

VERSCHIL IN ERNST VAN AANRIJDINGEN MET STALEN EN BETONNEN GELEIDE-  
CONSTRUCTIES

Consult ten behoeve van DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV

R-89-54

Ing. C.C. Schoon

Leidschendam, 1989

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV



INHOUD

1. Inleiding
2. Buitenlandse literatuur
  - 2.1. Ongevallencijfers
  - 2.2. Overige gegevens
3. Nederlandse ongevallencijfers
4. Vershil in voertuigdynamica bij mathematische simulaties
5. Samenvatting literatuur
6. Conclusie

Literatuur

## 1. INLEIDING

In opdracht van de Dienst Verkeerskunde van de Rijkswaterstaat voert DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV een onderzoek uit naar de totale maatschappelijke kosten van de stalen en betonnen geleideconstructies in middenbermen van autosnelwegen (kosten van aanleg, onderhoud, verkeersongevallen en reparatie na aanrijding). De kosten van ongevallen met deze beveiligingsmiddelen vormen een belangrijke kostenpost. Ze kunnen worden bepaald aan de hand van de frequentie en de ernst van de betreffende aanrijdingen. DHV heeft de SWOV verzocht inzicht te verschaffen in het verschil in ernst van aanrijdingen tegen stalen en betonnen geleideconstructies. In dit rapport wordt hiervan verslag gedaan.

In deze studie komen de volgende aspecten aan de orde:

1. Op basis van de buitenlandse literatuur wordt aangegeven wat de gemiddelde ernst is van aanrijdingen met stalen en met betonnen geleideconstructies.
2. Op basis van Nederlandse ongevallencijfers wordt de ernst van aanrijdingen met stalen geleideconstructies (verder hier ook met geleiderailconstructies aangeduid) aangegeven.
3. Op basis van reeds uitgevoerde mathematische simulaties wordt het verschil aangegeven tussen de voertuigdynamica bij aanrijdingen met stalen en betonnen geleideconstructies.
4. Op basis van de gegevens van de punten 1 t/m 3 wordt een inschatting gemaakt van het gemiddelde verschil in ernst van aanrijdingen met beide typen geleideconstructies.

## 2. BUITENLANDSE LITERATUUR

Een overzicht van de in de IRRD opgenomen literatuur maakte duidelijk dat niet veel ongevallenstudies aangaande stalen en betonnen geleideconstructies zijn uitgevoerd.

Aangezien wij ons bij de literatuurstudie dienden te beperken tot de relevante literatuur die in de SWOV-bibliotheek aanwezig was, werd dit aantal verder gereduceerd tot ca 8 rapporten met ongevallengegevens en een aantal overige rapporten met meer algemene gegevens.

### 2.1. Ongevallencijfers

In de literatuur zijn gegevens verzameld omtrent de ernst van aanrijdingen met zowel stalen als betonnen geleideconstructies.

De stalen constructies die in het buitenland worden (of werden) toegepast vertonen de nodige diversiteit (doosconstructies, W-profiel, enkele en dubbele geleiders, al dan niet uitgebouwd). Een enkele keer is het type constructie bij een onderzoek aangegeven. Opgemerkt moet worden dat de geleiderailconstructies die in het buitenland worden toegepast, veelal niet met de Nederlands geleiderailconstructies zijn te vergelijken. Met name de Amerikaanse zijn vaak starre constructies.

De betonnen geleideconstructies hebben voornamelijk betrekking op het New Jersey- en het General Motors-profiel. Daar waar in de literatuur onderscheid is gemaakt, zal dit worden aangegeven.

