

Veiligheidsaspecten van verkeers- voorzieningen in stedelijke gebieden

Ir. A. Dijkstra

R-2000-5

Veiligheidsaspecten van verkeers- voorzieningen in stedelijke gebieden

R-2000-5
Ir. A. Dijkstra
Leidschendam, 2000
Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

Documentbeschrijving

Rapportnummer: R-2000-5
Titel: Veiligheidsaspecten van verkeersvoorzieningen in stedelijke gebieden
Auteur(s): Ir. A. Dijkstra
Onderzoeksmanager: Ir. S.T.M.C. Janssen
Projectnummer SWOV: 55.143
Kenmerk opdrachtgever: 2422/3448/HT/rf
Opdrachtgever: Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek.

Trefwoord(en): Safety, accident prevention, urban area, traffic engineering, layout, highway, highway design, specifications, evaluation (assessment).

Projectinhoud: In 1997 werden door het CROW de functionele en operationele eisen gepubliceerd waaraan wegen moeten voldoen in een duurzaam-veilig verkeerssysteem. De daaropvolgende stap betrof de formulering van vormgevingseisen en -criteria voor die wegen en straten. Dit rapport doet verslag van de inhoudelijke onderbouwing van deze vormgevingseisen en -criteria door de SWOV. Voor elke eis is nagegaan wat de relevantie voor de verkeersveiligheid op wegen en straten in de bebouwde kom is, gegeven de resultaten van ongevallenstudies en van SWOV-expertise. Naast de eisen van het CROW worden nog enkele andere vormgevingseisen besproken en onderbouwd, die eveneens van invloed zijn op de verkeersonveiligheid.

Aantal pagina's: 20 + 11 blz.
Prijs: f 20,-
Uitgave: SWOV, Leidschendam, 2000

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV
Postbus 1090
2260 BB Leidschendam
Telefoon 070-3209323
Telefax 070-3201261

Samenvatting

Dit rapport bevat de bijdrage die de SWOV heeft geleverd aan de CROW-groep 'Ontwerpcriteria duurzaam-veilige wegen en straten in de bebouwde kom'. Deze bijdrage beoogde de formulering van vormgevingseisen en -criteria van die wegen en straten inhoudelijk te onderbouwen, met name wat de kwantitatieve en/of kwalitatieve relatie tussen verkeerstechnische vormgeving en verkeersveiligheid betreft.

Uitgangspunt vormden de functionele en operationele eisen die het CROW eerder heeft gesteld omtrent duurzaam-veilige wegen(netten). Voor elke eis is nagegaan wat de relevantie voor de verkeersveiligheid op wegen en straten in de bebouwde kom is, gegeven de resultaten van ongevallenstudies en van SWOV-expertise. Aan de eisen van het CROW dienen nog enkele eisen te worden toegevoegd.

De eisen die aantoonbaar van belang zijn voor verkeersonveiligheid betreffen: de netwerkstructuur en omvang van verblijfsgebieden, het aantal eraansluitingen per eenheid van weglengte, oversteekvoorzieningen op wegvakken, fietsers wel of niet op de rijbaan, aanwezigheid van snelheidsremmers op wegvakken en op of nabij kruispunten.

Deze veiligheidseisen zijn vertaald in vormgevingscriteria, gebruikmakend van literatuur en andere informatie.

Van enkele eisen zijn weliswaar geen onderzoeksresultaten aangetroffen die de relevantie voor veiligheid aantonen, maar gericht nader onderzoek zou die relevantie alsnog kunnen aantonen. Het betreft met name eisen voor voorzieningen langs gebiedsontsluitingswegen: ruimte voor parkeren en laden/lossen, rijbaanscheiding, haltes van bus/tram, overgangen in het dwarsprofiel, en de eis voor zichtafstanden.

Summary

Safety aspects of traffic facilities in urban areas

This report contains the contribution made by the SWOV Institute for Road Safety Research to a working group of the Netherlands Centre for Research and Contract Standardization in Civil and Traffic Engineering CROW, entitled 'Design principles for sustainably safe roads and streets inside built-up areas'. The objective of this contribution was to provide content intended to support the formulation of design requirements and criteria for these roads and streets, paying particular attention to the quantitative and qualitative relationships between traffic engineering design and road safety.

Points of departure were made up of the functional and operational requirements that CROW had previously established concerning sustainably safe roads and road networks. The relevance for road safety on roads and streets inside built-up areas was examined for each requirement on the basis of the findings from accident studies and on the basis of SWOV expertise. Certain requirements still have to be added to the CROW requirements.

The requirements that are demonstrably important for road safety concern: the network structure and the extent of residential and commercial areas, the number of property accesses per unit of road length, crossing facilities on the road surfaces, whether or not cyclists travel on the carriageway, and the presence of speed inhibitors on road surfaces and on or near intersections. These safety requirements were interpreted into design criteria by making use of the literature and other information.

Although for certain requirements no research findings were found to demonstrate their relevance to safety, further research addressing these requirements should be able to demonstrate this relevance. In particular, these requirements involve facilities located along distributor roads: space for parking, loading and unloading; carriageway division; bus and tram stops; transitions in the transverse section; and the requirement involving sight distances.

Inhoud

1.	Inleiding	6
1.1.	Doel en aard van de SWOV-inbreng	6
1.2.	Opzet van het project en van dit rapport	6
2.	Veiligheidseisen aan verkeersvoorzieningen	8
2.1.	CROW-eisen in soorten	8
2.2.	Aanvullende eisen	8
2.3.	Belang voor verkeersveiligheid	9
3.	Kennis over veiligheidsaspecten	12
3.1.	Inleiding	12
3.2.	Netwerkstructuur in en omvang van verblijfsgebieden	12
3.3.	Erfaansluitingen	12
3.4.	Oversteken op wegvakken	13
3.5.	Fietser wel/niet op rijbaan	14
3.6.	Snelheidsremmers op wegvakken	14
3.7.	Overgang in dwarsprofiel	14
3.8.	Kruispunttype	15
3.9.	Snelheidsremmende maatregel op/nabij kruispunt	15
3.10.	Zichtafstanden	16
4.	Conclusies en aanbevelingen	17
	Literatuur	18
Bijlage 1	Duurzaam-veilige woongebieden	21
Bijlage 2	Kwantitatieve relaties tussen kruispuntkenmerken en ongevallen	27

1. Inleiding

In 1997 werden de functionele en operationele eisen gepubliceerd waaraan wegen moeten voldoen in een duurzaam-veilig verkeerssysteem (CROW, 1997). De daaropvolgende stap betrof de vormgevingseisen en -criteria. Voor wegen buiten de bebouwde kom is daar inmiddels een 'gedachtevorming' over geschetst (Infopunt DVV, 1999). Voor duurzaam-veilig ingerichte wegen en straten in de bebouwde kom werd in 1998 een CROW-werkgroep opgericht om daar meer helderheid over te verschaffen. ARCADIS Heidemij Advies stelde de ontwerpeisen en -criteria op; de SWOV werd gevraagd daarvoor een inhoudelijke onderbouwing te leveren, met name wat de kwantitatieve en/of kwalitatieve relatie tussen verkeers-technische vormgeving en verkeersveiligheid betreft.

1.1. Doel en aard van de SWOV-inbreng

Het SWOV-project 'Duurzaam-veilige inrichting van wegen en straten in de bebouwde kom' beoogde de formulering van vormgevingseisen en -criteria van die wegen en straten inhoudelijk te onderbouwen.

