

DE VEILIGHEID VAN BERMEN EN WEGEN

Een beschouwing van de stand van zaken

R-92-16

Ir. T. Heijer

Leidschendam, 1992

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV



## INHOUD

1. Inleiding
2. Veiligheid van huidige omstandigheden
  - 2.1. Algemeen beeld
  - 2.2. Overige wegen
  - 2.3. Conclusie
    - 2.3.1. Rijkswegen
    - 2.3.2. Niet-autosnelwegen
3. Prikkels tot verandering
  - 3.1. Veranderingen van het voertuigenpark
  - 3.2. Ontwikkeling van de verkeersongevallen
    - 3.2.1. Inleiding
    - 3.2.2. Autosnelwegen
    - 3.2.3. Niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom
    - 3.2.4. Verkeersaders binnen de bebouwde kom
  - 3.3. Ontwikkelingen in het ontwerp van bermbeveiliging
    - 3.3.1. Tijdelijke voorzieningen
    - 3.3.2. Permanente voorzieningen
    - 3.3.3. Obstakelbeveiligers
4. Conclusies
  - 4.1. Autosnelwegen
  - 4.2. Niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom
  - 4.3. Verkeersaders binnen de bebouwde kom
5. Aanbevelingen
  - 5.1. Onderbouwing met gegevens
  - 5.2. Ontwikkelingsonderzoek

## Literatuur

## 1. INLEIDING

Dit consult, geschreven in opdracht van de Dienst Verkeerskunde van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, geeft een beschouwing van de functionele veiligheid van bestaande, in de Nederlandse praktijk toegepaste, beveiligingsconstructies in wegbermen. Daarnaast wordt ingegaan op recent verschenen nieuwe constructies en het gebruik van nieuwe of alternatieve materialen voor die voorzieningen en worden nog resterende gebieden van ontwikkeling gezien. Daarmee wordt met dit consult getracht de vraag te beantwoorden waar en in hoeverre beveiligingsconstructies op dit moment vanuit verkeersveiligheidsoverwegingen voldoen en waar nog verbeteringen denkbaar en wenselijk zijn. Bovendien wordt gepoogd vooruit te kijken naar de consequenties van nieuwe ontwikkelingen in verkeersomstandigheden en beveiligingsmiddelen.

## 2. VEILIGHEID VAN HUIDIGE OMSTANDIGHEDEN

### 2.1. Algemeen beeld

Om een beeld te krijgen van de globale functionele veiligheid van bermbeveiligingsinstallaties is aan de Dienst Verkeerskunde gevraagd, enige basisgegevens te verschaffen met behulp van het IMPULS-programma, waarmee de ongevalgegevens voor rijkswegen aldaar worden bewerkt. De beperking tot rijkswegen is geen feitelijk obstakel omdat bermbeveiliging voor het overgrote deel voorkomt langs rijkswegen (snelwegen en sommige autowegen) en in veel mindere mate langs andere wegen. Overigens is in de analyse vooral gebruik gemaakt van gegevens van de autosnelwegen, zodat in een latere, bij de SWOV uitgevoerde analyse van ongevallen op niet-rijkswegen zeker geen overlap aanwezig is. Bij de analyse is gevraagd om alleen de enkelvoudige ongevallen waarbij bermbeveiliging is betrokken te selecteren zodat een zo sterk mogelijke relatie tussen geregistreeerde gevolgen en werking van de constructies te leggen is. Verder zijn vooral de meest recente jaren (1986-1989) in beschouwing genomen teneinde zoveel mogelijk een beeld te krijgen van de functionaliteit gegeven de huidige verkeersafwikkeling.

Helaas is het in de gegeven tijd niet mogelijk gebleken deze gegevens verder te differentiëren via een koppeling met het WEGGEG-bestand. Hiermee had, aan de hand van de locatie van de ongevallen, een globaal onderscheid kunnen worden gemaakt tussen autosnelwegen en autowegen.

Bovendien had dan ook, samen met het bij de SWOV bestaande bestand van inventarisatiegegevens omtrent het type beveiligingsconstructies op een groot aantal plaatsen langs het wegennet, een nadere uitsplitsing van functionaliteit naar diverse typen (misschien) kunnen worden gemaakt. De conclusies blijven nu beperkt tot alle rijkswegen en alle beveiligingsvoorzieningen (geleiderailconstructies, eventueel RIMOB's) samen.

De cijfers (alleen voor rijkswegen) geven het volgende beeld:

Het totale aantal ongevallen in de periode 1986-1989 op rijkswegen bedroeg 47.536, waarvan: 42.293 u.m.s.-ongevallen of 89,0%, 4971 letselongevallen of 10,5% en 272 dodelijke ongevallen of 0,5%

Van deze ongevallen waren er 9222 (19,4% van het totaal) waarbij een geleiderailconstructie betrokken was en 2115 (= 4,45%) ongevallen waarbij tegen een ander vast obstakel werd gebotst; deze zijn weer als volgt uit te splitsen:

tegen geleiderailconstructie: 8313 u.m.s.-ongevallen of 90,1%; 869 letsel-ongevallen of 9,4% en 40 dodelijke ongevallen of 0,5%;  
tegen overige obstakels: 1702 u.m.s.-ongevallen of 80,5%; 371 letsel-ongevallen of 17,5% en 42 dodelijke ongevallen of 2,0%.

We zien dus dat de groep geleiderailbotsingen zich in het patroon van u.m.s., letsel en dodelijke afloop nauwelijks onderscheidt van het patroon van de totale ongevallen: zo'n botsing representeert als het ware een 'gemiddeld' ongeval.

Vergelijken we de geleiderailbotsingen met die op andere vaste obstakels, en dat is van belang omdat geleiderailconstructie dikwijls dienen om het verkeer van zulke obstakels gescheiden te houden, dan zien we dat de obstakelbotsingen doorgaans aanmerkelijk slechter aflopen: het percentage gewonden is ca. 1,5 maal zo hoog en het percentage doden zelfs bijna 4 maal zo hoog.

Nemen we in aanmerking dat de u.m.s.-ongevallen zeer slecht worden geregistreerd, met een grote mate van onderregistratie en zeker niet representatief, dan blijkt dat de verhouding tussen de aantallen doden en gewonden bij de geleiderailongevallen 0,046 bedraagt en bij de overige obstakel-ongevallen 0,113: in deze, betrouwbaarder, vergelijkingsmaat blijkt de geleiderail-constructie dus 2,5 maal beter te scoren.

