

Oriëntatie op kwantitatieve relaties tussen elementen van het wegontwerp en indicatoren voor verkeersonveiligheid

Literatuurstudie buitenlands onderzoek

R-98-49

Ir. A. Dijkstra

Leidschendam, 1998

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

Documentbeschrijving

Rapportnummer:	R-98-49
Titel:	Oriëntatie op kwantitatieve relaties tussen elementen van het wegontwerp en indicatoren voor verkeersonveiligheid
Ondertitel:	Literatuurstudie buitenlands onderzoek
Auteur(s):	Ir. A. Dijkstra
Onderzoeksmanager:	Ir. S.T.M.C. Janssen
Projectnummer SWOV:	55.281
Projectcode opdrachtgever:	PRDVL 98.027
Opdrachtgever:	De inhoud van dit rapport berust op gegevens verkregen in het kader van een project, dat is uitgevoerd in opdracht van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer van Rijkswaterstaat.
Trefwoord(en):	Cross section, alignment, junction, highway design, layout, safety, mathematical model, international, Netherlands.
Projectinhoud:	In verschillende landen is het gebruikelijk om in kwantitatieve zin een relatie te leggen tussen verkeerstechnische vormgevingselementen en de kans op het ontstaan van ongevallen. Gegeven deze relatie probeert men vervolgens het wegontwerp te optimaliseren. Deze manier van wegontwerp lijkt van belang bij het ontwerpen van een duurzaam-veilig verkeerssysteem. Om dit na te gaan is een oriënterende literatuurstudie uitgevoerd op het relevante buitenlandse onderzoek.
Aantal pagina's:	46 + 36 blz.
Prijs:	f 30,-
Uitgave:	SWOV, Leidschendam, 1998

Samenvatting

In verschillende landen is het gebruikelijk om in kwantitatieve zin een relatie te leggen tussen verkeerstechnische vormgevingselementen en de kans op het ontstaan van ongevallen. Gegeven deze relatie probeert men vervolgens het wegontwerp te optimaliseren. In de Verenigde Staten is deze benadering samengevat in het 'Interactive Highway Safety Design Model' (IHSDM) onder het motto 'designing highways with safety in mind'. Binnen Europa is deze benadering al ver ontwikkeld in Duitsland, Zweden, Portugal en het Verenigd Koninkrijk.

Deze manier van wegontwerp lijkt van belang bij het ontwerpen van een duurzaam-veilig verkeerssysteem. Om dit na te gaan is een oriënterende literatuurstudie uitgevoerd op het relevante buitenlandse onderzoek.

De onderzoeksvragen waren:

- Welke kennis bestaat er (in het buitenland) omtrent het in kwantitatieve zin relateren van verkeerstechnische vormgevingselementen aan de kans op het ontstaan van verkeersongevallen?
- Hoe past men deze kennis toe bij het wegontwerp?
- Kan men bij het ontwerpen van een duurzaam-veilig verkeerssysteem gebruik maken van deze kennis en zijn toepassingen?

De studie is gestructureerd volgens een indeling die in richtlijnen voor het wegontwerp gebruikelijk is, namelijk: 'alignement' (rechtstanden en bogen en 'relation design'), dwarsprofiel en kruispunten (inclusief rotondes). In het bijzonder is gelet op steekproefomvang, (externe) factoren die de uitkomsten zouden kunnen verstoren en 'hardheid' van een gevonden statistische relatie. Er is bewust veel gebruik gemaakt van onderzoek dat is 'peer-reviewed' om de kwaliteit van het gerapporteerde onderzoek te bevestigen.

Enkele ongevalsmodellen die in de Verenigde Staten tot stand zijn gekomen, blijken nu toepassing te gaan vinden in IHSDM. Daarmee past men kennis toe die in de jaren tachtig is opgedaan. Deze kennis heeft vooral betrekking op enkelbaanswegen buiten de bebouwde kom. Voor de Amerikaanse ontwerper was deze kennis al beschikbaar in algemeen toegankelijke publikaties. In de richtlijnen ontbrak deze kennis echter. In sommige landen in Europa zijn kruispuntsmodellen beschikbaar. De toepassing ervan in ontwerprichtlijnen of bij het wegontwerp is nog niet vergoederd.

De verdere vormgeving van duurzaam-veilige wegen zou gebaat zijn bij het vooraf kunnen kwantificeren van de veiligheidseffecten van verschillende alternatieve uitvoeringsvormen. Onveiligheids- en ongevalsmodellen zijn hiervoor een hulpmiddel, evenals overzichten van gerapporteerde effecten. Bestaande buitenlandse modellen zouden moeten worden aangepast aan de Nederlandse omstandigheden. Toepassing in de praktijk kan alleen met succes plaatsvinden als de modeldetailering aansluit bij de voorliggende ontwerpvarianten.

Summary

Orientation of quantitative relations between elements of road design and indicators of road safety

In various countries it is standard practice to quantify the relationship between geometric, engineering elements in the design and the chance of accidents occurring. Given this relationship, road designers are trying to optimize the process. In the United States, this approach has been summarized in the Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM) under the motto 'designing highways with safety in mind'. Within Europe, this approach has been greatly developed in Germany, Sweden, Portugal, and the United Kingdom.

This approach to road designing would seem to be relevant in developing a sustainably safe traffic system. To see if this is so, an exploratory literature study of the relevant, foreign research has been carried out.

The research questions were:

- Which knowledge is there (abroad) concerning the quantifying of the relationship between geometric elements in the design and the chance of accidents occurring?
- How is this knowledge applied when designing a road?
- Can this knowledge and its applications be used when designing a sustainably safe traffic system?

The study is structured according to the usual arrangement for guidelines in road design. These are: alignment (tangents, curves, and relation design), cross-section, and intersections (including roundabouts). Special attention has been paid to the size of the sample, (external) factors that could disturb the results, and the robustness of any statistical relationships found. A lot of use has consciously been made of those studies that have been peer-reviewed, to ensure their quality.

A number of accident models developed in the United States appear to be about to be used in IHSDM. Here, the experience gained in the 1980s is being applied. This knowledge concerns mainly rural, single-carriageway roads. This knowledge was already available to American designers in generally accessible publications. This knowledge, however, was missing from the guidelines.

Models for junctions are available in some European countries.

Their application in design guidelines, or road design, has not yet advanced very far.

The further geometric design of sustainably safe roads would benefit from being able in advance to quantify the safety effects of various alternative types of lay out. Safety and accident models assist for this, as do overviews of reported effects. Existing foreign models should be adapted to the circumstances in the Netherlands. Practical application can only be successful if the model details fit the design variations at hand.

Inhoud

1.	<i>Inleiding</i>	6
1.1.	Onderzoeksvragen	6
1.2.	Opzet en uitvoering van deze literatuurstudie	6
1.3.	Structuur van de studie	7
2.	<i>Vormen de kwantitatieve relaties (of modellen) een begaanbare weg?</i>	8
3.	<i>Alignement</i>	10
3.1.	Bogen	10
3.1.1.	Kwantitatieve relaties voor bogen	11
3.2.	Horizontaal alignement, 'relation design'	13
3.2.1.	Snelheidsprofiel	15
3.2.2.	Consistent horizontaal alignement	18
3.2.3.	Autobestuurder en wegontwerp	20
3.2.4.	Toepassing in de praktijk en relevantie voor Nederland	21
4.	<i>Dwarsprofiel</i>	23
4.1.	Kwantitatieve relaties voor het dwarsprofiel	23
4.1.1.	Dwarsprofiel op aardebaan	23
4.1.2.	Dwarsprofiel op een brug of viaduct	28
4.2.	Bermen en obstakelvrije zone	29
4.2.1.	Inleiding	29
4.2.2.	Buitenlandse onderzoeksresultaten	29
4.3.	Toepassing en relevantie	32
5.	<i>Kruispunten</i>	33
5.1.	Rurale kruispunten	33
5.2.	Urbane of stedelijke kruispunten	35
5.3.	Toepassingsmogelijkheden	37
6.	<i>Conclusies en aanbevelingen</i>	38
	<i>Literatuur</i>	41
	<i>Afbeeldingen</i>	47
	<i>Tabellen</i>	75

1. Inleiding

In verschillende landen is het gebruikelijk om in kwantitatieve zin een relatie te leggen tussen verkeerstechnische vormgevingselementen en de kans op het ontstaan van ongevallen. Gegeven deze relatie probeert men vervolgens het wegontwerp te optimaliseren. In de Verenigde Staten is deze benadering samengevat in het 'Interactive Highway Safety Design Model' (IHSDM), onder het motto 'designing highways with safety in mind'. Binnen Europa is deze benadering al ver ontwikkeld in Duitsland, Zweden, Portugal en het Verenigd Koninkrijk. Sommige toepassingen hiervan zijn te vinden in het Europese project 'Safety Standards for Road Design and Redesign' (SAFESTAR); met name het ontwerp van bogen in rurale wegen en van kruispunten tussen stedelijke verkeersaders, komen daarin aan bod. Deze manier van wegontwerp lijkt van belang bij het ontwerpen van een duurzaam-veilig verkeerssysteem. Om dit na te gaan is een oriëntatie uitgevoerd op het relevante buitenlandse onderzoek. In deze studie zijn geen autosnelwegen onderzocht, omdat we ervan uitgaan dat de huidige autosnelwegen al in belangrijke mate de ontwerpprincipes van een duurzaam-veilig verkeerssysteem benaderen.

1.1. Onderzoeksvragen

In deze studie staan de volgende onderzoeksvragen centraal:

- Welke kennis bestaat er (in het buitenland) omtrent het in kwantitatieve zin relateren van verkeerstechnische vormgevingselementen aan de kans op het ontstaan van verkeersongevallen?
- Hoe past men deze kennis toe bij het wegontwerp?
- Kan men bij het ontwerpen van een duurzaam-veilig verkeerssysteem gebruik maken van deze kennis en toepassingen? En op welke manier zou men dat (vooral nog in de vorm van een bepaald onderzoeksprogramma) moeten opzetten?

1.2. Opzet en uitvoering van deze literatuurstudie

Deze oriëntatie zal vooral een literatuurstudie zijn, en zal zich concentreren op onderzoeksresultaten uit landen waar men al veel ervaring heeft opgedaan met deze methode van wegontwerp. Het gaat dan met name om de landen Duitsland, Zweden, Portugal, de Verenigde Staten en het Verenigd Koninkrijk.

Het is niet de bedoeling om inhoudelijk al te uitgebreid alle merites van de aangetroffen kwantitatieve relaties te onderzoeken. Deze studie kan wel aanbevelingen hieromtrent geven. Deze studie moet nagaan voor welke onderdelen van het wegontwerp er kwantitatieve relaties beschikbaar zijn, wat de relevantie en kwaliteit daarvan zijn, en welke vervolgstappen (voor Nederland) gewenst lijken.

Er is een literatuurscan uitgevoerd met een beperkt aantal relevante trefwoorden¹. Deze scan kunnen we uitvoeren in drie bestanden (IRRD, TRIS en TRANSDOC) die op CD-ROM beschikbaar zijn. Via titels en abstracts zijn interessante titels geselecteerd en is nagegaan of het betreffende document snel beschikbaar kon zijn. Voor de literatuurstudie zijn alleen documenten gebruikt die beschikbaar kwamen gedurende een periode van twee maanden na het uitvoeren van de selectie.

Vragen die voortkwamen uit de literatuurstudie, legden we voor aan enkele vooraanstaande buitenlandse onderzoekers op dit gebied. Eveneens werd met enkele medewerkers van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer (afdeling IBD/wegontwerp) contact opgenomen over de vragen.

Dit rapport bestaat uit een beschrijving van de uitkomsten van de literatuurstudie en een weergave van de reacties op de gestelde vragen. De rapportage besluit met aanbevelingen en conclusies omtrent mogelijke toepassingen in Nederland en met een voorstel voor een onderzoeksprogramma.

1.3. **Structuur van de studie**

De studie is gestructureerd volgens een indeling die in richtlijnen voor het wegontwerp gebruikelijk is, namelijk:

- 'alignement' (bogen en horizontaal alignement, met name 'relation design' (hoofdstuk 3);
- dwarsprofiel op aardebanen, kunstwerken en in tunnels (hoofdstuk 4);
- kruispunten, met en zonder verkeerslichten (hoofdstuk 5).

'Alignement' betekent het horizontaal en verticaal verloop van een weg (RONA, 1989). Onder 'relation design' verstaan we de juiste aaneenschakeling van rechtstanden en bogen en onder 'dwarsprofiel' verstaan we alle elementen die in de dwarsdoorsnede van de wegkruin voorkomen (RONA, 1986).

Tot het alignement rekent men ook de zichtafstanden en de ruimtelijke vormgeving, en tot het dwarsprofiel rekent men tevens de bermbeveiliging en beplanting. Voor zover relevant, zijn deze onderwerpen besproken bij de betreffende hoofdstukken. Dit geldt ook voor voorzieningen die alleen door specifieke groepen (openbaar vervoer, zwaar verkeer, fietsers en voetgangers) (mogen) worden gebruikt.

Voordat deze opzet wordt gevolgd, stellen we in hoofdstuk 2 eerst de vraag of de kwantitatieve relaties of modellen een begaanbare weg vormen. Velen hebben reeds pogingen ondernomen op dit gebied, maar slechts weinigen hebben succes geboekt.

¹ Dit betreft de trefwoorden CROSS SECTION, ALIGNMENT, (HIGHWAY) DESIGN, SAFETY, GEOMETRIC, ROADSIDE, en ROADWAY.

2. Vormen de kwantitatieve relaties (of modellen) een begaanbare weg?

In de RONA, ROA en ASVV ontbreken kwantitatieve relaties tussen verkeersongevallen en elementen van het wegontwerp. Wegontwerpers zouden baat kunnen hebben van dergelijke relaties, zodat ze de gevolgen van een keuze in het ontwerp kunnen inschatten. Onderzoekers trachten al heel lang zulke kwantitatieve relaties te leggen, maar slechts weinigen zijn daar in geslaagd. Er zijn vele valkuilen op deze weg, en misschien wel teveel. Opiela et al. (1995) somt een 'rijtje' op:

- te geringe omvang van de steekproef;
- verkeerd gebruik van statistische technieken;
- gebruik van de verkeerde statistische technieken;
- slechte kwaliteit van de ongevalgegevens (inclusief onderrapportage);
- slechte kwaliteit van de gegevens over de weg(omgeving);
- onmogelijkheid om versturende factoren te verklaren (zowel interne als externe factoren);
- onmogelijkheid om veranderingen in de directe wegomgeving te signaleren of te verklaren;
- niet verdisconteren van regressie naar het gemiddelde.

Deze opsomming geeft een goed beeld van de problematiek rond kwantitatieve relaties of modellen. We kunnen er nog aan toevoegen dat de gegevens over de weg en de omgeving ervan, vaak een momentopname zijn, terwijl de bijbehorende ongevalgegevens een veel langere periode beslaan waarin veel veranderingen kunnen plaatsvinden.

Verder hebben we in Nederland meestal alleen informatie over de aantallen gemotoriseerde verkeersdeelnemers, die we vervolgens relateren aan de ongevalgegevens van *alle* verkeersdeelnemers.

Ook Mak (1995) laat zich kritisch uit over het gebruik van ongevalsmodellen en kansmodellen bij het analyseren van bermongevallen.

De ongevalsmodellen zijn te algemeen, inaccuraat (door onderrapportage) en te gecompliceerd (door teveel afhankelijke factoren). De kansmodellen voor overschrijding van de kantstreep (zie hiervoor § 4.2) zijn enerzijds wel goed bruikbaar, doordat de afhankelijkheid van ongevalsgegevens minder groot is en anderzijds zijn ze minder betrouwbaar door gebrekkige achtergrondgegevens.

Zijn we in staat voor deze waslijst van belemmeringen een oplossing te vinden? Opiela et al. gaan er vanuit dat een betere opbouw van de databases (in de Verenigde Staten) veel bezwaren op den duur zullen ondervangen. In de Verenigde Staten heeft men echter de beschikking over vier miljoen kilometer weglengte waaruit al gauw een interessante, en vooral omvangrijke, steekproef kan worden getrokken. In Nederland kunnen we zoiets niet zomaar evenaren. De naderende introductie van het 'Nationaal WegenBestand' biedt hiervoor een goede mogelijkheid. Wellicht zijn er in Europees verband (nog) meer mogelijkheden, als we ten minste de onderlinge verschillen (in allerlei opzichten) tussen de landen voor lief willen nemen.

Tijdens de uitvoering van deze literatuurstudie is de genoemde problematiek steeds in gedachten gehouden. In het bijzonder hebben we gelet op steekproefomvang, factoren die de uitkomsten zouden kunnen verstoren en 'hardheid' van een gevonden statistische relatie. Er is bewust veel gebruik gemaakt van onderzoek dat is 'peer-reviewed', om meer zekerheid te verkrijgen over de kwaliteit van het gerapporteerde onderzoek; met name publicaties van de Transportation Research Board zijn om die reden geselecteerd, evenals de recente jaargangen van Traffic Engineering & Control en Straßenverkehrstechnik.

3. Alignement

Binnen het 'alignement' is voor de verkeersveiligheid het ontwerp van bogen het meest relevant. Bij het verticale alignement is altijd van belang of de zichtafstanden voldoen aan bepaalde minimale eisen.

Bij de rechtstanden kiest de ontwerper meestal een maximale lengte om te voorkomen dat de weggebruiker zich gaat vervelen of te weinig afleiding krijgt (ERSF, 1996). De rechtstanden faciliteren gewoonlijk inhaal-mogelijkheden. Om voldoende mogelijkheden tot inhalen te bieden, eisen sommige landen dat een bepaald deel van de weg (uitgedrukt in een percentage van de totale weglengte) is uitgerust met de daarvoor benodigde zichtlengte (ERSF, 1996).

Zowel dit percentage als de maximale lengte van een rechtstand varieert nogal tussen landen. Beide getallen zijn *niet* gebaseerd op (ongevallen)-onderzoek.

Ontwerpsnelheid

De ontwerpsnelheid² is maatgevend voor de afmetingen van de ontwerp-elementen. Voor de keuze van de ontwerpsnelheid zijn er, internationaal gezien, twee benaderingen in omloop:

- design speed-only;
- design speed-plus.

In de 'design speed-only' benadering selecteert de ontwerper een ontwerpsnelheid die past bij het wegtype, grondgebruik en de topografie.

Als ontwerpsnelheid wordt hierbij de maximale snelheid genomen. Deze benadering hanteren bijvoorbeeld Canada, België en de VS.

De andere benadering, 'design speed-plus', gaat uit van een ontwerpsnelheid die overeenkomt met de V_{85} (de snelheid die door 85% van de voertuigen niet wordt overschreden). Deze benadering is onder andere in Duitsland in zwang.

3.1. Bogen

Bij het ontwerp van bogen zijn van belang:

- boogstraal;
- verkanting (superelevation);
- overgangsbogen (transition curves);
- regelmatigheid van het verloop van de boog;
- verticaal alignement.

Bij het ontwerp van de boog dient de ontwerper rekening te houden met de ontwerpsnelheid (zoals overigens bij alle ontwerponderdelen).

Er is een zekere relatie tussen boogstraal, ontwerpsnelheid, verkanting en overgangsbogen. Een hogere ontwerpsnelheid noopt tot een grotere boogstraal. De verkanting is omgekeerd evenredig met de boogstraal. Bij

² **Definitie van ontwerpsnelheid in Nederlandse richtlijnen:** de snelheid die maatgevend is voor de vormgeving en dimensionering van de weg en de ontwerpelementen, zodat bestuurders van afzonderlijke voertuigen, niet gehinderd door overig verkeer, bij die snelheid *veilig* kunnen rijden en waarbij als standaardconditie wordt uitgegaan van een *nat* wegdek (RONA, 1989).

zeer grote boogstralen is verkanting niet nodig. De verkanting moet niet zo groot zijn dat langzaam rijdende of stilstaande voertuigen langzaam naar de binnenkant van de boog glijden. De overgangsbogen zorgen voor een geleidelijke overgang van rechtstand naar boog.

De onderlinge samenhang van de genoemde ontwerpelementen maakt het mogelijk om daar kwantitatieve relaties te leggen. Dit zijn relaties die een fysische oorsprong hebben. De verkanting, boogstraal en ontwerpsnelheid hebben bijvoorbeeld een fysische relatie via de wrijvingsweerstand en een component van de zwaartekracht.

Verder is geprobeerd deze elementen te relateren aan het aantal ongevallen. Men legt een statistisch verband tussen ongevallengegevens en sommige ontwerpelementen. In een (veel geciteerd) Amerikaans onderzoek (Zegeer et al., 1990) bijvoorbeeld vindt men een statistische relatie tussen het totale aantal bochtongevallen (inclusief ongevallen met uitsluitend materiële schade) enerzijds en de volgende ontwerpelementen anderzijds: lengte van de bocht, aantal passerende motorvoertuigen, boogstraal, aanwezigheid van overgangsboog en rijbaanbreedte. Gegeven deze relatie, kan de ontwerper nagaan wat de invloed is van deze ontwerpelementen op het aantal ongevallen in de betreffende boog.

Verder in dit hoofdstuk komen de gevonden statistische relaties aan bod. In de inleiding (hoofdstuk 1) staat al vermeld dat we deze relaties inhoudelijk niet uitgebreid onderzoeken. In deze studie is het vooral van belang na te gaan of er relevante relaties beschikbaar zijn, wat daarvan de kwaliteit is (voor zover dat uit de beschikbare literatuur blijkt), en in hoeverre een Nederlandse toepassing gewenst en mogelijk is.

3.1.1. Kwantitatieve relaties voor bogen

In de studie van Zegeer et al. (1990) zijn 10.900 bogen (van het wegennet in de staat Washington) uitgebreid geanalyseerd.

Verscheidene combinaties van boogkenmerken zijn onderzocht op hun statistische relatie met het aantal ongevallen per boog. De kwantitatieve relatie die uiteindelijk als het meest geschikt naar voren kwam, ziet er als volgt uit:

$$A = (1,55 * L + 0,014 * D - 0,012S) * V * 0,978^{(W - 30)} \quad (1)$$

- A: totale aantal ongevallen (inclusief ums) in een periode van vijf jaar
- L: booglengte (in mi.)
- V: motorvoertuigintensiteit (miljoen) in een periode van vijf jaar (beide richtingen tezamen)
- D: 'degree of curve' (degree of angle variation per 30m (Brenac, 1996))
- S: aanwezigheid van overgangsbogen (wel = 1, niet = 0)
- W: bochtbreedte (rijbaan en de berm te samen)

De pseudo R² van dit model bedraagt 0,351.

De boogstraal wordt in Europa meer gebruikt dan 'degree of curve'. Daarom is er een variant op de gegeven formule in gebruik (Cardoso et al. (1998):

$$A = (1,55 * L + 80,2144 * 1/R - 0,012S) * V * 0,978^{(W - 30)} \quad (2)$$

- R: boogstraal (in ft)

De relatie tussen 'degree of curve' D en de boogstraal R is uitgedrukt in *Afbeelding 3.1*. Een D van 1° komt overeen met een boogstraal van 5.730ft. De boogstraal blijft tussen de 250 en 500 ft vanaf een D van ongeveer 12° .

Formule 1 en *Formule 2* maken het mogelijk om op een eenvoudige manier te laten zien welk onveiligheidsniveau past bij een bepaalde combinatie van boogkenmerken. Als voorbeeld hebben we enkele kenmerken berekend met *Formule 1*.

In *Afbeelding 3.2* is het aantal ongevallen per vijf jaar uitgezet tegen de etmaalintensiteit voor vijf verschillende 'degrees of curve'; de booglengte, de overgangsbogen en de boogbreedte zijn constant gehouden op respectievelijk 1.000ft, afwezigheid van overgangsbogen en 28ft. Een grotere D gaat samen met meer ongevallen, maar de invloed van de etmaalintensiteit is duidelijk sterker dan van D . De etmaalintensiteit is namelijk rechtevenredig met het aantal ongevallen (een tweemaal hogere intensiteit resulteert in tweemaal zoveel ongevallen), terwijl een grotere D slechts een geringe toename van het aantal ongevallen oplevert.

In *Afbeelding 3.3* is het aantal ongevallen per vijf jaar uitgezet tegen de etmaalintensiteit voor de aanwezigheid of afwezigheid van overgangsbogen; hier zijn de booglengte, de 'degree of curve' en de boogbreedte constant gehouden op respectievelijk 1.000ft, 1° en 28ft.

De invloed van de aanwezigheid van overgangsbogen is gering. Volgens Zegeer et al. (1990) was dit boogkenmerk in *Formule 1* eigenlijk niet statistisch significant, maar hij is erin gehouden omdat het een belangrijk kenmerk was 'in veel andere analyses'.

In *Afbeelding 3.4* is het aantal ongevallen per vijf jaar uitgezet tegen de etmaalintensiteit voor zes verschillende boogbreedtes; de booglengte, de overgangsbogen en de 'degree of curve' zijn constant gehouden op respectievelijk 1.000ft, 5° en afwezigheid van overgangsbogen. Een toename van de boogbreedte met 4ft, correspondeert met ongeveer 9% meer ongevallen per periode van vijf jaar.

In *Afbeelding 3.5a* is het aantal ongevallen per vijf jaar uitgezet tegen de etmaalintensiteit voor vijf verschillende booglengtes; de overgangsbogen (niet aanwezig) en de boogbreedte (28ft) zijn constant gehouden.

In *Afbeelding 3.5a* is de 'degree of curve' gelijk aan 1° , en in *Afbeelding 3.5b* en *Afbeelding 3.5c* is de 'degree of curve' respectievelijk gelijk aan 2° en 5° .

Het lijkt vreemd dat het aantal ongevallen toeneemt met de toename van de booglengte. Een grotere booglengte impliceert immers een grotere boogstraal en dat is gunstig voor het aantal ongevallen. Op een grotere booglengte is echter gewoon meer verkeersproductie (intensiteit maal weglengte) en die laat het aantal ongevallen altijd toenemen.

