

AANRIJDINGEN MET IN STIJFHEID VERSCHILLENDE TYPEN GELEIDERAIL-
CONSTRUCTIES

Een beschrijving van de ernst en mate van terugkaatsing van aanrijdingen
tegen geleiderailconstructies

Consult ten behoeve van de Dienst Verkeerskunde van de Rijkswaterstaat

R-85-63

Ing. C.C. Schoon

Leidschendam, 1985

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

SAMENVATTING

Als een wegbeheerder een geleiderailconstructie wil plaatsen, wordt veelal de voorkeur gegeven aan de flexibele constructie. Van deze constructie wordt aangenomen dat bij een aanrijding het gevaar voor de inzittenden en overige weggebruikers geringer is dan bij de stijve geleiderailconstructie. Als plaatsingsruimte voor de flexibele constructie ontbreekt (bijv. op enkelbaanswegen), wordt overwogen de stijve constructie te plaatsen. In dit consult wordt ingegaan op de vraag of er bij een aanrijding verschil is tussen beide typen constructies. Tevens zal dit verschil worden gekwantificeerd. Afwegingen omtrent het al-dan-niet plaatsen van geleiderailconstructies zullen overigens hier niet worden behandeld.

Aangezien hier sprake is van een consult, zijn alleen die gegevens gehanteerd die op korte termijn beschikbaar waren. Het betreft hier in de eerste plaats ongevallencijfers. Aangezien met deze cijfers geen onderscheid in type geleiderail naar stijfheid kon worden gemaakt, zijn de ongevallengegevens gehanteerd om een algemeen inzicht te krijgen in het functioneren van een geleiderailconstructie in een ongevalssituatie.

In de tweede plaats zijn gegevens uit de literatuur gebruikt die betrekking hebben op het functioneren van de geleiderailconstructies bij full-scale proeven. In de derde plaats zijn mathematische simulaties van aanrijdingen met geleiderailconstructies uitgevoerd.

In de laatste twee gevallen kon wel een onderscheid naar type geleiderailconstructie worden gemaakt, aangezien het type constructie bij proeven en simulaties als uitgangspunt is gekozen. De volgende typen zijn onderscheiden: stijf, middel-stijf en flexibel. Als uitgangspunt voor de mate van stijfheid is uitgegaan van de door Rijkswaterstaat voorgeschreven typen geleiderailconstructies. De grootte van de uitbuiging van de geleiderailconstructie bij een aanrijding, die afhankelijk is van de inrijcondities, uitvoeringsvorm van de constructie en de grootte van de grondweerstand, is als norm gehanteerd voor de categorie-indeling van de typen geleiderailconstructies.

Uit het verrichte ongevallenonderzoek blijkt dat in ca. 25% van de ongevallen waarbij een voertuig in de eerste fase van het ongeval met een geleiderailconstructie in aanraking is gekomen, het voertuig vervolgens

de rijbaan weer op of over schiet. In de meeste gevallen leidt dit tot een secundaire aanrijding, hetzij met een ander vervoermiddel, hetzij met een obstakel. Verder werd een indicatie voor nader onderzoek verkregen aangaande een aantal kenmerken die de ernst van een aanrijding tegen een geleiderailconstructie mogelijk doen toenemen: een aanrijding op een enkelbaansweg in plaats van op een dubbelbaansweg; als ten gevolge van een aanrijding tegen een geleiderailconstructie een roll-over plaats vindt; als een voertuig door een geleiderailconstructie heen rijdt; als er een secundaire aanrijding plaats vindt.

Gebleken is dat het met de gegevens uit de literatuur moeilijk is het functioneren van diverse typen geleiderailconstructies onderling te vergelijken. Aangezien de resultaten van de mathematische simulaties een redelijke overeenkomst hadden met die van diverse full-scale proeven, is de beantwoording van de vragen in dit consult in hoofdzaak gebaseerd op de resultaten van de mathematische simulaties.

Op grond van de hier gehanteerde beproevingscondities kan worden gesteld dat een stijve geleiderailconstructie grotere voertuigvertragingen en grotere uitrijhoeken zal geven dan de flexibele constructie. In absolute zin is het verschil in de grootte van de voertuigvertragingen volgens huidige inzichten niet zodanig groot dat dit zal leiden tot aanzienlijk ernstiger letsel voor de inzittenden. Het verschil in uitrijhoek (ca. 5°) tussen beide typen constructies geeft bij ongecorrigeerd voertuiggedrag een iets grotere kans op secundaire ongevallen (onder meer afhankelijk van de verkeersintensiteit).

Geconstateerd is dat in een aantal opzichten de afloop van een aanrijding in de ongevalssituatie kan afwijken van die van de onderzoeksituatie (full-scale proeven, mathematische simulaties). Als oorzaken kunnen worden genoemd de in de onderzoeksituatie gehanteerde inrijcondities die waarschijnlijk niet goed op de ongevalssituatie zijn afgestemd en de door de bestuurder uitgevoerde rem- en stuurmanoeuvres die niet in de onderzoeksituatie zijn gesimuleerd. Het is zeer wenselijk in een (basis)onderzoek meer op de ongevalssituatie afgestemde beproevingscondities vast te stellen.

INHOUD

Voorwoord

1. Inleiding
2. Probleemstelling
3. Probleemanalyse
4. Onderzoekopzet
 - 4.1. Beschrijving van de in stijfheid verschillende typen geleiderail-constructies
 - 4.2. Verzameling gegevens
 - 4.2.1. Ongevallenonderzoek
 - 4.2.2. Full-scale beproevingen
 - 4.2.3. Mathematische simulaties
 - 4.3. Indicatoren
 - 4.3.1. Ernst van de aanrijding
 - 4.3.2. Mate van terugkaatsing
5. Uitvoering
 - 5.1. Gegevens uit ongevallenonderzoek
 - 5.2. Gegevens van full-scale beproevingen
 - 5.3. Uitvoering van mathematische simulaties
6. Resultaten
 - 6.1. Ongevallenonderzoek
 - 6.2. Full-scale beproevingen
 - 6.3. Mathematische simulaties
 - 6.3.1. Verificatie
 - 6.3.2. Voertuigvertragingen
 - 6.3.3. Uitrijhoek
 - 6.3.4. Gierhoek
 - 6.3.5. Vastzetten van het stuurwiel
 - 6.4. Relatie tussen de uitkomsten van het ongevallenonderzoek en de mathematische simulaties

7. Conclusie

Literatuur

Afbeeldingen 1 t/m 3

Tabellen 1 t/m 9

Bijlagen 1 t/m 5

VOORWOORD

In dit consult wordt antwoord gegeven op een vraag van de Dienst Verkeerskunde van de Rijkswaterstaat het verschil bij een aanrijding aan te geven tussen flexibele en stijve geleiderailconstructies in termen van gevaar voor de inzittenden en overige weggebruikers. Daarbij wordt in het noodzakelijk beperkte kader van een consult afstand genomen van een aantal factoren die rondom toepassing van geleiderailconstructies eveneens relevant zijn voor het uiteindelijke risico dat verkeersdeelnemers lopen. In het SWOV-onderzoek "Fundamenteel onderzoek ten behoeve van criteria bij wegberminrichting" zullen deze aspecten in ruimere zin aan de orde kunnen komen.

Voor dit consult is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande kennis. Voor een analyse van ongevallengegevens waren twee bestanden beschikbaar, te weten:

- SWOV-bestand "Aanvullende gegevens ongevallen met dodelijke afloop". Hierin is een fasering van het verloop van ongevallen met dodelijke afloop nader aangegeven.
- "SWOV-ongevallenonderzoek". Dit bestand is opgebouwd uit een statistisch onderzoek met als projecttitel: "Factoren van belang voor de vermindering van de ernst van ongevalsletsels bij inzittenden van personenauto's".

Uit beide bestanden zijn die ongevallen geselecteerd waarbij geleiderailconstructies betrokken waren.

Overige bestaande kennis waaruit geput is betreft de literatuur over beproefde geleiderailconstructies. Gegevens hierover zijn verzameld in het kader van het SWOV-onderzoek "Wegberminrichting".

Verder zijn ten behoeve van dit consult diverse mathematische simulaties uitgevoerd waarbij gebruik is gemaakt van een mathematisch model. Dit model is ontwikkeld in het kader van het SWOV-onderzoek "Mathematische modellen voertuig-exterieur en omgeving".

De ongevallengegevens zijn bewerkt door mevr. H. Hendriksen; de literatuurstudie over de beproefde geleideconstructies is uitgevoerd door D.J.R. Jordaan. De mathematische simulaties zijn uitgevoerd door het bureau Program Development and Technical Appliance (SPAT) te Milaan, Italië.

Dit consult is samengesteld door ing. C.C. Schoon (Afdeling Crash en Post-crash onderzoek).

1. INLEIDING

Voor de afscherming van een gevarenzone worden veelal geleiderailconstructies toegepast. Bij een aanrijding tegen dergelijke goed werkende voorzieningen wordt het voertuig van richting veranderd en vervolgens langs de constructie geleid.

De in Nederland ontwikkelde en toegepaste geleiderailconstructie is uitgevoerd met tweezijdig uitgebouwde rails (de oudere constructies kunnen nog van een enkele rail zijn voorzien). Er zijn een aantal uitvoeringsvormen van de geleiderailconstructie, afhankelijk van de gewenste stijfheid van de constructie.

Als er voldoende plaatsingsruimte is wordt aan de flexibele constructie de voorkeur gegeven. Aangenomen wordt dat deze constructie een aanrijding in twee opzichten gunstiger beïnvloedt dan met stijve constructies mogelijk is. In de eerste plaats zal de aanrijding soepeler worden ingeleid. Dit zal de voertuigvertraging lager houden en daarmee de kans op letsel voor de inzittenden beperken. In de tweede plaats zal de geleiderailconstructie een vloeiender uitbuigingscurve te zien geven. Dit zal een gunstige (kleine) uitrijhoek van het voertuig geven, waarmee het gevaar voor het overige verkeer wordt gereduceerd.

Waar niet voldoende plaats is om een flexibele constructie te plaatsen, wordt op een stijvere constructie overgegaan. De in Nederland toegepaste geleiderailconstructie kan worden verstijfd door plaatsing van meer palen, door vergroting van de weerstand die de paal in de grond ondervindt en door verstijving van de ligger.

In dit consult zal worden ingegaan op de verschillen tussen de flexibele en stijve geleiderailconstructies als ze aangereden worden. Hierbij kunnen ongevallencijfers inzicht geven in het verloop van de ongevallen waarbij geleiderailconstructies een rol speelden. Literatuurstudie en mathematische simulaties zullen worden gehanteerd om de verschillen tussen de flexibele en stijve constructies aan te geven.

In dit consult komt de term "wegbermongevallen" voor. Dit zijn eenvoudige ongevallen waarbij het vervoermiddel van de rijbaan is geraakt. Hieronder vallen alle vast-voorwerp ongevallen en die eenzijdige ongevallen waarbij het vervoermiddel van de rijbaan is geraakt.

2. PROBLEEMSTELLING

In Nederland worden bij voorkeur tweezijdig uitgebouwde flexibele geleiderailconstructies geplaatst. Verondersteld wordt dat dit type constructie vergeleken met stijve constructies bij een aanrijding de volgende gunstiger effecten bewerkstelligt:

- de vertragingen zijn kleiner, daardoor is er minder gevaar voor de inzittenden;
- het botsende voertuig wordt in mindere mate teruggekaatsd en daarmee vermindert het risico voor overige weggebruikers.

Onderzocht dient te worden of de hierboven aangegeven veronderstellingen juist zijn.

In aansluiting hierop dient van de flexibele en stijve geleiderailconstructies het volgende gekwantificeerd te worden:

- de ernst van de aanrijding
- de mate van terugkaatsing

Als er sprake is van terugkaatsing heeft dit consequenties voor het overige verkeer. Gevraagd wordt dit zo goed mogelijk te kwantificeren.

Deze probleemstelling is onder andere van belang in verband met de toepassing van geleiderailconstructies op enkelbaanswegen. Op dit type wegen ontbreekt veelal de ruimte om een flexibele constructie te plaatsen, zodat men gedwongen is een starre constructie te gebruiken. Met name de gevolgen van terugkaatsing op enkelbaanswegen kunnen ernstiger zijn dan op dubbelbaanswegen vanwege de aanwezigheid van tegemoet komend verkeer.

In dit consult zullen we ons beperken tot de bovenvermelde vraagstelling. Zo zal bijvoorbeeld niet aan de orde komen wanneer en waar het nodig is een geleiderailconstructie te plaatsen. Dit vergt een meer algemene afweging van risico's in de diverse situaties. Evenmin zal in dit consult rekening gehouden worden met een eventuele beïnvloeding van het rijgedrag - in positieve dan wel negatieve zin - van het al-dan-niet aanwezig zijn van de diverse geleiderailconstructies.

3. PROBLEEMANALYSE

De in de probleemstelling aangegeven vraag is zeer gericht. Deze gaat in op twee crash-aspecten die zijn gekoppeld aan de flexibele en stijve typen geleiderailconstructies. Het probleem is zo expliciet gesteld dat een probleemanalyse achterwege kan blijven, met uitzondering van de te beschouwen voertuigtypen. Beschouwing van andere crash-aspecten is in het kader van dit consult verder niet relevant.

Vier categorieën voertuigtypen kunnen worden onderscheiden, namelijk tweewielers, personenauto's, bestelauto's en vrachtauto's/bussen.

Voor wat de categorie tweewielers betreft kan worden opgemerkt dat de ernst van een aanrijding met een geleiderailconstructie sterker door andere kenmerken van de constructie wordt beïnvloed dan door de te onderzoeken mate van stijfheid. In het bijzonder kan hier de agressiviteit (starheid van de constructie, scherpe delen) ten opzichte van de tweewielers worden genoemd, waarop de stijfheid slechts een zeer marginale invloed heeft. De voertuigcategorie tweewielers kan bij dit consult dan ook buiten beschouwing blijven.

Ten aanzien van het beschouwen van de diverse categorieën vier- of meerwielige voertuigen is in overleg met de opdrachtgever besloten de betrokkenheid van deze typen voertuigen bij de wegbermongevallen nader te bekijken. Daarbij blijken de aantallen doden in de jaren 1974 t/m 1977 als volgt verdeeld te zijn: personenauto 78%, bestelauto 2% en vrachtauto + bus 2% (SWOV, 1982). Deze cijfers hebben betrekking op alle typen wegen buiten de bebouwde kom. Aangezien hieruit blijkt is dat de beide laatstgenoemde voertuigcategorieën nauwelijks bij wegbermongevallen zijn betrokken, zullen in dit consult alleen de personenauto's worden beschouwd.

4. ONDERZOEKOPZET

De probleemstelling en -analyse geven aanleiding dit consult op grond van gegevens van (gesimuleerde) aanrijdingen met geleiderailconstructies te behandelen. Hiertoe zullen deze gegevens verzameld dienen te worden en indicatoren vastgesteld voor de beoordeling van de bij de aanrijdingen betrokken geleiderailconstructies. Tevens zullen de begrippen flexibiliteit en stijfheid moeten worden gedefiniëerd.