Hoewel de cijfers erg globaal zijn, kan de voorzichtige conclusie worden getrokken dat er geen dringende redenen tot onmiddellijke herziening van de beveiligingsconstructies langs rijkswegen lijken te zijn. Dit is gebaseerd op de volgende overwegingen: de gevolgen van een botsing met de constructies blijken veel minder ernstig dan die bij botsingen met andere mogelijke obstakels in de berm en bovendien is de afloop gemiddeld niet ernstiger dan die van alle andere typen ongevallen op rijkswegen. Daarbij kan worden opgemerkt dat ook in het ontwerp van de geleiderailconstructies steeds een compromis moet worden gezocht tussen voldoende stevigheid om ook zware voertuigen nog te keren en voldoende 'weekheid' om het inzitten van personenauto's niet te zwaar te maken; het 'gemiddelde' karakter van de ongevallen met geleiderailconstructies zijn als het ware een afspiegeling van dit compromis.

Wel moeten we ook in aanmerking nemen dat het bestand "rijkswegen" ruwweg 2000 km autosnelweg omvat en ongeveer 5000 km niet-autosnelweg. Omdat het grootste deel van de beveiligingsconstructies langs snelwegen staat, ter-

wijl de ongevallencijfers toch voor een belangrijk deel worden bepaald door niet-autosnelwegen, is een betere 'positiebepaling' van het ongeval tegen een geleiderailconstructie, en daarmee een fermere conclusie, zonder nadere differentiatie niet mogelijk.

Gegeven ook het relatief kleine aandeel van ongevallen op autosnelwegen in het landelijke totaal, lijkt voorshands de conclusie gerechtvaardigd dat, tenzij er werkelijk revolutionair betere constructies opduiken, snelwegen naar de stand der kennis adequate beveiligingsinstallaties hebben. Hier passen overigens weer een paar kanttekeningen bij:

- De conclusie dat de bestaande installaties blijken te voldoen betekent niet dat zij ook zullen voldoen bij ingrijpende wijzigingen in weg- of verkeersbeeld; zulke wijzigingen zijn op middellange termijn zeker niet onmogelijk en kunnen dus om nieuwe ontwikkelingen vragen.
- De vrij recente grootschalige toepassing van tijdelijke beveiliging (VECU-SEC, betonnen NJB-blokken etc.) is waarschijnlijk grotendeels buiten het cijfermateriaal gebleven waardoor de conclusies zich niet daartoe kunnen uitstrekken.

## 2.2. Overige wegen

Zoals reeds is opgemerkt concentreert de toepassing van bermbeveiliging zich langs rijkswegen en dit deel van het wegennet maakt, zowel in fysieke lengte als in aandeel tot het totale aantal ongevallen, slechts een klein deel van het totaal uit (rond de 10%). Er is daarom alle reden om de mogelijke toepassingen van bermbeveiliging op niet-autosnelwegen te bekijken. Om te beginnen kunnen we trachten een indruk te krijgen van de maximaal te behalen 'veiligheidswinst'; in principe alle ongevallen (met letsel of erger) op niet-rijkswegen waarbij voertuigen in de berm geraken.

Opgemerkt moet worden dat de SWOV-bestanden geen overzicht van u.m.s.-ongevallen bevatten maar uitsluitend van ongevallen met gering of ernstiger letsel of dodelijke afloop.

We kunnen dus niet exact dezelfde maten hanteren als in het voorgaande overzicht. Belangrijker is echter dat de onderregistratie van u.m.s.-ongevallen (die in het algemeen groot is) op deze wegen waarschijnlijk nog groter is dan die op rijkswegen, hetgeen zowel ten gunste van de bermbeveiliging kan werken (als veel van de u.m.s.-ongevallen tegen die constructies blijken plaats te vinden), als in ongunstige zin (als u.m.s.-



ongevallen vooral in de overige categorie vallen). We hebben dus te maken met een aanmerkelijke onzekerheid in interpretatie! Die onzekerheid is alleen op te heffen door een nadere aanvulling van de ongevallengegevens met u.m.s.-ongevallen. Zolang die gegevens nog niet beschikbaar zijn, kan alleen worden gezegd dat, op grond van ervaringen met botsproeven, de onderregistratie waarschijnlijk tot enige onderschatting van de effectiviteit van beveiligingsconstructies leidt.

Als we dan, met alle reserve, toch op globale manier naar ongevallencijfers kijken zoals die in de SWOV-bestanden aanwezig zijn dan vinden we voor de periode 1986-1989 een totaal van 13.793 eenzijdige ongevallen waarbij de voertuigen van de weg geraakten en een obstakel raakten. Binnen deze groep bleken er 1278 ongevallen te zijn waarbij het obstakel een geleiderailconstructie was en resteren er dus feitelijk 12.515 ongevallen waarvoor een beveiligingsvoorziening in principe tot verbetering van de afloop zou kunnen leiden (de veiligheidswinst). Differentiëren we nu verder dan vinden we:

tegen geleiderailconstructie: 1209 letselongevallen of 94,6% en 69 dodelijke ongevallen of 5,4%;

overige bermongevallen: 11.773 letselongevallen of 95,0% en 742 dodelijke ongevallen of 5,0%.

Hier lijkt er, door het ontbreken van u.m.s.-ongevallen, dus op dat geleiderailconstructies langs niet-autosnelwegen veel minder effectief zijn dan op autosnelwegen. Het beeld wordt daarbij mogelijk extra vertekend doordat in deze ongevallen ook 'complexe' manoeuvres voorkomen waarbij meerdere botsingen voorkomen en de belangrijkste schade dus niet hoeft te zijn ontstaan in de berm. Maken we dan vervolgens nog een nadere selectie van de kleinere groep, waarvan vaststaat dat de schade alleen uit het bermongeval voortvloeit dan vinden we:

tegen geleiderailconstructie: 667 letselongevallen of 96,1% en 27 dodelijke ongevallen 27 of 3,9%

overige bermongevallen: 9518 letselongevallen of 93,5% en 656 dodelijke ongevallen of 6,5%.

Weer bekijken we de verhouding tussen de aantallen doden en gewonden voor beide omstandigheden en vinden 0,04 voor de geleiderailongevallen en 0,07 voor overige bermongevallen.



Dit wijst erop dat de toepassing van geleiderailconstructies of, indien mogelijk een voor de omstandigheden nog effectievere voorziening, toch een verbetering van vooral het risico op de zwaarste letsels kan betekenen. Er zij hierbij nogmaals gewezen op het mogelijke effect van de ontbrekende u.m.s.-ongevallen.

