

AANRIJDINGEN MET DE BETONNEN GELEIDECONSTRUCTIETYPEN GENERAL MOTORS  
EN NEW JERSEY

Een beschrijving van verschillen in de gevolgen bij aanrijdingen en de mogelijkheden ter verbetering

Consult ten behoeve van de Dienst Verkeerskunde van de Rijkswaterstaat

R-85-64

Ing. C.C. Schoon, ing. W.H.M. van de Pol & D.J.R. Jordaan  
Leidschendam, 1985

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV



## SAMENVATTING

Dit consult behandelt de vraag wat het verschil is tussen de betonnen geleideconstructietypen General Motors en New Jersey als deze worden aangereden. Verder wordt ingegaan op de vraag in hoeverre er mogelijkheden zijn dergelijke geleideconstructies te verbeteren. Het consult gaat niet in op de toepassingen van deze constructies en de daaraan verbonden aspecten.

Voor het beantwoorden van de gestelde vragen is gebruik gemaakt van literatuurgegevens (ongevallenstudies en full-scale proeven) en zijn mathematische simulaties uitgevoerd. Zowel personenauto's als zwaardere voertuigen zijn bij het consult betrokken.

Als indicatoren voor het beoordelen van de typen geleideconstructies zijn gebruikt: voertuigvertragingen, rotatie van het voertuig om zijn langsas (grootte van de rolhoek) c.q. het opklimmen van het voorwiel tegen de geleideconstructie en de uitrijhoek. Aangezien goede criteria ontbreken om een letselkans te voorspellen, zullen deze indicatoren worden gebruikt voor de onderlinge vergelijking van de typen betonnen constructies.

Voor het uitvoeren van de mathematische simulaties is gebruik gemaakt van het computermodel VEDYAC. Met dit model kunnen aanrijdingen van voertuigen met hun (bots)omgeving worden gesimuleerd. Er zijn afzonderlijke simulaties uitgevoerd om de werking en resultaten van het model te kunnen verifiëren met de resultaten van full-scale proeven. Ondanks dat voor een exacte verificatie de benodigde voertuiggegevens van full-scale proeven ontbreken, kan met betrekking tot personenauto's worden gesteld dat onder kleine inrijhoeken de resultaten betrouwbaar zijn en dat onder grotere inrijhoeken de resultaten van simulaties een goede indicatie geven omtrent de verschillen tussen beide typen geleideconstructies. Met betrekking tot vrachtauto's kan alleen worden volstaan met een indicatie.

De volgende resultaten kunnen worden vermeld:

Uit Amerikaans ongevallenonderzoek blijkt dat voertuigen bij aanrijdingen met het General Motors-profiel vaker over de kop gaan dan tegen het New Jersey-profiel. Hierbij zijn vooral de lichtere typen personenauto's betrokken.

Bij Amerikaanse full-scale proeven is gebleken dat bij de kleinere inrij-

hoeken de voertuigen bij het General Motors-profiel grotere rotaties om hun langsas ondervinden dan bij het New Jersey-profiel. Bij het New Jersey-profiel gaan de voertuigen alleen bij grotere inrijhoeken over de kop; bij het General Motors-profiel gebeurt dit ook al bij kleinere inrijhoeken. De voertuigvertragingen zijn voor de lichtere categorie voertuigen bij het General Motors-profiel hoger dan bij het New Jersey-profiel. Voor de zwaardere categorie voertuigen is er met betrekking tot de voertuigvertraging weinig verschil tussen beide profieltypen.

De in Engeland uitgevoerde full-scale proeven met voornamelijk het voertuigtype Mini gaven weinig verschil te zien tussen de diverse typen profielen. Bij de onder zware inrijcondities uitgevoerde botsproeven gingen de voertuigen in de meeste gevallen over de kop.

Uit de mathematische simulaties is gebleken dat bij toename van zowel de inrijnelheid als inrijhoek de voertuigvertragingen toenemen. Hierbij is er weinig verschil tussen beide profieltypen. De lichte typen personenauto's geven grotere vertragingen dan de zware typen. Bij het New Jersey-profiel wordt het klimeffect van het voorwiel groter bij toename van de inrijhoek. Bij het General Motors-profiel is het klimeffect onvoorspelbaar. Inrijnelheden boven de ca. 80 km/uur en inrijhoeken groter dan ca. 25° geven bij beide profieltypen onacceptabele klimhoogtes (met kans op een roll-over). Wat de uitrijhoeken en gierhoeken betreft is er weinig verschil tussen beide profieltypen geconstateerd. De resultaten van de simulaties met de vrachtauto zien er voor het General Motors-profiel wat ongunstiger uit dan voor het New Jersey-profiel.

Verbeteringen van het profiel kunnen in eerste instantie worden gezocht in het reduceren van het klimeffect. Dit kan worden gerealiseerd door verlaging van de kniklijn tussen beide grote oplopende vlakken van de betonnen geleideconstructies. De voertuigvertragingen nemen hierdoor wel toe. In hoeverre een toename van deze vertragingen een ontoelaatbaar hoge letselkans veroorzaakt, is met het voertuigmodel dat thans operationeel is niet te zeggen. Na implementatie van een inzittendenmodel in het voertuigmodel zal dit naar verwachting wel mogelijk zijn. Met modelexercities kan dan ook worden onderzocht wat de invloed is van diverse profielwijzigingen en verlaging van de wrijvingcoëfficiënt van het betonnen oppervlak op het verloop van aanrijdingen met betonnen geleideconstructies.

## INHOUD

### Voorwoord

1. Inleiding
2. Probleemstelling
3. Probleemanalyse
4. Beschrijving van de typen betonnen geleideconstructies
  - 4.1. De typen betonnen geleideconstructies
  - 4.2. Functionele eisen
  - 4.3. Werkingswijze
5. Opzet van het onderzoek
  - 5.1. Literatuurgegevens
  - 5.2. Mathematische simulaties
  - 5.3. Indicatoren
    - 5.3.1. Ernst van de aanrijding
    - 5.3.2. Mate van terugkaatsing
6. Uitvoering van het onderzoek
  - 6.1. Literatuurstudie
  - 6.2. Mathematische simulaties
    - 6.2.1. Modules
    - 6.2.2. Inrijcondities
    - 6.2.3. Computeroutput
7. Resultaten
  - 7.1. Literatuurgegevens (ongevallenstudie)
  - 7.2. Literatuurgegevens (full-scale proeven)
    - 7.2.1. Amerikaanse proeven met personenauto's
    - 7.2.2. Amerikaanse proeven met vrachtauto's en bussen
    - 7.2.3. Engelse proeven met personenauto's en een bus
    - 7.2.4. Franse proeven

- 7.3. Mathematische simulaties
- 7.3.1. Verificatiesimulaties met personenauto's
- 7.3.2. Simulaties met de middelzware personenauto
- 7.3.3. Simulaties met de lichte en zware personenauto's
- 7.3.4. Simulaties met een vastgehouden stuurwiel van de middelzware personenauto
- 7.3.5. Simulaties met de vrachtauto

## 8. Samenvatting resultaten

- 8.1. Ongevallenstudie
- 8.2. Full-scale proeven
- 8.3. Mathematische simulaties

## 9. Optimaliseren van het profiel

- 9.1. Inleiding
- 9.2. Constructieve verschillen en het effect hiervan bij aanrijdingen
- 9.3. Profiel Configuration F
  - 9.3.1. Doorsnede profiel
  - 9.3.2. Resultaten full-scale proeven
  - 9.3.3. Resultaten mathematische simulaties
- 9.4. De rechte betonnen wand
- 9.5. Conclusie

## 10. Conclusie

### Geraadpleegde literatuur

### Afbeeldingen 1 t/m 7

### Tabellen 1 t/m 14

### Bijlagen 1 t/m 6

## VOORWOORD

In dit consult wordt antwoord gegeven op een aantal vragen van de Dienst Verkeerskunde van de Rijkswaterstaat over betonnen geleideconstructies. Dergelijke voorzieningen worden meestal langs autosnelwegen aangebracht ter afscherming van een gevarenzone. De diverse betonnen geleideconstructies onderscheiden zich van elkaar door hun profiel. De bekendste typen zijn General Motors en New Jersey.

De vragen hebben betrekking op het verschil in functioneren van genoemde profieltypen bij een aanrijding in termen van gevaar voor de inzittenden en overige weggebruikers. Verder dient te worden aangegeven in hoeverre het profiel te optimaliseren is.

Het consult gaat niet in op de overwegingen die van belang zijn voor het al-dan-niet toepassen van betonnen geleideconstructies. Hiertoe is een meer fundamenteel onderzoek noodzakelijk dat die aspecten met elkaar in verband brengt die een rol spelen bij het uiteindelijke risico voor de verkeersdeelnemers.

Voor de beantwoording is in eerste instantie gebruik gemaakt van bestaande kennis. Dit betreft literatuurgegevens die in het kader van het SWOV-onderzoek "Wegberminrichting" zijn verzameld. Aangezien beschikt kan worden over een mathematisch model, zijn ter aanvulling diverse mathematische simulaties uitgevoerd. Dit model is in het kader van het SWOV-onderzoek "Mathematische modellen voertuigexterieur en omgeving" ontwikkeld.

De SWOV heeft eerder een consult uitgebracht over het functioneren bij aanrijdingen van in stijfheid verschillende typen geleiderailconstructies. Gezien de overeenkomst met het voorliggende consult zal het bij opzet, uitvoering en resultaten waar nodig worden aangehaald.

De literatuurstudie is verricht door D.J.R. Jordaan en de mathematische simulaties zijn uitgevoerd door ing. W.H.M. van de Pol. Het consult is samengesteld door ing. C.C. Schoon.

## 1. INLEIDING

De betonnen geleideconstructies zoals de General Motors en de New Jersey, zijn ontwikkeld in de Verenigde Staten. Ze worden daar veel toegepast als afschermingsvoorzieningen in de middenberm en in mindere mate in de zijberm. Aangezien ze bij een aanrijding niet in dwarsrichting verplaatsen, zoals de stalen geleiderailconstructies, vergen ze minder plaatsingsruimte dan de stalen constructies. Andere voordelen zijn dat er na een aanrijding in het algemeen geen reparaties aan de constructie uitgevoerd behoeven te worden en dat de onderhoudskosten gering zijn.

Als nadelen kunnen worden genoemd dat de aanrijding minder "soepel" wordt ingeleid dan bij een stalen geleiderailconstructie en dat de betonnen constructie geen kinetische energie van het voertuig absorbeert.

In Nederland worden (nog) geen of weinig betonnen geleideconstructies als aparte afschermingsvoorzieningen geplaatst. Wel wordt het profiel toegepast in keerwanden van bijvoorbeeld tunnels, waarbij tot dusver alleen het General Motors-profiel is gebruikt. Uit de Verenigde Staten kwamen echter berichten dat dit profieltype bij een aanrijding ongunstiger werkt dan bijvoorbeeld het New Jersey-profiel, met name bij aanrijdingen met kleinere personenauto's.

Op basis van de literatuurgegevens en mathematische simulaties zal in dit consult het verschil in effect tussen beide typen profielen worden aangegeven.



## 2. PROBLEEMSTELLING

In de Verenigde Staten zijn diverse profielen voor betonnen geleideconstructies ontwikkeld. De daar meest toegepaste profieltypen zijn de General Motors en de New Jersey. Uit de Verenigde Staten wordt gemeld dat het General Motors-profiel bij een aanrijding door met name de lichtere personenauto's ongunstiger functioneert dan het New Jersey-profiel.

De vragen die in dit consult moeten worden beantwoord zijn de volgende:

- Zal ook in de Nederlandse situatie het General Motors-profiel bij een aanrijding slechter functioneren dan het New Jersey-profiel?
- Wat is de mate van verschil tussen beide profielen in termen van de ernst van de aanrijding voor de inzittenden en de mate van terugkaatsing van het voertuig?
- Is het mogelijk een profiel te ontwikkelen dat de kans op een gunstiger afloop van een aanrijding vergroot?

De antwoorden dienen zowel betrekking te hebben op personenauto's als op voertuigen met een hogere ligging, van het zwaartepunt zoals vrachtauto's en bussen.

### 3. PROBLEEMANALYSE

De in de probleemstelling aangegeven vragen hebben in essentie betrekking op het verschil tussen het General Motors- en het New Jersey-profiel. De vraagstelling is erg expliciet in die zin dat alleen naar het functioneren bij een aanrijding dient te worden gekeken. Een uitgebreide probleem-analyse kan hier dan ook buiten beschouwing blijven.

Een aspect dat wel nader belicht moet worden betreft de aangegeven typen voertuigen, te weten: personenauto's en voertuigen met een hogere ligging van het zwaartepunt, zoals vrachtauto's en bussen.

In het SWOV-consult "Aanrijdingen met in stijfheid verschillende geleiderailconstructies" zijn deze zwaardere voertuigen buiten beschouwing gebleven vanwege hun geringe betrokkenheid bij enkelvoudige wegbermonevallen<sup>\*)</sup>. In het voorliggende consult zullen ze wel aan de orde komen vanwege de veelvuldige toepassing van betonnen geleideconstructies in tunnels en dergelijke. De kans op een ernstiger afloop van ongevallen waarbij zwaardere typen voertuigen betrokken zijn, is vanwege het additionele gevaar in tunnels groot.

In de probleemstelling wordt een belangrijke categorie vervoermiddelen niet genoemd, namelijk de tweewielers. Voor de berijders ervan is het als ze van de rijbaan raken van belang dat de in de berm aangebrachte voorzieningen geen discontinuïteiten in langsrichting vertonen. Bij de betonnen geleideconstructies is dit niet het geval, waarbij wordt aangenomen dat de profielen van de geleideconstructie onderling niet zodanig verschillen dat ze een afwijkend botspatroon ten opzichte van elkaar te zien zullen geven.

Hoewel de vraagstelling zich toespitst op de twee bekendste in Amerika ontwikkelde betonnen geleideconstructies, zal in dit consult ook aandacht worden besteed aan een derde type, namelijk de Configuration F.

\*) Een enkelvoudig wegbermoneval is een enkelvoudig ongeval waarbij het vervoermiddel van de rijbaan is geraakt. Hieronder vallen alle vast-voorwerpongevallen en die eenzijdige ongevallen waarbij het vervoermiddel van de rijbaan is geraakt.

Hoewel dit type niet of nauwelijks in de praktijk wordt toegepast, zijn er vrij veel full-scale proeven mee uitgevoerd. De resultaten hiervan, gevoegd bij de uitkomsten van de mathematische simulaties, kunnen van belang zijn voor het beantwoorden van de vraag in hoeverre het profiel van een betonnen geleideconstructie te optimaliseren is.

#### 4. BESCHRIJVING VAN DE TYPEN BETONNEN GELEIDECONSTRUCTIES

##### 4.1. De typen betonnen geleideconstructies

De diverse typen betonnen geleideconstructies worden gekarakteriseerd door hun profiel. De belangrijkste drie typen die hier aan de orde komen zijn General Motors, New Jersey en Configuration F (zie Afbeelding 1). Alle drie profielen hebben vanaf de basis gezien een recht opstaand randje, vervolgens een afgeschuind vlak onder een hoek van  $55^{\circ}$ , dat overgaat in een nagenoeg verticaal staand vlak (hoek met de basis van  $80^{\circ}$  -  $84^{\circ}$ ). Het eerste verschil tussen de profielen is het opstaande randje (de voetheogte). Deze is bij het General Motors-profiel ca. 5 cm en bij de beide andere profielen ca. 7,5 cm. Het tweede verschil betreft de hoogte van de kniklijn tussen het schuine en nagenoeg verticaal verlopend vlak. Bij het General Motors-profiel ligt de kniklijn het hoogst, namelijk op 38 cm; bij het New Jersey- en Configuration F-profiel ligt deze resp. 5 en 13 cm lager.

Naast het New Jersey-profiel wordt in de Verenigde Staten ook het New Jersey Modified-profiel toegepast. Bij de beschrijving van ongevallenstudies wordt dit profiel vermeld. Het enige verschil met het gewone New Jersey-profiel is een grotere voetheogte van 2,5 - 5 cm. Voor zover bekend zijn er geen full-scale proeven met dit profieltype uitgevoerd.

##### 4.2. Functionele eisen

In het algemeen worden aan betonnen geleideconstructies met betrekking tot de crash-aspecten dezelfde functionele eisen gesteld als aan de stalen geleideconstructies. Deze zijn:

- Voorkomen dat een van de rijbaan afgeraakt voertuig in de gevarenzone belandt. Dit houdt in dat het voertuig niet door of over de constructie mag schieten.
- Het voertuig moet zodanig geleid worden dat het niet op de rijbaan wordt teruggekaatst.
- Een aanrijding met de constructie mag geen ernstig letsel voor de inzittenden veroorzaken.

Een eis die afwijkt van hetgeen geldt bij stalen geleideconstructies is dat de betonnen geleideconstructies bij een aanrijding geen schade mogen oplopen.

#### 4.3. Werkingswijze

Het principe van de betonnen geleideconstructies is dat de voertuigen middels een rollende beweging langs de constructie worden geleid. Dit wordt gerealiseerd doordat de wielen van het voertuig aan één zijde tegen de constructie oprijden. Bij aanrijdingen onder kleine inrijhoeken ( $< \text{ca. } 7^\circ$ ) is er in het algemeen alleen wielcontact met de constructie. Bij grotere inrijhoeken raakt eerst de carrosserie de betonnen constructie. Als het voorwiel eenmaal tegen de betonnen constructie is opgeklommen zal het bij kleine inrijhoeken veelal tot aan de kniklijn tussen de twee schuine vlakken omhoog komen; afhankelijk van het profieltype ligt de hoogte tussen de 25 en 38 cm. Bij toename van de inrijhoek en inrijsnelheid zal deze kniklijn worden overschreden. Het achterwiel volgt meestal de baan van het voorwiel. Als de aanrijding goed verloopt, dan belandt het voertuig met een kleine uitrijhoek weer op de rijbaan.

Bij het oprijden van de band tegen de constructie worden band en vering ingedrukt. Hoewel hiermee aanvankelijk energie wordt geabsorbeerd, wordt dit in een later stadium grotendeels teruggegeven. Hierbij is dus nauwelijks sprake van vernietiging van kinetische energie van het botsende voertuig. Aangezien bij het oprijden grote krachten op de wielophanging worden uitgeoefend, zijn de karakteristieken van de vering en de demping en de conditie ervan van veel invloed op het dynamisch gedrag van het voertuig. Dit is een van de redenen dat full-scale botsingen met deze typen constructies moeilijk zijn te reproduceren.

## 5. OPZET VAN HET ONDERZOEK

Aangezien de beantwoording van de gestelde vragen in de vorm van een consult plaatsvindt, kunnen alleen die gegevens worden gehanteerd die op korte termijn beschikbaar zijn. Twee belangrijke informatiebronnen zijn hiertoe beschikbaar, namelijk literatuurgegevens en gegevens die middels mathematische simulaties zijn te verkrijgen. Bij de literatuurgegevens is nog een onderscheid te maken in full-scale proeven en ongevalstudies. Met betrekking tot de full-scale proeven en mathematische simulaties dient aangegeven te worden welke indicatoren ter beoordeling worden gehanteerd.

### 5.1. Literatuurgegevens

De geleideconstructies van beton zijn in de Verenigde Staten ontwikkeld. Middels vele full-scale proefnemingen zijn ze op hun werking getest. De proefnemingen en de resultaten hiervan dienen op een zodanige wijze gerangschikt te worden dat de diverse profieltypen onderling kunnen worden vergeleken. Naast een onderscheid in profieltype dient een onderscheid in typen voertuigen (personenauto's, vrachtauto's en bussen) en inrijcondities gemaakt te worden.

Verder dienen zoveel mogelijk ongevallencijfers verzameld te worden. Vooral zijn die gegevens van belang waarbij het type betonnen geleideconstructie bekend is. De gegevens dienen op overzichtelijke wijze gerangschikt te worden.

### 5.2. Mathematische simulaties

Bij een onderzoek naar het verschil tussen diverse typen constructies zijn mathematische simulaties vanwege hun reproduceerbaarheid belangrijke hulpmiddelen. Door wijziging van slechts één gegeven (bijvoorbeeld het type constructie) kan het effect hiervan worden onderzocht. Bij full-scale proeven is het wijzigen van slechts één kenmerk praktisch gezien niet mogelijk, daar identieke inrijcondities moeilijk te realiseren zijn. Bij aanrijdingen tegen betonnen geleideconstructies is met name de conditie van de wielophangingscomponenten van wezenlijke invloed. Deze kan ook bij voertuigen die qua merk en type gelijk zijn, erg verschillen.

Met mathematische simulaties wordt getracht de werkelijkheid zo goed mogelijk te benaderen. Dit vereist een basismodel en de nodige datasets van voertuigen en botsobjecten die met de benodigde gegevens en uitvoering van validatie gecreëerd moeten worden. Voor het geval bepaalde gegevens niet verkregen kunnen worden, worden ze zo goed mogelijk geschat. In hoeverre bepaalde schattingen van de werkelijkheid afwijken, is voor diverse gevallen (bijvoorbeeld de mate en wijze van deformatie) niet of moeilijk te bepalen.

Het is van belang de diverse profielen van geleideconstructies onder verschillende inrijcondities te onderzoeken. Deze betreffen het voertuigtype, de inrijsnelheid en de inrijhoek. Voor het SWOV-consult "Aanrijdingen met geleiderailconstructies" zijn deze vastgesteld. Om een onderlinge vergelijking mogelijk te maken is het wenselijk dezelfde inrijcondities te hanteren. Aangezien bij het eerdere consult alleen personenauto's waren betrokken, zal het voorliggende consult met de zware categorie voertuigen uitgebreid dienen te worden.

N.B.1. Van de categorie zware voertuigen was ten tijde van de uitvoering van de simulaties van slechts één voertuigtype een data-set (module) operationeel: een twee-assige vrachtauto met een massa van 16,5 ton. Simulaties met de voertuigcategorie "bus" zullen hierdoor komen te vervallen.

N.B.2. In het consult omtrent geleiderailconstructies is aan de orde gesteld dat de daarin gehanteerde inrijcondities waarschijnlijk niet goed op de ongevallensituatie zijn afgestemd. In de gesimuleerde situatie rijdt het voertuig volgens een rechte lijn tegen de afschermingsvoorziening waarbij niet wordt geremd en gecorrigeerd. Dergelijke aanrijdingen zullen bij een ongeval zeker niet altijd voorkomen. Om twee redenen zullen bij het voorliggende consult geen andere inrijcondities worden gehanteerd. Ten eerste is tot dusver bij onderzoek naar afschermingsvoorzieningen en dus ook bij de in dit consult beschreven full-scale proeven van "traditionele" inrijcondities gebruik gemaakt. In de tweede plaats is nog niet duidelijk welke inrijcondities dan wel toegepast moeten worden. In het kader van een consult kan hieraan verder geen aandacht worden besteed.

De mathematische simulaties zullen evenals bij het eerdere consult over geleiderailconstructies met het VEDYAC-model worden uitgevoerd. Voor een beschrijving van dit model wordt verwezen naar Bijlage 1.

### 5.3. Indicatoren

De beoordeling van de betonnen geleideconstructies dient overeenkomstig de probleemstelling te geschieden in termen van ernst van de aanrijding voor de inzittenden en de mate van terugkaatsing van het voertuig. De keuze van de hiervoor noodzakelijke indicatoren dient gebaseerd te worden op de aanwezigheid van criteria, de internationale toepassing en de technische mogelijkheden.