Ondanks dat bij de diverse onderzoeken het aantal UMS-ongevallen is vermeld, wordt vanwege de veronderstelde registratieverschillen in de diverse landen in deze studie de volgende definitie van ernst van ongevallen toegepast:

aantal ongevallen met doden  
----- \* 100%  
aantal ongevallen met doden en gewonden

#### Verenigde Staten

In een studie in de staat California (Bronstad, 1977) met in totaal 2585 letselongevallen is de ongevallenernst als volgt:

stalen geleideconstructie: 2,46%

betonnen geleideconstructie: 1,48%

Een andere studie in dezelfde staat over overigens geringe weglengten van 4,8 en 10,4 km leverde een beperkt aantal van 66 letselongevallen op met de volgende resultaten:

stalen geleideconstructie: ernst 2,0%

betonnen geleideconstructie: ernst 0% (Bronstad, 1977).

In het zelfde rapport wordt een studie besproken die is gebaseerd op een inventarisatie van ongevallen met betonnen geleideconstructie in 15 staten.

Dit leverde het volgende op:

New Jersey barrier: ernst 1,96%.

Op een totaal van 242 ongevallen (incl. UMS) zijn 6,2% ongevallen met een roll-over geregistreerd.

In een studie van Carlson e.a. (1977) is bij geen van de 46 letselongevallen met de stalen geleideconstructie een overleden slachtoffer geregistreerd: de ongevallenernst is derhalve 0%.

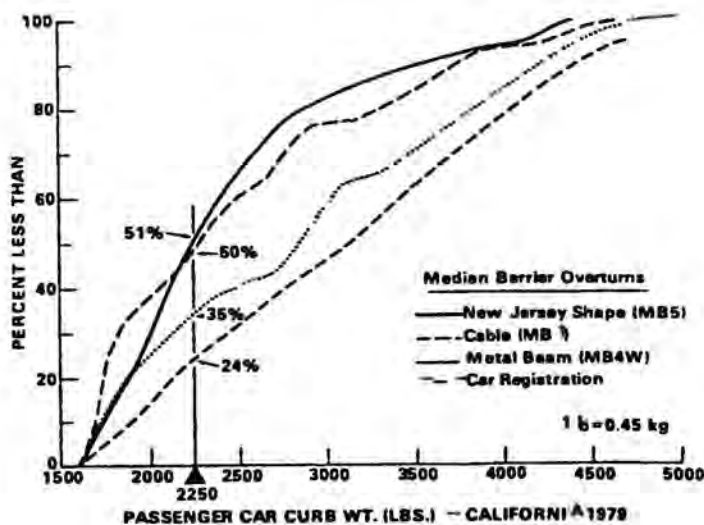
Vanwege het grotere marktaandeel dat de kleinere personenauto's momenteel in Amerika innemen, worden veel specifieke studies uitgevoerd.

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

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

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

Gesplitst naar voertuigmassa geeft het volgende beeld:



De voertuigmassa tot 2250 lbs (1022 kg) is bij de aanrijdingen met roll-over tegen de New Jersey-constructie met 51% vertegenwoordigd en tegen de geleiderailconstructie met 35%.

### Engeland

In een voor- en nastudie (géén geleiderail vs. wél geleiderail) op een lengte van 31,6 km Engelse autosnelweg is de nastudie (36 letselongevallen) een ongevallenernst van 2,8% vastgesteld (Watts, 1986).

### Bondsrepubliek Duitsland

Op alle wegen buiten de bebouwde kom in de deelstaat Hessen in de Bondsrepubliek Duitsland is op basis van 162 letselongevallen met een geleiderailconstructie een ongevallenernst van 5,6% vastgesteld (Domhan, 1985). Het aandeel van enkel- en dubbelbaanswegen is niet vermeld. In de Bondsrepubliek zijn in hoofdzaak de eenzijdig uitgebouwde geleiderailconstructies geplaatst.