### 2.3. Conclusie

#### 2.3.1. Rijkswegen

Op grond van de voorgaande beschouwing kan de effectiviteit van bestaande beveiligingsconstructies rond rijkswegen als acceptabel worden gekenschetst. Dit wil niet zeggen dat nieuwe ontwikkelingen in deze sfeer zonder meer onnodig zijn: hoewel de werking van de bestaande bermbeveiliging aldaar niet direct aanleiding geeft tot herziening van de gebruikte constructies, kunnen bijvoorbeeld voorzienbare veranderingen in infrastructuur of verkeersproces toch tot nieuwe ontwikkelingen nopen. De toepassing van wisselstroken, aparte stroken voor vracht- en personenverkeer etc. kunnen zulke redenen geven: In Hoofdstuk 3 wordt nader op dergelijke redenen ingegaan.

#### 2.3.2. Niet-autosnelwegen

Zoals verder uit het voorgaande blijkt zijn met name de niet-autosnelwegen (als we daar alle niet-rijkswegen mee kunnen aanduiden) gebaat met verder gaande introductie van bermbeveiligingsinstallaties. De specifieke omstandigheden van die wegen, zoals beperkte bermruimte, beperkte wegbreedte die snel tot secundaire ongevallen aanleiding geeft (na terugkaatsen van de constructie) maar ook: lagere snelheden en landschappelijke overwegingen maken het zonder meer overnemen van bestaande constructies voor snelwegen vaak moeilijk of onmogelijk. Het (her)ontwerp voor deze omstandigheden lijkt derhalve het meest voor de hand liggende veld van ontwikkeling binnen het terrein van de bermbeveiliging.

### 3. PRIKKELS TOT VERANDERING

#### 3.1. Veranderingen van het voertuigenpark

De nawerking van de oliecrisis in 1973 leek geruime tijd te leiden tot meer 'energiebewuste' voertuigontwerpen. Met name de personenauto's werden minder zwaar door toepassing van lichtere materialen en er werd (en wordt) meer aandacht geschonken aan de ontwikkeling van zuiniger motoren. De neiging tot de bouw van lichtere voertuigen lijkt inmiddels echter weer enigszins gekeerd en heeft feitelijk niet tot ingrijpende verschuivingen in het voertuigenpark geleid. De ontwikkeling aan motoren (het uitvoerige elektronische 'motormanagement'), vooral onder druk van milieu-eisen, heeft weliswaar geleid tot aanmerkelijk 'schonere' emissies, maar tegelijkertijd ook tot een gemiddelde toename van het vermogen waardoor de acceleratie en vooral de topsnelheid van voertuigen in de laatste jaren nogal is toegenomen. Verder zijn de actieve en passieve botsveiligheid van de nieuwe voertuigen nog enigszins verbeterd als gevolg van de grootschalige toepassing van computerondersteunde ontwerpmethoden.

Naast deze trends in het ontwerp van personenauto's staat een ontwikkeling van zware vrachtauto's naar optimale benutting; binnen de maximale maten wordt een zo groot mogelijk gedeelte laadruimte. Hoewel deze ontwikkeling formeel geen gevolgen heeft voor het maximale treingewicht blijkt wel dat de toenemende laadruimte steeds vaker tot overbelading leidt, hetgeen zowel het manoeuvre- als het botsgedrag van de voertuigen nadelig beïnvloedt.

Daarnaast lijkt er een Europese unanimititeit te ontstaan in het beperken van de snelheid van de vrachtvoertuigen.

Verder is er een toename te constateren in het aanbod van lichte vrachtwagens; de overgang van bestelbus naar vrachtauto.

De verschillende trends zouden ieder voor zich een invloed op de eisen aan bermbeveiligingsconstructies kunnen hebben:

- Significant lichtere personenvoertuigen met tegelijkertijd aan de andere kant wat zwaardere grote vrachtvoertuigen eisen een spectrum van prestaties van (met name de midden)bermbeveiliging waaraan veel van de huidige constructies nauwelijks kunnen voldoen.
- Een effectief verlaagde rijsnelheid en daarmee ook de potentiële bots-

snelheid van vrachtvoertuigen kan daarnaast weer een deel van het probleem compenseren.

- Ook de in het algemeen steeds hogere maximum snelheid van de personenvoertuigen werkt in principe ten nadele van bestaande constructies; de bestaande snelheidslimieten lijken echter voldoende effectief om dit te compenseren.
- Het stijgend aandeel lichte vrachtvoertuigen kan ook problemen gaan opleveren voor bestaande constructies omdat die belastingen rond en boven het grensbereik van die constructies kunnen veroorzaken.

Ook toekomstige ontwikkelingen met betrekking tot de verdeling van voertuigtypen over het wegennet kunnen van invloed zijn op de functionele eisen aan beveiligingsconstructies. Hier valt te denken aan een concentratie van personen- en lichte vrachtauto's in de stedelijke agglomeraties (de distributiegebieden) waar zwaar transport via transferia wordt 'buitengesloten' naast een groeiend aandeel zware vrachtvoertuigen op de hoofdtransportassen.

Al met al lijkt er een tendens te zijn die weliswaar niet op korte termijn tot maatregelen noopt, maar op middellange termijn om aanpassingen vraagt. De aanpassingen die nodig zijn om een bestaand of aanvaard risiconiveau ten minste te handhaven gaan met name in de richting van verbreding van het werkingsbereik (naar boven toe) van de constructies op hoofdtransportassen en meer specialisatie binnen de distributiegebieden. Omdat deze ontwikkelingen geleidelijk gaan is er een voortdurende 'vinger aan de pols' nodig om de aanpassingen tijdig in gang te zetten. Ook verdient het aanbeveling reeds nu te starten met het ontwikkelen van bruikbare concepten.

### 3.2. Ontwikkeling van de verkeersomgeving

#### 3.2.1. Inleiding

Als gevolg van de beperkte mogelijkheden tot uitsplitsing van de ongevalgegevens, is in het voorgaande slechts onderscheiden tussen rijks- en niet-rijkswegen. Gegeven de specifieke kenmerken van zowel de verkeersprocessen als de infrastructuur, is het echter gebruikelijk te onderscheiden naar verkeersaders binnen de bebouwde kom, niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom en autosnelwegen (ook buiten de bebouwde kom).

Omdat die specifieke kenmerken van verkeersproces en omgeving ook de aard van de bermongevallen beïnvloedt, wordt in de volgende paragrafen ook deze indeling gehanteerd.