In het consult "Aanrijdingen met geleiderailconstructies" is uitgebreid gememoreerd dat momenteel nog goede criteria ontbreken. Dit geldt met name voor de voertuigvertragingen bij aanrijdingen tegen continu verlopende afschermingsvoorzieningen. Het belangrijkste probleem hierbij is dat nog te weinig bekend is van de relatie tussen voertuigvertragingswaarden en de kans op letsel. Bij een vergelijkend onderzoek zoals beschreven in dit consult is het in de eerste plaats van belang de typen constructies onderling te vergelijken. Een relatieve beoordeling op grond van de volgende indicatoren ligt dan ook voor de hand.

#### 5.3.1. Ernst van de aanrijding

Voor de ernst van de aanrijding zullen als indicatoren de grootte van de voertuigvertragingen en de grootte van de voertuigrotatie worden gebruikt.

#### Grootte van de voertuigvertragingen

Bij het toenemen van de voertuigvertragingen neemt de kans op letsel voor de inzittenden in het algemeen toe. De voertuigvertraging kan in drie richtingen worden gemeten, namelijk in langs-, dwars- en verticale richting. Om een indruk van het resulterende effect te krijgen, kunnen de richtingen worden samengesteld en gerelateerd aan criteria van acceptabele voertuigvertragingen. Dit levert dan een samengesteld criterium op, de zogenaamde ASI (Acceleration Severity Index). Op min of meer arbi-



traire wijze zijn twee dimensieloze grenswaarden tot stand gekomen. Dit is in de eerste plaats de waarde 1, waarbij wordt aangenomen dat inzittenden die geen autogordel dragen geen (ernstig) letsel oplopen als deze waarde niet wordt overschreden. De tweede waarde is 1,6 waarvoor hetzelfde geldt als de autogordel wel gedragen wordt.

Deze waarden uit de literatuur dienen met de nodige voorzichtigheid te worden gehanteerd. Uit de door de SWOV uitgevoerde full-scale proeven is namelijk gebleken dat de ASI-waarde bij zijdelingse botsingen een slechte voorspeller is van de kans op letsel. Aangezien betere criteria ontbreken zal de ASI alleen worden gehanteerd om het verschil tussen de typen betonnen geleideconstructies aan te duiden. Voor een nadere uiteenzetting van het ASI-criterium en de nodige voorbehouden wordt verwezen naar Bijlage 2.

Als bij full-scale proeven de drie aangegeven vertragingen zijn geregistreerd, kan een ASI-waarde worden berekend. Echter niet altijd zijn vertragingsswaarden bekend; dit betreft met name de verticale richting. Vooral bij aanrijdingen tegen een constructie waarbij het voertuig omhoog komt - zoals bij betonnen geleideconstructies - kan de waarde van de verticale vertraging flink oplopen en daarmee de grootte van de ASI erg beïnvloeden.

Bij de uit te voeren mathematische simulaties zullen de vertragingsswaarden in ieder geval in de drie richtingen worden berekend, waarna de ASI-waarde kan worden bepaald.

#### Grootte van de voertuigrotatie

De rotatie van het voertuig ten gevolge van een aanrijding met bijvoorbeeld een geleideconstructie kan worden uitgedrukt in afzonderlijke rotaties om de drie hoofdassen van het voertuig, te weten: de langsas, de dwarsas en de verticale as.

De rotatie om de langsas, die wordt uitgedrukt in de grootte van de rolhoek, is van belang om te kunnen vaststellen hoe hoog één zijde van het voertuig tegen de constructie is opgeklommen. Als de waarde van de rolhoek meer wordt dan ca.  $45^{\circ}$  (enigszins afhankelijk van de voertuigeigenschappen), zal het voertuig om zijn langsas over de kop gaan (roll-over). Het is duidelijk dat bij een aanrijding deze waarde niet mag worden over-

schreden. Als wordt verwacht dat een bestuurder na een aanrijding met de betonnen geleideconstructie het voertuig weer onder controle moet krijgen, is het criterium van  $45^{\circ}$  voor de rolhoek te hoog. Aangenomen wordt dat de bestuurder dusdanig gedesoriënteerd raakt dat een adequaat reageren niet meer te verwachten is. Welke hoek nog wel acceptabel is, is uit de literatuur niet bekend. Bij het onderling beoordelen van de typen geleideconstructies zal een zo laag mogelijke waarde van de rolhoek een belangrijke rol spelen.

Bij de full-scale proeven wordt veelal de waarde voor de rolhoek opgegeven. Bij de mathematische simulaties zal deze als output gegeven worden.

Bij een aanrijding met een betonnen geleideconstructie gaat in eerste instantie de voorzijde van het voertuig omhoog: het voertuig ondergaat een rotatie om de dwarsas. Als de achterwielen van het voertuig op wegdekhoogte zouden blijven, is de rotatiehoek een maat om te bepalen hoe hoog de voorzijde van het voertuig omhoog komt. De achterwielen komen echter meestal ook omhoog, zodat de rotatiehoek weer afneemt nog voordat de voorzijde van het voertuig de maximale hoogte heeft bereikt.

Gekozen is voor een andere indicator en wel de hoogte van het opklimmen van het voorwiel aan de zijde van de aanrijding. De hoogte van een betonnen geleideconstructie is 81 cm. Als deze waarde wordt overschreden, bestaat het gevaar dat het voertuig op de constructie terecht komt of er overheen schiet.

Bij het onderling beoordelen van de typen betonnen geleideconstructies, zal een zo gering mogelijke hoogte van opklimmen de voorkeur hebben, mede vanwege de hiervoor reeds vermelde desoriëntatie van de bestuurder.

Bij een aanrijding tegen een continu verlopende constructie zal het voertuig ook een rotatie om de verticale as ondergaan. Na de primaire botsing zal het een stand innemen evenwijdig aan de as van de constructie. Als het voertuig in het verloop van de aanrijding nog meer in de oorspronkelijke richting gaat roteren, neemt de uitrijhoek toe. De consequenties hiervan worden beschreven in de volgende paragraaf.

### 5.3.2. Mate van terugkaatsing

Aangezien bij een aanrijding tegen een betonnen geleideconstructie weinig kinetische energie wordt geabsorbeerd, zal de snelheidsreductie van het voertuig gering zijn. Hierdoor zijn, afhankelijk van de inrijnsnelheid, grote uitrijnsnelheden te verwachten. Afhankelijk van de grootte van de uitrijhoek (en eventuele correcties van de bestuurder) is er tevens potentieel gevaar voor de overige weggebruikers (bij toepassing van geleideconstructies op dubbelbaanswegen betreft dit het achteropkomende verkeer). Vindt er geen secundaire aanrijding plaats, dan kan het voertuig de gehele rijbaan oversteken en in de berm belanden, met alle gevolgen van dien.

De bepaling van de mate van terugkaatsing is dus erg van belang. Als indicatoren kunnen de grootte van de uitrijhoek en van de gierhoek worden gehanteerd. Op pragmatische gronden is als uitgangspunt genomen dat de invloed van de bestuurder buiten beschouwing blijft.

#### Grootte van de uitrijhoek

Onder de uitrijhoek wordt verstaan de hoek tussen de baan van het zwaartepunt van het voertuig en de as van de geleideconstructie. Duidelijk is dat deze zo klein mogelijk dient te zijn. Als richtlijn kan de grootte van de uitrijhoek dienen die bij aanrijdingen met stalen geleiderailconstructies is vastgesteld. Deze is bij aanrijdingen met een inrijhoek tot  $20^{\circ}$  voor de flexibele constructie niet groter dan ca.  $6^{\circ}$  en voor de stijve constructie niet groter dan ca.  $11^{\circ}$ . Bij inrijhoeken van  $25^{\circ}$  en  $30^{\circ}$  liggen voor beide typen constructies de uitrijhoeken maximaal ca.  $5^{\circ}$  hoger.

Van full-scale proeven zijn de uitrijhoeken meestal bekend; bij de mathematische simulaties zullen ze als outputresultaat vastgesteld dienen te worden.

#### Grootte van de gierhoek

De gierhoek van het voertuig is de hoek tussen de langsas van het voertuig en de bewegingsrichting van zijn zwaartepunt. Naarmate deze hoek groter is is de kans groter dat de bestuurder het voertuig niet onder

controle kan krijgen. De rotatierichting is ook van belang. Een rotatie in de richting van de geleideconstructie is gunstiger dan ervan af. Bij het onderling beoordelen van de typen geleideconstructies zal een zo gering mogelijke waarde en richting van de gierhoek mede bepalend dienen te zijn.

In de literatuur van full-scale proeven wordt geen waarde voor de gierhoek gegeven. Met het mathematisch model zal hij worden berekend.

## 6. UITVOERING VAN HET ONDERZOEK

### 6.1. Literatuurstudie

In het kader van het onderzoek "Wegberminrichting" is een literatuuronderzoek naar betonnen geleideconstructies uitgevoerd. De gegevens die met betrekking tot dit consult van belang zijn, zijn hieruit geselecteerd. Het betreft de gegevens over ongevallen waarbij betonnen geleideconstructies betrokken waren en over full-scale proeven met deze constructies. Met betrekking tot de full-scale proeven zijn die gegevens geselecteerd en gerangschikt die een beoordeling en vergelijking met de resultaten van de mathematische simulaties mogelijk maken. Hiervoor zijn onder andere de indicatoren gekozen die in het vorige hoofdstuk zijn behandeld.

### 6.2. Mathematische simulaties

De mathematische simulaties zijn uitgevoerd met het basismodel VEDYAC, waarmee aanrijdingen tussen voertuigen en hun (bots)omgeving kunnen worden gesimuleerd (zie Bijlage 1). Naast dit basismodel zijn datasets (modules) van botsobjecten en bepaalde voertuigtypen nodig. Verder dienen de inrijcondities en de benodigde outputgegevens vastgesteld te worden. Teneinde de werking van het model en de juistheid van de modules te kunnen vaststellen, zijn verificatiesimulaties uitgevoerd. De resultaten hiervan zullen vergeleken worden met die van de full-scale proeven.

#### 6.2.1. Modules

##### Modules betonnen geleideconstructies

Er zijn van de volgende drie typen betonnen geleideconstructies modules samengesteld: General Motors, New Jersey en Configuration F. De gehanteerde afmetingen zijn aangegeven in Afbeelding 1. De verankering van de constructie aan het wegdek is als onwrikbaar in de datasets opgenomen. Als wrijvingscoëfficiënt van het oppervlak van de constructie is 0,8 gekozen, overeenkomstig de waarde voor een betonnen wegdek; voor de band is een waarde van 0,9 genomen. De resulterende wrijvingscoëfficiënt bedraagt 0,72.

## Modules voertuigtypen

### A. Personenauto's

Voor de uitvoering van de mathematische simulaties ten behoeve van het consult omtrent geleiderailconstructies zijn modules van drie typen personenauto's gebruikt, te weten Fiat 126, Opel Kadett B en Volvo 244. De keuze van deze voertuigtypen is gebaseerd op de massa en twee andere kenmerken waarvan wordt verondersteld dat ze van invloed zijn op de voertuigstabiliteit, te weten de wielbasis en de spoorbreedte. De voertuigen zijn geselecteerd op grond van de cumulatieve verdeling van deze kenmerken over alle personenauto's naar verkoopcijfers (bronnen: CBS, 1977 en RWS, 1980). In Bijlage 3 zijn de cumulatieve verdelingen en de specifieke gegevens van de drie voertuigtypen gegeven. Aan de hand van de cumulatieve verdelingen kan de Opel Kadett B worden beschouwd als een representant van de middengroep en de Fiat 126 en de Volvo 244 als representanten van respectievelijk de onder- en de bovengroep.

Aangezien bij het voorliggende consult de voertuigmassa en -stabiliteit eveneens als belangrijke voertuigkenmerken worden beschouwd, zijn de beschikbare modules van de drie aangegeven typen personenauto's voor de mathematische simulaties gebruikt. De massa's van de Fiat, Opel en Volvo bedragen resp. 578 kg, 836 kg en 1245 kg. Bij de mathematische simulatie zullen deze voertuigen als licht, middelzwaar en zwaar worden aangeduid.

### B. Vrachtauto

Voor de uitvoering van de mathematische simulaties met zwaardere typen voertuigen was slechts één module van een vrachtauto operationeel, namelijk van een twee-assige vrachtauto met gesloten laadruimte met een massa (vol beladen) van 16,5 ton. De keuze om een module van dit type vrachtauto samen te stellen, was op het volgende gebaseerd.

Voor de keuze ten aanzien van het model vrachtauto is gebruik gemaakt van CBS-marktcijfers aangaande de typen vrachtauto's van de jaren 1967 t/m 1978 (CBS, 1975 t/m 1978), zie Tabel 1. Uit deze tabel blijkt dat van alle geregistreerde vrachtauto's 77% een gesloten laadruimte heeft.

Voor de keuze van de massa van de te simuleren vrachtauto zijn dezelfde bronnen gehanteerd. Van de hieruit geselecteerde gegevens is een verdeling naar gewichtsklassen gemaakt (zie Afbeelding 2). De jaren 1967 t/m 1978 zijn gesplitst in 3 perioden van 4 jaren waarmee een trend in de

verschuiving van het aandeel van de diverse gewichtscategorieën zichtbaar is gemaakt. Uit de tabel blijkt dat de aantallen voertuigen in de laatste periode het sterkst is toegenomen voor de gewichtscategorieën 16 - 18 ton en 20 - 24 ton, ten koste van voornamelijk de lichtere gewichtscategorieën. Aangezien de eerst genoemde categorie met 27% het sterkst is vertegenwoordigd, is deze gekozen.

Bovengenoemde keuzen hebben geresulteerd in de samenstelling van een module van een gesloten vrachtauto met een maximaal toelaatbaar gewicht van 16,5 ton. Enkele relevante voertuiggegevens en een computerplot van het zijaanzicht van de vrachtauto zijn gegeven in Bijlage 4.

### 6.2.2. Inrijcondities

Om een vergelijking met de resultaten van het consult "Aanrijdingen met geleiderailconstructies" mogelijk te maken, zijn in het voorliggende consult met betrekking tot personenauto's dezelfde inrijcondities gehanteerd. Het betreft hier de twee groepen "standaardsimulaties" en "aanvullende simulaties".

De "standaard simulaties" zijn met de drie typen betonnen geleideconstructies en de drie typen personenauto's onder de volgende condities uitgevoerd:

- inrijhoek 10°; inrijsnelheid 100 km/uur
- inrijhoek 15°; inrijsnelheid 100 km/uur
- inrijhoek 20°; inrijsnelheid 80 km/uur
- inrijhoek 30°; inrijsnelheid 60 km/uur

De "aanvullende simulaties" zijn alleen met de middelzware personenauto uitgevoerd onder de volgende inrijcondities:

- inrijhoek 20°; inrijsnelheid 100 km/uur
- inrijhoek 25°; inrijsnelheid 60 en 80 km/uur
- inrijhoek 30°; inrijsnelheid 40 km/uur

Ten einde voor de middelzware personenauto een stelselmatige opbouw van de inrijcondities te bewerkstelligen, zijn ten behoeve van dit consult nog extra simulaties uitgevoerd, te weten:

- inrijhoek 5°; inrijsnelheid 100 km/uur
- inrijhoek 10°; inrijsnelheid 80 km/uur
- inrijhoek 15°; inrijsnelheid 60 en 80 km/uur
- inrijhoek 20°; inrijsnelheid 60 km/uur

Voor de overzichtelijkheid zullen bovengenoemde simulaties in twee groepen worden gepresenteerd: simulaties met de middelzware personenauto en simulaties met de lichte en zware personenauto's.

Alle hierboven aangegeven simulaties zijn met een los gelaten stuurwiel van de voertuigen uitgevoerd. Om de invloed van een vastgehouden stuurwiel te kunnen bepalen, is dit onderzocht. Hierbij is een door de bestuurder uitgeoefende kracht van 300 N per arm gesimuleerd. Met de New Jersey-constructie is onder de volgende inrijcondities het verschil tussen een losgelaten en vastgehouden stuurwiel bepaald: inrijnsnelheid - inrijhoek van resp. 100 km/u-10° en 15°, 80 km/u-20° en 60 km/u-30°.

Om het aantal simulaties met de vrachtauto te beperken is gekozen voor de snelheids categorie van 70 - 80 km/uur. Deze is gebaseerd op de wettelijk toegestane maximum snelheid van vrachtauto's. Als inrijhoeken zijn genomen: 5°, 10°, en 15°.

### 6.2.3. Computeroutput

Teneinde het gesimuleerde verloop van de diverse aanrijdingen met de betonnen geleideconstructie te kunnen beoordelen, is als output voor een aantal indicatoren gekozen, overeenkomstig het gestelde in paragraaf 5.3. Het betreft hier de volgende indicatoren onder de aangegeven condities.

- ASI: een genormeerde samengestelde maximale voertuigvertraging gemiddeld genomen over 50 ms (zie Bijlage 2, zie ook de opmerking een het slot van deze paragraaf).
- Maximale rolhoek: hiervoor worden twee waarden gegeven:
  - de maximale hoek ten gevolge van de aanrijding tegen een betonnen geleideconstructie;
  - de maximale hoek gemeten op het wegdek nadat het voertuig de constructie heeft verlaten;
- Hoogte voorwiel: de grootste afstand tussen het wegdek en de onderkant van het voorwiel aan de aanrijdingszijde.
- Uitrijhoek: de grootte van de hoek op het tijdstip dat het voertuig geen contact meer heeft met de betonnen geleideconstructie.
- Gierhoek: de hoek tussen de baan van het zwaartepunt van het voertuig en zijn langsas ten tijde van het loskomen van de constructie.



Opmerking aangaande registratie van de ASI

In Bijlage 5 is een voorbeeld gegeven van een computerplot van de ASI-waarden uitgezet tegen de tijd. Bij de simulaties van aanrijdingen vertoont de ASI-waarde in het algemeen twee pieken. De eerste piek is het gevolg van de aanrijding van het front, c.q. de voorwielophanging van het voertuig en de tweede van het zogenaamde rear-end effect (de botsing van de achterzijde van het voertuig met de constructie).

De ASI-waarden die in de tabellen met de resultaten van de simulaties worden gegeven, zijn van de eerste piek. Deze levert in het algemeen de hoogste waarde op. De ASI wordt berekend op de vier zitplaatsen in een personenauto. Hiervan is de hoogste waarde in de tabellen opgenomen. Op de computerplot van Bijlage 5 zijn de redelijk samenvallende ASI-waarden van de vier zitplaatsen afgebeeld.

## 7. RESULTATEN

### 7.1. Literatuurgegevens (ongevallenstudie)

In het begin van de jaren zeventig is er in de Verenigde Staten een ongevallenstudie verricht naar aanrijdingen met drie typen betonnen geleideconstructies: General Motors, New Jersey en New Jersey Modified. In totaal zijn 540 ongevallen verzameld, die verdeeld zijn naar ernst van de afloop (zie Tabel 2). Afzonderlijk is in de tabel opgenomen of het voertuig over de kop is gegaan of op de betonnen geleideconstructie is geklommen.

Het blijkt dat met de General Motors-constructie naar verhouding meer letselongevallen met een ernstige afloop plaatsvinden dan met beide andere constructies. Het enige gerapporteerde ongeval met dodelijke afloop heeft plaatsgevonden met de gemodificeerde New Jersey-constructie.

Bij de gewone New Jersey-constructie komt het geringste aantal roll-over ongevallen voor; in percentages uitgedrukt ten opzichte van het totale aantal ongevallen met dit profieltype is dit 4%. Met het General Motors- en New Jersey Modified-profiel vinden respectievelijk 6% en 12% roll-over ongevallen plaats.

In slechts enkele gevallen is gerapporteerd dat het voertuig op de constructie is geklommen. Bij het General Motors-profiel was dit vier keer het geval en bij de New Jersey één keer. Deze ongevallen kunnen ernstig letsel opleveren als op de constructie palen (bijvoorbeeld lichtmasten) zijn gemonteerd.

Een andere studie betreft alleen ongevallen met het General Motors-profiel. In één jaar zijn 170 ongevallen gerapporteerd en vervolgens geanalyseerd. Het verloop van deze ongevallen uitgedrukt in percentages ten opzichte van het totale ongevallen was als volgt:

67%: het voertuig kwam in de omgeving van de constructie tot stilstand,  
18%: het voertuig kaatste terug op de rijbaan; in een kwart van de gevallen resulteerde dit in een secundaire aanrijding,

7%: het voertuig is op de constructie geklommen,

8%: het voertuig ging over de kop en belandde in 3% van de gevallen op de andere rijbaan (in totaal 13 ongevallen).

Bij deze 13 roll-over ongevallen wordt nog opgemerkt dat in 9 gevallen er kleinere personenauto's bij betrokken waren.

## 7.2. Literatuurgegevens (full-scale proeven)

In de jaren zeventig zijn diverse proeven met betonnen geleideconstructies uitgevoerd. De meeste hebben in de Verenigde Staten plaatsgevonden. Daarnaast zijn nog enkele proeven uitgevoerd in Engeland en Frankrijk. Het doel van de proeven was tweërlei. In de eerste plaats het functioneren van de constructie op het voertuiggedrag te testen en in de tweede plaats het bepalen van de sterkte van de constructie bij een aanrijding door zware voertuigen, met name vrachtauto's en bussen.

### 7.2.1. Amerikaanse proeven met personenauto's

De Amerikaanse proeven zijn voornamelijk met twee typen personenauto's uitgevoerd, namelijk de standard-modellen (full-size) met een massa van ca. 2000 kg en de sub-compact modellen met een massa van ca. 1000 kg. Gegevens van de volgende drie meest beproefde profieltypen zijn verzameld: General Motors, New Jersey en Configuration F.

In de Tabellen 3 en 4 zijn testresultaten onder diverse inrijcondities gegeven. De proefnemingen waarbij de inrijcondities gelijk waren, zijn in de tabellen samengevoegd. Bij de resultaten zijn in deze gevallen de minimale en maximale testresultaten gegeven. Een negatieve waarde voor de rolhoek - geconstateerd bij alle aanrijdingen met personenauto's - wil zeggen dat het voertuig een rotatie ondergaat in de tegenovergestelde richting van de constructie. De ASI-waarde is berekend zonder de verticale vertragingscomponent en mag alleen ten behoeve van de onderlinge vergelijking worden gehanteerd.

In Tabel 3 staan de gegevens met de standard-personenautomodellen (massa ca. 2000 kg). De proeven zijn met een snelheid van ca. 100 km/uur uitgevoerd met variabele inrijhoeken te weten: ca.  $7^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$  en  $25^{\circ}$ .

De volgende resultaten zijn uit de tabel te herleiden. Bij een inrijhoek van ca.  $7^{\circ}$  veroorzaakte de General Motors-constructie een rolhoek van  $23^{\circ}$  die daarmee ongeveer  $10^{\circ}$  groter is dan bij de beide andere constructies. De vertragingswaarden liggen minder ver uiteen als de waarden van de vier New Jersey-proeven worden gemiddeld. Bij deze proeven is gebleken dat de vertragingswaarden onder ongeveer dezelfde botscondities sterk uiteen

kunnen lopen. De uitrijhoek komt bij geen van de constructies boven de  $7^{\circ}$ ; bij het New Jersey-profiel zijn hiervoor de hoogste waarden geregistreerd.