Toepassing in de praktijk

Aan de formules van Zegeer et al. (1990) is extra aandacht besteed, omdat er vaak naar wordt verwezen en omdat er ook veel gegevens over bogen aan ten grondslag liggen. Een dergelijk grootschalig onderzoek zou in Nederlandse omstandigheden nauwelijks mogelijk zijn.

De formules van Zegeer is onder andere terecht gekomen in de serie 'Safety effectiveness of highway design feature' (FHWA, 1992), die bestemd is voor de Noord-Amerikaanse wegontwerper. Met de formules zijn tabellen geproduceerd die voor verschillende combinaties van boogkenmerken laten

zien wat het effect op het berekende aantal ongevallen is als een kenmerk met een bepaalde stap toeneemt (incrementele toename). Als de bochtbreedte (rijbaan en berm tezamen) bijvoorbeeld steeds toeneemt met twee voet, dan neemt het aantal ongevallen af met een steeds groter percentage.

Het is opmerkelijk dat de formules van Zegeer steeds op die manier wordt toegepast. Dat veronderstelt namelijk kennis over effecten die optreden na een aanpassing van de boogkenmerken. De formule is echter afgeleid uit materiaal dat een momentopname geeft van een verzameling bogen (cross-sectioneel onderzoek³). Dat een smalle boog daarin onveiliger scoort dan een brede boog, mag niet zomaar leiden tot de conclusie dat het verbreden van de smalle boog tot minder ongevallen zou leiden. Want misschien zijn er omstandigheden buiten de onderzochte boogkenmerken, die een rol spelen bij het ontstaan van de ongevallen.

Andere auteurs

Niet alleen Zegeer heeft over kwantitatieve relaties tussen ongevallen in bogen en boogkenmerken gerapporteerd. Cardoso et al. (1998) geven daar een uitgebreid overzicht van. Vanzelfsprekend neemt in al die kwantitatieve relaties de boogstraal of 'degree of curve' een belangrijke positie in. Geen van die onderzoeken is uitgevoerd op een bestand van bogen dat groter is dan bij Zegeer. Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat er de laatste tien jaar onderzoek is gedaan dat meer en betere kwantitatieve informatie over bogen heeft opgeleverd dan het onderzoek van Zegeer.

Relevantie voor Nederland

De bevindingen van Zegeer hebben betrekking op enkelbaanswegen buiten de bebouwde kom. Dergelijke wegen vallen hier onder het RONA-regime. In de RONA-richtlijnen is geen kwantitatieve informatie opgenomen over boogkenmerken in relatie tot ongevallen. Een rechtstreekse toepassing van *Formule 1* en *Formule 2* lijkt niet zonder meer mogelijk, gelet op de verschillen in verkeersomstandigheden tussen beide landen. De beginselen van de genoemde Amerikaanse formules gelden hier uiteraard ook, namelijk een zekere relatie tussen enerzijds het aantal ongevallen en anderzijds de boogstraal, de overgangsbogen, de boogbreedte en de lengte van de boog. Dit gaat echter niet op voor de absolute hoogte van het berekende aantal ongevallen en voor de onderlinge verhoudingen tussen de verschillende variabelen in de formule. Er zou aanvullend onderzoek nodig zijn om die Nederlandse toepassing van de formule mogelijk te maken. Het zal in Nederland minder gemakkelijk zijn om zo'n grote hoeveelheid bogen te selecteren als Zegeer en de zijnen hebben gedaan.

3.2. Horizontaal alignement, 'relation design'

Lamm & Smith (1994) geven de volgende definitie van 'relation design':

"... no more single design elements with minimum or maximum limiting values are put together more or less arbitrarily; rather, design element sequences are formed in which the design elements following one another are subject to specific relations or relation ranges."

³ Niet te verwarren met onderzoek naar de cross section (dwarsprofiel).

Deze aanpak moet leiden tot een lengteprofiel waarlangs een bestuurder een consistente aaneenschakeling van rechtstanden en bogen krijgt aangeboden, met onderling op elkaar afgestemde zichtafstanden en ontwerpsnelheden. Het begrip 'ontwerpsnelheid' is in dit verband aan discussie onderhevig. Sommige landen (Verenigde Staten, België) hanteren de ontwerpsnelheid als de maximale snelheid waarmee bestuurders de gehele weg veilig en comfortabel moeten kunnen gebruiken, een soort taakstelling voor het ontwerp.

Andere landen (met name Duitsland) gaan ervan uit dat bestuurders meestal harder rijden dan de ontwerpsnelheid. Daarom kiezen zij voor de snelheid die nog door een gering deel (15%) van de bestuurders wordt overschreden (V_{85}) als bepalend voor het ontwerp⁴. Deze tweede benadering vereist meer inzicht in de werkelijke rijnsnelheden die zullen gaan optreden.

Combinaties van beide benaderingen komen ook voor (Verenigd Koninkrijk en Australië).

Om tot een goed 'relation design' te komen, vraagt elk van deze benaderingen een specifieke aanpak.

In de VS is het 'relation design' onderontwikkeld, doordat de gekozen definitie van ontwerpsnelheid per ontwerpelement niet automatisch leidt tot een aaneenschakeling van elementen die goed bij elkaar passen.

Leisch & Leisch (1977) hebben daarom een methode uitgewerkt waarmee de Amerikaanse ontwerper voor een gegeven weggedeelte het snelheidsprofiel kan construeren. Het snelheidsprofiel komt tot stand door, gegeven de ontwerpsnelheid, voor elke boog (met gegeven boogstraal en lengte) in het weggedeelte na te gaan wat de maximale veilige naderingssnelheid in die boog zou zijn. De naderingssnelheid hangt vooral af van de weglengte waarover een voertuig kan accelereren of decelereren. Een boog na een lang recht weggedeelte nadert men immers met een hogere snelheid dan een boog die vlak na een tegengestelde boog is gelegen. Dit rijgedrag is richtingsafhankelijk, daarom dient men voor beide rijrichtingen een afzonderlijk snelheidsprofiel te maken.

De crux van de methode Leisch & Leisch is dat het snelheidsverschil tussen twee opvolgende naderingssnelheden nooit groter mag zijn dan 15 km/uur (10 m/ph). Deze waarde baseren zij op de ervaring dat bestuurders een dergelijke snelheidsreductie onder controle houden. Ook een ongevallensstudie van Glennon & Joyner (1969) bevestigt dit.

Bij een berekende snelheidsreductie van meer dan deze 15 km/uur moet de ontwerper de boogstraal vergroten.

In Duitsland gebruikt men de 'Kurvigkeit' (FGSV, 1995) of 'curvature-change-rate' (CCR) (Lamm et al., 1986) om de V_{85} af te leiden. In deze methode berekent men de absolute som van de hoekveranderingen (ongeacht de richting van de boog) in het horizontale alignement, uitgedrukt in gon/km⁵. Ook de hoekveranderingen in de overgangsbogen horen hierbij. Vervolgens is voor verschillende wegbreedten in een grafiek (*Afbeelding 3.6* voor nieuw aan te leggen wegen) af te lezen welke maximale V_{85} bij de berekende hoekverdraaiing hoort. Deze grafiek is gebaseerd op empirisch

⁴ V_{85} : de snelheid die 85% van de ongestoord rijdende bestuurders op schone en natte rijbaan niet overschrijdt (FGSV, 1984).

⁵ In een cirkel gaan 400 gon.

onderzoek (onder andere Köppel & Bock, 1979). In een goed ontwerp mogen tussen twee op elkaar volgende ontwerpelementen geen snelheidsverschillen van meer dan 10 km/uur voorkomen.

Een tweede voorwaarde betreft boogstralen van twee achtereenvolgende bogen. Die moeten altijd op elkaar afgestemd zijn volgens een kwantitatieve relatie, die in *Afbeelding 3.7* is gegeven (FGSV, 1995). Deze relatie is gebaseerd op ongevalsonderzoek (Lippold, 1996).

Lamm et al. (1986) werken beide benaderingen (en een Zwitserse variant) uit in een voorbeeld van 'relation design' voor een bochtige weg. Ze maken hiermee aannemelijk dat beide benaderingen, ondanks de verschillende uitgangspunten, toch ongeveer dezelfde uitkomsten geven bij de beoordeling van de consistentie van het horizontale alignement.

Verder zal dit hoofdstuk nog dieper ingaan op de volgende onderwerpen:

- modellen om een hiervoor aangeduid snelheidsprofiel te construeren;
- modellen die een relatie leggen tussen snelheid of snelheidsverschillen en ongevallen;
- modellen die een relatie leggen tussen kenmerken van rechtstanden en kenmerken van bogen (waaronder ongevalskenmerken).

3.2.1. Snelheidsprofiel

In het algemeen is er een sterke samenhang tussen de rijsnelheid en de functie van de weg. Een weg van een hogere orde bijvoorbeeld is zo uitgevoerd dat hoge snelheden mogelijk en acceptabel zijn. Vervolgens zijn er echter allerlei lokale omstandigheden die de rijsnelheid tijdelijk of permanent kunnen beïnvloeden, zoals bochtigheid, in- en uitvoegend verkeer, oversteekbewegingen, zicht- en weersomstandigheden, wegbreedte en de verkeersdichtheid. Voor het wegontwerp hanteren we alleen de permanent aanwezige lokale omstandigheden, dus ongestoord rijdende voertuigen die alleen belemmerd worden door statische en fysieke kenmerken. Voor die kenmerken bestaan er modellen die 'spot-speed' als uitkomst geven, dus de snelheid op een dwarsdoorsnede van de weg, gegeven de kenmerken van het dwars- en lengteprofiel. Dat lijkt vreemd, want bij het horizontaal alignement richten we ons op de trajectnelheid of het snelheidsprofiel, maar het zijn de bijzondere 'spots', met name de bogen, die de trajectnelheid begrenzen. Met behulp van de berekende spot-speeds zijn vervolgens snelheidsprofielen te construeren, zoals onder andere Leisch & Leisch (1977) dat hebben voorgesteld.

Lamm et al. (1988) stellen voor gebruik te maken van een model voor de V_{85} dat Lamm & Choueiri (1987) hebben afgeleid uit waarnemingen in New York State:

$$V_{85} = 34,700 - 1,005 DC + 2,081 LW + 0,174 SW + 0,0004 AADT \quad (3)$$

$$R^2=0,842$$

V_{85} :	85-percentiel in miles/h
DC:	'degree of curve' (0° tot 27°)
LW:	rijstrookbreedte in ft
SW:	bermbreedte in ft
AADT:	etmaalintensiteit (400 tot 5000 motorvoertuigen per etmaal)

Het is ook mogelijk om een eenvoudiger model te gebruiken, dat uit hetzelfde onderzoek afkomstig is:

$$V_{85} = 58,656 - 1,135DC \quad (4)$$

$$R^2=0,787$$

Dit eenvoudiger model is ook in varianten (met dezelfde vorm) beschikbaar voor verschillende rijstrookbreedten, namelijk 10, 11 en 12 ft.

Collins & Krammes (1996) rapporteren over een onderzoek waarin de ongevallen en kenmerken van 138 bogen en 78 aanpalende rechtstanden (rurale enkelbaanswegen, ontwerpsnelheid lager dan 100 km/uur) zijn geanalyseerd. De uitkomsten laten de volgende relatie zien:

$$V_{85} = 102,4 - 1,57D + 0,012L - 0,10\Delta \quad (5)$$

$$R^2=0,82$$

V_{85} : 85-percentiel in km/h
D: 'degree of curve'
L: lengte van de boog
 Δ : 'deflection angle' ($=L*D/100$)

Polus et al. (1984) hebben relaties gelegd tussen de gemiddelde rijnsnelheid en verschillende combinaties van kenmerken van rurale enkelbaanswegen. De gegevens zijn afkomstig van zestien wegvakken in Noord-Israël; de lengte van de wegvakken lag tussen de 1,0 en 3,4 km, en de invloed van kruispunten was zoveel mogelijk uitgesloten. De auteurs hebben verscheidene relaties onderzocht. De relatie die zij prefereren staat hierna vermeld als *Formule 6*.

$$S = 88,714 - 0,094 \alpha - 0,282 \beta - 0,069 \gamma - 0,022 \delta - 3,981 \varepsilon - 0,270 Q \quad (6)$$

$$R^2=0,638$$

S: gemiddelde rijnsnelheid (trajectnsnelheid)
 α : gemiddelde bochtigheid (graden/km)
 β : gemiddelde heuvelachtigheid (m/km)
 γ : netto hellingsgraad ($=h/L$, met h de verticale afstand tussen begin- en eindpunt van het wegvak en L de lengte van het wegvak)
 δ : percentage vrachtverkeer
 ε : verdeling van het verkeer over beide richtingen
Q: uurintensiteit in een richting

Deze formule is door de auteurs gebruikt voor capaciteitsberekeningen. Maar de formule kan ook een rol spelen bij het construeren van het snelheidsprofiel. Met name de invloed van het verticale alignment blijkt eruit, een invloed die *Formule 3, 4 en 5* ontberen.

Fitzpatrick et al. (1997) hebben gerapporteerd over een onderzoek naar de V_{85} op suburbane verkeersaders in de staat Texas. Op veertien weggedeelten is de spot-speed gemeten op een rechtstand en de daaropvolgende boog. In het onderzoek zijn met name relaties gelegd tussen de V_{85} , het aantal kruispunten en uitritten per kilometer weglengte, de boogstraal en de 'beredeneerde' ontwerpsnelheid. De ontwerpsnelheid is beredeneerd door de aangetroffen wegkenmerken als uitgangspunt te nemen en, gegeven de vigerende richtlijnen, de daarbij behorende ontwerpsnelheid te selecteren. De relatie tussen de V_{85} op rechtstanden en de som van het aantal kruispunten en uitritten per kilometer weglengte is:

$$V_{85} = 74,91 + 22,29/AD \quad (7)$$

$R^2=0,71$

V_{85} : 85ste percentiel in km/h

AD: som van het aantal kruispunten en uitritten per km weglengte

Zodra AD groter is dan 4 kruispunten/uitritten per kilometer, dan verandert de V_{85} nauwelijks meer.

De relatie tussen de beredeneerde ontwerpsnelheid IDS en de V_{85} in bogen is vrij sterk:

$$V_{85,b} = 43,5 + 0,38 * IDS \quad (8)$$

$R^2=0,83$

$V_{85,b}$: 85ste percentiel in km/uur in een boog

IDS: beredeneerde ontwerpsnelheid

Boven de 70 km/uur ligt de gemeten snelheid V_{85} lager dan de beredeneerde ontwerpsnelheid.

Ten slotte is de boogstraal gerelateerd aan de V_{85} . Dat levert de volgende formule op:

$$V_{85,b} = 54,18 + 1,061 * R^{0,5} \quad (9)$$

$R^2=0,72$

$V_{85,b}$: 85ste percentiel in km/uur in een boog

R: boogstraal

Voor deze relatie geldt dat het aantal kruispunten en uitritten per kilometer omgekeerd evenredig is met de $V_{85,b}$, zoals ook bij de rechtstanden het geval is.

De hiervoor besproken modellen voor snelheidsprofielen zijn afkomstig uit veel geciteerde en betrouwbare bronnen. Er zijn echter meer modellen bekend. Cardoso et al (1998) geven hier een overzicht van (zie *Tabel 3.1*).

3.2.2. *Consistent horizontaal alignement*

Eerder in dit hoofdstuk is Lamm al genoemd als een auteur die voorvechter is van het gebruik van het 'relation design'. Deze auteur publiceert veel over dit onderwerp en tracht hiermee de Amerikaanse overheid over te halen deze aanpak in de Amerikaanse richtlijnen op te nemen. Lamm & Smith (1994) behandelen de methode uitvoerig.

Samenvattend houdt die methode in dat men drie voorwaarden controleert:

- Het verschil in V_{85} tussen twee opeenvolgende ontwerpelementen mag een bepaalde waarde niet overschrijden.
- Het verschil tussen de V_{85} en de V_d (ontwerpsnelheid) mag een bepaalde waarde niet overschrijden en tegelijkertijd mogen de boogstralen van twee opeenvolgende bogen niet teveel van elkaar verschillen.
- Het verschil tussen feitelijk aanwezig en benodigd dynamisch evenwicht in bogen mag een bepaalde waarde niet overschrijden.

Voor een goed ontwerp mogen volgens de eerste voorwaarde twee op elkaar volgende ontwerpelementen (rechtstand - boog of boog - boog) geen verschillen van meer dan 10 km/uur vertonen als het gaat om de V_{85} . Ligt dit verschil tussen de 10 en 20 km/uur, dan noemt men dat een matig ontwerp; een groter verschil dan 20 km/uur is een slecht ontwerp.

De V_{85} kan men per ontwerpelement uitrekenen met *Formule 3* of *4*. Vervolgens berekent men de verschillen in V_{85} tussen de ontwerpelementen, gaat men na of de verschillen te groot zijn en past men eventueel het ontwerp aan.

De tweede voorwaarde richt zich op elke boog afzonderlijk. Gegeven de ontwerpsnelheid mag de berekende V_{85} daar in een goed ontwerp niet meer dan 10 km/uur van afwijken. In een slecht ontwerp is dit verschil meer dan 20 km/uur en in een matig ontwerp ligt het verschil tussen 10 en 20 km/uur. De ontwerpsnelheid vindt men door de gebruikelijke werkwijze uit de vigerende richtlijnen te volgen.

Ook moet het ontwerp voldoen aan een voorwaarde die het verschil in boogstraal tussen twee opeenvolgende bogen aangeeft. Daarvoor geldt de grafiek die hiervoor al in *Afbeelding 3.7* was getoond.

De derde voorwaarde is het verschil tussen feitelijk aanwezig en benodigd dynamisch evenwicht in bogen (zijdelingse wrijvingsweerstand f_z). Hiervoor geldt een relatie die in grafiekvorm in *Afbeelding 3.8* is te vinden (Lamm et al., 1995).

In deze werkwijze van Lamm & Smith (1994) zit een aanpassing ten opzichte van de werkwijze die door Lamm in 1988 is voorgesteld. Daar is expliciet uitgegaan van de invloed die de lengte van een rechtstand tussen twee bogen heeft op de V_{85} in een boog. Naarmate de rechtstand langer is, kan een voertuig na de boog een hogere snelheid bereiken alvorens de volgende boog te bereiken. Men kan de lengte afstemmen op de V_{85} die in de volgende boog bereikt dient te worden. Daarvoor geldt de volgende relatie:

$$TL = (\overline{V}_{85} * \Delta V_{85}) / 0,465a \quad (10)$$

TL: lengte van de rechtstand
 ΔV_{85} : verschil tussen twee opeenvolgende bogen
 \overline{V}_{85} : gemiddelde van de twee bogen
a: versnelling of vertraging op de rechtstand in ft/s²

Voor de versnelling en vertraging is dezelfde waarde genomen, namelijk 2,8 ft/s² (of 0,8 m/s²).

Bij deze afstemming van de lengte van de rechtstand en het verschil in V_{85} , komt nog de voorwaarde dat de twee 'degrees of curve' niet meer dan een bepaalde waarde mogen verschillen, namelijk 5 graden voor een goed ontwerp en tussen de 5 en 10 graden voor een matig ontwerp (Lamm et al., 1988). Beide voorwaarden zijn in *Afbeelding 3.9* en *Tabel 3.2* opgenomen. In latere publicaties heeft Lamm deze achtergrond van de eerder genoemde voorwaarden vereenvoudigd en is er alleen nog sprake van verschillen in snelheden en boogstralen.

Deze aanpak heeft in belangrijke mate een rekenkundig karakter en laat zich daardoor goed automatiseren. Lamm et al. (1994) hebben dat dus ook voorgesteld en vervolgens zelf in een prototype uitgevoerd (Lamm et al, 1995). De procedure voor deze automatisering zien we als stroomschema in *Afbeelding 3.10*. In dit schema komen de voorgaande voorwaarden terug als 'criterion I, II en III'.

Overigens is de invloed van de lengte van de rechtstand op het ontstaan van ongevallen in de navolgende boog minder groot dan Lamm et al. (1988) suggereren. Fink & Krammes (1995) hebben in een ongevallenonderzoek namelijk wel de (al lang bekende) invloed van de boogstraal op het ongevalsrisico kunnen bevestigen, maar ze hebben slechts een geringe relatie tussen lengte van de rechtstand en het ongevallenrisico in de boog gevonden (zie *Afbeelding 3.11*).

Cardoso et al. (1998) beschrijven een model dat door Cardoso (1996) is opgesteld. Dit model is afgeleid uit gegevens over rurale Portugese enkelbaanswegen met daarin 1.043 rechtstanden en 1.719 bogen (654 kilometer weglengte, 5.600 letselongevallen).

Het model heeft de volgende gedaante:

$$\frac{AR_{boog}}{AR_{rechtstand}} = 0,3496 * \frac{MDFML^{0,0431} * LFAIXA^{1,788}}{AADT^{0,016} * MVML^{0,4254}} \quad (12)$$

R²=onbekend

AR_{boog}: aantal letselongevallen per miljoen motorvoertuigkilometer in een boog
AR_{rechtstand}: aantal letselongevallen per miljoen motorvoertuigkilometer in een rechtstand
MDFML: snelheidsreductie bij aanvang boog (beide rijrichtingen) (km/h)
LFAIXA: rijbaanbreedte (m)
AADT: etmaalintensiteit motorvoertuigen
MVML: naderingssnelheid (km/h)

Een voorbeeld van de uitkomst van dit model is in *Afbeelding 3.12* opgenomen.

3.2.3. *Autobestuurder en wegontwerp*

In de voorgaande paragrafen is steeds aangenomen dat de eisen aan het wegontwerp uiteindelijk een gunstig effect hebben op het ongevalsrisico. De achtergrond voor die aanname was gebaseerd op ongevallenstudies die wegkenmerken en verkeersgegevens relateerden aan ongevallengegevens. Er zijn ook studies waarin een relatie is gelegd tussen de rijtaak van de autobestuurder, wegkenmerken en ongevallengegevens. Daarmee krijgen we enig inzicht in de oorzakelijke kant van de geconstateerde ongevalsrisico's. En daarmee kunnen we wellicht het wegontwerp beter afstemmen op de mogelijkheden en beperkingen van de gebruikers. Ook hierbij zijn kwantitatieve relaties aan de orde.

Krammes & Glascock (1992) hebben ongevalsrisico's gerelateerd aan een maat voor de taakbelasting die door Messer et al. (1981) zijn voorgesteld en uitgewerkt. Deze maat berekent men volgens de formule:

$$W L_n = R_f * S * E * U + C * W L_{n-1} \quad (13)$$

- WL_n: taakbelasting voor ontwerpelement n
- R_f: potentiële taakbelasting van ontwerpelement n
- S: factor voor de zichtafstand
- E: factor voor de verwachting van ontwerpelement n
- U: factor voor de onbekendheid
- C: factor voor de overdracht
- WL_{n-1}: taakbelasting voor ontwerpelement n-1

Deskundigen hebben de potentiële taakbelasting R_f voor diverse ontwerpelementen geschat. Deze potentiële taakbelasting ligt op een schaal die loopt van 0 tot 6, respectievelijk van 'niets bijzonders' tot 'zeer ongebruikelijke situatie die ter plaatse onbekende bestuurders zal verrassen' (zie *Tabel 3.3*). De factoren S, E, en U kunnen deze R_f per geval reduceren. De taakbeasting in het voorgaande ontwerpelement speelt ook een rol. Die rol hangt af van de waarde van de factor C. Deze factor ligt tussen 0 en 1, en hangt af van de afstand tussen ontwerpelement n en n-1 (*Afbeelding 3.13*).

Is WL_n kleiner of gelijk aan 1, dan is er geen veiligheidsprobleem, bij WL_n groter dan zes is er een groot probleem mogelijk ("*big problem possible*") en voor de tussengelegen waarden geldt dat er onverwachte situaties mogelijk zijn ("*small surprises possible*").

Krammes & Glascock (1992) hebben de taakbelasting volgens deze methode vastgesteld voor vijf rurale wegen (etmaalintensiteit tussen 330 en 1.450 motorvoertuigen). Het aantal ontwerpelementen dat is onderworpen aan *Formule 13* bedroeg 3,7 tot 7,9 per mijl. De ontwerpelementen bestonden voornamelijk uit horizontale en verticale bogen en uit kruispunten en bruggen.

De relatie tussen de gevonden taakbelastingen en het ongevalsrisico is verbluffend sterk. In *Afbeelding 3.14* is dit nog eens visueel duidelijk gemaakt.

$$AR=4,95-10,62*x+6,81*x^2 \quad (14)$$

$$R^2=0,88$$

AR: aantal ongevallen per richting per miljoen motorvoertuigmijl

$$x = \frac{\sum (l_i * W L_i)}{\sum l_i}$$

l_i : lengte van weggedeelte i waar de WL voor geldt

Krammes et al. (1995) komen terug op de hiervoor beschreven toepassing. De methode van Messer et al. heeft namelijk als bezwaar dat de invloed van de schattingen van de experts zwaar weegt. Daarom zijn Krammes et al. (1995) overgestapt op de 'vision occlusion' methode. Die methode houdt in dat bestuurders net zolang met gesloten ogen rijden totdat ze menen weer te moeten kijken om hun rijtaak goed uit te kunnen oefenen. De duur van de periode dat de ogen open moeten blijven, is een maat voor de taakbelasting. Deze methode heeft in een eerste experiment tot twee waarden voor WL geleid:

- voor bogen geldt $WL = 0,193 + 0,016 * D$, D is de 'degree of curve' en $R^2 = 0,90$;
- voor rechtstanden geldt $WL = 0,176$.

Volgens deze uitkomst hebben de onderzochte bestuurders op rechtstanden hun ogen open in slechts 17,6% van de periode waarin ze op die rechtstanden rijden.

