

DE VEILIGHEID VAN STALEN EN BETONNEN GELEIDECONSTRUCTIES BIJ AANRIJDINGEN
VERGELEKEN

R-91-40

Ir. T. Heijer & ing. C.C. Schoon

Leidschendam, 1991

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INHOUD

Voorwoord

1. Inleiding

2. Principiële verschillen bij aanrijdingen
 - 2.1. Algemeen
 - 2.2. Geleiderailconstructie
 - 2.3. Betonnen geleideconstructie
 - 2.4. Vergelijking tussen stalen en betonnen geleideconstructies

3. Literatuurstudie
 - 3.1. Franse ongevallenstudie
 - 3.2. Cijfers van ongevallen in België

4. Opinies van buitenlandse onderzoekinstellingen

5. Discussie

6. Conclusie

Literatuur

Afbeeldingen 1 t/m 7

Tabellen 1 t/m 3

VOORWOORD

In 1989 heeft de SWOV een consult uitgebracht over de verschillen in ernst van de afloop van aanrijdingen met stalen en betonnen geleideconstructies (Schoon, 1989a). Dit rapport maakte deel uit van een studie door DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV waarin verschillende kosten en veiligheidseffecten van "staal en beton" met elkaar vergeleken zijn (DHV, 1990; niet openbaar).

Aan het congres "Road Development and Safety", gehouden in Luxemburg in 1989, is door de SWOV over dezelfde problematiek een bijdrage geleverd (Schoon, 1989b).

In het genoemde rapport en in de congresbijdrage zijn diverse facetten aangaande beide typen constructies behandeld en is een vergelijking tussen de constructies gemaakt. Vanwege het ontbreken van adequate ongevallenstudies over aanrijdingen met betonnen en stalen geleideconstructies konden de verschillen slechts in meer algemene zin worden aangegeven.

Mede naar aanleiding van recente ontwikkelingen op het gebied van de toepassingen van betonnen en stalen beveiligingsconstructies, is de SWOV verzocht op basis van recente kennis meer precieze uitspraken te doen over de ernst van de afloop van aanrijdingen met beide typen beveiligingsconstructies. Voor de betonnen geleideconstructies betreft het hier een constructie met het New Jersey-profiel en voor de stalen geleideconstructies bij voorkeur het meest flexibele type.

Het consult is opgesteld in opdracht van de Dienst Verkeerskunde van Rijkswaterstaat.

1. INLEIDING

De SWOV heeft in 1989 op basis van onderzoek over de veiligheidsaspecten van stalen en betonnen geleideconstructies twee publikaties laten verschijnen (Schoon, 1989a en b). De belangrijkste conclusies kunnen als volgt worden samengevat.

Bij aanrijdingen tegen geleideconstructies van beton neemt de voertuigvertraging bij een toename van de inrijhoek beduidend meer toe dan bij aanrijdingen met (stalen) geleiderailconstructies. Echter, zolang bij de betonnen constructies nog sprake is van "geleiden", hoeven grotere vertragingwaarden niet te leiden tot een toename van het aantal ernstige (dodelijke) ongevallen. Een toename van het aantal letselongevallen is echter wel te verwachten.

Eén van de eindconclusies was dat er geen duidelijke voorkeur voor staal of beton kon worden uitgesproken, als de inrijhoek beperkt blijft tot 15°. Bij aanrijdingen boven deze hoek heeft een stalen constructie de voorkeur. Het materiaal dat de basis vormde voor deze conclusies (onder meer kennis uit ongevallenstudies en uit door de SWOV verrichte mathematische simulaties) liet een meer precieze uitspraak niet toe.

In dit consult is de vraag aan de orde meer precieze uitspraken te doen over de ernst van de afloop van aanrijdingen met betonnen en stalen beveiligingsconstructies, in het bijzonder als deze zijn opgesteld in de middenberm. De inrijcondities (inrijhoek en inrijsnelheid) en frequentie van voorkomen dienen daarbij zoveel mogelijk betrokken te worden.

Voor de beantwoording van deze vraag komen in eerste instantie de principiële verschillen tussen stalen en betonnen geleideconstructies bij aanrijdingen aan de orde. Verder wordt recent bekend geworden literatuur beschreven en worden opinies van zusterorganisaties van de SWOV weergegeven.

2. PRINCIPIELE VERSCHILLEN BIJ AANRIJDINGEN

2.1. Algemeen

Zowel betonnen als stalen geleideconstructies trachten te voorkomen dat een voertuig in een gevarenzone terechtkomt door de zijdelingse bewegingscomponent van een voertuig te blokkeren en vervolgens het voertuig zo goed mogelijk langs de constructie te geleiden. Daarbij wordt ernaar gestreefd dat het voertuig zo dicht mogelijk bij de constructie in de buurt blijft, met andere woorden niet snel in de verkeersstroom terugkaatst.

De krachten en momenten die nodig zijn om blokkeren en geleiden te effectueren worden, zoals we zullen zien, door beide typen constructies in principe op nogal verschillende wijze opgewekt.

De geleiderailconstructie wekt in eerste instantie contactkrachten op door vervorming van de beveiligingsconstructie zelf; de krachten grijpen aan op de carrosserie van de voertuigen en op een hoogte die iets boven het zwaartepunt van de gemiddelde personenauto ligt. Het niveau van de contactkrachten is daarbij doorgaans zo gekozen dat de carrosserie zonder extreme vervorming kan doorstaan met als gevolg dat het grootste deel van de zijdelingse bewegingsenergie van het voertuig door de geleiderailconstructie zal worden opgenomen (en niet door de carrosserie).

Nadat de zijdelingse beweging tot staan is gebracht, vindt geleiden plaats door het voertuig langs de vervorm(en)de constructie te laten glijden. De stijfheid van de ligger en de palen, en in veel mindere mate de wrijving tussen voertuig en ligger, zijn de belangrijkste parameters die de werking van de constructie bepalen. Van de voertuigeigenschappen zijn feitelijk alleen de massa en het massatraagheidsmoment om de Z-as belangrijk.

De betonnen geleideconstructie is geheel star en kan als zodanig geen bewegingsenergie opnemen. De contactkrachten grijpen voornamelijk aan op de wielen van de voertuigen waarbij het de bedoeling is dat de koers wordt afgebogen door het voertuig als het ware op een kegelvlak te laten bewegen. De zijdelingse bewegingsenergie van het voertuig wordt dan ook niet door de constructie in warmte omgezet maar voornamelijk in rotatie-energie van het voertuig. Deze rotatie-energie moet dan vervolgens via schokdempers en bandwrijving op de weg door het voertuig zelf worden gedissipeerd.

Belangrijk voor de werking zijn hier de vorm van het profiel van de constructie en de wrijvingscoëfficiënten tussen wiel en constructie en wiel en wegdek. Verder zijn hier vooral eigenschappen van het voertuig als

massa en (alle) massatraagheidsmomenten, maar ook kwaliteit van wielophanging en dempers van belang voor het uiteindelijke verloop van een aanrijding.

Beide typen constructie zullen we aan een nadere beschouwing onderwerpen.

2.2. Geleiderailconstructie

Uit de globale beschouwing blijkt dat de werking van de geleiderailconstructie voor een aanzienlijk deel "voorgeprogrammeerd" is; de mate waarin kan door de ontwerper of wegbeheerder worden gekozen. De combinatie van ligger- en paalstijfheid bepaalt de vervormingslengte en daarmee de kromtestraal van de vervormende constructie. Hiermee wordt dan vervolgens weer de uitrijhoek voor een belangrijk deel bepaald. Een combinatie van stijve ligger en relatief slappe palen, zoals de "SWOV" constructie, levert hiermee een relatief grote verplaatsingen maar met zeer geleidelijke, lange vervormingstrajecten. Een voorbeeld van een mathematische simulatie toont een dergelijk verloop (zie Afbeelding 1). Een vervorming over een grote lengte beperkt de grootte van de uitrij-hoeken. De combinatie van relatief slappe ligger en stijve paal, die in vele varianten op bruggen en viaducten wordt toegepast, geeft een veel kortere, sterker gekromde uitbuiging te zien. Dit leidt veelal tot grotere uitrijhoeken.