Bij een inrijhoek van ca.  $15^{\circ}$  is er niet veel verschil tussen de drie typen geleideconstructies. De uitrijhoek is ook nu weer het hoogst bij het New Jersey-profiel en bedraagt  $12^{\circ}$ . Ook nu blijkt dat de vertragungswaarden onder dezelfde testconditie erg uiteen lopen.

Bij de inrijhoek van ca.  $25^{\circ}$  zijn geen testgegevens van de General Motors geleideconstructies bekend. Het New Jersey-profiel is onder deze testconditie beduidend vaker getest dan het Configuration F-profiel. De rolhoeken zijn bij het New Jersey-profiel wat hoger dan bij het Configuration F-profiel. Bij het eerst genoemde profiel is bij 2 van de 12 proeven een roll-over geregistreerd. De uitrijhoeken die niet boven de  $8^{\circ}$  uitkwamen, ontlopen elkaar per constructietype niet veel. Bij het New Jersey-profiel is de spreiding van de vertragungswaarden weer erg hoog.

Wat de schade aan de personenauto's betreft kan in het algemeen worden opgemerkt dat bij de aanrijdingen met kleine inrijhoeken geringe schade aan het plaatwerk is ontstaan; de voertuigen waren na afloop nog bestuurbaar. Bij aanrijdingen met grote inrijhoeken kon daarentegen zware schade aan het chassis optreden. De voertuigen waren dan meestal niet meer bestuurbaar. Er is weinig verschil in het schadepatroon aan de personenauto's op te maken bij de aanrijdingen met het General Motors- en New Jersey-profiel.

Tabel 4 geeft de waarden van full-scale proeven met de sub-compact personenautomodellen (massa ca. 1000 kg). De proeven zijn met een snelheid van ca. 90 km/uur uitgevoerd met inrijhoeken van resp. ca.  $7^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ , en  $20^{\circ}$ . De resultaten bij een inrijhoek van ca.  $7^{\circ}$  geven voor het General Motors- en het New Jersey-profiel vergelijkbare rolhoeken van ca.  $20^{\circ}$ . De rolhoek bij het Configuration F-profiel ligt daar  $10^{\circ}$  onder. De uitrijhoeken komen niet boven de  $4^{\circ}$  uit en de vertragungswaarden liggen bij het General Motors-profiel wat hoger dan bij de twee andere profielen.

Bij een inrijhoek van ca.  $15^{\circ}$  is het voertuig bij een aanrijding tegen de General Motors-constructie over de kop gegaan. Bij de twee andere constructies is de rolhoek niet boven de  $20^{\circ}$  uitgekomen. De uitrijhoeken blijven onder de  $5^{\circ}$ . De vertragungswaarden liggen voor het General Motors-profiel het hoogst en voor het Configuration F-profiel het laagst.

Met een inrijhoek van ca. 20° is alleen het New Jersey-profiel één keer getest. De rolhoek bedroeg 11°, de uitrijhoek 9° en de waarde voor de ASI is ongeveer tweemaal zo hoog als bij een inrijhoek onder 15°.

De schade aan de personenauto's was bij deze typen voertuigen in het algemeen vergelijkbaar met de in deze paragraaf genoemde schade aan de standard-modellen.

#### 7.2.2. Amerikaanse proeven met vrachtauto's en bussen

De in Amerika uitgevoerde full-scale proeven met zware voertuigen hadden als voornaamste doel de sterkte van de betonnen geleideconstructie te testen. Aangezien deze proefnemingen alleen met het type New Jersey zijn uitgevoerd, zal hier slechts een summier overzicht worden gegeven, aangezien het maken van een vergelijking met andere typen constructies niet mogelijk is.

In Tabel 5 zijn de resultaten van de proeven met de volgende typen voertuigen gegeven: trekker met oplegger, intercity bus en schoolbus. De massa's van de voertuigen liggen tussen de 9 en 23 ton. De zwaartepunthoogtes van de voertuigen variëren van 77 cm tot 160 cm, van de opleggers bedraagt deze ca. 180 cm. Bij de meeste voertuigen ligt het zwaartepunt hiermee boven de hoogte van de betonnen geleideconstructies, die namelijk 81 cm bedraagt. De betonnen geleideconstructies zijn beproefd met snelheden van ca. 55 - 100 km/uur waarbij de inrijhoeken varieerden van 6° tot 20°.

Bij de resultaten valt op dat, in tegenstelling tot bij personenauto's, de rolhoek een positieve waarde heeft, hetgeen wil zeggen dat zware voertuigen ten gevolge van een aanrijding een rotatie ondergaan in de richting van de geleideconstructie. Dit komt door de hogere zwaartepuntsligging dan bij personenauto's. In het algemeen kan bij de proeven met zware voertuigen worden opgemerkt dat de grootte van de rolhoek groter is naarmate de voertuigsnelheid oploopt. Bij een snelheid van 100 km/uur heeft het voertuig de neiging te kantelen (rolhoek 45°). In twee gevallen is het voorwiel aan de zijde van de aanrijding boven de 50 cm opgeklommen.

De uitrijhoeken bedragen 10° of lager, met uitzondering van die van de schoolbussen - beproefd met de hoogste snelheid van bijna 100 km/uur - waarbij de uitrijhoek ca. 15° bedraagt.

De waarden van de voertuigvertragingen liggen bij de intercity bussen beduidend lager dan bij de vrachtauto's en schoolbussen. Het lijkt aannemelijk dat dit te maken heeft met het verschil in carrosseriebouw. Bij de intercity bussen zijn met name de voorwielen afgeschermd door een laag doorlopende carrosserie en verder staan de voorwielen verder naar achteren. Bij een aanrijding van een intercity bus met een betonnen geleideconstructie wordt de grootste kracht op de vervormbare carrosserie uitgeoefend. Bij de schoolbussen en vrachtauto's grijpt de grootste kracht min of meer direct op de voorwielen aan, hetgeen veel grotere vertragingen veroorzaakt dan bij de intercity bussen.

De intercity bussen waren na de aanrijdingen in de meeste gevallen nog bestuurbaar. Bij de schoolbussen werden bij beide aanrijdingen de voorwielen onder het voertuig weggeslagen. Dit resulteerde vervolgens in kantelen van de bus. Hierbij dient aangetekend te worden dat de botssnelheden bij de schoolbussen ruim 10 km/uur hoger lagen dan bij de intercity bussen. De drie trekkers van de vrachtauto's met torpedo-besturing waren na de aanrijding ook nog bestuurbaar, maar de botssnelheden waren dan ook niet bijzonder hoog (54 - 72 km/uur). De ene proef van een trekker met frontbesturing (botssnelheid 85 km/uur) liep slecht af vanwege het loslaten van de kantelcabine.

Bij de eerste proeven met vrachtauto's en bussen werden de geleideconstructies zwaar beschadigd. Bij de volgende proeven zijn de constructies in de meeste gevallen versterkt met stalen liggers en zandzakken achter de constructie.

### 7.2.3. Engelse proeven met personenauto's en een bus

In Engeland zijn diverse proeven met vijf verschillende uitvoeringsvormen van de General Motors- en de New Jersey-profielen uitgevoerd. Deze verschillen hadden in hoofdzaak betrekking op de hoogte van de verticale voet. Daarnaast is nog een constructie beproefd met een horizontaal lopend vlak halverwege de constructie. Twee proeven zijn uitgevoerd met een middenklasse personenauto met een massa van ca. 1500 kg, één proef met een bus en de rest (11 proeven) met Mini's met een massa van 760 kg (inclusief ballast). Alle proeven zijn gedaan met een inrijhoek van 20°, waarbij de snelheid varieerde van 85 tot 116 km/uur.

De resultaten staan vermeld in Tabel 6. De proeven met de Mini's hadden in het algemeen een slechte afloop. Het voorwiel krom in de meeste gevallen tot een hoogte van meer dan 75 cm. In 7 van de 11 gevallen ging het voertuig over de kop. In een aantal gevallen was dit het gevolg van voertuigrotatie op de rijbaan waarbij het voertuig in het niet-verharde gedeelte van de proefbaan terecht kwam. De uitrijhoek is niet boven de  $10^{\circ}$  uitgekomen. De langsvertraging varieerde van 1 tot 9 g.

In het algemeen was er niet veel verschil tussen de diverse beproefde profielen. De drie uitgevoerde proeven met een New Jersey-profiel zonder voet gaven relatief gezien de gunstigste afloop te zien. Bij de proeven kwam het voorwiel niet boven de 70 cm uit en in één geval ging de Mini over de kop.

Bij de twee proeven met de personenauto's uit de middenklasse is er weinig verschil geconstateerd tussen het General Motors- en het New Jersey-profiel (beide met een hogere voet dan normaal). Het voorwiel krom tot een hoogte van ca. 80 cm, de uitrijhoek bedroeg niet meer dan  $8^{\circ}$  en de voertuigen gingen niet over de kop.

De met een bus geteste constructie betrof een New Jersey-profiel met een hoogte van 150 cm in plaats van de gebruikelijke 81 cm. De inrijnsnelheid bedroeg 72 km/uur en de inrijhoek  $20^{\circ}$ . De rolhoek bedroeg  $13^{\circ}$  naar de zijde van de constructie toe. Deze rotatie van de bus werd begrensd door het contact van de bovenkant van de constructie met de zijkant van de bus: hierbij braken de ruiten aan die zijde en de voor- en achterrauit. De bus vervolgde zijn weg evenwijdig aan de constructie. De betonnen constructie werd niet structureel beschadigd.

#### 7.2.4. Franse proeven

In Frankrijk is alleen de New Jersey-constructie beproefd met de drie volgende typen voertuigen onder de tussen haakjes aangegeven botscondities (snelheid, inrijhoek): middenklasse personenauto ( $84$  km/uur,  $30^{\circ}$ ), vrachtauto met een massa van 10 ton ( $72$  km/uur,  $20^{\circ}$ ) en bus ( $70$  km/uur,  $20^{\circ}$ ). Aangezien alleen het New Jersey-profiel is beproefd, kan hier worden volstaan met een summiere beschrijving. Bij geen van de proeven is een roll-over geconstateerd en de uitrijhoeken waren gering. De beproefde constructies hebben geen beschadiging opgelopen.

### 7.3. Mathematische simulaties

Met de General Motors- en de New Jersey-constructie zijn onder diverse inrijcondities simulaties met de drie typen personenauto's en één vrachtauto uitgevoerd. Als Bijlage 6 is ter illustratie een aantal computerplots van gesimuleerde aanrijdingen met de betonnen geleideconstructies afgebeeld.

Ten einde de betrouwbaarheid van de resultaten van de simulaties te kunnen vaststellen, zijn verificaties uitgevoerd.

#### 7.3.1. Verificatiesimulaties met personenauto's

De voor dit consult benodigde mathematische simulaties zijn met de volgende typen personenauto's uitgevoerd: Fiat 126, Opel Kadett B en Volvo 244. Voor een juiste verificatie zouden ook gegevens van full-scale proeven met deze typen voertuigen beschikbaar moeten zijn. Aangezien dit niet het geval is, is teruggevallen op gegevens van de in de V.S. uitgevoerde full-scale proeven van voertuigen met een massa van ca. 1000 kg. Dit betreffen de typen personenauto's Honda Civic en Vega waarvan de testresultaten reeds zijn besproken (zie Tabel 4). Qua massa komen deze typen voertuigen redelijk overeen met de massa van de gemodelleerde Opel Kadett (het middelzware type personenauto'). Aangezien diverse overige voertuigkenmerken in meer of mindere mate afwijken, kan de verificatie alleen worden gehanteerd om vast te stellen of het mathematische model gegevens genereert van dezelfde orde van grootte als bij full-scale proeven.

Bij de simulaties uitgevoerd ten behoeve van de verificatie zijn dezelfde inrijshnelheden, inrijhoeken en typen betonnen geleideconstructies gehanteerd als bij de Amerikaanse full-scale proeven. Naast het General Motors- en het New Jersey-profiel is ook het Configuration F-profiel bij de verificatie betrokken, aangezien hiervan gegevens van full-scale proeven bekend zijn. In Tabel 7 zijn de resultaten van beide typen proefnemingen (full-scale en simulaties) met elkaar vergeleken.

Uit de tabel blijkt dat bij een inrijhoek van ca.  $7^{\circ}$  de resultaten van de full-scale proeven en mathematische simulaties bij alle drie typen constructies zeer goed bij elkaar aansluiten. Bij een inrijhoek van ca.  $15^{\circ}$



komen ook de resultaten van het Configuration F-profiel nog goed overeen, met uitzondering van de ASI-waarde. Bij beide andere profielen liggen de resultaten vrij ver uiteen. Dit geldt ook voor de ene uitgevoerde full-scale proef en simulatie bij een inrijhoek van ca.  $20^{\circ}$ .

De volgende interpretatie kan van deze verificatie worden gegeven. Bij kleine inrijhoeken ( $< ca. 10^{\circ}$ ) is er in het algemeen weinig contact van de voertuigcarrosserie met de constructie. De interactie van het wiel of de wielophanging en het profiel van de constructie bepalen in hoge mate het verloop van de aanrijding. Bij grotere inrijhoeken ( $> ca. 10^{\circ}$ ) gaat het contact tussen carrosserie en constructie een grotere rol spelen, waarbij tevens de carrosserievorming van groot belang is.

Uit de verificatie kan worden opgemaakt dat het model de invloed van de interactie van het wielophangingssysteem met het profiel van de betonnen geleideconstructie goed simuleert. Uit de verificatie kan met betrekking tot de geconstateerde afwijkingen bij de inrijhoeken van ca.  $15^{\circ}$  en  $20^{\circ}$  niet worden bepaald of de gemodelleerde carrosserie niet geheel juist is of dat er een vrij groot verschil is tussen de carrosserie (met inbegrip van de vervormingskarakteristiek) van de gemodelleerde personenauto en de bij de full-scale proeven gebruikte personenautotypen. Verder lijkt de wielophanging van de gemodelleerde personenauto's te stijf aan de carrosserie te zijn bevestigd, aangezien bij de zware aanrijdingen geen deformatie van de wielophanging is geconstateerd, dit in tegenstelling tot de vastgestelde deformatie bij de zware full-scale aanrijdingen.

Bovenstaande verschillen hebben hun uitwerking op de voertuigdynamica en de grootte van de voertuigvertragingen. Daarnaast kan met betrekking tot het verschil in ASI-waarden worden opgemerkt dat er mogelijk een verschil is tussen de wijze van registreren en bewerken in de praktijk en de wijze van berekenen met het mathematische model. Verder kan nog een deel van het verschil worden verklaard uit het feit dat bij de full-scale proeven de invloed van de verticale voertuigvertraging niet in de formule van de ASI is verwerkt.

Geconcludeerd kan worden dat de simulaties bij kleine inrijhoeken ( $5^{\circ}$  à  $10^{\circ}$ ) resultaten geven die absoluut gezien een vrij grote betrouwbaarheid hebben. Bij grotere inrijhoeken ( $> ca. 10^{\circ}$ ) mogen de simulaties alleen worden gehanteerd voor de onderlinge vergelijking van de betonnen geleideconstructies.

### 7.3.2. Simulaties met de middelzware personenauto

De resultaten van de simulaties met de middelzware personenauto met het General Motors- en het New Jersey-profiel zijn gegeven in Tabel 8A+B.

#### Voertuigvertraging

De grootte van de voertuigvertragingen (uitgedrukt in de ASI) is in Tabel 8A+B gegeven om het verschil tussen beide typen betonnen geleideconstructies aan te duiden. De ASI-waarden zijn ook grafisch uitgezet tegen de inrijhoek ( $5^{\circ}$  -  $30^{\circ}$ ), waarbij de inrijnsnelheid (60-100 km/uur) als parameter is genomen (zie Afbeelding 3).

Uit deze afbeelding blijkt dat zowel bij toename van de inrijhoek als van de inrijnsnelheid de ASI-waarde hoger is. Er is weinig verschil tussen het General Motors- en het New Jersey-profiel, met uitzondering van de combinatie inrijnsnelheid en inrijhoek van 60 km/uur -  $30^{\circ}$ , waarbij de ASI-waarde voor het New Jersey-profiel beduidend hoger is dan voor het General Motors-profiel.

#### Rolhoek en opklimmen voorwiel

Van de 13 uitgevoerde simulaties is bij het New Jersey-profiel in drie gevallen geconstateerd dat het voertuig op de constructie is geklommen. Bij het General Motors-profiel is dit in geen van de gevallen opgetreden. Wel is bij het General Motors-profiel in drie gevallen geconstateerd dat het voorwiel aan de aanrijdingszijde tot de bovenkant van de constructie is geklommen (80 cm) en in één geval zelfs tot een hoogte van 110 cm. In alle vier gevallen is het voertuig weer via de constructie afgedaald om vervolgens weer op het wegdek te belanden.

De relatie tussen het klimmen van het voorwiel en de grootte van de inrijhoek ( $5^{\circ}$  -  $30^{\circ}$ ) met als parameter de inrijnsnelheid (60 - 100 km/uur) is grafisch afgebeeld in Afbeelding 4. Hieruit blijkt dat het New Jersey-profiel een redelijk gelijkmatig verloop laat zien: bij het toenemen van de inrijhoek en inrijnsnelheid neemt de voorwielhoogte toe. Het verloop bij het General Motors-profiel is veel meer onvoorspelbaar.

Gebleken is dat de rolhoek niet maatgevend is om de voertuigkanteling om de langsas vast te stellen. De waarde van de rolhoek kan bijvoorbeeld bij

een grote voorwielklimming laag blijven als de gehele voorzijde van het voertuig of zelfs het voertuig in zijn geheel omhoog komt.

Teneinde na een aanrijding met de betonnen geleideconstructie het verdere verloop van het voertuig op de gesimuleerde rijbaan te kunnen vaststellen, is de maximale rolhoek op de rijbaan vastgesteld. Bij het New Jersey-profiel is deze niet boven de  $20^{\circ}$  uitgekomen; bij het General Motors-profiel is dit in twee gevallen wel geregistreerd, waarbij de waarden  $27^{\circ}$  en  $40^{\circ}$  bedroegen. Deze  $40^{\circ}$  is opgetreden bij de inrijconditie 100 km/uur -  $10^{\circ}$ , waarbij ook de grootste klimming van het voorwiel (110 cm) is vastgesteld.

In de drie gevallen dat het voertuig op of over de New Jersey-constructie is geklommen, kon het verdere verloop van de aanrijding niet worden vastgesteld omdat het mathematische voertuigmodel dit niet toelaat. De onderkant van het voertuig is namelijk niet gedefiniëerd. Of een roll-over zou zijn opgetreden is dus ook niet aan te geven.

#### Uitrijhoek

Uit de gegevens van Tabel 8A+B is verder af te leiden dat de uitrijhoek bij de gesimuleerde inrijcondities van 80 en 100 km/uur niet boven de  $4^{\circ}$  uitkomen. Het verschil tussen het General Motors- en het New Jersey-profiel bedraagt hierbij niet meer dan  $1^{\circ}$ .

Bij de gesimuleerde snelheid van 60 km/uur is de maximaal geregistreerde uitrijhoek  $7^{\circ}$ , waarbij het verschil tussen beide typen profielen niet meer dan  $0,5^{\circ}$  bedraagt.

Bij de inrijcondities 40 km/uur met een inrijhoek van  $30^{\circ}$  is de uitrijhoek voor het General Motors-profiel  $9,5^{\circ}$  en voor het New Jersey-profiel  $7,5^{\circ}$ .

#### Gierhoek

De waarden voor de gierhoek komen niet boven  $7^{\circ}$ . Het verschil tussen beide typen betonnen geleideprofielen bedraagt maximaal  $4^{\circ}$ . In de meeste gevallen heeft de gierhoek een gunstige waarde, namelijk een negatieve hoek die aangeeft dat het voertuig een rotatie ondergaat in de richting van de constructie.

### 7.3.3. Simulaties met de lichte en zware personenauto's

De resultaten van de simulaties met de lichte en zware personenauto's zijn in Tabel 9 gegeven. De simulaties zijn uitgevoerd met het General Motors- en het New Jersey-profiel onder de standaard-inrijcondities: 100 km/uur-10<sup>o</sup>, 100 km/uur-15<sup>o</sup>, 80 km/uur-20<sup>o</sup> en 60 km/uur-30<sup>o</sup>.

#### Voertuigvertragingen

Bij de middelzware personenauto zijn de ASI-waarden uitgezet tegen de inrijhoek, met als parameter de voertuigsnelheid. Vanwege het geringe aantal simulaties met de lichte en zware personenauto's is dit voor deze typen voertuigen niet mogelijk. Teneinde een en ander toch grafisch te kunnen weergeven, zijn de ASI-waarden (en de klimming van het voorwiel) uitgezet tegen een combinatie van de inrijhoek en inrijhoek uitgezet. Hiertoe is de component van de inrijhoek gehanteerd die loodrecht op de constructie staat. Deze wordt uitgedrukt in de waarde  $v \cdot \sin \alpha$  ( $v$  = snelheid en  $\alpha$  = de inrijhoek). Deze component is een factor die medebepalend is voor de grootte van de kinetische energie van het voertuig. In Afbeelding 5 is voor het lichte en zware type personenauto het verschil tussen het General Motors- en het New Jersey-profiel aangegeven. Uit deze afbeelding kan worden opgemaakt dat bij toename van de inrijhoek (van 10<sup>o</sup> tot 20<sup>o</sup>) bij snelheden van 80 en 100 km/uur de ASI-waarden voor beide typen profielen vrijwel lineair toenemen. Bij de inrijhoek van 30<sup>o</sup> (snelheid 60 km/uur) volgt het New Jersey-profiel min of meer deze lijn, maar het General Motors-profiel geeft voor de lichte personenauto een sterkere stijging van de ASI-waarden te zien en voor de zware personenauto een sterke daling.

In Afbeelding 6 zijn de ASI-waarden van simulaties met het New Jersey-profiel voor de drie typen voertuigen (licht, middelzwaar en zwaar) uitgezet. Met uitzondering van de inrijconditie 60 km/uur-30<sup>o</sup> met het middelzware voertuigtype hebben de curves een gelijkmatig verloop: het lichte voertuig geeft de hoogste ASI-waarden te zien, het zware voertuigtype de laagste en het middelzware voertuigtype waarden hier tussen in.

### Rolhoek en opklimmen voorwiel

Evenals bij de simulaties met de middelzware personenauto is aangegeven, is bij de simulaties met de andere twee typen voertuigen de maximale rolhoek tegen de constructie ook niet te hanteren als maat voor de voertuigrotatie om de langsas. Het klimmen van het voorwiel aan de aanrijdingszijde zal ook hier als indicatie worden gehanteerd voor het voertuiggedrag tegen de betonnen geleideconstructie.

Bij één simulatie met het zware type personenauto is het voertuig op de constructie geklommen (inrijconditie 60 km/uur-30°). In alle andere gevallen is het voertuig weer op het wegdek teruggekomen. De geregistreeerde maximale rolhoek op het wegdek is 27° voor het lichte voertuig en 21° voor het zware voertuig. In beide gevallen was het voorwiel bijzonder hoog tegen de constructie opgeklimmen.

