (2013). *Handboek Wegontwerp; vier delen*. 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.; Eenink, R. & Wegman, F. (2007). *Met een veilige snelheid over wegen : SWOV-visie op 'de grijze weg'*. In: Verkeerskunde, Vol. 58, No. 7, p. 48-52.

DTV (2013). *Afwegingskader kruispunten*. Notitie voor CROW-werkgroep. DTV Consultants, Breda.

Eisele, W.L.; Frawley, W.E. & Toycen, C.M. (2004). *Estimating the impacts of access management techniques: final results*. Report FHWA/TX-04/0-4221-2. Texas Transportation Institute, Austin.

Fee, J.A., Beatty, R.L., Dietz, S.K., Kaufman, S.F. & Yates, J.G. (1970). *Interstate System Accident Research Study-1*. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration, Washington D.C.

FGSV (2008). *Richtlinien für die Anlage von Autobahnen*. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln.

FHWA (2007). *Safety assessment of interchange spacing on urban freeways*. Techbrief. Publication No. FHWA-HRT-07-031. US Department of Transportation. FHWA. Turner-Fairbank Highway Research Center, McLean, Virginia.

Fitzpatrick et al. (2010). *Guidelines for spacing between freeway ramps*. Texas Transportation Institute TTI, College Station, TX

Fitzpatrick, K. et al. (2011). *Guidelines for spacing between freeway ramps*. In: Transportation Research Record, Nr. 2262. pp. 3-12.

Flintsch, A.M. et al. (2008). *Safety impacts of access control standards on crossroads in the vicinity of highway interchanges*. In: Transportation Research Record, Nr. 2075. pp. 42-52.

Fortuijn, L.G.H. (2005). *Veiligheidseffect turbotondes in vergelijking met enkelstrooksrotondes*. In: Verkeerskundige Werkdagen 2005, CROW, Ede.

Goudappel Coffeng (2001). *Erfaansluitingen en verkeersveiligheid*. In opdracht van CROW. Goudappel Coffeng, Deventer.

HA (1994). *The design of major interchanges. Design manual for roads and bridges*. Volume 6. Section 2. Part 4. TD 39/94. Department for Transport. Highways Agency, London.

HA (2006). *Layout of grade separated junctions. Design manual for roads and bridges*. Volume 6. Section 2. Part 1. TD 22/06. Department for Transport. Highways Agency, London.

Harwood, D.W. (1986). *Multilane design alternatives for improving suburban highways*. National Cooperative Highway Research program. Report 282. Transportation Research Board, Washington D.C.

Infopunt DV (1999). *Duurzaam-veilige inrichting van wegen buiten de bebouwde kom; Een gedachtevorming*. Infopunt Duurzaam Veilig Verkeer, Ede.

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

- Ingham, D.J.; Scott, S. & Burnett, S.L. (2000). *Interchange spacing in Gauteng*. In: Conference Proceedings, 2<sup>nd</sup> International Symposium on Highway Geometric Design, Mainz, Germany.
- 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-2003-36. SWOV, Leidschendam.
- Janssen, W.H.; Claessens, F.M.M. & Muermans, R.C. (1999). *Vormgeving van duurzaam veilige wegcategorieën : evaluatie van 'self-explaining' kenmerken*. Rapport TNO-TM 1999 C-016. TNO Technische Menskunde, Soesterberg,
- Li, J. (1993). *Study of access and accident relationships*. Highway Safety Branch. Ministry of Transportation and Highways, Victoria (British Columbia, Canada).
- Mauga, T. & Kaseko, M. (2010). *Modeling and evaluating safety impacts of access management features in the Las Vegas, Nevada, Valley*. In: Transportation Research Records, pp. 57-65, Transportation Research Board, Washington DC.
- Minnen, J. van (1990). *Ongevallen op rotondes : vergelijkende studie van de onveiligheid op een aantal locaties waar een kruispunt werd vervangen door een "nieuwe" rotonde*. R-90-47. SWOV, Leidschendam.
- Nap, A.E.J. (1952). *Fouten bij de aanleg van kruispunten*. In: Verkeerstechnische Leergang, ANWB, Den Haag.
- Ogden, K.W. (1996). *Safer Roads: a guide to road safety engineering*. ISBN 0-291-39829-4. Aldershot, Sydney.
- Rakha, H. et al. (2008). *Access control design on highway interchanges*. Report No. FHWA/TX-10/0-5860-1. Texas Transportation Institute, College Station, Texas. Report No. VTRC 08-CR7. Virginia Transportation Research Council, Richmond.
- 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. & Duivenvoorden, (2010). *Een SWOV-database Wegkenmerken*. D-2010-7. SWOV, Leidschendam.
- Schnüll, R. et al. (2000). *Leistungsfähigkeit von Verflechtungsstrecken an planfreien Knotenpunkten*. In: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik. Heft 796. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn.