De ernst van de aanrijding voor de voertuiginzittenden heeft ook een globaal verband met de lengte en straal van de uitbuiging, waarbij een grotere vervormingslengte doorgaans correspondeert met een lager niveau van gevaar.

Dit verband is echter voorwaardelijk, zoals we bij nadere beschouwing van het verloop van een botsing kunnen inzien.

We gaan ervan uit dat het voertuig een initiële hoek met de constructie maakt waardoor de kracht van het eerste contact op de voorzijde van het voertuig zal aangrijpen. Deze kracht werkt de zijdelingse beweging tegen en oefent tegelijkertijd een moment uit om de Z-as. Hierdoor zal het voertuig roteren waardoor het met de achterzijde tegen de constructie zal botsen (het "rear end"-effect). Het zijn de hoekversnelling (door het eerste botscontact geïntroduceerd), de grootte van de inrijhoek en de wrijving van de wielen op de weg die te zamen bepalen of er een "rear end"-effect optreedt en hoe sterk die botsing is. In veel gevallen blijkt die secundaire botsing tot grotere zijdelingse versnellingspieken te leiden dan de primaire botsing, omdat gebotst wordt op een reeds vervorm-

de, en daardoor vaak verstevigde, constructie. Het "rear end"-effect zorgt vaak voor een gierbeweging die naar de constructie toe is gericht. Dit heeft voordelen voor de grootte van de uitrijhoek. Ondanks dat deze hoek direct na het loskomen van het voertuig van de constructie relatief groot kan zijn (vergeleken met een aanrijding met een betonnen constructie), kan de gierbeweging er toe bijdragen dat het voertuig weer in de richting van de constructie wordt gekeerd.

Complicerende factoren als gevolg van stuur- en rembewegingen van de bestuurder kunnen vooral optreden vlak voor de aanrijding en, met name als het een relatief langdurige "zachte" botsing betreft, ook tijdens en na het contact met de constructie. Hierdoor kan de afloop beduidend afwijken van die van een "voorgeprogrammeerde".

2.3. Betonnen geleideconstructie

De werking van het New Jersey-profiel en vergelijkbare profielen is wat ingewikkelder te beschrijven dan die van de geleiderailconstructie. Uiteraard moet er op het voertuig weer een zijdelingse kracht worden uitgeoefend en ook een moment om de koershoek te veranderen. Deze kracht moet nu echter geheel via de wielen (met name de voorwielen) worden opgewekt en, omdat het om een contactkracht gaat, via vervorming van band, velg of wielophanging.

Omdat die vervorming feitelijk maar klein mag zijn om te grote schade, dus disfunctioneren, te voorkomen, tracht men de opgedrongen zijdelingse verplaatsing van het wiel (de constructie geeft immers niet mee) geleidelijker te laten verlopen door het wiel ook omhoog te laten bewegen. Ter illustratie is het verloop van een gesimuleerde aanrijding als Afbeelding 2 opgenomen.

Ten gevolge van het klimeffect is de baan die het voorwiel op de constructie beschrijft, wezenlijk langer dan de projectie van die baan op de grond, waardoor de relatieve zijdelingse verplaatsing per eenheid van vooraartse verplaatsing afneemt. De zijdelingse verplaatsing verloopt hierdoor geleidelijker en de krachten zijn kleiner, maar werken over een langere periode. Als gevolg hiervan roteert het voertuig ook langzamer en meestal treedt er geen of slechts een kleiner "rear end"-effect op. Wel wordt de zijdelingse energie vrijwel geheel omgezet in rotatie-energie.

Naast de gewenste gierbeweging worden nu ook vrij sterke rol- en dompbewegingen geïnduceerd die via wrijving op de weg en schokdempers moeten worden teniet gedaan.

Door het ontbreken van het "rear end"-effect is de gierhoek van het voertuig, direct na het contact met de constructie, gering. Dit betekent dat als het voertuig met een bepaalde uitrijhoek de constructie verlaat, deze verder niet door de gierbeweging wordt "gecorrigeerd".

Het verloop van de botsing is bij constructies als deze vooral afhankelijk van de eigenschappen van het voertuig en als zodanig veel minder vooraf voorspelbaar of beheersbaar. Met name bij kleinere voertuigen met een lichte constructie (en dus ook een relatief klein rotatie-traagheidsmoment) en smalle spoorbreedte, kunnen de rotaties relatief snel tot omrollen leiden. In de volgende paragraaf wordt aan de hand van Amerikaans onderzoek nader ingegaan op roll-over ongevallen.

De wrijvingscoëfficiënt van de constructie is van invloed op het voertuiggedrag: een ruw oppervlak geeft meer weerstand in zowel horizontale als verticale richting: dit leidt tot zowel hogere voertuigvertragingen (zie Afbeelding 3; Schoon, 1989b) als tot hogere opklimhoogten van het voorwiel (Afbeelding 4; SWOV, 1985). Uit deze laatste afbeelding blijkt ook dat de klimhoogte weer toeneemt vanaf 15° (botssnelheid 100 km/uur). Uit simulaties met lagere snelheden (60 en 80 km/uur) manifesteert deze stijging zich bij ca. $17,5^\circ$ (SWOV, 1985).

Uit botsproeven is bekend dat de voorwielophanging vaak ernstig wordt beschadigd als gevolg van het eerste contact met de constructie waardoor de bedoelde afwikkeling van de botsing niet plaatsvindt. Dit behoeft overigens niet altijd een nadelig gevolg te hebben: uit dezelfde botsproeven blijkt dat, als gevolg van het blokkeren van de voorwielconstructie aan de botszijde, het voertuig een zeer kleine uitrijhoek kan vertonen. Veel kleiner dan zou zijn ontstaan met een wielophanging die intact zou zij gebleven.

2.4. Vergelijking tussen stalen en betonnen geleideconstructies

In Californië zijn roll-over ongevallen als gevolg van een aanrijding met stalen en betonnen geleideconstructies onderzocht (Viner, 1984). De resultaten waren als volgt:

- geleiderailconstructie met W-rail: 1,8% roll-overs op 2004 ongevallen (personenauto's, incl. u.m.s.-ongevallen);

- New Jersey barrier: 6,8% roll-overs op 1796 ongevallen (personenauto's; incl. u.m.s-ongevallen).

Vanwege het toenemende marktaandeel van de kleinere personenauto's in de Verenigde Staten, wordt bij studies veel aandacht besteed aan het botsgedrag van deze auto's. Er is nagegaan in hoeverre dit afwijkt van het gedrag van zware "Amerikaanse" auto's.

In Afbeelding 5 is het cumulatieve percentage van roll-over ongevallen ten gevolge van aanrijdingen met stalen en betonnen geleideconstructies uitgezet tegen de voertuigmassa. Uit de afbeelding blijkt dat de voertuigmassa tot 2250 lb (1022 kg) bij aanrijdingen tegen de New Jersey-constructie met 51% is vertegenwoordigd en tegen de geleiderailconstructie met 35%.