Het klimeffect is weer grafisch tegen de inrijconditie  $v \cdot \sin \alpha$  uitgezet (zie Afbeelding 7). Het New Jersey-profiel geeft wat het klimmen van het voorwiel betreft ook nu weer een redelijk gelijkmatig patroon te zien: bij het toenemen van de waarde van de  $v \cdot \sin \alpha$  neemt ook de klimhoogte toe. Bij het General Motors-profiel is er een meer dalende tendens. Als alleen de inrijcondities bij een snelheid van 80 en 100 km/uur worden beschouwd (inrijhoeken 10°, 15° en 20°) geeft de lichte personenauto met het New Jersey-profiel de geringste klimhoogte, terwijl dit voor de zware personenauto juist met het General Motors-profiel het geval is (klimhoogte in beide gevallen maximaal 45 cm). De lichte personenauto geeft met het General Motors-profiel een zeer grote klimhoogte, terwijl dit met de zware personenauto met het New Jersey-profiel het geval is (klimhoogte van ca. 100 cm).

### Uitrijhoek

De uitrijhoeken komen bij de gesimuleerde snelheden van 80 en 100 km/uur niet boven de 5° uit. Het verschil tussen beide typen profielen bedraagt niet meer dan 1,5°. Bij de inrijconditie 60 km/uur-30° is de maximaal geregistreeerde uitrijhoek 8°. Ook nu is het verschil tussen beide typen constructies niet meer dan 1,5°. De waarde van het zware type personenauto met de New Jersey-constructie is bij deze inrijconditie niet bekend aangezien het voertuig op de constructie is geklommen.

## Gierhoek

Evenals bij de simulaties met het middelzware voertuigtype zijn de waarden van de gierhoek ook nu gering (maximaal  $6^{\circ}$ ). Ook nu zijn de waarden in de meeste gevallen negatief, dat wil zeggen dat de voorzijde van het voertuig een rotatie ondergaat in de richting van de betonnen constructie.

### 7.3.4. Simulaties met een vastgehouden stuurwiel van de middelzware personenauto

De resultaten van de simulaties die tot dusver zijn gegeven hebben betrekking op personenauto's waarbij werd gesimuleerd dat het stuurwiel niet werd vastgehouden. Om na te gaan wat het effect is als het stuurwiel tijdens de aanrijding stevig wordt vastgehouden, is dit voor vier gevallen onder de volgende standaard-inrijcondities gesimuleerd: 100 km/uur- $10^{\circ}$  en  $15^{\circ}$ , 80 km/uur- $20^{\circ}$  en 60 km/uur- $30^{\circ}$ . Ter vergelijking zijn de resultaten van de simulaties met een los en vast stuurwiel in Tabel 10 opgenomen.

Uit deze tabel blijkt dat het verschil tussen een los en vast stuurwiel marginaal is. Uit computerdata blijkt dat de gesimuleerde stuurkracht van 300 N per bestuurderarm dermate groot is, dat bij de aanrijding geen uitslag van de voorwielen is opgetreden.

### 7.3.5. Simulaties met de vrachtauto

Simulaties met vrachtauto's zijn met twee snelheden uitgevoerd namelijk 70 en 80 km/uur. Teneinde na te gaan in hoeverre deze resultaten overeenkomen met die van in de Verenigde Staten uitgevoerde full-scale proeven is een verificatie uitgevoerd.

## Verificatie

Voor de verificatie zijn gegevens van de reeds in Tabel 5 beschreven Amerikaanse full-scale met vrachtauto's en bussen gebruikt. De wettelijke module van de vrachtauto komt qua massa en zwaartepuntshoogte alleen met de beproefde intercity bus overeen. Aangezien overeenkomsten qua

structuur en dimensies ontbreken, kan een verificatie niet meer dan een indicatie geven aangaande het functioneren van het model en de vrachtautomodule bij een aanrijding met een betonnen geleideconstructie.

In Tabel 11 zijn de gegevens ten behoeve van de verificatie met de New Jersey-constructie gegeven. Met betrekking tot de inrijcondities komen de inrijhoeken redelijk overeen; de inrijnelheden schelen 13 - 16 km/uur. Wat de resultaten van de verificatie betreft kan worden geconcludeerd dat de rolhoeken redelijk en de uitrijhoeken goed met elkaar overeenkomen. De ASI-waarden van de full-scale proeven liggen beduidend lager dan van de simulaties (waarden bedragen resp. 0,2 en 1,0 - 1,6). In par. 7.2.2 is aangegeven dat de bij de proeven geregistreeerde ASI-waarden van intercity bussen ook veel lager liggen dan voor de trekkers met oplegger en schoolbussen. Als mogelijke oorzaak is het verschil in carrosseriebouw genoemd. Als de ASI-waarden van de full-scale proeven met trekkers met oplegger en schoolbussen (ASI: 1,3 - 2,0) worden vergeleken met de ASI-waarde van de simulaties met de vrachtauto (ASI: 0,7 - 2,7), kan worden geconstateerd dat deze in dezelfde orde van grootte liggen.

Als laatste te bespreken resultaat ten behoeve van de verificatie rest de klimhoogte van het voorwiel. De geregistreeerde hoogte bij de mathematische simulaties (0 - 5 cm) is beduidend minder dan bij de full-scale proeven (30 - 40 cm). Dat het wiel ook bij de simulaties tegen de constructie kan opklimmen - maar verhoudingsgewijs te veel - is geconstateerd bij de uitgevoerde simulaties met 80 km/uur.

Geconcludeerd kan worden dat uit deze verificatie de indicatie is verkregen dat de resultaten van de mathematische simulaties met de vrachtauto op diverse punten realistisch lijken. Aangezien voor een goede verificatie de benodigde gegevens ontbraken, mogen aan de resultaten in absolute zin geen waarde worden gehecht. In relatieve zin kunnen de resultaten worden gehanteerd om beide typen betonnen geleideprofielen onderling te vergelijken.

### Resultaten

Met de vrachtauto zijn bij een snelheid van 70 km/uur drie simulaties met inrijhoeken van  $5^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$  en  $15^{\circ}$  tegen het General Motors- en het New Jersey-profiel uitgevoerd (zie Tabel 12). Gezien het geringe aantal simulaties en het gestelde onder het hoofd "verificatie", kan alleen in indi-

catieve zin het verschil tussen beide typen profielen worden aangegeven. Bij de inrijhoek van  $5^{\circ}$  is er geen verschil tussen het General Motors- en het New Jersey-profiel. De ASI-waarde is voor het New Jersey-profiel wel wat hoger dan voor het General Motors-profiel.

Bij de twee grotere inrijhoeken geeft het General Motors-profiel ongunstiger resultaten te dan het New Jersey-profiel. De ASI-waarde ligt hoger, het voorwiel aan de aanrijdingszijde klimt hoger op, en de uitrijhoek is wat groter. Tussen de grootte van de rolhoek en de gierhoek is niet veel verschil tussen beide profieltypen op te maken.



## 8. SAMENVATTING RESULTATEN

Het verschil tussen het General Motors- en het New Jersey-profiel bij aanrijdingen is onderzocht aan de hand van literatuurgegevens van ongevallen en full-scale proeven en door middel van uitvoering van mathematische simulaties.

### 8.1. Ongevallenstudie

Uit Amerikaanse ongevallenstudies is gebleken dat voertuigen bij aanrijdingen met het General Motors-profiel twee keer vaker over de kop gaan dan met het New Jersey-profiel. Het General Motors-profiel gaf ook relatief meer ongevallen met ernstig letsel dan het New Jersey-profiel; waarschijnlijk het gevolg van het groter aantal roll-over ongevallen. Bij het General Motors-profiel is iets vaker gebleken dat het voertuig op de constructie is geklommen dan bij het New Jersey-profiel. Bij dit onderzoek zijn de voertuigtypen niet naar gewichtsklasse onderscheiden. Bij een ander Amerikaans onderzoek waarbij alleen de General Motors-constructie was betrokken is vaker geconstateerd dat het voertuig over de kop is gegaan en op de constructie is geklommen dan bij het eerstgenoemde onderzoek. Bij de roll-over ongevallen wordt opgemerkt dat hier in 9 van de 13 gevallen een kleiner type personenauto bij betrokken was.

### 8.2. Full-scale proeven

Bij de in Amerika uitgevoerde full-scale proeven met voertuigen in de gewichtsklasse van ca. 2000 kg geeft het General Motors-profiel bij kleine inrijhoeken (ca.  $7^{\circ}$ ) een wat grotere rolhoek (voertuigrotatie om de langsas) dan het New Jersey-profiel. Bij een inrijhoek van ca.  $15^{\circ}$  is er weinig verschil tussen beide profielen. Bij een inrijhoek van  $25^{\circ}$  is alleen het New Jersey-profiel beproefd: de voertuigvertraging uitgedrukt in de ASI-waarde liep hierbij zeer hoog op; in 2 van de 12 gevallen is een roll-over opgetreden.

Bij deze proeven met de zware personenauto's valt op dat onder vergelijkbare inrijcondities de ASI-waarden erg veel verschillen (factor 2 à 3). De Amerikaanse full-scale proeven met personenauto's in de gewichtsklasse van ca. 1000 kg geven bij een inrijhoek van ca.  $7^{\circ}$  weinig verschil in

rolhoeken tussen beide profieltypen te zien. De ASI-waarden liggen bij het General Motors-profiel hoger dan bij het New Jersey-profiel. Bij 15° is het ene beproefde voertuig tegen het General Motors-profiel over de kop gegaan; bij het New Jersey-profiel bleven de rolhoeken van de twee beproefde voertuigen laag. Een kleine rolhoek is ook geconstateerd bij de inrijhoek van 20° van de proef met eveneens het New Jersey-profiel; de ASI-waarde was daartegen bijzonder hoog. Het General Motors-profiel is onder deze inrijconditie niet beproefd.

De Engelse full-scale proeven zijn onder vrij hoge snelheden (85 - 116 km/uur) uitgevoerd met het General Motors-profiel met verhoogde voet en het New Jersey-profiel en varianten hierop. Bij de proeven met de Mini ging het voertuig in 7 van de 11 gevallen over de kop - deels veroorzaakt door voertuigrotatie na de landing - waarbij er weinig verschil tussen de diverse typen constructies was op te maken. Bij twee proeven met een middenklasse personenauto is het voorwiel in beide gevallen tot de bovenrand van de constructie opgeklommen.

Uit de in Amerika uitgevoerde proeven met vrachtauto's en bussen is gebleken dat de carrosseriebouw met afgeschermd en verder naar achteren geplaatste voorwielen een gunstige invloed heeft op de grootte van de voertuigvertragingen en het ongevalsverloop.

### 8.3. Mathematische simulaties

Aangezien met het middelzware type personenauto meer simulaties onder de diverse inrijcondities zijn uitgevoerd dan met de lichte en zware typen, zijn hiervoor wat meer algemene tendenzen aan te geven. Uit de verificatie is gebleken dat de resultaten van aanrijdingen onder kleine inrijhoeken vrij betrouwbaar zijn. Onder grotere inrijhoeken moeten ze als indicatief worden beschouwd.

Voor zowel het General Motors- als voor het New Jersey-profiel geldt dat de waarde voor de voertuigvertraging (uitgedrukt in de ASI) toeneemt bij toename van zowel de inrijhoek als de inrijsnelheid. Bij het New Jersey-profiel neemt het klimeffect van het voorwiel toe bij toename van inrijhoek en -snelheid. Bij het General Motors-profiel is het klimeffect onvoorspelbaarder. Bij beide typen profielen is in diverse gevallen het wiel zeer hoog opgeklommen. In de praktijk had dit tot een roll-over kunnen leiden.

Het aantal inrijcondities bij de typen lichte en zware personenauto's is beperkt tot vier. Uit de simulaties blijkt dat de lichte voertuigen grotere vertragingen krijgen dan de zware.

Het General Motors-profiel veroorzaakt grote klimhoogten bij het lichte type voertuig en relatief lage klimhoogten bij het zware type. Bij het New Jersey-profiel is dit net andersom: grote klimhoogten bij het zware type voertuig en relatief lage klimhoogten bij het lichte type.

De uitrijhoeken en gierhoeken geven weinig verschil te zien tussen zowel de beide typen constructies als de drie typen voertuigen. De uitrijhoek komt bij de snelheden 80 en 100 km/uur bij inrijhoeken tot  $20^{\circ}$  niet boven de  $5^{\circ}$  uit. Bij de conditie 60 km/uur- $30^{\circ}$  niet boven de  $8^{\circ}$ . De gierhoek bedraagt niet meer dan  $7^{\circ}$ , waarbij een voertuigrotatie in de meeste gevallen in de richting van de betonnen constructie is.

Met de vrachtauto zijn onder drie inrijcondities simulaties uitgevoerd. Het General Motors-profiel geeft wat ongunstiger waarden te zien dan het New Jersey-profiel. Wegens ontbreken van gegevens was geen goede verificatie mogelijk.

De simulaties die zijn uitgevoerd om bij een aanrijding tegen een betonnen geleideconstructie het verschil tussen een los en vast stuurwiel vast te stellen, toonden aan dat de verschillen marginaal zijn.

## 9. OPTIMALISEREN VAN HET PROFIEL

### 9.1. Inleiding

Uit de full-scale proeven en mathematische simulaties is op te maken dat bij een aanrijding tegen een betonnen geleideconstructie het voorwiel hoog tegen de constructie kan opklimmen. Tot een inrijhoek van  $15^{\circ}$  is dit bij het General Motors-profiel sterker het geval dan bij het New Jersey-profiel. Bij full-scale proeven met voertuigen met een kleine wiel diameter (Mini's) worden nog sterker grotere wielhoogtes aangetroffen. Full-scale proeven en simulaties hebben aangetoond dat de grootte van de voertuigvertragingen en van de uitrijhoeken geen grote onderlinge verschillen met betrekking tot de diverse profieltypen vertonen.

Uit deze gegevens kan worden geconcludeerd dat vooral het klimeffect de diverse profieltypen van elkaar onderscheidt. Naar mate het voorwiel hoger tegen de constructie klimt, neemt de kans op een roll-over toe. Ook raakt de bestuurder meer gedesoriënteerd.

Met betrekking tot het optimaliseren van de constructie is het van belang aan te geven op welke wijze vooral het klimeffect van het voorwiel bij een aanrijding kan worden gereduceerd. Hiertoe zal de invloed van een aantal constructieve verschillen tussen de diverse profielen van betonnen constructies op het aanrijdingsverloop worden aangegeven.

### 9.2. Constructieve verschillen en het effect hiervan bij aanrijdingen

Zoals bij de beschrijving van de verschillende typen betonnen constructies in par. 4.1 (zie voor doorsneden Afbeelding 1) is aangegeven, zijn er drie constructieve verschillen tussen het General Motors- en het New Jersey-profiel. Deze zijn:

- de hoogte van het opstaande randje: deze is bij de New Jersey 2,5 cm hoger;
- de kniklijn tussen beide grote oplopende vlakken: deze is bij de New Jersey 5 cm lager;
- de hellingshoek van het bovenste vlak: bij de New Jersey is deze  $4^{\circ}$  steiler.

Alle drie constructieve aspecten bewerkstelligen dat een voertuig bij een aanrijding tegen een General Motors-constructie eerder de neiging heeft daartegen op te klimmen dan bij de New Jersey-constructie.

Bij de full-scale proeven met de Mini (kleine bandstraal) is gebleken dat de afwezigheid van een opstaand randje een iets gunstiger effect heeft op het verloop van de aanrijding.

In de probleemstelling is aangegeven dat het profiel van de Configuration F bij het consult zal worden betrokken om nader richting te kunnen geven aan het optimaliseren van het profiel van een betonnen geleideconstructie.

Diverse aspecten aangaande het Configuration F-profiel zullen worden beschouwd.

### 9.3. Profiel Configuration F

#### 9.3.1. Doorsnede profiel

De doorsnede van het Configuration F-profiel is aangegeven in Afbeelding 1 aangegeven. Het verschil met het New Jersey-profiel betreft alleen de hoogte van de kniklijn tussen beide grote oplopende vlakken: bij het Configuration F-profiel is deze 7,5 cm lager.

#### 9.3.2. Resultaten full-scale proeven

Uit de resultaten van de zes full-scale proeven (zie Tabel 3 en 4) blijkt dat de lagere kniklijn bij het Configuration F-profiel een gunstig effect heeft op het klimeffect. Voor zowel voertuigen van 1000 kg als van 2000 kg is de klimhoogte van het voorwiel bij de kleinere inrijhoeken 10 - 25 cm geringer dan bij het New Jersey-profiel; bij grotere inrijhoeken heeft hij dezelfde waarde.

#### 9.3.3. Resultaten mathematische simulaties

Teneinde na te gaan of ook voor de gesimuleerde middelzware personenauto verschillen met het General Motors- en het New Jersey-profiel zijn aan te tonen, zijn voor het Configuration F-profiel dezelfde simulaties uitgevoerd als bij beide andere typen profielen (zie Tabel 13).

Bij vergelijking van de resultaten uit deze Tabel met die van Tabel 8 blijkt dat de ASI-waarden voor het Configuration F-profiel iets hoger uitvallen dan bij beide andere typen profielen. Voor het klimeffect van

het voorwiel blijkt hetzelfde resultaat als bij de full-scale proeven: bij kleinere inrijhoeken ( $5^{\circ}$  -  $15^{\circ}$ ) is de wielhoogte bij het Configuration F-profiel beduidend geringer dan bij beide andere profielen. Bij grotere inrijhoeken ( $20^{\circ}$  -  $30^{\circ}$ ) is de klimhoogte vergelijkbaar met die van de twee andere profielen.

De grootte van de uitrijhoek en gierhoek wijkt nauwelijks af van die van beide overige profielen.

#### 9.4. De rechte betonnen wand

Om na te gaan in welke mate de aanwezigheid van een profiel op een betonnen wand de aanrijding beïnvloedt ten opzichte van de afwezigheid ervan, zijn enkele simulaties met een rechte betonnen wand uitgevoerd. Hiertoe zijn de standaard inrijcondities voor de drie typen personenauto's gehanteerd. De resultaten zijn in Tabel 14 gegeven. Als de gegevens uit deze tabel worden vergeleken met de resultaten van de set standaardsimulaties van het New Jersey-profiel, kan het volgende worden opgemaakt.

Bij een inrijhoek van  $10^{\circ}$  is het verschil tussen de rechte wand en het New Jersey-profiel groot. Voor het lichte en zware voertuigtype is de ASI-waarde van de rechte wand ongeveer een factor twee groter dan voor het New Jersey-profiel. Voor het middelzware voertuigtype is het verschil in ASI-waarden minder groot. Bij grotere inrijhoeken is het verschil in de ASI-waarde minder groot voor zowel het middelzware als voor het zware voertuigtype. Het lichte voertuig geeft bij de rechte wand ook nu nog hogere ASI-waarden vergeleken met het New Jersey-profiel.

De aanrijding tegen de rechte betonnen wand manifesteert zich totaal anders dan bij de constructies met een profiel. Bij de profielen ontstaat een voertuigrotatie om de langsas (rolhoek) van de constructie af. Bij de rechte wand is de rotatie naar de wand toe. Het lichte voertuig ondervindt de grootste rotatie namelijk van  $19^{\circ}$  en het zware voertuig de geringste namelijk van  $9^{\circ}$ . Dat hierbij het voorwiel niet tegen de constructie klimt, moge duidelijk zijn.

De uitrijhoeken onderscheiden zich bij de rechte betonnen wand niet van de profielen. De gierhoeken zijn bij rechte wanden iets groter.

### 9.5. Conclusie

Om het klimeffect van het voorwiel bij een aanrijding tegen een betonnen geleideconstructie te reduceren, dient de kniklijn tussen de twee grote verticale vlakken naar beneden te worden gebracht. Geen klimeffect wordt bereikt bij een extreme verlaging van de kniklijn bij de rechte betonnen wand. Het nadeel van beide ingrepen is dat de voertuigvertragingen oplopen, in het bijzonder bij de categorie lichte voertuigen. In hoeverre dergelijke grotere voertuigvertragingen de letselkans voor de inzittenden op een onaanvaardbaar niveau brengen, is op grond van de uitgevoerde simulaties niet te zeggen. Bij implementatie van een model voor voertuiginzittenden in het voertuigmodel van VEDYAC kan de grootte van de vertragingen en krachten die op de inzittenden werken op mathematische wijze worden berekend. Binnenkort zullen dergelijke samengestelde modellen op de SWOV-computer operationeel worden.

Een andere mogelijkheid om het klimeffect te reduceren kan worden gezocht in het verlagen van de wrijvingscoëfficiënt van het beton. Een aanwijzing hiervoor is verkregen uit een in de V.S. uitgevoerde full-scale proef.

Nader onderzoek naar de invloed van diverse constructieve aspecten op het verloop van een aanrijding van een voertuig met een betonnen geleideconstructie biedt mogelijkheden het profiel van een keerwand te optimaliseren.

## 10. CONCLUSIE

De gevolgen van aanrijdingen met de General Motors- en de New Jersey-geleideconstructies onderscheiden zich in hoofdzaak in de mate van opklimmen van het voorwiel.

De volgende conclusies die hierop betrekking hebben, gelden voor een voor de Nederlandse situatie representatief geacht voertuig uit de middenklasse.

Bij een inrijnsnelheid van ca. 100 km/uur klimt het voertuig tot een ontoelaatbare hoogte tegen zowel de General Motors- als tegen de New Jersey-constructie op. Bij een inrijnsnelheid van ca. 80 km/uur en 60 km/uur geeft het New Jersey-profiel een acceptabele klimhoogte bij inrijhoeken tot en met ca.  $20^{\circ}$ . Bij bepaalde combinaties van deze snelheden en inrijhoeken is het General Motors-profiel onacceptabel. Bij inrijhoeken van ca.  $25^{\circ}$  en hoger zijn beide typen profielen onacceptabel. Bij onacceptabele klimhoogtes komt het voertuig tot een hoogte die ongeveer gelijk of groter is dan de hoogte van de constructie. Uit de literatuur (ongevalenonderzoek en full-scale proeven) is bekend dat in dergelijke gevallen het voertuig over de kop gaat, op of over de constructie klimt.

Met betrekking tot de volgende indicatoren is er weinig verschil tussen het General Motors- en het New Jersey-profiel: voertuigvertragingen, uitrijhoeken en voertuigrotatie na de aanrijding. Aangaande de voertuigvertragingen geldt dat deze vrijwel lineair toenemen bij toename van zowel de inrijhoek als inrijnsnelheid. De grootte van deze voertuigvertraging uitgedrukt in het criterium ASI is bij grotere inrijhoeken beduidend meer dan bij de stijve geleiderailconstructie (ca. factor 3 groter). Welke gevolgen dit voor de inzittenden heeft, is met de huidige criteria niet aan te geven. Op basis van in de literatuur beschreven ongevallenstudies is dit ook niet mogelijk.

Een voor de Nederlandse situatie representatief geacht voertuig uit de categorie lichte personenauto's geeft tot een inrijhoek van ca.  $20^{\circ}$  met het New Jersey-profiel een beduidend gunstiger klimhoogte dan met het General Motors-profiel. Het representatief geacht voertuig uit de zwaardere categorie personenauto's geeft ten aanzien van de klimhoogte met het General Motors-profiel gunstiger resultaten. Evenals bij het type personenauto uit de middenklasse is voor beide representanten ten aanzien van de voertuigvertragingen weinig verschil tussen het General Motors- en het



New Jersey-profiel. Wel zijn de voertuigvertragingen voor de lichte personenauto groter dan voor het zware type.