Deze onderbouwing bestond uit literatuuronderzoek, waar mogelijk resultaten uit eerdere SWOV-ongevallenanalyses en overige relevante informatie (Infopunt Duurzaam Veilig Verkeer, duurzaam-veilig-demonstratie- en voorbeeldprojecten). De SWOV stelde daartoe een systematiek op waarin deze onderbouwing een plaats kreeg.

1.2. Opzet van het project en van dit rapport

Het SWOV-project bestond uit twee onderdelen:

1. ontwerp van een systematiek;
2. onderbouwing (literatuuronderzoek, ongevallenanalyse, eventuele overige relevante informatie).

Ad 1. Ontwerp systematiek

De functionele en operationele eisen voor duurzaam-veilige wegen zijn opgesomd zonder een duidelijke aanwijzing voor het belang van elke eis voor het voorkomen van ongevallen (preventieve werking). De SWOV heeft het belang of gewicht van elke eis onderbouwd.

Vervolgens werd voor elke eis nagegaan op welke manier de wegontwerper er aan kan voldoen. Dit kan meestal door een concrete uitvoeringsvorm (infrastructurele maatregel, markering, bebording) toe te kennen. Daarop volgde een beoordeling van de mate waarin verkeersveiligheidskennis omtrent die uitvoeringsvorm beschikbaar is.

De laatste stap in deze systematiek bestond uit een inhoudelijke beoordeling van elke uitvoeringsvorm.

Over de resultaten van deze systematiek is gerapporteerd in hoofdstuk 2.

2. Onderbouwing

De voorgestelde systematiek kan niet zonder feitelijke kennis over de veiligheidsaspecten van verkeersmaatregelen.

Voor de onderbouwing is een literatuurscan uitgevoerd met een beperkt aantal relevante trefwoorden. Het literatuuronderzoek van de SWOV betrof

uitsluitend de kwantitatieve en kwalitatieve relaties tussen verkeers-technische vormgeving en verkeersveiligheidsindicatoren. Deze scan is uitgevoerd in drie bestanden (IRRD, TRIS en TRANSDOC) die op CD-ROM beschikbaar zijn. Via titels en abstracts zijn interessante titels geselecteerd en werd nagaan of het betreffende document snel beschikbaar kon zijn. De literatuurstudie is uiteindelijk vooral op de reeds aanwezige bronnen uitgevoerd.

Eerder uitgevoerde ongevallenanalyses vormden de belangrijkste input van de onderbouwing. Met name waren dit analyses waarbij wegtypen en vormgevingselementen centraal staan. Ook is geput uit het recente SWOV-project 'Ongevalspatronen en -risico's', waar eveneens wegtypen en vormgevingselementen een belangrijke plaats innemen (Davidse et al., 2000; Janssen, 2000).

De rapportage over dit onderdeel is opgenomen in hoofdstuk 3.

2. Veiligheidseisen aan verkeersvoorzieningen

Onlangs zijn eisen geformuleerd om een duurzaam-veilige verkeersinfrastructuur tot stand te brengen (CROW, 1997). Dit hoofdstuk gaat in op de aard van deze duurzaam-veilig-eisen, op de compleetheid ervan en op het belang ervan voor het voorkomen van ongevallen in de bebouwde kom.

2.1. CROW-eisen in soorten

De duurzaam-veilig-eisen, onderverdeeld in functionele en operationele eisen, zijn in CROW-publicatie 116 (CROW, 1997) opgesomd. Deze eisen kunnen we verdelen in drie soorten:

- Ten eerste zijn er eisen die het verschil *tussen* wegcategorieën benadrukken. Deze eisen geven uitdrukking aan het duurzaam-veilig-principe van herkenbaarheid en voorspelbaarheid. Hierbij passen de eisen omtrent (in langsricting) continue aanwezige wegkenmerken, met name markering, rijrichtingscheiding, verharding/mate van vlakheid en obstakelafstand (Van Schagen et al., 1998).
- De tweede soort eisen draagt *binnen* een wegcategorie zorg voor het duurzaam-veilig-principe van homogeniteit (reguleren van verschillen in snelheid en bewegingsrichting en van verschillen in massa en kwetsbaarheid). Dit betreft vooral scheiden en mengen in langsricting van verschillende verkeerssoorten, oversteekplaatsen, eraansluitingen, kruispunten, parkeren en snelheidsregulering. De eisen van deze soort hebben vooral invloed op het vermijden van verschillende conflicttypen en, als een ongeval onvermijdelijk is, het verminderen van de ernst van de afloop van een ongeval.
- Ten slotte zijn de eisen van het derde type relevant voor het duurzaam-veilig-principe van functionaliteit (elke weg heeft maar een type verkeers*functie*). Hiervoor zijn de eisen afstand tussen kruispunten, netwerkstructuur en omvang verblijfsgebieden ingevoerd (zie § 2.2).

2.2. Aanvullende eisen

In CROW-publicatie 116 ontbreken enkele eisen die van invloed zijn op de verkeersonveiligheid:

- *afstand tussen kruispunten*: Een stroomfunctie op wegvakken (zowel bij gebiedsontsluitingswegen als bij stroomwegen) kan alleen tot zijn recht komen bij zo min mogelijk verstoringen. Tot die verstoringen behoren zeker kruispunten. Kruispunten dienen (per kilometer) op die twee categorieën minder vaak voor te komen dan op erftoegangswegen.
- *netwerkstructuur*: Er is voldoende kennis over netwerkstructuren om te kunnen stellen dat de soort structuur van invloed is op de aard en omvang van de verkeersonveiligheid.
- *categorieaanduiding*: Alle kenmerken die de herkenbaarheid van de wegcategorie 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, Claessens & Muermans, 1999).

- *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.
- *zichtafstanden*: De eis voor zichtafstanden is al heel lang in bestaande richtlijnen opgenomen en zou voor duurzaam-veilige wegcategorieën weer opgepoetst moeten worden.
- *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.

Deze toegevoegde kenmerken zijn zeker relevant voor de verkeersveiligheid en ontbreken eigenlijk onterecht in de CROW-publicatie. Tevens is aan de eis 'parkeren op de rijbaan' toegevoegd 'laden/lossen' omdat die handeling in de bebouwde kom veel voorkomt en gerelateerd is aan onveiligheid.

2.3. **Belang voor verkeersveiligheid**

Niet alle functionele en operationele eisen zijn even belangrijk voor het vermijden van verschillende conflicttypen of, als een ongeval onvermijdelijk is, voor het verminderen van de ernst van de afloop van een ongeval. Sommige eisen zijn vooral van belang om wegcategorieën uit elkaar te houden (herkenbaarheid), andere eisen zijn in de eerste plaats van belang voor de afwikkeling van het verkeer (functionaliteit). De eisen van de soort 'binnen een categorie' moeten zorg dragen voor de ongevalspreventie. Niet elke eis van die soort doet dat even goed, de effectiviteit verschilt nogal.

In de *Tabellen 1a en 1b* is voor vier verschillende wegcategorieën, namelijk OV-baan, vrijliggend fietspad, gebiedsontsluitingsweg (GOW) en erftoegangsweg (ETW), aangegeven in welke mate een eis op de betreffende wegcategorie van belang is voor de ongevalspreventie. Dit is aangegeven met grijze vakjes: meer grijs betekent een groter belang. Deze kwalificatie is via 'expert guessing' door SWOV-medewerkers tot stand gekomen. De CROW-werkgroep kan deze kwalificaties uiteraard nog aanpassen. De belangrijkste eisen zijn hierna uitgewerkt.