Met computersimulaties kan de werkelijkheid redelijk betrouwbaar worden nabootst. Deze simulaties lenen zich bij uitstek om verschillen tussen diverse constructies aan te tonen. In Afbeelding 6 zijn de vertragingswaarden weergegeven van aanrijdingen met de in Nederland toegepaste geleiderailconstructies (stijf en flexibel) en de New Jersey-constructie (met een relatief hoge waarde voor de wrijvingscoëfficiënt). De botsnelheden bedroegen 80 en 100 km/uur bij inrijhoeken van 10 tot 25°. Uit de afbeelding blijkt dat de ernst van de botsing met de New Jersey-constructie beduidend hoger is dan met de geleiderailconstructie. Bij een botssnelheid van 100 km/uur is het verschil ongeveer een factor 2 tot 3 en bij 80 km/uur ongeveer een factor 2 tot 3,5 (resp. gerelateerd aan de stijve en flexibele geleiderailconstructie); (Schoon, 1989a).

Verskil tussen stalen en betonnen geleideconstructies kan ook tot uitdrukking worden gebracht in de grootte van de uitrijhoek (de bewegingsrichting van het zwaartepunt van het voertuig) en de gierhoek (de zogenaamde yaw, rotatie om de verticale voertuigas). Uit het linker deel van Afbeelding 7 blijkt dat de geleiderailconstructie een gemiddelde uitrijhoek geeft die bijna een factor 2 groter is dan die van de betonnen constructie. Ten opzichte van de betonnen constructie is de gierhoek van de geleiderailconstructie daarentegen gunstiger daar deze in de richting van de constructie wijst, waardoor het voertuig eerder de neiging heeft naar de constructie terug te keren (Schoon, 1989a).

3. LITERATUURSTUDIE

Ondanks dat de laatste jaren de toepassing van betonnen constructies in diverse Europese landen algemener is geworden, zijn er maar weinig ongevallestudies uitgevoerd. Eén Franse studie vormt een gunstige uitzondering en wordt hier dan ook uitgebreid behandeld. Verder wordt summier op de ongevallepraktijk in België ingegaan.

3.1. Franse ongevallestudie

In Frankrijk heeft men op een aantal trajecten stalen geleiderailconstructies in de middenberm vervangen door betonnen geleideconstructie. Als argumenten worden kosten en onderhoud genoemd.

De geplaatste betonnen constructies in Frankrijk worden aangeduid met DBA en GBA die qua profiel meer gelijkenis vertonen met het General Motors- dan met het New Jersey-profiel. Verder valt op dat de ontwerp-voetheogte bij de Franse typen met 8-15 cm erg hoog is (ter vergelijking: het New Jersey-profiel heeft een voetheogte van 7-8 cm).

Van één zo'n traject is een studie gedaan waarin de oude situatie (geleiderailconstructie) met de nieuwe situatie (betonnen geleideconstructie) is vergeleken (Vulin, 1986). Het betreft hier een traject van de autosnelweg A6 (Parijs-Lyon) met een lengte van 13,7 km nabij Bessey-en-Chaume. Dit traject wordt gekarakteriseerd door niveauverschillen (hellingen van 4%), door bogen (stralen van 650 m) en snelheidslimieten voor auto's met aanhanger.

De plaatsing van de betonnen constructie heeft begin 1983 plaats gevonden. De voor- en nastudie heeft betrekking op twee periode van elk twee jaar (resp. 1981 + 1982 en 07/1983-06/1985). Aangegeven is op welke gedeelte van de weg de aanrijding heeft plaats gevonden.

Periode	Aantal aanrijdingen							
	Rijbaan		Zijberm		Middenberm		Totaal	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Voorperiode	50	46	52	44	34	31	136	41
Naperiode	58	54	66	56	74	69	198	59
Totaal	108	100	118	100	108	100	334	100

Uit de tabel blijkt dat in de naperiode 62 ongevallen meer hebben plaats gevonden ten opzichte van de voorperiode (toename van 46%). Dit terwijl op de gehele A6 en op een controletraject sprake was van een afname van ongevallen van ongeveer 3%.

De toename heeft betrekking op alle drie in de tabel aangegeven locaties van de weg, maar in het bijzonder in de middenberm (meer dan een verdubbeling). In het rapport wordt gesuggereerd dat de redenen kunnen zijn het water op de rijbaan dat niet weg kan, en een gedragsverandering bij de bestuurders vanwege het veranderde wegbeeld dat de betonnen constructie te weeg brengt.

Bij een nadere analyse van de ongevallen die met de geleideconstructies in de middenberm hebben plaats gevonden rekent men ter vergroting van de steekproef van de voorperiode verder met 3 jaar (1980 t/m 1982) in plaats van 2 jaar. Het oorspronkelijke aantal ongevallen in de voorperiode van 34 wordt hiermee 49. De naperiode blijft gehandhaafd op 2 jaar.

Uit deze analyses die in het Franse rapport zijn beschreven blijkt het aantal middenbermongevallen niet 's nachts maar voornamelijk overdag toe te nemen. Verder blijkt dat de grootste toename plaatsvindt in de richting Parijs (zuid-noord).

De nadere verdeling naar ernst van de middenbermongevallen is als volgt.

	u.m.s.-ongevallen	Letselongevallen	Totaal
Voorperiode (1980 t/m 1982)	49	0	49
Naperiode (7/1983-6/1985)	68	6	74

Bij deze 6 ongevallen met letsel waren 4 ernstig gewonde en 6 minder ernstig gewonde slachtoffers.

N.B. Op het onderzochte traject zijn ook wel letselongevallen met de geleiderailconstructie voorkomen: in de jaren 1975 tot en met 1979 (5 jaar) zijn op 75 ongevallen 8 ongevallen met letsel geregistreerd.

Een nadere uitsplitsing is gemaakt naar het soort aanrijding met de constructies in de middenberm:

Eindfase van de aanrijding	Aantal aanrijdingen			
	Geleiderail (3 jr)		Beton (2 jr)	
	A	%	A (*)	%
Tegen constructie tot stilstand	14	29	17	23
Doorschrijding	2	4	0	0
Teruggekaatst op rijbaan	22	45	25	34
Teruggekaatst in zijberm	9	18	26 (4)	35
Botsing met ander voertuig	2	4	6 (2)	8
Totaal	49	100	74 (6)	100

(*) tussen haakjes: het aantal ongevallen met letsel

Gelet op het aantal jaren van de voorperiode (3 jaar) ten opzichte van de naperiode (2 jaar) kunnen alleen de percentages onderling worden vergeleken. Het blijkt dan dat de betonnen geleideconstructies meer en ernstiger ongevallen geven waarbij sprake is van terugkaatsen tot in de zijberm; ook worden in meer gevallen andere voertuigen getroffen.

Bij de betonnen geleideconstructies is evenwel geen sprake van doorschrijding; bij de geleiderailconstructie zijn dit twee gevallen in drie jaar geweest.

De bovengenoemde frequenties zijn gewogen naar de gemiddelde kosten van de desbetreffende typen aanrijdingen met geleiderailconstructies (zie Tabel 1). Hiertoe zijn op twee autosnelwegen in Frankrijk (A6 en A7) de kosten van de ongevallen van 1979 t/m 1983 getotaliseerd (inclusief de kosten voor doden en gewonden) en de voor diverse typen aanrijdingen weegfactoren berekend. Het type "het tot stilstand komen tegen de constructie" kreeg het gewicht van factor 1 en de "doorschrijding van de constructie" het gewicht van factor 12. Het resultaat van deze exercitie was dat er geen verschil meer was tussen beide typen constructies.

Hierbij willen we het volgende opmerken. Afgezien van de gekozen onderlinge waarden voor de "zwaarte" van de diverse typen aanrijdingen is het resultaat discutabel vanwege het feit dat men de weegfactoren alleen heeft gebaseerd op de ernst van aanrijdingen met geleiderailconstructies.