Krammes et al. (1995) hebben deze maat voor de taakbelasting gebruikt in een geautomatiseerde procedure om de consistentie in het horizontale alignement te evalueren. Ook gebruiken ze voor deze evaluatie een in geringe mate aangepaste versie van *Formule 5*.

Tabel 3.4 laat de in- en uitvoer zien van deze procedure.

3.2.4. Toepassing in de praktijk en relevantie voor Nederland

De inleiding van dit hoofdstuk maakte reeds duidelijk dat Duitsland en Zwitserland in hun richtlijnen een procedure hebben voor het 'relation design' bij het horizontale alignement. De Duitse procedure (versie 1984) is letterlijk overgenomen in de Nederlandse RONA (hoofdstuk IV, Alignement, 1989).

De Amerikanen beschikken over de methoden van Lamm et al. (1994) en over de methode van Krammes & Glascock (1992). Deze methoden zijn echter niet opgenomen in de ontwerprichtlijnen.

Krammes (1997) laat zien dat de 'consistency module' van de IHSDM (zie hoofdstuk 1) een procedure gaat bevatten die veel lijkt op de methode die Krammes & Glascock (1992) propageren. Daarmee zal de toepassing van die methode sterk toe gaan nemen.

In alle hier geschetste benaderingen van 'relation design' is het fenomeen 'boog' dominant. Merkwaardig genoeg spelen kruispunten een geringe rol.

Dit komt waarschijnlijk voort uit het soort wegen dat men heeft bestudeerd. Dat waren vooral rurale wegen met weinig verkeer. De frequentie van kruispunten is er laag en de frequentie van ontmoetingen op die kruispunten is al helemaal laag. Ongevallen concentreren zich daardoor op de overige punten waar de bestuurder extra aandacht moet geven, namelijk de bogen.

In de regels (functionele eisen) voor een duurzaam-veilig wegennet ontbreken expliciete regels omtrent 'relation design'. Dergelijke regels zouden iets moeten eisen omtrent de V_{85} die in de achtereenvolgende ontwerpelementen niet in te grote sprongen mag variëren, en omtrent maximale verschillen tussen V_{85} en ontwerpsnelheid. Het kan zijn dat de ware 'duurzaam-veilig' aanhanger dergelijke regels al gebruikt of impliciet leest in de bestaande regels. Door zulke regels echter expliciet toe te voegen, verminderen we de kans op verkeerde interpretaties.

4. Dwarsprofiel

Het dwarsprofiel van een weg omvat hier in beginsel alle ontwerpelementen die in de dwarsdoorsnede van een wegkruin (aardebaan), een brug, viaduct of tunnel kunnen voorkomen (zie *Afbeelding 4.1* voor de wegkruin). De belangrijkste onderdelen van het dwarsprofiel op aardebanen zijn de verharding en de bermen. Binnen de verharding is de rijbaanbreedte het belangrijkste ontwerpelement.

De obstakelvrije zone of obstakelafstand (die volgens de definitie vanaf de kantstreep aanvangt) is erg belangrijk voor het vermijden van een (ernstige afloop van een) ongeval als een voertuig van de weg afraakt.

Op bruggen, viaducten en in tunnels zijn de verharding (rijbaanbreedte), de obstakelafstand (tunnelwand) en de afstand tot en aard van de eventuele geleideconstructie van belang.

4.1. Kwantitatieve relaties voor het dwarsprofiel

4.1.1. Dwarsprofiel op aardebaan

Model voor de breedte van rijbaan en bermen

Bij de bogen bleek een model van Zegeer et al. (1990) vaak te worden aangehaald; dat is bij de dwarsprofielen niet anders. Zegeer et al. (1988a) rapporteren over een onderzoek waarin een bestand met gegevens over 1.944 wegvakken is opgebouwd en geanalyseerd.

Op deze wegvakken zijn 62.676 ongevallen (inclusief met ums) geregistreerd, waarvan 38% met letsel of dodelijke afloop.

De auteurs hebben verscheidene modellen getest en vonden uiteindelijk een model dat een kwantitatieve relatie voorstelt tussen vijf wegkenmerken en de etmaalintensiteit enerzijds, en een geselecteerd deel van de ongevallen anderzijds. Deze geselecteerde ongevalstypen zijn: enkelvoudig, tegenovergestelde richting (frontaal), tegenovergestelde richting (flank) en dezelfde richting (flank). Ongeveer 53% van de ongevallen in de onderzochte database behoort tot deze typen. Overigens is het uiteindelijke model gebaseerd op 1.362 wegvakken buiten de bebouwde kom (rural area). Het model ziet er als volgt uit:

$$AO_r = 0,0019 * ADT^{0,8824} * 0,8786^W * 0,9192^{PA} * 0,9316^{UP} * 1,2365^H * 0,8822^{TER1} * 1,3221^{TER2} \quad (16)$$

- AO_r: ongevallenrisico (aantal ongevallen per mijl per jaar) van de geselecteerde typen (enkelvoudig, tegenovergestelde richting (frontaal), tegenovergestelde richting (flank) en dezelfde richting (flank))
- ADT: etmaalintensiteit
- W: rijstrookbreedte (in ft)
- PA: breedte van de verharde berm (in ft)
- UP: breedte van de onverharde berm (in ft)
- H: aard van de zone naast de rijbaan (score op een schaal van 1 tot 7); een serie foto's laat zien dat een score van 1 overeenkomt met een vlakke berm en geen obstakels en dat een score van 7 past bij een zone die een en al obstakel is (namelijk een rotswand.).
- TER1: = 1 als de weg door een vlak terrein loopt en anders = 0
- TER2: = 1 als de weg door een heuvelachtig gebied loopt en anders = 0

De R^2 van dit model bedraagt 0,456. De ADT bepaalt 70% van de verklaarde variantie in dit model.

Voor een eenvoudige toepassing van *Formule 16* is een systeem van vijf met elkaar samenhangende nomogrammen opgesteld (zie *Afbeelding 4.2*). Zowel het model als de nomogrammen worden veel door anderen geciteerd.

Formule 16 van Zegeer en de zijnen is gebruikt om tabellen te produceren waarin telkens een ander wegkenmerk met stapjes toeneemt en de bijbehorende reductie in het aantal ongevallen is berekend; verbreding van de verharde berm breedte met 2ft, reduceert het aantal ongevallen met 16%, verbreding met 4ft geeft 29% reductie, enzovoort. Deze tabellen zijn opgenomen in de serie 'Safety effectiveness of highway design feature' (FHWA, 1992), die bestemd is voor de Noord-Amerikaanse wegontwerper. Het bezwaar tegen deze aanpak staat al genoemd in § 3.1.1.

In Finland hebben Kulmala & Roine (1988) een model ontwikkeld dat er als volgt uitziet:

$$A = 0,1377 * S^{0,9767} * (\sum b_i * x_i) \quad (17)$$

A: letselongevallen in een zesjarige periode (1981-1986)
S: weglengte

	b_i	x_i	Omschrijving
1	- 0,4581	L2	1, als verhardingsbreedte ligt tussen 8,6 en 9,5 m; anders 0
2	- 0,1555	L2	1, als verhardingsbreedte groter dan 9,5 m; anders 0
3	- 0,005455	N	inhaalzicht meer dan 300 m in procenten
4	0,0091	RP	percentage zware voertuigen
5	0,00133	K	gemiddelde bochtigheid
6	0,05874	LR	1, als verhardingsbreedte kleiner dan 8,6 m en snelheidslimiet 100 km/h
7	0,3564	LR	1, als verhardingsbreedte ligt tussen 8,6 en 9,5 m en snelheidslimiet 100 km/h
8	0,2179	LR	1, als verhardingsbreedte groter dan 9,5 m en snelheidslimiet 100 km/h

Tabel 4.1. *Coëfficiënten en variabelen die in Formule 17 moeten worden ingevuld.*

Model voor middenbermen

Middenbermen treffen we aan bij drukkeren wegen met gescheiden rijbanen. Zegeer heeft dergelijke wegen niet bestudeerd, dus in zijn modellen komt dit kenmerk niet voor. De enige relevante referentie is een oudere publicatie van Garner & Deen (1973). Zij hebben wegen van het 'Toll Road & Interstate System' in Kentucky onderzocht, met een weglengte van 420 mijl. De relatie tussen de breedte van de middenberm en het aantal ongevallen per motorvoertuigmijl is weergegeven in *Afbeelding 4.3*. Deze afbeelding is ook

opgenomen in FHWA (1992). Over de verklaarde variantie in de gevonden relatie doen de auteurs geen uitspraak.

Ongevalsrisico's voor dwarsprofielen met meer dan twee rijstroken per rijbaan

Harwood et al. (1985) hebben inhaalstroken op enkelbaanswegen onderzocht. *Afbeelding 4.4* toont de verschillende onderzochte dwarsprofielen. Voor elk type dwarsprofiel is het ongevalsrisico (aantal ongevallen per miljoen motorvoertuigmijl) uitgerekend. Dit risico is vergeleken met wegen die een standaardprofiel hebben. Er is dus geen effect bepaald van een uitgevoerde maatregel, alleen maar een vergelijking uitgevoerd. De auteurs hebben geen rekenmodel geproduceerd. Anderen hebben in de al eerder aangehaalde 'Safety effectiveness of highway design feature' (FHWA, 1992), deze risico's gebruikt om aan te geven wat het procentuele verschil in ongevalsrisico is tussen wegen met en zonder inhaalstroken. Daarmee suggererend dat er wel sprake was van een voor- en nastudie.

In *Tabel 4.2* en *Tabel 4.3* zijn de ongevalsrisico's gegeven voor enkelbaanswegen en voor respectievelijk wegen met inhaalstroken aan een zijde van de rijbaan en wegen met inhaalstroken aan beide zijden. Het ongevalsrisico op gewone enkelbaanswegen ligt hoger dan op de wegen met inhaalstroken. Overigens is de controlegroep in beide vergelijkingen niet dezelfde verzameling wegen. In *Tabel 4.3* bevat de controlegroep de wegen die 'vergelijkbaar' zijn met de behandelde groep.

Soort locatie	Aantal ongevallen				Ongevalsrisico ¹⁾	
	A	B	C	D	E	F
Rijrichting met inhaalstrook	66	305	133	271,0	1,13	0,49
Rijrichting zonder inhaalstrook	66	227	95	242,5	0,94	0,39
Beide rijrichtingen samen	66	532	228	513,5	1,04	0,44
Enkelbaanswegen zonder inhaalstroken (controlegroep)	13	430	226	273,5	1,57	0,83

¹⁾ Aantal ongevallen per miljoen motorvoertuigmijl

- A: Aantal wegvakken
- B: Totale aantal ongevallen
- C: Aantal letselongevallen
- D: Expositie in motorvoertuigmijl
- E: Risico voor A
- F: Risico voor B

Tabel 4.2. Ongevalscijfers voor wegen met en zonder een inhaalstrook aan een zijde van de rijbaan.

Soort locatie	Aantal ongevallen				Ongevalsrisico ¹⁾	
	A	B	C	D	E	F
Kort wegvak met inhaalstroken	9	106	69	89,6	1,18	0,77
Enkelbaanswegen zonder inhaalstroken (controlegroep)	6	250	189	139,4	1,79	1,36

¹⁾ Aantal ongevallen per miljoen motorvoertuigmijl

- A: Aantal wegvakken
- B: Totale aantal ongevallen
- C: Aantal letselongevallen
- D: Expositie in motorvoertuigmijl
- E: Risico voor A
- F: Risico voor B

Tabel 4.3. *Ongevalscijfers voor wegen met en zonder inhaalstroken aan beide zijden van de rijbaan.*

Ongevalsrisico's op meerstrookswegen in suburbane gebieden

Harwood (1986) heeft onderzoek gedaan naar ongevallen op meerstrookswegen in suburbane gebieden. De onderzochte wegen hebben als kenmerk:

- etmaalintensiteit hoger dan 7.000 motorvoertuigen;
- rijsnelheid tussen 35 en 50 mijl per uur;
- tussen kruispunten met verkeerslichten hebben de wegvakken een lengte van ten minste 0,25 mijl;
- directe erftoegangen;
- geen geparkeerde voertuigen op de rijbaan;
- gesitueerd in of grenzend aan bewoond gebied.

De totale onderzochte weglengte bedroeg 378 mijl met daarop, gedurende een periode van vijf jaar, bijna 61.000 ongevallen waarvan bijna 21.000 met letsel. In de ongevallenanalyse zijn de ongevallen op geregelde kruispunten weggelaten, waardoor 44.000 ongevallen (waarvan 15.000 met letsel) resteerden.

In zijn onderzoek relateert Harwood (1986) verschillende soorten dwarsprofielen (*Afbeelding 4.5a*) aan de volgende kenmerken:

- geografische ligging;
- etmaalintensiteit;
- percentage vrachtverkeer;
- soort grondgebruik (woon- of werkgebied);
- aandeel linksafslaande voertuigen;
- bermbreedte;
- gemiddelde rijsnelheid;
- aantal inritten per mijl;
- aantal ongeregelde kruispunten per mijl.

Van deze kenmerken blijken na een statistische analyse het soort grondgebruik, aantal inritten per mijl en percentage vrachtverkeer de relevante kenmerken. De analyse is gesplitst uitgevoerd voor wegvakken en ongeregelde kruispunten, maar de uitkomst geldt in beide gevallen. De uitkomsten zijn zo gepresenteerd dat zowel voor wegvakken als kruispunten het ongevalsrisico per soort dwarsprofiel en per soort grondgebruik is gegeven. Vervolgens dient men correctiewaarden toe te passen afhankelijk van de hoeveelheid inritten per mijl (voor wegvakongevallen), het aantal ongeregelde kruispunten per mijl (voor kruispunt-

ongevallen) en het aandeel vrachtverkeer. In *Tabel 4.4* tot en met *Tabel 4.7* is deze aanpak geïllustreerd.

Soort grondgebruik	Soort dwarsprofiel				
	2U	3T	4U	4D	5T
Werkgebied	2,39	1,56	2,85	2,90	2,69
Woongebied	1,88	1,64	0,97	1,39	1,39

Tabel 4.4. Ongevalsrisico (aantal ongevallen per miljoen motorvoertuigmijl) op wegvakken naar soort grondgebruik en dwarsprofiel.

Aantal inritten per mijl		
minder dan 30	30 tot 60	meer dan 60
-0,41	-0,03	+0,35
Aandeel vrachtverkeer		
minder dan 5%	5 tot 10%	meer dan 10%
+0,18	-0,07	-0,33

Tabel 4.5. Correctiefactoren voor de ongevalsrisico's in Tabel 4.3.

Soort grondgebruik	Soort dwarsprofiel				
	2U	3T	4U	4D	5T
Werkgebied	2,11	2,43	4,77	4,71	3,11
Woongebied	2,88	1,91	3,03	2,71	1,85

Tabel 4.6. Ongevalsrisico (aantal ongevallen per miljoen motorvoertuigmijl) op ongereelde kruispunten naar soort grondgebruik en dwarsprofiel.

Aantal ongeregelde kruispunten per mijl		
minder dan 5	5 tot 10	meer dan 10
-0,99	-0,28	+1,55
Aandeel vrachtverkeer		
minder dan 5%	5 tot 10%	meer dan 10%
+0,22	-0,08	-0,38

Tabel 4.7. Correctiefactoren voor de ongevalsrisico's in Tabel 4.6.

Er zijn ook tabellen voor de combinatie (aaneenschakeling) van wegvakken en kruispunten. Die tabellen zijn opgenomen in de eerder genoemde aanbevelingen van de FHWA (1992).

Harwood (1990) heeft voor gelijksoortige dwarsprofielen een evaluatie-studie verricht omtrent het effect van het uitbreiden van het aantal rijstroken.

In *Afbeelding 4.5b* zijn de gedefinieerde dwarsprofielen weergegeven. Het zijn dwarsprofielen van wegen in urbane gebieden. Deze wegen hebben rijksnelheden van 45 mijl per uur of minder, directe erftoegangen, trottoirbanden, en zijn gelegen in bewoond gebied. De etmaalintensiteit ligt tussen 8.900 en 62.800. De rijbaanbreedte varieert tussen 40 en 76ft. De onderzochte weglengte bedraagt 27 mijl met daarop ruim 7.000 ongevallen.

De evaluatie omvat zes soorten aanpassingen van een dwarsprofiel (zie *Tabel 4.8*). De meeste aanpassingen houden in dat de rijstrookbreedte afneemt (van ten minste 11ft naar ten minste 9ft) bij gelijktijdige introductie van hetzij meer rijstroken, hetzij een strook voor links afslaan (TWLTL). De verhouding tussen letselongevallen en ums-ongevallen blijft gelijk na elke verandering van het dwarsprofiel. In drie van de zes soorten veranderingen neemt het ongevalsrisico af. Dit zijn de wegen waarin een TWLTL is geïntroduceerd.

In de gevallen waar de ongevallen toenemen, geldt dat in twee gevallen niet voor de wegvakken.

Soort verandering			Procentuele verandering in ongevalsrisico		Wijziging in aandeel letselongevallen?
			Totaal aantal ongevallen op wegvakken en ongeregelde kruispunten	Ongevallen op wegvakken ('midblock')	
Code volgens <i>Afbeelding 4.5b</i>	Aantal rijstroken				
	van	naar			
1 → 2	twee	vier	+109,6	n.s.	geen
2 → 3	vier	vijf met TWLTL	-44,1	-45,0	geen
7 → 3	vier	vijf met TWLTL	-52,6	-56,6	geen
7 → 9	vijf met TWLT	zeven met TWLTL	+23,7	+31,3	geen
4 → 9	zes	zeven met TWLTL	-24,0	-32,1	geen
4 → 10	zes	acht	+23,0	n.s.	geen

Ongevalsrisico: aantal ongevallen per miljoen motorvoertuigmijl
TWLTL: two-way left turn lane

Tabel 4.8. *Veranderingen in het ongevalsrisico door aanpassingen van verschillende soorten dwarsprofiel.*

Ook deze resultaten zijn opgenomen in de aanbevelingen van FHWA (1992).

4.1.2. *Dwarsprofiel op een brug of viaduct*

Bij studies naar ongevallen op bruggen en viaducten hanteert men dikwijls een definitie van de 'relatieve breedte' ter plaatse van de brug of het viaduct (zie *Afbeelding 4.6* voor toelichting).

Turner (1984) heeft gegevens over 2.087 bruggen verzameld. Op die bruggen vonden 2.849 ongevallen in een periode van vier jaar plaats.

Het aantal ongevallen per miljoen passerende voertuigen is gerelateerd aan de relatieve breedte RW volgens de volgende vergelijking:

$$AR = 0,50 - 0,061RW + 0,0022RW^2 \quad (18)$$

AR: aantal ongevallen per miljoen passerende motorvoertuigen

RW: relatieve breedte

Vanaf een relatieve breedte van 6ft neemt het ongevalsrisico nauwelijks meer af. Turner beveelt daarom aan deze relatieve breedte aan te houden op de brug; dus aan weerszijden van de rijbaan een 'berm' van 3ft breed.

4.2. Bermen en obstakelvrije zone

4.2.1. Inleiding

De obstakelvrije ruimte of zone is het deel van het dwarsprofiel waarbinnen zich geen obstakels bevinden. De obstakelvrije afstand betreft de afstand tussen de binnenkant van de kantstreep en het dichtst bijgelegen obstakel. Als er geen kantstreep aanwezig is, dan geldt de 'kant verharding' (= rand). Tot de obstakels rekent men de voorwerpen of elementen (zoals kanalen of greppels) die bij een aanrijding gevaar voor inzittenden van voertuigen opleveren (RONA dwarsprofielen, 1986). Dus afbreekbare lichtmasten, berm paaltjes, dunne bomen en struiken behoren niet tot de obstakels.

In Nederland variëren de obstakelvrije afstanden naar RONA-categorie. De obstakelvrije afstand ligt tussen 1,50 en 6,00 m. Deze afstanden hebben hun oorsprong in SWOV-onderzoek (Schoon & Bos, 1983). Daarbij is het aandeel boomongevallen binnen de enkelvoudige ongevallen, als criterium gehanteerd voor de obstakelvrije afstand. Dit criterium houdt in dat men accepteert dat 10% van de boomongevallen blijft voorkomen. In een duurzaam-veilig verkeer zouden ongevallen tegen obstakels eigenlijk moeten worden uitgesloten. In dat geval dient men of de obstakelvrije afstand te vergroten of beveiligingsvoorzieningen te treffen (geleiderails of WICON) die een botsing onmogelijk maken.

Tegen het vergroten van de obstakelvrije afstand pleiten de landschappelijke waarde (karakteristieke bomenrijen die gaan verdwijnen of een stuk moeten opschuiven) en 'wegbeeld' (de breedte van de weg neemt toe, waardoor de rijnsnelheid kan toenemen).

Tegen beveiligingsvoorzieningen pleiten de kosten en de kosteneffectiviteit (veel investeren voor betrekkelijk weinig opbrengsten), en de landschappelijke waarde (lelijke constructies).

4.2.2. Buitenlandse onderzoeksresultaten

In *Formule 16* waren al kenmerken van de berm opgenomen, samen met andere kenmerken van het dwarsprofiel. Dat is op zich een goede benadering omdat dan alle relevante kenmerken in hun onderlinge relatie worden meegewogen.

Er zijn ook modellen specifiek voor enkelvoudige ongevallen of bermongevallen. En er zijn modellen die tot een maat leiden voor het veiligheids-

riscio (bijvoorbeeld het aantal verwachte overschrijdingen van de kantstreep) of de kosten-effectiviteit van aanpassingen van de berm. De effecten van beveiligingsmiddelen (geleiderails en dergelijke) komen in hoofdstuk 7 aan bod.

Een variant op *Formule 16* van Zegeer et al. (1988a) heeft de volgende vorm:

$$AO_r = 0,0076 * AD T^{0,8545} * 0,8867^W * 0,8927^{PA} * 0,9098^{UP} * 0,9715^{RECC} * 0,8182^{TER1} * 1,277^{TER2} \quad (19)$$

RECC: obstakelafstand, gerekend vanaf de kant van de rijbaan (dus niet, zoals in Nederland, vanaf de kantstreep); zie *Formule 16* voor de overige afkortingen.

De R² van dit model bedraagt 0,461. De ADT bepaalt 69% van de verklaarde variantie in dit model.

Ook *Formule 19* is gebruikt om te berekenen wat de reductie in het aantal ongevallen zou zijn als de obstakelafstand zou toenemen. Bijvoorbeeld, een toename van 5ft (1,53 m) geeft een reductie van 13%, en een toename 20 ft (6,10 m) een reductie van 44%.

Zegeer et al. (1988a) laten ook nog twee modellen zien voor enkelvoudige ongevallen en een model voor ongevallen waarbij een voertuig over de kop slaat. Het ene model voor enkelvoudige ongevallen geeft de relatie met de zijbermbreedte, obstakelafstand, rijstrookbreedte, etmaalintensiteit en een maat voor het beloop (hellingspercentage van de zijberm en het talud). Het andere model voor de enkelvoudige ongevallen is een variant hierop, met een gedetailleerdere beschrijving van het beloop.

De beschrijving van de ongevallen waarbij een voertuig over de kop slaat, bestaat uit dezelfde kenmerken.

Voor deze drie modellen geldt dat de R² tussen de 0,18 en 0,25 ligt. Ondanks deze geringe variantie, gebruiken Zegeer en de zijnen deze modellen op dezelfde manier als de eerder getoonde modellen, zonder deze beperking te benadrukken.

TRB (1987) hanteert het 'encroachment model' voor bermongevallen. Dit model bestaat uit een aantal kansen die gezamenlijk bepalen hoeveel ongevallen er met een bepaald objecttype zullen voorkomen:

$$Ex(A_h) = Ex(E) Pr(E_h|E) Pr(C_h|E_h) Pr(A_h|C_h) \quad (20)$$

- Ex(A_h): verwachte jaarlijkse aantal bermongevallen waarbij object h is betrokken
- Ex(E): verwachte jaarlijkse 'aantal inbreuken of overschrijdingen' op het betreffende wegvak (met een lengte van 1 mijl) waarbij object h betrokken is
- Pr(E_h|E): voorwaardelijke kans dat, gegeven een overschrijding, de locatie zodanig is dat een 'ontmoeting' met het object h onvermijdelijk is
- Pr(C_h|E_h): voorwaardelijke kans dat, gegeven een overschrijding in het potentiële ontmoetingsgebied, een botsing tussen voertuig en object h op zal treden
- Pr(A_h|C_h): voorwaardelijke kans dat, gegeven een botsing, de ernst zo groot is dat een ongeval optreedt

Als letselongevallen een specifiek aandachtspunt vormen dan is het aanvullende model:

$$Ex(CA_h) = E x(A_h) Pr(C A_h|A_h) \quad (21)$$

$Ex(CA_h)$: verwachte jaarlijkse aantal letselongevallen (met doden of gewonden) waarbij het object h is betrokken

$Pr(CA_h|A_h)$: voorwaardelijke kans dat, gegeven een ongeval, er letsel zal optreden

Voor elke term in *Formule 20* en *Formule 21* zijn submodellen opgesteld.

De parameters in elk submodel zijn geschat met waarnemingen, onder andere afkomstig van de databestanden van Zegeer et al (1988a; 1988b):

- $Ex(E)$ is een functie van de hoeveelheid passerend gemotoriseerd verkeer en van de rijstrookbreedte.
- $Pr(E_h|E)$ is een functie van de afstand van object h tot de kantstreep en van de lengte van dit object.
- $Pr(C_h|E_h)$ is een functie van de afstand van object h tot de kantstreep. Voor deze functie bestaan drie verschillende uitwerkingen: een lineaire, een exponentiële en een sinusoïde functie (zie *Afbeelding 4.7a* en *Afbeelding 4.7b*).
- $Pr(A_h|C_h)$ en $Pr(CA_h|A_h)$ zijn af te leiden uit ongevalsstatistieken. TRB (1987) presenteert een tabel met deze kansen die zijn opgesteld door respectievelijk Zegeer & Parker (1983) en Glennon & Wilton (1974) (zie *Tabel 4.9* in de bijlage).