Bovenstaande conclusies zijn gebaseerd op resultaten van mathematische simulaties die met behulp van full-scale proeven zijn geverifieerd. De simulaties zijn bij kleine inrijhoeken betrouwbaar gebleken. Bij grotere inrijhoeken zijn de verschillen met full-scale proeven groter. Echter voor het onderling vergelijken van constructies geven ze een goede indicatie.

Voor zover bekend zijn full-scale proeven met vrachtauto's en bussen alleen met het New Jersey-profiel uitgevoerd. Uit deze proeven wordt duidelijk dat naar mate de voorwielen beter met carrosseriedelen zijn afgeschermd of verder naar achteren liggen, de aanrijding gunstiger verloopt. Vanwege het ontbreken van gegevens was een juiste verificatie van de mathematische simulaties niet goed mogelijk. Uit de resultaten van de simulaties werd de indicatie verkregen dat het New Jersey-profiel voor vrachtauto's iets gunstiger is dan het General Motors-profiel.

Voor het optimaliseren van het profiel van de betonnen geleideconstructies zijn zowel het klimeffect van het voorwiel als de voertuigvertragingen van belang. Het klimeffect kan worden gereduceerd door de kniklijn tussen beide grote oplopende vlakken van de geleideconstructies naar beneden te brengen. Dit gaat echter wel gepaard met nog hogere waarden voor de voertuigvertragingen. Binnenkort zal naar verwachting met het mathematische model kunnen worden bepaald welke invloed dergelijke hoge voertuigvertragingen op de inzittenden hebben. Met modelexercities kan dan ook worden onderzocht wat de invloed is van diverse profielwijzigingen en verlaging van de wrijfingscoëfficiënt van het betonnen oppervlak op het verloop van een aanrijding met een betonnen geleideconstructie.

## GERAADPLEEGDE LITERATUUR

- Bronstad, M.E.; Calcote, L.R. & Kimball jr., C.E. (1977). "Concrete median barrier research". Final Report Vol. 1 en 2. Report FHWA-RD-77-3. Federal Highway Administration, Washington, D.C., 1977.
- Bronstad, M.E. & Kimball jr., C.E. (1974). "Crash test evaluation of precast interlocked median barrier". Report on project 03-3777-002. Southwest Research Institute, San Antonio, Texas, 1974.
- Davis, S.; Baczynski, R. & Garn, R. (1981). "Test and evaluation of concrete median barriers with light and heavy vehicles". Vol. 1 en 2. Report FHWA/RD-81/134 en 81/135. Dynamic Science Inc. in opdracht van de Federal Highway Administration, Washington, D.C., 1981.
- Guimarko, C. (1978). "Les glisSières de sécurité en béton. Le Moniteur 27 février 1978.
- Hahn, K.C. & Bryden, J.E. (1980). "Crash tests of construction-zone traffic barriers". Report FHWA/NY/RR-80/82. New York State Department of Transportation, Engineering Research and Development Bureau, 1980.
- Hirsch, T.J. & Post, E.R. (1972). "Truck tests on Texas concrete median barrier". Research Report 146-7. Texas A & M University, Texas Transportation Institute, Texas, 1972.
- Hirsch, T.J. & Marquis, E.L. (1975). "Crash test and evaluation of precast concrete median barrier". Research Report 223-1. Texas A & M University, Texas Transportation Institute, Texas, 1975.
- Jehu, V.J. & Pearson, L.C. (1977). "Impacts of European cars and a passenger coach against shaped concrete barriers". TRRL Laboratory Report 801. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, 1977.
- Nordlin, E.F. & Field, R.N. (1968). "Dynamic test of steel box beam and concrete median barriers". In: Highway Research Record 222. Highway Research Board, Washington, D.C., 1968.
- Post, E.R.; Hirsch, T.J.; Hayes, G.G. & Nixon, J.F. (1972). "Vehicle crash test and evaluation of median barriers for Texas highways". Papers for 52nd Annual meeting of the Highway Research Board. Texas A & M University, Texas Transportation Institute, Texas, 1972.
- Post, E.R.; Hirsch, T.J.; Hayes, G.G. & Nixon, J.F. (1972). "Truck test on Texas concrete median barrier". Papers for 52nd Annual meeting of the Highway Research Board. Texas A & M University, Texas Transportation Institute, Texas, 1972.

## AFBEELDINGEN

Afbeelding 1. De profielen van drie in de Verenigde Staten ontworpen betonnen geleideconstructies: General Motors, New Jersey en Configuration F

Afbeelding 2. Aantal vrachtauto's naar maximum toelaatbaar gewicht in de perioden 1967 t/m 1970, 1971 t/m 1974 en 1975 t/m 1978 (Bron: CBS).

Afbeelding 3. Relatie tussen de inrijhoek en de voertuigvertragingen (uitgedrukt in de ASI) van een middelzware personenauto met als parameter de voertuigsnelheid bij gesimuleerde aanrijdingen tegen de General Motors en de New Jersey betonnen geleideconstructies.

Afbeelding 4. Relatie tussen de inrijhoek en de klimhoogte van het voorwiel van de middelzware personenauto met als parameter de voertuigsnelheid bij gesimuleerde aanrijdingen tegen de General Motors en de New Jersey betonnen geleideconstructies.

Afbeelding 5. Relatie tussen  $v \cdot \sin \alpha$  (snelheid maal sinus inrijhoek) en de voertuigvertragingen (uitgedrukt in de ASI) van een lichte en een zware personenauto bij gesimuleerde aanrijdingen tegen de General Motors en de New Jersey betonnen geleideconstructies.

Afbeelding 6. Relatie tussen  $v \cdot \sin \alpha$  (snelheid maal sinus inrijhoek) en de voertuigvertragingen (uitgedrukt in de ASI) van resp. een lichte middelzware en zware personenauto bij gesimuleerde aanrijdingen tegen de New Jersey betonnen geleideconstructie.

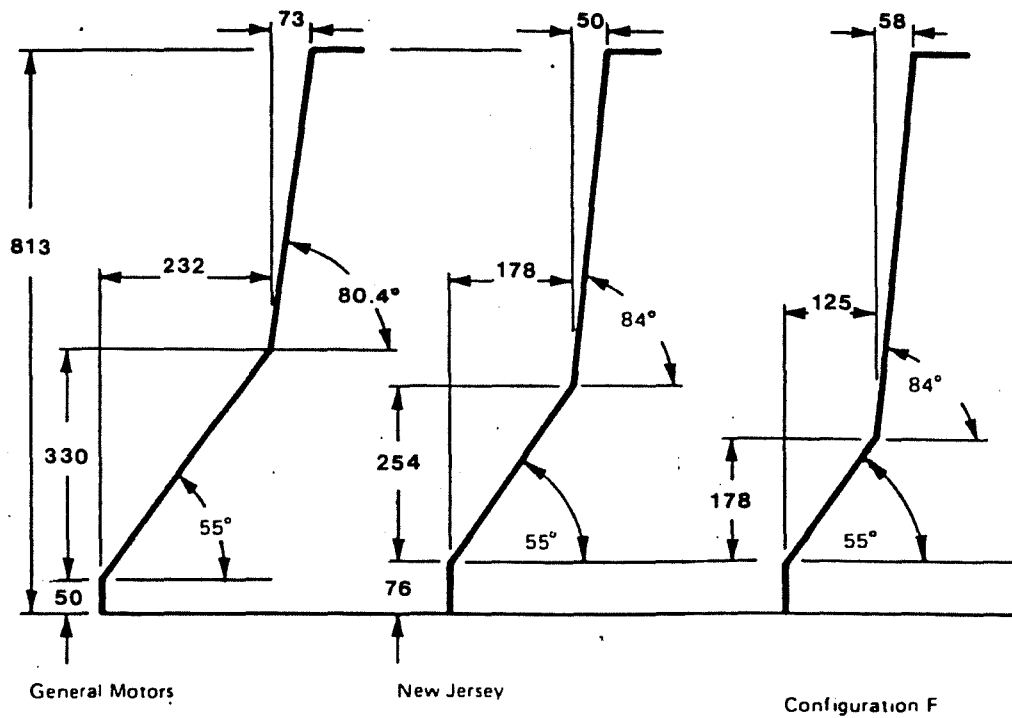
Afbeelding 7. Relatie tussen  $v \cdot \sin \alpha$  (snelheid maal sinus inrijhoek) en de klimhoogte van het voorwiel van een lichte en een zware personenauto bij gesimuleerde aanrijdingen tegen de General Motors en de New Jersey betonnen geleideconstructies.

- Strasse und Autobahn. "Größere Sicherheit in Strassenverkehr durch Betonleitwände". Strasse und Autobahn, Oktober 1976.

- Young, R.D.; Post, E.R.; Ross jr., H.E. & Holcomb, R.M. (1972).

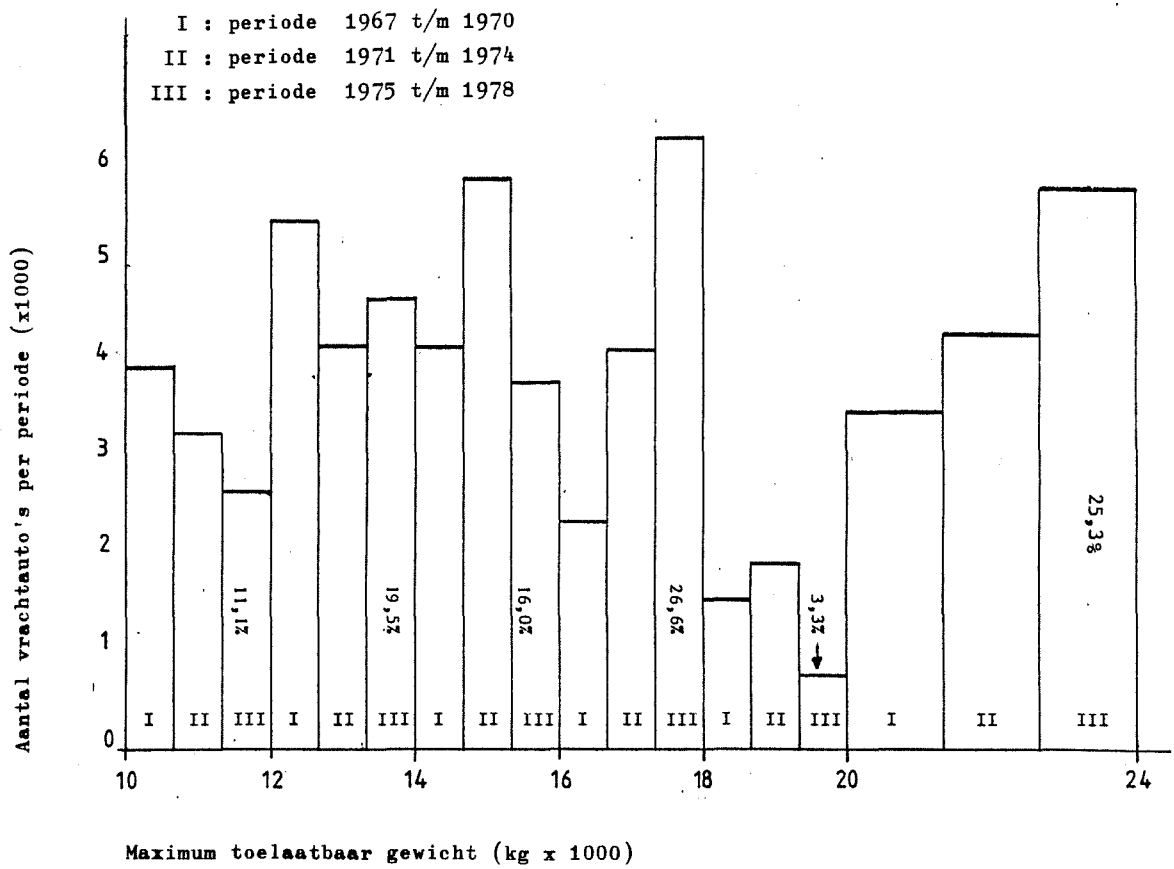
"Simulation of vehicle impact with the Texas concrete median barrier; Test comparison and parameter study". Research Report 140-5. Texas A & M University, Texas Transportation Institute, Texas, 1972.

- Young, R.D.; Post, E.R.; & Ross jr., H.E. (1973). "Simulation of vehicle impact with the Texas concrete median barrier; Test comparison and parameter study". In: Highway Research Record 460. Highway Research Board, Washington, D.C., 1973.

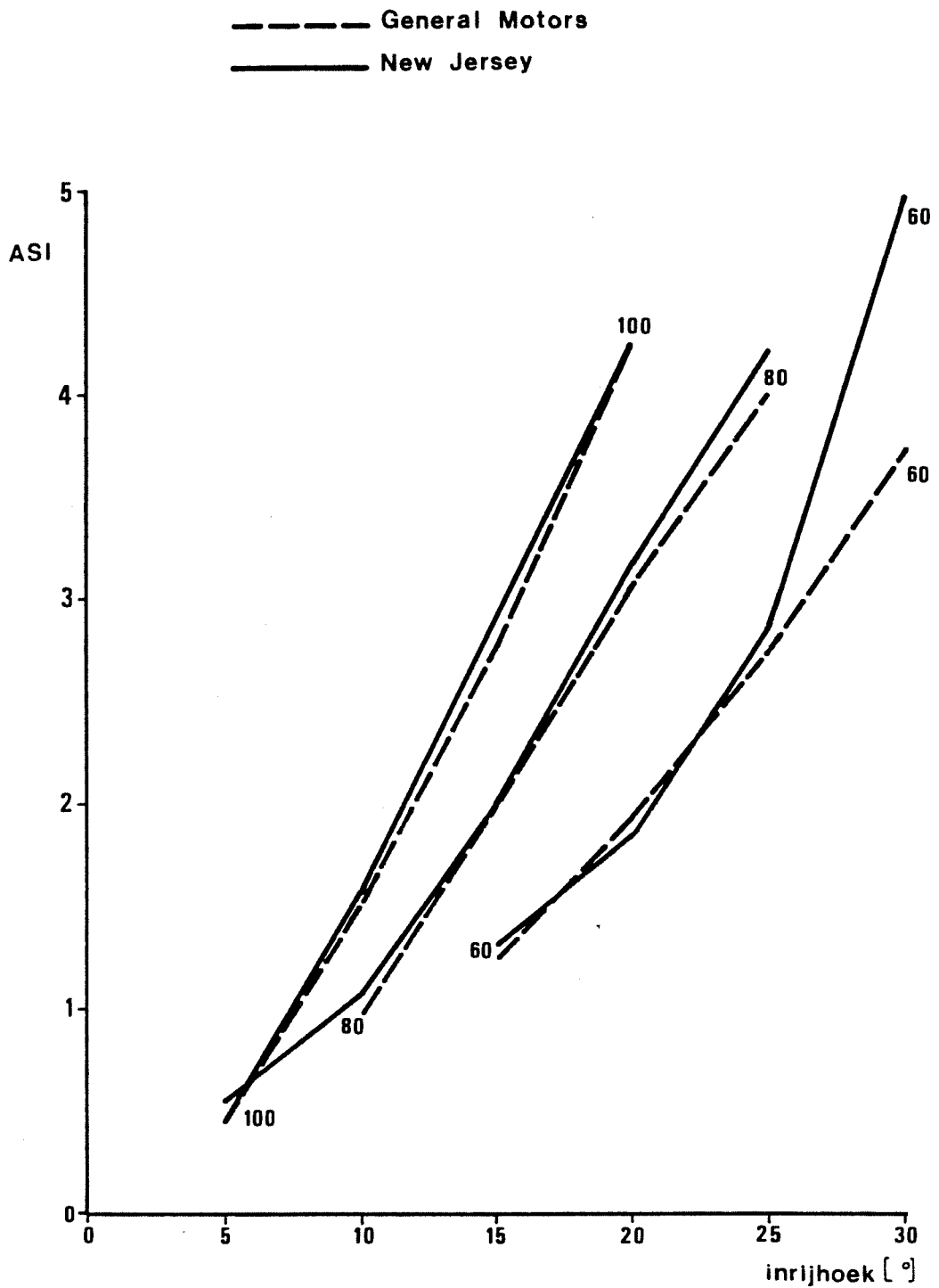


maten in mm

Afbeelding 1. De profielen van drie in de Verenigde Staten ontworpen betonnen geleideconstructies: General Motors, New Jersey en Configuration F.

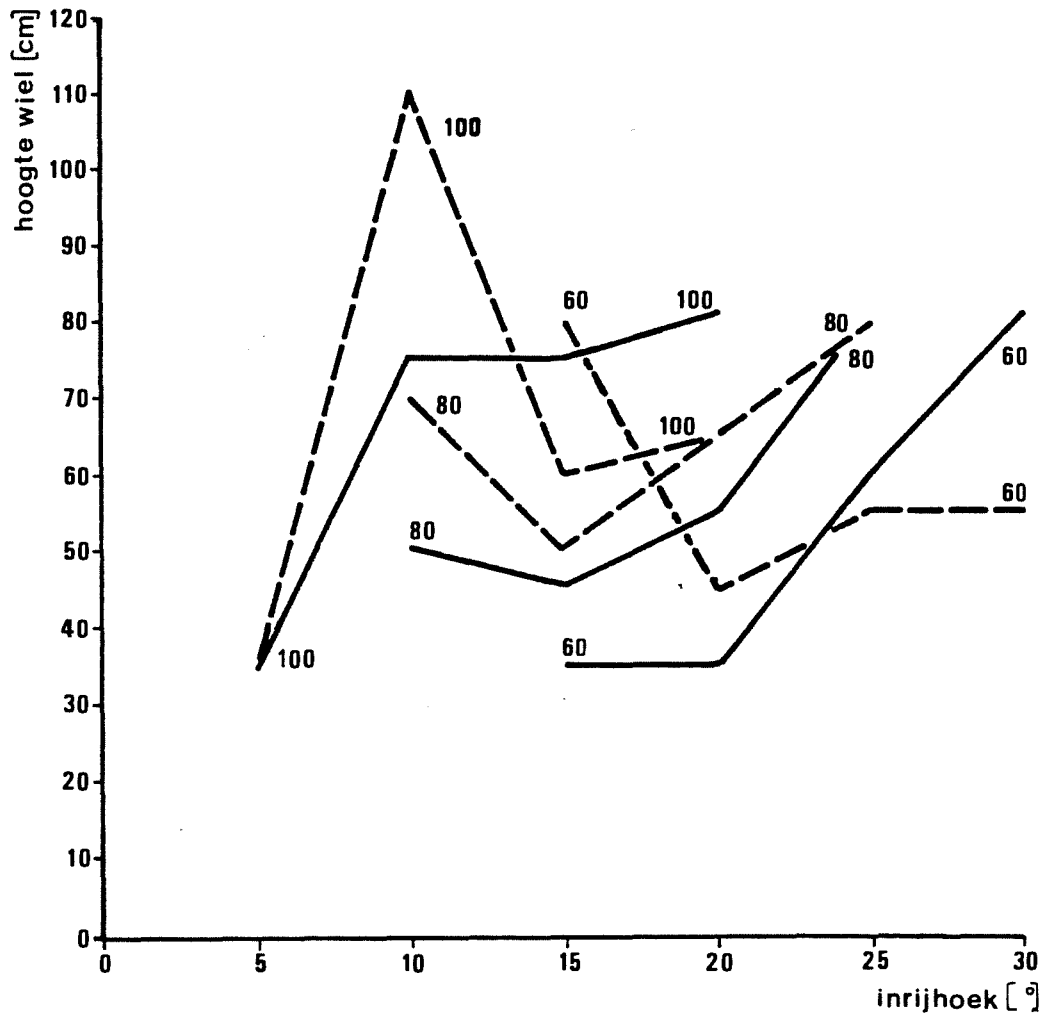


Afbeelding 2. Aantal vrachtauto's naar maximum toelaatbaar gewicht in de perioden 1967 t/m 1970, 1971 t/m 1974 en 1975 t/m 1978 (Bron: CBS).



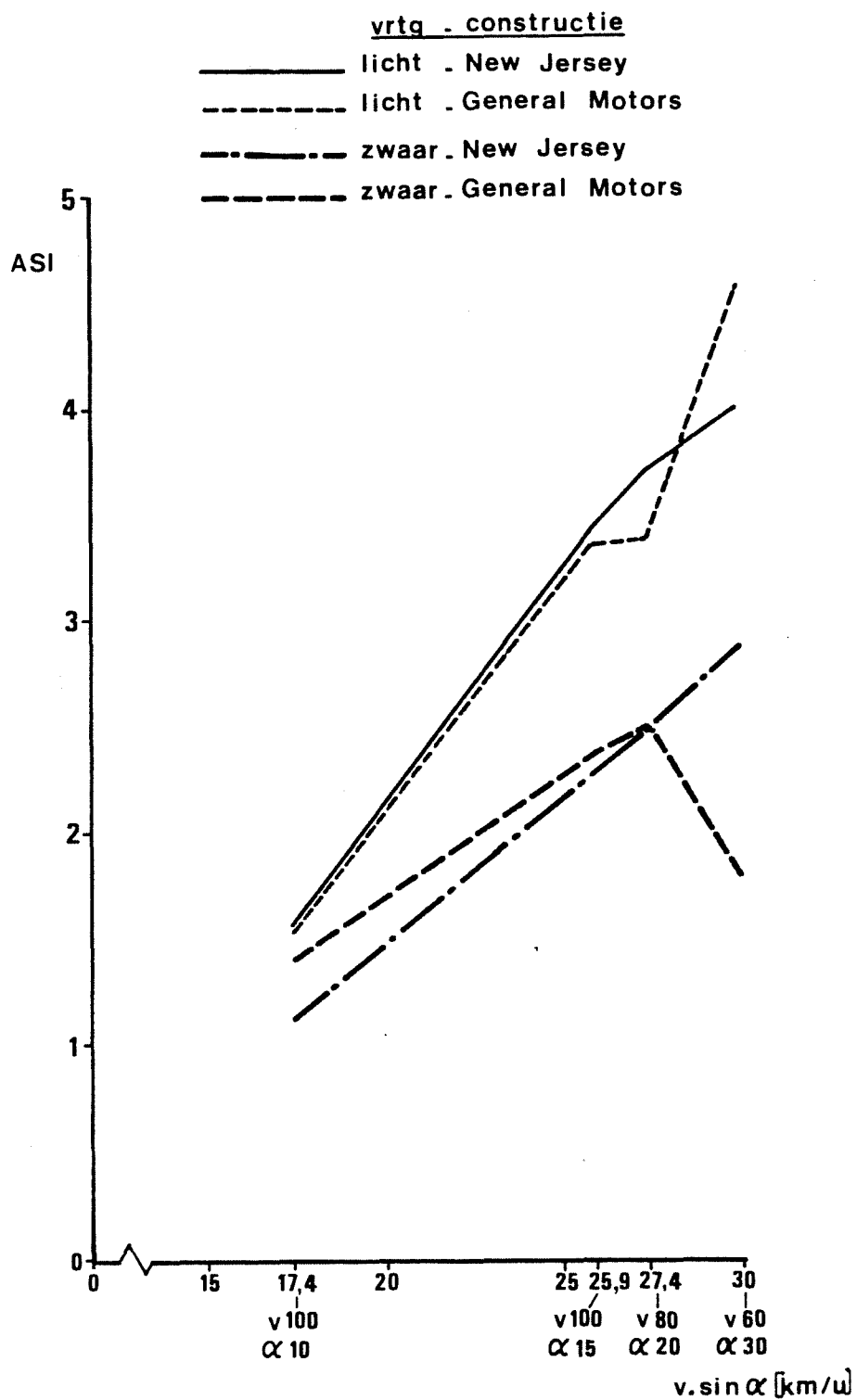
Afbeelding 3. Relatie tussen de inrijhoek en de voertuigvertragingen (uitgedrukt in de ASI) van een middelzware personenauto met als parameter de voertuigsnelheid bij gesimuleerde aanrijdingen tegen de General Motors en de New Jersey betonnen geleideconstructies.