Deze weegfactoren heeft men vervolgens toegepast op de aanrijdingen op het onderzochte traject bij Bessey waarbij geen onderscheid is gemaakt tussen betonnen en stalen constructies.

In het rapport wordt geconcludeerd dat het niveau van de veiligheid op het onderzochte traject door de aanwezigheid van een betonnen geleideconstructie is afgenomen. Volgens het rapport kan deze afname niet worden toegeschreven aan een wijziging van het voertuiggedrag met betrekking tot de betonnen geleideconstructie, maar aan een toename van de frequentie van het aantal ongevallen vooral vanwege de aanwezige hellingen op het onderzochte traject. Men acht het wenselijk naar de oorzaken van deze toename te zoeken, vooral gericht op het gedrag van de bestuurders bij de aanwezigheid van betonnen geleideconstructie.

N.B. Op basis van de onderzoekresultaten van het hier beschreven traject concluderen Quincy & Vulin (1986) dat betonnen geleideconstructies in principe alleen op wegen met snelheidslimieten toegepast moeten worden.

3.2. Cijfers van ongevallen in België

Tijdens studiedagen in België heeft Rouffaert (1990) ongevallencijfers van de jaren 1985 t/m 1989 van 8 autosnelwegen in België gepresenteerd. Het betreft hier ongevallen met letsel waarbij geleideconstructies van staal en beton betrokken waren.

De cijfers die in Tabel 2 zijn opgenomen betreffen het gemiddelde aantal doden en zwaar gewonden en het gemiddelde aantal licht gewonden per 10 ongevallen.

Het blijkt dat het gemiddelde aantal doden en zwaar gewonden per 10 ongevallen voor staal (dubbele rail) en beton (New Jersey-profiel) even groot is. Voor de licht gewonden zijn de aantallen resp. 9 en 11.

De cijfers zijn verder uitgesplitst naar overschrijding van de constructie. Aangegeven wordt dat met "overschrijding" klaarblijkelijk niet wordt bedoeld dat de auto noodzakelijk op de andere rijbaan terecht is gekomen, maar wel dat hij in of (eventueel gedeeltelijk) over de constructie is geraakt. Voor zover uit de tabel opgemaakt kan worden vond zowel met de stalen als de betonnen constructie één overschrijding per 10 ongevallen met letsel plaats. Voor stalen constructie resulteerde dit in 5 doden en zwaar gewonden per 10 ongevallen en bij de betonnen constructie waren er geen doden en zwaar gewonden.

Gezien het grote aantal doden en gewonden per 10 ongevallen moet uit deze tabel worden opgemaakt dat alleen de (tamelijk) ernstige ongevallen zijn opgenomen; over de representativiteit van deze cijfers kan verder niets worden aangegeven.

Hendrikx (1984) heeft in een artikel de ervaringen met betonnen geleideconstructies in België beschreven. Over de jaren 1976 t/m 1983 heeft men op basis van bandensporen op betonnen constructies met het New Jersey-profiel vastgesteld dat er 256 aanrijdingen hebben plaats gevonden (zie Tabel 3). Bij 48 aanrijdingen zijn er "tussenkomen van de Rijkswacht" geweest (19%). Opgemerkt wordt dat dit bewijst dat in de meeste gevallen zonder of met geringe blikshade wordt doorgereden.

Op basis van deze cijfers wordt geconcludeerd dat na het plaatsen van betonnen geleideconstructie het aantal ongevallen tot 75% verminderde. Met de gepresenteerde cijfers is dit percentage echter niet hard te maken.

4. OPINIES VAN BUITENLANDSE ONDERZOEKINSTELLINGEN

Er zijn binnen Europa nauwelijks landen die een grootschalige ervaring met betonnen geleideconstructies hebben. Wel zijn er op relatief kleine schaal toepassingen (Frankrijk, Engeland, Duitsland, Zwitserland) te vinden. Alleen in de USA worden betonnen constructies op grote schaal toegepast.

Toch blijken de meningen van geraadpleegde experts in zowel Europa als de USA maar weinig uiteen te lopen; die meningen verenigen zich feitelijk ook op de conclusie dat er op grond van praktische ervaring geen overduidelijke voorkeur voor de ene of de andere constructie te geven is.

Hierbij moet dan in acht worden genomen dat, waar het specifiek om de veiligheid van inzittenden gaat, er ook zeker overeenstemming tussen de experts aanwezig is ("a guardrail is generally more forgiving"): een nadeel van de betonconstructie ten opzichte van geleiderail bij de zwaardere aanrijdingen. De definities van wat zwaarder is, lopen daarbij niet zo sterk uiteen: snelheden vanaf ongeveer 100 km/uur en inrijhoeken vanaf ongeveer 15 graden worden doorgaans als de grenzen beschouwd waarboven de betonconstructie in het nadeel is, voor zover het de afloop voor de voertuiginzittenden betreft.

Desgevraagd was geen enkele van onze zusterorganisaties in staat de letselkans van aanrijdingen tegen geleiderailconstructies en betonnen geleideconstructies te kwantificeren.

Bij de afweging stalen dan wel betonnen constructies te plaatsen worden naast pure veiligheidsargumenten ook altijd andere overwegingen genoemd. Deze zijn de kosten van installatie en onderhoud, levensduur van de constructie, ruimtebeslag, onvoorwaardelijke afscherming (ook tegen vrachtverkeer) en de risico's voor wegwerkers bij reparaties aan de constructie na een ongeval. Op deze aspecten bestaat er in de ogen van de meeste experts een voordeel voor de betonconstructie dat, afhankelijk van de omstandigheden, van doorslaand belang wordt geacht. Met name in de USA wordt dergelijke argumentatie gebruikt, waarbij het overigens opmerkelijk is dat men daar in de middenberm (smal, moeilijk toegankelijk) vaak de beton geleideconstructie kiest, terwijl in de zijbermen een stalen geleiderailconstructie wordt toegepast. Voor dit laatste wordt de ruimte als argument gebruikt.

5. DISCUSSIE

In de beschrijving van het principiële verschil tussen aanrijdingen met betonnen en stalen geleideconstructies is vastgesteld dat de stalen constructie voor een groot deel in staat is de zijdelingse bewegingsenergie van het voertuig op te nemen. Het geleiden van het voertuig gaat daarom gepaard met weinig rotatie. Naar mate de constructie meer flexibel is, verloopt de aanrijding "rustiger".

Bij de betonnen constructie daarentegen wordt de zijdelingse bewegingsenergie van het voertuig voornamelijk in rotatie-energie van het voertuig omgezet. Het gevolg is een "wilder" bewegend voertuig. De grootte van de wrijvingscoëfficiënt van de constructie is van veel invloed op de rotatie van het voertuig om zijn lengte-as (opklimmen tegen de constructie). Een "rustig" verloop van de aanrijding kan alleen worden bewerkstelligd bij geringe inrijhoeken.

De gierhoek die ten gevolge van het rear end effect bij de geleiderailconstructie ontstaat, heeft veelal een gunstige invloed op de uitrijhoek: als de bestuurder niet ingrijpt beweegt het voertuig meestal weer in de richting van de constructie. Bij de betonnen geleideconstructie is de gierhoek veelal gering: de uitrijhoek wordt dan ook minder in gunstige zin beïnvloed.

Bovenstaande analyse is zeker voor een deel de verklaring van het feit dat bij de aanrijdingen die in Frankrijk door Vulin (1986) zijn beschouwd, de voertuigen na een aanrijding met de betonnen constructie vaker de rijbaan overschieten dan na een aanrijding met de geleiderailconstructie. Juist deze typen aanrijdingen waren in het Franse onderzoek verantwoordelijk voor de slachtoffers met licht en ernstig letsel.