### Frankrijk

De laatste jaren worden in Frankrijk in toenemende mate betonnen geleideconstructies toegepast. Als argument worden kosten en onderhoud genoemd (Quincy e.a., ca. 1987). In een studie op een autosnelweg met een lengte van 14 km waarbij de oude situatie (geleiderailconstructie) met de nieuwe situatie (betonnen geleideconstructie) wordt vergeleken, is in beide gevallen geen dodelijk letsel geregistreerd. De ongevallencijfers waren als volgt:

stalen geleideconstructie: 0 letselongevallen op een totaal van 48 ongevallen;

betonnen geleideconstructie: 6 letselongevallen op een totaal van 74 ongevallen.

Eén van conclusies in het rapport is de betonnen geleideconstructie in principe alleen op wegen met snelheidslimieten toe te passen.

### 2.2. Overige gegevens

Ray e.a. (1986) opende een interessante discussie aangaande een criterium dat momenteel in Amerika wordt toegepast bij botsproeven met beveiligingsconstructies (NCHRP Report 230). Het betreft hier de berekende of gemeten botssnelheid van de inzittenden met het interieur. Deze snelheid wordt

bepaald aan de hand van de componenten: voertuigvertraging en de vrije ruimte tussen inzittende en het interieur. Naarmate beide componenten groter zijn, is ook de botssnelheid groter. De norm van dit criterium is gesteld op 20 ft/s (6,1 m/s of 22,0 km/u). Ray en anderen stellen dat dit criterium te laag ligt. Zij veronderstellen dat als bij aanrijdingen tegen geleideconstructies sprake is van een goede geleiding (geen blokkering en geen roll-over e.d.), de kans op ernstig letsel zeer klein is.

Hoewel een sluitende bewijsvoering voor deze stelling ontbreekt, sluit de redenering wel aan bij de al jaren gangbare gedachte van de SWOV dat bij aanrijdingen tegen geleideconstructies de voertuigvertraging een slecht hanteerbaar criterium is voor de voorspelling van de letselkans. In dit verband kan worden verwezen naar beschouwingen over het door de SWOV gehanteerde ASI-criterium (Schoon, 1985a).

Ross e.a. (1989) beschouwen diverse ontwerpen van beveiligingsconstructies voor bermen in relatie met (voor Amerikaanse begrippen) kleine voertuigen. Ze concluderen dat de criteria van het reeds eerder genoemde NCHRP Report 230 ook voldoen voor aanrijdingen van lichtere voertuigen van ca. 1000 kg met betonnen geleideconstructies hoewel "it was determined that overturns can be expected for nontracking and/or high angle impacts" (nontracking: slipmanoeuvres). Geschat wordt dat bij ca. 50% van de wegbermongevallen slip optreedt.

Door Mak e.a. (1987) wordt aangegeven dat momenteel door Texas Transportation Institute een onderzoek wordt uitgevoerd naar de kans op roll-overs bij aanrijdingen met betonnen geleideconstructies specifiek met betrekking tot kleine personenauto's. Voor zover bekend is nog geen rapport van deze studie verschenen.



### 3. NEDERLANDSE ONGEVALLENCIJFERS

In Nederland zijn tot dus ver in de middenbermen in hoofdzaak geleiderailconstructies geplaatst. Betonnen geleideconstructies komen als afzonderlijke constructie (in middenbermen) weinig voor. Hoewel in tunnels en in tunnelbakken eerst onder andere het General Motors-profiel is toegepast en sinds een aantal jaren alleen het New Jersey-profiel, lijken ongevallen met deze profielen niet geschikt voor de vergelijking met de ernst van aanrijdingen met geleiderailconstructies (o.a. vanwege hoogte en specifieke locaties).

Besloten is alleen de ernst van aanrijdingen met geleiderailconstructies vast te stellen. Dit cijfer biedt de mogelijkheid een vergelijking te maken met de in de buitenlandse literatuur gevonden ernst van aanrijdingen met stalen en betonnen geleideconstructies.