4.1. Beschrijving van de in stijfheid verschillende typen geleiderailconstructies

Voor geleiderailconstructies is er geen standaard indelingsprincipe naar mate van stijfheid voorhanden. Om toch onderscheid te kunnen maken, zal de terminologie worden gehanteerd van een indeling ontleend aan de constructie-alternatieven volgens het onderzoekverslag (SWOV, 1970) en de ROA-richtlijnen (RWS, 1974).

Een constructie wordt als flexibel beschouwd als deze bij een aanrijding over een grote lengte soepel uitbuigt zonder dat daarbij "zakvorming" optreedt. Bij een flexibele constructie is de paalafstand 4 m en zijn er geen diagonalen tussen de liggers aangebracht.

Een dergelijke constructie kan worden verstijfd door verkleining van de paalafstand, door plaatsing van één of meer diagonalen per paalafstand en door vergroting van de bij een aanrijding door de grond snijdende oppervlakte van de paal. Een stijve geleiderailconstructie heeft een paalafstand van 1,33 m en in elk veld een diagonaal. De geleiders zijn identiek aan die van de flexibele constructie.

De mate van stijfheid van een geleiderailconstructie wordt in hoge mate bepaald door de grootte van de grondweerstand. De combinatie van uitvoeringsvorm constructie, grondweerstand en inrijcondities bepaalt uiteindelijk de uitbuiging in dwarsrichting. De grootte van deze uitbuiging zal dan ook in combinatie met de inrijcondities als norm voor de mate van stijfheid worden gehanteerd.

4.2. Verzameling gegevens

Voor het verkrijgen van de benodigde kennis kon uit diverse bronnen

worden geput, te weten: ongevallenonderzoek, resultaten van full-scale beproevingen en mathematische simulaties.

4.2.1. Ongevallenonderzoek

Bij gebruikmaking van gegevens uit ongevallenonderzoek wordt een beeld van de reële situatie verkregen. Het nadeel is dat diverse relevante gegevens vaak niet of niet volledig zijn te verkrijgen. Genoemd kunnen worden: botssnelheid, inrijhoek, type geleiderailconstructie. In het kader van dit consult kan worden geprobeerd met behulp van reeds uitgevoerde inventarisaties het type geleiderailconstructie vast te stellen. Dit is alleen doenlijk als van het ongeval de locatie bekend is, en als de periode van het ongevallen(onderzoek) overeenkomt met die van de inventarisatie.

Voor het ongevallenonderzoek dient gebruik te worden gemaakt van bestanden waarmee het verloop van een aanrijding waarbij een geleiderailconstructie betrokken was, kan worden bepaald. Een dergelijk verloop is bijvoorbeeld te rubriceren in mate van terugkaatsing, roll-overs, secundaire aanrijdingen. De volgende twee bestanden komen hiervoor in aanmerking.

In de eerste plaats is dit het SWOV-bestand "Aanvullende gegevens van ongevallen met dodelijke afloop". Dit is opgebouwd uit alle bij de VOR bekende ongevallen met dodelijke afloop waarbij middels een codeersysteem het verloop van het ongeval in code is vastgelegd. Het verloop van ongevallen is hierbij opgedeeld in fasen (Lindeijer, 1983). Als bij een ongeval een geleiderailconstructie was betrokken, kan het verloop van de aanrijding nader worden gedetailleerd. Voor het consult is van de meest recente ongevallengegevens gebruik gemaakt, namelijk betreffende de jaren 1978 t/m 1982.

Het tweede bestand betreft het tweede SWOV-ongevallenonderzoek. Middels dit onderzoek zijn in 1976 en 1977 gegevens verzameld van ongevallen waarbij personenauto's betrokken waren. Het doel van dit onderzoek was het zoeken naar factoren die van belang zijn voor de vermindering van de ernst van ongevalsletsels bij inzittenden van personenauto's. Aan de bestuurders van de betrokken voertuigen (in voorkomende gevallen aan overige inzittenden of politie) is verzocht de toedracht en de afloop van het ongeval te beschrijven en aan te geven met welke objecten het betrok-

ken voertuig in aanraking is gekomen. Zodoende is het - evenals met het vorige bestand - mogelijk het verloop aan te geven van ongevallen waarbij een geleiderailconstructie betrokken was. In vergelijking met het vorige bestand dat uit ongevallen met dodelijke afloop is opgebouwd, heeft de verzameling van de gegevens voor dit (personenauto) ongevallenbestand a-select plaatsgevonden, waarbij als enig selectie criterium gold: een meer dan een bepaald minimum aan schade aan het voertuig. De verzamelde ongevallen worden dan ook als representatief voor de Nederlandse ongevallensituatie beschouwd. Voor de groep "geleiderailongevallen" kon niet worden uitgezocht of ze als groep representatief zijn. Op voorhand is er geen reden te veronderstellen dat ze dit niet zullen zijn.

In de jaren 1976/1977 en 1982 zijn door de SWOV inventarisaties van geleiderailconstructies op autosnelwegen uitgevoerd. Deze gegevens kunnen uitsluitend met betrekking tot het eerste bestand worden gehanteerd, aangezien alleen hierbij de locatie van ongevallen bekend is. Uiteraard kan alleen een koppeling worden gemaakt van inventarisatiegegevens en die ongevallen die op autosnelwegen hebben plaatsgevonden.

Beide ongevallenbestanden zijn erg verschillend van opzet en inhoud. Ze zullen dan ook afzonderlijk worden beschouwd en onderling worden vergeleken. Zo kan bijvoorbeeld worden vastgesteld of het verloop van de zeer ernstige geleiderailongevallen uit het SWOV-bestand "Aanvullende gegevens ongevallen met dodelijke afloop" afwijkt van het te verwachten meer algemene patroon bij deze typen ongevallen uit het bestand ten behoeve van het SWOV-ongevallenonderzoek.

4.2.2. Full-scale beproevingen

Aan full-scale beproevingen kunnen de nodige gegevens worden ontleend aangaande het bij een aanrijding functioneren van de diverse typen geleiderailconstructies. Het voordeel van deze gegevens ten opzichte van bijvoorbeeld gegevens van ongevallen is dat de inrijgegevens (inrijhoek en -snelheid) en gegevens over het verloop van de aanrijding bekend zijn. Een nadeel is echter dat de invloed van de bestuurder op het ongevalsgebeuren zeer moeilijk te onderzoeken is. Verder zijn sommige registratiegegevens van het dynamisch voertuiggedrag (vertragingen, rotaties)

vaak moeilijk te interpreteren in termen van de voorspelling van de kans op letsel voor de inzittenden.

Ten behoeve van dit consult zullen de resultaten van full-scale proeven van door de SWOV uitgevoerde geleiderailbeproevingen en dergelijke proeven bekend uit de literatuur worden beschouwd.

4.2.3. Mathematische simulaties

De uitvoering van mathematische simulaties heeft als voordeel dat alle verlangde gegevens op een reproduceerbare en uniforme wijze zijn te verkrijgen. De invloed van diverse kenmerken kan op een betrekkelijk eenvoudige wijze worden onderzocht door één bepaald kenmerk als variabele te kiezen. Een nadeel is dat het simuleren (van aanrijdingen) een benadering van de werkelijkheid is. De resultaten worden echter meer betrouwbaar naar mate het gehanteerde model beter is gevalideerd.

De output van simulaties bestaat onder meer uit de grootte van de voertuigvertragingen, de uitrijhoek en de drifthoek van het voertuig (zie par. 4.3.2). Wat bij de full-scale proeven is gesteld over de interpretatiemoeilijkheden van het dynamisch voertuiggedrag, geldt ook voor de mathematische simulaties.

Ten behoeve van dit consult zal een beperkt aantal mathematische simulaties worden uitgevoerd. Hiertoe zal gebruik worden gemaakt van het VEDYAC-model. Voor een beschrijving wordt verwezen naar Bijlage 1.

4.3. Indicatoren

Teneinde de verschillende typen constructies te kunnen beoordelen, zijn indicatoren nodig om de ernst van de aanrijding en mate van terugkaatsing te kunnen vaststellen.

4.3.1. Ernst van de aanrijding

De ernst van een aanrijding tegen verschillende typen geleiderailconstructies zal worden bepaald aan de hand van de resultaten van full-scale proeven en mathematische simulaties.

Een mogelijkheid om bij dergelijk onderzoek de ernst van de aanrijding vast te stellen is de bepaling van de grootte van de voertuigvertragingen

Deze kan in drie richtingen worden gemeten, namelijk in langs-, dwars- en verticale richting. Bij de full-scale beproevingen zijn lang niet in alle gevallen de voertuigvertragingen gemeten, en in de gevallen dat dit wel is uitgevoerd, is in de meeste gevallen de verticale vertraging achterwege gelaten. Dit is overigens niet zo'n probleem omdat bij geleiderailaanrijdingen de grootte van de verticale vertraging in het algemeen ruim onder de waarden van de langs- en dwarsvoertuigvertragingen blijft. Om een indruk te krijgen van het effect van de voertuigvertragingen in drie richtingen kunnen ze worden samengesteld en gerelateerd aan criteria van acceptabele voertuigvertragingen. Dit levert dan een samengesteld criterium op, de zgn. ASI (Acceleration Severity Index). In Bijlage 2 is dit criterium nader beschreven. De dimensieloze grenswaarde van de ASI is 1,0 - waarbij wordt aangenomen dat de inzittenden zonder het gebruik van de autogordel geen (ernstig) letsel oplopen als deze waarde niet overschreden, of de waarde van 1,6 - waarvoor hetzelfde geldt, maar nu als de autogordel wel gedragen wordt.

Bij het hanteren van de ASI als criterium dient echter wel een kanttekening geplaatst te worden. 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 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. Metingen aan dummies hebben daarentegen uitgewezen dat de uitwerking hiervan op de inzittenden veel geringer lijkt te zijn dan deze hoge ASI-waarden doen vermoeden. De relatie tussen de uitkomsten van metingen aan dummies en de letselkansen voor personen is evenmin al onduidelijk vastgesteld. Op grond van deze kanttekening zullen in dit rapport de waarden van de ASI niet als een stringent criterium worden gehanteerd. Wel zullen ze - in relatieve zin - als toetsingswaarde worden gebruikt om de typen geleiderailconstructies onderling te vergelijken. De vertraginggegevens van de full-scale proeven zijn meestal niet voorhanden of onvolledig. Als ze wel bekend zijn zal hier, evenals bij de grootte van de ASI, geen absolute zwaarte aan worden toegekend.

4.3.2. Mate van terugkaatsing

Aangezien de voertuigsnelheid bij een aanrijding tegen een geleiderail-

constructie niet erg zal verminderen, moet met een vrij aanzienlijke uitrijnsnelheid rekening worden gehouden. Het "gedrag" van het voertuig na de aanrijding is erg bepalend voor het verdere verloop van het ongeval. Dit "gedrag" kan sterk worden beïnvloed door de mate van ingrijpen van de bestuurder. Alleen door het verrichten van speciaal gericht onderzoek kan hierin inzicht worden verkregen. Aangezien dit soort onderzoek niet op korte termijn de voor het gestelde doel gewenste gegevens kan opleveren, dient van meer objectieve onderzoekgegevens gebruik gemaakt te worden (objectief in die zin dat de invloed van de bestuurder buiten beschouwing wordt gelaten). Dit is het geval bij full-scale proeven en mathematische simulaties.

De mate van terugkaatsing kan door twee indicatoren worden bepaald, namelijk de grootte van de hoek van uitrijden en de gierhoek van het voertuig. Onder het eerste wordt verstaan de hoek tussen de baan van het zwaartepunt van het voertuig en de as van de geleiderailconstructie (vóór de aanrijding). De gierhoek van het voertuig is de hoek tussen de langsas van het voertuig en de bewegingsrichting van zijn zwaartepunt. Deze hoek kan aan weerszijden van de baan van het zwaartepunt worden gevormd. De neus van het voertuig kan namelijk in de richting van de rijbaan wijzen en in de richting van de geleiderailconstructie.

Van de in de literatuur beschreven full-scale proeven is alleen de hoek van uitrijden bekend. Bij mathematische simulaties kan eveneens een gierhoek worden verkregen.

5. UITVOERING

5.1. Gegevens uit ongevallenonderzoek

Gehanteerd zijn twee bestanden te weten het SWOV "ongevallenbestand" (afgekort O-bestand) en het SWOV-bestand "Aanvullende gegevens ongevallen met dodelijke afloop" (afgekort D-bestand).

De gegevens van beide bestanden zijn op dezelfde wijze gerangschikt. In de eerste plaats is een hoofdsplitsing gemaakt in:

- het voertuig rijdt in eerste fase van het ongeval tegen de geleiderailconstructie;
- het voertuig rijdt in tweede fase van het ongeval tegen de geleiderailconstructie; de eerste fase betrof hierbij een aanrijding met een ander vervoermiddel of met een obstakel.

Vervolgens zijn verdelingen gemaakt in manoeuvres van het voertuig na de aanrijding met de geleiderailconstructie. Deze zien er als volgt uit:

- voertuig komt in de omgeving van de geleiderailconstructie tot stilstand
- voertuig slaat over de kop
- voertuig schiet de rijbaan op of over
- voertuig rijdt door of over de geleiderailconstructie

Een verdere splitsing geeft aan of er daarna al-dan-niet een secundaire aanrijding met een ander voertuig of obstakel heeft plaatsgevonden.

Van de plaats van de aanrijding tegen de geleiderailconstructie zijn in de tabellen de volgende nadere aanduidingen aangegeven:

- dubbelbaansweg, enkelbaansweg
- rechte weg, bocht
- links en rechts van de rijbaan

Alleen van de ongevallen uit het D-bestand zijn de locatiegegevens bekend. Van de ongevallen die op een autosnelweg hebben plaatsgevonden (71 ongevallen) is met behulp van de inventarisatiegegevens van geleiderailconstructies vastgesteld tegen welk type geleiderail de aanrijding heeft plaatsgevonden. Dit betrof 39 tweezijdig uitgebouwde geleiderailconstructies en 9 geleiderailconstructies met een enkele uitgebouwde rail. In 23 gevallen is geen type bekend aangezien inventarisatiegegevens ontbraken (redenen: reconstructie werkzaamheden, verandering van hectometrering, niet geïnventariseerd).

Bij het uitsplitsen van de 39 tweezijdig uitgebouwde constructies in varianten bleek de verscheidenheid erg groot, met name wat de volgende kenmerken betreft: paaltype, aantal palen, uitbouwfstand rail, aanwezigheid diagonaal. Een dergelijke verscheidenheid, gevoegd bij de ongewisheid over de grondweerstand - die in combinatie met het aantal en soort palen de mate van uitbuiging (stijfheid) bepaalt - is dermate groot dat een indeling van de geleiderailconstructies naar stijfheid in de tabellen te veel lege cellen zou geven.