----- General Motors  
 \_\_\_\_\_ New Jersey

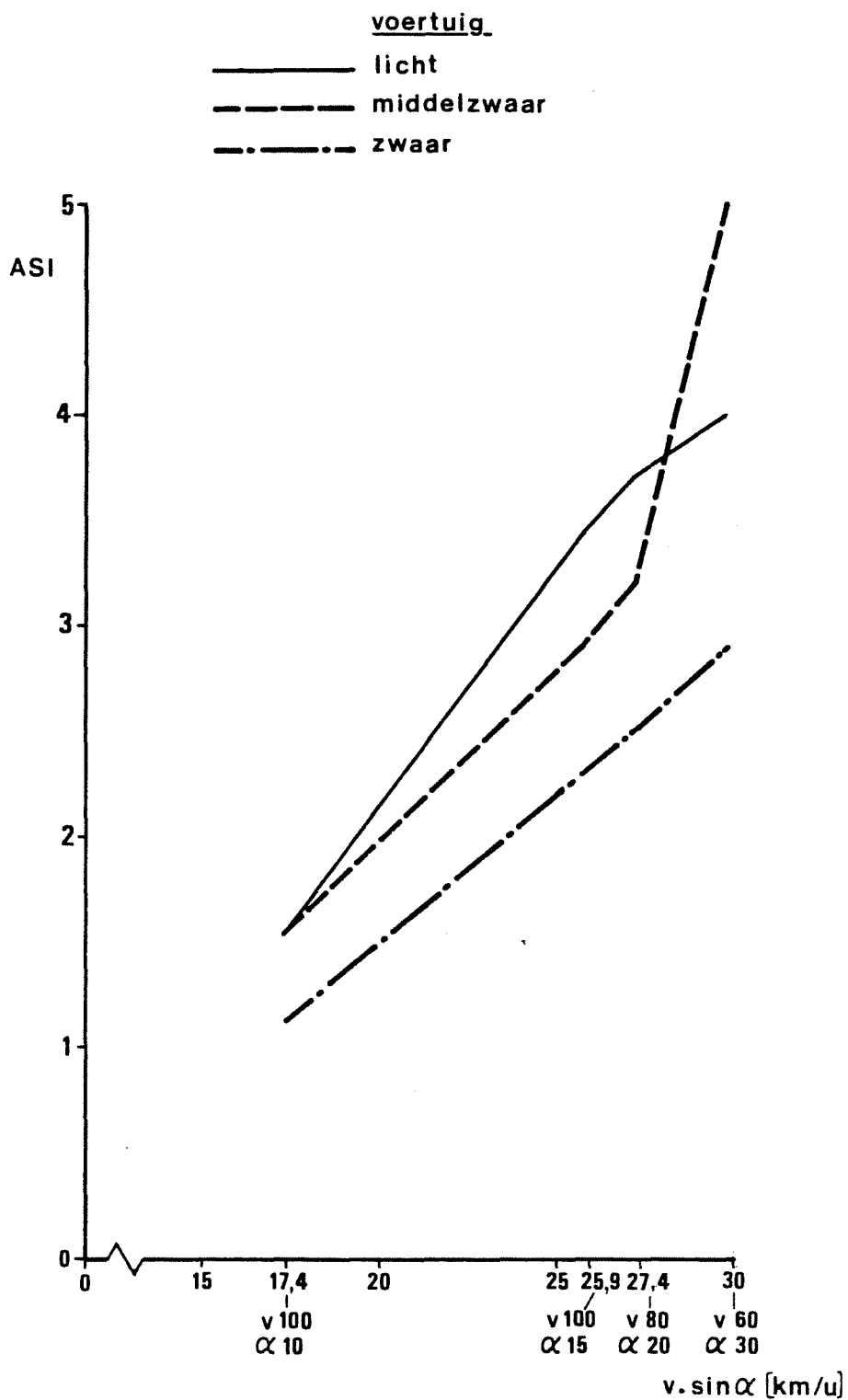


Afbeelding 4. Relatie tussen de inrijhoek en de klimhoogte van het voorwiel van de middelzware personenauto met als parameter de voertuigsnelheid bij gesimuleerde aanrijdingen tegen de General Motors en de New Jersey betonnen geleideconstructies.





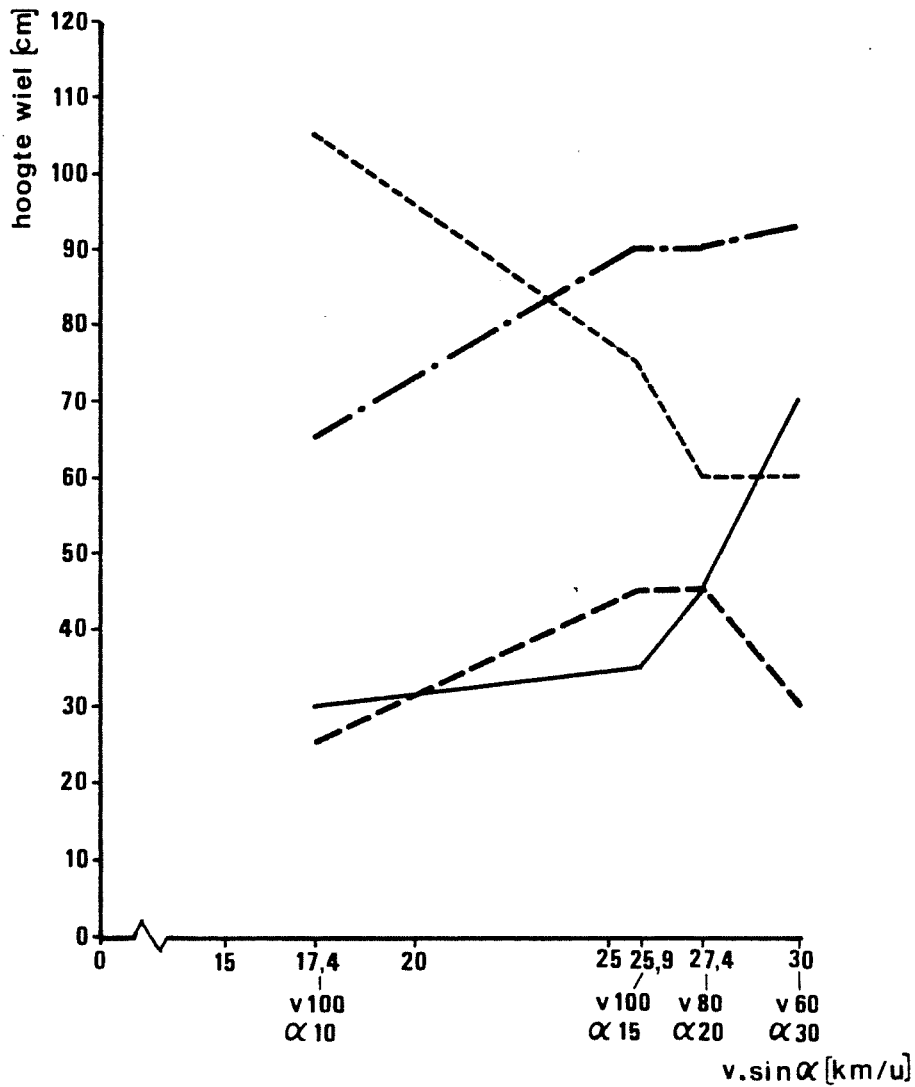
Afbeelding 5. Relatie tussen  $v \cdot \sin \alpha$  (snelheid maal sinus inrijhoek) en de voertuigvertragingen (uitgedrukt in de ASI) van een lichte en een zware personenauto bij gesimuleerde aanrijdingen tegen de General Motors en de New Jersey betonnen geleideconstructies.



Afbeelding 6. Relatie tussen  $v \cdot \sin \alpha$  (snelheid maal sinus inrijhoek) en de voertuigvertragingen (uitgedrukt in de ASI) van resp. een lichte middelzware en zware personenauto bij gesimuleerde aanrijdingen tegen de New Jersey betonnen geleideconstructie.

vrtg . constructie

- licht . New Jersey
- - - licht . General Motors
- . - . zwaar . New Jersey
- - - zwaar . General Motors



Afbeelding 7. Relatie tussen  $v \cdot \sin \alpha$  (snelheid maal sinus inrijhoek) en de klimhoogte van het voorwiel van een lichte en een zware personenauto bij gesimuleerde aanrijdingen tegen de General Motors en de New Jersey betonnen geleideconstructies.



## TABELLEN

Tabel 1. Verdeling van de vrachtauto's naar model uitgedrukt in absolute aantallen en percentages over de jaren 1967 t/m 1978.

Tabel 2. In de Verenigde Staten geregistreerde ongevallen met drie typen betonnen geleideconstructies: General Motors, New Jersey en New Jersey Modified.

Tabel 3. Resultaten van full-scale proeven van personenauto's met een massa van ca. 2000 kg tegen drie typen betonnen geleideconstructies bij snelheden van ca. 100 km/uur en inrijhoeken van ca.  $7^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$  en  $25^{\circ}$ .

Tabel 4. Resultaten van full-scale proeven van personenauto's met een massa van ca. 1000 kg tegen drie typen betonnen geleideconstructies bij snelheden van ca. 90 km/uur en inrijhoeken van ca.  $7^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$  en  $20^{\circ}$ .

Tabel 5. Resultaten van full-scale proeven van vrachtauto's en bussen tegen de New Jersey-constructie onder diverse inrijcondities.

Tabel 6. Resultaten van in Engeland uitgevoerde full-scale proeven met diverse typen voertuigen en diverse betonnen geleideconstructies onder een inrijhoek van  $20^{\circ}$ .

Tabel 7. Verificatie van de resultaten van mathematische simulaties met in de Verenigde Staten uitgevoerde full-scale proeven tegen drie typen betonnen geleideconstructies met personenauto's met een massa van ca. 1000 kg bij een snelheid van ca. 90 km/uur.

Tabel 8A. Resultaten van de standaardset mathematische simulaties van aanrijdingen met de middelzware personenauto tegen het General Motors- en het New Jersey-profiel.

Tabel 8B. Resultaten van de aanvullende set mathematische simulaties van aanrijdingen met de middelzware personenauto tegen het General Motors- en het New Jersey-profiel.

Tabel 9. Resultaten van mathematische simulaties van aanrijdingen met de lichte en zware personenauto's tegen het General Motors- en het New Jersey-profiel.

Tabel 10. Resultaten van de standaardset mathematische simulaties met een los en vast stuurwiel van de middelzware personenauto bij aanrijdingen tegen het New Jersey-profiel.

Tabel 11. Verificatie van de resultaten van mathematische simulaties met de vrachtauto met resultaten van in de Verenigde Staten uitgevoerde full-scale proeven met bussen in beide gevallen tegen het New Jersey-profiel.

Tabel 12. Resultaten van mathematische simulaties van aanrijdingen met de vrachtauto tegen het General Motors- en het New Jersey-profiel.

Tabel 13. Resultaten van mathematische simulaties van aanrijdingen tegen het Configuration F-profiel met de middelzware personenauto.

Tabel 14. Resultaten van mathematische simulaties van aanrijdingen met een gesimuleerde rechte wand met de typen personenauto's licht, middelzwaar en zwaar.

Type vrachtauto	Aantal	Percentage
Gesloten	69776	76,6%
Open en half open	9142	10,0%
Kipper	4780	5,2%
Tankwagen	1194	1,3%
Vrachtauto voor vervoer afzetbak	1261	1,4%
Vrachtauto voor vervoer container	1197	1,3%
Overig	3596	3,9%
Totaal	90946	100 %

Tabel 1. Verdeling van de vrachtauto's naar model uitgedrukt in absolute aantallen en percentages over de jaren 1967 t/m 1978.

Type geleide- constructie	Aantal ongevallen						Bijzondere afloop					
	UMS		Ernstig letsel		Dodelijke afloop		Totaal		Roll-over		Op de constructie	
	A	%	A	%	A	%	A	%	A	%	A	%
							1)		2)		2)	
General Motors	225	75	74	25	0	0	299	100	19	6,4	4	1,3
							(55)					
New Jersey	133	79	35	21	0	0	168	100	6	3,6	1	0,6
							(31)					
New Jersey Modified(3)	58	79	15	20	1	1	73	100	9	12,3	0	0
							(14)					
Totaal	416	77	124	23	1	0,2	540	100	34	6,3	5	0,9
							(100)					

1) De percentages tussen haakjes zijn de kolompercentages

2) De percentages zijn ten opzichte van het totaal aantal ongevallen

3) De voethoogte is bij dit type 2,5 - 5 cm hoger dan bij het gewone New Jersey-profiel

Tabel 2. In de Verenigde Staten geregistreerde ongevallen met drie typen  
betonnen geleideconstructies: General Motors, New Jersey en New Jersey  
Modified.



Proefgegevens		Resultaten									
Inrijhoek	Type constructie 1)	Aantal proeven	ASI		Rolhoek (gr)		Hoogte voorwiel(cm)		Roll-over	Uitrijhoek(gr)	
			min.	max.	min.	max.	min.	max.		min.	max.
			2)				3)				
ca. 7	GM	1	0,75		-23		50		nee	3	
	NJ	4	0,38	1,03	-14	-15	40	45	nee	4	6,5
	CF	1	0,71		-11		30		nee	1	
ca. 15	GM	1	2,07		-21		60		nee	5	
	NJ	2	0,96	2,14	-20	-25	50	65	nee	6	12
	CF	1	1,51		-21		40		nee	5	
ca. 25	GM	Geen proeven									
	NJ	12	0,99	2,97	-35	-60	60	80	2x	5	7,3
	CF	2	2,14	2,48	-25	-48	80	80	nee	6	8

1) Type constructie GM: General Motors, NJ: New Jersey en CF: Configuration F

2) De ASI is berekend zonder de waarde van de verticale vertraging

3) Hoogte onderkant voorwiel aan de zijde van de aanrijding

Tabel 3. Resultaten van full-scale proeven van personenauto's met een massa van ca. 2000 kg tegen drie typen betonnen geleideconstructies bij snelheden van ca. 100 km/uur en inrijhoeken van ca. 7°, 15° en 25°.

Proefgegevens		Resultaten									
Inrijhoek	Type constructie 1)	Aantal proeven	ASI		Rolhoek (gr)		Hoogte voorwiel(cm)		Roll-over	Uitrijhoek(gr)	
			min.	max.	min.	max.	min.	max.		min.	max.
			2)				3)				
ca. 7	GM	2	0,93	1,13	-21	-31	40	45	nee	0	2
	NJ	1	0,66		-20		45		nee	0	
	CF	1	0,66		-10		30		nee	4	
ca. 15	GM	1	1,82		> 55		> 80		ja	1	
	NJ	2	1,14	1,63	-14	-20	35	40	nee	4,5	5
	CF	1	1,07		-13		35		nee	4	
ca. 20	GM	Geen proeven									
	NJ	1	2,3		-11		35		nee	9	
	CF	Geen proeven									

1) Type constructie GM: General Motors, NJ: New Jersey en CF: Configuration F

2) De ASI is berekend zonder de waarde van de verticale vertraging met uitzondering van 1 proef(inrijhoek 15°, constructie New Jersey)

3) Hoogte onderkant voorwiel aan de zijde van de aanrijding

Tabel 4. Resultaten van full-scale proeven van personenauto's met een massa van ca. 1000 kg tegen drie typen betonnen geleideconstructies bij snelheden van ca. 90 km/uur en inrijhoeken van ca. 7°, 15° en 20°.

Gegevens voertuig		Inrijcondities			Resultaten					
Type	Massa (kg)	<u>Hoogte zwaarte-</u> <u>punt</u> voert. opl (m) (m)		Hoek (gr)	Snelheid km/u	ASI	<u>Rolhoek</u> voert. opl. (gr) (gr) 1)		Hoogte voorwiel (cm) 2)	Uitrij- hoek (gr)
Trekker-oplegger	22.135	0,78	1,83	15	71,9	1,9	+17	+17	< 35	< 10
	18.160	0,77	1,69	15	85	n.g. <sup>3)</sup>	+21	+25	80	0
	22.135	0,78	1,83	15,5	54,4	1,3	+ 7	+10	< 35	< 10
	22.135	0,78	1,83	19,1	56,2	1,6	+ 7	+10	< 35	< 10
Intercity bus	18.145	1,60	-	6,6	83	0,2	+ 9	-	30	1
	18.145	1,60	-	11,5	66,9	0,2	+ 8	-	30	3,5
	18.160	1,30	-	14	87	n.g.	+23	-	60	0
	18.145	1,60	-	16	85,1	0,2	+24	-	35	0
	18.145	1,30	-	16,2	87	n.g.	+32	-	30	0
Schoolbus	9.195	1,31	-	15	99	n.g.	+39	-	40	15
	9.065	1,31	-	16	98	2,0	+45	-	50	16

1) Een positieve waarde van de rolhoek geeft een rotatie aan in de richting van de constructie

2) De hoogte waarover het voorwiel aan de aanrijdingszijde tegen de betonnen constructie is opgeklommen

3) n.g.: niet geregistreerd c.q. niet bekend

Tabel 5. Resultaten van full-scale proeven van vrachtauto's en bussen  
tegen de New Jersey-constructie onder diverse inrijcondities.

Proefgegevens			Resultaten									
Type voertuig + massa	Type constructie	Snelheid (km/u)	Aantal proeven	Langsvertraging over 50 ms (g)		Rolhoek bij verlaten constructie		Hoogte voorwiel (cm)		Roll-over 1)	Uitrijhoek (gr)	
				min.	max.	min.	max.	min.	max.		min.	max.
Mini 760 kg	GM (verhoogde voet)	116	1	9,1		-50		80		ja	3,5	
	NJ	90-95	2	4,5	4,7	-20	-29	75		1x	7	9
		112	2	1,2	5,8	-15	-30	75		2x	5	8
	NJ (verhoogde voet)	85	1	2,3		-30		80		nee	5	
		97	1	5,5		-35		80		ja	3,5	
		114	1	9,1		-35		80		ja	5	
NJ (zonder voet)	95	1	5,1		0		48		nee	8		
	110-112	2	1,2	5,8	0	- 5	70		1x	6	9	
Personen- auto middelkl. 1505 kg	GM (verhoogde voet)	116	1	8,4		-30		80		nee	8	
	NJ (verhoogde voet)	80	1	2,7		-20		80		nee	4	
Bus 11.100 kg	NJ	72	1	1,9		+13		20		nee	0	

1) In een aantal gevallen ontstaat een roll-over nadat het voertuig op het proefterrein van het verharde gedeelte was afgeraakt.

Tabel 6. Resultaten van in Engeland uitgevoerde full-scale proeven met diverse typen voertuigen en diverse betonnen geleideconstructies onder een inrijhoek van 20°.

Inrijcondities		Proefnemingen		Resultaten				
Inrijhoek (gr)	Type constructie	Soort proef-neming	Aantal proeven/simulaties	ASI	Rolhoek(gr)	Hoogte voorwiel(cm)	Roll-over	Uitrijhoek (gr)
	1)		2)		3)	4)		
ca. 7	GM	full-scale	2	1,0	-26	43	nee	1
		simulatie	2	1,0	-27	68	nee	2
	NJ	full-scale	1	0,7	-20	45	nee	0
		simulatie	1	0,9	-16	40	nee	2
	CF	full-scale	1	0,7	-10	30	nee	4
		simulatie	1	0,7	-13	35	nee	2
ca.15	GM	full-scale	1	1,8	-55	> 80	ja	1
		simulatie	1	2,6	- 5	65	nee	3
	NJ	full-scale	2	1,4	-17	38	nee	5
		simulatie	2	2,8	- 3	65	nee	3
	CF	full-scale	1	1,1	-13	35	nee	4
		simulatie	1	2,5	-11	35	nee	2
ca.20	NJ	full-scale	1	2,3	-11	35	nee	9
		simulatie	1	4,2	voertuig op/over constructie			

1) GM: General Motors, NJ: New Jersey en CF: Configuration F

2) Indien er twee proeven onder een vergelijkbare inrijconditie zijn uitgevoerd, zijn de resultaten als gemiddelde gegeven

3) Een negatieve waarde van de rolhoek geeft een rotatie aan in tegengestelde richting van de constructie

4) De hoogte waarover het voorwiel aan de aanrijdingszijde tegen de betonnen constructie is opgeklommen

**Tabel 7. Verificatie van de resultaten van mathematische simulaties met in de Verenigde Staten uitgevoerde full-scale proeven tegen drie typen betonnen geleideconstructies met personenauto's met een massa van ca. 1000 kg bij een snelheid van ca. 90 km/uur.**

Inrijcondities		Resultaten						
Type	Snelheid/ inrijhoek (km/u-gr)	Type constr. 1)	ASI	Max. rolhoek tegen op constr.wegdek 2)	rolhoek op 2)	Hoogte voorwiel (cm) 3)	Uitrij- hoek (gr)	Gier- hoek (gr) 4)
<u>Standaard set simulaties</u>								
Middel- zwaar	100/10	GM	1,5	-22,3	-40,4	110	1,5	-1,4
		NJ	1,6	-10,0	-18,2	75	2,0	0
	100/15	GM	2,8	-4,5	-3,4	60	2,0	-2,6
		NJ	2,9	-5,3	-6,9	75	2,5	-6,7
	80/20	GM	3,1	-4,8	-4,3	65	4,0	-2,6
		NJ	3,2	-2,0	-3,8	55	3,0	0
	60/30	GM	3,7	-6,1	9,0	55	7,0	2,0
		NJ	5,0	voertuig op of over constructie				

- 1) GM: General Motors-profiel, NJ: New Jersey-profiel
- 2) Een negatieve waarde van de rolhoek geeft een rotatie aan in tegen-  
gestelde richting van de constructie
- 3) De hoogte waarover het voorwiel aan de aanrijdingszijde tegen de  
betonnen geleideconstructie is opgeklimmen
- 4) Een negatieve waarde van de gierhoek geeft een rotatie aan in de  
richting van de constructie

Tabel 8A. Resultaten van de standaardset mathematische simulaties van  
aanrijdingen met de middelzware personenauto teen het General Motors- en  
het New Jersey-profiel.