Voor ongevalgegevens kunnen we in Nederland beschikken over VOR-gegevens. Een nadeel van deze gegevens is dat het niet mogelijk is met een enkel gecodeerd kenmerk de wegcategorie "autosnelweg" te selecteren. Het SWOV-bestand "Aanvullend bestand dodelijke ongevallen (AVG)" bezit een dergelijk kenmerk wel, maar in dit bestand zitten alleen ongevallen met dodelijke afloop.

In het kader van het onderzoek "Korte termijn veiligheidseffecten van de 100/120 km/u snelheidslimiet", beschikte de SWOV over een analysebestand met ongevallen en wegkenmerken van autosnelwegen. Dit bestand is gecreëerd op basis van de volgende door de DVK beschikbare bestanden:

- wegkenmerken (hectometer-gegevens van het jaar 1986)
- ongevallen (kenmerken van ongevallen in de jaren 1986 t/m 1988 volgens het VOR-bestand)
- slachtoffers (aantal slachtoffers per ongeval)
- objecten (gegevens over bestuurder, voertuig, manoeuvre).

Voor dit onderzoek "Snelheidslimieten" heeft de SWOV een geselecteerd aantal van de aangegeven kenmerken in een analysebestand opgenomen. Hierbij zijn onder andere diverse typen "geleidingen in de wegberm" (geleiderail, trottoirband e.d., zie hierna) tot één categorie samengevoegd. Hoewel met een hercodering een specifieke bestand zou zijn verkregen, is hiertoe om twee redenen niet toe besloten. In de eerste plaats zou een hercodering onevenredig veel tijdsbeslag hebben genomen. In de tweede

plaats heeft de selectie betrekking op autosnelwegen: de geleiderailconstructie heeft duidelijk een overgroot aandeel binnen de categorie "geleidingen in de wegberm".

Voor de studie van het voorliggende rapport zijn de volgende gegevens uit het analysebestand gebruikt:

- wegcategorie autosnelweg: dubbelbaans autosnelweg (totale lengte 1878,2 km) plus enkelbaans autosnelweg (totale lengte 86,7 km). Deze laatste categorie heeft in ieder geval één rijbaan die tot de categorie autosnelweg mag worden gerekend; de andere rijbaan bestaat niet of is van een ander wegtype.
- botsobject "geleidingen in de wegberm": in deze categorie zitten de volgende vaste voorwerpen: geleiderailconstructie, brugleuning, verkeersdrempel, vluchtheuvel, trottoirband, overige verkeerstechnische geleidingen; in verband met de selectie op "autosnelweg" zullen in hoofdzaak geleiderailconstructie en brugleuningen bij de selectie betrokken zijn.
- vervoermiddel: personenauto.
- ernst ongeval: dodelijk, met ziekenhuisopname, met overig letsel, UMS.

Over de jaren 1986 t/m 1988 kan het volgende resultaat worden gegeven.

Ernst categorie	Aantal ongevallen	Percentage
dodelijk	17	0,3
ziekenhuisopname	190	2,9
overig letsel	424	6,4
ums	5985	90,5
Totaal	6616	100

De ernst van aanrijdingen met in hoofdzaak geleiderailconstructies kan nu met de definitie in par. 2.1 berekend worden op 2,7%.