### 3.2.2. Autosnelwegen

In de afgelopen jaren is de capaciteit van een aantal tracés vergroot door aanleg van nieuwe gedeelten of vergroting van het aantal rijstroken. De gemiddelde snelheden zijn daarbij niet zeer wezenlijk veranderd. Theoretisch gesproken betekent een grotere wegbreedte dat de kans op grotere inrijhoeken bij aanrijding toeneemt, hetgeen er weer toe leidt dat de beveiligingsconstructies vaker buiten (boven) hun oorspronkelijke specificatiegebied worden belast. Er is echter uit de binnen het kader van dit consult beschikbare ongevalstatistieken geen herkenbare tendens tot toename van de ernst van de bermongevallen af te leiden waardoor dit theoretische probleem, zo het zich al voordoet, zich in ieder geval aan waarneming onttrekt. Dergelijke infrastructurele veranderingen lijken dus geen extra eisen aan beveiligingsconstructies op te leveren.

Dit kan anders worden als, onder druk van de mobiliteitsgroei, bijvoorbeeld normen voor (midden)bermbreedte worden losgelaten en rijstroken voor tegengestelde richting elkaar dicht naderen. In dat geval zullen de eisen dat de afscheiding niet door- of overschreden mag worden, terwijl toch de 'botsvriendelijkheid' voor personenauto's zo goed mogelijk moet worden behouden, zeker tot andere dan nu gebruikelijke constructies leiden. Iets dergelijks doet zich ook voor als op specifieke trajecten wordt besloten personen- en vrachtverkeer van elkaar te scheiden; de afscheiding moet dan aan beide zijden zeer verschillende botseigenschappen hebben. Constructies die voor een dergelijk breed werkingsgebied geschikt zijn, zijn deels al ontworpen; hierop zal later nog worden ingegaan.

Een derde, op handen zijnde, ontwikkeling is die van de verkeersbeheersingssystemen. Deze systemen hebben grofweg tot doel de congestie op de wegen te bestrijden door het verkeer te stabiliseren zodat instorten van de capaciteit wordt vermeden. De homogenisatie zal in geen geval tot gevolg hebben dat de maximale rijnsnelheden hoger uitvallen dan nu het geval is, waarmee ook de botssnelheden niet wezenlijk zullen veranderen; in ieder geval niet in ongunstige zin. Ook is het niet waarschijnlijk dat homogeni-



sering tot aanmerkelijk veranderde overige inrijcondities zal leiden. Voor het hoofdwegennet betekent dit dat homogeniseringsystemen op zich niet tot aanpassingen van bestaande constructies nopen.

'Tidal flow'-systemen met wisselstroken kunnen daarentegen nog wel tot nieuwe voorzieningen leiden. Gegeven het voorgaande zullen die nieuwe voorzieningen echter niet aan zwaardere botscondities worden onderworpen en zal een oplossing binnen bestaande concepten waarschijnlijk zijn.

Een vierde overweging geldt het effect van toenemende verkeersintensiteiten op onderhoudswerkzaamheden. Naarmate die verkeersintensiteit toeneemt en ook, over de dag verdeeld, langer hoog blijft, zal het versturende effect van onderhouds- en reparatiewerkzaamheden steeds sneller tot onaanvaardbare congestie leiden. Voor het ontwerp van beveiligingsconstructies betekent dit dat moet worden gestreefd naar vrijwel onderhoudsvrije concepten die bovendien niet snel sterk beschadigen. Als ze dan beschadigd zijn moeten ze eenvoudig en snel gerepareerd kunnen worden of deels zelfherstellend zijn.

Zulke eigenschappen, samen met een overigens aanvaardbare werking bij aanrijding, zijn naar de huidige stand van kennis maar ten dele voorhanden; zowel betonconstructies, waarvoor vaak deze combinatie van eigenschappen wordt geclaimd, als sommige metalen voorzieningen schieten toch in het algemeen te kort als het om het gehele spectrum van eisen gaat. Hier ligt nog een terrein van ontwikkeling waar moet worden bepaald of de gevraagde combinatie van eigenschappen wel in een concept te verenigen is en zo nee, hoe optimalisatiecriteria kunnen worden geformuleerd voor de beste keus onder wisselende omstandigheden.

### 3.2.3. Niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom

De wegen buiten de bebouwde kom zijn op dit moment in zeer beperkte mate voorzien van afscherming. De nog steeds toenemende automobilititeit, en de daardoor ook te verwachten toename van bermongevallen, noopt hier op zijn minst tot nadere overweging en herinrichting van (verkeerstechnisch) kritische gedeelten van dit wegennet. Het ontbreken van alternatieven 'op maat' (zowel verkeerstechnisch, financieel en milieutechnisch toepasbaar) voor afscherming maakt de verhoging van de bermveiligheid hierbij extra moeilijk.

Overigens moet ook in aanmerking worden genomen dat deze categorie feitelijk een zeer grote diversiteit aan wegen omvat die niet 'doorklinkt' in de structuur van de ongevallenbestanden en het onderscheiden van trends of grotere ongevallenpatronen vrijwel onmogelijk maakt; dit geldt vooral voor de lagere-ordewegen binnen deze categorie. Het is daarmee moeilijk om aan te geven welke specifieke aanpassingen van bestaande afscherming nodig zal zijn. De meest haalbare strategie tot verbetering lijkt dan ook een onderzoeklijn die uitgaat van de analyse van regionale 'black spots' (feitelijke geen spots maar trajecten) en via analyse ook tot lokale oplossingen komt. Vervolgens kunnen, bij voldoende gegevens, lokale strategieën worden gegeneraliseerd en uitgewerkt tot een beperkt scala van aangepaste afschermingsconstructies met daarbij een landelijk toepasbaar model van aanpak (als bijvoorbeeld de AVOC).

In Hoofdstuk 4 zal op de aangepaste constructies nader worden ingegaan.

#### 3.2.4. Verkeersaders binnen de bebouwde kom

Zowel op hoofdaders in de grote steden als in kleinere gemeenten die worden doorsneden door wegen met een hoge verkeersintensiteit kunnen zich problemen voordoen die te typeren zijn als 'bermongevallen'. Hier gaat het om de fysieke scheiding van de stroom van snelverkeer van het langzame verkeer of scheiding van de rijbanen. Ten opzichte van bestaande oplossingen doet zich hier een soortgelijk probleem voor als op wegen buiten de bebouwde kom; er is beperkte ruimte, de financiële middelen zijn ook doorgaans beperkter en er is vaak een esthetisch probleem met de 'massiviteit' van bestaande constructies.

Ook in dit geval is ontwikkeling van een op de situatie toegesneden oplossing aan te bevelen.

#### 3.3. Ontwikkelingen in het ontwerp van bermbeveiliging

Naast de overwegingen in de conclusie van het Hoofdstuk 2 kunnen ook de 'autonome' ontwikkelingen van ontwerpers en fabrikanten van beveiligingsmiddelen tot herzieningen leiden. Nieuwe werkingsprincipes of nieuwe, meer economische, materialen kunnen aantrekkelijke alternatieven opleveren.