Plaats of niveau	Soort eis		Operationele en overige eisen	OV-baan	Fietspad (vrijliggend)	GOW	ETW
Netwerk	Functie	N1*	Afstand tussen kruispunten				
	Functie	N2*	Netwerkstructuur				
Wegvak	Tussen	W2	Markering (in lengterichting)				
	Tussen	W3	Rijbaanindeling				
	Tussen	W6	Verharding (mate van vlakheid)				
	Tussen	W16	Verlichting				
	Tussen	W17	Bewegwijzering				
	Tussen	W18*	Categorieaanduiding				
	Tussen	W21*	Omgeving				
Overgang tussen categorieën	Tussen	O1	Kruispunt				
	Tussen	O2	Komgrens				

* N1, N2, W18 en W21 waren niet opgenomen in CROW-publicatie 116 (1997).

Tabel 1a. Gewichten voor functionele en operationele eisen voor wegen en straten in bebouwde kommen, aangegeven per wegcategorie; de betreffende eisen moeten de verschillen tussen categorieën garanderen.

Plaats of niveau	Soort eis		Operationele en overige eisen	OV-baan	Fietspad (vrijliggend)	GOW	ETW
Netwerk	Functie	N3	Omvang verblijfsgebied				
Wegvak	Binnen	W1	Snelheidslimiet				
	Binnen	W4	Pechvoorziening				
	Binnen	W5	Rijbaanscheiding (overrijdbaarheid)				
	Binnen	W7	Erfaansluiting				
	Binnen	W8	Oversteken (op wegvakken)				
	Binnen	W9	Parkeren op rijbaan of laden/lossen				
	Binnen	W10	Halte bus/tram op rijbaan				
	Binnen	W11	Obstakelafstand				
	Binnen	W12	Fietser op rijbaan				
	Binnen	W13	Bromfietser op rijbaan				
	Binnen	W14	Langzaam gemotoriseerd verkeer op rijbaan				
	Binnen	W15	Snelheidsremmers				
	Binnen	W19*	Profiel van vrije ruimte				
	Binnen	W20*	Overgang in dwarsprofiel				
	Kruispunt	Binnen	K1	Gelijkvloers, rechts voor links			
Binnen		K2	Verkeerslichtenregeling				
Binnen		K3	Voorrangregeling				
Binnen		K4	Snelheidsremmende maatregel				
Binnen		K5*	Zichtafstanden				
Binnen		K6*	Rijbaanindeling (stroken per verkeerssoort)				

* W19, W20, K5 en K6 waren niet opgenomen in CROW-publicatie 116 (1997).

Tabel 1b. Gewichten voor functionele en operationele eisen voor wegen en straten in bebouwde kommen, aangegeven per wegcategorie; de betreffende eisen moeten de veiligheid binnen een categorie garanderen.

3. Kennis over veiligheidsaspecten

3.1. Inleiding

Als een eis bedoeld is om binnen een wegcategorie meer homogeniteit te bieden of om de gewenste functionaliteit te bewerkstelligen, dan moeten we drie dingen weten:

- Welke verkeersvoorziening(en) past/passen bij die eis?
- Hoe staat het met vormgeving, dimensionering en inpassing?
- Welk effect heeft de voorziening op bijvoorbeeld ongevallen, conflicten, snelheid, oversteekbaarheid, of positie van verkeersdeelnemers in het dwarsprofiel?

Hierna worden de 'belangrijke' eisen (van de soort 'functie' en 'binnen') besproken.

De eisen van de soort 'tussen' komen hier niet aan bod; die onderzoeken de SWOV, TNO Technische Menskunde en het Centrum voor Omgevings- en Verkeerspsychologie (COV; voorheen Verkeerskundig Studiecencentrum VSC) in het nog lopende project 'Duurzaam-veilige wegomgeving en verkeersgedrag'.

3.2. Netwerkstructuur in en omvang van verblijfsgebieden

In *Bijlage 1* is een uiteenzetting gegeven over de structuur van het wegennet in verblijfsgebieden, afkomstig uit Dijkstra (1996).

De omvang van verblijfsgebieden is onderwerp van studie in het lopende SWOV-project 'Grootte van verblijfsgebieden'. Onlangs is een rapportage verschenen met onder andere een bespreking van theoretische overwegingen en van de literatuur over dit onderwerp (Van Minnen, 1999). Ook heeft men in dit project praktijkervaringen met gebiedskeuzen geïnterpreteerd.

De relevante keuzecriteria voor de grootte van verblijfsgebieden betreffen verkeersveiligheid, leefbaarheid en bereikbaarheid. De literatuur laat geen harde, op onderzoek gebaseerde keuzecriteria zien. Wel is het duidelijk dat oversteekbaarheid, motorvoertuigintensiteiten en ritlengte (omrijfactor) van groot belang zijn voor de gebiedsgrootte. Voor het veiligheidsaspect lijkt de oversteekbaarheid op dit moment het belangrijkste keuzecriterium. In de ASVV (CROW, 1996; blz. 312) is hiervoor (al) een uitgebreide rekenmethode opgenomen.

3.3. Erfaansluitingen

Op de verkeersaders 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 rechtsafslaan vanaf de verkeersader naar de dwarsstraat toe en 'omgekeerd' alleen rechtsaf vanuit de dwarsstraat de verkeersader op). De veiligheidsaspecten van deze eis zijn niet puur theoretisch van aard. Maar er zijn nauwelijks recente studies die een kwantitatieve relatie

aantonen tussen het aantal aansluitingen per eenheid van weglengte en het aantal ongevallen. Er zijn wel veel oudere buitenlandse studies die vooral de hoofdwegen en doorgaande wegen betreffen. 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 urbane hoofdwegen en het aantal ongevallen per motorvoertuigmijl. Een even sterke relatie vinden zij tussen de kruispunt dichtheid op die wegen en het aantal ongevallen per motorvoertuigmijl. Brindle (1998) rapporteert over een recente Canadese studie door Li (1993) die eveneens voor urbane hoofdwegen deze kwantitatieve relaties overtuigend aantoont. Een minder sterk verband vindt Harwood (1986) in een onderzoek naar de veiligheid van verschillende dwarsprofielen op Amerikaanse 'sub-urban arterials': pas vanaf 40 (particuliere) inritten per kilometer neemt het aantal ongevallen aantoonbaar toe.

3.4. Oversteken op wegvakken

In de jaren tachtig is er uitvoerig geëxperimenteerd met oversteekvoorzieningen op verkeersaders. Tot een ongevallenevaluatie was het nog nooit gekomen. Onlangs is de SWOV in de gelegenheid gesteld enkele van die voorzieningen te evalueren (Bos & Dijkstra, 1998). Het aantal letselongevallen is door de maatregelen (optelsom van alle typen oversteekvoorzieningen) gedaald met 6% (gecorrigeerd voor de daling in de controlegebieden). Het aantal ongevallen met voetgangers is echter gestegen met 23% (eveneens gecorrigeerd). Het aantal gewonde en gedode voetgangers is zelfs met 34% gestegen.