Graham & Harwood (1982) hebben een bestand met twee wegtypen opgebouwd: enkelbaanswegen met twee rijstroken en wegen met vier rijstroken (met en zonder middenberm). De studie richtte zich vooral op de enkelvoudige ongevallen. Het bestand bevatte 11.649 ongevallen, waarvan 3.694 op de enkelbaanswegen met twee rijstroken. Het volgende ongevalsmodel is een van de uitkomsten en betreft uitsluitend de enkelbaanswegen met twee rijstroken:

$$AR = b_0 - 0,041ADT \quad (22)$$

AR: aantal enkelvoudige ongevallen (rijbaan-af)per miljoen motorvoertuigmijlen

ADT: gemiddeld aantal motorvoertuigen (*1.000) per etmaal

b_0 : constante die afhangt van het soort obstakelvrije ruimte (OSR): $b_0=0,361$ bij een 6:1 OSR, $b_0=0,510$ bij een 4:1 OSR en $b_0=0,787$ bij geen OSR

De vergelijkingen voor de drie soorten OSR zijn onderling statistisch significant verschillend wat het niveau betreft; de hellingen zijn wel gelijk. De rapportage vermeldt echter niet welke R^2 voor de vergelijking is gevonden. Een grafische presentatie van dit resultaat geeft de ongevallen per mijl per jaar (zie *Afbeelding 4.8*). Deze afbeelding staat ook vermeld in de eerder vermelde FHWA (1992).

Cleveland & Kitamura (1978) hebben een onderzoek gedaan naar enkelvoudige ongevallen in de staat Michigan. Zij constateren dat er een enorme variatie in dergelijke ongevallen bestaat die hun deed besluiten tot het opstellen van boomdiagrammen voor verschillende ongevalsubtypen. Het onderzoek levert ook ongevalsmodellen op voor verschillende intensiteitsklassen. De R^2 van elk model ligt echter nooit hoger dan 0,49

(daarom zijn ze hier niet opgenomen). Deze modellen bevatten, behalve de etmaalintensiteit, ook het percentage van de weglengte dat uit bogen bestaat, het percentage van de weglengte waarop een zichtbeperking geldt en het percentage van de weglengte waarin objecten binnen een bepaalde afstand tot de rijbaan voorkomen (variërend van 2 tot 9 meter).

4.3. Toepassing en relevantie

De kennis omtrent enkelvoudige ongevallen (rijbaan-af, berm, vast object) en obstakelvrije ruimten is nogal gedateerd. Ook recente publicaties grijpen (noodgedwongen) terug naar oud onderzoek. Merkwaardig, omdat nog steeds veel ongevallen van dit type te vinden zijn op rurale enkelbaans-wegen.

De gepresenteerde modellen zijn alle afkomstig uit het buitenland, en betreffen typisch rurale omstandigheden. De publicatie van FHWA (1992) suggereert dat het verantwoord is deze modellen in de praktijk toe te passen. Deze modellen vormen ook de input van een IHSDM module.

In een duurzaam-veilig verkeerssysteem zijn tot nu toe enkelvoudige ongevallen onderbelicht gebleven. Het fenomeen obstakelvrije zone zou meer aandacht moeten krijgen. Het is zeker dat een dergelijke zone een gunstig heeft op de verkeersveiligheid. De optimale breedte ervan hangt van verschillende factoren af en verdient meer (vernieuwde) onderbouwing.

5. Kruispunten

In verscheidene landen doet men onderzoek naar modellen voor ongevallen op kruispunten. In het Verenigd Koninkrijk is al een lange traditie op dat gebied; Tanner publiceerde (al) in 1953 al 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 in de vorige hoofdstukken beschreven modellen die vooral de rurale wegen beschrijven.

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

$$A = c * Q_1^a * Q_2^b \quad (23)$$

- A: aantal ongevallen
- c: geschatte parameter
- Q_1 : (etmaal)intensiteit van naderende voertuigen op de hoofdstroom
- Q_2 : (etmaal)intensiteit van naderende voertuigen op de zijstroom
- a: geschatte parameter
- b: geschatte parameter

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

$$A = c * Q_1^a * Q_2^b * K \quad (24)$$

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

In de Noordse landen tracht men de invloed van het fietsverkeer in te bouwen. Er loopt nu een onderzoek met als doel een Zweeds model (Brüde & Larsson, 1993) op het punt van fietsverkeer beter te kunnen schatten. Daarin gebruikt men ook gegevens uit Nederland.

5.1. Rurale kruispunten

Kulmala (1995) heeft uitgebreid onderzoek gedaan naar modellen voor rurale kruispunten met drie of vier takken. De modellen zijn geschat door gegevens te gebruiken van 915 kruispunten met drie takken en 847 met vier takken; hierbij horen respectievelijk 1.749 en 2.323 ongevallen.

Van elk kruispunten zijn ruim dertig geometrische en overige kenmerken bekend. De hoeveelheid autoverkeer is geteld voor de hoofd- en zijstroom; de hoeveelheid niet-gemotoriseerde verkeer ('vulnerable road users') is alleen geschat.

Kulmala (1995) schat modellen voor verschillende ongevalstypen:

- alle ongevallen;
- letselongevallen;

- letselongevallen met niet-gemotoriseerd verkeer;
- enkelvoudige ongevallen;
- ongevallen tussen kruisende voertuigen;
- kop-staartongevallen;
- ongevallen met afslaande voertuigen.

In de meeste gevallen zijn per ongevalstype twee modellen geschat: voor drie takken en voor vier takken. In elk model verschijnen weer andere combinaties van kenmerken X.

De modellen van Kulmala hebben de volgende vorm:

$$A = I^{\alpha} * p^{\beta} * e^{\Sigma \gamma X} \quad (25)$$

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

Pickering et al. (1986) hebben de ongevallen op 302 rurale T-kruispunten gemodelleerd volgens de modelvormen (23) en (25). Deze kruispunten liggen in 'Principal and Trunk roads'. De meeste kruispunten hebben een hoofdstroom van minder dan 10.000 voertuigen per etmaal, ongeveer 30% heeft een hogere intensiteit, met een maximum van 22.000. Geometrische en overige kenmerken van elk kruispunt zijn uitgebreid geïnventariseerd. Ook werd onderscheid gemaakt naar zes verschillende verkeersstromen, namelijk alle naderende stromen verdeeld naar richting. In de analyse zijn allerlei combinaties van deze stromen gekozen, afhankelijk van het onderzochte ongevalstype.

Pickering et al. maken in de analyse een onderscheid tussen ongevallen die zijn gelokaliseerd tussen 0 en 20 meter vanaf het kruispunt en ongevallen tussen 20 en 100 meter er vanaf, het betreft respectievelijk 674 en 296 ongevallen. De modellen voor ongevallen tussen 0 en 20 meter blijken een hoger niveau van significantie te hebben dan de modellen voor de verder weg gelokaliseerde ongevallen.

De onderzoekers hebben de modellen exploratief gebruikt. Er is bijvoorbeeld een aparte analyse uitgevoerd met 114 drukkere kruispunten (intensiteit tussen 8.000 en 22.000 voertuigen). Daaruit blijkt dat het ongevals niveau op kruispunten met een zogenoemde 'verkeersdruppel' 35% lager is dan op kruispunten zonder die voorziening.

Pickering et al. (1986) geven als beste resultaat van hun analyses het volgende (eenvoudige) model:

$$A = 0,24 * Q_p^{0,49} \quad (26)$$

O_p: Q_{hoofdstroom} * Q_{zijstroom}

5.2. Urbane of stedelijke kruispunten

Brüde & Larsson (1993) hebben ongevallen op kruispunten in dertig 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 ongevallen waarbij fietsers betrokken waren en 285 kruispunten met 165 ongevallen waarbij voetgangers betrokken waren. Alleen kruispunten met ten minste 100 passerende voetgangers of fietsers per dag zijn geselecteerd.

Brüde & Larsson gebruiken *Formule 23* 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 respectievelijk fietsers geteld.

Voor de ongevallen met voetgangers vinden zij:

$$AR_{voetg.} = 0,0201 * Q_{motorv.}^{0,50} * Q_{voetg.}^{-0,28} \quad (27)$$

$AR_{voetg.}$: aantal ongevallen waarbij voetgangers betrokken zijn per miljoen passerende voetgangers

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

$$AR_{fietser} = 0,0494 * Q_{motorv.}^{0,52} * Q_{fietser}^{-0,35} \quad (28)$$

In het Europese onderzoeksproject SAFESTAR tracht men dit model te verbeteren door gegevens uit Denemarken en Nederland toe te voegen. De belangstelling gaat vooral uit naar kruispunten met (veel) meer passerende fietsers.

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

$$AR_{fietser} = 0,0000180 * Q_{motorv.}^{0,52} * Q_{fietser}^{-0,65} \quad (29)$$

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 rechtevenredig 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 de volgende kruispunttypen in het stedelijk gebied:

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

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

Steeds is een groot aantal geometrische kenmerken en andere kruispuntkenmerken verzameld. Behalve motorvoertuigintensiteiten, heeft men ook de beschikking over aantallen overstekende voetgangers. Zoals bij Pickering et al. (1986) zijn de voertuigstromen 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 *Formule 23* of *Formule 25*. Deze modellen vereisen wel een bepaalde nauwkeurigheid van de invoergegevens. In dit geval is speciaal rekening gehouden met de grote onzekerheid in de beschikbare intensiteitsgegevens (Summersgill et al., 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 et al. (1996) hebben 980 kruispunten met drie takken en een voorrangsregeling onderzocht. Het aantal ongevallen op deze kruispunten bedroeg 2.699 in vijf jaar. De snelheidslimiet was 30 mijl/uur op 790 kruispunten en 40 mijl/uur op 190 kruispunten.

Taylor et al. (1996) onderzochten 221 kruispunten met drie takken en geregeld met verkeerslichten waarop in zes jaar 2.262 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;
- bajonet-aansluitingen en voorrang voor de hoofdstroom.

Layfield et al. selecteerden 300 kruispunten/aansluitingen met in totaal 2.917 ongevallen. Het aantal kruispunten, links/rechts bajonetten en rechts/links bajonetten bedroeg respectievelijk 202, 47 en 51. Deze kruispunttypen waren elk weer verdeeld in twee verschillende snelheidslimieten (30 en 40 mijl/uur).

Dit onderzoek van Layfield et al. geeft, evenals 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 wegontwerpers een helder advies te geven omtrent veilige combinaties van wegkenmerken gegeven bepaalde omstandigheden. Het basismateriaal 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 (23) geschat met gegevens over 1.036 urbane kruispunten. De parameters a, b en c zijn voor letselongevallen op verschillende kruispunttypen in *Tabel 5.1* opgenomen.

Letselongevallen	Parameters in model (23)		
	c	a	b
Drie takken, voorrangregeling	$2,98 \cdot 10^{-6}$	0,81	0,52
Drie takken, verkeersregelinstallatie	$7,04 \cdot 10^{-8}$	1,36	0,32
Vier takken, voorrangregeling	$1,68 \cdot 10^{-4}$	0,36	0,58
Vier takken, verkeersregelinstallatie	$8,62 \cdot 10^{-5}$	0,52	0,47

Tabel 5.1. *Parameters in het Deense modelvorm (23).*

Het Road Directorate heeft ook modellen opgesteld waarin allerlei geometrische kenmerken 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 5.1.*

5.3. 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.

6. Conclusies en aanbevelingen

Horizontaal alignement: bogen

De meeste kennis over kwantitatieve relaties tussen ongevallen en boogkenmerken heeft betrekking op enkelbaanswegen buiten de bebouwde kom. Dergelijke wegen vallen in Nederland onder het RONA-regime. In de RONA-richtlijnen is geen kwantitatieve informatie opgenomen over boogkenmerken in relatie tot ongevallen. Een rechtstreekse toepassing van de opgenomen formules lijkt niet zonder meer mogelijk, gelet op de verschillen in verkeersomstandigheden tussen beide landen. De beginselen van de genoemde Amerikaanse formules gelden hier echter uiteraard ook, namelijk een zekere relatie tussen enerzijds het aantal ongevallen en anderzijds de boogstraal, de overgangsbogen, de boogbreedte en de lengte van de boog. Het is echter anders voor de absolute hoogte van het berekende aantal ongevallen en voor de onderlinge verhoudingen tussen de verschillende variabelen in de formule. Er zou aanvullend onderzoek nodig zijn om die Nederlandse toepassing van de formule mogelijk te maken. Zegeer et al. beschikten over gegevens van een zeer groot aantal bogen van verschillende aard. In Nederland is een veel kleiner aantal bogen in het wegennet aan te treffen en het is dan geen geringe opgave om een gegevensbestand op te bouwen dat voldoende groot is om ongevallenanalyses mee uit te voeren.

Horizontaal alignement: relation design

Duitsland en Zwitserland hebben in hun richtlijnen een procedure voor het 'relation design' bij het horizontale alignement. De Duitse procedure (versie 1984) is letterlijk overgenomen in de Nederlandse RONA (hoofdstuk IV, Alignement, 1989).

De Amerikanen beschikken over de methoden van Lamm et al. (1994) en over de methode van Krammes & Glascock (1992). Deze methoden zijn echter niet opgenomen in de ontwerprichtlijnen.

Krammes (1997) laat zien dat de 'consistency module' van de IHSDM een procedure gaat bevatten die veel lijkt op de methode die Krammes & Glascock (1992) propageren. Daarmee zal de toepassing van die methode sterk toe gaan nemen.

In alle hier geschetste benaderingen van 'relation design' is het fenomeen 'boog' dominant. Merkwaardig genoeg spelen kruispunten een geringe rol. Dit komt waarschijnlijk voort uit het soort wegen dat men heeft bestudeerd. Dat zijn vooral rurale wegen met weinig verkeer, een lage frequentie van kruispunten met een zeer gering aantal ontmoetingen op die kruispunten. Ongevallen concentreren zich daarom op de overige punten waar de bestuurder extra aandacht moet geven, namelijk de bogen.

In de Nederlandse regels (functionele eisen) voor een duurzaam-veilig wegennet ontbreken voorsnog expliciete regels omtrent 'relation design'. Dergelijke regels zouden iets moeten eisen omtrent de V_{85} die in de achtereenvolgende ontwerpelementen niet in te grote sprongen mag variëren. Ook zouden ze iets moeten eisen omtrent maximale verschillen tussen V_{85} en ontwerpsnelheid. Het kan zijn dat de ware 'duurzaam-veilig' aanhanger dergelijke regels al gebruikt of impliciet leest in de bestaande regels. Door dergelijke regels echter expliciet toe te voegen en toe te lichten, verminderen we de kans op verkeerde interpretaties.

Dwarsprofiel: rijbaan

De modellen voor dwarsprofielen zijn voornamelijk afkomstig uit de Verenigde Staten. Daarmee zijn die modellen vooral geschikt voor de daar geldende omstandigheden: rurale wegen met lange wegvakken en weinig verkeer. De hoeveelheid gegevens die de grondslag vormt voor die modellen, is overweldigend. De Amerikaanse praktijk kan deze modellen goed toepassen. In IHSDM zal deze toepassing verder vorm krijgen. In Nederland kunnen we de aangetroffen modellen niet zomaar overnemen. Er is veel inspanning nodig om in Nederland voldoende gegevens te verzamelen om dergelijke modellen te schatten.

Voor een duurzaam-veilig verkeerssysteem zijn dergelijke modellen geschikt om de invloed van de verschillende ontwerpelementen op het aantal ongevallen vast te stellen en daarmee na te gaan welke ongevallen verdwijnen door rigoreuze aanpassing of eliminatie van een ontwerp-element.

Dwarsprofiel: bermen en obstakelvrije zone

De kennis omtrent enkelvoudige ongevallen (rijbaan-af, berm, vast object) en obstakelvrije ruimten is nogal gedateerd. Ook recente publicaties grijpen (noodgedwongen) terug naar oud onderzoek. Merkwaardig, omdat nog steeds veel ongevallen van dit type te vinden zijn op rurale enkelbaanswegen. Een nieuwe studie ernaar zou dit ongevalstype onder hedendaagse omstandigheden (wegen, verkeer, verkeersdeelnemers en voertuigen) kunnen belichten.

De beschikbare (en hier gepresenteerde) modellen zijn alle afkomstig uit het buitenland, en betreffen typische rurale omstandigheden. De publicatie van FHWA (1992) suggereert dat het verantwoord is deze modellen in de praktijk toe te passen. Deze modellen vormen ook de input van een IHSDM module.

In een duurzaam-veilig verkeerssysteem zijn tot nu toe enkelvoudige ongevallen onderbelicht gebleven. Het fenomeen obstakelvrije zone zou meer aandacht moeten krijgen. Het is zeker dat de aanwezigheid van een voldoende brede zone gunstig is. De optimale breedte ervan hangt van verschillende factoren af en verdient meer (vernieuwde) onderbouwing

Kruispunten

De modellen die, vooral in Europese 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. Automatisering van zowel de invoer van gegevens als van de modelkeuze zou de toepassing echter kunnen bevorderen.

Algemeen

Verscheidene ongevalsmodellen die in de Verenigde Staten tot stand zijn gekomen, blijken nu toepassing te gaan vinden in IHSDM. Daarmee past men kennis toe die in de jaren tachtig is opgedaan. Deze kennis heeft met name betrekking op rurale enkelbaanswegen. Ongevalsmodellen voor het dwarsprofiel van meerstrooks, urbane wegen treffen we ook aan in de

Verenigde Staten. En ongevalsmodellen voor urbane kruispunten lijken vooral een Europese aangelegenheid. De toepassing van veiligheids- en ongevalsmodellen in Europese ontwerprichtlijnen beperkt zich tot het 'relation design'.

In de Verenigde Staten beschikt men over unieke en omvangrijke databestanden. Europese landen zullen, gezien de lengte van hun wegennet, het niet moeten zoeken in grote databestanden. Zij zullen hun analysemethoden moeten afstemmen op de geldende beperkingen. Samenwerking tussen Europese landen kan deze beperkingen doen verminderen. In het Europese project SAFESTAR bijvoorbeeld, doet men een poging om een gezamenlijk gegevensbestand van urbane kruispunten op te zetten.

De toepassing van onveiligheids- en ongevalsmodellen in de dagelijkse ontwerppraktijk zal alleen mogelijk zijn als er betrouwbare modellen in omloop komen die men vervolgens verwerkt in richtlijnen en/of in modules van ontwerppakketten zoals bij IHDSM.

Een groot voordeel van rekenmodellen kan zijn dat de ontwerper 'veiligheid' tegenover andere beleids- en ontwerpaspecten 'hard' kan maken. Het model vertegenwoordigt veiligheidskennis die wellicht lokaal niet aanwezig is.

Een nadeel blijft dat modellen en richtlijnen meestal erg algemeen zijn ten opzichte van de specifieke omstandigheden van een concreet wegontwerp.

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.

Cardoso, J. (1996). *Estudo das relações entre as características da estrada, a velocidade e os acidentes rodoviários; Aplicação a estradas de duas vias e dois sentidos.* Ph.D. Thesis. Universidade Técnica de Lisboa & Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisbon.

Cardoso, J., Flouda, A., Dimitropoulos, I. & Kanellaidis, G. (1998). *Design consistency of horizontal alignment in rural roads.* Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisbon & National Technical University of Athens, Department of Transportation Planning and Engineering, Athens.

Cleveland, D.E. & Kitamura, R. (1987). *Macroscopic modeling of two-lane rural roadside accidents.* In: Transportation Research Record 681. Transportation Research Board, Washington, D.C.

Collins, K.M. & Krammes, R.A. (1996). *Preliminary validation of a speed-profile model for design consistency evaluation.* In: Transportation Research Record 1523. Transportation Research Board, Washington, D.C.

CROW (1997). *Kruispunten buiten de bebouwde kom; Aanbevelingen voor toepassing middengeleiders.* CROW, Ede.

ERSF (1996). *Technical guide on road safety for interurban roads (INTERSAFE).* European Road Safety Federation, Brussels.

FGSV (1984). *Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS); Teil: Linienführung (RAS-L). Abschnitt 1: Elemente der Linienführung (RAS-L-1).* Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln.

FGSV (1995). *Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS); Teil: Linienführung (RAS-L).* Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln.

FHWA (1992). *Safety effectiveness of highway design features. Volume III: Cross sections.* Publication No. FHWA-RD-91-046. Federal Highway Administration, Washington, D.C.

Fink, K.L. & Krammes, R.A. (1995). *Tangent length and sight distance effects on accident rates at horizontal curves on rural two-lane highways.* In: Transportation Research Record 1500. Transportation Research Board, Washington, D.C.

- Fitzpatrick, K., Shamburger, C.B., Krammes, R.A. & Fambro, D.B. (1997). *Operating speed on suburban arterial curves*. In: Transportation Research Record 1579. Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Garner, G.R. & Deen, R.C.(1973). *Elements of median design in relation to accident occurrence*. In: Highway Research Record 432. Highway Research Board, Washington, D.C.
- Glennon, J.C. & Joyner, C.A. (1969). *Re-evaluation of truck climbing characteristics for use in geometric design*. Research Report 134-2. Texas Transportation Institute. Texas A&M University.
- Graham, J.L. & Harwood, D.W. (1982). *Effectiveness of clear recovery zones*. National Cooperative Highway Research program. Report 247. Transportation Research Board, 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.
- Harwood, D.W. (1990). *Effective utilization of street width on urban arterials*. National Cooperative Highway Research program. Report 330. Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Harwood, D.W., St. John, A.D. & Warren, D.L. (1985). *Operational and safety effectiveness of passing lanes on two-lane highways*. In: Transportation Research Record 1026. Transportation Research Board, Washington, D.C.
- 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.
- Köppel, G. & Bock, H. (1979). *Fahrgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Kurvigkeit; Reihe Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*. Heft 269. Bundesminister für Verkehr, Bonn.
- Krammes, R.A. (1997) *Interactive Highway Safety Design Model: Design consistency module*. In: Public Roads. Sept./Oct. p. 47-51.
- Krammes, R.A., Rao, K.S. & Oh, H. (1995). *Highway geometric design consistency evaluation software*. In: Transportation Research Record 1500. Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Krammes, R.A. & Glascock, S.W. (1992). *Geometric inconsistencies and accident experience on two-lane rural highways*. In: Transportation Research Record 1356. Transportation Research Board, Washington, D.C.
- 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.

Kulmala, R. & Roine, M. (1988). *Accident prediction models for two-lane roads in Finland*. In: Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Traffic safety theory and research methods, April 26-28 1988, Amsterdam.

Lamm R. & Choueiri, E.M. (1987). *Recommendations for evaluating horizontal design consistency investigations in the State of New York*. In: Transportation Research Record 1122. Transportation Research Board, Washington, D.C.

Lamm, R. & Smith, B.L. (1994b). *Curvilinear alinement: An important issue for more consistent and safer road characteristic*. In: Transportation Research Record 1445. Transportation Research Board, Washington, D.C.

Lamm, R., Choueiri, E.M. & Hayward, J.C. (1988b). *Tangent as an independent design element*. In: Transportation Research Record 1195. Transportation Research Board, Washington, D.C.

Lamm, R., Choueiri, E.M., Hayward, J.C. & Paluri, A. (1988a). *Possible design procedure to promote design consistency in highway geometric design on two-lane rural roads*. In: Transportation Research Record 1195. Transportation Research Board, Washington, D.C.

Lamm, R., Guenther, A.K. & Choueiri, E.M. (1995). *Safety module for highway geometric design*. In: Transportation Research Record 1512. Transportation Research Board, Washington, D.C.

Lamm, R., Hayward, J.C. & Cargin, J.G. (1986). *Comparison of different procedures for evaluating speed consistency*. In: Transportation Research Record 1100. Transportation Research Board, Washington, D.C.

Lamm R., Steffen, H. & Guenther, A.K. (1994a). *Procedure for detecting errors in alinement design and consequences for safer redesign*. In: Transportation Research Record 1445. Transportation Research Board, Washington, D.C.

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.

Leisch, J.E. & Leisch, J.P. (1977). *New concepts in design-speed application*. In: Transportation Research Record 631. Transportation Research Board, Washington, D.C.

Lippold, C. (1996). *Weiterentwicklung der Relationstrassierung von Landstraßen*. In: Straßenverkehrstechnik No. 4, p. 165-171.

Mak, K. (1987). *Effect of bridge width on highway safety*. In: State-of-the-art Report 6. Transportation Research Board, Washington, D.C.

Mak, K. (1995). *Safety effects of roadway design decisions - roadside*. In: Transportation Research Record 1512. Transportation Research Board, Washington, D.C.

- Messer, C.J., Mounce, J.M. & Brackett, R.Q. (1981). *Highway design consistency related to driver expectancy. Volume III: Procedures for determining geometric consistency*. Publication No. FHWA-RD-81-037. Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- Minnen, J. van (1995). *Rotondes en voorrangregelingen*. R-95-58. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.
- Opiela, K.S., McGee, H.W., Hughes, W.E. & Daily, K. (1995). *Relationships between highway safety and geometric design*. Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Paniati, J.F. & True, J.(1996). *Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM); Designing highways with safety in mind*. In: Transportation Research Circular 453. Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Pickering, D., Hall, R.D. & Grimmer, M. (1986). *Accidents at rural T-junctions*. Research Report 65. Transportation and Road Research Laboratory, Crowthorne.
- Polus, A., Livneh, M. & Craus, J. (1984). *Effect of traffic and geometric measures on highway average running speed*. In: Transportation Research Record 960. Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Road Directorate (1995). *Uheldsmodeller for bygader. Del 1: Model for 3- og 4-benede kryds*. Notat 22. Trafiksikkerhed og Miljø, Vejdirektoratet, Copenhagen.
- RONA (1986). *Richtlijnen voor het ontwerp van niet-autosnelwegen. Hoofdstuk II: Dwarsprofielen*. Commissie RONA. Staatsuitgeverij, Den Haag.
- RONA (1989). *Richtlijnen voor het ontwerp van niet-autosnelwegen. Hoofdstuk IV: Alignement*. Commissie RONA. Staatsuitgeverij, Den Haag.
- RONA (1992). *Richtlijnen voor het ontwerp van niet-autosnelwegen. Hoofdstuk I: Basiscriteria*. Commissie RONA. Staatsuitgeverij, Den Haag.
- Schoon, C.C. & Bos, J.M.J. (1983). *Boomongevallen; Een verkennend onderzoek naar de frequentie en ernst van botsingen tegen obstakels in relatie tot de breedte van de obstakelvrije zone*. R-83-23. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.
- 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.