### 3.3.1. Tijdelijke voorzieningen

Als we naar de ontwikkelingen sinds 1985 kijken, valt als eerste op dat er nogal wat aandacht is besteed aan constructies voor tijdelijke of semi-permanente voorzieningen zoals de bescherming van wegwerkzaamheden. Eveneens opvallend daarbij is dat het merendeel is gebaseerd op één of andere vorm van geleidingsprofiel zoals de New Jersey-barrier. De gebruikte materialen lopen daarbij uiteen van beton- via staalconstructie, naar plastic. Voor nadere gegevens betreffende de betonnen, verplaatsbare New Jersey-barrier, de stalen New Jersey-barrier van Rijkswaterstaat en de eveneens stalen VECU-SEC wordt hier verwezen naar recente SWOV-consulten hieromtrent (Van der Pol, 1990a en b; 1991a en b).

Als andere recente ontwikkelingen van deze aard kunnen hier nog worden genoemd de Varioguard en Miniguard (niet van het NJB-profiel afgeleid) en de door Prins Dokkum ontworpen constructies die beide bij de SWOV in onderzoek zijn.

Deze en dergelijke constructies vertonen, los op de weg gezet, doorgaans alleen een acceptabel botsgedrag als de elementen goed gekoppeld zijn. Daarbij kan echter de zijdelingse verplaatsing nogal groot zijn (tot 2,3 m). Beperking van de verplaatsing door verankering van twee of meer elementen is dan ook meestal aan te bevelen hoewel dat voor tijdelijke voorzieningen vaak problematisch zal zijn. Verankering van begin en einde van de constructie is overigens toch altijd gewenst omdat een aanrijding nabij die punten anders tot nog veel grotere verplaatsingen dan de genoemde 2,3 m kan leiden.

Behalve recente stalen constructies, is er ook een nieuw type tijdelijke of semi-permanente betonconstructie te melden die ook zijdelings verplaatst kan worden in 'tidal flow'-toepassingen. Het gaat hier om een oorspronkelijk Australische ontwikkeling die in de USA is gemodificeerd. Het profiel van de barrier is essentieel een NJB-achtig geleideprofiel, waarbij aan de bovenzijde van het steile deel een speciale 'kop' is aangebracht. Deze kop maakt het mogelijk dat de elementen door een speciale rijdende installatie worden opgepakt en zijdelings verplaatst over de breedte van een rijstrook. De elementen zijn 1 meter lang en met een speciale scharnierverbinding gekoppeld. Het gedrag van de barrier bij aanrijding is met een aantal proeven onder verschillende condities getest en kan, naar onze maatstaven en in vergelijking met voornoemde stalen bar-



riers, marginaal acceptabel worden genoemd, d.w.z.: de zijdelingse verplaatsing van de barrier is maximaal 1,14 m bij de zwaarste testconditie (voertuigmassa 1982 kg, inrijhoek 24 graden, snelheid ca. 100 km/uur), de belasting van de voertuiginzittenden is nog net acceptabel naar ASI-normen, terwijl met name de uitrijhoek minder acceptabel is aangezien die bijna even groot is als de inrijhoek (TRB, 1990).

Aparte aandacht verdient hier de, in Frankrijk populaire, plastic barrier. Het gaat hier eveneens om tijdelijke voorzieningen die uit helder gekleurde polyethyleen elementen gemaakt zijn en een New Jersey- of daaraan verwant profiel hebben. De elementen zijn hol, licht en gemakkelijk verplaatsbaar en dienen na plaatsing met water te worden gevuld om voor de noodzakelijke werkmassa te zorgen. Er zijn hier twee varianten beschouwd; een Franse (Sirodel, z.j.) en een Zwitserse (Köster, 1981). In de Franse variant worden de elementen aan de uiteinden gekoppeld en dragen de elementen zelf langs- en dwarskrachten over. De Zwitserse variant is voorzien van een stalen kabel die de elementen verbindt en veel van de krachtfuncties overneemt.

De beperkte Franse documentatie claimt goede resultaten bij aanrijdingen met een lichte (1250 kg) personenauto tot 80 km/uur zonder specificatie van de inrijhoek. Beproeving van de Zwitserse constructie bij lagere snelheden (50 km/uur) en een inrijhoek van 10 graden leidt echter tot de conclusie dat de constructie weliswaar enige bescherming biedt, maar vooral moet worden gezien als een uitstekende optische verkeersgeleider. We kunnen hierbij opmerken dat dit ook de mening van de meeste deskundigen omtrent plastic barrières in het algemeen weergeeft.

In het algemeen zijn de ontwikkelingen van nieuwe, tijdelijke, beveiligingsmiddelen gericht op autosnelwegomstandigheden. De ontwerpen die hieruit voortkomen hebben dusdanige afmetingen dat toepassing op niet-auto-snelwegen vaak, vanwege beperkte ruimte, problemen zal opleveren. Binnen deze klasse van voorzieningen is nog geen concept aangetroffen dat is toegesneden op botsingen in beperkte ruimte.

### 3.3.2. Permanente voorzieningen

De meest opvallende ontwikkelingen in het buitenland op het gebied van permanente voorzieningen zijn de zgn. 'high containment'-constructies;

beveiligingsvoorzieningen die onder zeer zware botscondities nog goed werken. De aanleiding voor dergelijke ontwikkelingen is meestal of het creëren van een ondoordringbare middenbermafscheiding of het beveiligen van bruggen en viaducten.

Een aantal van deze ontwikkelingen betreffen verdere ontwikkelingen in betonconstructies waarbij vooral de ondoordringbaarheid belangrijk is. Een interessante ontwikkeling hierin is dat men in de 'botswereld' in toenemende mate geïnteresseerd raakt in de betonconstructie zonder geleideprofiel: een eenvoudige, vrijwel verticale wand. Deze blijkt in termen van ernst van botsversnelling in veel gevallen niet veel slechtere resultaten op te leveren dan geleideprofielen en in het verloop van de voertuigbewegingen juist betere resultaten. De botsing blijft echter, in vergelijking tot ongevallen met de meeste metalen geleiderailconstructies, relatief zwaar.

Het toepassingsgebied moet daarom vooral worden gezien als: snelwegcondities met weinig ruimte in de middenberm, waarbij de inrijhoek tot maximaal 20 graden is beperkt. Voor toepassing in scherpe bochten, zoals die op niet-autosnelwegen nogal voorkomen, is de constructie daarom niet geschikt. Voor toepassing op rechtstanden komt deze constructie echter, met name door het geringe ruimtebeslag, langs niet-autosnelwegen wel degelijk in aanmerking.