Overigens moet worden aangegeven dat deze Franse studie niet omvangrijk van aard is (weglengte 14 km en tijdperiode 2 jaar). De ongevallencijfers vormen dan ook meer een indicatie dan een bewijs. Dit betreft ook het punt dat na plaatsing van de betonnen geleideconstructie meer ongevallen hebben plaatsgevonden dan in de periode dat geleiderailconstructie stond opgesteld. Water op de rijbaan (zoals is aangegeven) en mogelijk een ander rijgedrag zouden best van invloed kunnen zijn. Ook het in Frankrijk toegepaste profiel dat afwijkt van het New Jersey-profiel kan voor een deel de toename van het aantal geregistreerde ongevallen verklaren. Wel moet bij deze Franse studie worden opgemerkt dat het, voor zover ons bekend, de eerste studie is waar in een vergelijkbare wegsituatie de aanrijdingen met

stalen en betonnen geleideconstructie zijn vergeleken. Meer van dergelijke studies over een uitgebreider wegvak en/of over meer jaren zouden een betere beoordeling van de verschillen tussen stalen en betonnen constructies mogelijk maken.

Uit de Belgische cijfers van Hendrikx (1984) kan worden opgemaakt dat er veel aanrijdingen met de betonnen constructie niet worden geregistreerd. Dit kan betekenen dat veel aanrijdingen onder kleine hoeken plaatsvinden met kennelijk een geringe terugkaatsing (en/of bestuurders zijn in staat goed te corrigeren), maar ook dat de aanrijdingen tijdens uren kunnen plaatsvinden met weinig overig verkeer.

De schade aan de betonnen constructie bij dergelijke kleine inrijhoeken is gering; dit geldt waarschijnlijk ook voor de schade aan het voertuig. Aanrijdingen tegen stalen constructies zullen bij dergelijke kleine inrijhoeken ook niet veel schade geven. Aangenomen wordt dat de schade aan het voertuig echter groter is vergeleken met een aanrijding tegen een betonnen constructie.

Andere Belgische cijfers (Rouffaert, 1990) geven aan dat de gemiddelde ernst van een aanrijding met een stalen constructie niet veel afwijkt van die van een aanrijding met een betonnen constructie. In de literatuurstudie van Schoon (1989a) wordt hetzelfde beeld geschetst.

In hoeverre dergelijke constatering voor Nederland van belang zijn, is de vraag. Immers de indruk bestaat dat de geleiderailconstructies die in Nederland worden toegepast veiliger zijn dan die van het buitenland. Dit heeft niet alleen te maken met de grotere mate van flexibiliteit, maar ook met de uitvoering (onder meer betere overgangen en veiliger beginpunten).

Op basis van vooral uitkomsten van mathematische simulaties - resultaten van proeven op ware schaal van de diverse landen zijn moeilijker onderling te vergelijken - concludeert de SWOV dat bij inrijhoeken tot 15° en snelheden tot 100 km/uur geen duidelijke voorkeur voor stalen of betonnen geleideconstructies kan worden uitgesproken. Deze conclusie wordt bevestigd door zusterorganisaties in het buitenland. Gegevens over de relatie tussen letselkans en inrijhoek voor beide typen constructies waren bij deze organisaties niet bekend.

We willen hier nog nader ingaan op de relatie tussen de inrijhoek en breedte van de rijbaan. In een SWOV-rapport over afschermingsvoorzieningen

voor autosnelwegen, wordt het theoretisch verband gelegd tussen de voertuigsnelheid en inrijhoek op basis van wat fysisch haalbaar is (SWOV, 1986). Het verband is aangegeven voor constructies die in de zijberm zijn opgesteld. Indien een dergelijk verband eveneens voor de middenberm wordt uitgezet, blijkt dat voor droge wegen een inrijhoek van 15° reeds vanaf de eerste rijstrook (gerekend vanaf de middenberm) bereikt kan worden. Voor natte wegen kan dit plaats vinden vanaf de tweede rijstrook.

Door Texas Transportation Institute heeft 95-percentiel waarden berekend voor de inrijhoek voor diverse bermbreedten en twee rijstroken (Ross & Nixon, 1976). Hoewel de cijfers redelijk overeenkwamen met ongevalgegevens, gaf met name de bepaling van de botssnelheid problemen. Het resultaat van de berekening was als volgt. Uitgaande een snelheid van ca 97 km/uur (60 mph) en van een afstand van 1 m tussen kantstreep en middenbermconstructie, ligt de 95-percentiel inrijhoek op ca. 10° voor de eerste rijstrook (gerekend vanaf de middenberm) en op ca. 20° voor de tweede rijstrook.

Bovenstaande cijfers duiden erop dat de toepassing van betonnen geleideconstructies op wegen met meer dan twee rijstroken is af te raden.

Additionele bevindingen

Zowel bij de betonnen constructies als de geleiderailconstructies staat de ontwikkeling nog niet stil. De ervaringen van Engelse en Amerikaanse onderzoekers met betonwandjes zonder specifiek geleideprofiel lijken zeer positief te zijn. De botsing lijkt in termen van zijdelingse vertragingen van het voertuig niet veel ernstiger te zijn dan die bij het aanrijden van een constructie met het New Jersey-profiel, terwijl het gevaar van omrollen vrijwel lijkt uitgesloten. Enige simulaties van de SWOV wijzen in dezelfde richting.

Naar de mening van de betreffende experts zou het voordeel van dergelijke betonwandjes wel eens zo groot kunnen zijn dat er in de toekomst de voorkeur aan moet worden gegeven boven constructies met een geleideprofiel. De ontwikkelingen in stalen constructies lijken (bijvoorbeeld in Italië) echter tenminste zo veelbelovend. Door een goede combinatie van paal en meer dan één rail op uithouders van verschillende aard blijkt een constructie mogelijk die voor personenauto's een voldoende "zacht" gedrag vertoont en tegelijk zeer zware vrachtwagens nog keert en geleidt. De krachten op de paal blijven hierbij ook binnen redelijke grenzen, hetgeen vooral op bruggen en viaducten van belang is.

Het lijkt niet overdreven te constateren dat staalconstructies meer ontwikkelingsmogelijkheden in zich bergen en waarschijnlijk beter kunnen worden aangepast aan ontwikkelingen in de infrastructuur: bredere meerstrooks snelwegen waarop ernstiger inrijcondities kunnen voorkomen dan tot nu toe als norm wordt gebruikt.

6. CONCLUSIE

Geconcludeerd kan worden dat in termen van veiligheid van inzittenden bij een aanrijding er een lichte voorkeur voor de stalen geleiderailconstructie bestaat: die geeft een aanvaardbare, ook redelijk voorspelbare verloop van de aanrijding over een groot gebied van de inrijcondities.

Betonnen geleideconstructies voldoen tot minder zware inrijcondities niet slechter dan geleiderailconstructie. Deze condities zijn: snelheden tot 100 km/uur en inrijhoeken tot 15 graden. Bij zwaardere inrijcondities neemt bij betonnen constructies niet alleen de kans op ongecontroleerde voertuigmanoeuvres toe, maar ook het risico van omrollen van vooral lichtere voertuigen. Dergelijke manoeuvres verhogen in aanzienlijke mate de kans op ernstig letsel.

Om bij betonnen constructies een goede geleiding ook bij de kleinere inrijhoeken zoveel mogelijk te waarborgen, is een lage waarde van de wrijvingscoëfficiënt van het betonoppervlak gewenst.