Oversteekvoorziening uit ASVV 1996 of (ASVV 1986)	Veranderingen in %		
	Alle letselongevallen	Letselongevallen met voetgangers	Gewonde of gedode voetgangers
12.4/21	+ 95	+ 54	+ 52
12.4/22	- 21	+ 54	+ 54
(12.3/19)	0	-	-
12.4/51	+ 51	+ 52	+ 74
12.4/52	- 40	-	-
(12.3/33)	+ 145	+ 9	+ 8
(12.3/34)	+ 73	-	-
12.4/56	+ 124	>	>
12.5/21	- 18	+ 12	+ 25
12.5/32	- 56	+ 3	+ 3
(12.3/56)	- 68	- 71	-70
Alle	-15	-6	2
Alle na correctie *	-6	23	34

* Na correctie voor veranderingen in omliggende controlegebieden (Bos & Dijkstra, 1998)

Tabel 2. *Effect op het aantal letselongevallen door het treffen maatregelen op het gebied van oversteekvoorzieningen.*

Kijken we naar de typen oversteekvoorziening afzonderlijk (zie *Tabel 2*) dan vinden we de slechte scores vooral bij de oversteekvoorzieningen op wegvakken (ASVV 12.4/21, 12.4/22, 12.4/51, 12.4/56). Ook scoren drie

wegvakvoorzieningen slecht die inmiddels (terecht) niet meer in de ASVV zijn opgenomen. In de ASVV van 1986 (SVT, 1986) stonden ze echter nog wel; hun toenmalige nummering is in *Tabel 2* gebruikt.

3.5. **Fietser wel/niet op rijbaan**

Het onderwerp van wel of geen fietsers op de rijbaan is al vaak onderzocht maar heeft nog nooit tot een sluitend antwoord geleid op de vraag welk type fietsvoorziening het veiligst is: fietspaden of -stroken.

Overigens zal na het invoeren van de maatregel 'Bromfiets op de rijbaan' (BOR) de situatie zo sterk veranderen dat niet bij voorbaat duidelijk is of onderzoeksresultaten uit de tijd vóór deze maatregel nog geldig zijn.

In SWOV-onderzoek uit de jaren tachtig (Welleman & Dijkstra, 1988) werd voor weggedeelten gevonden dat fietspaden veiliger waren dan fietsstroken, en dat fietsstroken onveiliger waren dan geen fietsvoorziening. Overigens was de groep fietsstroken nogal divers, smalle en brede fietsstroken, en stroken met en zonder langsparkeren waren samengevoegd. En voor kruispunten tussen verkeersaders onderling, gold voor fietsers die de onderzochte verkeersaders verlieten of inreden, dat paden onveiliger waren dan stroken of geen voorziening. Dit leidde tot de aanbeveling om fietspaden op enige afstand voor het kruispunt af te knotten.

Voor bromfietsers lagen de uitkomsten overigens geheel anders, voldoende reden om toen de maatregel BOR aan te bevelen.

Een recent overzicht van fietsonderzoek (Dijkstra, 1997) heeft deze inzichten nog niet doen veranderen.

3.6. **Snelheidsremmers op wegvakken**

De beschikbare/aangetroffen evaluatiestudies betreffen uitsluitend snelheidsremmers in verblijfsgebieden. Het is algemeen bekend dat die voorzieningen effectief zijn. Vis & Kaal (1993) hebben voor een groot aantal 30 km/uur-zones, met een grote variëteit in toegepaste snelheidsremmers, vastgesteld dat de gemiddelde letselongevallenreductie 15% bedraagt. Bos & Dijkstra (1998) stellen vast dat het gemiddelde effect in 30 km/uur-zones (gecorrigeerd voor omliggende controlegebieden) neerkomt op 26% letselongevallenreductie, 27% reductie in voetgangersongevallen en 21% reductie in gewonde/gedode voetgangers. Alle combinaties van snelheidsremmers in de onderzochte zones laten een ongevallenreductie zien.

3.7. **Overgang in dwarsprofiel**

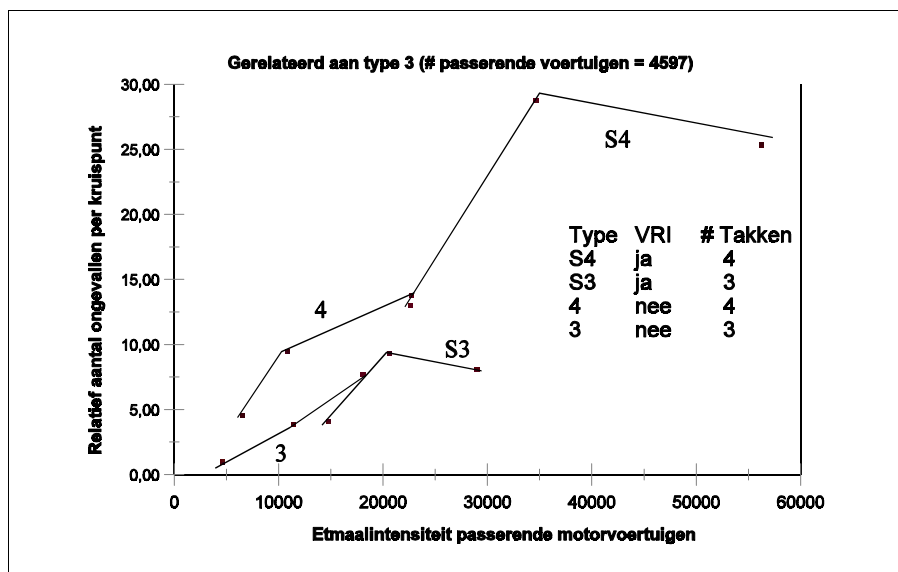
Het veiligheidsaspect van discontinuïteit in het dwarsprofiel is een tamelijk onbetreden terrein. Het meeste onderzoek naar veiligheidseffecten richt zich op de weggedeelten met een constant dwarsprofiel. Situaties waarin de indeling van het dwarsprofiel (plotseling) verandert komen veel voor en vragen extra aandacht van de verkeersdeelnemers. Onduidelijk is of dat meer of minder risico met zich meebrengt.

Voor dit onderwerp geldt: onderzoek is dringend gewenst!

3.8. Kruispunttype

Van rotondes weten we dat ze superieur zijn in het lage ongevallenniveau in vergelijking met gewone kruispunten (Van Minnen, 1995). Voor die gevallen waarin een rotonde niet toepasbaar is, blijft het relevant om te weten hoe het veiligheidsniveau van de diverse kruispunttypen is.

In *Afbeelding 1* is het relatieve ongevallenniveau gegeven voor vier verschillende kruispunttypen en voor drie niveaus van verkeersintensiteit per type.



Afbeelding 1. Relatief ongevallenniveau voor enkele kruispunttypen in de bebouwde kom. Bron: CROW (1995).

In *Bijlage 2* is een overzicht opgenomen van kwantitatieve relaties tussen kruispuntkenmerken en ongevallen, uit een rapport van Dijkstra (1998).

3.9. Snelheidsremmende maatregel op/nabij kruispunt

In het eerder besproken SWOV-project van Bos & Dijkstra (1998) zijn ook oversteekvoorzieningen nabij kruispunten onderzocht. Het betreft de ASVV nummers 12.5/21 (verkleining kruisingsvlak), 12.5/32 (middengeleider) en een rotondetype (binnenstraal groter of gelijk aan 6 meter) dat niet meer in de huidige ASVV voorkomt (in ASVV 1986 was dit nummer 12.3/56). Deze drie voorzieningen laten dalingen zien in het aantal letselongevallen. Het aantal voetgangersongevallen en -slachtoffers daalt alleen bij de rotonde (zie *Tabel 2*).

3.10. Zichtafstanden

In een duurzaam-veilig verkeerssysteem moet je andere verkeersdeelnemers tijdig kunnen waarnemen. Daarvoor hanteren we gewoonlijk uitzichtdriehoeken die zijn vastgesteld met aannamen omtrent reactiesnelheid, rijsnelheden en remvertragingen. De huidige ASVV (CROW, 1996; blz. 418) geeft daarvoor voldoende houvast.