De ontwikkelingen in stalen 'high containment'-constructies zijn feitelijk in twee categorieën te verdelen. Op de eerste plaats een categorie die functioneel min of meer equivalent is aan de betonnen barrier, dat wil zeggen: de primaire functie is ook zware voertuigen tegen te houden, terwijl wat dat voor de personenauto's gevolg heeft van minder belang is. Voorbeelden zijn te vinden in de ontwikkelingen van de box-beamconstructie voor de middenberm in Engeland en Zwitserland en een gecombineerde constructie van beton en stalen rail in de USA.

De tweede categorie is met name interessant omdat daar wordt getracht tot configuraties te komen die zowel voor personenauto's als voor zware vrachtoertuigen bevredigend werken. De voornaamste ontwikkelingen op dit gebied komen uit de USA en uit Italië.

In de USA gaat het om hoge en zeer stijve meergolfrailconstructie, waarvan het onderste gedeelte verzwakt is ten bate van personenauto's (TRB, 1990). Een Italiaanse constructie maakt eveneens gebruik van een rail, maar die

is gemonteerd op een ingenieuze uithouder die in diverse stadia deformeert, waarbij de hoogte van de rail toeneemt en de uithouder steeds verder verstijft.

Een tweede Italiaans concept combineert twee rails met verschillende hoogte en op uithouders met verschillende stijfheden om de lichte en zware voertuigen apart te 'accommoderen'.

Verder zijn er nog Amerikaanse concepten van zelfherstellende constructies die op één of andere manier gebruik maken van de zwaartekracht om een, tijdens een botsing gedeformeerde, constructie weer min of meer in de oorspronkelijke vorm terug te brengen.

Alle concepten zijn via 'full scale'-proeven en soms ook met simulaties beproefd. De constructies blijken inderdaad in staat zware botsingen goed af te wikkelen en botsingen met personenauto's nog binnen aanvaardbare grenzen te houden. Het tweede Italiaanse systeem lijkt in dat laatste opzicht nog het best te werken.

Ook bij deze constructies is het toepassingsgebied vooral de autosnelweg, waarbij het met name gaat om de afscherming van bruggen en viaducten, maar ook de scheiding van dichtbijeen gelegen rijstroken. In de praktijk van de ongevallenstatistiek blijken snelwegomstandigheden van dien aard te zijn dat er geen groot verschil in afloop van ongevallen met betonconstructies of stalen constructies te bespeuren valt.

Dit is opmerkelijk omdat dergelijke verschillen bij 'full scale'-proeven in botslaboratoria wel degelijk worden geconstateerd, in de meeste gevallen ten nadele van de betonconstructies. Het is niet eenvoudig om een geheel sluitende verklaring te geven voor deze kennelijke discrepantie, maar een belangrijk onderdeel van zo'n verklaring kan de aanname zijn dat in de praktijk van de autosnelweg de lichtere botscondities, d.w.z. relatief kleine inrijhoeken, sterk domineren. Als dit waar is dan betekent dat eveneens dat het verschil in werking mogelijk wel sterker tot uiting komt onder niet-snelwegomstandigheden, aangezien grotere inrijhoeken daar door frequentere bochten en aanzienlijk kleinere boogstralen waarschijnlijker zijn. Daarmee vormen permanente voorzieningen voor niet-autosnelwegen dus een categorie waarin oplossingen nog niet zonder meer voor de hand liggen.

### 3.3.3. Obstakelbeveiligers

Na de introductie van Fitch barrier (tonnen), de GREAT barrier en later de Nederlandse RIMOB zijn er nog diverse concepten voor obstakelbeveiligers



bedacht en beproefd. Hierbij worden verschillende principes toegepast om de voertuigenergie te absorberen of om te zetten.

In veel gevallen gaat het om gemakkelijk vervormbare holle elementen van metaal of plastic. De metalen elementen verzorgen de dissipatie van botsenergie doorgaans zelf door plastische vervorming. De plastic elementen zijn voornamelijk containers, waarin zich lucht of een vloeistof bevindt die bij de botsing wordt samengeperst. Via overdrukventielen of eenvoudigweg door de container bij een zekere druk te laten bezwijken, wordt de werking, het min of meer constant houden van een vertragingskracht, bewerkstelligd.

Veel van deze relatief nieuwe constructies zijn expliciet ontworpen op frontale aanrijding; er zijn vaak geen speciale voorzieningen om ook zijdelingse botsingen even goed te weerstaan.

In de Nederlandse situatie waar we beschikken over de een effectieve vaste obstakelbeveiliger, de RIMOB, die zowel bij frontale als zijdelingse botsingen bevredigend werkt (Schoon, 1990a en b), lijken de meeste nieuwe ontwikkelingen minder interessant. Dit laatste althans voor zover het om permanente voorzieningen gaat.

Sommige plastic beveiligers, zoals de Franse SAVIA (SODIREL, z.j.), zijn door hun modulaire opbouw en gemakkelijke transporteerbaarheid, waarschijnlijk wel aantrekkelijk als tijdelijke beveiliging van werkzaamheden en dergelijke.

#### 4. CONCLUSIES

##### 4.1. Autosnelwegen

Naar het zich voorlopig laat aanzien is de werking van bestaande, permanente, beveiligingsmiddelen langs autosnelwegen als voldoende te classificeren. Ook lijken de bestaande concepten voor de meeste ontwikkelingen tot op middellange termijn 'toekomstvast' onder de conditie dat de gemiddelde rij snelheden niet significant stijgen en de massa van de diverse voertuigtypen niet beduidend verandert.

Deze conclusie geldt ook voor toekomstige omstandigheden waarin elektronische beheersingssystemen werkzaam zullen zijn. Dit alles onder voorbehoud aangezien de ongevalanalyses waarop de conclusies gebaseerd zijn, nogal wat beperkingen hebben; een versteviging van deze basis ware wenselijk.

Op langere termijn zullen onderhouds- en reparatiegevoeligheid mogelijk redenen voor herontwerp en vervanging zijn omdat de steeds hogere verkeersintensiteiten sneller tot onacceptabele vertraging en onveiligheid zullen leiden.