Al met al zijn beide typen beveiligingsconstructie, onder specifieke voorwaarden, aan te merken als bruikbaar. Daarbij zijn het de weg- en verkeerscondities en de daaruit af te leiden botscondities die een belangrijke rol spelen bij de uiteindelijke keuze in een gegeven situatie.

LITERATUUR

DHV (1990). Geleiderail of betonnen geleidebarrier in middenberm van autosnelwegen? Een vergelijkend onderzoek naar de kosten van aanleg, beheer en onderhoud en verkeersonveiligheid. DHV, 1990 (niet openbaar).

Hendriks, L. (1984). Betonnen beveiligingsconstructie, type New Jersey. De Bouwkroniek, april 1984 (Speciale uitgave).

Quincy, R. & Vulin, D. (1986). Crash test and accident investigation. INRETS, France, zonder jaaropgave (ca. 1986).

Ross, H.J. & Nixon, J.F. (1976). Impact performance and an evaluation criterion for median barriers. Transportation Research Record 586, 1976.

Rouffaert, A. (1990). Ervaringen met beveiligingsconstructies in België. Verslag van de Internationale studiedagen "Betonnen voertuigkeringen" (concept). Eupen, België, 8-9 november, 1990.

Schoon, C.C. (1989a). Verschil in ernst van aanrijdingen met stalen en betonnen geleideconstructies. Consult ten behoeve van DHV Raadgevend Ingenieursbureau. R-89-54. SWOV, 1989.

Schoon, C.C. (1989b). Differences between steel and concrete crash barriers in accidents and some remarks concerning a Dutch crash cushion. Paper International Symposium and Exhibition, Road Development and Safety, Luxembourg, 14-17 June 1989.

SWOV (1985). De invloed van de wrijvingscoëfficiënt van betonnen geleideconstructies op de grootte van de voertuigvertraging en de klimhoogte van voorwielen. R-85-68, SWOV 1985.

SWOV (1986). Afschermingsvoorzieningen voor autosnelwegen: Een overzicht en beoordeling van berm- en brugconstructies en obstakelbeveiligers. R-86-25. SWOV, 1986.

Viner, J.G. (1984). Implications of small passenger cars on roadside safety. Public Roads, September 1984.

Vulin, D. (1986). Suivi accidentologique sur separateur beton type DBA.
Rapport 311-86-13. INRETS, Janvier 1986.

AFBEELDINGEN 1 T/M 7

Afbeelding 1. Computersimulatie van een aanrijding tegen een geleiderail-constructie

Afbeelding 2. Computersimulatie van een aanrijding tegen een betonnen geleideconstructie met het New Jersey-profiel

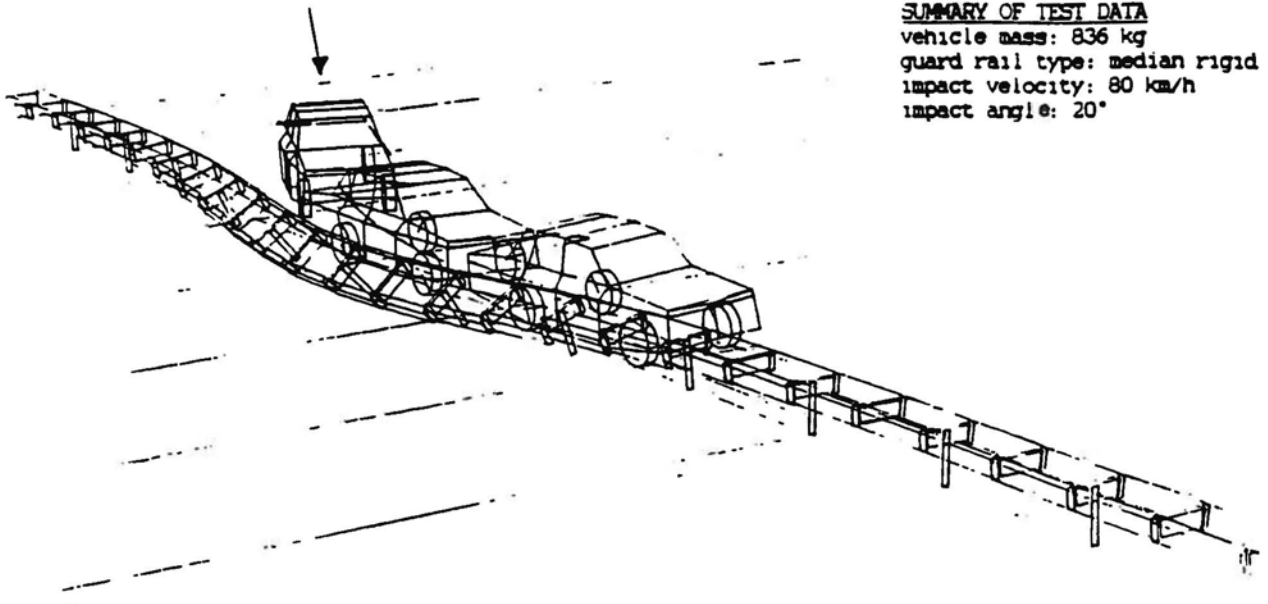
Afbeelding 3. Effect van het verschil in grootte van de wrijvingscoëfficiënt van het oppervlak van een betonnen geleideconstructie in termen van de grootte van de voertuigvertraging

Afbeelding 4. Effect van het verschil in grootte van de wrijvingscoëfficiënt van het oppervlak van een betonnen geleideconstructie in termen van de klimhoogte van het voorwiel van een personenauto.

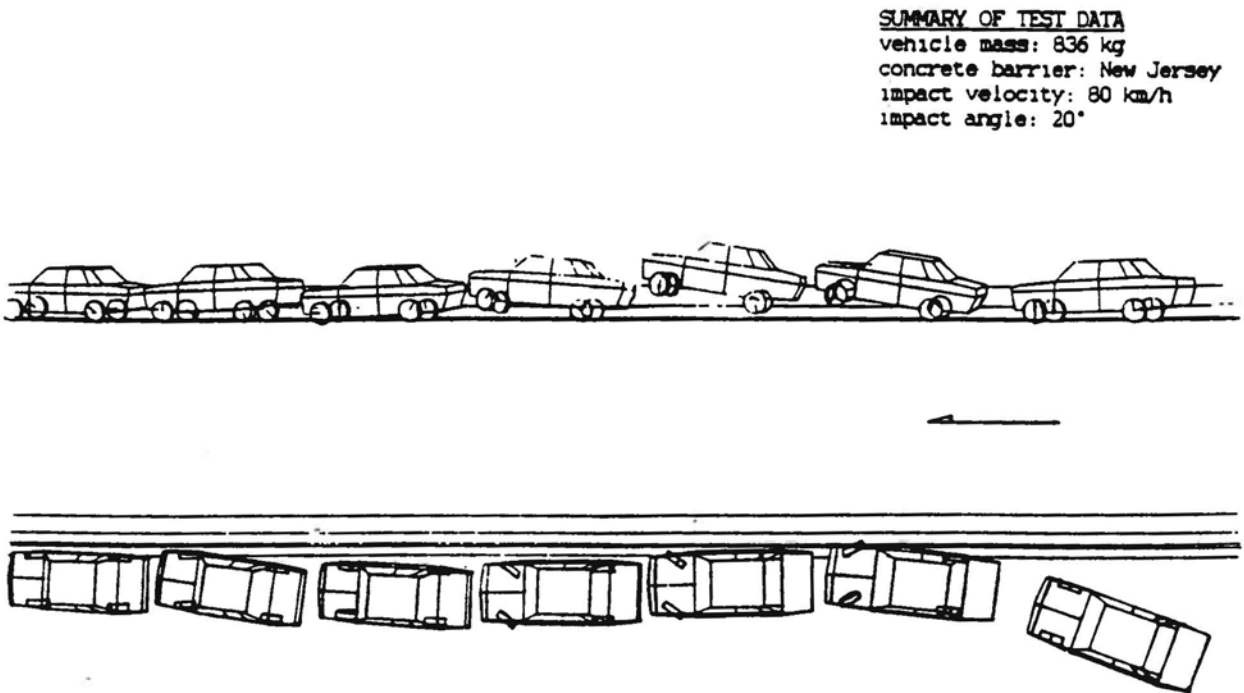
Afbeelding 5. Relatie tussen de voertuigmassa en het percentage roll-over ongevallen als gevolg van aanrijdingen met onder meer stalen en betonnen geleideconstructies (New Jersey-profiel)