Deze uitzichtdriehoeken functioneren alleen goed als in de praktijk die zichruimte ook permanent beschikbaar blijft. Met name uitdijende begroeiing vormt een bedreiging, maar ook later toegevoegd (illegaal) straatmeubilair. Regelmatig zou controle moeten plaatsvinden om de zichtdriehoeken te kunnen garanderen.

4. Conclusies en aanbevelingen

- Aan de operationele eisen in CROW-publicatie 116 dienen voor de veiligheidsaspecten van stedelijke verkeersinfrastructuur te worden toegevoegd: afstand tussen kruispunten, netwerkstructuur, categorie-aanduiding, overgang in dwarsprofiel, zichtafstanden, en indeling van het dwarsprofiel vlak voor een kruispunt.
- De eisen in CROW-publicatie 116 zijn niet alle aantoonbaar relevant voor de verkeersveiligheid van stedelijke verkeersinfrastructuur. De relevante eisen zijn in elk geval: netwerkstructuur, omvang verblijfsgebieden, eraansluitingen (aantal per eenheid van weglengte), oversteken op wegvakken, fietser wel of niet op de rijbaan, snelheidsremmers op wegvakken en op of nabij kruispunten.
- Van enkele eisen zijn weliswaar geen onderzoeksresultaten aangetroffen die de relevantie voor de verkeersveiligheid aantonen, maar gericht nader onderzoek zou die relevantie alsnog kunnen aantonen. Het betreft met name voorzieningen langs gebiedsontsluitingswegen: ruimte voor parkeren en laden/lossen, rijbaanscheiding, haltes van bus/tram, overgangen in het dwarsprofiel, en zichtafstanden.

Literatuur

- Bos, J.M.J. & Dijkstra, A. (1998). *Road safety effects of small-scale infrastructural measures with emphasis on pedestrian safety*. A-98-17. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam. [Niet openbaar].
- Brindle, R. (1998). *Relationship between accidents and access conditions*. Research Report ARR 320. ARRB Transport Research Ltd, Vermont South, Victoria, Australia.
- CROW (1995). *Kenmerken van gevaarlijke situaties op verkeersaders en 80 km/h-wegen*. CROW, Ede.
- CROW (1996). *ASVV Aanbevelingen voor verkeersvoorzieningen binnen de bebouwde kom*. CROW, Ede
- CROW (1997). *Handboek Categorisering wegen op duurzaam-veilige basis. Deel I (Voorlopige) functionele en operationele eisen*. Publicatie 116 CROW, Ede.
- Davidse, R.J., Kooi, R.M. van der, Dijkstra, A. & Arnoldus, J.G. (2000). *Ongevalspatronen en -risico's per wegtype, deel 2; Verklaring van de verschillen tussen wegtypen op basis van wegbeoordelingen*. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam. [In voorbereiding].
- Dijkstra, A. (1996). *De kracht van oude concepten. Structuur van duurzaam-veilige wegnetten in stedelijke gebieden*. In: Mouwen, A.M.T., Kalfs, N. & Govers, B. 'Beheersbare mobiliteit: een utopie?' Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk, Delft.
- Dijkstra, A. (1997). *Ontwikkelingen in de kennis over de fiets en fietsvoorzieningen*. R-97-38. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.
- Dijkstra, A. (1998). *Oriëntatie op kwantitatieve relaties tussen elementen van het wegontwerp en indicatoren voor verkeersonveiligheid*. R-98-49. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.
- 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.
- 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 DVV (1999). *Duurzaam-veilige inrichting van wegen buiten de bebouwde kom - een gedachtevorming*. Infopunt Duurzaam Veilig Verkeer, Ede/Leidschendam.

Janssen, S.T.M.C. (2000). *Ongevalspatronen en -risico's per wegtype, deel 3; Schatting van duurzaam-veilig-kencijfers op basis van veranderingen in ongevalspatronen per wegtype*. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam. [In voorbereiding].

Janssen, W.H., Claessens F.M.M. & Muermans R.C. (1999). *Vormgeving van duurzaam-veilige wegcategorieën: evaluatie van 'self explaining' kenmerken*. TM-99-C016. TNO Technische Menskunde, Soesterberg.

Li, J. (1993). *Study of access and accident relationships*. Highway Safety Branch. Ministry of Transportation and Highways, Victoria (British Columbia).

Minnen, J. van (1995). *Rotondes en voorrangregelingen*. R-95-58. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

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

Schagen, I.N.L.G. van (SWOV), Dijkstra, A. (SWOV), Claessens, F.M.M. (TNO-TM) & Janssen, W.H. (TNO-TM) (1998). *Herkenning van duurzaam-veilige wegcategorieën; Selectie van potentieel relevante kenmerken en uitwerking van de onderzoeksopzet*. R-98-57. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

SVT (1986). *ASVV Aanbevelingen voor stedelijke verkeersvoorzieningen*. Studiecentrum Verkeerstechniek SVT, Driebergen.

Vis, A.A. & Kaal, I. (1993). *De veiligheid van 30 km/uur-gebieden; Een analyse van letselongevallen in 151 heringerichte gebieden in Nederlandse gemeenten*. R-93-17. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Welleman, A.G. & Dijkstra, A. (1988). *Veiligheidsaspecten van stedelijke fietspaden*. R-88-20. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Bewerkt gedeelte uit Dijkstra (1996)

De eerste eis in een duurzaam-veilig systeem is dat de verblijfsgebieden zo groot mogelijk moeten zijn. Tegelijkertijd moet in deze woon- of verblijfsgebieden de verkeersfunctie zeer gering zijn. De juiste omvang van deze gebieden is een zeer oud ontwerpprobleem. Een te groot gebied genereert te veel verkeer op de wegen in het gebied en een te klein gebied heeft onvoldoende waarde voor de bewoners. Behalve de omvang van een verblijfsgebied, beïnvloedt ook de structuur van het wegennet de hoeveelheid verkeer, met name op de wegen die het gebied ontsluiten. De wegenstructuur op stedelijk niveau bepaalt op zijn beurt of zich in een gebied verkeer bevindt dat er geen herkomst of bestemming heeft (doorgaand verkeer). Al velen hebben geprobeerd de 'ideale' verkeersstructuur in woongebieden vast te stellen.

De structuur is sterk afhankelijk van de doelstellingen die men nastreeft. Het ligt voor de hand om bij een duurzaam-veilige structuur de veiligheidsdoelstelling te laten prevaleren. Maar men mag tegelijkertijd de bereikbaarheids- en leefbaarheidsdoelstellingen niet veronachtzamen (leefbaarheid is hier opgevat als het tegengaan van geluids- en stankoverlast). Ook dienen de investerings- en onderhoudskosten aan bepaalde randvoorwaarden te voldoen.

In deze notitie gaan we na wat de verschillende soorten verkeersstructuren bijdragen aan verkeersveiligheid, bereikbaarheid en leefbaarheid en, voor zover er gegevens over zijn, hoe de investerings- en onderhoudskosten uitpakken.

Drie soorten structuren

De verkeerskundige geschiedenis levert drie kenmerkende wegenstructuren voor verblijfsgebieden op: grid of raster (Alexander, 1966), boom of organisch (Reichow, 1959) en gemengd of 'limited acces' (Marks, 1957); zie ook *Afbeelding B.1*. Die geschiedenis leert dat de verkeersveiligheid in dergelijke gebieden is gediend met een systeem gebaseerd op beperkingen in de toegang en de snelheid (organische structuur of limited access) en dat de leefbaarheid en bereikbaarheid meer zijn gediend met een gridsysteem. Op de kosten van deze systemen gaan we hierna in.