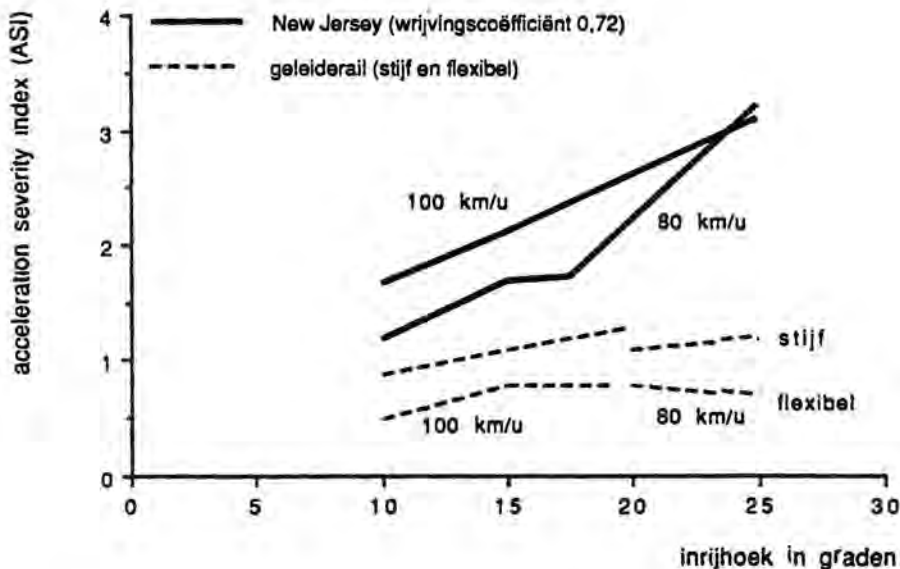
Zoals reeds eerder is aangegeven kan een dergelijke tabel voor aanrijdingen met betonnen geleideconstructies in Nederland helaas niet worden geproduceerd.

#### 4. VERSCHIL IN VOERTUIGDYNAMICA BIJ MATHEMATISCHE SIMULATIES

De SWOV heeft in 1985 in opdracht van de Dienst Verkeerskunde mathematische simulaties uitgevoerd met betonnen geleideconstructies en geleiderailconstructies. Over deze onderzoeken is apart gerapporteerd (SWOV, 1985; Schoon, 1985a & b). In een paper ten behoeve van het INRR-congres in Luxemburg zijn de onderzoekresultaten op globale wijze met elkaar in verband gebracht (Schoon, 1989). De relevante aspecten komen in het onderstaande aan de orde.

Vergeleken zijn de simulatieresultaten van de in Nederland toegepaste geleiderailconstructie (stijf en flexibel) en de New Jersey-constructie (waarde van de wrijvingscoëfficiënt 0,72). De verschillen in voertuigdynamica zijn uitgedrukt in grootte van de vertragingwaarden en het voertuiggedrag na de aanrijding met de constructie.

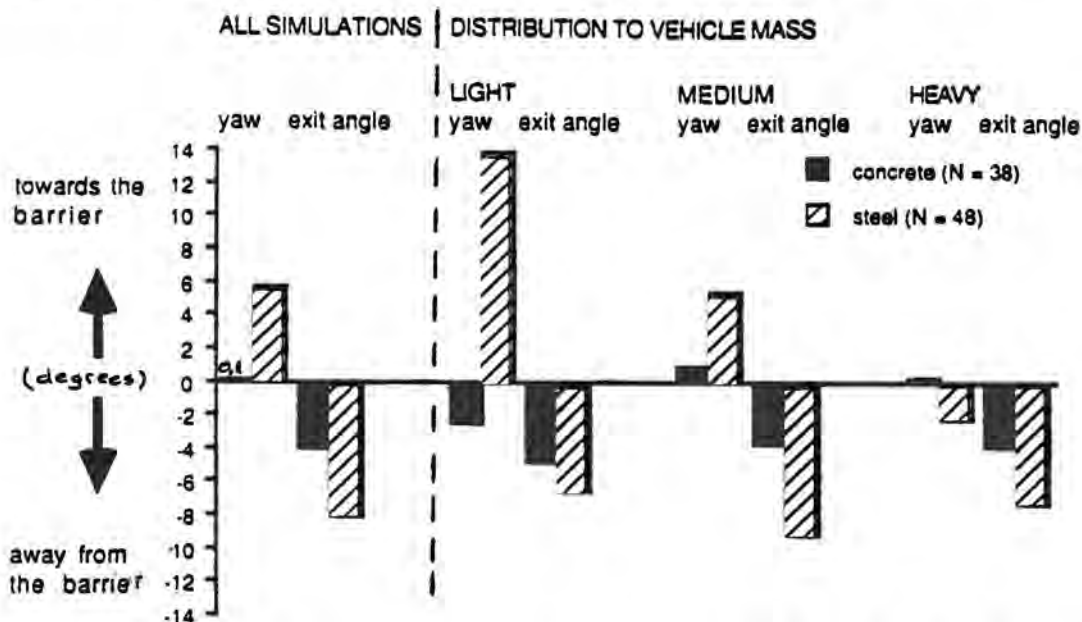
Voor twee snelheden en diverse inrijhoeken zijn hieronder de vertragingwaarden gegeven. De ernst van de botsing bij de New Jersey-constructie blijkt beduidend hoger te zijn dan bij de geleiderailconstructie. Bij een botssnelheid van 100 km/uur is het verschil ongeveer een factor 2 tot 3 en bij 80 km/uur ongeveer een factor 2 tot 3,5 (resp. gerelateerd aan de stijve en flexibele geleiderailconstructie).