Overwogen is de ongevallen waarbij een geleiderailconstructie met één rail was betrokken uit het bestand te verwijderen, vanwege het feit dat het consult betrekking heeft op de tweezijdig uitgebouwde constructies. Hier is niet voor gekozen vanwege de volgende reden. Ook bij de overige ongevallen (enkelbaanswegen van het D-bestand, alle ongevallen uit het O-bestand) zullen geleiderailconstructies met één rail betrokken zijn. Verwijdering van een aantal specifieke ongevallen op de autosnelwegen uit het D-bestand zou het resultaat van een onderlinge vergelijking scheef trekken.

Teneinde een indicatie te krijgen in hoeverre ongevallen met betrekking tot geleiderailconstructies met één rail zich onderscheiden van de tweezijdig uitgebouwde, is dit ten aanzien van de voertuigmanoeuvres onderzocht. De resultaten worden gegeven in het volgende hoofdstuk.

5.2. Gegevens van full-scale beproevingen

Uit de literatuurstudie over full-scale proeven met geleiderailconstructies zijn die gegevens verzameld die voor dit consult van belang zijn. Deze gegevens zijn in twee opzichten gebruikt. In de eerste plaats om inzicht te krijgen in de werking van diverse typen constructies en in de tweede plaats ter verificatie van de output van de mathematische simulaties.

In de literatuurstudie zijn van vele typen constructies de gegevens verzameld, variërend van eenzijdige niet-uitgebouwde tot tweezijdig uitgebouwde constructies. Uit de gegevens blijkt dat bij de eenzijdige constructies bij aanrijdingen vaak knikvorming in de rail optreedt, hetgeen relatief grote uitrijhoeken en vertragingen te zien geeft. Voor de beoordeling van tweezijdig uitgebouwde geleiderailconstructies waarbij deze knikvorming niet optreedt, zijn dergelijke gegevens dan ook niet bruik-

baar. Voor dit consult zijn de eenzijdige geleiderailconstructies daarom niet beschouwd.

De volgende gegevens zijn uit de verrichte literatuurstudie verzameld:

- kenmerken geleiderailconstructie (type, hoogte, paalafstand)
- inrijcondities (inrijsnelheid, inrijhoek, type en massa voertuig)
- registratiegegevens (voertuigvertraging, uitrijhoek, dynamische doorbuiging van de constructie).

Aangezien er geen objectieve maat voor de stijfheid of flexibiliteit van geleiderailconstructies is, zal hiervoor de grootte van de uitbuiging van de constructie in relatie met de inrijcondities worden gebruikt. Daartoe zullen deze gegevens naast de resultaten van de mathematische simulaties worden gelegd. Bij deze simulaties is de mate van stijfheid van empirie afgeleid. Via een dergelijke exercitie kunnen de beproefde geleiderailconstructies naar grootte van stijfheid worden gerubriceerd.

5.3. Uitvoering van mathematische simulaties

Met behulp van mathematische simulaties kan de relatie tussen diverse inrijcondities (snelheid, inrijhoek, voertuigmassa) en de mate van stijfheid van de geleiderailconstructie worden bepaald. Voordat met de simulaties kan worden aangevangen, dienen deze inrijcondities en de maat voor stijfheid te worden vastgesteld. Dit laatste is als volgt uitgevoerd. Er zijn computer-datasets van drie typen geleiderailconstructies vastgesteld: stijf, middel-stijf en flexibel. Teneinde voldoende spreiding in uitbuiging bij een aanrijding te krijgen, is gesteld dat bij een "norm-aanrijding" de volgende uitbuigingsafstanden gerealiseerd dienen te worden: 0,50 m, 1,00 m en 1,50 m voor resp. de stijve, middel-stijve en flexibele geleiderailconstructie. Aangezien dergelijke genormeerde uitbuigingsafstanden gemakkelijker zijn te realiseren door aanpassing van de grondweerstand dan door het toepassen van constructieve ingrepen (bijvoorbeeld een nadere verfijning in paalafstand die hiermee dan niet meer in overeenstemming is met de standaard maatvoering), is gekozen voor een kleine variatie in de grootte van de grondweerstand.

Als "norm-aanrijding" is gekozen voor een aanrijding tegen de geleiderailconstructies met een middenklasse personenauto (massa ca. 850 kg), bij een snelheid van 100 km/uur en een inrijhoek van 20° .

De keuze van een dergelijk voertuig als te simuleren voertuigtype en de keuze van de beide andere voertuigen is op het volgende gebaseerd. Bij vorige onderzoeken naar de inrichting van de wegberm is het voertuigtype Opel Kadett B-type gehanteerd als representant van de middenklasse; derhalve was er ook een mathematische dataset van voorhanden. Bij dit consult is daarom ook van de Opel Kadett uitgegaan. Vervolgens dienden twee personenauto's gekozen te worden die qua massa en grootte redelijke verschillen met de Opel Kadett vertoonden. Hiertoe is gekeken naar kenmerken waarvan reeds een verdeling aanwezig was over alle personenauto's naar verkoopcijfers (CBS, 1977 en RWS, 1980). Als kenmerken zijn naast de massa de wielbasis en spoorbreedte gekozen aangezien wordt aangenomen dat deze kenmerken van invloed zijn op de voertuigstabiliteit. In Bijlage 3 zijn hiervan de cumulatieve verdelingen gegeven. De percentielwaarde van de Opel Kadett bedraagt volgens deze verdelingen ca. 50%. De te kiezen andere twee voertuigtypen dienden percentielwaarde van 10% en 90% te hebben. Op grond hiervan is op min of meer arbitraire wijze gekozen voor de Fiat 126 en de Volvo 244. Evenals bij de Opel zijn ten behoeve van het computermodel ook van deze voertuigtypen datasets ontleend aan de voertuigkarakteristieken. Enkele van deze gegevens zijn eveneens op Bijlage 3 verwerkt. De massa's van de Fiat, Opel en Volvo bedragen resp. 578 kg, 836 kg en 1245 kg. Hierna zullen de mathematisch gerepresenteerde voertuigen met resp. licht, middelzwaar en zwaar worden aangeduid.

De simulaties zijn met de drie typen constructies en de drie typen voertuigen onder de volgende inrijcondities 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

N.B. In het volgende hoofdstuk zal deze groep simulaties met "standaard-simulaties" worden aangeduid.

Daarnaast zijn alleen met het middelzware voertuigtype aanvullende simulaties onder de volgende inrijcondities uitgevoerd:

- inrijhoek 20° ; inrijsnelheid 100 km/uur (tevens "norm-aanrijding")
- inrijhoek 25° ; inrijsnelheid 60 en 80 km/uur
- inrijhoek 30° ; inrijsnelheid 40 km/uur

Bij alle simulaties is het stuurwiel van de voertuigen los gehouden. Om de invloed van een vast stuurwiel op de afloop van een aanrijding te kunnen bepalen, is in twee gevallen het stuurwiel vastgezet. Dit betrof bij het constructietype middel-stijf het middelzware voertuig bij de combinaties van inrijhoek en -snelheid: 10° en 100 km/uur, resp. 20° en 100 km/uur.

De uitkomsten van de mathematische simulaties zijn weergegeven in de grootte van de voertuigvertragingen in drie richtingen, de samengestelde waarde hiervan uitgedrukt in de ASI (Acceleration Severity Index), de uitrijhoek en de gierhoek van het voertuig.

6. RESULTATEN

6.1. Ongevallenonderzoek

Zoals toegelicht in par. 5.1 is geen verdeling in type geleiderailconstructie naar stijfheid gegeven. Het risico van een aanrijding met een geleiderailconstructie in een ongevalssituatie zal dus meer in algemene termen worden beschouwd. Dit risico zal worden aangegeven in termen van terugkaatsing, doorschrijding rail, roll-over, secundaire aanrijdingen.

Het representatief geachte SWOV-ongevallenbestand (O-bestand, zie Tabel 1 en 2), bestaat uit 102 ongevallen met personenauto's. Het merendeel van deze ongevallen heeft plaatsgevonden op dubbelbaanswegen (91 ongevallen = 89%); de rest op enkelbaanswegen (11 ongevallen = 11%). Gezien het feit dat op dubbelbaanswegen (voornamelijk autosnelwegen) aanzienlijk meer geleiderailconstructies zijn geplaatst, is een dergelijke verdeling niet verwonderlijk. Drie kwart van de ongevallen vond plaats op rechte wegvakken en één kwart in de bochten. Bij de ongevallen op de dubbelbaanswegen waren ongeveer evenveel links als rechts van de weg geplaatste geleiderailconstructies betrokken; op de enkelbaanswegen waren in ca. twee derde van de gevallen rechts geplaatste geleiderailconstructies (gezien in de rijrichting) aangereden en de links geplaatste in ca. één derde. De geleiderailconstructie is in de meeste gevallen (77 ongevallen) in de eerste fase van het ongeval aangereden (zie Tabel 1). In de rest van de gevallen (absoluut gezien 25 ongevallen, zie Tabel 2) is het voertuig eerst met een ander vervoermiddel of een obstakel in aanraking geweest en daarna met de geleiderailconstructie.

Het verloop van de 77 geleiderailongevallen die in de eerste fase plaatsvonden, is als volgt geweest. In 66% van de gevallen is het voertuig in de directe omgeving van de plaats van de aanrijding tegen de constructie op de rijbaan of in de berm tot stilstand gekomen. In 8% van de gevallen is het voertuig ten gevolge van of na de aanrijding met de geleiderail over de kop geslagen en in 26% van de gevallen (absoluut gezien 20 ongevallen) is het voertuig na de aanrijding met de rail, op of over de rijbaan geschoten. Van deze 20 ongevallen heeft er in 13 gevallen een secundaire aanrijding met een ander vervoermiddel of met een obstakel plaats gevonden. In de aangegeven gevallen dat het voertuig over de kop is

gegaan of in de nabijheid van de geleiderailconstructie tot stilstand is gekomen, heeft er geen secundaire aanrijding plaatsgevonden. Van de 25 ongevallen met in de tweede fase van het ongeval een aanrijding met een geleiderailconstructie (Tabel 2), is het voertuig bij 19 ongevallen in de omgeving van de aangereden geleiderailconstructie tot stilstand gekomen; hiervan heeft bij 1 ongeval een secundaire aanrijding plaats gevonden. Bij 5 van de 25 ongevallen is het voertuig over de kop gegaan en bij 1 ongeval is het voertuig over de rijbaan geschoten hetgeen vervolgens heeft geresulteerd in een secundaire aanrijding.

Het bestand "Ongevallen met dodelijke afloop van personenauto's tegen geleiderailconstructies" (D-bestand, zie Tabel 3A en B) bevat 100 ongevallen, waarvan er 71 op dubbelbaanswegen hebben plaats gevonden en de rest op enkelbaanswegen. Van de 100 ongevallen vonden 85 plaats op rechte wegvakken en 15 in bochten. Ten aanzien van de zijde van de rijbaan waar de geleiderailconstructie is aangereden is er weinig verschil met hetgeen bij het 0-bestand is gevonden: op de dubbelbaanswegen weinig verschil tussen links en rechts en op de enkelbaanswegen ca. tweederde van de ongevallen rechts en ca. eenderde links.

In Tabel 3A zijn de ongevallen opgenomen waarbij in de eerste fase van het ongeval de geleiderailconstructie werd aangereden (62 ongevallen). Tabel 4 vermeldt de ongevallen waarbij een dergelijke aanrijding in de tweede fase plaats vond (38 ongevallen).

De eerste-fase-ongevallen zijn als volgt afgelopen: In 24% van de gevallen is het voertuig in de omgeving van de geleiderailconstructie, waar tegen de aanrijding heeft plaatsgevonden, tot stilstand gekomen; absoluut gezien waren dit 15 ongevallen, waarbij in 2 gevallen een secundaire aanrijding heeft plaats gevonden. In 40% van de gevallen heeft een rollover plaats gevonden; absoluut gezien 25 ongevallen waarvan in 8 gevallen een secundaire aanrijding. In 23% van de gevallen is het voertuig op of over de rijbaan geschoten; absoluut gezien 14 ongevallen waarbij in 12 ongevallen een secundaire aanrijding is vastgesteld. Tenslotte is in 13% van de gevallen het voertuig door of over de geleiderailconstructie geschoten; absoluut gezien 8 ongevallen wat bij 6 ongevallen heeft geresulteerd in een secundaire aanrijding.

Het verloop van de ongevallen met in de tweede fase een aanrijding met de geleiderailconstructie (Tabel 3B) is als volgt geweest. Van de 38 onge-

vallen in deze tweede fase is het voertuig bij 21 ongevallen (55%) in de omgeving van de aangereden geleiderailconstructie tot stilstand gekomen; hiervan vond in 2 gevallen een secundaire aanrijding plaats. Bij 9 ongevallen (24%) is het voertuig over de kop geslagen hetgeen in 3 gevallen een secundaire aanrijding tot gevolg had. Van de 38 ongevallen is in 5 gevallen (13%) het voertuig de rijbaan op of over geschoten, hetgeen in 4 gevallen resulteerde in een secundaire aanrijding met een ander vervoermiddel of een obstakel. Tenslotte is in 3 gevallen een voertuig door of over de geleiderailconstructie geschoten hetgeen in deze gevallen niet tot een secundaire aanrijding heeft geleid.

Bij het onderling vergelijken van het O- en D-bestand blijkt dat een aantal (ongevals)kenmerken relatief meer bij het D-bestand zijn vertegenwoordigd dan bij het O-bestand. Dit duidt erop dat dit kenmerken zijn die de ernst van een aanrijding tegen een geleiderailconstructie doen toenemen. Deze kenmerken zijn: enkelbaansweg, roll-over, voertuig is door of over de geleiderailconstructie geschoten en de secundaire ongevallen. Meer dan een indicatie voor een nadere bestudering van de oorzaken hiervan kan hieraan niet worden ontleend omdat van een sluitende bewijsvoering geen sprake is, onder andere vanwege het ontbreken van diverse gegevens. In dit geval kan bijvoorbeeld met betrekking tot de roll-over ongevallen worden gesteld dat het niet-dragen van de autogordel de ernst van het ongeval in sterke mate doet toenemen.

Van de ongevallen met dodelijke afloop tegen geleiderailconstructies op autosnelwegen kon met behulp van inventarisatiegegevens het type geleiderailconstructie worden bepaald. Van 9 van de 71 ongevallen kon worden vastgesteld dat het een geleiderailconstructie met één rail betrof. Teneinde een indicatie te krijgen van de voertuigmanoeuvre na een aanrijding met dit type constructie, is een vergelijking gemaakt met de voertuigmanoeuvres van de overige ongevallen met dodelijke afloop op autosnelwegen (zie Tabel 4).

Uit deze tabel kan worden opgemaakt dat de voertuigen die een geleiderailconstructie met één rail hebben aangereden, in 6 van de 9 gevallen in de omgeving van de geleiderailconstructie tot stilstand zijn gekomen. In twee gevallen was er sprake van het over de rijbaan schieten, en in één geval ging het voertuig over de kop. Hieruit kan de indicatie worden

verkregen dat de aanrijdingen met dodelijke afloop met de geleiderailconstructie met één rail, het ongevallenpatroon, zoals aangegeven in de Tabellen 3A en B, niet in negatieve zin beïnvloeden. Aangenomen wordt dat hetzelfde kan worden gesteld voor de Tabellen 1 en 2.