TRB (1987). *Designing safer roads. Practices for Resurfacing, Restoration, and Rehabilitation*. Special Report 214. Transportation Research Board, Washington, D.C.

Turner, D.S. (1984). *Prediction of bridge accident rates*. In: Journal of Transportation Engineering, Volume 110(1).

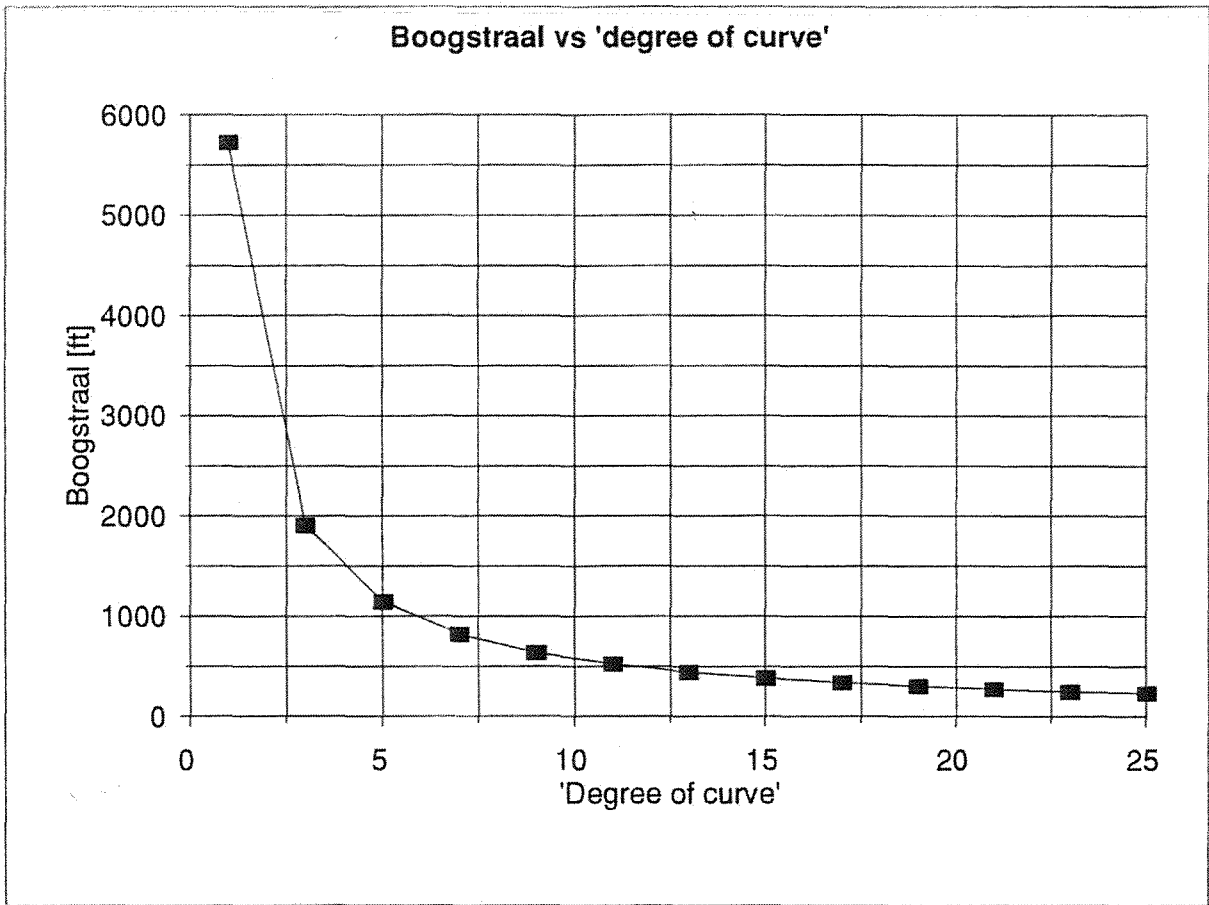
Zegeer, C.V., Stewart, R. & Council, F. (1994). *Roadway widths for low-traffic-volume roads. National Cooperative Highway Research program*. Report 362. Transportation Research Board, Washington, D.C.

Zegeer, C.V., Reinfurt, D.W., Hummer, J., Herf, L. & Hunter, W. (1988a). *Safety effects of cross-section design for two-lane roads*. In: Transportation Research Record 1195. Transportation Research Board, Washington, D.C.

Zegeer, C.V., Reinfurt, D.W., Hunter, W.W., Hummer, J., Stewart, R. & Herf, L. (1988b). *Accident effects of sideslope and other roadside features on two-lane roads*. In: Transportation Research Record 1195. Transportation Research Board, Washington, D.C.

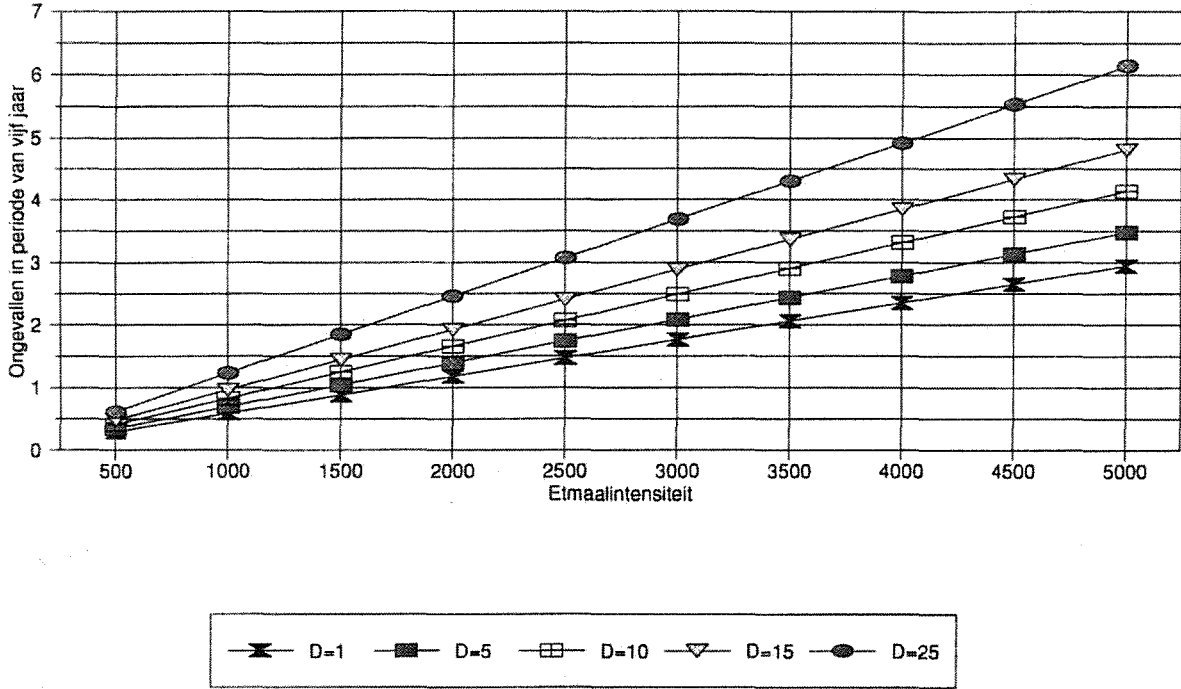
Zegeer, C.V., Stewart, R., Reinfurt, D., Council, F., Neuman, T., Hamilton, E., Miller, T. & Hunter, W. (1990). *Cost effective geometric improvements for safety upgrading of horizontal curves; Volume 1. Final report*. Highway Safety Research Center. University of North Carolina, Chapel Hill.

Afbeeldingen

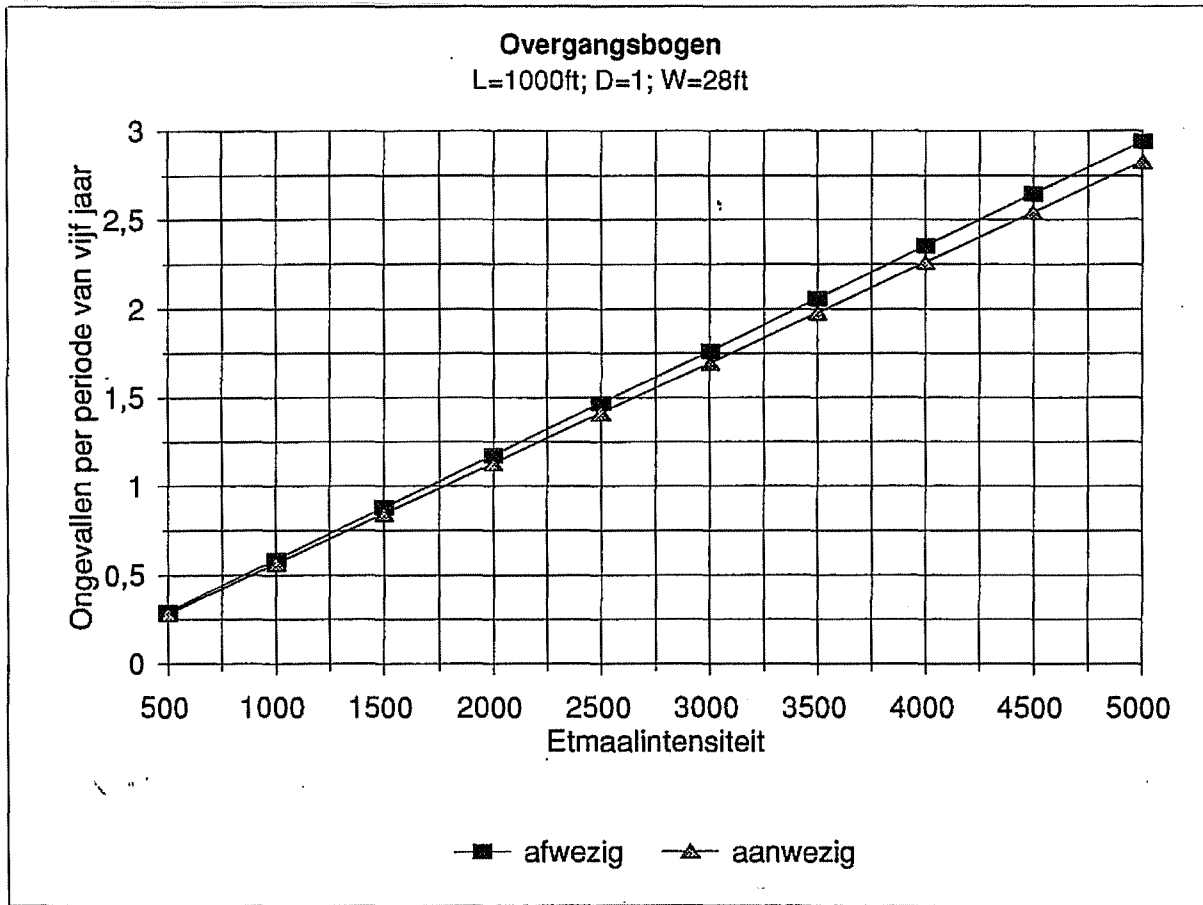


Afbeelding 3.1. *Boogstraal versus 'degree of curve'.*

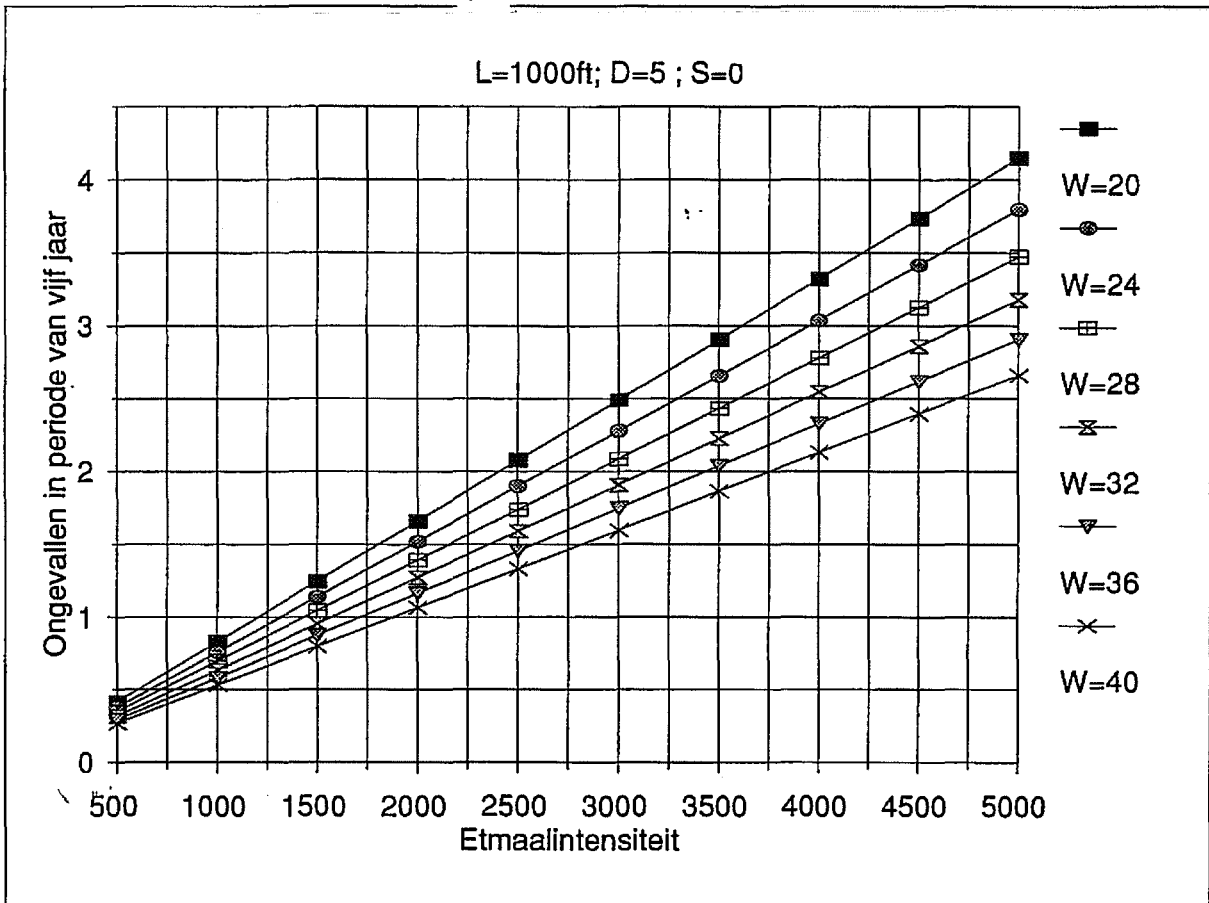
Ongevallen in bogen (Zegeer, 1990)
L=1000ft, S=0



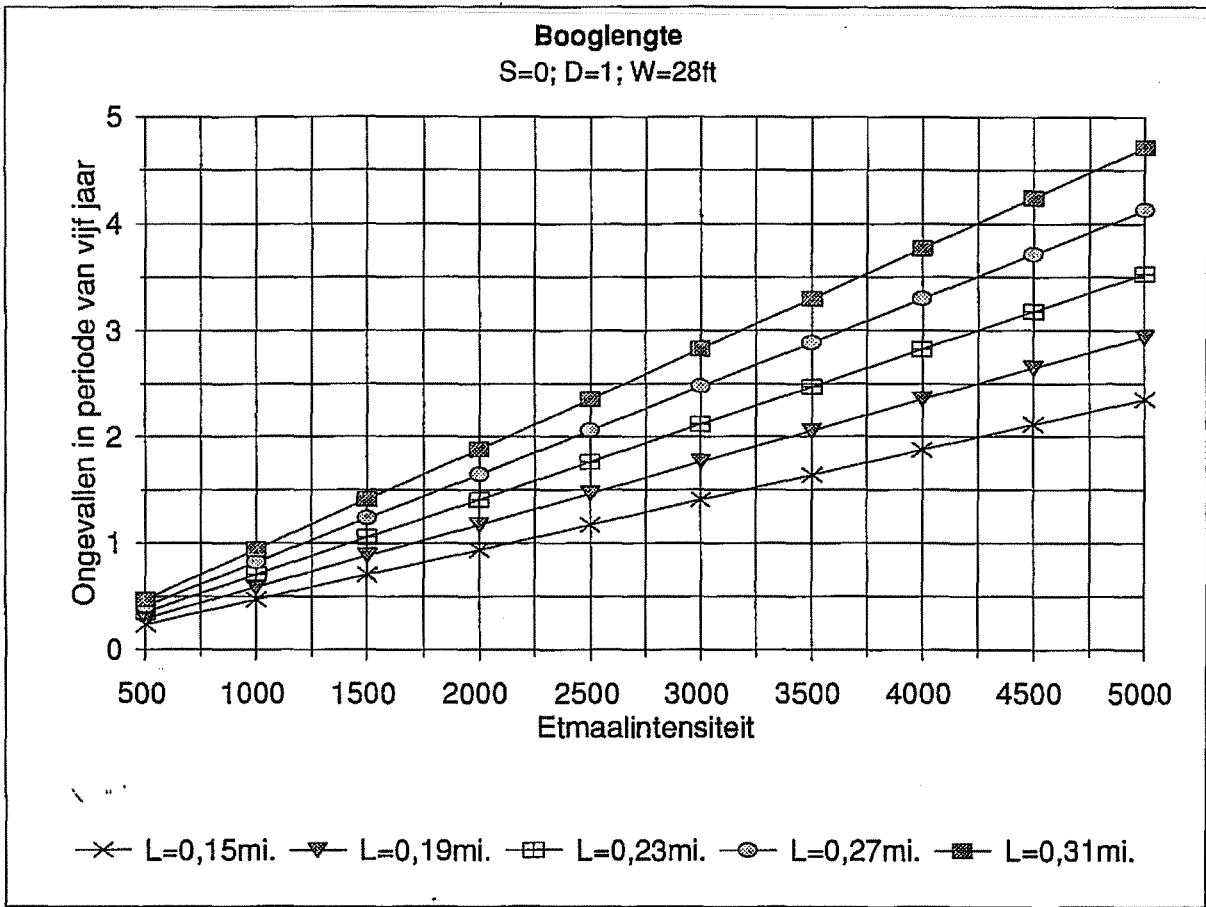
Afbeelding 3.2. Aantal boogongevallen gedurende vijf jaar versus etmaalintensiteit, afhankelijk van verschillende 'degree of curve' ($W = 28ft$).



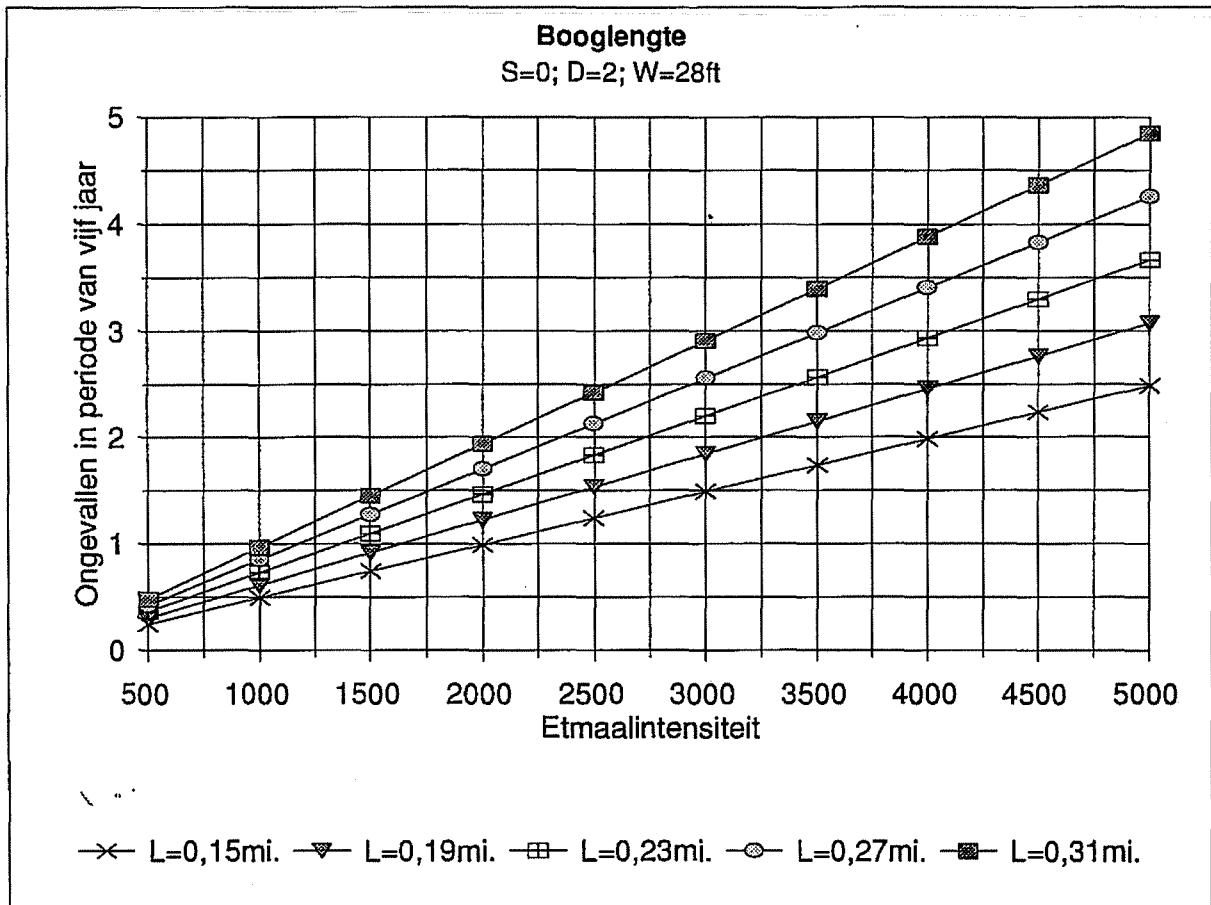
Afbeelding 3.3. Aantal boogongevallen gedurende vijf jaar versus etmaalintensiteit, afhankelijk van aanwezigheid van overgangsbogen.



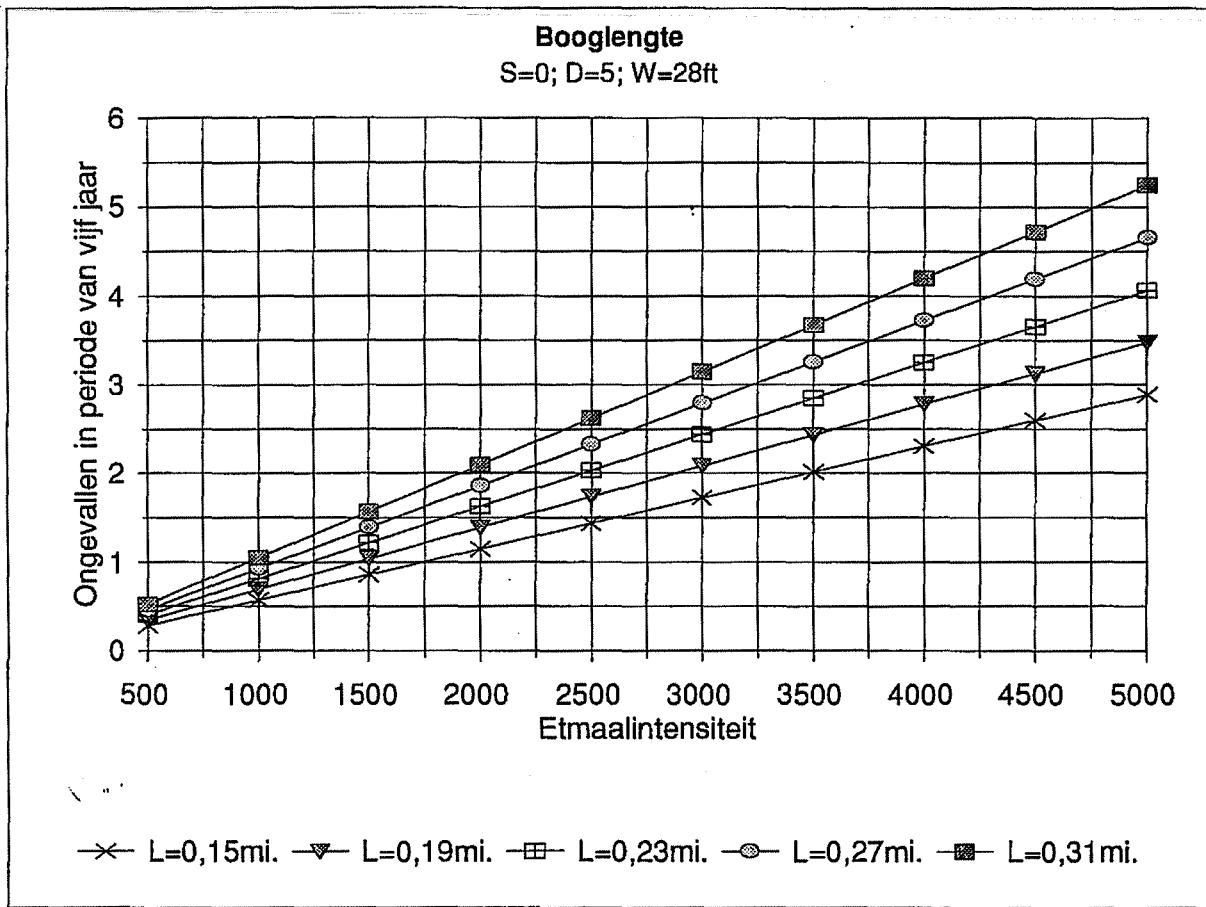
Afbeelding 3.4. Aantal boogongevallen gedurende vijf jaar versus etmaalintensiteit, afhankelijk van boogbreedte W (in ft).