Indicatoren

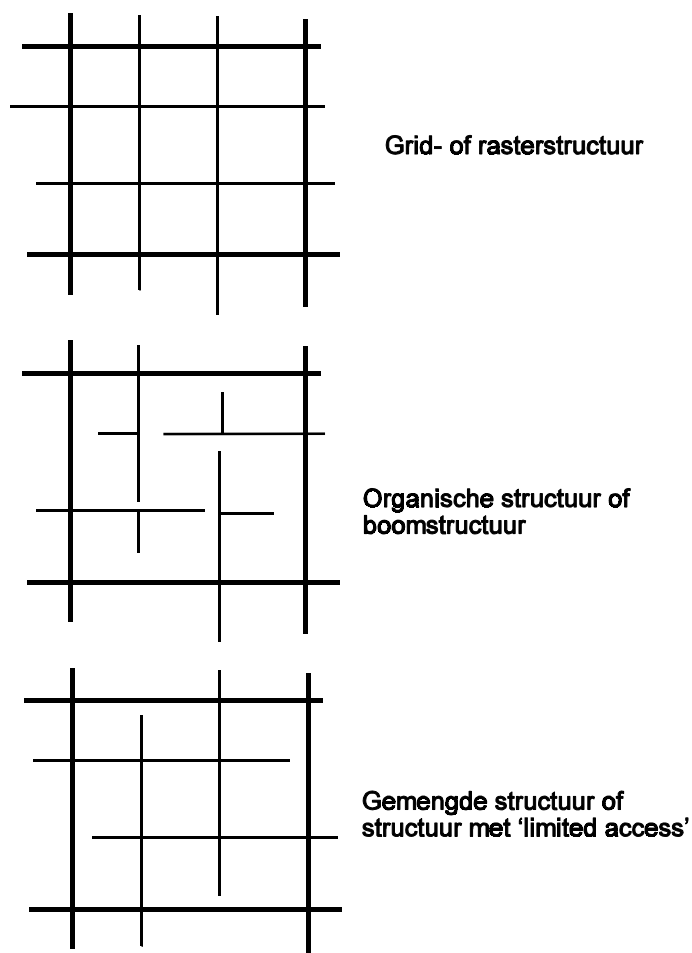
We zullen ingaan op de eerder genoemde doelstellingen omtrent verkeersveiligheid, bereikbaarheid en leefbaarheid. We operationaliseren die doelstellingen met enkele indicatoren die direct samenhangen met de netwerkstructuur.

De mate van *verkeersveiligheid* hangt samen met het totale aantal afgelegde voertuigkilometers, de beoogde trajectnsnelheid (bijvoorbeeld dat vijftientig procent van de voertuigen een bepaalde snelheid niet overschrijdt) en de kruispunt dichtheid.

De *bereikbaarheid* drukken we hier uit in de ritlengte binnen het verblijfsgebied en op de omliggende wegen; deze laatste is van belang als er veel moet worden omgereden op die wegen. De snelheid is hierbij ook van belang, maar binnen verblijfsgebieden is dat geen variabele omdat de

snelheid op alle straten ongeveer gelijk zou moeten zijn, namelijk maximaal dertig kilometer per uur.

De *verkeersleefbaarheid* bepalen we hier met de verkeersintensiteit (op een wegvak) en het totale aantal afgelegde voertuigkilometers.



Afbeelding B.1. Schematische voorstelling van drie typen wegenstructuren.

De *kosten* van de verkeersstructuur hangen vooral af van het aantal kilometers weglengte, het dwarsprofiel en de aanvullende voorzieningen, met name de snelheidsremmende maatregelen.

Uiteraard zijn er meer of eventueel geavanceerdere indicatoren te bedenken voor deze doelstellingen. Voor de hier gegeven beschouwing zijn de aangeduide indicatoren echter goed bruikbaar.

Verkeersveiligheid

Bij sommige verkeersstructuren in verblijfsgebieden legt het autoverkeer een deel van een interne verplaatsing af over het omliggende wegennet. Voor het totale afgelegde aantal voertuigkilometers moeten we dat deel van de verplaatsing meetellen. Van Minnen (1993) heeft de afgelegde

voertuigkilometers berekend voor verschillende geschematiseerde verkeersstructuren. Hij corrigeert hierbij voor de lagere snelheid in de verblijfsgebieden, dus eigenlijk berekent hij de duur van de verplaatsingen (afgelegde voertuigkilometers per tijdseenheid). Een gridstructuur met veel aansluitingen op het omliggende wegennet, heeft de kortste ritduur. Een eenvoudige organische structuur heeft een bijna 30% langere ritduur dan een grid. Het verschil in ritduur tussen een limited access-structuur en een organische structuur is gering.

In het algemeen hangt het aantal kruispunten rechtevenredig samen met de totale weglengte in het verkeersnetwerk (Jansen & Bovy, 1975). Maar voor bijzondere netwerken zoals 'limited access' en 'organisch' gaat deze regel niet volledig op. Want in die structuren beperkt men bewust het aantal kruispunten (zie nogmaals *Afbeelding B.1*). De organische structuur heeft het kleinste aantal kruispunten, gevolgd door 'limited access'. In het algemeen zijn kruispunten met drie takken gunstig voor de verkeersveiligheid (Janssen & Kraay, 1984). Dergelijke kruispunten komen veel voor bij 'limited access' en 'organisch'. Ook dit pleit voor deze twee structuren.

Bereikbaarheid

De bereikbaarheid, uitgedrukt in de ritlengte, hangt sterk af van de mate waarin omrijden noodzakelijk is. Met name de organische structuur noopt tot veel omrijden over de omliggende wegen. Holroyd (1966) heeft voor een theoretisch cirkelvormig gebied de ritlengte via verschillende structuren berekend. Hij normeert de ritlengten op een rit die direct van herkomst naar bestemmig in het gebied verloopt. Een rit via een gridstructuur is 1,3 maal langer en een rit via een rondweg (noodzakelijk bij organische structuren) is 2,5 maal langer dan de directe verbinding. De bereikbaarheid lijkt gediend bij een gridstructuur.

Leefbaarheid

De verdeling van het verkeer over het netwerk hangt sterk samen met de dichtheid van het netwerk en het aantal kruispunten (uitwisselingspunten). Voor de vergelijkbaarheid van de hier beschouwde drie structuurtypen stellen we dat de dichtheid ongeveer even groot is. We wisten al (zie hierboven bij 'verkeersveiligheid') dat het aantal kruispunten in een organische structuur kleiner is dan in een structuur met limited access en dat een gridstructuur de meeste kruispunten heeft. De gridstructuur biedt daarom de meeste mogelijkheden voor een gelijkmatige verdeling van het verkeer over het netwerk. De gemiddelde intensiteiten per wegvak zijn daarin het laagst. In een organische structuur voegen de verkeersstromen zich voortdurend bij elke vertakking samen tot op de weg die aansluiting geeft op de omliggende wegen. In het voorbeeld van *Afbeelding B.1* zou de intensiteit op die ontsluitende wegen voor limited access en de organische structuur even groot zijn, maar er zijn andere voorbeelden te geven waarbij de organische structuur de ongunstige concentraties van verkeer te zien geeft.