6.2. Full-scale beproevingen

Uit de literatuur zijn ongeveer 65 proeven bekend met middenbermbeveiligingen (rail aan weerszijden van de paal). De proeven zijn uitgevoerd door Amerikaanse, Duitse en Nederlandse onderzoekinstellingen. Volgens de methode aangegeven in par. 5.2 zijn de beproefde typen geleiderailconstructies ingedeeld in de volgende drie stijfheidscategorieën: stijf, middel-stijf en flexibel. In de gevallen dat in de literatuur een gemiddelde voertuigvertraging over 50 ms werd vermeld, kon een ASI-waarde worden berekend en weergegeven. Als uitsluitend piekvertragingen zijn geregistreerd, is deze waarde weergegeven, aangezien hiermee geen ASI-waarden zijn te berekenen.

In Tabel 5 is een samenvatting gegeven van de beschouwde beproevingen. Stijve en middel-stijve typen geleiderailconstructies zijn zowel in Amerika, Duitsland als in Nederland beproefd. Het flexibele type is alleen in Nederland beproefd.

Als de drie typen geleiderailconstructies onderling worden vergeleken valt het volgende op.

De uitrijhoeken ontlopen elkaar qua grootte niet veel. De meest voorkomende grootste waarde is 8° , ongeacht het type constructie. Als uitzondering hierop gelden in de eerste plaats de Amerikaanse proeven met het stijve type (waarden tot 18° gemeten) en in de tweede plaats de Nederlandse proeven waar uitschieters van waarden van 20° tot zelfs 60° zijn geregistreerd. Dergelijke uitschieters zijn echter inherent aan de uitvoering van proeven met een constructie die nog in de ontwikkelingsfase verkeert. Onder andere het incidenteel vastlopen van een voertuig in de constructie kan daarbij dergelijke grote uitrijhoeken bewerkstelligen. De in de tabel aangegeven waarden voor de voertuigvertragingen zijn moeilijker onderling te vergelijken. Zo zijn in Duitsland en Nederland uitsluitend piekvertragingen geregistreerd en in Amerika de gemiddelde voertuigvertragingen over 50 ms; op grond hiervan is een ASI-waarde vastgesteld.

Uit de geregistreeerde piekvertragingen kan worden afgeleid dat de voertuigvertraging geringer is naarmate de constructie flexibeler is. Deze tendens is evenwel niet op te maken uit de in de tabel aangegeven ASI-waarden van de in Amerika uitgevoerde proefnemingen met het stijve en middel-stijve type geleiderailconstructie.

Op grond van de hier beschreven literatuurgegevens van geleiderailproeven, kan worden geconcludeerd dat het onderling vergelijken van geleiderailconstructies aan de hand van profresulaten een moeilijke zaak is. Een van de redenen is dat bij full-scale proeven maar weinig variabelen kunnen worden onderzocht. Dit heeft zowel betrekking op de typen constructies als op de inrijcondities. Een andere reden is de hoeveelheid factoren die een beproeving (ongewild) kan beïnvloeden. De problemen met de interpretatie van de registratiegegevens van de proeven zijn in het voorgaande reeds aan de orde gesteld.

6.3. Mathematische simulaties

In totaal zijn 50 mathematische simulaties uitgevoerd. Om een indruk te geven van de resultaten van deze simulaties, zijn in Bijlagen 4 en 5 twee voorbeelden van aanrijdingen tegen een geleiderailconstructie met resp. het gesimuleerde lichte en het zware voertuig afgebeeld.

Teneinde de verkregen gegevens uit de mathematische simulaties te toetsen aan de praktijk, is een verificatie uitgevoerd. In Tabel 6 zijn hiertoe de resultaten van de mathematische simulaties vergeleken met die van de full-scale proeven.

In Tabel 7 en 8 zijn de resultaten van de mathematische simulaties opgenomen. Deze zijn de dynamische uitbuiging, de grootte van de voertuigvertragingen in drie richtingen, de samengestelde waarde hiervan uitgedrukt in de ASI, de uitrijhoek en de gierhoek. In Tabel 7 zijn de standaard simulaties gegeven met de volgende drie typen voertuigen: licht, middelzwaar en zwaar. Deze standaard simulaties betreffen aanrijdingen met de drie typen geleiderailconstructies onder de volgende combinaties van inrijhoek en inrijsnelheid: 10° -100 km/uur; 15° -100 km/uur; 20° -80 km/uur en 30° -60 km/uur; in totaal 36 simulaties.

Verder is nog een aantal simulaties onder aanvullende inrijcondities voor de drie typen geleiderailconstructies met alleen het middelzware voer-

tuigtype gegeven: het betreft hier 12 simulaties (Tabel 8). De resultaten van de uitgevoerde 4 simulaties voor het vaststellen van het verschil tussen een los en een vastgezet stuurwiel zijn vermeld in Tabel 9.

6.3.1. Verificatie

De verificatie van de mathematische simulaties is uitgevoerd aan de hand van de resultaten van full-scale proeven van de Nederlandse en Duitse onderzoekinstellingen. De bij de simulaties toegepaste geleiderailconstructies vertonen namelijk grote overeenkomst met de door deze instellingen beproefde constructies.

Voor de verificatie zijn de waarden van de uitrijhoek en van de voertuigvertragingen genomen (Tabel 6). Van de voertuigvertragingen zijn alleen de waarden in langs- en dwarsrichting opgenomen, aangezien bij de full-scale proeven in de verticale richting geen waarden bekend zijn. Verder dient er rekening mee gehouden te worden dat de waarden van de mathematische simulaties niet direct met die van de full-scale proeven te vergelijken zijn, aangezien in het eerste geval de gemiddelde voertuigvertragingen over 50 ms zijn genomen en in het tweede geval de gefilterde piekvertragingen. De laatste genoemde waarden vallen iets hoger uit. De verificatie heeft met drie verschillende voertuigmassacategorieën onder een aantal inrijcondities plaats gevonden.

Als resultaat van de verificatie kan worden gegeven dat de verschillen tussen de resultaten van de mathematische simulaties niet veel afwijken van die van de full-scale proeven. Wat de uitrijhoeken betreft is het verschil niet meer dan 4° (afgezien van de grote uitschieters bij de full-scale proeven die reeds in par. 6.2 zijn besproken).

De afwijking bij de voertuigvertragingen is relatief wat groter dan bij de uitrijhoeken. De grootste afwijking is te constateren bij de massacategorie van 1200 kg bij de inrijconditie 100 km/uur en 15° . De piekvertraging in dwarsrichting is hier bij de full-scale proeven 5,6 g meer dan bij de mathematische simulaties. Bij de overige gevallen is de afwijking niet meer dan 2,8 g. Gezien het feit dat piekvertragingen hoger uitvallen dan gemiddelde vertragingen over 50 ms, kan deze afwijking als acceptabel worden beschouwd.

6.3.2. Voertuigvertragingen

De ASI-waarde is een maat om de ernst van de aanrijding aan te geven. Ze kan worden gehanteerd om bij een aanrijding de verschillende typen geleiderailconstructies onderling te vergelijken onder diverse variabelen zoals inrijhoek, inrijsnelheid en voertuigmassa.

Uit de gegevens van Tabel 7 en 8 is te herleiden dat onder diverse inrijcondities de stijve constructie met een waarde van 1,1 de grootste ASI-waarde te zien geeft. De flexibele constructie geeft een waarde die ca. 30% lager ligt ($ASI=0,8$). Deze cijfers hebben betrekking op de gemiddelde waarden van de drie voertuigtypen. Als onderscheid naar het type voertuig wordt gemaakt, blijkt dat voor alle drie typen geleiderailconstructies het zwaarste type voertuig een ASI-waarde geeft die ca. 35% geringer is dan van het lichtste type voertuig. Als beide resultaten worden gecombineerd blijkt dat de hoogste ASI-waarde ($=1,4$) wordt gevonden bij een aanrijding van het lichtste voertuigtype tegen de stijve geleiderailconstructie.

In Afbeelding 1 is voor het middelzware voertuigtype de relatie tussen de ASI-waarde en de dwarscomponent van de inrijsnelheid (uitgedrukt in $v \cdot \sin \alpha$) voor de drie typen geleiderailconstructies aangegeven. Afbeelding 2 geeft dezelfde relatie voor het lichte en zware voertuigtype en voor de stijve en flexibele geleiderailconstructie.

Een vergroting van de inrijhoek met 5° heeft bij kleine inrijhoeken (van 10° naar 15°) meer effect op de ASI dan bij grote inrijhoeken (van 25° naar 30°). In het eerste geval stijgt de ASI-waarde met tenminste 20%. Dit geldt bij een snelheid van 100 km/uur voor alle beschouwde constructies en voertuigen, met uitzondering van het zwaarste type voertuig bij een flexibele constructie; hierbij blijft de ASI-waarde onveranderd. In het tweede geval geeft een hoekvergroting van 25° naar 30° bij 60 km/uur bij geen van de constructies en voertuigen een duidelijke verandering te zien.

Een verhoging van de snelheid met 20 km/uur geeft vanaf 60 km/uur bij de flexibele constructie nauwelijks een stijging van de ASI-waarde te zien. Bij de stijve constructie loopt de ASI-waarde gemiddeld met 35% op. Eenzelfde verhoging van de voertuigsnelheid van 40 km/uur naar 60 km/uur

geeft voor alle drie constructietypen een grotere ASI-waarde, waarbij de flexibele constructie de grootste toename te zien geeft.

De tendenzen die omtrent de veranderingen van de ASI-waarden onder diverse inrijcondities zijn aangegeven, zijn voor een groot deel te verklaren uit de dynamische mechanica. De ASI-waarden zijn afgeleid van de voertuigvertraging. Denken we het proces sterk gelineariseerd dan is volgens de wet van Newton ($F = m * a$, $F =$ kracht, $m =$ massa, $a =$ vertraging) de vertraging groter bij een toenemende kracht en kleiner bij een toenemende massa. Ten aanzien van de massa is dit uit de simulaties gebleken. De kracht is verder recht evenredig met het kwadraat van de snelheidscomponent in dwarsrichting ($v * \sin \alpha$)². Hierin is v de voertuigsnelheid ten tijde van het eerste contact en α is de inrijhoek. Daarnaast is bij een gegeven hoeveelheid te vernietigen energie de kracht omgekeerd evenredig met de remweg. Bij een aanrijding met een geleiderailconstructie is dit de dynamische uitbuiging van de geleiderailconstructie. In het algemeen gaf bij de simulaties een grotere snelheid een grotere ASI-waarde. Echter niet bij de flexibele constructie bij snelheden boven de 60 km/uur. Een verklaring daarvoor lijkt de grote dynamische uitbuiging onder deze condities.

Dat een vergroting van de inrijhoek bij kleine inrijhoeken een groter effect op de ASI heeft dan bij grotere inrijhoeken is te verklaren uit het feit dat $\sin \alpha$ in het eerste geval relatief sterker toeneemt dan in het tweede geval. Bij het kwadrateren wordt dit effect nog versterkt. Uit de simulaties is gebleken dat de maximale waarde voor de ASI bij de flexibele geleiderailconstructie 0,9 bedroeg. In ieder geval onder de normwaarde van 1,0 voor inzittenden zonder gebruik van de autogordel. De maximale waarde voor een stijve constructie bedroeg 1,4; dit is onder de normwaarde van 1,6 voor inzittenden met het gebruik van de autogordel. Gegeven het feit dat voor wat betreft de uitwerking op de inzittenden een ASI-waarde bij flankaanrijdingen tegen geleiderailconstructies een geflatteerde indruk geeft, zal ook een aanrijding tegen een stijve geleiderailconstructie naar alle waarschijnlijkheid geen ernstig letsel opleveren.

6.3.3. Uitrijhoek

De waarden voor de uitrijhoek zijn voor de drie typen geleiderailconstructies en voertuigen eveneens in Tabel 7 en 8 gegeven.

De grootte van de uitrijhoek is onder de diverse inrijcondities voor de stijve geleiderailconstructie gemiddeld ca. 50% hoger dan de waarden voor de flexibele constructie. Absoluut gezien betekent dit een vergroting van de uitrijhoek met ca. $4,5^{\circ}$. De waarden hebben betrekking op het gemiddelde over de drie voertuigtypen. Als nader wordt gesplitst naar het voertuigtype blijkt dat het zwaarste voertuigtype bij de stijve constructie wat grotere waarden voor de uitrijhoek geeft dan de twee andere voertuigtypen; bij de flexibele constructie zijn de waarden voor dit zwaarste voertuigtype geringer.

Bij een vergroting van de inrijhoek met 5° neemt de uitrijhoek met ca. 2° toe. Dit geldt voor nagenoeg alle typen constructies en alle typen voertuigen. In Afbeelding 3 is deze relatie tussen in- en uitrijhoek met de voertuigsnelheid als parameter voor het middelzware voertuig grafisch weergegeven. Hieruit blijkt onder meer dat het verschil tussen de stijve en flexibele geleiderailconstructies in termen van grootte van de uitrijhoek groter is naarmate inrijnsnelheid geringer is.

De invloed van diverse variabelen op de uitrijhoek is niet eenvoudig te verklaren. Vele dynamische effecten zoals de uitbuiging van de constructie en het massa-traagheidsmoment van het voertuig spelen hierbij een rol. In het kader van dit consult is de samenhang verder niet onderzocht.

6.3.4. Gierhoek

Als de lengte-as van het voertuig een bepaalde hoek maakt met de baan die het zwaartepunt beschrijft, ontstaat een gierhoek. Bij een aanrijding tegen een geleiderailconstructie kan een dergelijke hoek als volgt ontstaan. Bij de eerste botsing van het voertuig met de geleiderailconstructie wordt het voertuig van richting veranderd. Hierbij vallen van het voertuig de lengte-as en de baan van het zwaartepunt veelal samen. Bij het uitrijden volgt in de meeste gevallen nog een tweede botsing van de achterzijde van het voertuig met de constructie, het zogenaamde rear-end effect. Hierdoor kan het voertuig een rotatie ondergaan, waardoor een gierhoek ontstaat.

In Tabel 7 en 8 zijn de gierhoeken opgenomen die bij de mathematische simulaties zijn geregistreerd. Ze zijn aangegeven met een positieve en negatieve waarde. Een negatieve waarde houdt in dat de neus van het voertuig wijst in de richting van de geleiderailconstructie.

Bij een positieve waarde wijst de neus in de richting van de rijbaan. De eerst genoemde richting is gunstiger met betrekking tot het verdere verloop van de aanrijding.