Afbeelding 6. Verschil in grootte van de voertuigvertraging van simulaties van aanrijdingen met stalen en betonnen geleideconstructie (New Jersey-profiel)

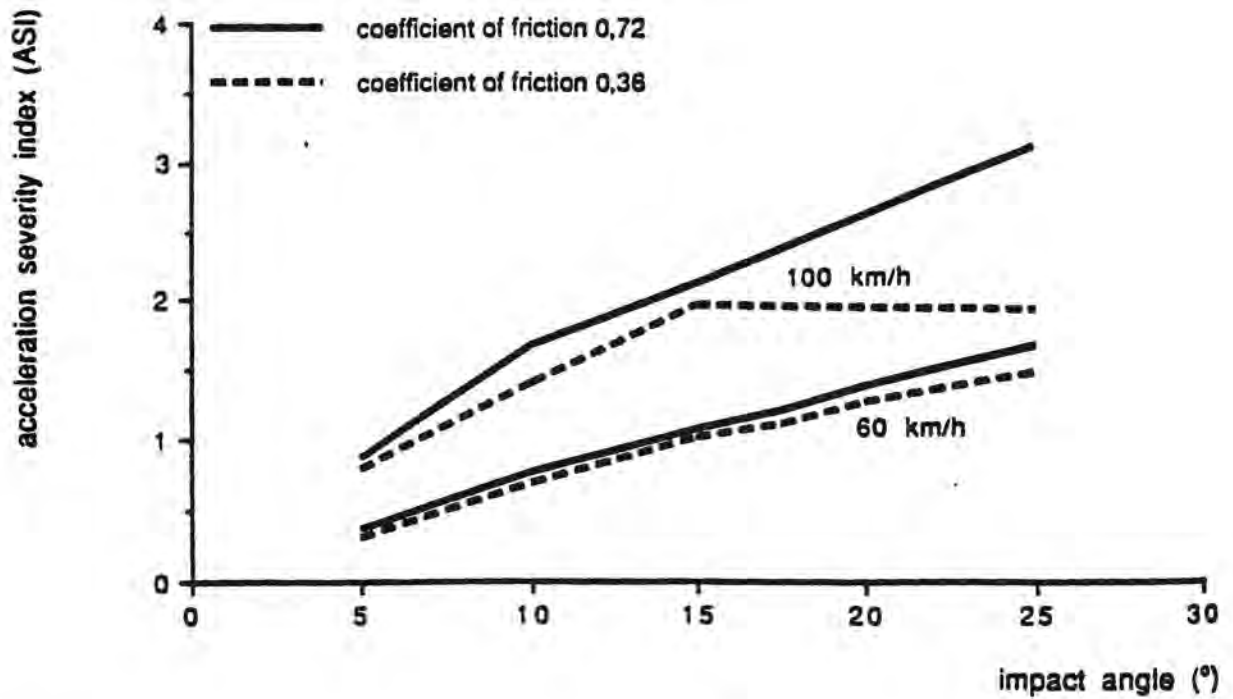
Afbeelding 7. Verschil in grootte van de gemiddelde uitrijhoek en gierhoek (yaw) van simulaties van aanrijdingen met stalen en betonnen geleideconstructie (New Jersey-profiel) voor zowel alle simulaties als een verdeling naar voertuigmassa



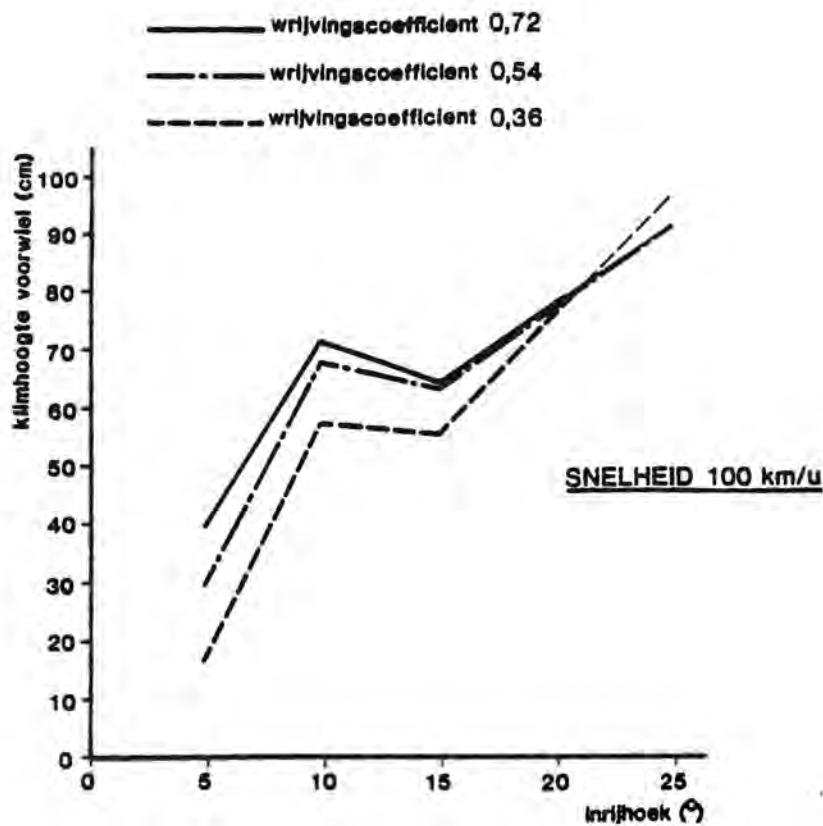
Afbeelding 1. Computersimulatie van een aanrijding tegen een geleiderail-constructie



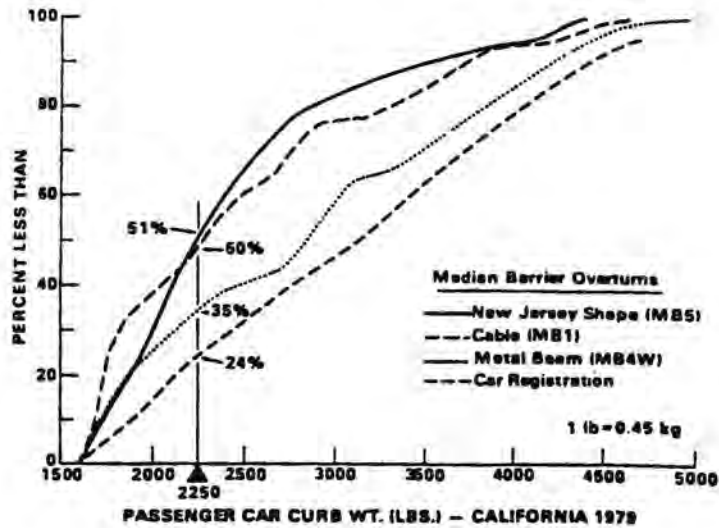
Afbeelding 2. Computersimulatie van een aanrijding tegen een betonnen geleideconstructie met het New Jersey-profiel