Kosten

De totale lengte van de wegen in een verkeersnetwerk zal in een gridstructuur groter zijn dan in de andere twee structuren. Deze verschillen zijn echter gering, zeker in vergelijking met de verschillen in noodzakelijke snelheidsremmende maatregelen. Want in een grid met zijn lange rechte wegvakken en daardoor hoge snelheden, dienen meer van dergelijke

maatregelen te worden getroffen dan in andere structuren. De kosten van een gridstructuur zullen dus ongunstig uitvallen. Het dwarsprofiel hangt meestal af van de verwachte intensiteiten. Er zijn er veel stedelijke verbindingen die erg breed zijn in verhouding tot de hoeveelheid verkeer die er gebruik van maakt. Daarentegen zijn er ook genoeg voorbeelden van smalle profielen met een gezamenlijk gebruik door veel gemotoriseerd en langzaam verkeer. Het lijkt erop dat het dwarsprofiel niet afhangt van het structuurtype.

Slotconclusie

In *Tabel B.1* zijn de voorgaande bevindingen samengevat. Per aspect zijn relatieve scores toegekend. De score '-' betekent dat het betreffende aspect slecht scoort: hoge kosten, veel ongevallen, minder kwaliteit wat betreft leefbaarheid, moeilijk bereikbaar.

De structuur met limited access scoort positief op alle aspecten. De sympathieke kant van deze structuur is dat ook bestaande gridstructuren kunnen worden omgebouwd tot deze vorm. Het is veel moeilijker om een gridstructuur om te bouwen tot een organische structuur.

	Grid of raster	Gemengd of 'limited access'	Boom of organisch
Verkeersveiligheid	-	+	++
Bereikbaarheid	++	+	-
Leefbaarheid	++	+	-
Kosten	-	++	0

Tabel B.1. Score van drie structuurtypen op de aspecten verkeersveiligheid, bereikbaarheid, leefbaarheid en kosten.

Literatuur

Alexander, C. (1966). *A city is not a tree*. In: Design. February.

Holroyd, E.M. (1966). *Theoretical average journey lengths in circular towns with various routeing systems*. Report 43. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.

Jansen, G.R.M. & Bovy, P.H.L. (1975). *De opbouw van stedelijke wegennetten. Enkele uitkomsten van empirisch onderzoek*. Verkeerskunde Nr 2. p. 68-77.

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

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

Minnen, J. van (1993). *Duurzaam veilig in de praktijk en ontsluitingsstructuren*. In: Verkeerskundige werkdagen 1993. Publicatie 73. Centrum

voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek CROW, Ede.

Reichow, H.B. (1959). *Die autogerechte Stadt; Ein Weg aus dem Verkehrs-Chaos*. Otto Maier Verlag, Ravensburg.

Bijlage 2

Kwantitatieve relaties tussen kruispuntkenmerken en ongevallen

Bewerkt gedeelte uit Dijkstra (1998)

In verscheidene landen doet men onderzoek naar modellen voor ongevallen op kruispunten. In het Verenigd Koninkrijk is al een lange traditie op dat gebied, bijvoorbeeld Tanner publiceerde (al) in 1953 over modellen voor ongevallen op rurale T-kruispunten (Jadaan & Nicholson, 1992). Zweden, Finland en Denemarken hebben inmiddels ook veel ervaring met ongevalsmodellen voor kruispunten. Uit de literatuur blijkt een lichte voorkeur voor modellen die kruispunten in stedelijk gebied beschrijven. Dit contrasteert enigszins met de andere modellen uit Dijkstra (1998), die vooral de rurale wegen beschrijven.

De modellen die ongevallen op kruispunten beschrijven hebben veelal een zelfde soort opbouw:

$$A = c * Q_1^a * Q_2^b \quad (1)$$

A: aantal ongevallen;
Q₁: (etmaal)intensiteit van naderende voertuigen op de hoofdstroom;
Q₂: (etmaal)intensiteit van naderende voertuigen op de zijstroom;
a, b, c: geschatte parameters.

Er zijn gecompliceerdere modellen met ten minste een factor K die een aspect van de geometrische en overige kenmerken van het kruispunt beschrijft, bijvoorbeeld de aanwezigheid van een bepaald soort middengeleider (CROW, 1997) of het aantal kruispunttakken:

$$A = c * Q_1^a * Q_2^b * K \quad (2)$$

Sommige modellen hanteren de som van de conflicterende voertuigstromen in plaats van het product.

In de Noordse landen tracht men de invloed van het fietsverkeer in te bouwen. Er loopt nu een onderzoek waar ook Nederland aan meedoet, om een Zweeds model (Brüde & Larsson, 1993) op het punt van fietsverkeer beter te kunnen schatten.

Ook hanteren sommige onderzoekers (bijvoorbeeld Kulmala, 1995) modellen met de volgende vorm:

$$A = I^\alpha * p^\beta * e^{\sum \gamma X} \quad (3)$$

A: aantal ongevallen;
I: etmaalintensiteit motorvoertuigen op hoofd- en zijstroom;
p: percentage verkeer op zijstroom;
 α, β, γ : geschatte parameters;
X: geometrisch of technisch kenmerk.

Brüde & Larsson (1993) hebben ongevallen op kruispunten in 30 Zweedse stedelijke gebieden met meer dan 25.000 inwoners onderzocht. Zij richtten zich vooral op ongevallen met fietsers en voetgangers. De analyse omvat 377 kruispunten met 432 fietserongevallen en 285 kruispunten met 165 voetgangerongevallen. Alleen kruispunten met ten minste 100 passerende voetgangers of fietsers per dag zijn geselecteerd.

Brüde & Larsson gebruiken model (1) met als Q_1 de naderende motorvoertuigen en als Q_2 fietsers of voetgangers. Een voetganger of fietser die op een kruispunt tweemaal oversteekt is als twee voetgangers respectievelijks fietsers geteld.

Voor de ongevallen met voetgangers vinden zij:

$$AR_{voetg.} = 0,0201 * Q_{motorv.}^{0,50} * Q_{voetg.}^{-0,28} \quad (4)$$

$AR_{voetg.}$: aantal voetgangerongevallen per miljoen passerende voetgangers

En voor het aantal ongevallen per miljoen passerende fietsers vinden zij:

$$AR_{fietser} = 0,0494 * Q_{motorv.}^{0,52} * Q_{fietser}^{-0,35} \quad (5)$$

In het Europese onderzoeksproject SAFESTAR trachtte men dit model te verbeteren door gegevens uit Denemarken en Nederland toe te voegen. De belangstelling ging vooral uit naar kruispunten met (veel) meer passerende fietsers. Het Zweedse model blijkt het ongevalsrisico op de Nederlandse kruispunten goed te kunnen 'verklaren' (Brüde et al., 1998).

Brüde & Larsson (1996) hebben ook voor rotondes een model afgeleid voor fietsongevallen:

$$AR_{fietser} = 0,0000180 * Q_{motorv.}^{0,52} * Q_{fietser}^{-0,65} \quad (6)$$

Dit model is afgeleid uit Zweedse gegevens en getest op gegevens uit Denemarken en Nederland. Het model bleek de test goed te doorstaan (Brüde & Larsson, 1996).

Van Minnen (1995) laat zien dat het aantal ongevallen op rotondes recht evenredig is met de motorvoertuigintensiteit. Dit geldt voor het totale aantal ongevallen en voor ongevallen met fietsers en bromfietsers.

In het Verenigd Koninkrijk is onlangs door het Transport Research Laboratory uitvoerig onderzoek verricht naar het aantal ongevallen op verschillende kruispunttypen in het stedelijk gebied:

- drie takken met voorrangregeling (Summersgill, Kennedy & Baynes, 1996);
- drie takken met verkeerslichten (Taylor, Hall & Chatterjee, 1996);
- vier takken en bajonet (Layfield et al., 1996).