Uit Tabel 7 met de resultaten van de standaardsimulaties is op te maken dat de meeste gierhoeken een gunstige negatieve waarde hebben. Dit houdt in dat het voertuig de neiging heeft naar de geleiderailconstructie terug te keren. Het valt hierbij op dat naarmate het voertuig zwaarder is de gierhoek een minder grote waarde heeft; voor het zwaarste type voertuig is deze waarde daarbij vaak positief. Bij het zwaarste type voertuig is de spreiding van de gierhoek (verschil tussen maximale en minimale waarde) het geringst en bedraagt 12° . Deze waarde is bij het middelzware en bij het lichtste type voertuig resp. 19° en 74° . De hoge waarde bij het lichtste voertuigtype wordt veroorzaakt door één simulatie met de stijve geleiderailconstructie die bij een inrijhoek en inrijsnelheid van resp. 30° en 60 km/uur is uitgevoerd; hierbij bedroeg de gierhoek -78° . Een verklaring voor deze zeer hoge waarde is moeilijk te geven als de veel lagere waarden voor de gierhoek onder iets gewijzigde botscondities in ogenschouw worden genomen. In het kader van dit consult is dit verschijnsel verder niet onderzocht. Als deze extreem hoge waarde buiten beschouwing wordt gelaten, is de spreiding van de waarde van de gierhoek van het lichtste voertuigtype nog 29° .

Als wordt gekeken naar de invloed van het type geleiderailconstructie op de grootte van de gierhoek zijn geen duidelijke tendenzen aan te geven. Voor het zwaarste voertuigtype is er geen verschil te bespeuren; voor het lichte en middelzware voertuigtype lijkt een stijvere constructie de grootte van de gierhoek enigszins te doen toenemen.

De invloed die de verandering van de inrijsnelheid en inrijhoek op de gierhoek heeft, is noch met de cijfers van Tabel 7, noch met die van Tabel 8 aan te tonen. Het blijkt dat de waarden van de gierhoek veel wisselvalligheid vertonen waar, afgezien van een aantal voertuigkenmerken, in het kader van dit consult geen nadere verklaring voor gegeven kan worden.

Geconstateerd is dat het lichtste voertuigtype de grootste rotatie on-

dergaat. Dit heeft te maken met de stabiliteit van het voertuig om de hoogte-as. Deze hangt voor het belangrijkste deel af van de grootte van de wielbasis en het massatraagheidsmoment om de hoogte-as. Naarmate deze grootheden grotere waarden hebben, neemt de voertuigstabiliteit toe. Vooral het massatraagheidsmoment is hierop van veel invloed. Uit de cijfers in Bijlage 3 blijkt dat van de gesimuleerde voertuigen het massatraagheidsmoment van het zwaarste voertuig ten opzichte van het lichtste voertuig vijf maal groter is. De rotatie die het voertuig aan het einde van de aanrijding met de geleiderailconstructie ondergaat wordt vooral veroorzaakt door het rear-end effect. De rotatierichting is hierbij in de meeste gevallen gunstig, namelijk in de richting van de constructie.

6.3.5. Vastzetten stuurwiel

Teneinde de invloed van het al-dan-niet vastzetten van het stuurwiel op het verloop van een aanrijding tegen een geleiderailconstructie te bepalen, zijn twee extra simulaties uitgevoerd (zie Tabel 9). Deze simulaties zijn met het middel-stijve constructietype uitgevoerd met het middelzware voertuigtype onder de botsconditie 100 km/u en een inrijhoek van 10° en 20° . In de tabel worden de simulaties met stuur vast en los onder dezelfde botscondities met elkaar vergeleken.

Uit de resultaten blijkt dat de invloed van het vastzetten van het stuur nihil is met betrekking tot de grootte van ASI en uitrijhoek. De waarde van de gierhoek laat een zeer gering verschil zien van ten hoogste $0,6^{\circ}$.

6.4. Relatie tussen de uitkomsten van het ongevallenonderzoek en de mathematische simulaties

Uit het ongevallenonderzoek is gebleken dat drie soorten gevolgen bij een aanrijding tegen een geleiderailconstructie nogal frequent voorkomen: overschrijding van de rijbaan met als gevolg secundaire aanrijdingen, roll-overs en doorschrijding van de geleiderailconstructie. Aangezien een verdeling van het type constructie naar stijfheid niet kon worden gemaakt, kan hierop nauwelijks nader worden ingegaan. Wel kunnen in meer algemene zin uitkomsten van het ongevallenonderzoek naast de resultaten van de mathematische simulaties worden gelegd.

Bij de mathematische simulaties is vastgesteld dat onder de gekozen inrijcondities er geen verschil was tussen het stuurwiel vast en los en dat de de geregistreeerde uitrijhoeken zich tussen de 2° en 18° bevinden. In de meeste gevallen trad hierbij nog een voertuigrotatie op die het voertuig weer in de richting van de geleiderailconstructie dwong. Op zich zijn dit vrij gunstige condities die met inbegrip van een juiste stuurcorrectie er niet toe hoeven te leiden dat het voertuig de gehele rijbaan overschiet. Vinden wel stuurmanoeuvres plaats, dan zal naar mate de uitrijhoek groter is, ook de kans op een secundair ongeval groter zijn. Deze kans wordt bepaald door factoren zoals verkeersintensiteit, afstand van de constructie tot de rijbaan, rijbaanbreedte. Verder is bij de mathematische simulaties vastgesteld dat lichtere voertuigen ten gevolge van een aanrijding tegen de geleiderailconstructie een vrij grote rotatie kunnen ondergaan. Hoewel bij de simulaties geen roll-overs zijn geconstateerd, zou dit in de praktijk wel kunnen plaatsvinden. Uit ongevalgegevens zou dan moeten blijken dat vooral de lichtere voertuigen bij de roll-over ongevallen oververtegenwoordigd zijn. Op dit kenmerk is het SWOV-ongevalbestand (O-bestand) nog nader onderzocht. Hieruit bleek dat er een gelijkmatige verdeling was naar voertuiggewicht over de ongevallen waarbij het voertuig over de kop was gegaan.

Uit het bovenstaande kan worden geconcludeerd dat met betrekking tot de afloop van een aanrijding met een geleiderailconstructie de ongevals-situatie verschilt van de onderzoeksituatie (full-scale proeven, mathematische simulaties). De oorzaak kan liggen in het feit dat in de onderzoeksituatie in de eerste plaats de inrijcondities niet goed op de praktijksituatie zijn afgestemd. In de onderzoeksituatie rijdt het voertuig namelijk in een rechte lijn tegen de geleiderailconstructie; er wordt hierbij niet afgeremd en de inrijhoek bedraagt niet meer dan 30° . In de ongevalssituatie kan wel worden geremd en/of er kunnen stuurmanoeuvres worden uitgevoerd, hetgeen kan resulteren in grotere inrijhoeken en in voertuigrotatie.

In de tweede plaats kan de bestuurder tijdens en na de aanrijding met de geleiderailconstructie het verdere verloop van de aanrijding nadelig beïnvloeden door het uitvoeren van onjuiste rem- en stuurmanoeuvres. Dit kan dan te grote uitrijhoeken en roll-overs tot gevolg hebben. In de onderzoeksituatie zijn dergelijke manoeuvres niet gesimuleerd.

Op grond van bovenstaande constatering en zouden de uitgevoerde simulaties moeten worden uitgebreid met rem- en stuurbewegingen. In principe is dit met het VEDYAC-model mogelijk. Dat dit niet is uitgevoerd heeft te maken met het feit dat de ten behoeve van dit consult beschouwde typen geleiderailconstructies in grote trekken aan dezelfde inrijcondities en criteria zijn onderworpen als tot dusver bij geleiderailbeproevingen gebruikelijk was. Andere meer op de ongevalssituatie afgestemde inrijcondities en criteria zullen eerst moeten worden afgeleid uit analyses van ongevallen en vervolgens ter discussie gesteld.

7. CONCLUSIE

Ten behoeve van het onderscheid van geleiderailconstructies in stijfheid is een van empirie afgeleide typering gekozen die werd gebaseerd op het verband tussen inrijcondities, uitvoeringsvorm van de constructie en grondweerstand. Het verband tussen deze aspecten werd gelegd met mathematische simulaties; als referentie dienden praktijkproeven.

Gebleken is dat het met de gegevens van in de literatuur beschreven full-scale proeven moeilijk is het functioneren van diverse typen geleiderailconstructies onderling te vergelijken. Dit in de eerste plaats vanwege het feit dat de variatie in de diverse typen (bijv. naar stijfheid zoals bij dit consult) niet groot is. Dit geldt ook voor de variatie in inrijcondities. Verder zijn de meeste proeven vele jaren geleden uitgevoerd, wat consequenties heeft voor de registratiemethodiek, die het beoordelen bemoeilijken.

De bezwaren van geringe variatiemogelijkheden gelden niet bij de mathematische simulaties. Ook kan bij mathematische simulaties de registratie eenduidig worden uitgevoerd. Aangezien is gebleken dat de resultaten van de mathematische simulaties een redelijke overeenkomst hadden met die van diverse full-scale proeven, is de beantwoording van de vragen van dit consult in hoofdzaak gebaseerd op de resultaten van de mathematische simulaties.

De volgende resultaten kunnen worden gegeven.

De ernst van een aanrijding tegen een stijve constructie is groter dan die tegen een flexibele constructie. In termen van de waarde van de samengestelde voertuigvertraging (ASI) is het verschil gemiddeld ca. 35%. Bij lichtere voertuigen is de ernst van een aanrijding tegen een geleiderailconstructie groter dan bij zwaardere voertuigen. Bij kleine inrijhoeken geeft een vergroting van de inrijhoek voor zowel de flexibele als de stijve constructie in het algemeen een hogere ASI-waarde. Hogere snelheden geven bij de stijvere constructie vaker grotere ASI-waarde te zien dan bij de flexibele constructie.

De mate van terugkaatsing kan worden aangegeven in termen van de grootte van de uitrijhoek en de gierhoek. Naarmate de constructie flexibeler is, is de uitrijhoek kleiner. Onder de diverse inrijcondities geeft een stijve constructie uitrijhoeken die gemiddeld ca. 5° groter zijn dan de

uitrijhoeken bij een flexibele constructie. De combinatie van grote inrijhoek en lage snelheid (die op de enkelbaanswegen vaker zal voorkomen dan op de dubbelbaanswegen) geeft grotere uitrijhoeken dan de combinatie kleine inrijhoek en hoge snelheid. Voor de stijve constructie geldt dit in sterkere mate dan voor de flexibele constructie. Gemiddeld kan echter gesteld worden dat een vergroting van de inrijhoek met ca. 5° in het algemeen een vergroting van de uitrijhoeken geeft met ca. 2° . De grootte van de gierhoek is nauwelijks afhankelijk van het constructie-type, wel van diverse voertuigkenmerken, waarvan de grootte van het massatraagheidsmoment om de hoogte-as de grootste invloed heeft.

Bij de presentatie van deze conclusies die op mathematische simulaties zijn gebaseerd, dienen twee kanttekeningen te worden geplaatst. In de eerste plaats zijn mathematische simulaties een benadering van de werkelijkheid. Hoewel de verrichte verificatie een redelijke mate van overeenstemming met full-scale proeven heeft aangetoond, kan in een ongevalsituatie - mede door het gedrag van de bestuurder - een afwijkend patroon optreden. In de tweede plaats is bij de mathematische simulaties de ernst van de aanrijding gebaseerd op de grootte van de ASI-waarde. Hoewel deze goed toepasbaar is om constructies onderling te vergelijken, dient bij de bepaling van de absolute ernst van een aanrijding nog een koppeling plaats te vinden met de uitwerking van de voertuigvertraging op de inzittenden. De ontwikkeling van modellen is op dit moment nog niet zo ver dat dit kan worden uitgevoerd.

Ongevallenonderzoek is, althans met de ter beschikking staande gegevens, niet goed bruikbaar gebleken om het functioneren van diverse typen geleiderailconstructies verdeeld naar stijfheid bij een aanrijding onderling te vergelijken. Dit vanwege de grote diversiteit in typen geleiderailconstructies in combinatie met de invloed van de grondweerstand die onbekend is. Wel kan worden nagegaan wat de gevolgen van dergelijke aanrijdingen in het algemeen zijn.

Uit het verrichte ongevallenonderzoek blijkt dat in ca. 25% van de ongevallen waarbij een voertuig in de eerste fase van het ongeval met een geleiderailconstructie in aanraking is gekomen, het voertuig vervolgens de rijbaan weer op of over schiet. In de meeste gevallen leidt dit tot een secundaire aanrijding, hetzij met een ander vervoermiddel hetzij met

een obstakel. Als een voertuig in de tweede fase van een ongeval met een geleiderailconstructie in aanraking komt, heeft dit in weinig gevallen tot gevolg dat het voertuig vervolgens weer de rijbaan op schiet. Dit zal voor een belangrijk deel het gevolg kunnen zijn van een reductie van de voertuigsnelheid.

Uit het verrichte onderzoek werd een indicatie voor nader onderzoek verkregen aangaande een aantal kenmerken waarbij de ernst van een aanrijding tegen een geleiderailconstructie mogelijk hoger is: een aanrijding op een enkelbaansweg in plaats van op een dubbelbaansweg; als ten gevolge van een aanrijding tegen een geleiderailconstructie een roll-over plaats vindt; als een voertuig door een geleiderail heen rijdt; als er een secundaire aanrijding plaats vindt.

De afloop van een aanrijding in de ongevalssituatie kan in een aantal opzichten van die van de onderzoeksituatie (full-scale proeven, mathematische simulaties) afwijken. Als oorzaken kunnen worden genoemd de in de onderzoeksituatie gehanteerde inrijcondities die waarschijnlijk niet goed op de ongevalssituatie zijn afgestemd en de door de bestuurder uitgevoerde rem- en stuurmanoeuvres die niet in de onderzoeksituatie zijn gesimuleerd. Het is zeer wenselijk in een (basis)onderzoek meer op de ongevalssituatie afgestemde beproevingscondities vast te stellen.

Resumerend kan op grond van de bij dit consult gehanteerde beproevingcondities worden gesteld dat een stijve geleiderailconstructie grotere voertuigvertragingen en grotere uitrijhoeken zal geven dan de flexibele constructie. Voor zover de kennis op dit ogenblik reikt kan worden gesteld dat in absolute zin het verschil in de grootte van de voertuigvertraging niet zodanig groot dat is dit zal leiden tot aanzienlijk ernstiger letsel voor de inzittenden. Het verschil in uitrijhoek (ca. 5°) tussen beide typen constructies geeft bij ongecorrigeerd voertuiggedrag een iets grotere kans op secundaire ongevallen, onder meer afhankelijk van de verkeersintensiteit.

Bij van de beproevingscondities afwijkende (ongecontroleerde) voertuigmanoeuvres ontstaat per ongeval een dermate onvoorspelbaar verloop dat het verschil in werking tussen de flexibele en stijve geleiderailconstructie daarop slechts een marginale invloed zal uitoefenen.

Gezien de relatief geringe onderlinge verschillen tussen de meest flexi-

bele en stijve geleiderailconstructie kan worden overwogen een minder grote diversiteit aan geleiderailconstructies te plaatsen.

LITERATUUR

CBS (1977). Statistiek voor motorvoertuigen 1 augustus 1976.
Staatsuitgeverij, 's Gravenhage, 1977.

Lindeijer, J.E. (1983). Kwantitatief inzicht in de toedracht van verkeersongevallen. R-83-20. SWOV, Leidschendam, 1983.

RWS (1974). Bermbeveiliging in aardebanen. ROA VII. Rijkswaterstaat, 's Gravenhage, 1974.