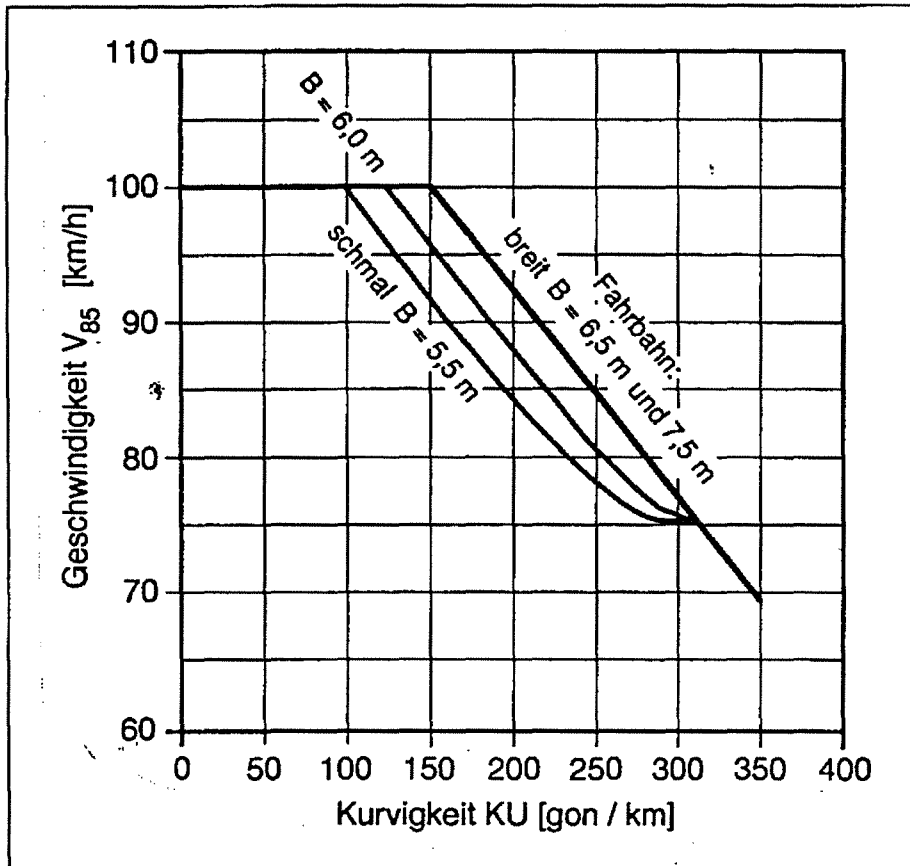
Afbeelding 3.5a. Aantal boogongevallen gedurende vijf jaar versus etmaalintensiteit, afhankelijk van booglengte; 'degree of curve' is gelijk aan 1.



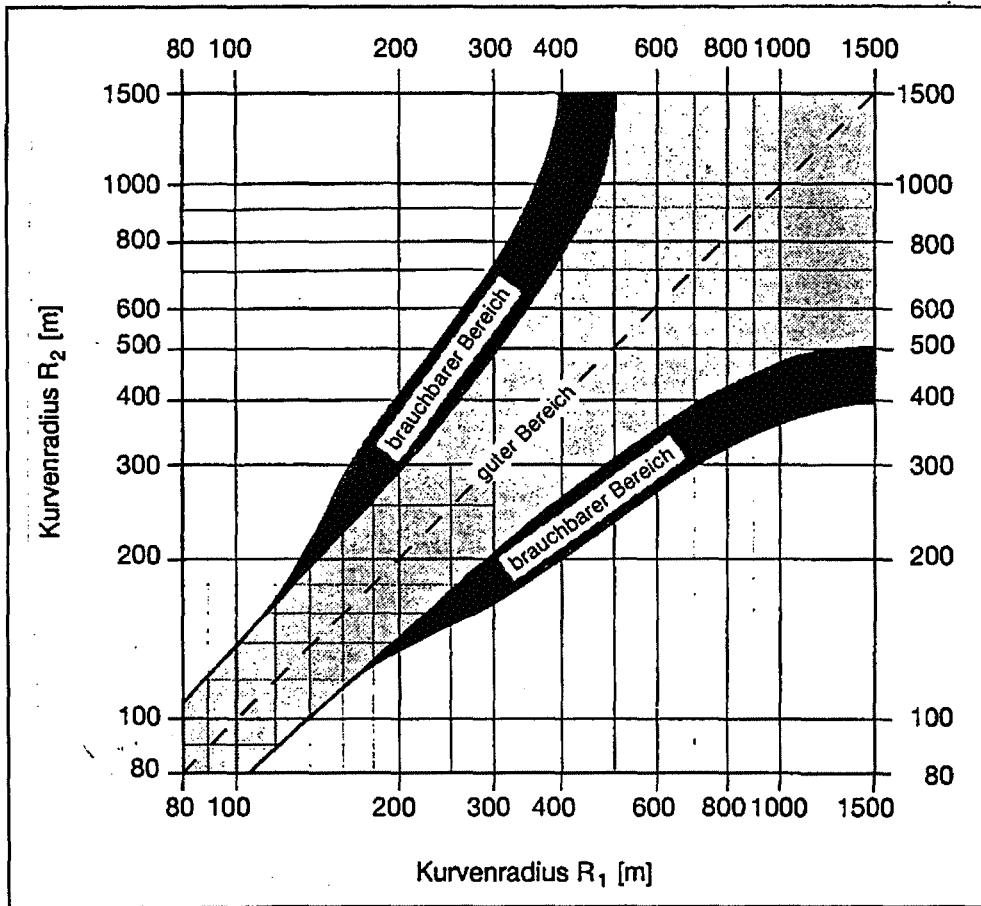
Afbeelding 3.5b. Aantal boogongevallen gedurende vijf jaar versus etmaalintensiteit, afhankelijk van booglengte; 'degree of curve' is gelijk aan 2.



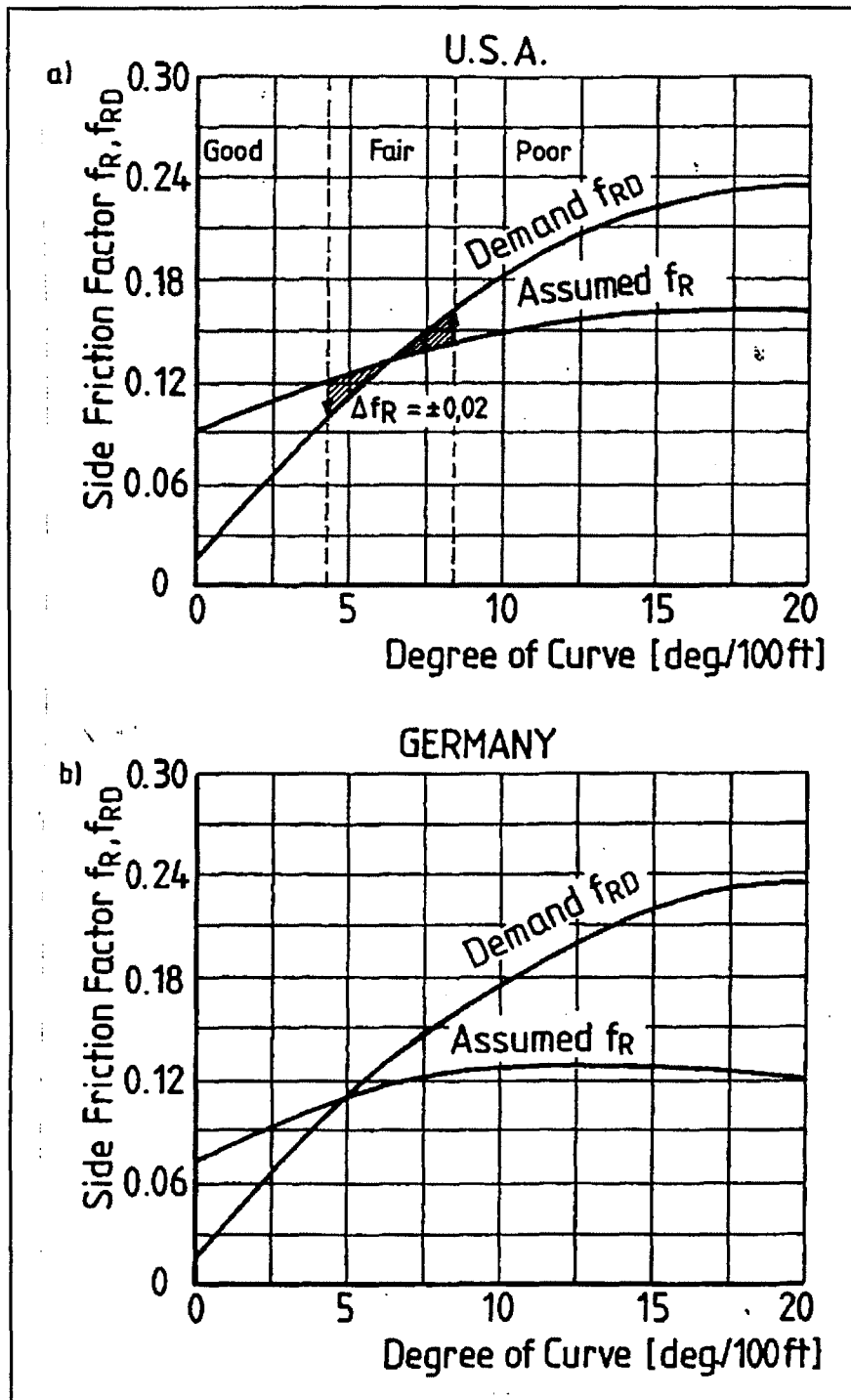
Afbeelding 3.5c. Aantal boogongevallen gedurende vijf jaar versus etmaalintensiteit, afhankelijk van booglengte; 'degree of curve' is gelijk aan 5.



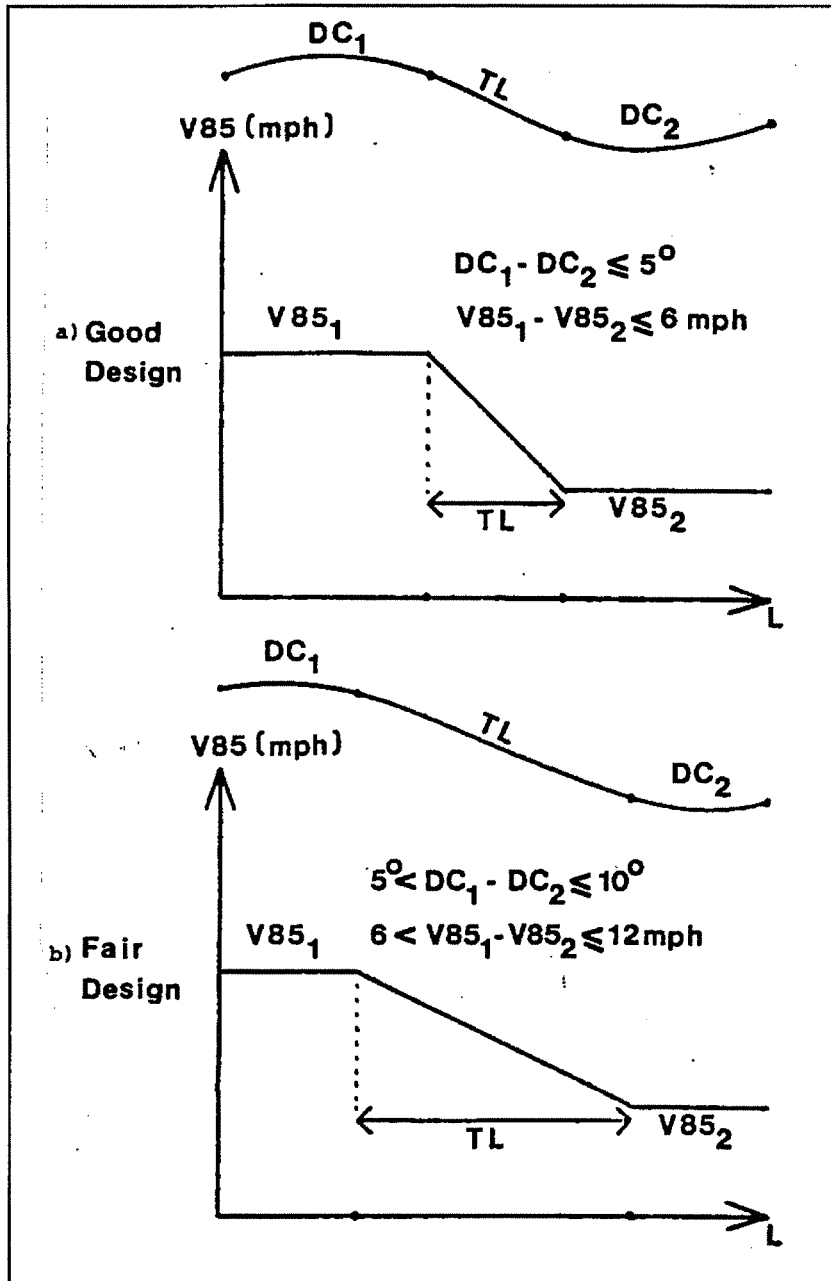
Afbeelding 3.6. V_{85} en bochtigheid.
Bron: FGSV.



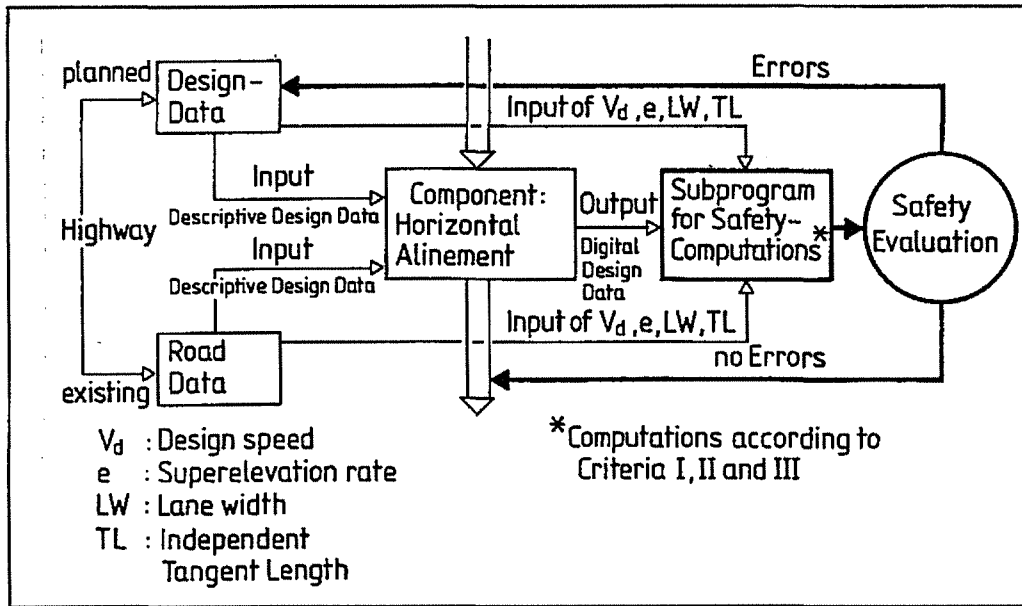
Afbeelding 3.7. Boogstralen van twee opeenvolgende bogen.
Bron: FGSV (1995).



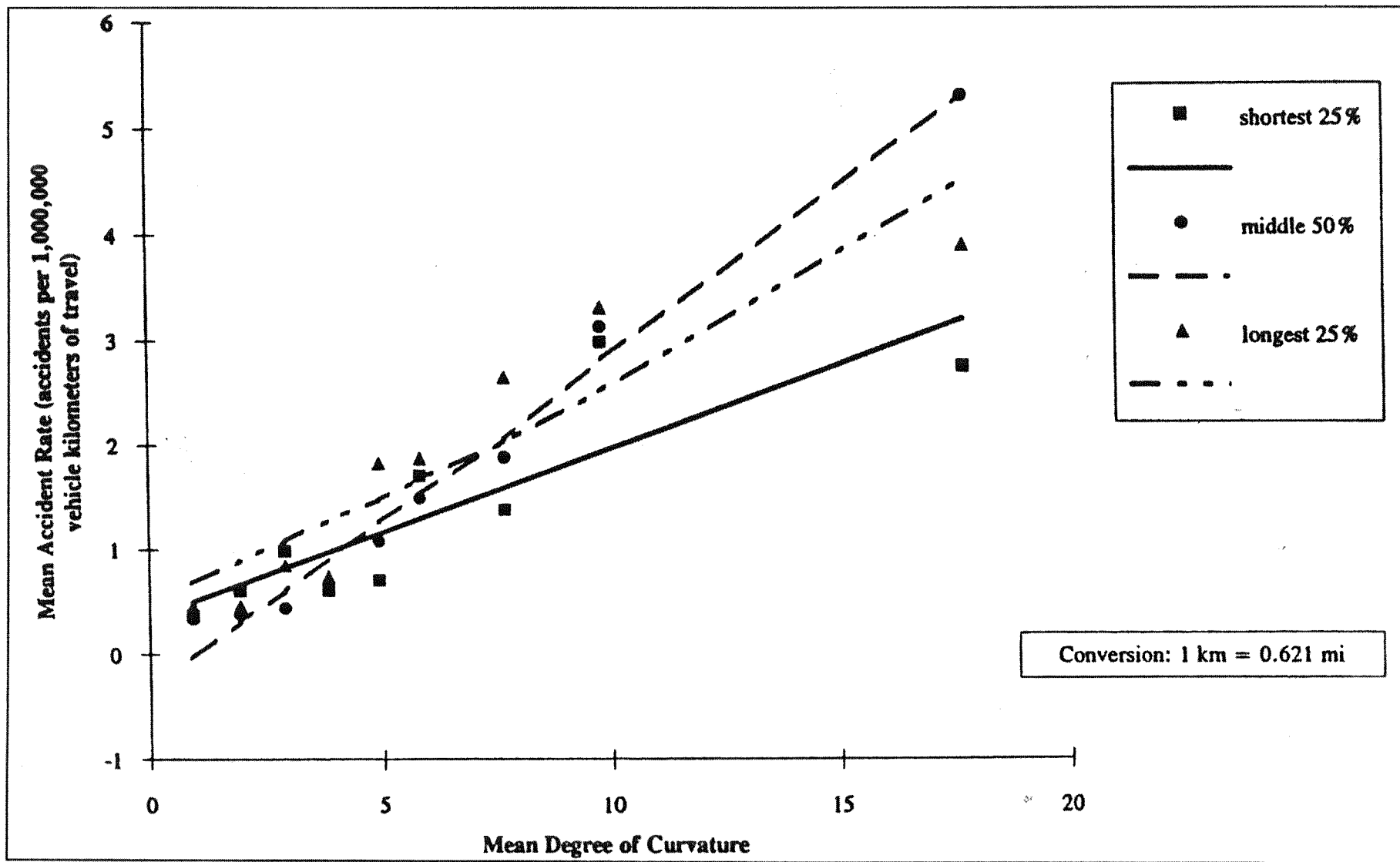
Afbeelding 3.8. Bochtigheid en zijdelingse wrijvingsweerstand in de Verenigde Staten en Duitsland.
Bron: Lamm et al. (1995).



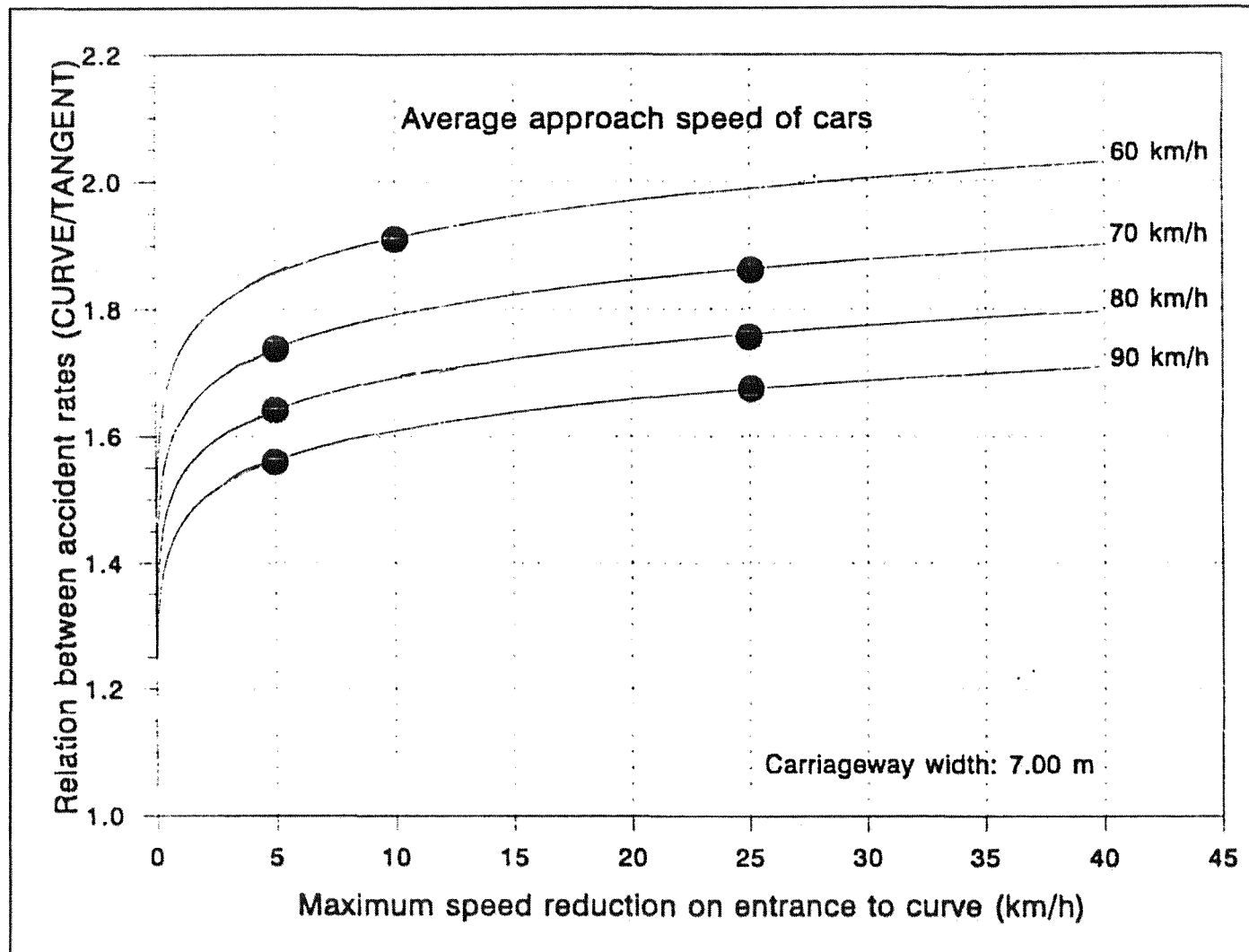
Afbeelding 3.9. Goed en slecht horizontaal alignement.
Bron: Lamm et al. (1988b).



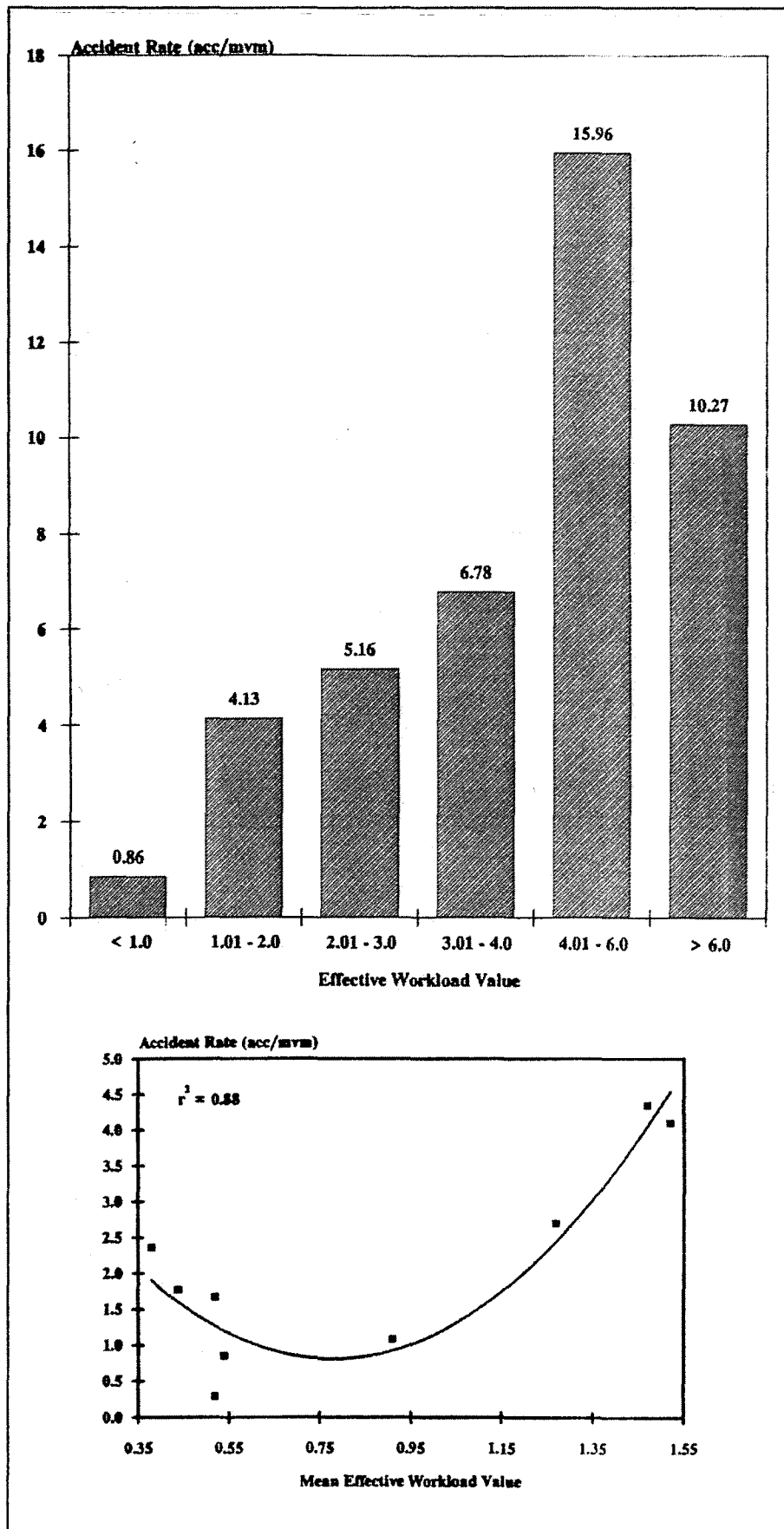
Afbeelding 3.10. Schema voor evaluatieproces.
 Bron: Lamm et al. (1994).