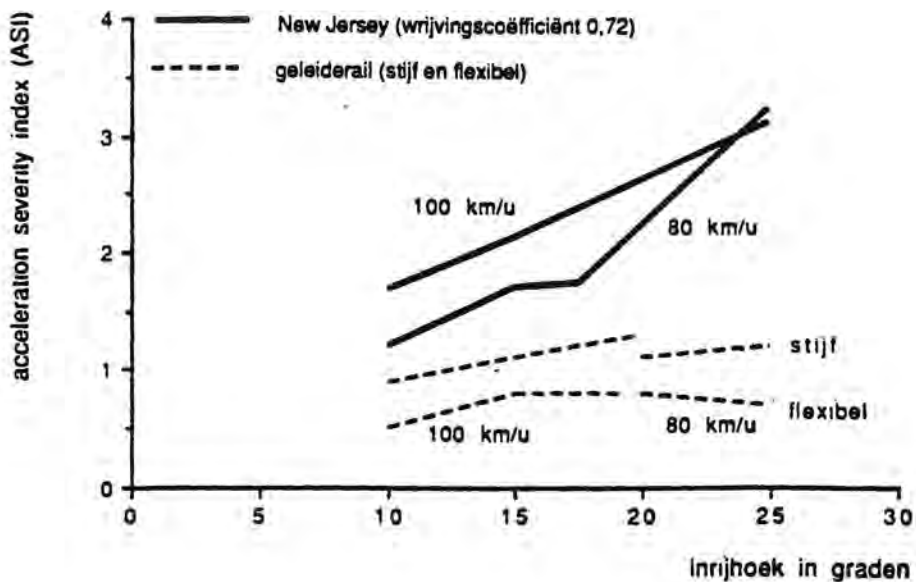
Afbeelding 3. Effect van het verschil in grootte van de wrijvingscoëfficiënt van het oppervlak van een betonnen geleideconstructie in termen van de grootte van de voertuigvertraging



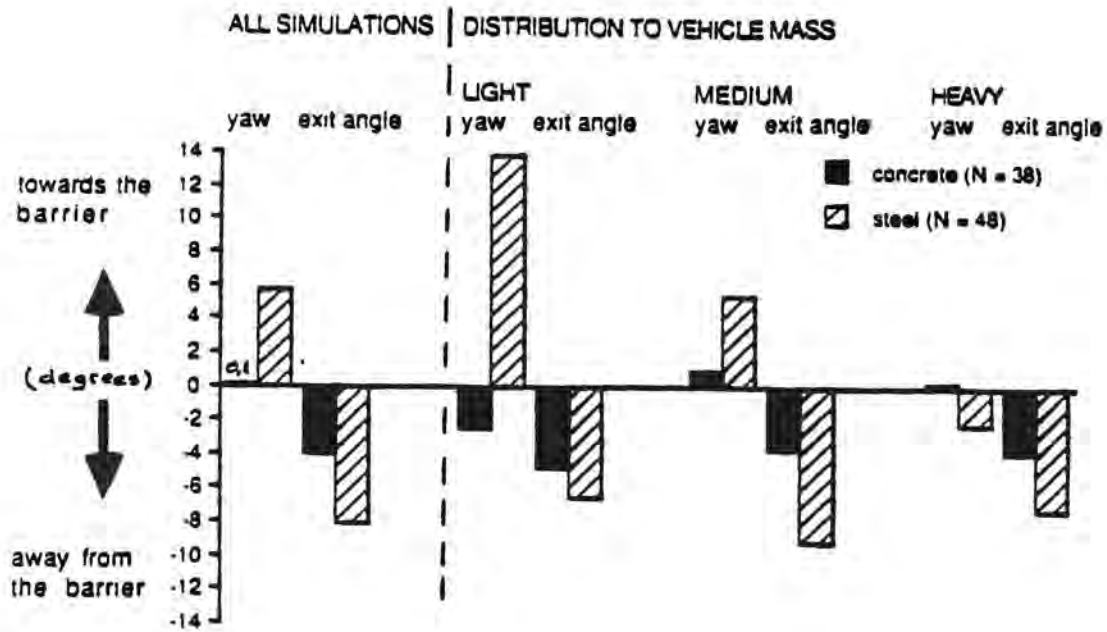
Afbeelding 4. Effect van het verschil in grootte van de wrijvingscoëfficiënt van het oppervlak van een betonnen geleideconstructie in termen van de klimhoogte van het voorwiel van een personenauto.



Afbeelding 5. Relatie tussen de voertuigmassa en het percentage roll-over ongevallen als gevolg van aanrijdingen met ondermeer stalen en betonnen geleideconstructies (New Jersey-profiel)



Afbeelding 6. Verschil in grootte van de voertuigvertraging van simulaties van aanrijdingen met stalen en betonnen geleideconstructie (New Jersey-profiel)



Afbeelding 7. Verschil in grootte van de gemiddelde uitrijhoek en gierhoek (yaw) van simulaties van aanrijdingen met stalen en betonnen geleideconstructie (New Jersey-profiel) voor zowel alle simulaties als een verdeling naar voertuigmassa

	IG	DEA (staal)		DBA (beton)	
		f	G	f	G
Arrêt proche de DR	1	28,6	28,6	23	23
Franchissement	12	4,1	49,2	0	0
Rebond sans heurt véhicule					
sans SDC a	1,25	44,9	56,1	33,8	42,2
avec SDC a	2,8	18,4	51,5	35,1	98,3
Rebond avec heurt véhicule	6,75	4,1	27,7	8,1	54,6
Ensemble		100	213	100	218

Tabel 1. Vergelijking tussen stalen en betonnen geleideconstructies (gewogen naar ernst ongeval); Frankrijk 1981 t/m 1985.

Type	Gevolgen van ongevallen gemiddeld aantal						
geleideconstructie	per 10 ongevallen						

	Over- schrij- ding	Totaal		Zonder overschrijding		Met overschrijding	
		do+zw.g	l.g.	do+zw.g.	l.g.	do+zw.g.	l.g.

Stalen geleiderail:

- enkel	4	4	1	4	12	5	8
- dubbel	1	3	9	3	9	5	15

Betonnen voertuigkering:

hoge							
boordsteen	8	4	7	4	7	4	7
- New Jersey	1	3	11	3	10	0	17
Brede							
middenberm	3	4	8	4	8		8

Gewogen

gemiddelde	4	4	9	4	10	4	8
------------	---	---	---	---	----	---	---

do+zw.g. = gemiddeld aantal doden en zwaar gewonden per 10 ongevallen.

l.g. = gemiddeld aantal licht gewonden per 10 ongevallen.

Tabel 2. Resultaten van de ongevallenregistratie door politie en Rijkswacht op 8 Belgische autowegen in de periode 1985 t/m 1989.

Jaar van aanleg	Lengte naar een zijde werkzaam	naar twee zijden werkzaam	totaal	Aantal aanrijdingen	Aantal tussenkomsten van de Rijkswacht	Bedrag van de schade B.frs.
1976	1.740	1.600	3.340	19	--	--
1977	--	5.416	5.416	2	--	--
1978	24.000	24.168	48.168	41	7	20.648
1979	--	35.878	35.878	76	2	80.000
1980	988	5.672	6.660	11	11	315.510
1981	18.499	6.200	24.699	11	--	--
1982	80.219	18.587	98.806	85	23	75.000
1983	112.175	17.038	129.213	11	5	--
Totaal	237.621	114.559	352.180	256	48	491.158

Tabel 3. Aantal aanrijdingen (en politieregistraties) met betonnen geleideconstructies type New Jersey in België (jaren 1976 t/m 1983).