RWS (1980). Ontwerpvoertuigen. Rapport nr. DVK 80-06. Rijkswaterstaat 's Gravenhage, 1980.

Schoon, C.C. (1982). RIMOB-obstakelbeveiliger met rimpelbuizen. R-82-38. SWOV, Leidschendam, 1982.

SWOV (1970). Bermbeveiliging. Een beschrijving van de ontwikkelde geleiderailconstructies. R-70-1. SWOV, 1970.

SWOV (Schoon, C.C. met medewerking van Lindeijer, J.E.) (1982). Wegbermongevallen; Omvang, ontwikkeling en kenmerken van belang bij wegbermongevallen vergeleken met die van alle overige ongevallen. R-82-13. SWOV, Leidschendam, 1982.

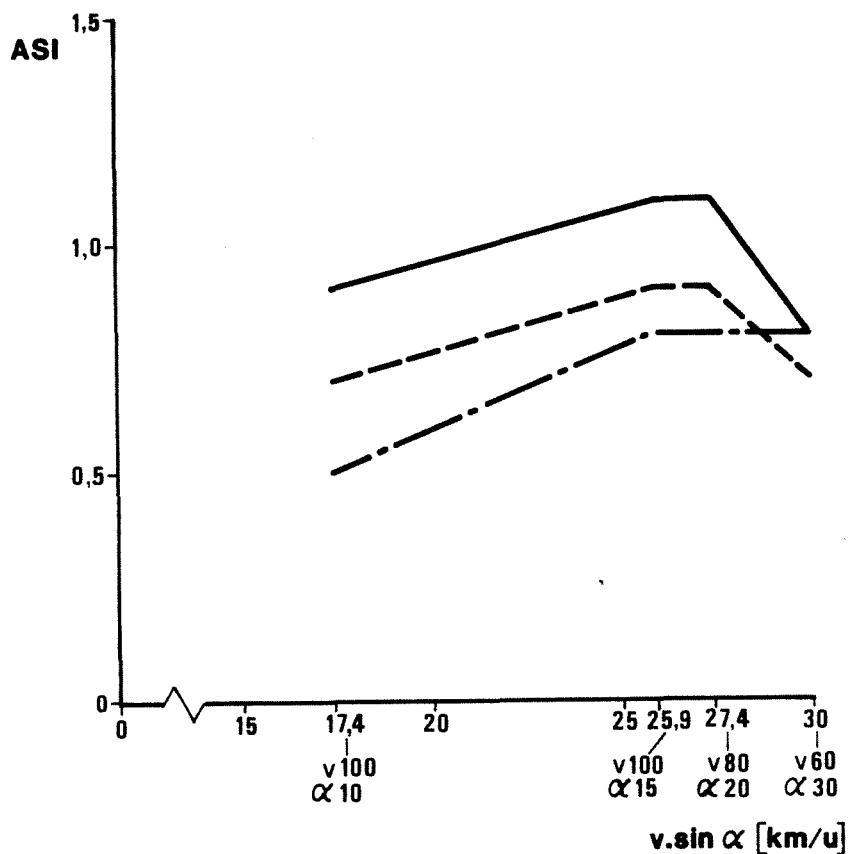
AFBEELDINGEN 1 T/M 3

Afbeelding 1. Relatie tussen de dwarscomponent van de inrijsnelheid (uitgedrukt in $v \cdot \sin \alpha$) en de voertuigvertragingen (uitgedrukt in de ASI) van gesimuleerde aanrijdingen met de drie typen geleiderailconstructies stijf, middelstijf en flexibel (voertuigtype: middel-zwaar).

Afbeelding 2. Relatie tussen de dwarscomponent van de inrijsnelheid (uitgedrukt in $v \cdot \sin \alpha$) en de voertuigvertragingen (uitgedrukt in de ASI) van gesimuleerde aanrijdingen met twee typen geleiderailconstructies (stijf en flexibel) voor twee typen personenauto's (licht en zwaar).

Afbeelding 3. Relatie tussen de inrijhoek en uitrijhoek met als parameter de inrijsnelheden 60, 80 en 100 km/uur van gesimuleerde aanrijdingen met de stijve en flexibele geleiderailconstructies voor de middelzware personenauto.

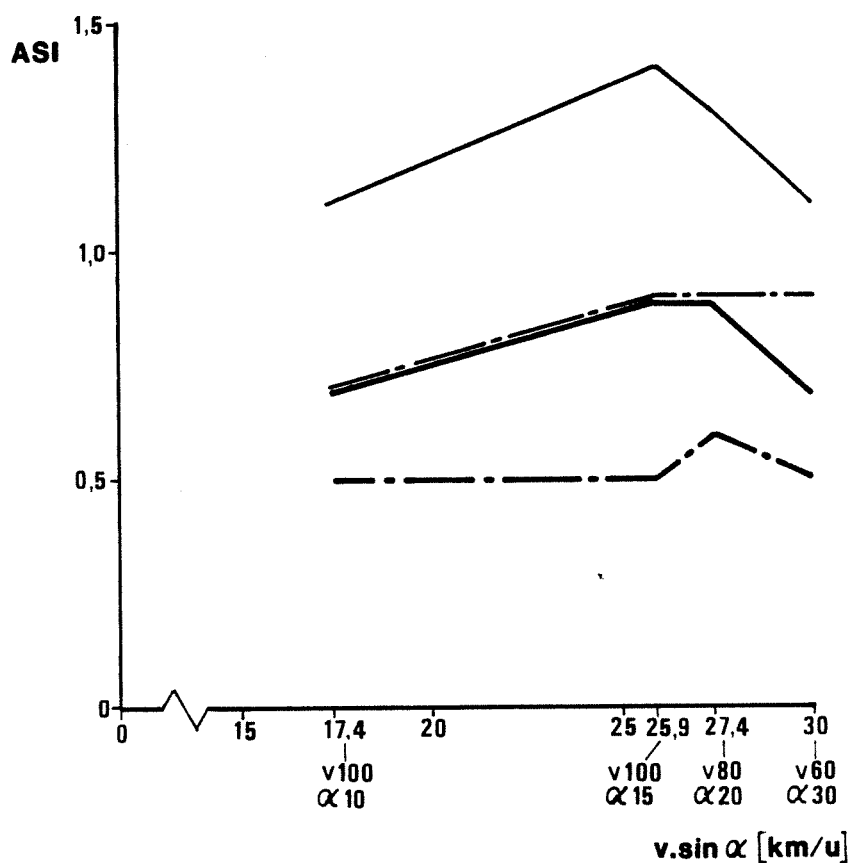
- stijve constructie
- middelstijve constructie
- .-.-.- flexibele constructie



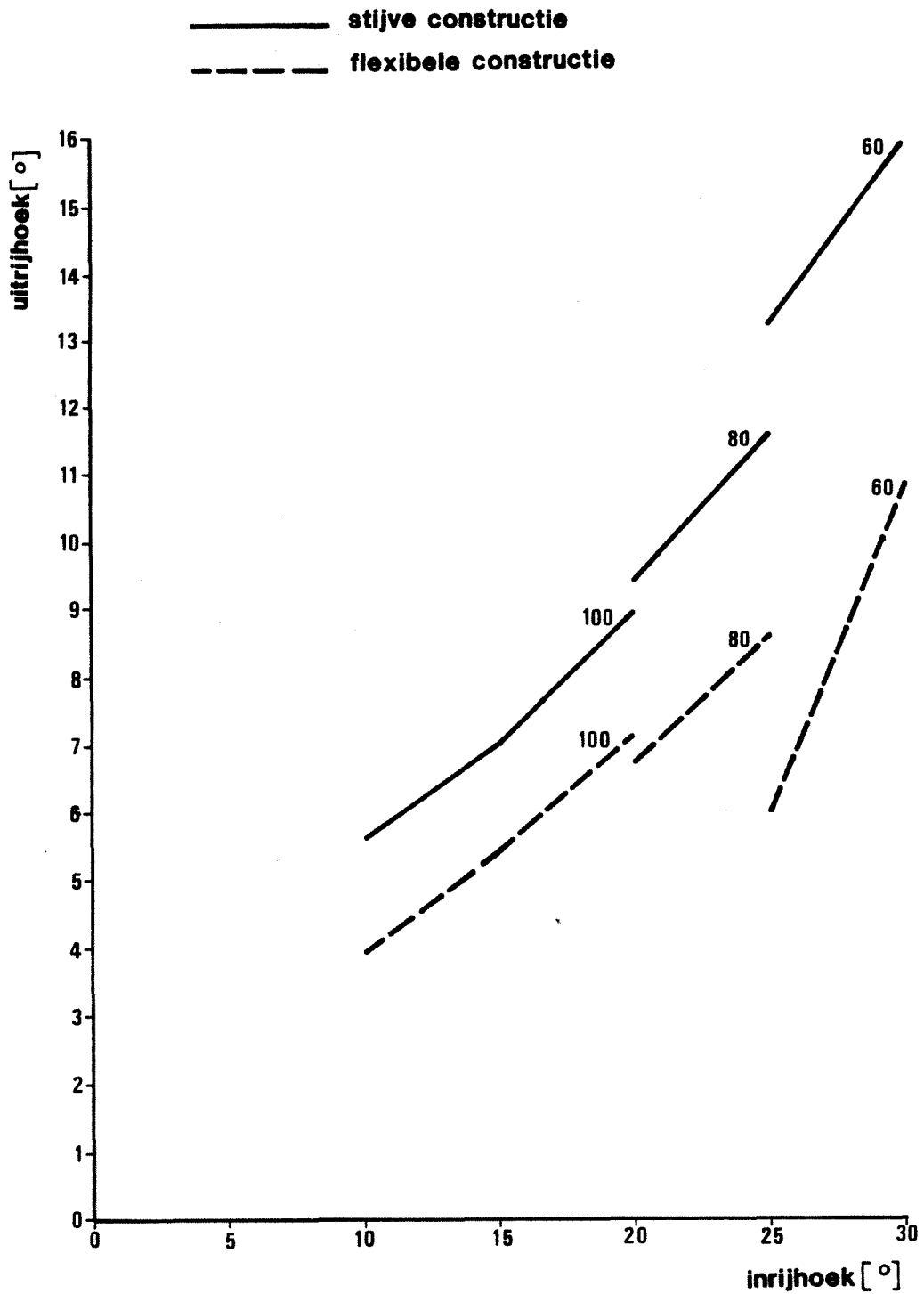
Afbeelding 1. Relatie tussen de dwarscomponent van de inrijnsnelheid (uitgedrukt in $v \cdot \sin \alpha$) en de voertuigvertragingen (uitgedrukt in de ASI) van gesimuleerde aanrijdingen met de drie typen geleiderailconstructies stijf, middelstijf en flexibel (voertuigtype: middel-zwaar).

vrtg - constructie

- licht - stijf
- - - licht - flexibel
- zwaar - stijf
- - - zwaar - flexibel



Afbeelding 2. Relatie tussen de dwarscomponent van de inrijsnelheid (uitgedrukt in $v \cdot \sin \alpha$) en de voertuigvertragingen (uitgedrukt in de ASI) van gesimuleerde aanrijdingen met twee typen geleiderailconstructies (stijf en flexibel) voor twee typen personenauto's (licht en zwaar).



Afbeelding 3. Relatie tussen de inrijhoek en uitrijhoek met als parameter de inrijsnelheden 60, 80 en 100 km/uur van gesimuleerde aanrijdingen met de stijve en flexibele geleiderailconstructies voor de middelzware personenauto.

TABELLEN 1 T/M 9

Tabel 1. Het verdere verloop van ongevallen met personenauto's nadat in de eerste fase van het ongeval een geleiderail is aangereden, met de verdeling naar wegtype, rechte weg/bocht, en zijde van de weg waar de geleiderail is aangereden (O-bestand, 1976-1977).

Tabel 2. Het verdere verloop van ongevallen met personenauto's nadat in de tweede fase van het ongeval een geleiderail is aangereden, met de verdeling naar wegtype, rechte weg/bocht, en zijde van de weg waar de geleiderail is aangereden (O-bestand, 1976-1977).

Tabel 3A. Het verdere verloop van de ongevallen met dodelijke afloop met personenauto's nadat in de eerste fase van het ongeval een geleiderail is aangereden, met de verdeling naar wegtype, rechte weg/bocht, en zijde van de weg waar de geleiderail is aangereden (D-bestand, 1978-1982).

Tabel 3B. Het verdere verloop van de ongevallen met dodelijke afloop met personenauto's nadat in de tweede fase van het ongeval een geleiderail is aangereden, met de verdeling naar wegtype, rechte weg/bocht, en zijde van de weg waar de geleiderail is aangereden (D-bestand, 1978-1982).

Tabel 4. Aantal ongevallen met dodelijke afloop op dubbelbaanswegen waarbij zowel alle typen geleiderailconstructies als alleen de constructie met één rail betrokken zijn, met een verdeling naar voertuigmanoeuvre.

Tabel 5. Overzicht van in de literatuur beschreven full-scale proeven met drie typen geleiderailconstructies.

Tabel 6. Gegevens ten behoeve van de verificatie van de mathematische simulaties aan de hand van de resultaten van full-scale proeven.

Tabel 7. Overzicht van de resultaten van de standaard mathematische simulaties met drie voertuigtypen en drie geleiderailtypen voor de volgende vier combinaties van inrijnsnelheid en inrijhoek: 100 km/uur-10^o, 100 km/uur-15^o. 80 km/uur-20^o, 60 km/uur-30^o.

Tabel 8. Overzicht van de resultaten van de aanvullende wathematische simulaties met het middelzware voertuigtype voor drie geleiderailtypen en de volgende vier combinaties van inrijsnelheid en inrijhoek: 100 km/uur-20°, 80 km/uur-25°, 60 km/uur-25°, 40 km/uur-30°.

Tabel 9. Resultaten van de wathematische simulaties uitgevoerd om de invloed van het al dan niet vastzetten van het stuurwiel op een aanrijding tegen een geleiderailconstructie te onderzoeken. De simulaties zijn met de middelstijve geleiderail uitgevoerd met het middelzware voertuigtype.