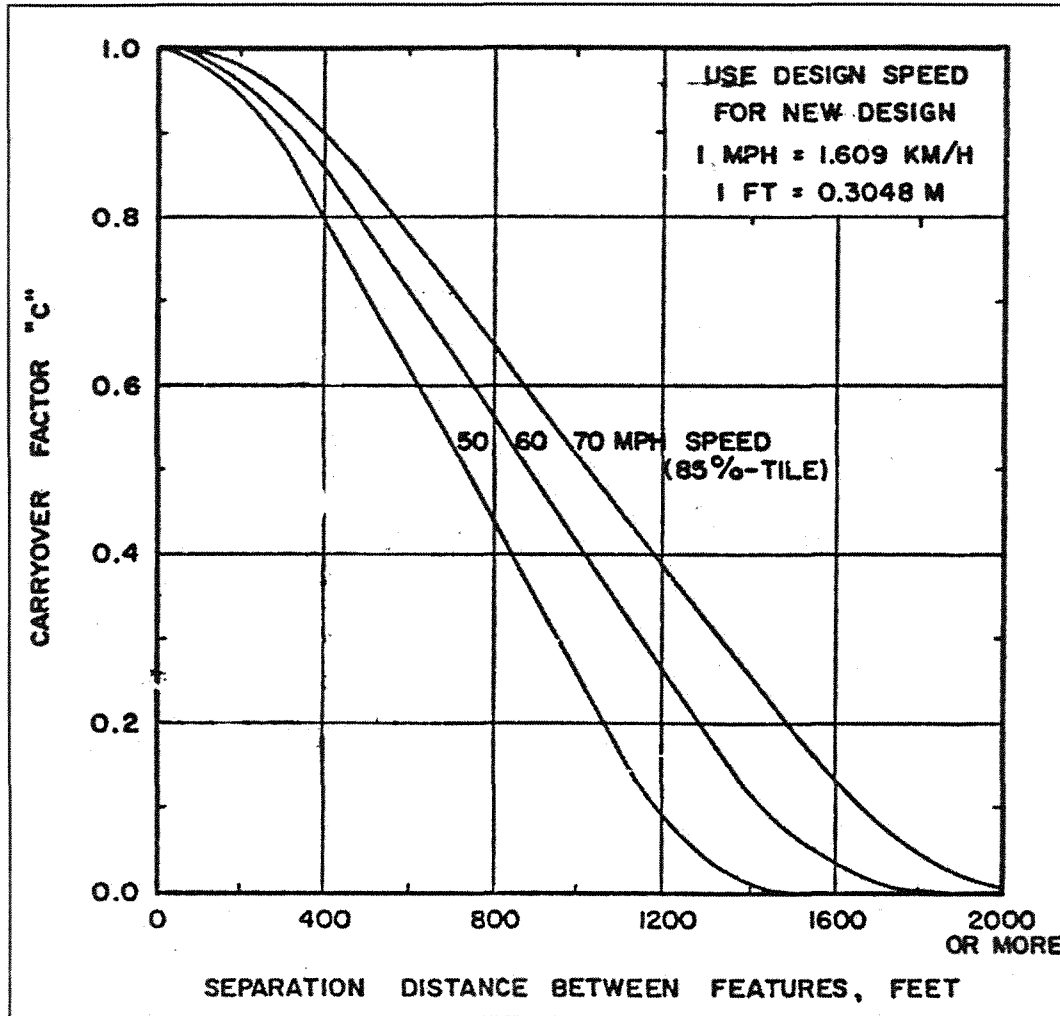
Afbeelding 3.11. Aantal ongevallen per miljoen voertuigkilometers versus 'degree of curve', voor drie verschillende lengteklassen van de rechtstand.
Bron: Fink & Krammes (1995).



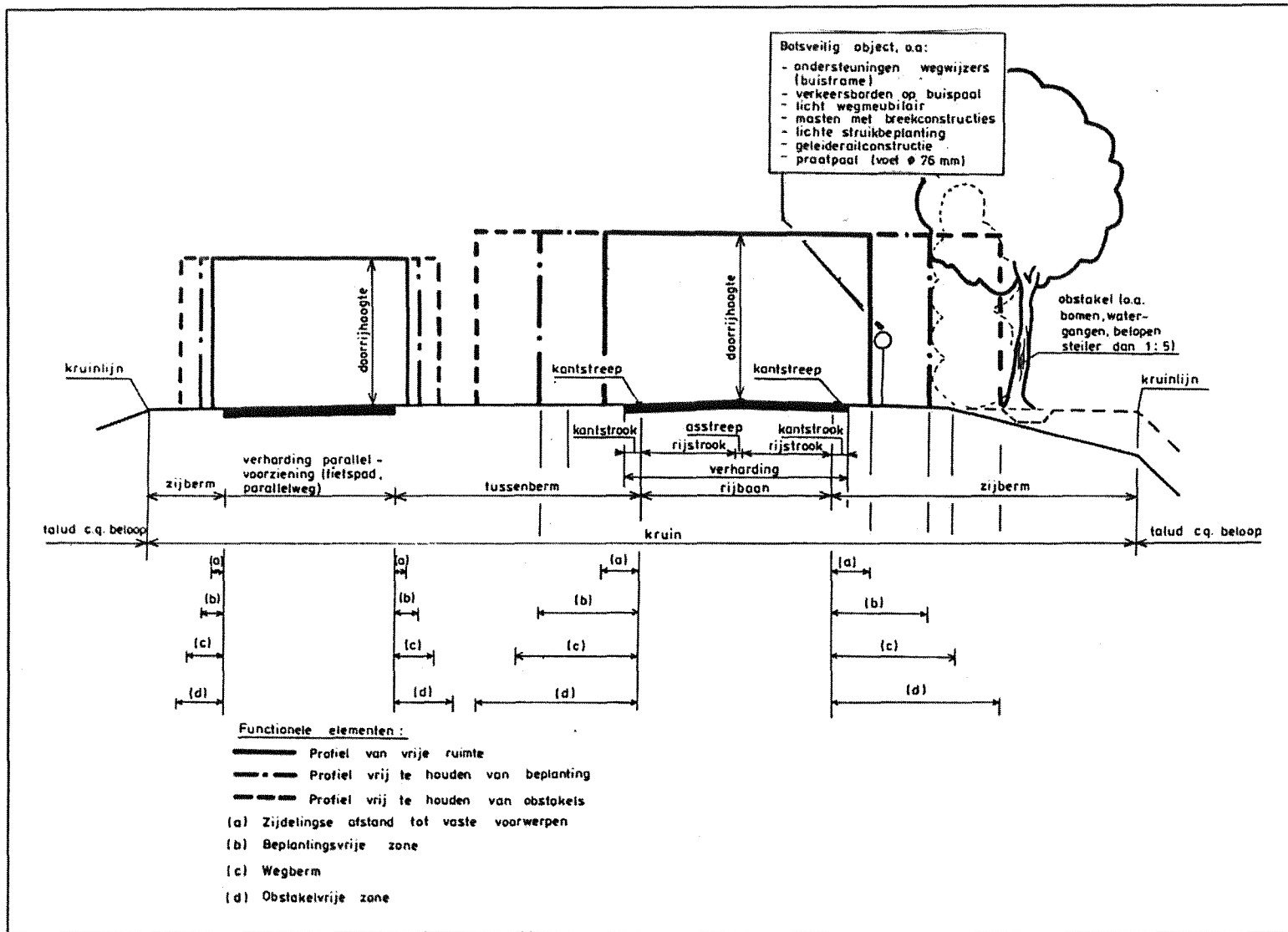
Afbeelding 3.12. Verhouding tussen ongevalsrisico in boog en voorgaande rechtstand versus snelheidsreductie bij ingaan van de boog.
Bron: Cardoso (1996).



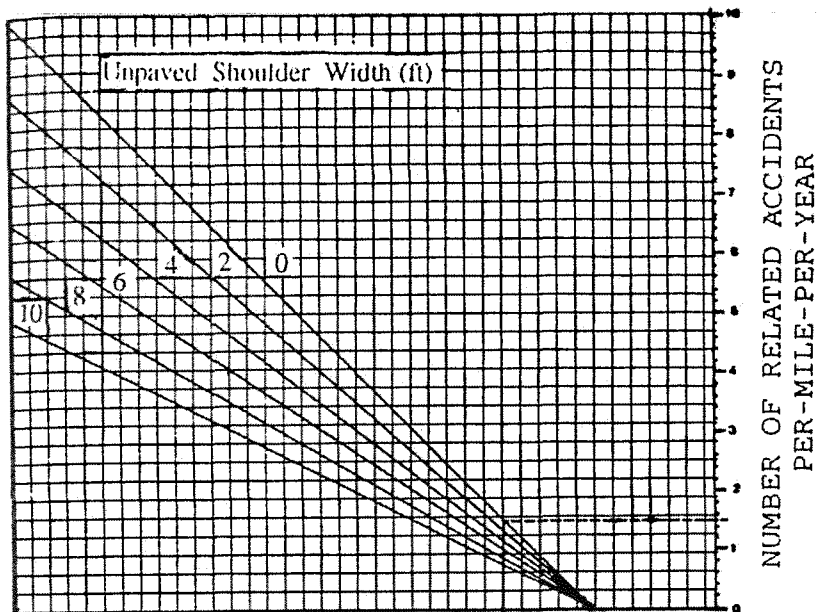
Afbeelding 3.13. Ongevalsrisico versus taakbelasting.
 Bron: Krammes & Glascock (1992).



Afbeelding 3.14. Overdrachtsfactor C versus afstand tussen ontwerpelementen.
Bron: Messer et al. (1981).

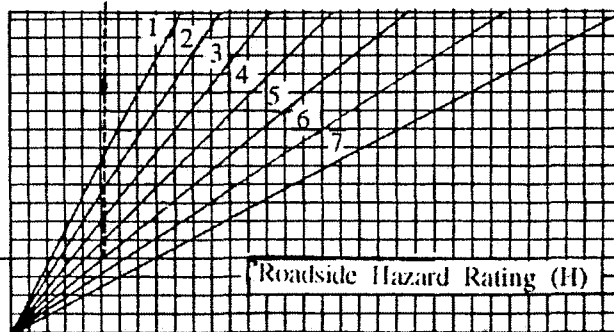
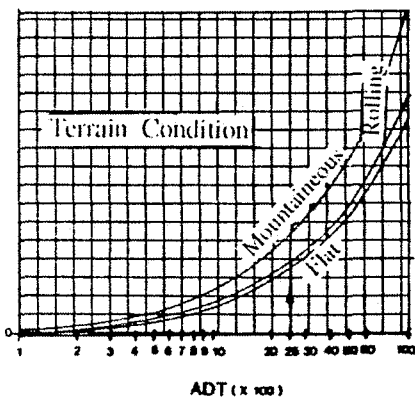
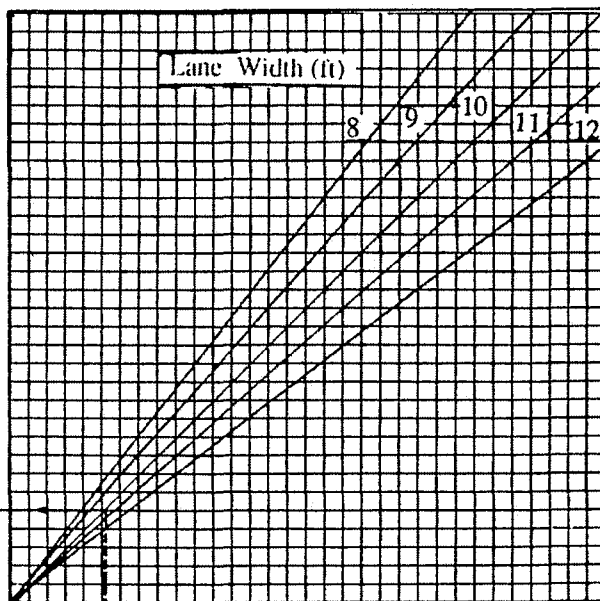
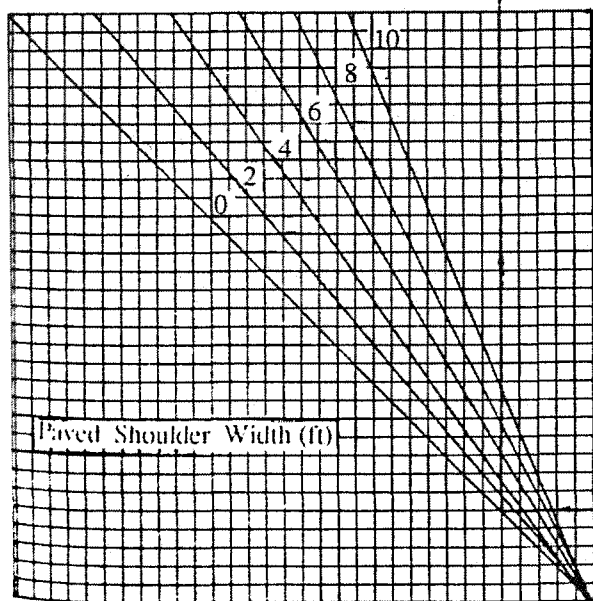


Afbeelding 4.1. Ontwerpelementen van het dwarsprofiel.
Bron: RONA (1986).

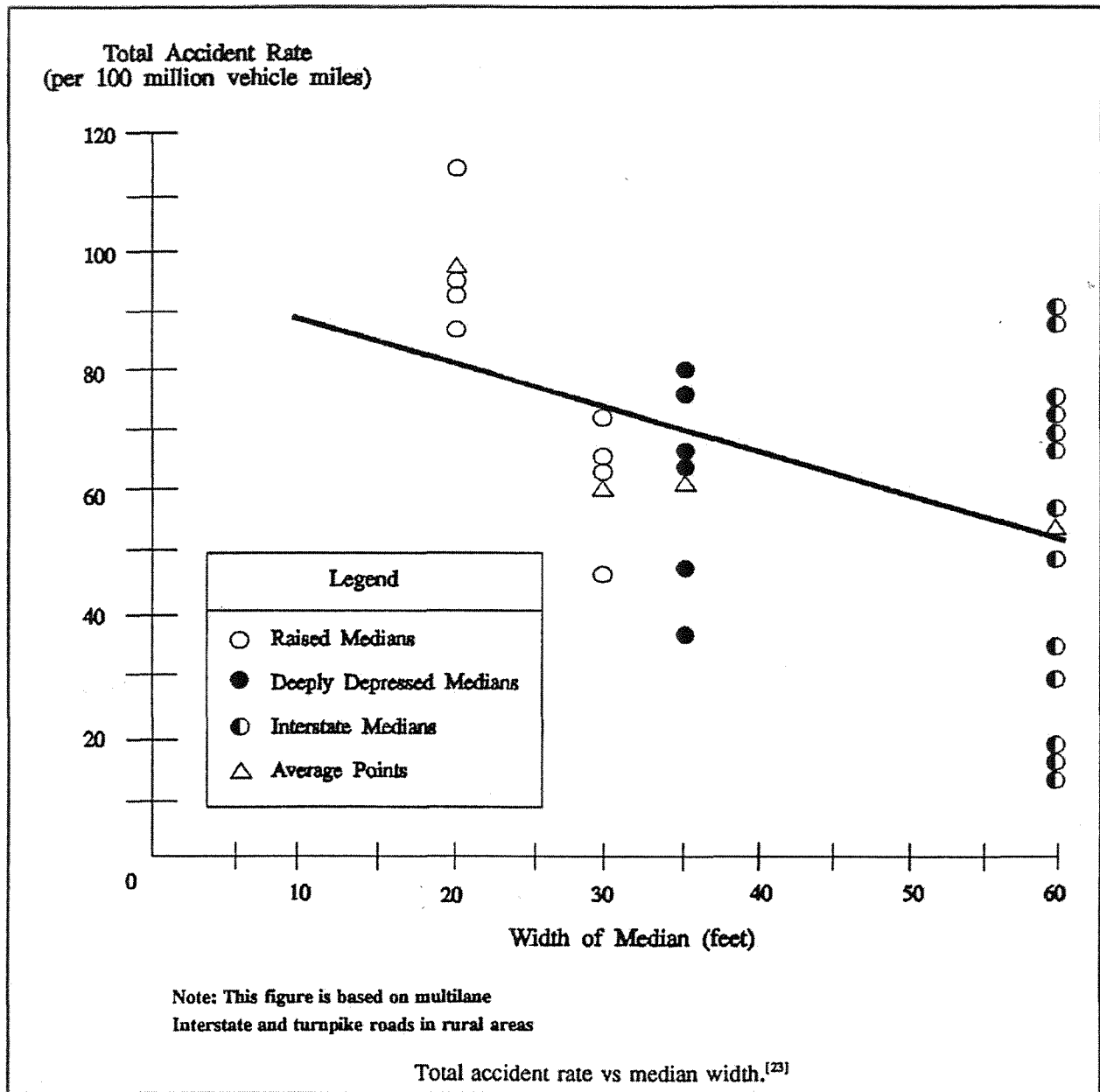


Conditions for Use

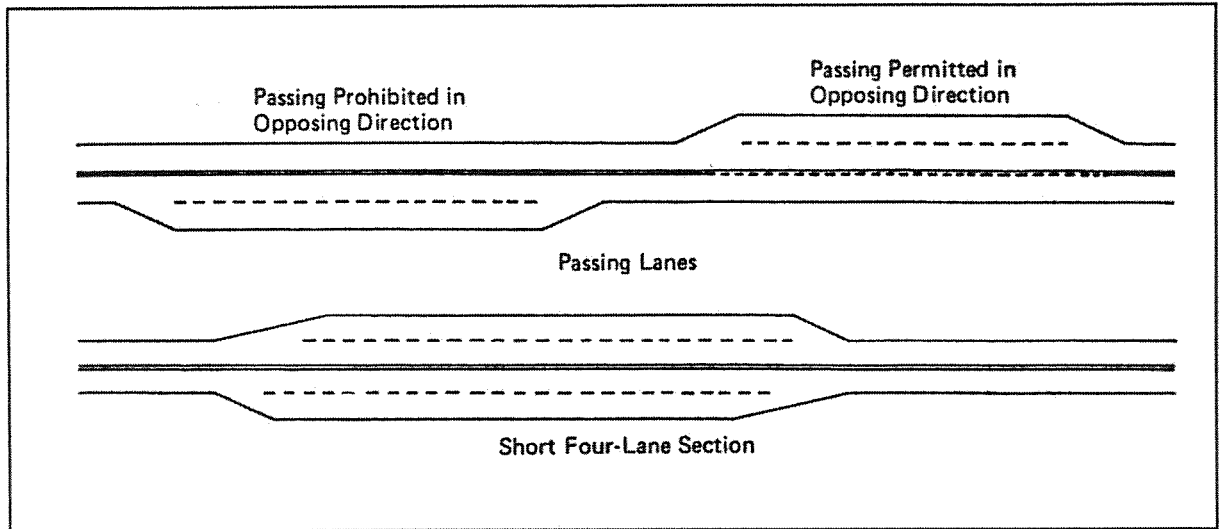
1. Two-lane rural roads with an average daily traffic (ADT) of 100 to 10,000.
2. Lane widths of 8 to 12 feet.
3. Shoulders of 0 to 12 feet wide which are paved or unpaved.



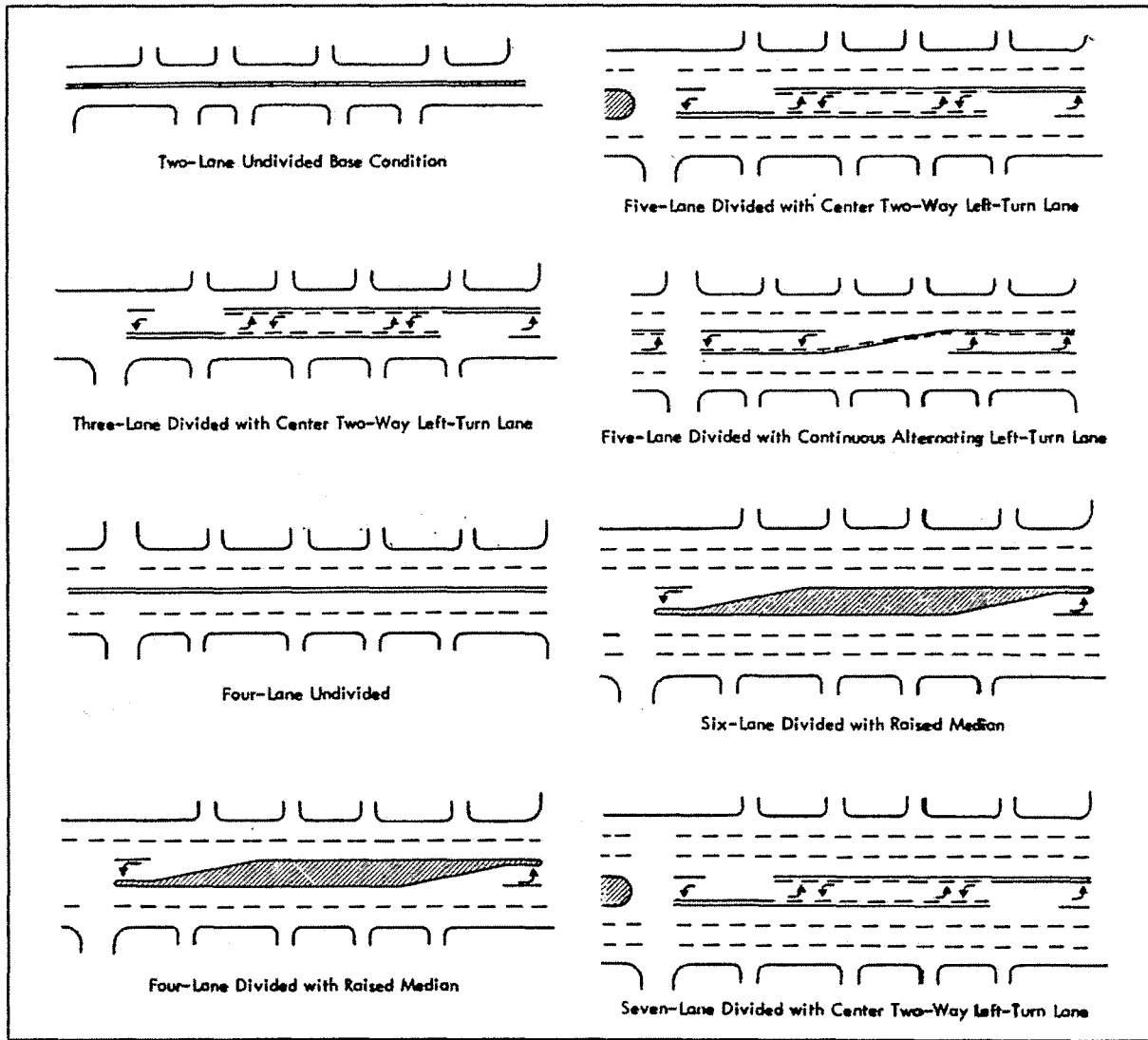
Afbeelding 4.2. Nomogram voor het vaststellen van het aantal ongevallen.
Bron: Zegeer (1994).