De opzet en uitvoering van deze drie studies hebben veel overeenkomsten, ook de rapportages lijken inhoudelijk veel op elkaar.

Steeds is een groot aantal geometrische en andere kruispuntkenmerken verzameld. Naast motorvoertuigintensiteiten heeft men ook de beschikking over cijfers van aantallen overstekende voetgangers. De voertuigstromen

zijn, zoals bij Pickering, Hall & Grimmer (1986), verdeeld naar de zes mogelijke richtingen op een T-kruispunt of verdeeld naar de twaalf richtingen op kruispunten met vier takken.

Alle geschatte modellen hebben een vorm als (1) of (3). Deze modellen vereisen een bepaalde nauwkeurigheid van de invoergegevens. In dit geval is speciaal rekening gehouden met de grote onzekerheid in de beschikbare intensiteitsgegevens (Summersgill, Kennedy & Baynes, 1996; blz. 31). Elke rapportage beschrijft tientallen modellen die zijn geschat voor het totale aantal ongevallen, voor verschillende ongevalstypen en voor combinaties van kruispuntkenmerken en bijbehorende ongevalstypen. Daarbij is ook gevarieerd met de zes verschillende voertuigstromen.

Summersgill, Kennedy & Baynes (1996) hebben 980 kruispunten met drie takken en een voorrangregeling onderzocht. Het aantal ongevallen op deze kruispunten bedroeg 2699 in vijf jaar. De snelheidslimiet was 30 mijl/uur op 790 kruispunten en 40 mijl/uur op 190 kruispunten. Taylor, Hall & Chatterjee (1996) onderzochten 221 kruispunten met drie takken en geregeld met verkeerslichten waarop in zes jaar 2262 ongevallen plaatsvonden (binnen twintig meter van het hart van het kruispunt). Layfield et al. (1996) hebben twee verschillende kruispunttypen nader beschouwd, namelijk:

- kruispunten met vier takken en voorrang voor de hoofdstroom;
- bajonetaansluitingen en voorrang voor de hoofdstroom.

Layfield et al. selecteerden 300 kruispunten/aansluitingen met in totaal 2917 ongevallen. Het aantal kruispunten, links/rechts bajonetten en rechts/links bajonetten bedroeg respectievelijk 202, 47 en 51. Deze kruispunttypen waren elk nog weer verdeeld in twee verschillende snelheidslimieten (30 en 40 mijl/uur).

Dit onderzoek van Layfield et al. geeft, naast alle modellen, ook nog enkele inhoudelijke conclusies en aanbevelingen omtrent de vormgeving van beide kruispunttypen.

De drie rapportages van TRL bieden een overdaad aan informatie omtrent de geschatte modellen en zijn kennelijk niet bedoeld om een wegontwerpers een helder advies te geven omtrent veilige combinaties van wegkenmerken gegeven bepaalde omstandigheden. Het basis materiaal lijkt wel geschikt om dergelijke gebruikersvriendelijke steun te bieden, maar dan moet er nog een forse reductie in de informatie plaatsvinden.

In Denemarken heeft het Road Directorate (1995) een model als (1) geschat met gegevens over 1036 urbane kruispunten. De parameters a, b en c zijn voor letselongevallen op verschillende kruispunttypen in *Tabel B.2* opgenomen.

Het Road Directorate heeft ook modellen opgesteld waarin allerlei geometrische en andere kruispuntkenmerken waren opgenomen. Deze gecompliceerde modellen blijken nauwelijks betere resultaten op te leveren dan de hiervoor aangeduide eenvoudigere modellen. Men houdt het daarom bij de modellen van *Tabel B.2*.

Letselongevallen	Parameters in model (1)		
Kruispunttype	c	a	b

Drie takken, voorrangregeling	$2,98 \cdot 10^{-6}$	0,81	0,52
Drie takken, verkeersregelininstallatie	$7,04 \cdot 10^{-8}$	1,36	0,32
Vier takken, voorrangregeling	$1,68 \cdot 10^{-4}$	0,36	0,58
Vier takken, verkeersregelininstallatie	$8,62 \cdot 10^{-5}$	0,52	0,47

Tabel B.2. *Parameters in de Deense modelvorm (1).*

Toepassingsmogelijkheden

De modellen die in de genoemde landen tot stand zijn gekomen hebben weliswaar dezelfde grondvorm, maar daarmee houdt de overeenkomst eigenlijk op. De geschatte parameters verschillen nogal, evenals de gekozen definities, soorten verkeersstromen, en verkeerstechnische kenmerken. Voor elke dataset kan men een specifiek model schatten, en dat doen de betreffende onderzoekers dan ook meestal veelvuldig. Daardoor zijn er veel modellen, aangepast aan elke specifieke omstandigheid. Dit komt de bruikbaarheid niet ten goede. De toepassing vergt een te grote deskundigheid. Maar een automatisering van zowel de invoer van gegevens als van de modelkeuze zou de toepassing kunnen bevorderen.

Literatuur

Brüde, U. & Larsson, J. (1993). *Model for predicting accidents at junctions where pedestrians and cyclists are involved. How well do they fit?* In: Accident Analysis and Prevention. Volume 25(5), p. 499-509.

Brüde, U. & Larsson, J. (1996). *The safety of cyclists at roundabouts. A comparison between Swedish, Danish and Dutch results.* VTI meddelande. No. 810A. VTI Swedish National Road and Transport Research Institute, Linköping.

Brüde, U., Larsson, J. & Hedman, K.-O. (1998). *Design of major urban junctions; Accident prediction models and empirical comparisons.* VTI ECRsearch 3. VTI Swedish National Road and Transport Research Institute, Linköping.

CROW (1997). *Kruispunten buiten de bebouwde kom. Aanbevelingen voor toepassing middengeleiders.* Centrum voor Onderzoek en Regelgeving in de Grond- Water-en Wegenbouw en de Verkeerstechniek CROW, Ede.

Jadaan, K.S. & Nicholson, A.J. (1992). *Relationships between road accidents and traffic flows in an urban network.* In: Traffic Engineering & Control. Volume 33(9), p. 507-511.

Kulmala, R. (1995). *Safety at rural three- and four-arm junctions. Development and application of accident prediction models.* Ph.D. Thesis. Helsinki University of Technology & Technical Research Centre of Finland VTT, Espoo.

Layfield, R.E., Summersgill, I., Hall, R.D. & Chatterjee, K. (1996). *Accidents at urban priority crossroads and staggered junctions.* TRL report 185. Transport Research Laboratory, Crowthorne.

Minnen, J. van (1995). *Rotondes en voorrangregelingen*. R-95-58. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Pickering, D., Hall, R.D. & Grimmer, M. (1986). *Accidents at rural T-junctions*. Research Report 65. Transportation and Road Research Laboratory, Crowthorne.

Road Directorate (1995). *Uheldsmodeller for bygader. Del 1: Model for 3- og 4-benede kryds*. Notat 22. Trafiksikkerhed og Miljø, Vejdirektoratet, Copenhagen.

Summersgill, I., Kennedy, J.V. & Baynes, D. (1996). *Accidents at three-arm priority junctions on urban single-carriageway roads*. TRL report 184. Transport Research Laboratory, Crowthorne.

Tanner, J.C. (1953). *Accidents at rural three-way junctions*. In: Journal of Institution of Highway Engineers. July.

Taylor, M.C., Hall, R.D. & Chatterjee, K. (1996). *Accidents at 3-arm traffic signals on urban single-carriageway roads*. TRL report 135. Transport Research Laboratory, Crowthorne.