Het voertuiggedrag na de aanrijding is bij de simulaties met twee kenmerken vastgelegd: de uitrijhoek (de bewegingsrichting van het zwaartepunt van het voertuig) en de rotatie om de verticale voertuigas (de zgn. yaw). Een aanrijding kan als gunstig worden bestempeld als het voertuig na de

aanrijding niet op de rijbaan wordt teruggekaatst. Dit is het geval bij kleine uitrijhoeken en bij een rotatie van het voertuig na de aanrijding in de richting van de constructie. Als tijdstip voor de bepaling van de uitrijhoek en de yaw (uitgedrukt in de gierhoek) is het moment gekozen dat het voertuig los is van de constructie; ervaring heeft geleerd dat dit moment als goede voorspeller van het verdere verloop van de aanrijding kan dienen.

Voor alle uitgevoerde simulaties met betonnen en stalen geleideconstructies zijn de gemiddelde uitrijhoeken en gierhoeken bepaald. Uit onderstaande afbeelding (linker diagram) blijkt dat de geleiderailconstructie beduidend grotere uitrijhoeken en gierhoeken geeft dan de betonnen constructie. De gemiddelde gierhoek wijst bij staal in de richting van de constructie; bij de betonnen constructie is de hoek evenwijdig aan de constructie. De uitrijhoeken wijzen van de constructie af.



Vooral de gierhoek blijkt duidelijk gerelateerd te zijn aan de voertuig-massa (zie rechterdeel van de afbeelding). Opvallend bij de geleiderail-constructie is de grote gierhoek voor de categorie lichte personenauto's; naarmate de auto zwaarder is neemt de gemiddelde gierhoek af. Bij betonnen constructies valt op dat bij de lichtere auto's de gemiddelde gierhoek van de constructie afwijst. Bij beide andere categorieën personenauto's is de gemiddelde gierhoek net positief (dit is naar de constructie toe). Zowel voor de geleiderail- als de betonnen constructies is er met betrekking tot de uitrijhoek weinig verschil tussen de drie voertuigcategorieën. Opgemerkt moet worden dat bij de simulaties geen rekening is gehouden met ingrijpen van de bestuurder.

Resumerend kan voor de categorie personenauto's worden aangegeven dat bij aanrijdingen met geleiderailconstructies de uitrijhoeken weliswaar groter zijn dan bij aanrijdingen met de betonnen geleideconstructies, maar dat de rotatie van het voertuig ná de aanrijding in de richting van de constructie wijst. In het algemeen zijn er met betrekking het voertuiggedrag ná de aanrijding geen grote verschillen tussen beide beschouwde constructies te constateren.