Plaats aanrijding	Voertuig komt in omgeving van rail tot stilstand			Voertuig slaat over de kop			Voertuig schiet de rijbaan op/over			Voertuig rijdt door/ over de rail			Totaal		
	wel sec.	geen sec.	totaal	wel sec.	geen sec.	totaal	wel sec.	geen sec.	totaal	wel sec.	geen sec.	totaal	wel sec.	geen sec.	totaal
	aanrijding			aanrijding			aanrijding			aanrijding			aanrijding		
Dubbelbaans															
Rechte weg	-	34	34	-	4	4	7	3	10	-	-	-	7	41	48
w.v. links	-	20	20	-	2	2	4	1	5	-	-	-	4	23	27
w.v. rechts	-	14	14	-	2	2	3	2	5	-	-	-	3	10	21
Bocht	-	11	11	-	2	2	3	2	5	-	-	-	3	15	18
w.v. links	-	5	5	-	2	2	3	2	5	-	-	-	3	9	12
w.v. rechts	-	6	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	6
Totaal	-	45	45	-	6	6	10	5	15	-	-	-	10	56	66
Enkelbaans															
Rechte weg	-	1	1	-	-	-	3	2	5	-	-	-	3	3	6
w.v. links	-	1	1	-	-	-	1	-	1	-	-	-	1	1	2
w.v. rechts	-	-	-	-	-	-	2	2	4	-	-	-	2	2	4
Bocht	-	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	5
w.v. links	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2
w.v. rechts	-	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3
Totaal	-	6	6	-	-	-	3	2	5	-	-	-	3	8	11
Totaal D + E	-	51	51	-	6	6	13	7	20	-	-	-	13	64	77
w.v. links	-	28	28	-	4	4	8	3	11	-	-	-	8	35	43
w.v. rechts	-	23	23	-	2	2	5	4	9	-	-	-	5	29	34

Tabel 1. Het verdere verloop van ongevallen met personenauto's nadat in de eerste fase van het ongeval een geleiderail is aangereiden, met de verdeling naar wegtype, rechte weg/bocht, en zijde van de weg waar de geleiderail is aangereiden (0-bestand, 1976-1977).

Plaats aanrijding	Voertuig komt in omgeving van rail tot stilstand			Voertuig slaat over de kop			Voertuig schiet de rijbaan op/over			Voertuig rijdt door/ over de rail			Totaal		
	wel sec. aanrijding	geen sec.	totaal	wel sec. aanrijding	geen sec.	totaal	wel sec. aanrijding	geen sec.	totaal	wel sec. aanrijding	geen sec.	totaal	wel sec. aanrijding	geen sec.	totaal
Dubbelbaans															
Rechte weg	1	18	19	-	5	5	1	-	1	-	-	-	2	23	25
w.v. links	-	8	8	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	9	9
w.v. rechts	1	10	11	-	4	4	1	-	1	-	-	-	2	14	16
Bocht															
v.w. links	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
w.v. rechts	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totaal	1	18	19	-	5	5	1	-	1	-	-	-	2	23	25
Enkelbaans															
Rechte weg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
w.v. links	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
w.v. rechts	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bocht															
w.v. links	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
w.v. rechts	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totaal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totaal D + E	1	18	19	-	5	5	1	-	1	-	-	-	2	23	25
w.v. links	-	8	8	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	9	9
w.v. rechts	1	10	11	-	4	4	1	-	1	-	-	-	2	14	16

Tabel 2. Het verdere verloop van ongevallen met personenauto's nadat in de tweede fase van het ongeval een geleiderail is aangereden, met de verdeling naar wegtype, rechte weg/bocht, en zijde van de weg waar de geleiderail is aangereden (0-bestand, 1976-1977).

Plaats aanrijding	Voertuig komt in omgeving van rail tot stilstand			Voertuig slaat over de kop			Voertuig schiet de rijbaan op/over			Voertuig rijdt door/ over de rail			Totaal		
	wel sec. aanrijding	geen sec.	totaal	wel sec. aanrijding	geen sec.	totaal	wel sec. aanrijding	geen sec.	totaal	wel sec. aanrijding	geen sec.	totaal	wel sec. aanrijding	geen sec.	totaal
Dubbelbaans															
Rechte weg	1	9	10	6	10	16	7	2	9	4	1	5	18	22	40
w.v. links	1	4	5	4	6	10	5	2	7	3	-	3	13	12	25
w.v. rechts	-	5	5	2	4	6	2	-	2	1	1	2	5	10	15
Bocht	-	-	-	1	3	4	2	-	2	1	-	1	4	3	7
w.v. links	-	-	-	-	2	2	1	-	1	-	-	-	1	2	3
w.v. rechts	-	-	-	1	1	2	1	-	1	1	-	1	3	1	4
Totaal	1	9	10	7	13	20	9	2	11	5	1	6	22	25	47
Enkelbaans															
Rechte weg	-	3	3	1	1	2	2	-	2	1	1	2	4	5	9
w.v. links	-	2	2	1	1	2	-	-	-	-	-	-	1	3	4
w.v. rechts	-	1	1	-	-	-	2	-	2	1	1	2	3	2	5
Bocht	1	1	2	-	3	3	1	-	1	-	-	-	2	4	6
w.v. links	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
w.v. rechts	1	1	2	-	3	3	1	-	1	-	-	-	2	4	6
Totaal	1	4	5	1	4	5	3	-	3	1	1	2	6	9	15
Totaal D + E	2	13	15	8	17	25	12	2	14	6	2	8	28	34	62
w.v. links	1	6	7	5	9	14	5	2	8	3	-	3	15	17	32
w.v. rechts	1	7	8	3	8	11	6	-	6	3	2	5	13	17	30

Tabel 3A. Het verdere verloop van de ongevallen met dodelijke afloop met personenauto's nadat in de eerste fase van het ongeval een geleiderail is aangereden, met de verdeling naar wegtype, rechte weg/bocht, en zijde van de weg waar de geleiderail is aangereden (D-bestand, 1978-1982).

Plaats aanrijding	Voertuig komt in omgeving van rail tot stilstand			Voertuig slaat over de kop			Voertuig schiet de rijbaan op/over			Voertuig rijdt door/ over de rail			Totaal		
	wel aanrijding	geen sec.	totaal sec.	wel aanrijding	geen sec.	totaal	wel aanrijding	geen sec.	totaal	wel aanrijding	geen sec.	totaal	wel aanrijding	geen sec.	totaal
Dubbelbaans															
Rechte weg	1	12	13	1	4	5	-	1	1	-	3	3	2	20	22
w.v. links	1	6	7	1	2	3	-	1	1	-	-	-	2	9	11
w.v. rechts	-	6	6	-	2	2	-	-	-	-	3	3	-	11	11
Bocht															
w.v. links	-	1	1	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	2	2
w.v. rechts	-	1	1	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	2	2
w.v. rechts	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totaal	1	13	14	1	5	6	-	1	1	-	3	3	2	22	24
Enkelbaans															
Rechte weg	1	6	7	2	1	3	4	-	4	-	-	-	7	7	14
w.v. links	1	4	5	2	-	2	-	-	-	-	-	-	3	4	7
w.v. rechts	-	2	2	-	1	1	4	-	4	-	-	-	4	3	7
Bocht															
w.v. links	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
w.v. rechts	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totaal	1	6	7	2	1	3	4	-	4	-	-	-	7	7	14
Totaal D + E	2	19	21	3	6	9	4	1	5	-	3	3	9	29	38
w.v. links	2	11	13	3	3	6	-	1	1	-	-	-	5	15	20
w.v. rechts	-	8	8	-	3	3	4	-	4	-	3	3	4	14	18

Tabel 3B. Het verdere verloop van de ongevallen met dodelijke afloop met personenauto's nadat in de tweede fase van het ongeval een geleiderail is aangereden, met de verdeling naar wegtype, rechte weg/bocht, en zijde van de weg waar de geleiderail is aangereden (D-bestand, 1978-1982).

<u>Voertuigmanoeuvre</u>	<u>Aantal dodelijke ongevallen op dubbelbaanswegen</u>	
	Alle typen geleide- rail constructies	Waarvan een constructie met één rail
Voertuig komt in de omgeving van de geleide- rail tot stilstand	24	6
Voertuig slaat over de kop	26	1
Voertuig schiet de rijbaan op/over	12	2
Voertuig rijdt door/ over de geleiderail	9	0
Totaal	71	9

Tabel 4. Aantal ongevallen met dodelijke afloop op dubbelbaanswegen waar-
bij zowel alle typen geleiderailconstructies als alleen de constructie
met één rail betrokken zijn, met een verdeling naar voertuigmanoeuvre.

Type constructie	Land van uitvoering proeven	Inrijhoek (gr)	Voertuigvertragingen ¹⁾			Uitrijhoek (gr)
			langs (g)	dwars (g)	ASI	
Stijf	Amerika	5-27	-	-	0,8-1,5	1-18
	Duitsland	20	4	8	-	5-6
	Nederland	15-20	2	9	-	1-8
Middelstijf	Amerika	20-28	-	-	1,4	4-8
	Duitsland	20	4,5-13	8-11	-	3-7 ²⁾
	Nederland	15-20	1-5	3,5-5,5	-	0-8 ²⁾
Flexibel	Nederland	15-20	1,5	3	-	2-8 ³⁾

1) Piekvertragingen

2) Uitschieters: 20°, 30° en 60°

3) Uitschieters: 25°, 30°

Tabel 5. Overzicht van in de literatuur beschreven full-scale proeven met drie typen geleiderailconstructies.

Voertuigmassa (kg)	Inrijnsnelheid/ Inrijhoek (km/h-gr)	Voertuigvertraging ¹⁾				Uitrijhoek ²⁾	
		mathematische simulaties		full-scale		mathematische simulaties	full-scale
		langs (g)	dwars (g)	langs (g)	dwars (g)	(gr)	(gr)
± 600	80/20	-	-	g.r.	g.r.	5-6	3-4
± 800-1000	100/15	1,5	3	2,9	4,1	5	7
	100/20	-	-	g.r	g.r	8-9	0-8 (20)
	80/20	-	-	g.r	g.r	7	2-3
± 1200	100/15	1,8-1,9	3,1-3,4	1,5-2	3,5-9	4-7	1-8 (60)
	80/20	1,8-2,2	3,5-5,0	1-5	4,5-5,5	3-11	0-8 (30)

1) De vertragingwaarden van de mathematische simulaties zijn de gemiddelde waarden over 50ms; van de full-scale proeven zijn het de gefilterde piekvertragingen. De betekenis van g.r. is: geen registratie.

2) De tussen haakjes aangegeven waarden zijn uitschieters t.o.v. de in de tabel aangegeven waarden.

Tabel 6. Gegevens ten behoeve van de verificatie van de mathematische simulaties aan de hand van de resultaten van full-scale proeven.

Type voertuig	Snelheid/ Inrijhoek (km/h-gr)	Type geleiderail ¹⁾	Dyn. uitbui- ging (cm)	Voertuigvertraging			Uitrij- hoek (gr)	Gier- hoek ²⁾ (gr)	
				langs (g)	dwars (g)	vert. ASI (g)			
Licht	100/10	1	12,9	2,1	6,3	0,5	1,1	5,3	-10,0
		2	24,8	2,6	4,1	0,3	0,8	2,7	-23,1
		3	33,2	1,9	3,7	0,2	0,7	3,3	-15,1
	100/15	1	24,5	2,8	7,0	0,9	1,4	7,0	-16,5
		2	44,5	2,4	5,0	0,8	1,0	4,8	-23,2
		3	56,8	2,7	5,0	0,4	0,9	5,8	-5,1
	80/20	1	21,5	3,1	6,8	1,0	1,3	10,5	-5,6
		2	42,1	2,9	5,8	0,7	1,0	5,2	-25,4
		3	58,1	2,9	5,0	0,5	0,9	6,3	-14,1
	60/30	1	21,1	4,8	5,1	0,9	1,1	9,7	-78,0
		2	41,6	3,9	5,1	0,7	0,9	11,7	-3,8
		3	59,0	3,2	4,9	0,5	0,9	5,7	-17,5
Middel- zwaar	100/10	1	17,3	1,6	4,8	0,3	0,9	5,6	-7,6
		2	32,8	1,3	3,6	0,4	0,7	3,9	-15,8
		3	44,1	1,1	2,5	0,2	0,5	3,9	-9,3
	100/15	1	32,6	2,2	5,9	0,4	1,1	7,0	-13,2
		2	59,2	2,1	4,8	0,3	0,9	6,0	-12,7
		3	83,1	2,9	4,1	0,4	0,8	5,4	-2,9
	80/20	1	32,5	3,6	5,8	0,3	1,1	9,4	-8,4
		2	59,5	2,2	5,8	0,2	0,9	7,0	-15,5
		3	87,4	2,3	4,0	0,1	0,8	6,7	-1,1
	60/30	1	34,5	3,5	3,8	0,3	0,8	15,9	3,2
		2	62,4	3,0	4,0	0,2	0,7	10,1	-7,9
		3	99,2	2,9	4,8	0,2	0,8	10,8	-3,2
Zwaar	100/10	1	28,5	1,4	3,5	0,1	0,7	6,0	0,2
		2	49,2	1,1	2,8	0,1	0,5	4,8	-3,7
		3	66,1	1,1	2,9	0,3	0,5	4,4	-2,1
	100/15	1	56,6	2,2	5,1	0,2	0,9	8,1	-2,9
		2	111,1	1,9	3,4	0,1	0,6	6,7	3,3
		3	146,9	1,8	3,1	0,1	0,5	4,4	5,3
	80/20	1	57,2	2,2	5,0	0,2	0,9	11,0	0,5
		2	112,2	1,9	3,8	0,1	0,6	9,0	-1,4
		3	156,2	2,0	3,5	0,1	0,6	2,6	5,9
	60/30	1	59,9	3,0	3,2	0,2	0,7	17,2	7,7
		2	124,4	2,5	4,1	0,1	0,6	10,8	4,4
		3	174,1	2,1	3,1	0,3	0,5	1,5	8,6

1) De code voor de typen geleiderailconstructies is als volgt:

1: stijf, 2: middel-stijf, 3: flexibel

2) Bij een negatieve waarde voor de gierhoek wijst de neus van het voertuig in de richting van de geleiderail; bij een positieve waarde in de richting van de rijbaan.

Tabel 7. Overzicht van de resultaten van de standaard mathematische simulaties met drie voertuigtypen en drie geleiderailtypen voor de volgende vier combinaties van inrijsnelheid en inrijhoek: 100 km/uur-10°, 100 km/uur-15°. 80 km/uur-20°, 60 km/uur-30°.

Type voertuig	Snelheid/ Inrijhoek (km/h-gr)	Type geleide- rail ¹⁾	Dyn. uitbui- ging (cm)	Voertuigvertraging				Uitrijhoek (gr)	Gierhoek ²⁾ (gr)
				langs (g)	dwars (g)	vert. (g)	ASI		
Middel-zwaar	100/20	1	54,2	3,9	7,0	0,8	1,3	8,9	-15,9
		2	109,4	2,9	5,5	0,3	1,0	7,8	- 0,9
		3	148,0	3,1	3,9	0,2	0,8	7,1	5,0
	80/25	1	48,6	4,1	6,2	0,5	1,2	11,6	- 8,1
		2	94,3	3,2	5,9	0,2	1,0	10,3	- 9,5
		3	137,2	3,0	3,9	0,1	0,7	8,6	3,7
	60/25	1	25,8	2,9	3,9	0,3	0,8	13,2	1,2
		2	46,8	2,3	3,9	0,2	0,7	8,5	- 9,6
		3	64,7	2,1	4,1	0,2	0,7	6,0	-14,3
	40/30	1	19,6	2,1	2,9	0,1	0,6	17,9	8,4
		2	31,6	1,9	2,0	0,1	0,5	18,3	2,5
		3	41,4	2,4	2,9	0,1	0,4	10,1	0,6

1) De code voor de typen geleiderailconstructies is als volgt: 1: stijf, 2: middelstijf, 3: flexibel

2) Bij een negatieve waarde voor de gierhoek wijst de neus van het voertuig in de richting van de geleiderail; bij een positieve waarde in de richting van de rijbaan.