Inrijcondities		Resultaten						
Type	Snelheid/ inrijhoek (km/u-gr)	Type constr. 1)	ASI	Max. tegen constr.	rolhoek op wegdek 2)	Hoogte voorwiel (cm) 3)	Uitrij- hoek (gr)	Gier- hoek (gr) 4)
<u>Aanvullende set simulaties</u>								
Middel- zwaar	100/ 5	GM	0,4	-16,7	-19,3	35	3,5	-2,2
		NJ	0,4	-12,2	-15,2	30	2,5	-2,0
	100/20	GM	4,3	- 2,4	- 8,4	65	2,5	-3,2
		NJ	4,3	voertuig op of over constructie				
	80/10	GM	1,0	-17,9	-26,7	70	2,0	-1,4
		NJ	1,1	- 8,5	-14,2	50	2,0	-0,6
	80/15	GM	2,0	- 4,6	- 3,9	50	3,0	0,1
		NJ	2,0	- 2,6	- 4,3	45	2,0	-0,6
	80/25	GM	4,0	- 6,4	- 8,1	80	3,0	-4,3
		NJ	4,2	voertuig op of over constructie				
	60/15	GM	1,2	-13,6	-15,6	45	3,0	-0,7
		NJ	1,3	- 5,0	- 3,8	35	3,5	-0,8
	60/20	GM	1,9	- 4,4	1,9	80	4,5	1,8
		NJ	1,8	6,3	8,3	35	4,0	-2,0
	60/25	GM	2,8	- 5,2	3,4	55	5,0	1,7
		NJ	3,0	- 4,2	5,1	60	4,5	-0,4
	40/30	GM	2,3	- 6,2	12,1	40	9,5	3,3
		NJ	2,4	- 5,7	11,6	50	7,5	0,4

zie voor opmerkingen bij <sup>1)</sup>, <sup>2)</sup>, <sup>3)</sup> en <sup>4)</sup>: Tabel 8A

Tabel 8B. Resultaten van de aanvullende set mathematische simulaties van aanrijdingen met de middelzware personenauto tegen het General Motors- en het New Jersey-profiel.

Inrijcondities		Resultaten							
Type personen-inrijhoek auto	Snelheid/ (km/u-gr)	Type constr. 1)	ASI	Max. rolhoek tegen op constr.wegdek 2) 2)		Hoogte voorwiel (cm) 3)	Uitrij- hoek (gr)	Gier- hoek (gr) 4)	
Licht	100/10	GM	1,5	-22,4	-27,3	105	2,5	-1,4	
		NJ	1,5	- 2,0	2,8	30	3,5	1,0	
	100/15	GM	3,4	- 3,3	- 5,2	75	4,0	0,3	
		NJ	3,4	7,0	19,1	35	3,5	-0,4	
	80/20	GM	3,4	- 3,0	7,4	60	5,0	-1,3	
		NJ	3,7	2,0	11,9	45	4,5	-2,8	
	60/30	GM	4,6	- 5,2	- 2,2	60	7,5	5,6	
		NJ	4,0	4,6	13,7	70	8,0	1,0	
	Zwaar	100/10	GM	1,4	- 7,6	-14,6	25	3,0	0,8
			NJ	1,1	- 9,3	-19,8	65	1,5	0,8
		100/15	GM	2,4	- 6,8	-12,0	45	3,5	-0,4
			NJ	2,3	-12,2	-20,8	90	4,0	-2,7
80/20		GM	2,5	- 4,8	- 2,5	45	4,5	-0,4	
		NJ	2,5	-11,6	-16,9	90	4,0	-1,8	
60/30		GM	1,8	2,7	4,2	30	6,0	1,3	
		NJ	2,9	voertuig op of over constructie					

1) GM: General Motors-profiel, NJ: New Jersey-profiel

2) Een negatieve waarde van de rolhoek geeft een rotatie aan in tegen-  
gestelde richting van de constructie

3) De hoogte waarover het voorwiel aan de aanrijdingszijde tegen de  
betonnen geleideconstructie is opgeklimmen

4) Een negatieve waarde van de gierhoek geeft een rotatie aan in de  
richting van de constructie

Tabel 9. Resultaten van mathematische simulaties van aanrijdingen met de  
lichte en zware personenauto's tegen het General Motors- en het New  
Jersey-profiel.



Proefgegevens		Resultaten					
Snelheid/ inrijhoek (km/u-gr)	Stuurwiel los/vast  1)	ASI	Max. Rolhoek		Hoogte voorwiel (cm) 3)	Uitrij- hoek (gr)	Gier- hoek (gr) 4)
			tegen constr.	op wegdek 2)			
<u>Standaard-set simulaties</u>							
100/10	los	1,6	-10,0	-18,2	75	2,0	0
	vast	1,6	- 9,1	-18,2	70	2,0	-1,5
100/15	los	2,9	- 5,3	- 6,9	75	2,5	-6,7
	vast	2,9	- 3,9	- 5,2	70	2,5	-2,2
80/20	los	3,2	- 2,0	- 3,8	55	3,0	0
	vast	3,1	- 4,0	- 2,3	65	3,5	-1,4
60/30	los	5,0	voertuig op of over constructie				
	vast	3,9	voertuig op of over constructie				

- 1) Stuurwiel los :de bestuurder houdt het stuurwiel niet vast  
Stuurwiel vast:de bestuurder houdt het stuurwiel vast met een kracht van 300N
- 2) Een negatieve waarde van de rolhoek geeft een rotatie aan in tegengestelde richting van de constructie
- 3) De hoogte waarover het voorwiel aan de aanrijdingszijde tegen de betonnen geleideconstructie is opgeklimmen
- 4) Een negatieve waarde van de gierhoek geeft een rotatie aan in de richting van de constructie

Tabel 10. Resultaten van de standaardset mathematische simulaties met een los en vast stuurwiel van de middelzware personenauto bij aanrijdingen tegen het New Jersey-profiel.

Proefneming	Gegevens voertuig			Inrijcondities		Resultaten			
	Type	Massa (ton)	Hoogte zwaartepunt(m)	Snelheid km/u	Hoek (gr)	ASI	Rolhoek 1)	Hoogte voorwiel (cm) 2)	Uitrij- hoek (gr)
Full-scale	Bus	18,2	1,60	83	6,6	0,2 <sup>3)</sup>	+ 9	30	1
Simulatie	Vr.auto	16,5	1,55	70	5,0	1,0	+ 4,6	0	1,5
Full-scale <sup>4)</sup>	Bus	18,2	1,40	86	15,4	0,2 <sup>3)</sup>	+26,3	40	0
Simulatie	Vr.auto	16,5	1,40	70	15,0	1,6	+29,9	5	0

i) Een positieve waarde van de rolhoek geeft een rotatie aan in de richting van de constructie

2) De hoogte waarover het voorwiel aan de aanrijdingszijde tegen de betonnen constructie is opgeklimmen

3) De ASI-waarden bij de full-scale proeven lijken te laag vergeleken met andere in de V.S. uitgevoerde botsproeven (zie par. 7.2.2.)

4) Het gemiddelde van drie proeven onder vergelijkbare condities

Tabel 11. Verificatie van de resultaten van mathematische simulaties met de vrachtauto met resultaten van in de Verenigde Staten uitgevoerde full-scale proeven met bussen in beide gevallen tegen het New Jersey-profiel.

Inrijcondities		Resultaten					
Type voertuig	Snelheid/ Inrijhoek (km/u-gr)	Type constr. 1)	ASI	Max. rolhoek tegen constr. (gr) 2)	Hoogte voorwiel- (cm) 3)	Uitrij- hoek (gr)	Gier- hoek (gr) 4)
Vracht- auto	70/ 5	GM	0,7	+ 3,8	0	2	-2,7
		NJ	1,0	+ 4,6	0	1,5	-1,5
	70/10	GM	2,7	+12,4	15	4	-3,4
		NJ	2,0	+11,3	0	2	-2,4
	70/15	GM	2,6	+23,0	40	4	-4,0
		NJ	1,6	+29,9	5	0	ca-3

- 1) GM: General Motors-profiel, NJ: New Jersey-profiel
- 2) Een positieve waarde van de rolhoek geeft een rotatie aan in de richting van de constructie
- 3) De hoogte waarover het voorwiel aan de aanrijdingszijde tegen de betonnen geleideconstructie is opgeklommen
- 4) Een negatieve waarde van de gierhoek geeft een rotatie aan in de richting van de constructie

Tabel 12. Resultaten van mathematische simulaties van aanrijdingen met de vrachtauto tegen het General Motors- en het New Jersey-profiel.

Inrijcondities		Resultaten					
Type	Snelheid/ inrijhoek (km/u-gr)	ASI	Max.Rolhoek tegen op constr.wegdek		Hoogte voorwiel (cm)	Uitrij- hoek (gr)	Gier- hoek (gr)
			1)	1)	2)		3)
Middel-	100/ 5	0,4	- 8,9	-10,3	30	2,5	- 1,5
zwaar	100/10	1,8	-10,3	-21,5	60	1,5	- 1,6
	100/15	3,1	5,3	12,4	45	2	- 3
	100/20	4,2	voertuig op of over constructie				
	80/10	1,2	- 8,2	-12,8	45	2	- 1,7
	80/15	2,3	6,7	10,3	30	2,5	- 0,9
	80/20	3,2	- 1,6	6,8	55	3	- 3,7
	80/25	4,2	- 5,1	-29,1	80	9	-12,7
	60/15	1,1	5,0	5,2	30	3,5	0,5
	60/20	2,2	6,4	7,7	35	4	0,2
	60/25	2,9	- 3,6	10,9	45	4,5	2,7
	60/30	3,7	-15,3	-24,0	80	11	- 7,9
	40/30	1,9	5,9	0	35	6	- 2,3

- 1) Een negatieve waarde van de rolhoek geeft een rotatie aan in tegengestelde richting van de constructie
- 2) De hoogte waarover het voorwiel aan de aanrijdingszijde tegen de betonnen geleideconstructie is opgeklommen
- 3) Een negatieve waarde van de gierhoek geeft een rotatie aan in de richting van de constructie

Tabel 13. Resultaten van mathematische simulaties van aanrijdingen tegen het Configuration F-profiel met de middelzware personenauto.

Inrijcondities		Resultaten					
Type	Snelheid/ inrijhoek (km/u-gr)	ASI	Max. rolhoek tegen op constr. wegdek		Hoogte voorwiel (cm)	Uitrij- hoek (gr)	Gier- hoek (gr)
			1)	1)	2)		3)
Licht	100/10	3,5	13,0	- 4,1	0	2,0	0,2
	100/15	3,8	19,3	- 5,5	0	2,0	-3,0
	80/20	4,3	17,1	4,8	0	2,0	-8,5
	60/30	4,7	9,7	- 1,5	0	7,5	-1,5
Middel- zwaar	100/10	1,7	6,6	1,8	0	3,0	-4,7
	100/15	3,3	13,5	12,8	0	2,5	-3,5
	80/20	3,4	12,9	12,9	0	3,5	-8,3
	60/30	3,9	6,9	- 1,5	0	6,5	-4,6
Zwaar	100/10	2,0	6,8	- 4,3	0	1,5	-1,9
	100/15	2,4	8,8	- 5,7	0	1,0	-1,4
	80/20	2,9	6,1	6,1	0	6,5	3,0
	60/30	1,5	- 1,7	- 1,6	0	2,5	4,9

- 1) Een negatieve waarde van de rolhoek geeft een rotatie aan in tegengestelde richting van de constructie
- 2) De hoogte waarover het voorwiel aan de aanrijdingszijde tegen de betonnen geleideconstructie is opgeklommen
- 3) Een negatieve waarde van de gierhoek geeft een rotatie aan in de richting van de constructie

Tabel 14. Resultaten van mathematische simulaties van aanrijdingen tegen gesimuleerde rechte wand met de typen personenauto's licht, middelzwaar en zwaar



BIJLAGEN 1 T/M 6

Bijlage 1. Het mathematische model VEDYAC.

Bijlage 2. Het ASI-criterium.

Bijlage 3. Voertuigkarakteristieken van personenauto's en hun cumulatieve verdelingen.

Bijlage 4. Voertuigkarakteristieken van de gemodelleerde vrachtauto.

Bijlage 5. Voorbeeld van een computerplot van de ASI-waarde tegen de tijd.

Bijlage 6. Voorbeeld van een computerplot van het verloop van een aanrijding met een betonnen geleideconstructie met een inrijnsnelheid van 80 km/uur en een inrijhoek van  $20^{\circ}$ .

## BIJLAGE 1

### HET MATHEMATISCHE MODEL VEDYAC

De naam van het VEDYAC-model is afgeleid van VEHICLE DYNAMICS AND CRASH DYNAMICS.

VEDYAC is in principe een voertuigmodel, waarbij de mogelijkheden om het voertuig te definiëren zo ruim zijn dat het geschikt is voor de simulatie van een veelheid van bewegende (en interagerende) lichamen.

Binnen een simulatie kunnen twee of meer zogenaamde systemen worden gedefinieerd, die kunnen bewegen zoals een voertuig, of "vast" kunnen zijn zoals een wegoppervlak of een obstakel. Die systemen bestaan uit onvervormbare lichamen waaraan, willekeurig, subsystemen van de volgende aard kunnen worden bevestigd:

- Vlakstructuren, die ofwel een onbegrensd vlak beschrijven, dan wel door een aantal rechte lijnen is begrensd. Elk vlak kent een afzonderlijke hardheid en wrijving. De vlakken worden gebruikt voor de beschrijving van weinig of niet vervormbare delen van een systeem.

- Cylinders, die, in interactie met vlakken, kunnen vervormen en op een "pneumatische" manier, via druk- en oppervlakteverandering, tot interactiekrachten leiden. De cylinders zijn eenvoudig en goed toepasbaar in gevallen waarin krachten en vervormingen geen al te grote waarden zullen krijgen.

- Vervormbare, op eindige elementen gebaseerde structuren, die voor grotere vervormingen gebruikt kunnen worden. De elementen zijn vrij eenvoudige vierhoekige elementen die bestaan uit:

- a. staven die uitsluitend op trek en druk worden belast en elastisch en plastisch vervormen;

- b. liggers die daarnaast ook elastische en plastische buiging kunnen ondergaan (alleen in de scharnieren aan de uiteinden);

- c. "afschuifpanelen", die, omdat de elementen altijd vierhoekig zijn, steeds als twee diagonale staven worden gemodelleerd.

De elementen kunnen onderling interageren, maar kunnen ook met de cylinders botsen, waardoor het mogelijk is eenvoudige en meer ingewikkelde systemen te mengen.

- Wielophangingen, in feite de enige subsystemen met een specifieke voertuigfunctie. Op dit moment kan gekozen worden uit onafhankelijke



wielophanging en starre (tandem)assen, waarbij het aantal wielen per as te variëren is. De veer- en dempingseigenschappen kunnen per as worden bepaald alsmede een aantal bandeigenschappen (druk, wrijving). Het model voorziet ook in de mogelijkheid van anti-rol stabilisatoren.

De wielophanging kan bestuurbaar of vast zijn, sturbewegingen kunnen als tijdfunctie in het model worden opgelegd; ook rem- en acceleratiemomenten op de wielen kunnen als tijdfunctie worden ingevoerd. Het aantal en de plaats van de wielophangingen aan een systeem kan door de gebruiker worden bepaald.

Behalve door interactiekrachten op vlakken e.d., kunnen systemen op één of meerdere punten met elkaar worden verbonden.

Aan die punten kunnen elastische, plastische en bezwijkingseigenschappen worden toegekend, zowel voor translaties als rotaties.

Het is mogelijk een aantal systemen te organiseren in een zogenaamd supersysteem, waarin hun onderlinge posities, verbindingpunten en verbindingseigenschappen in een beginpositie eenmalig worden vastgelegd. Vervolgens kan het supersysteem worden behandeld als een enkel systeem waarbij alleen de begincondities van het eerste systeem binnen het supersysteem worden gegeven.

De integratie van de bewegingsvergelijkingen van deze complexe modellen vindt stapsgewijs op twee manieren plaats:

- bewegingen binnen een systeem, inclusief de beweging van de wielophangingen, worden geïntegreerd met een impliciete methode;
- interacties tussen systemen wordt expliciet geïntegreerd. Het gaat hier om een Newmark-methode met variabele tijdstap; de tijdstap wordt afhankelijk van maximale versnellingsverschillen (door de gebruiker te bepalen) vergroot of verkleind.

## BIJLAGE 2

### HET ASI-CRITERIUM

De vertragingen die het voertuig tijdens de botsing ondergaat zijn een belangrijke maatstaf bij de beoordeling van de kans op letsel voor de inzittenden. Naarmate de voertuigvertragingen groter zijn, is ook de kans op (ernstig) letsel voor de inzittenden van het voertuig groter. Naast specifieke voertuigeigenschappen heeft vooral het gebruik van autogordels een belangrijke invloed op de grootte van de kans (ernstig) gewond te raken. De acceptabele voertuigvertragingen zijn voor inzittenden met autogordels groter dan voor inzittenden zonder autogordels. In de meeste gevallen zal een voertuigvertraging niet in één maar in meerdere richtingen werken. Dan is het gewenst een criterium te hebben waaraan de samengestelde vertragingen van het voertuig beoordeeld kunnen worden. Het tot nu toe meest gebruikte criterium is gebaseerd op berekeningen volgens de Acceleration Severity Index (ASI). Hierbij worden de geregistreeerde voertuigvertragingen gerelateerd aan "acceptabele" referentiewaarden van het voertuig in de drie volgende richtingen: longitudinaal, lateraal en verticaal.

De formule m.b.t. de ASI luidt (Ross & Post, 1972):

$$ASI = \sqrt{\left(\frac{g_{\text{long}}}{g_{\text{long}_a}}\right)^2 + \left(\frac{g_{\text{lat}}}{g_{\text{lat}_a}}\right)^2 + \left(\frac{g_{\text{vert}}}{g_{\text{vert}_a}}\right)^2}$$

long	=	longitudinaal
lat	=	lateraal
vert	=	verticaal
index a	=	acceptabel

In de tellers van deze formule worden de geregistreeerde voertuigvertragingen ingevuld. Als waarden voor deze vertragingen worden uit de vertragingcurven de gemiddelde vertragingen over een periode van 50 ms bepaald. Deze periode wordt zo gekozen dat de waarde voor de gemiddelde vertraging daarmee zo groot mogelijk wordt.

In de noemers worden de genoemde "acceptabele" referentiewaarden ingevuld. Voor inzittenden die geen autogordel dragen zijn deze waarden voor de longitudinale, laterale en verticale richting resp. 7, 5 en 6 g. Als criterium voor de ASI wordt een dimensieloze waarde voor de ASI van 1,0 gehanteerd. Als de waarde voor de ASI onder de 1,0 blijft is de kans groot dat inzittenden die geen autogordel dragen geen ernstig letsel oplopen.

Wordt door de inzittenden wel de autogordel gedragen, dan worden de te verdragen vertragingen groter. Arbitrair worden voor de longitudinale, laterale en verticale richting resp. de volgende waarden gehanteerd: 12, 9 en 10 g. Ingevuld in de formule komt dit per vertragingrichting overeen met een waarde voor de ASI minimaal gelijk aan ca. 1,6 (de referentiewaarden blijven dus 7, 5 en 6 g). Analooq aan de bepaling van de acceptable ASI-waarde van 1 voor inzittenden zonder autogordel, wordt de waarde van de ASI voor inzittenden met autogordel 1,6. Wordt bij het invullen van de geregistreerde voertuigvertragingen in de formule een waarde beneden de 1,6 gevonden, duidt dit erop dat inzittenden die een autogordel dragen geen ernstig letsel oplopen.

Omdat dit ASI-criterium nog niet op een wetenschappelijk geheel verantwoorde wijze kon worden vastgesteld, dient zij met de nodige voorzichtigheid te worden gehanteerd. Dit geldt zeker voor botsingen in de flank van de constructie. Naar aanleiding van uitgevoerde flankbotsingen tegen de RIMOB is vastgesteld dat de ASI bij flankbotsingen een slechte voorspeller van de kans op letsel is (zie SWOV-rapport RIMOB, Schoon, 1982). Bij deze typen flankbotsingen treedt namelijk een grote voertuigrotatie in een korte tijd op. Door de berekeningswijze van de ASI levert dit een relatief hoge ASI-waarde op. Metingen aan dummies hebben uitgewezen dat de uitwerking hiervan op de inzittenden veel geringer lijkt te zijn dan deze hoge ASI-waarden doen vermoeden. De relatie tussen metingenuitkomsten aan dummies en de letselkansen voor personen is echter evenmin al éénduidig vastgesteld. Zolang goede criteria ontbreken om de relatie tussen de voertuigvertragingen en de letselkans vast te stellen, zal de ASI worden gehanteerd.

#### LITERATUUR

Schoon (1982). Rimob: obstakelbeveiliger met rimpelbuizen. R-82-83 SWOV, Leidschendam, 1982

Ross, H.E. & Post, E.R. (1972). Criteria for guardrail need and location on embankments; Volume I: Development of criteria. Research Report 140-4. Texas Transportation Institute, 1972.

VOERTUIGKARAKTERISTIEKEN EN HUN CUMULATIEVE VERDELINGEN

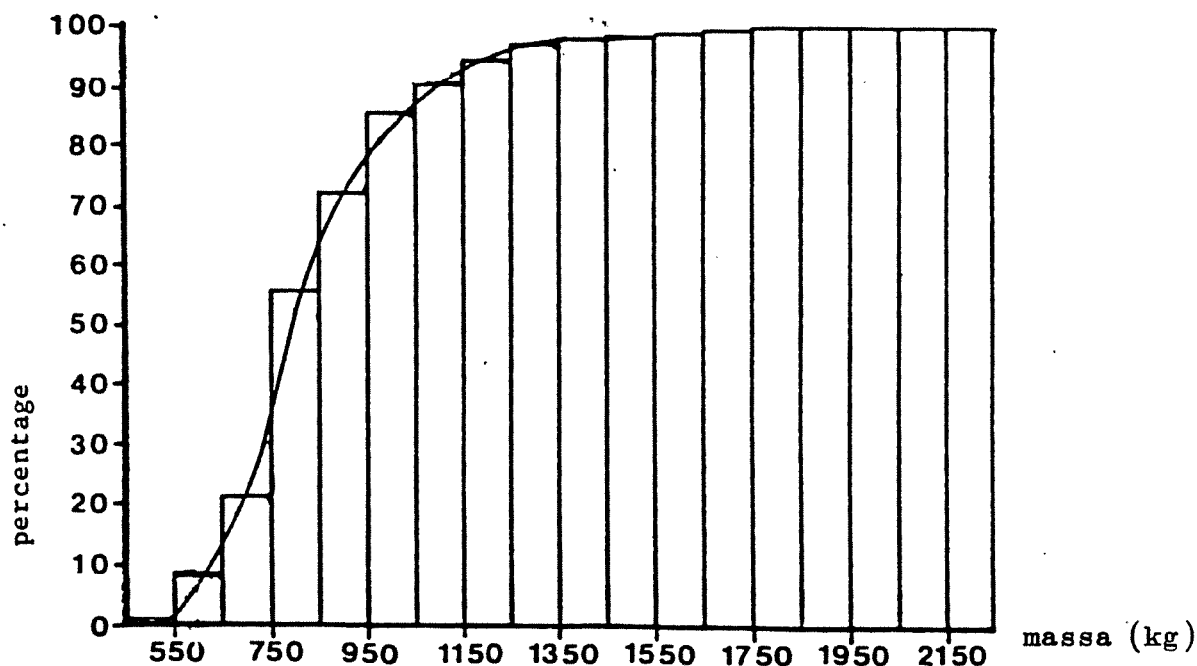
Bij de mathematische simulaties zijn drie typen personenauto's gebruikt. In onderstaande tabel zijn enkele belangrijke gegevens van deze voertuigen opgenomen.