Anders is het met betrekking tot het voertuiggedrag tijdens de aanrijding. Bij de simulaties van aanrijdingen met de betonnen geleideconstructies is vastgesteld dat een beduidend grote klimming van het voorwiel van het voertuig kan optreden. De wielen kunnen hierbij tot de bovenkant van de constructie opklimmen (hoogte 81 cm). Bij aanrijdingen met een geleiderailconstructie is van een dergelijke klimming geen sprake. Simulaties hebben wel aangetoond dat verlaging van de wrijvingscoëfficiënt van betonnen geleideconstructies resulteert in geringere klimhoogtes. Dit heeft een gunstig effect op het reduceren van de kans op een roll-over en op de manoeuvreerbaarheid van het voertuig.

## 5. SAMENVATTING LITERATUUR

De buitenlandse ongevallencijfers laten voor geleiderailconstructies een ongevallenernst van maximaal 2,8% zien (ongevallenernst uitgedrukt in het aandeel dodelijke ongevallen in alle letselongevallen). Het Duitse cijfer van 5,6% is hier buiten beschouwing gelaten daar dit mede was gebaseerd op enkelbaans wegen.

Voor Nederland is een ongevallenernst van 2,7% berekend voor "geleidingen in de wegberm" waarin de geleiderailconstructie voor het overgrote merendeel is vertegenwoordigd. Dit cijfer is vergelijkbaar met dat van de buitenlandse studies van ongevallen met geleiderailconstructies. Daarbij dient echter te worden bedacht dat de in Nederland geplaatste geleiderailconstructies in constructieve zin veelal gunstig afwijken van de in het buitenland toegepaste constructies.

Voor betonnen geleideconstructies is op grond van de Amerikaanse literatuur een ongevallenernst van maximaal 2,0% berekend. Hierbij is van belang aan te geven dat dit cijfer is gebaseerd op "oude" onderzoeken uit de tijd dat het aandeel van lichte personenauto's in de Verenigde Staten nog gering was. De enige recente Europese cijfers zijn die van een Franse studie die er op duiden dat een betonnen geleideconstructie wat meer letselongevallen geeft.

Verder is bij een Amerikaanse studie vastgesteld dat de kans op een roll-over bij aanrijdingen met een betonnen geleideconstructies beduidend groter is dan bij aanrijdingen met een geleiderailconstructie (verschil bijna een factor 4).

In par. 2.2. is verondersteld dat zolang sprake is van een goede geleiding bij aanrijdingen met betonnen geleideconstructies - dat wil zeggen geen blokkeren en geen roll-over - de huidige criteria met betrekking tot de kans op ernstig letsel te conservatief zijn.

Uit simulatiestudies blijkt dat de voertuigvertragingen bij aanrijdingen met betonnen geleideconstructies een factor 2 à 3,5 groter zijn dan bij aanrijdingen met geleiderailconstructies (deze factor is afhankelijk van de mate van flexibiliteit van de geleiderailconstructies). Helaas is het verband tussen de grootte van de voertuigvertraging en de kans op (ernstig) letsel onduidelijk.

Uit de simulaties blijkt ook dat bij aanrijdingen met de betonnen geleideconstructies de wielen van het voertuig hoog tegen de constructie kunnen

opklimmen, met een grote kans op een roll-over. Het voertuiggedrag na de aanrijding met de stalen en betonnen geleideconstructies (uitrijhoek in combinatie met slip) verschilt in het algemeen gesproken niet veel.



## 6. CONCLUSIE

Vastgesteld kan worden dat de ernst van aanrijdingen met geleiderailconstructies in Nederland en in het buitenland min of meer vergelijkbaar is. Op zich zou dit een vergelijking rechtvaardigen van de ernst van de Nederlandse aanrijdingen met geleiderail- en de buitenlandse aanrijdingen met betonnen constructies. Het verschil in het Europese en Amerikaanse voertuigenpark bemoeilijkt echter een dergelijke vergelijking.