Tabel 8. Overzicht van de resultaten van de aanvullende mathematische simulaties met het middelzware voertuigtype voor drie geleiderailtypen en de volgende vier combinaties van inrijnsnelheid en inrijhoek: 100 km/uur-20°, 80 km/uur-25°, 60 km/uur-25°, 40 km/uur-30°.

Type voertuig	Snelheid/ Inrijhoek (km/h-gr)	Stuurwiel	Dyn. uitbuiging (cm)	Voertuigvertraging				Uitrij- hoek (gr)	Gier- hoek (gr)
				langs	dwars	vert.	ASI		
Middel- zwaar	100/10	los	32,8	1,3	3,6	0,4	0,7	3,9	-15,8
		vast	32,8	1,3	3,5	0,4	0,7	3,9	-15,2
	100/20	los	109,4	2,9	5,5	0,3	1,0	7,8	- 0,9
		vast	109,7	2,9	5,5	0,3	1,0	7,8	- 1,2

Tabel 9. Resultaten van de mathematische simulaties uitgevoerd om de invloed van het al dan niet vastzetten van het stuurwiel op een aanrijding tegen een geleiderailconstructie te onderzoeken. De simulaties zijn met de middelstijve geleiderail uitgevoerd met het middelzware voertuigtype.

BIJLAGEN 1 T/M 5

Bijlage 1. Het mathematische model VEDYAC

Bijlage 2. Het ASI-criterium

Bijlage 3. Voertuigkarakteristieken en hun cumulatieve verdelingen

Bijlage 4. Voorbeeld van een mathematische simulatie (zwaar voertuig, stijve constructie)

Bijlage 5. Voorbeeld van een mathematische simulatie (zwaar voertuig, middelstijve constructie)

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 wegooppervlak 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 verdragingsrichting overeen met een waarde voor de ASI minimaal gelijk aan ca. 1,6 (de referentiewaarden blijven dus 7, 5 en 6 g). Analoog aan de bepaling van de acceptabele 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 de 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.

LITERATUUR

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

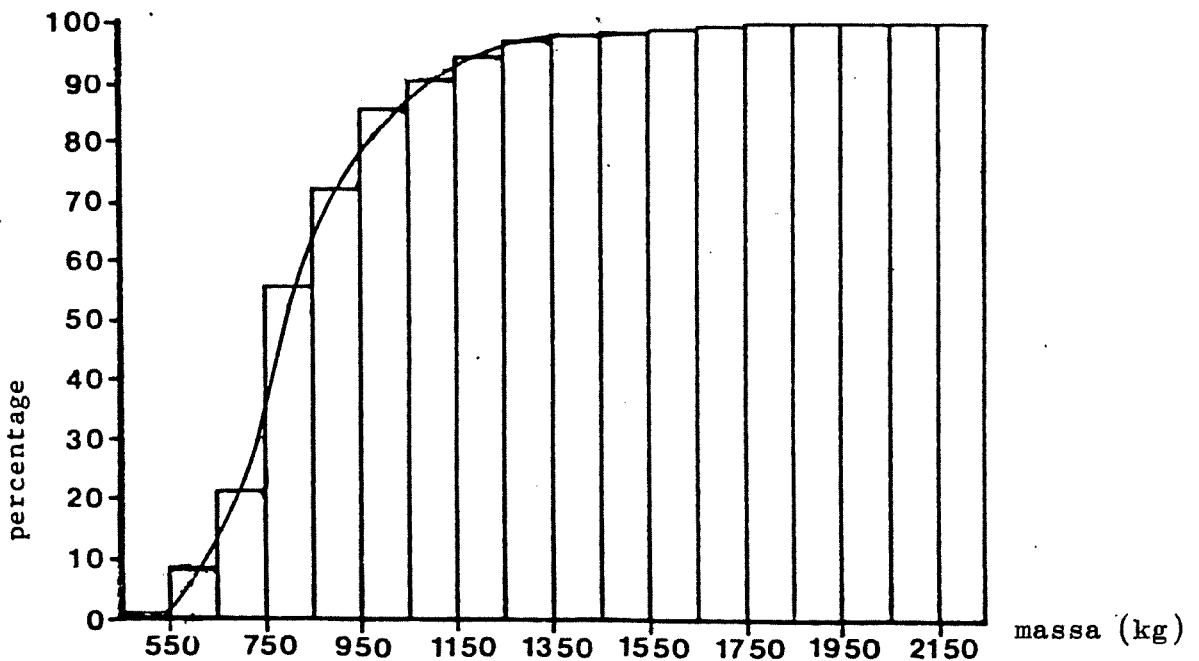
Bij de mathematische simulaties zijn drie typen personenauto's gebruikt. In onderstaande tabel zijn enkele belangrijke gegevens van deze voertuigen opgenomen.

Type voertuig	Massa (kg)	Wielbasis (cm)	Spoorbreedte ¹⁾ (cm)	Massatraag- heidsmoment ²⁾ (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

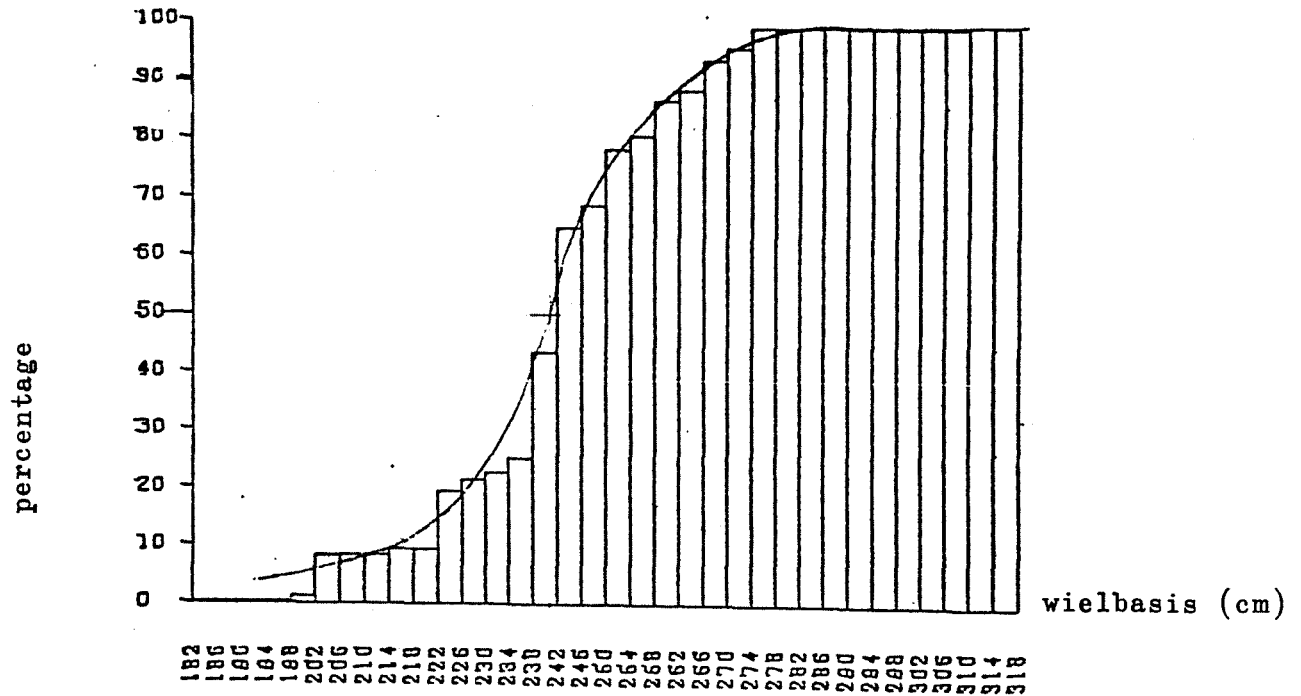
2) Het massatraagheidsmoment om de hoogte-as

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

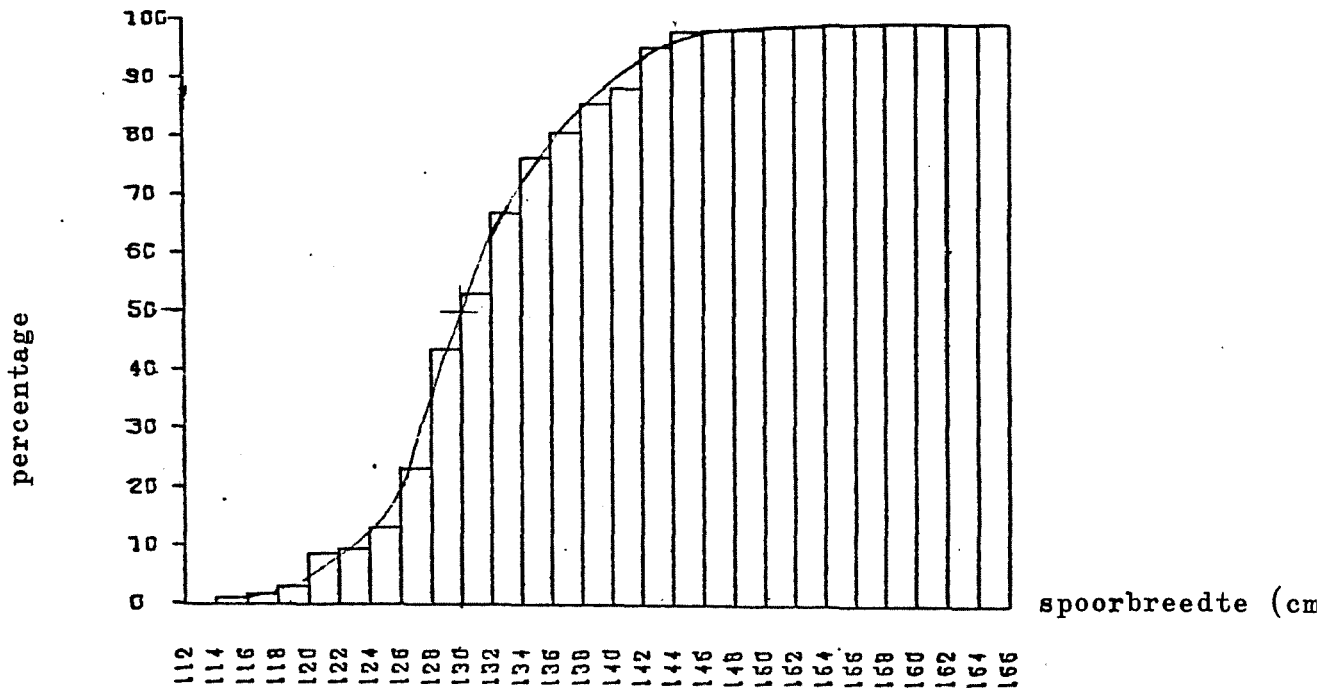


Cumulatieve verdeling van de voertuigmassa in onbelaste toestand van personenauto's naar verkoopcijfers over de jaren 1967 t/m 1976 (Bron: CBS, 1977)

BIJLAGE 3.2



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



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

BIJLAGE 4

Voorbeeld van een
mathematische simulatie

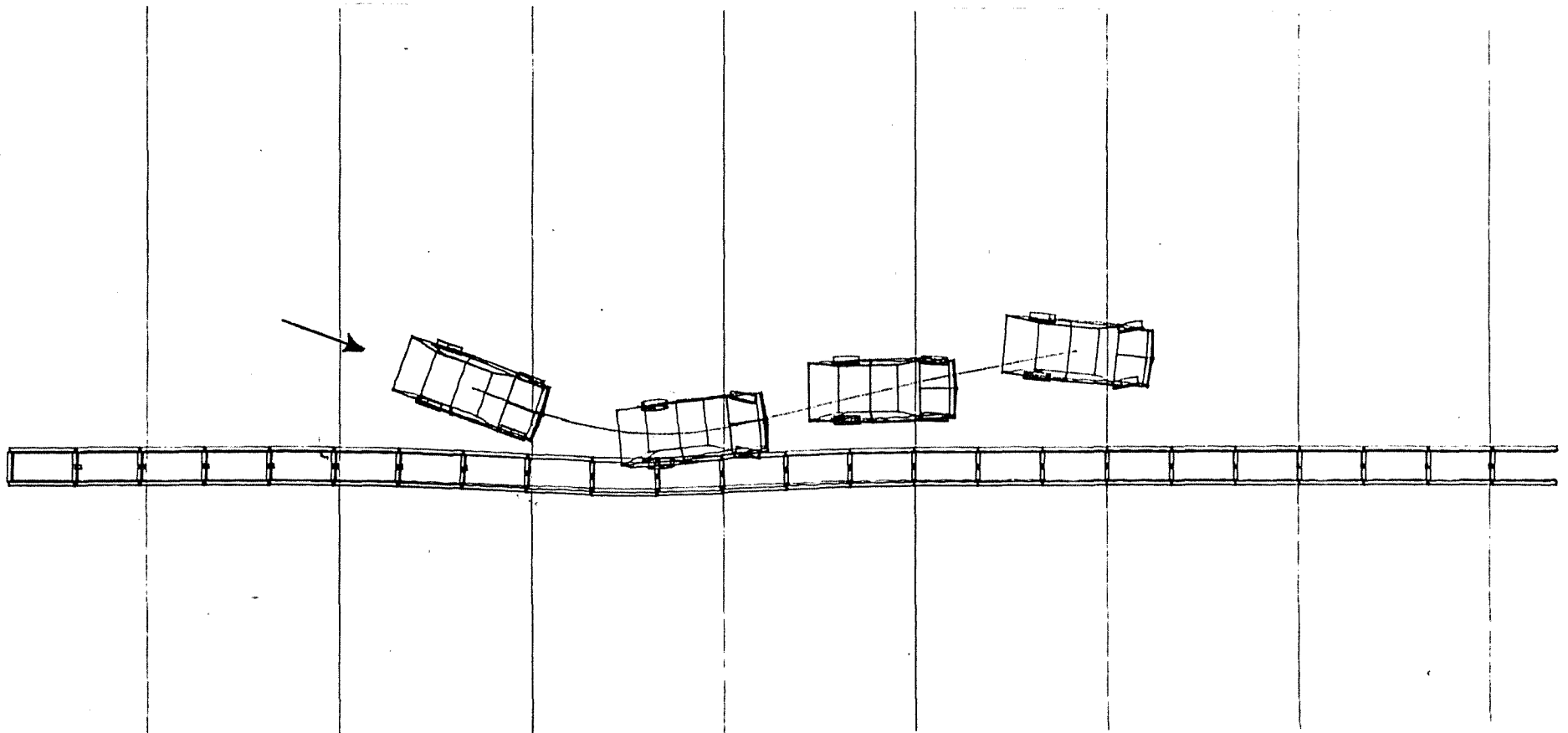
Gegevens:

Voertuig : licht

Type rail : stijf

Snelheid : 80 km/h

Inrijhoek : 20°



BIJLAGE 5

Voorbeeld van een
mathematische simulatie

Gegevens:

Voertuig : zwaar

Type rail : middel-stijf

Snelheid : 80 km/h

Inrijhoek : 20°