Type voertuig	Massa (kg)	Wielbasis (cm)	Spoorbreedte <sup>1)</sup> (cm)	Massatraag- heidsmoment <sup>2)</sup> (kgcm.s)
Fiat 126	578	184	120	5600
Opel Kadett B	836	242	128	12000
Volvo 244	1245	264	142	27300

1) Bij verschil tussen voor en achter is de grootste waarde gegeven

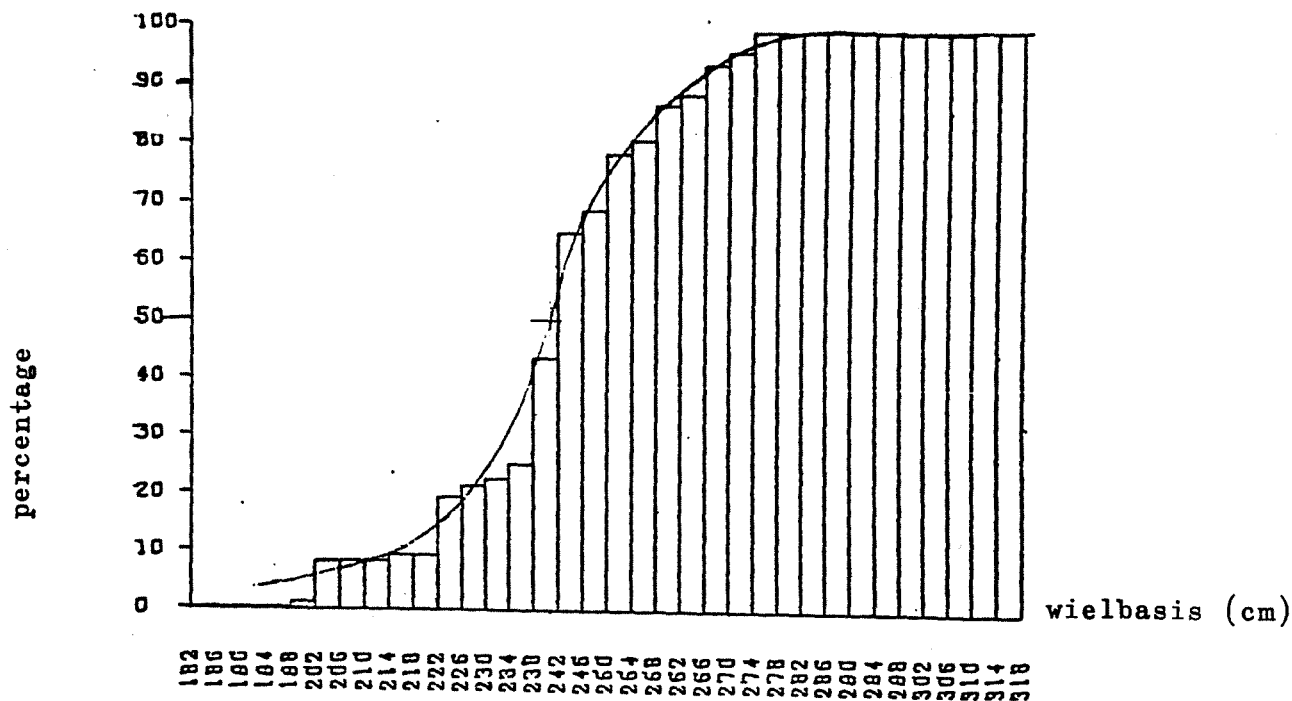
2) Het massatraagheidsmoment om de hoogte-as

Van deze voertuigkenmerken worden verder de cumulatieve verdelingen gegeven. Ze zijn gebaseerd op de verkoopcijfers van personenauto's over de aangegeven jaren.

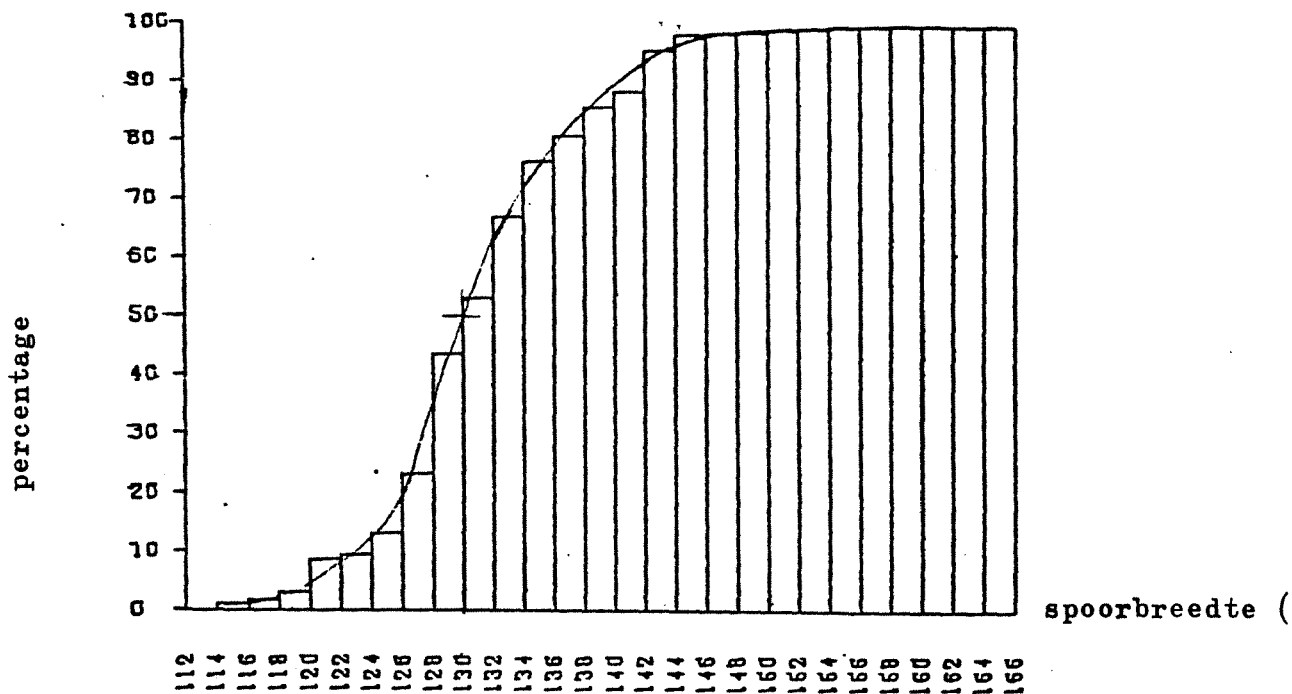


Cumulatieve verdeling van de voertuigmassa in onbelaste toestand van personenauto's naar verkoopcijfers over de jaren 1967 t/m 1976 (Bron: CBS, 1977)

BIJLAGE 3.2



Cumulatieve verdeling van de wielbasis van personenauto's naar verkoopcijfers over de jaren 1969 t/m 1975. (Bron: RWS,1980).



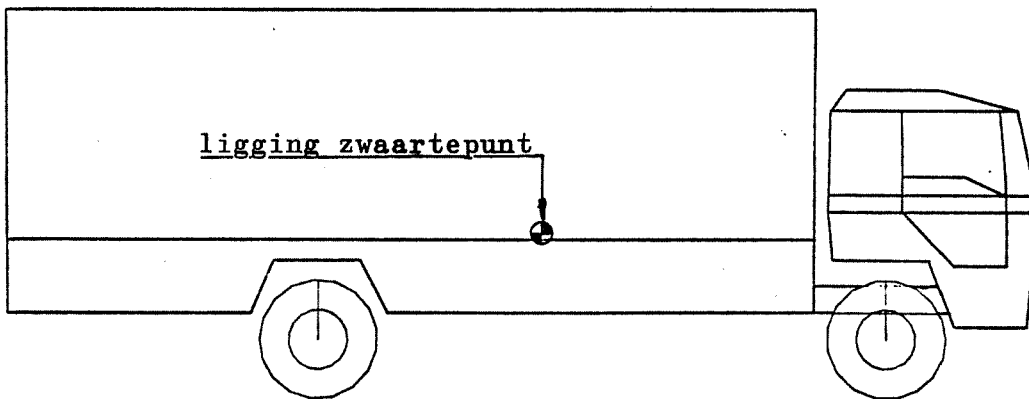
Cumulatieve verdeling van de spoorbreedte van personenauto's naar verkoopcijfers over de jaren 1969 t/m 1975. (Bron: RWS,1980).

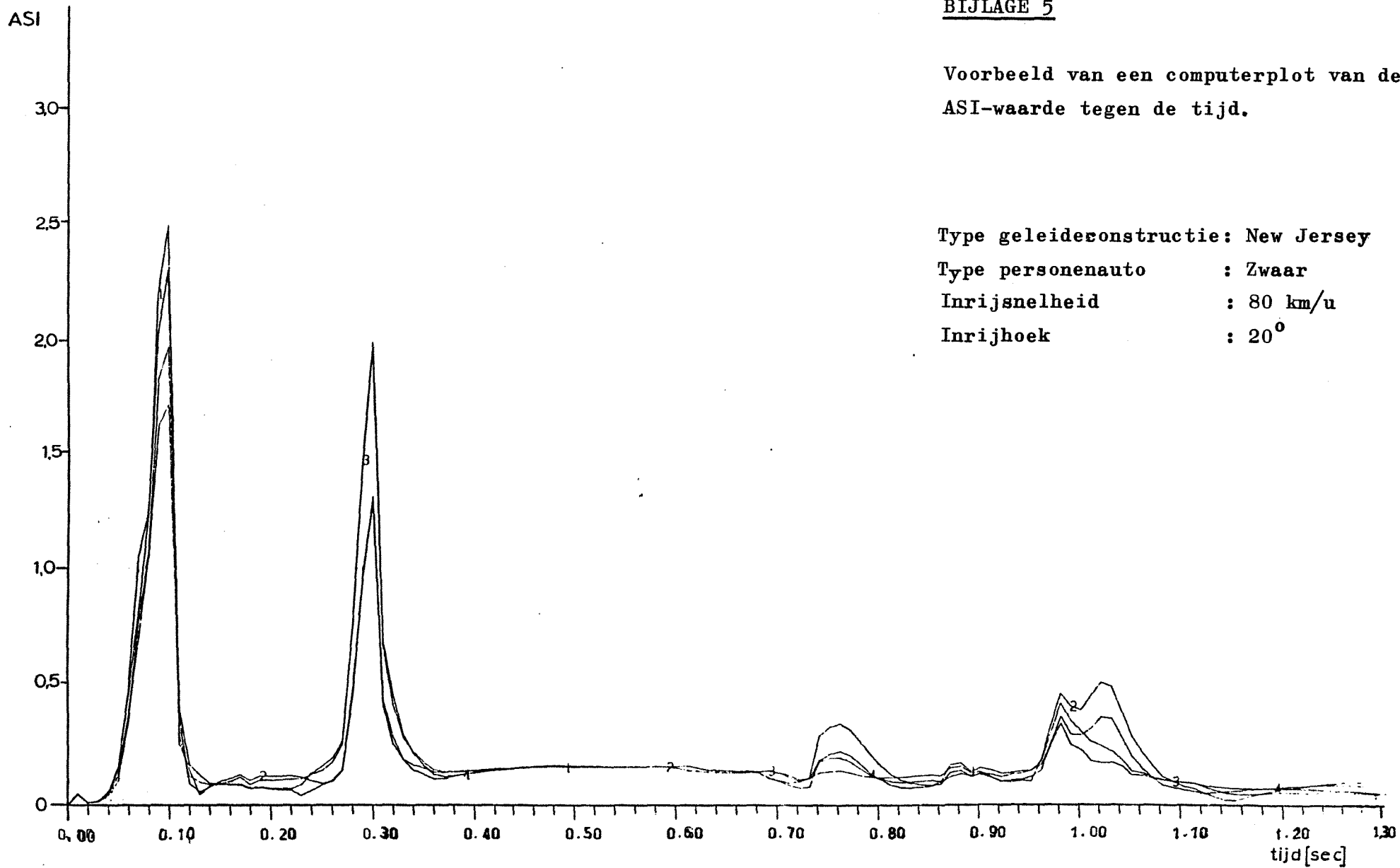
VOERTUIGKARAKTERISTIEKEN VAN DE GEMODELLEERDE VRACHTAUTO

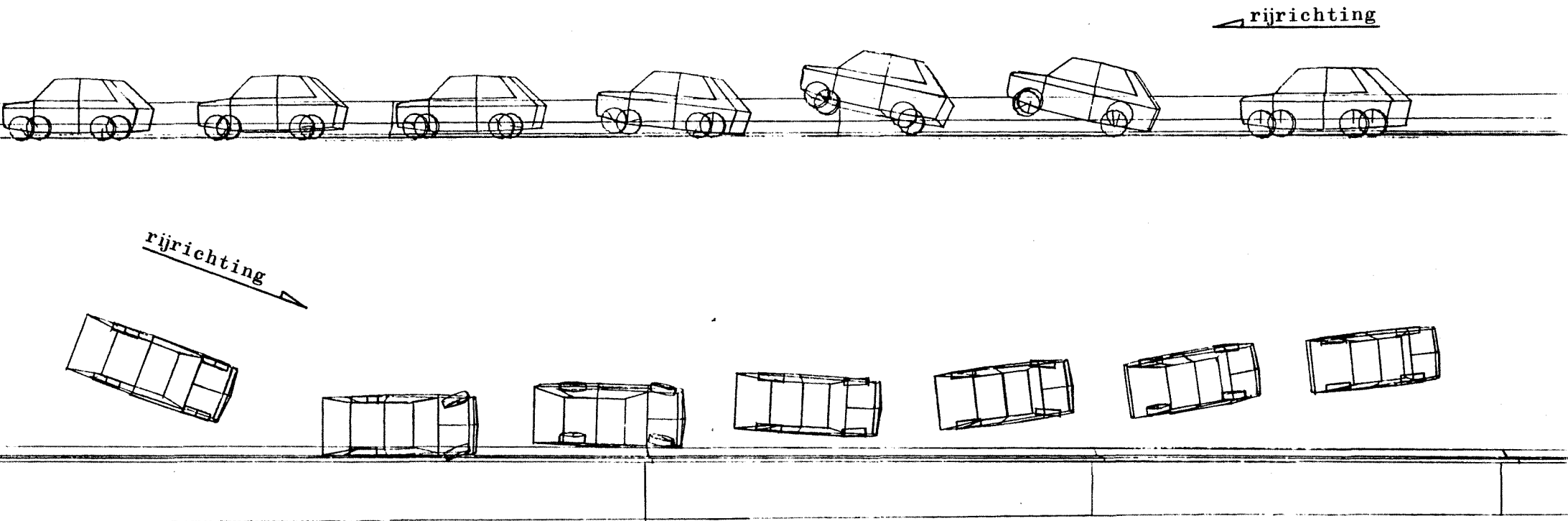
Bij de mathematische simulaties van aanrijdingen met de betonnen geleideconstructies General Motors en New Jersey is een vrachtauto gebruikt. In onderstaande tabel zijn enkele belangrijke gegevens opgenomen.

Type vrachtauto	: Daf, type FA 2105 DH 555
Model	: gesloten
Max. toelaatbaar gewicht:	16.500 kg
Hoogte zwaartepunt	: 1,55 m
Wielbasis	: 5,55 m
Spoorbreedte voor	: 1,94 m
achter	: 1,82 m
Rolstraal banden	: 0,57 m
Lading	: vol beladen

Computerplot van het zijaanzicht van de vrachtauto





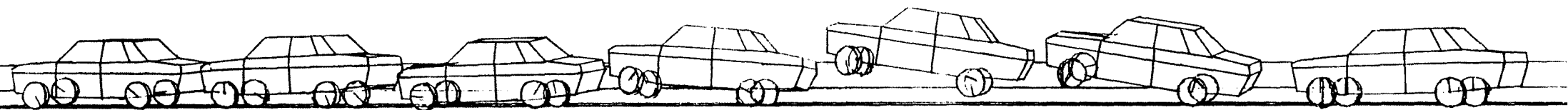


Voorbeeld van een computerplot van het verloop van een aanrijding met een betonnen geleideconstructie met een inrijshelheid van 80 km/u en een inrijhoek van 20°.

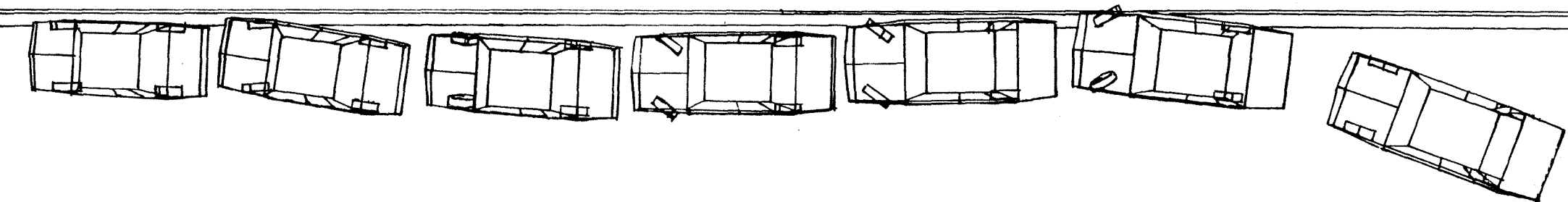
Type geleideconstructie: New Jersey

Type personenauto: Licht





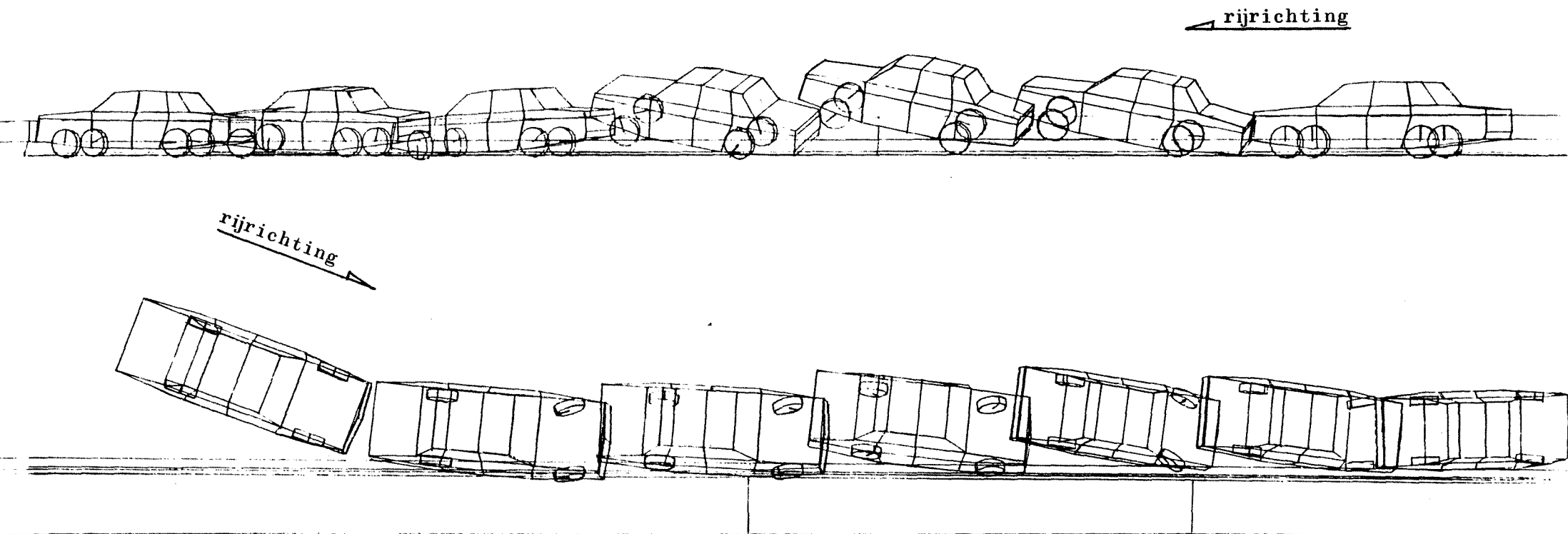
rijrichting



Voorbeeld van een computerplot van het verloop van een aanrijding met een betonnen geleideconstructie met een inrijshnelheid van 80 km/u en een inrijhoek van  $20^{\circ}$ .

Type geleideconstructie: General Motors

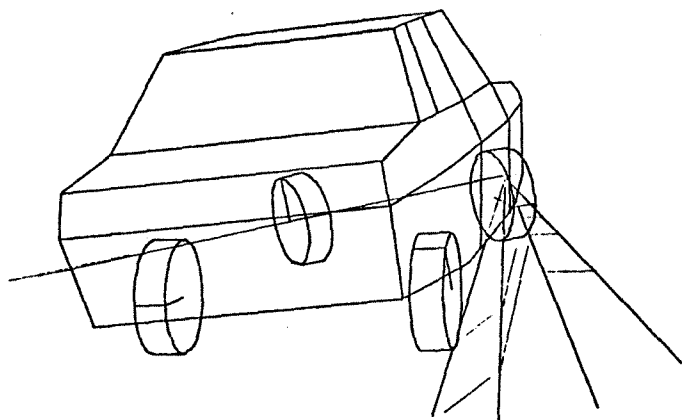
Type personenauto: Middelzwaar



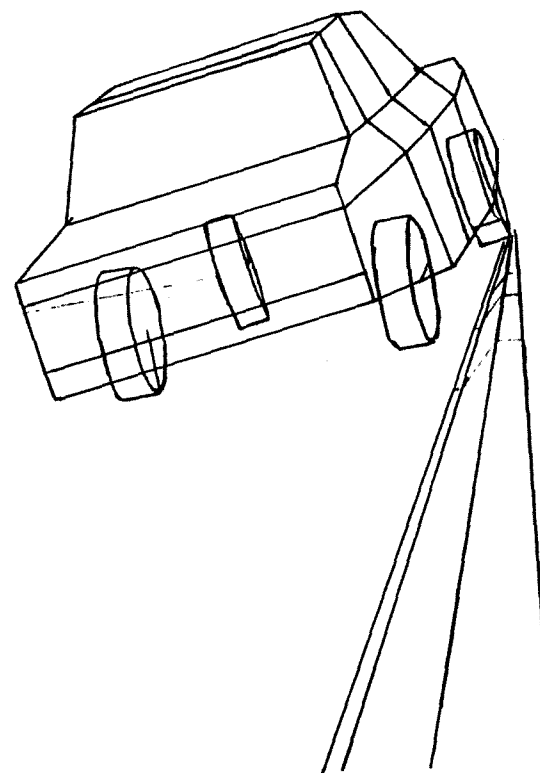
Voorbeeld van een computerplot van het verloop van een aanrijding met een betonnen geleideconstructie met een inrijsnelheid van 80 km/u en een inrijhoek van  $20^{\circ}$ .

Type geleideconstructie: New Jersey

Type personenauto: Zwaar



Type geleideconstructie: General Motors  
Type personenauto : Middel-zwaar



Type geleideconstructie: New Jersey  
Type personenauto : Zwaar

Computerplot van een achteraanzicht van aanrijdingen met een inrijsnelheid van 80 km/u en een inrijhoek van 20°.