Geconcludeerd moet worden dat de (Amerikaanse) ongevallestudies die tot dus ver zijn verricht weinig houvast bieden voor het vaststellen van een hard cijfer voor het verschil in ernst tussen aanrijdingen met stalen en betonnen geleideconstructies in Nederland. De ongevallenernst is hier gedefinieerd als het aandeel dodelijke ongevallen in alle letselongevallen. Toekomstige Europese studies van landen waar de laatste jaren op grote schaal betonnen geleideconstructies zijn toegepast, zullen hierover uitsluitel kunnen bieden.

Op basis van simulatiestudies kan evenwel meer worden geconcludeerd over de verschillen tussen stalen en betonnen geleideconstructies.

Ten eerste blijkt dat bij aanrijdingen met betonnen constructies de voertuigvertraging bij een toename van de inrijhoek beduidend meer toeneemt dan bij aanrijdingen met geleiderailconstructies. Zolang bij de betonnen constructies nog sprake is van "geleiden", hoeven grotere vertragingwaarden nog niet te leiden tot een toename van het aantal dodelijke ongevallen (wat van veel invloed is op de gedefinieerde ongevallenernst). Een toename van het aantal letselongevallen is echter wel te verwachten.

Op de tweede plaats leveren aanrijdingen met betonnen constructies meer roll-over ongevallen op dan aanrijdingen met geleiderailconstructies. Dergelijke ongevallen leiden tot meer dodelijk letsel, wat van directe invloed is op de grootte van de ongevallenernst.

Als wordt aangenomen dat er een lineair verband is tussen de grootte van de voertuigvertragingen en de voertuigschade, kan het verschil tussen beide typen constructies wat de voertuigschade bij de ernstiger aanrijdingen betreft, zeker op een factor 2 worden geschat.



Aanbevolen wordt aandacht te besteden aan het gevaar van roll-over ongevallen bij betonnen geleideconstructies. In constructieve zin zijn daarvoor oplossingen mogelijk.

## 7. LITERATUUR

Bronstadt, M.E.; Calcote, L.R. & Kimball jr., C.E. (1977). Concrete median barrier research. Final Report Vol. 1 & 2. Report FHWA-RD-77-3. Federal Highway Administration, Washington, D.C., 1977.

Carlson, R.D.; Allison, J.R. & Bryden, J.E. (1977). Performance of highway safety devices. Report FHWA-NY-77-RR57. Engineering Research and Development Bureau, New York State Department of Transportation, 1977.

Domhan, M. (1985). Die Bewahrung von Schutzplanken in der Praxis. Strassenverkehrstechnik, Heft 6/1985.

Mak, K.K.; Sicking, D.L. & Ross, H.E. (1986). Real-world impact conditions for run-off-the-road accidents. In: Transportation Research Record 1065, TRB, 1986.

Mak, K.K. & Viner, J.G. (1987). Overview on use of in-depth accident data. International Congress and Exposition. Detroit, Michigan, 1987.

Quincy, R. & Vulin, D. (1987). Crash test and accident investigation. INRETS, (geen jaaropgave, ca. 1987).

Ray, H.R.; Michie, J.D. & Hargrave, M. (1986). Events that produce occupant injury in longitudinal barrier accidents. In: Transportation Research Record 1065, TRB, 1986.

Roos, H.E., jr; Perera, H.S.; Sicking, D.L. & Bligh, R.P. (1989). Roadside safety design for small vehicles. NCHRP Report 318, 1989.

Schoon, C.C.; Pol, W.H.M. v.d. & Jordaan, D.J.R. (1985a). Aanrijdingen met de betonnen geleideconstructietypen General Motors en New Jersey. R-85-64. SWOV, 1985.

Schoon, C.C. (1985b). Aanrijdingen met in stijfheid verschillende typen geleiderailconstructies. R-85-63. SWOV, 1985.

Schoon, C.C. (1989). Differences between steel and concrete crash barriers in accidents and some remarks concerning a Dutch crash cushion. Paper t.b.v. 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.

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

Watts, G.R. (1986). Safety fence criteria for all-purpose dual carriageway roads; A feasibility study. 65th TRB Meeting, January 1986.