Schoon, C.C. & Bos, J.M.J. (2002). *Ongevalsepatronen op bestaande wegen binnen en buiten de bebouwde kom*. R-2002-21. SWOV, Leidschendam.

TRB (2003). *Access management manual*. Transportation Research Board, Washington DC.

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

Wegman, F.C.M. & Aarts, L.T. (2005). *Door met Duurzaam Veilig; Nationale verkeersveiligheidsverkenning voor de jaren 2005-2020*. SWOV, Leidschendam.

Wolhuter, K.M.; Garner, D. & Schmid, K.G. (2005). *The spacing of interchanges in Gauteng*. In: Compendium of papers CD-ROM, 3<sup>rd</sup> International Symposium on Highway Geometric Design, Chicago, Illinois.

## Bijlage A

## 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 ongevalsrisico en de ongevallendichtheid.

### Conflictpunten

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

Verder is in *Tabel A.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 A.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 A.1*) het best.

### Relatie tussen conflictpunten en risico

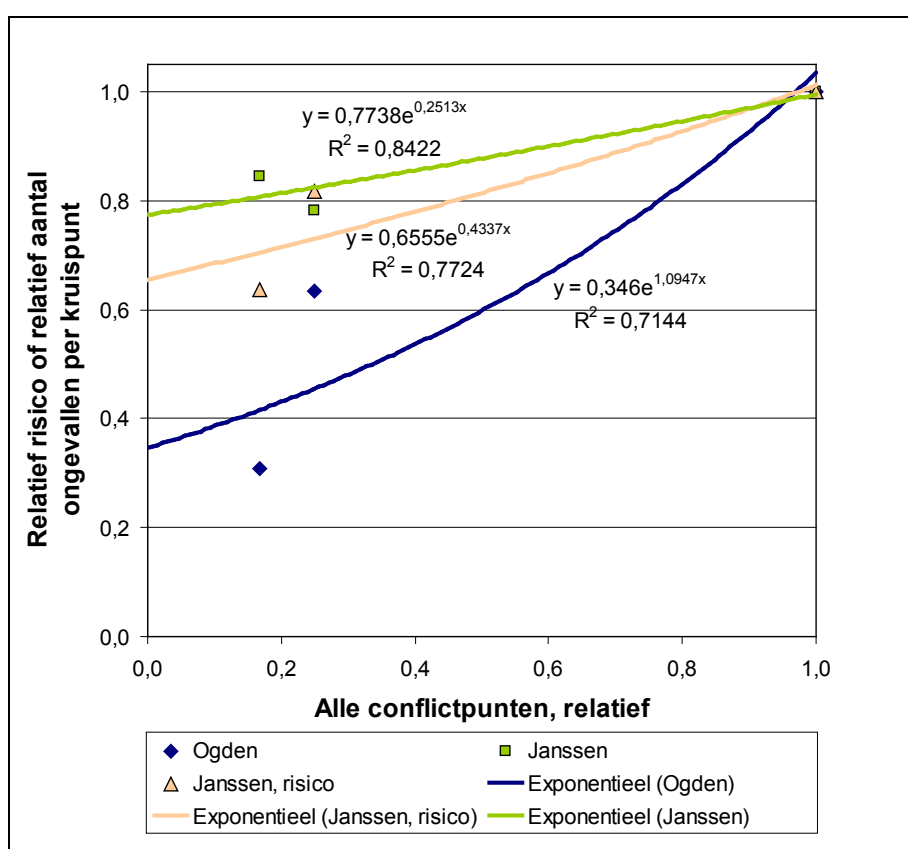
In *Tabel A.2* zijn ongevalsrisico's (aantal ongevallen per miljoen passerende motorvoertuigen) vermeld van Ogden (1996). Hieraan zijn gegevens van Janssen (2003) over risicocijfers en het aantal ongevallen per kruispunt per jaar toegevoegd.

De gegevens uit *Tabel A.2* zijn gebruikt bij het samenstellen van enkele grafieken waarin een (relatief) veiligheidscijfer wordt afgezet tegen een (relatief) aantal conflictpunten. In *Afbeelding A.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 A.2 Enkele gegevens per kruispunttype omtrent het (relatieve) ongevallenniveau.