Daarnaast kunnen er ook nog andere redenen zijn die tot herziening of aanpassing van de ontwerpen kunnen nopen:

- Zo kan herinrichting van de infrastructuur leiden tot situaties waarin sterk van het huidige ontwerp afwijkende varianten worden aangelegd: zeer dicht bijeen liggende stroken met tegengestelde rijrichting of gescheiden stroken voor personen- en zwaar verkeer; in de eerstgenoemde omstandigheden moeten andere dan gebruikelijke constructies (high containment) worden toegepast, in de tweede mogelijk speciale constructies tussen de stroken voor vracht- en personenverkeer: die constructies dienen dan aan een kant een zware, stijve voorziening voor vrachtvoertuigen te bevatten en aan de andere een lichtere, meer flexibele voor personenvoertuigen. Dit kan vooral een probleem zijn als men die eigenschappen, uit oogpunt van ruimte-winst, in een constructie wil verenigen.

- Ook zijn er trends in de samenstelling van het voertuigenpark en veranderende voertuigconstructies; het is nog niet duidelijk of die ontwikkelingen tot algehele herziening moet leiden of bijvoorbeeld alleen tot maatregelen tot verzwaring van de beveiliging op kritische punten.

#### 4.2. Niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom

Bermbeveiliging op dit soort wegen moet nog grotendeels als een ontwikkelingsgebied worden beschouwd. Ongevallengegevens wijzen erop dat hier zeker nog veiligheidswinst te boeken valt. Ook hier geldt echter dat de onderbouwing van deze conclusie met ongevallengegevens verbetering behoeft.

Bestaande beveiligingsvoorzieningen voor autosnelwegen voldoen vaak niet goed, met name vanwege ruimtebeslag, andere inrijcondities, de mogelijkheid dat de wegcondities voor 'snelwegcondities' worden aangezien en verstoring van het landschap.

#### 4.3. Verkeersaders binnen de bebouwde kom

Hier ontbreekt vooralsnog de onderbouwing met ongevallengegevens omdat de steekproefgegevens die hieromtrent aanwezig zijn niet eenvoudig (in het kader van dit consult althans) toegankelijk bleken. Ook hangt veel af van toekomstige vormgeving en de mogelijke introductie van geavanceerde verkeersgeleidesystemen. Pas nadat een inventarisatie van deze aspecten is uitgevoerd, kan worden gezien of ook hier specifieke ontwikkelingen noodzakelijk zijn.

## 5. AANBEVELINGEN

De aanbevelingen zijn te verdelen in aanbevelingen voor meer theoretische onderbouwing en aanbevelingen voor ontwikkelingsonderzoek.

### 5.1. Onderbouwing met gegevens

Ten aanzien van deze categorie kan worden geconstateerd dat het wenselijk is voor alle wegtypen een meer gedifferentieerde ongevallenanalyse te verrichten:

Voor wat de rijkswegen betreft is met name een koppeling van ongevallen-gegevens aan weggegevens van belang omdat daarmee een groot deel van de nu nog open gebleven vragen kan worden beantwoord. Die gegevens zijn grotendeels voorhanden (WEGGEG) waardoor de uitvoering relatief weinig inspanning behoeft te kosten.

Voor niet-autosnelwegen geven de beschikbare ongevallengegevens een sterk vertekend en lastig interpreteerbaar beeld door het ontbreken van gegevens omtrent u.m.s.-ongevallen. Hieraan is iets meer te doen via VOR- of CBS-gegevens (die echter een grote mate van onderregistratie vertonen) en mogelijk ook met tot nu toe buiten beschouwing gebleven gegevensbestanden zoals bijv. van de schadeverzekeraars.

Voor wat de infrastructurele kenmerken betreft zijn voor deze wegen beperkte steekproefbestanden met wegkenmerken aanwezig. Het is echter de vraag of hiermee ten aanzien van afscherming veel bereikt kan worden; zoals in het voorgaande is geconstateerd is er een grote variëteit in deze wegtypen en zal het onmogelijk zijn om voor alle omstandigheden specifieke bescherming te ontwerpen. Het daarom is nuttig om prioriteiten van tevoren te stellen en bijvoorbeeld eerst de aandacht te richten op meer consequente beveiliging van dat deel van het tweede-ordewegennet dat een aanzienlijke transportfunctie heeft (misschien 10.000 van de ca. 55.000 km weg). Dat betekent niet dat er aan het overige deel geen aandacht wordt geschonken, maar de grote onderlinge verschillen in verkeersfunctie nopen hier tot een beperkter aanpak.

Er wordt voorgesteld om het onderzoek hier meer casuïstisch aan te pakken en uit te gaan van de eerder voorgestelde onderzoeklijn van analyse van regionale 'black spots' of liever 'black trajects' (een AVOC-achtige aan-



pak dus) via modellering van dominante generaliseerbare kenmerken. Deze beide lijnen van onderzoek moeten dan leiden naar een gedifferentieerde, maar beperkte set van probleemstellingen en ontwerpeisen.

Ook voor wegen binnen de bebouwde kom zijn beperkte steekproefgegevens beschikbaar die als basis kunnen dienen voor eisen aan beveiligingsconstructies. Daarnaast is het ook aan te bevelen een soort scenariostudie te doen naar toekomstige ontwikkelingen in infrastructuur en verkeersgeleiding teneinde beveiligings- en geleidingsfuncties (in een omgeving met beperkte ruimte) zo goed mogelijk te integreren.

## 5.2. Ontwikkelingsonderzoek

Binnen het ontwikkelingsonderzoek zijn feitelijk twee fasen te onderscheiden die nauw met elkaar samenhangen: (her)ontwerp en het opstellen van plaatsingscriteria.

Het ontwerp is op zich weer te verdelen in: definitie van functionele eisen, conceptontwerp en testen en valideren van het concept.

Het vaststellen van plaatsingscriteria kent ook twee fasen: de 'a priori'-criteria die op basis van onderbouwend onderzoek kunnen worden opgesteld en de criteria die volgen uit eenmaal vastgestelde eigenschappen van beschikbare beveiligingsmiddelen.

Ten aanzien van autosnelwegen is geconstateerd dat er behoefte kan ontstaan aan specifieke constructies die onder zware omstandigheden nog goed werken. Daarbij dienen ze ook bij lichtere aanrijdingen een acceptabel gedrag te vertonen. Dit soort constructies is in verschillende varianten reeds beschikbaar, maar ontwerpen die zowel voor personen- als voor vrachtverkeer bevredigend werken verkeren nog in een ontwikkelingsstadium. Daarbij is het ontwikkelingsveld feitelijk gesplitst in ontwerpen die in beton zijn uitgevoerd of in staal (of ander metaal). In termen van ontwikkelings- en beproevingsonderzoek kunnen we dan denken aan:

### • Betonconstructies:

- optimalisatie van wielgeleideprofielen waar het gaat om vaste constructies, vooral voor plaatsen waar weinig ruimte beschikbaar is;
- ontwerp en/of optimalisatie van betonconstructies die wel vervormen, zoals los plaatsbare of flexibel verankerde constructies.