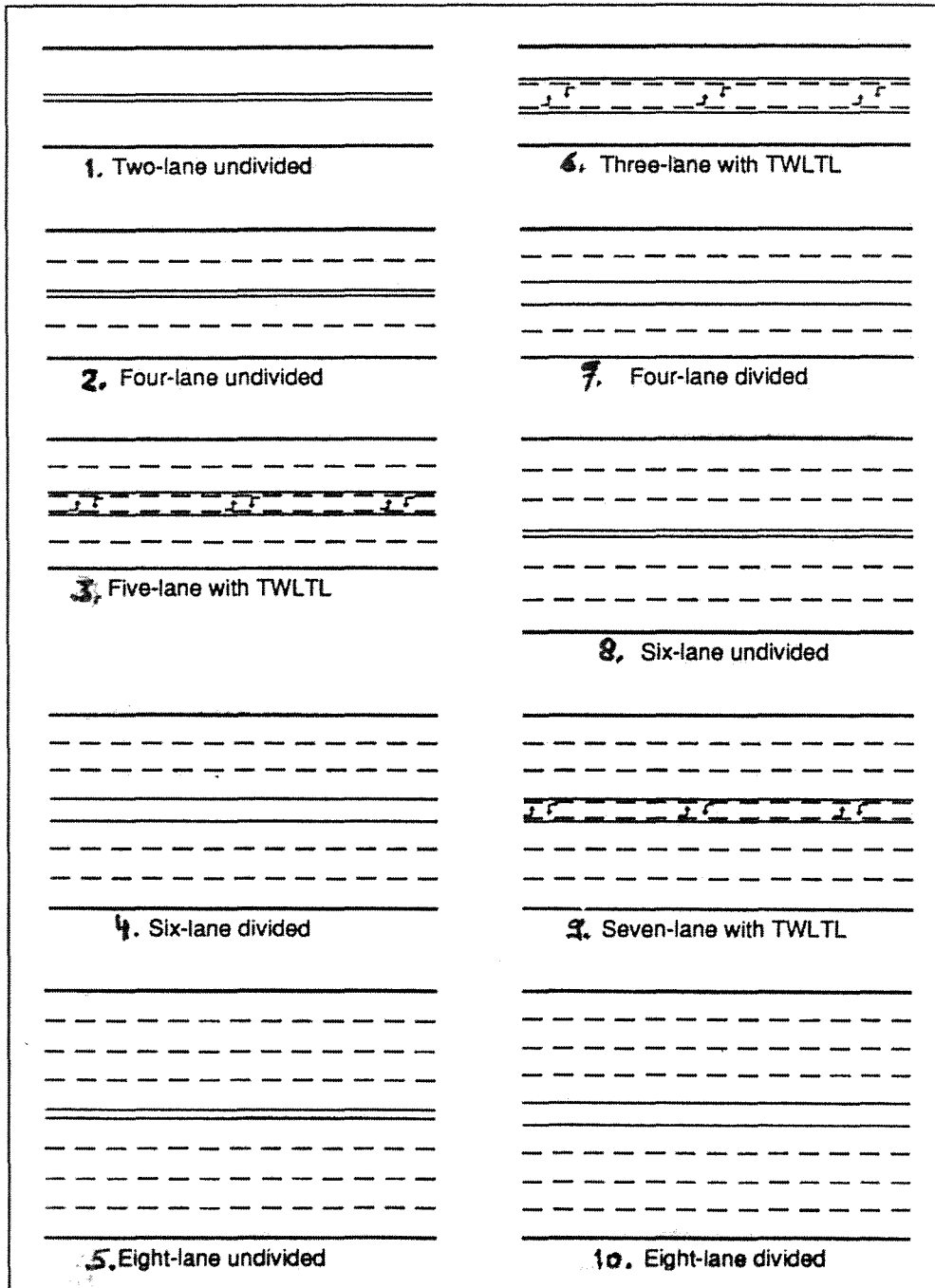
Afbeelding 4.3. Ongevalsrisico versus breedte van de middenberm.
Bron: FHWA (1992) (Bewerking van Garner & Deen, 1973).



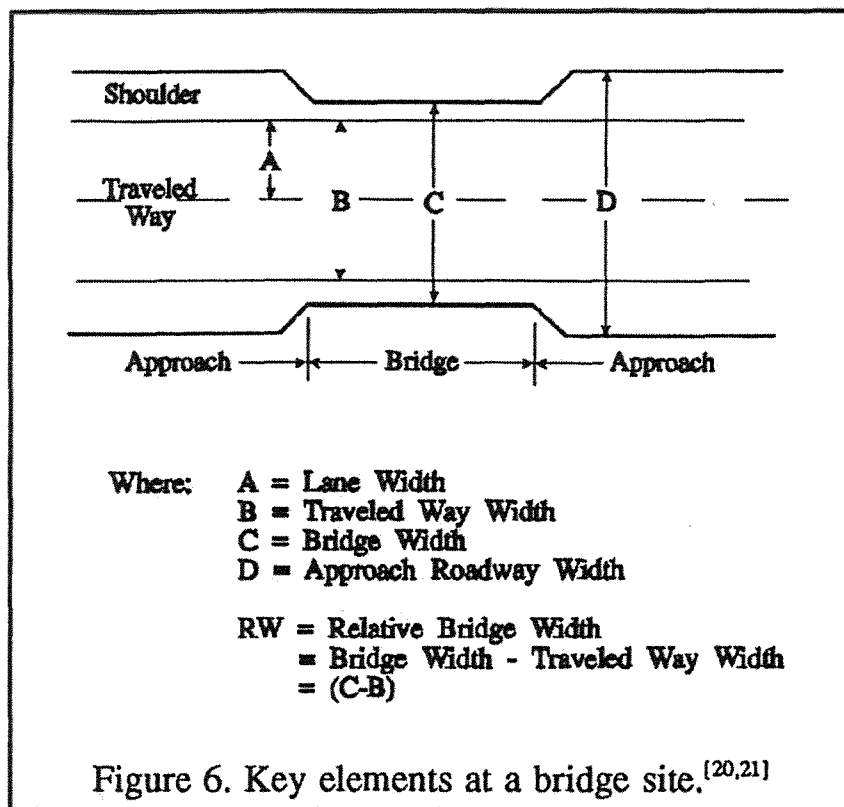
Afbeelding 4.4. Voorbeelden van passeerstroken.
Bron: Harwood et al. (1995).



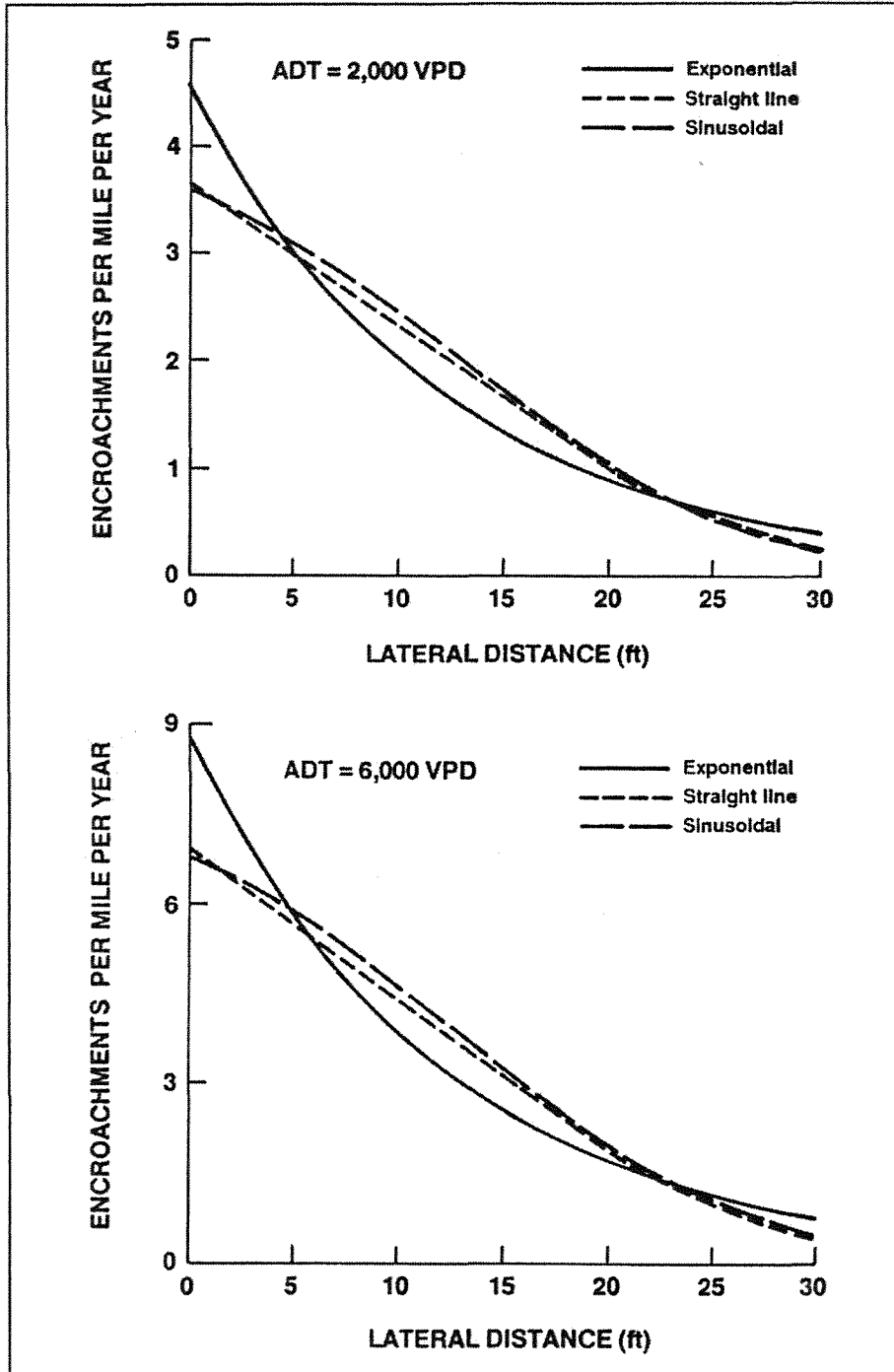
Afbeelding 4.5a. *Verskillende soorten dwarsprofielen (suburban highways).*
 Bron: Harwood et al. (1986).



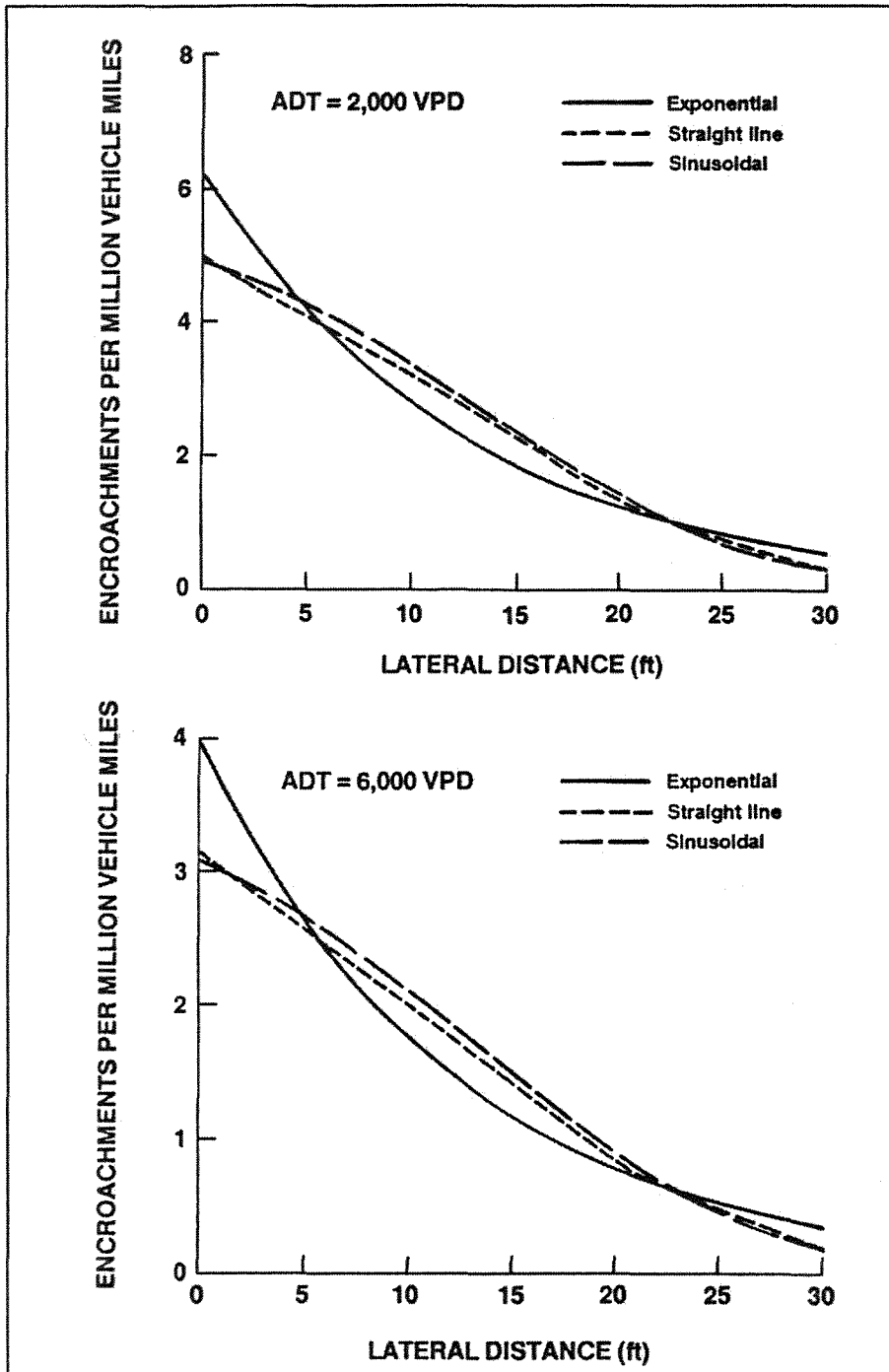
Afbeelding 4.5b. *Verskillende soorten dwarsprofielen (urban arterials).*
 Bron: Harwood (1990).



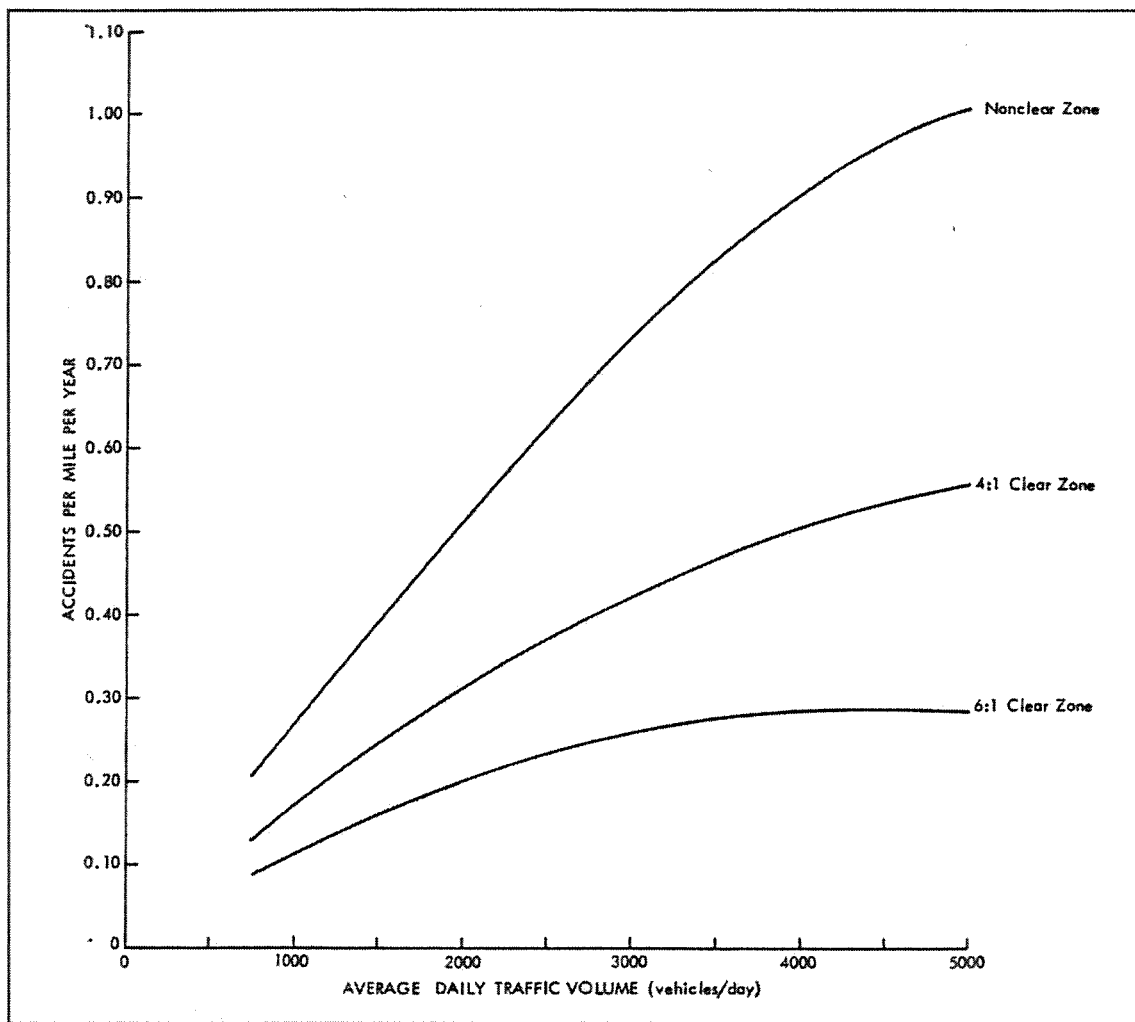
Afbeelding 4.6. *Relatieve breedte ter hoogte van een brug of viaduct.*
 Bron: FHWA (1992).



Afbeelding 4.7a. Aantal voertuigen per mijl per jaar dat de rijbaan afraakt, afgezet tegen de afstand die zij nog in de dwarsrichting afleggen. Bron: TRB (1987).



Afbeelding 4.7b. Aantal voertuigen per afgelegde voertuigmijl dat de rijbaan afraakt, afgezet tegen de afstand die zij nog in de dwarsrichting afleggen.
 Bron: TRB (1987).



Afbeelding 4.8. Aantal ongevallen per mijl per jaar voor verschillende hellingsgraden binnen de obstakelvrije ruimte, afgezet tegen de ADT.

Bron: Graham & Harwood (1982).

Tabellen

CURVE SPEED MODELS

Country of model	Australia	France	Greece	Germ.	Portugal	Sweden	Switzer.	U.K.	U.S.A. Lamm	U.S.A. Krammes
Variable	V ₈₅	V ₈₅	V ₈₅	V ₈₅	V ₈₅	V _{median}	V _{project}	V ₈₅	V ₈₅	V ₈₅
Year of model	1981	1986	1996		1996			1982		1991
POTENTIAL EXPLANATORY VARIABLES										
Local										
Curvature	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Lane width	n.e.	n.e.	n.s.	S	S			n.e.	S	n.e.
Shoulder width	n.s.	n.e.	n.s.	n.s.	n.s.			n.e.	n.s.	n.s.
Carriageway width	n.s.	n.s.	n.e.	n.e.	n.s.	S		n.e.	n.e.	n.s.
Length of curve	n.e.	n.e.	n.e.	n.s.	S			n.s.	n.s.	S
Superelevation	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			n.s.	n.s.	n.s.
Gradient	n.s.	S	n.s.	n.s.	n.s.			n.e.	n.s.	n.s.
Sight distance	n.s.	n.e.	n.e.	n.s.	n.s.			n.s.	n.s.	n.s.
AADT	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.			n.e.	n.e.	n.s.
Speed limit	n.e.	n.e.	n.e.	n.s.	n.e.		S	n.e.	n.s.	n.e.
Directional flow	n.s.	n.e.	n.e.	n.s.	n.e.			n.e.	n.e.	n.e.
Opposing flow	n.s.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.			n.e.	n.e.	n.e.
Deflection angle	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.			n.e.	n.e.	S
Global										
Design speed	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	S		n.e.	n.e.	n.e.
Desired speed	S	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.		n.e.	n.e.	n.e.
Approach speed	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	S	n.e.		n.e.	n.e.	S
Bundiness	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	S	n.e.		n.e.	n.e.	n.e.
Hilliness	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.s.	n.e.		n.e.	n.e.	n.e.
Visibility	n.e.	S	n.e.	n.e.	n.s.	n.e.		n.e.	n.e.	n.e.
R ²		0.72	0.79		0.92					0.80

S : significant explanatory variable
n.s. : variable examined but not found significant
n.e. : variable not examined
blank: no information available

Tabel 3.1. *Ontwerpelementen in snelheidsmodellen van verschillende landen.*
Bron: Cardoso et al. (1998).

Geometric Feature	2-lane		4-lane	
	High	Mediocre	Divided	Undivided
● Bridge				
Narrow Width, No Shoulder	5.4	5.4	5.4	5.4
Full Width, No Shoulder	2.5	2.5	2.5	2.5
Full Width, With Shoulders*	1.0	1.0	1.0	1.0
● Divided Highway Transition				
4-lane to 2-lane	—	—	4.0	—
4-lane to 4-lane	—	—	1.8	—
● Lane Drop (4-2 lanes)	—	—	—	3.9
● Intersection				
Unchannelized	3.7	2.8	2.4	2.1
Channelized	3.3	2.5	2.1	2.4
● Railroad Grade Crossing	3.7	3.7	3.7	3.7
● Shoulder Width Change				
Full Drop	3.2	2.4	2.1	2.1
Shoulder Width Reduction	1.6	1.2	1.0	1.0
● Alignment				
Reverse Horizontal Curve	3.1	2.3	2.0	2.0
Horizontal Curve	2.3	1.7	1.5	1.5
Crest Vertical Curve	1.9	1.4	1.2	1.2
● Lane Width Reduction	3.1	2.3	2.0	2.0
● Cross Road Overpass	1.3	1.0	0.8	0.8
● Level Tangent Section*	0.0	0.0	0.0	0.0

*Assumed

Note: Ratings of 2-lane mediocre road (i.e., surface treatment pavement without paved shoulders) and all 4-lane highways usually assumed to equal 0.75 and 0.65 of 2-lane high-type highway ratings based on results of Experiment II described in Chapter VI of Volume II.

Tabel 3.3. Score van verschillende ontwerpelementen en wegtypen.

Bron: Messer et al. (1981).

ALIGNMENT DATA

Curve No	PC Station	PT Station	Station Equation	Radius (m)	85 %-ile Speed (km/h)	Driver Workload
1	20.39	188.18		158.76	80.91	0.37
2	214.67	402.58		873.19	97.83	0.23
3	765.62	842.34		873.19	97.83	0.23
4	1+990.40	2+052.21		291.06	92.42	0.29
5	2+344.27	2+523.71		1746.38	97.83	0.21
6	3+589.41	3+723.34		145.53	79.71	0.39
7	3+772.05	3+899.97		145.53	79.88	0.39
8	4+635.36	4+742.04		1746.38	97.83	0.21
9	4+850.95	4+978.75		349.27	93.90	0.27
10	5+168.00	5+333.48		436.59	95.86	0.26
11	5+697.90	6+162.72		1746.38	97.83	0.21
12	6+464.59	6+639.33		582.12	97.83	0.24
13	6+999.79	7+184.38		582.12	97.83	0.24
14	7+326.44	7+508.65		582.12	97.83	0.24
15	8+031.99	8+124.96		291.06	92.17	0.29

F1:Ins Rec F2:Del Rec Esc:Exit

Edit current data.

.\FM1179.DAT

Input data screen.

.FM1179.OUT Page: 1/1
 **** Consistency Measures for .\fm1179.OUT **** Page - 1

Curve No	PC Station	Radius (m)	85 %-ile Speed Reduction (km/h)	Workload Increase
1	20.39	158.76	0.00	0.20
2	214.67	873.19	0.00	0.05
3	765.62	873.19	0.00	0.05
4	1+990.40	291.06	5.41	0.11
5	2+344.27	1746.38	0.00	0.03
6	3+589.41	145.53	18.12	0.21
7	3+772.05	145.53	3.22	0.21
8	4+635.36	1746.38	0.00	0.03
9	4+850.95	349.27	3.93	0.10
10	5+168.00	436.59	1.97	0.08
11	5+697.90	1746.38	0.00	0.03
12	6+464.59	582.12	0.00	0.07
13	6+999.79	582.12	0.00	0.07
14	7+326.44	582.12	0.00	0.07

PgUp:PrvPg PgDn:NxtPg ^X:ScrlUp ^Y:ScrlDn Esc:End

Tabular output screen.

Tabel 3.4. Illustratie van in- en output.
 Bron: Krammes et al. (1995).

Type of Hazard	Accidents per Collision		Casualty Accidents per Accident (8)
	Zeeger and Parker	Extrapolated (4)	
Utility pole	0.90		0.45
Trees (> 6 in.)		0.95	0.50
Rigid signposts			
Steel (\geq 6 in.)		0.95	0.50
Timber (\geq 10 in.)		0.95	0.50
Small		0.55	0.30
Breakaway		0.20	0.20
Light or signal pole			
Rigid		0.75	0.40
Breakaway		0.20	0.20
Fixed object	0.90		
Nonclear zone	0.50		
Curb	0.10		0.35
Guardrail			
Short (< 100 ft)			
Safety end		0.35	0.35
Nonsafety end		0.45	0.45
Long (> 100 ft)			
Safety end		0.30	0.30
Nonsafety end		0.35	0.35
Fill slope			
10:1	0.05		0.15
6:1	0.20		0.15
5:1		0.25	0.25
4:1	0.30		0.35
3:1	0.60		0.45
2:1 or steeper			0.60
Cut slope			
6:1	0.05		0.15
4:1	0.20		0.15
3:1	0.30		0.25
2:1	0.60		0.35
1.5:1		0.70	0.45
1:1 or steeper		0.90	0.60
Washout ditch			0.45
Culvert (lateral or longitudinal)		0.85	0.45
Raised drop inlet		0.85	0.45
Bridge abutment or pier		1.00	0.60
Roadway over bridge			
Structure			
Open gap between parallel bridges		0.95	0.50
Bridge rail			
Smooth		0.35	0.35
Parapet-type		0.40	0.40
End		0.95	0.50
Gore abutment		0.95	0.50
Retaining wall or fence		0.65	0.35
Fireplug		0.55	0.30

Tabel 4.9. Aantal ongevallen per 'gebeurtenis'.
Bron: TRB (1987).