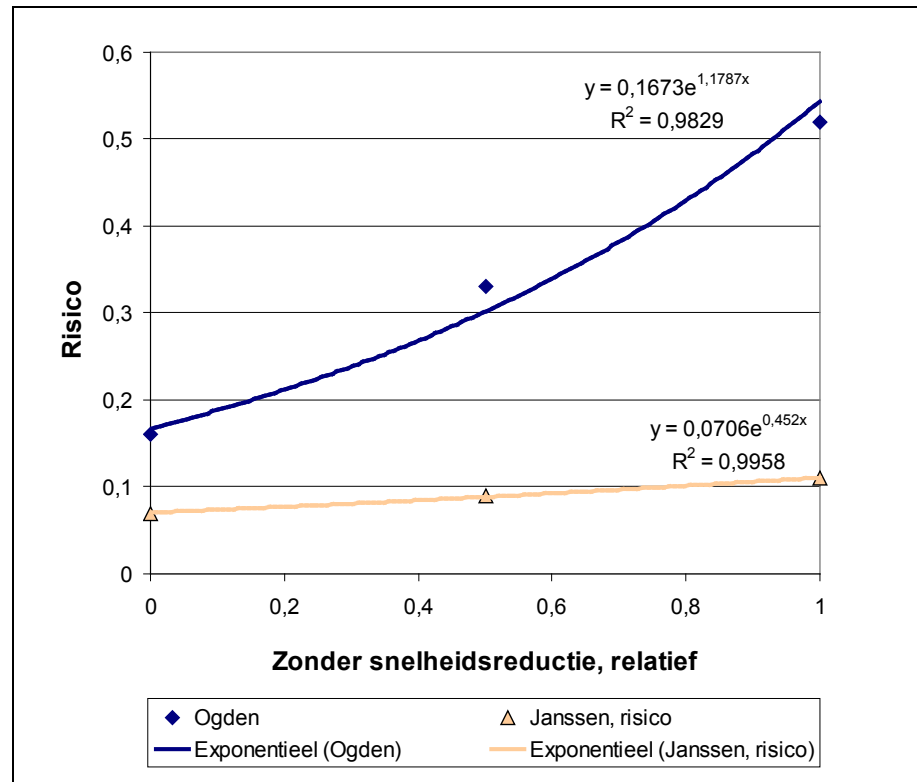
Afbeelding A.1. Relatief risico en relatief aantal ongevallen per kruispunt, afgezet tegen het relatieve aantal conflictpunten.

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

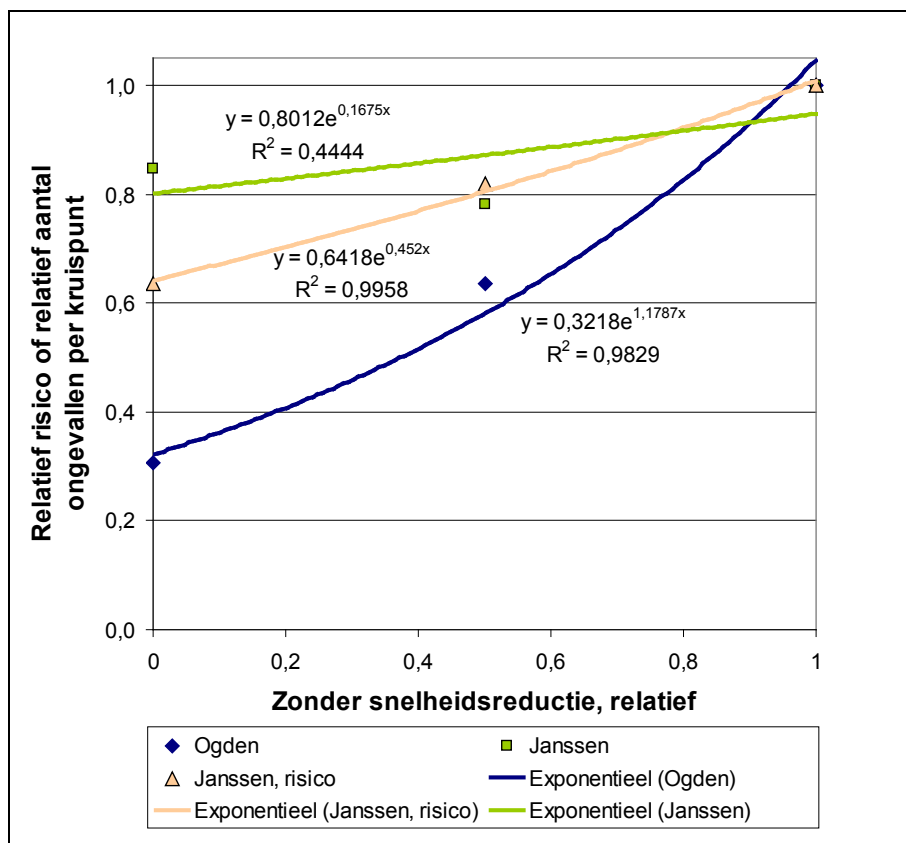
*Afbeelding A.3* geeft het relatief risico en het relatief aantal ongevallen per kruispunt voor de drie kruispunttypen uitgezet tegen het relatief aantal conflictpunten zonder snelheidsreductie. Ook hier weer een sterke stijging bij Ogden. De lijnen bij de cijfers van Janssen verschillen onderling weer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