• Stalen constructies:

- ontwerp en/of optimalisatie van constructies die een flexibel deel voor personenauto's met een star deel voor zware voertuigen combineren; dit kan zowel om constructies gaan die eigenschappen aan één zijde combineren als om constructies die aan weerszijden verschillende eigenschappen hebben;

- ook hier is ontwerp en/of optimalisatie van los plaatsbare (semi)tijdelijke constructies nog een gebied waar winst te behalen kan zijn.

• Combinaties van beton en staal:

- ontwerp en/of optimalisatie van overgangsconstructies van staal en beton zoals bijvoorbeeld bij tunnels of bruggen nodig kan zijn;

- ontwerp van 'hybride' combinaties waarbij de 'high containment'-eigenschappen van beton worden gecombineerd met de flexibiliteit van stalen constructies.

In veel gevallen kunnen we al beschikken over of uitgaan van in het buitenland ontwikkelde ontwerpen; het gaat hier daarom lang niet altijd om ontwikkelingsonderzoek 'pur sang', maar vaak om inventarisatie en aanpassing. Ook kan het vooral gaan om het ontwerpen van goede kosten/baten-criteria bij het maken van een keuze uit beschikbare ontwerpen.

Dit onderzoek dient in ieder geval begeleid te worden door een deels vooraf uitgevoerd en deels achteraf gecompleteerd onderzoek naar selectiecriteria. In het vooraf uitgevoerde deel wordt vastgesteld welke ontwikkelingen met welke prioriteit dienen te worden uitgevoerd, in het deel achteraf gaat het om de ontwikkeling van praktische richtlijnen voor toepassing van de ontworpen constructies.

Voor niet-autosnelwegen geldt, zoals is betoogd, een aparte reeks condities die niet voldoende worden 'gedekt' door bestaande constructies. Hier daarom sprake van 'echt' ontwikkelingsonderzoek van nog niet of nauwelijks bestaande concepten. Dit betekent:

- Als eerste onderzoek naar of inventarisatie van de specifieke eisen. Hierbij zal vooral rekening moeten worden gehouden met de prioriteitstellingen die het onderbouwende onderzoek oplevert.

- Daarna volgt ontwikkeling en testen en/of simuleren van concepten die tegemoetkomen aan deze specifieke eisen.

- Bij de ontwikkeling van plaatsingscriteria tenslotte zal met name rekening gehouden moeten worden met kosteneffectiviteit aangezien het een zeer uitgebreid net van te beveiligen wegen betreft.

Er zullen voor deze condities waarschijnlijk nieuwe werkingsprincipes moeten worden ontwikkeld. Suggesties voor dergelijke principes kunnen bijvoorbeeld worden gevonden in de al eerder voorgestelde, actieve of passieve wielgeleidingsconstructies.

Mogelijk komen ook vereenvoudigde en lagere ontwerpen van geleiderailconstructies onder bepaalde voorwaarden in aanmerking.

Daarnaast lijkt het ook mogelijk om in sommige omstandigheden gebruik te maken van 'natuurlijke' middelen zoals bijvoorbeeld een keerwand ingebed in een kleine 'dijk', met of zonder begroeiing (het principe van een gecontroleerde 'holle weg' dus) of mogelijke andere, milieuvriendelijke ontwerpen.

Voor wegen binnen de bebouwde kom zijn concrete ontwerpaanbevelingen op dit punt moeilijk te geven aangezien nog te veel afhangt van de uitkomsten van het hiervoor voorgestelde onderzoek. Het is overigens waarschijnlijk dat onderzoek in de twee voorgaande gebieden voldoende alternatieven oplevert die ook in deze omstandigheden toepasbaar zijn.

LITERATUUR

Heijer, T. & Schoon, C.C. (1991). De veiligheid van stalen en betonnen geleideconstructies bij aanrijdingen bekeken. R-91-40. SWOV, Leidschendam.

Hirsch, T.J. et al. (1984). Concrete safety shape with metal rail on top to redirect 80,000 lbs trucks. Research report 416-1. Texas Transportation Institute.

Köster, H. (1981). Anfahrversuche an Leitschranken mit Kastenprofil. ETH Zürich.

Köster, H. & Dietrich, K. (1987). Anfahrversuche an die Stahlgleitschwelle Vecu-Sec. S-892b. ETH Zürich.

Laker, I.B. (ed.) (1986). Safety fences and bridge parapets; TRRL papers for the 1986 TRB annual meeting. Research report 75. TRRL, Crowthorne.

Pol, W.H.M. van de (1990a). Stalen geleidebarrier met een New Jersey-profiel; Simulatie-onderzoek naar de veiligheid van de stalen New Jersey-barrier. R-90-7. SWOV, Leidschendam.

Pol, W.H.M. van de (1990b). Betonnen geleidebarrier met een New Jersey-profiel; Een literatuurstudie en een simulatie onderzoek naar de veiligheid van een verplaatsbare betonnen New Jersey-barrier met een element-lengte van 6 m. R-90-8. SWOV, Leidschendam.

Pol, W.H.M. van de (1991a). Stalen geleidebarrier met een New Jersey-profiel II; Vervolg van het simulatie-onderzoek naar de veiligheid van de stalen New Jersey-barrier. R-91-20. SWOV, Leidschendam.

Pol, W.H.M. van de (1991b). Mathematische simulaties met de gemodificeerde Vecu-Sec toegepast op de N 44 te Wassenaar. R-91-9. SWOV, Leidschendam.

Schoon, C.C. (1990a). Evaluatie rimpelbuisobstakelbeveiliger (RIMOB), Deel I; Uitwerking en samenvatting van de inventarisatie als gerapporteerd in Deel II, het technisch functioneren en de ernst van ongevallen met de RIMOB en aanbevelingen. R-90-20. SWOV, Leidschendam.

Schoon, C.C. (1990b). After seven years RIMOB in practice; An evaluation of the Dutch impact attenuator RIMOB. R-90-49. SWOV, Leidschendam.

Schoon, C.C. (1990c). Auswertung des Anpralldämpfers "RIMOB". R-90-50. SWOV, Leidschendam.

Schüler, W. (1989). Anfahrversuche an eine Leiteinrichtung aus Kunststoff-Fertigelementen. S949. ETH-Zürich.

SODIREL (Fra) (z.j.). Voorlichtingsfolder betreffende SAVIA obstakelbeschermers en SYMOS plastic barriers.

TRB (1985). Application of safety appurtenances. Transportation Research Record 1024.

TRB (1990). Highway facility and design; Roadside safety 1990. Transportation Research Record 1258.