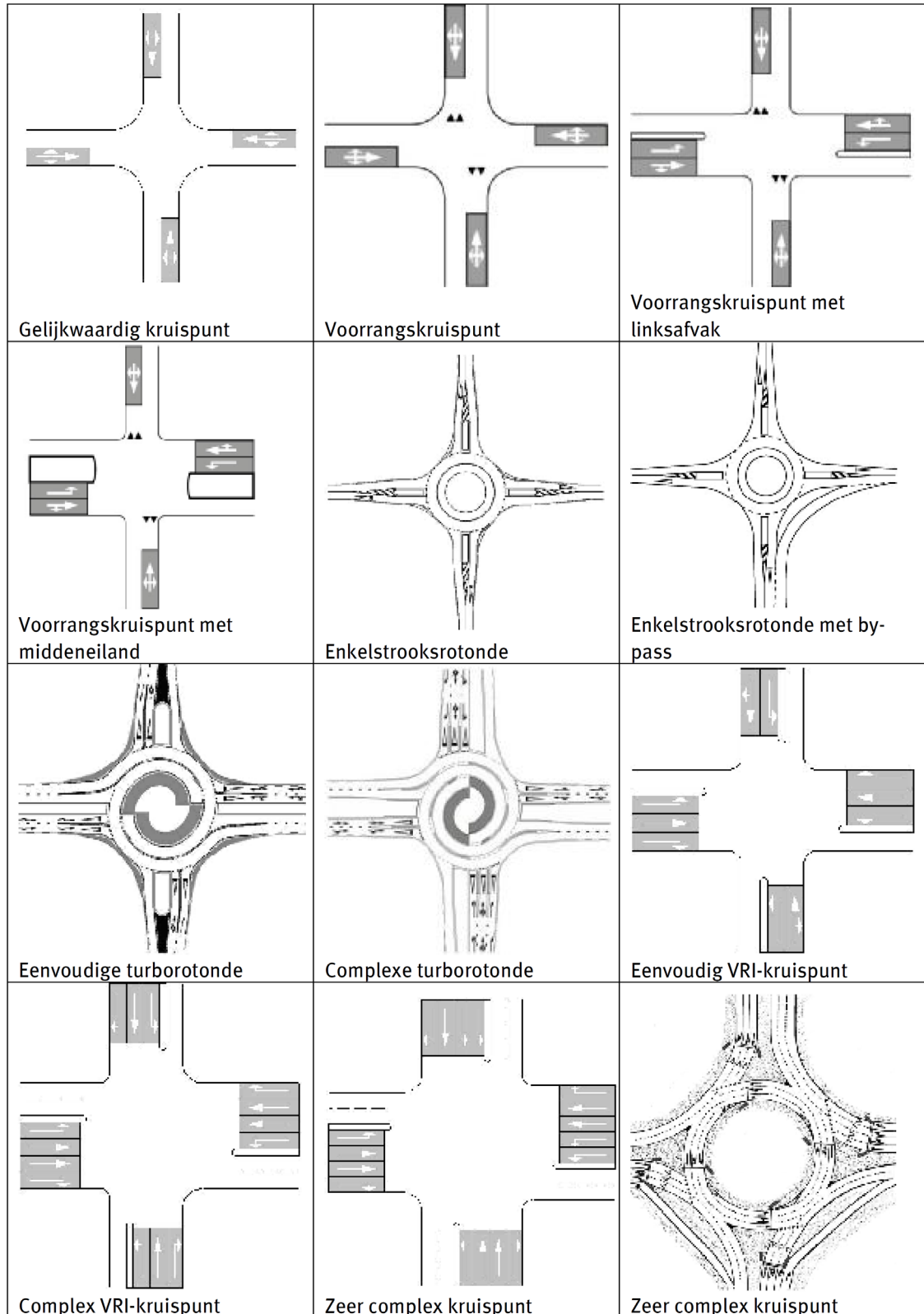
Afbeelding A.2. Risico afgezet tegen het relatieve aantal conflictpunten zonder snelheidsreductie.



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

## Bijlage B

## Kruispunttypen voor CROW-project Afwegingskader



Bron: DTV (2013)