

VIADUCTBEVEILIGINGSCONSTRUCTIE VOOR VRACHTAUTO'S

Een samenvatting van het verslag en de resultaten van een algemeen en een mathematisch onderzoek betreffende de ontwikkeling van een beveiligingsconstructie op een viaduct, bedoeld om ondoordringbaar te zijn voor zware vrachtauto's, verricht in opdracht van de Intercommunale B1 te Brussel, België.

R-77-36

Voorburg, 1977

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

<u>INHOUD</u>	blz.
<u>Voorwoord</u>	3
<u>Inleiding</u>	5
1. <u>Opstellen beoordelingscriteria</u>	8
2. <u>Voorlopige beoordeling Belgisch ontwerp</u>	11
3. <u>Verzamelen van gegevens</u>	12
3.1. Verkeerssamenstelling	13
3.2. Eigenschappen van voertuigen	13
3.3. Ongevallen	14
3.4. Eigenschappen van het viaduct	15
3.5. Vormgeving vrachtautobeveiligingsconstructie	16
3.6. Verkeersmaatregelen	17
3.7. Invoergegevens mathematisch model	17
3.8. Aanpassing mathematisch model	19
3.9. Gedrag SWOV-constructie	19
4. <u>Definitieve beoordeling Belgisch ontwerp</u>	21
5. <u>Mathematisch gedeelte van het onderzoek</u>	22
6. <u>Discussie en samenvatting</u>	23
7. <u>Conclusie</u>	31
<u>Afbeeldingen 1 t/m 17</u>	33
<u>Literatuur</u>	52

VOORWOORD

Het onderzoek "Viaductbeveiligingsconstructie voor vrachtauto's" is uitgevoerd in opdracht van de Intercommunale BI te Brussel, België, met als oogmerk de beoordeling, resp. de ontwikkeling van een beveiligingsconstructie op een ca. 1700 m lang viaduct in de autosnelweg "rondweg Brussel" (zie Afbeelding 1). Dit viaduct overspant enkele belangrijke objecten, nl.:

- Het zeekanaal Brussel - Rupel.
- Enkele belangrijke verkeersaders; o.a. de spoorwegverbinding Amsterdam-Brussel-Parijs.
- Enkele fabrieken in dienst; met o.a. een montageband van de Renault assemblagefabriek.

Vooraf het derde punt geeft aan welke gevaren er voor derden bestaan wanneer een voertuig van dit viaduct zou rijden. Verder zullen door het grote hoogteverschil - de vrije doorvaarthoogte voor het zeekanaal bijv. bedraagt 35 m - de overlevingskansen voor de inzittenden van de voertuigen erg klein zijn.

Het onderzoek heeft zich voor deze opdracht beperkt tot een algemeen gedeelte en een mathematisch gedeelte. Het algemeen gedeelte hield in het verzamelen van alle mogelijke gegevens die nodig waren om het onderzoek te kunnen uitvoeren. Een belangrijk deel van deze gegevens was noodzakelijk om het mathematisch gedeelte van het onderzoek van de benodigde invoergegevens te kunnen voorzien. Het onderzoek omvatte dus geen proeven op ware schaal, daar deze proeven door de opdrachtgever tot dusver als niet nodig werden beoordeeld. Door het wegvallen van deze proeven op ware schaal kunnen de uitkomsten van dit beperkte onderzoek dan ook alleen maar gezien worden als een mogelijke oplossing voor het gestelde probleem.

Uit de inleidende besprekingen kwam al spoedig naar voren dat de beschikbare tijd erg krap was. Binnen een jaar zouden de resultaten reeds op tafel moeten liggen. Gezien de omvang van zowel het algemeen als van het mathematisch gedeelte van het onderzoek werd

dan ook besloten beide delen tegelijk te laten starten. Hierbij kreeg het verzamelen van de gegevens ten behoeve van het mathematisch gedeelte voorrang boven dat van de andere benodigde gegevens. Dit om de voortgang van het mathematisch gedeelte zo min mogelijk te laten stagneren.

In een aantal gevallen bleek het niet mogelijk de vereiste gegevens volledig of zelfs maar gedeeltelijk te verkrijgen. Hierdoor moest door de SOWV op een aantal punten een zo verantwoord mogelijke keuze worden gedaan.

Het mathematisch gedeelte van het onderzoek werd opgedragen aan de ontwerper van het model Prof. V. Giavotto van het Istituto de Ingegneria Aeospeziale del Politecnico di Milano, Italië, die reeds vele jaren in opdracht van de SWOV belast is met het ontwikkelen van mathematische modellen voor crash-onderzoek.

Ondanks alle beperkende factoren, waarop in dit verslag nog nader zal worden ingegaan, zijn de onderzoekers toch van mening dat de uitkomsten van het onderzoek betrouwbaar genoeg zijn om in ieder geval mogelijke theoretische oplossingen aan te dragen.

Dit verslag is samengesteld door Ing. W.H.M. van de Pol, project-leider van het onderzoek "Viaductbeveiligingsconstructie voor vrachtauto's", en Ir. A. Edelman, hoofd Afdeling Crash en Post-crash onderzoek.

Ir. E. Asmussen

Directeur Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INLEIDING

Het onderzoek "Viaductbeveiligingsconstructie voor vrachtauto's" is in eerste instantie ruim opgezet, omdat uit de literatuur maar zeer weinig bekend was over dergelijke onderzoeken. Er diende dus veel pionierswerk te worden verricht, in zowel het opstellen van beoordelingscriteria, het verzamelen van gegevens en het beoordelen en ontwerpen van een dergelijke zware beveiligingsconstructie. Het onderzoek is in de volgende delen gesplitst:

1. Opstellen beoordelingscriteria
2. Voorlopige beoordeling Belgisch ontwerp
3. Verzamelen van gegevens
4. Definitieve beoordeling Belgisch ontwerp
5. Ontwerpen nieuwe constructie
6. Mathematische evaluatie SWOV-constructie
7. Mathematische evaluatie nieuw ontwerp
8. Definitief ontwerp

Aan de hand van de opgestelde beoordelingscriteria is eerst nagegaan in hoeverre het Belgisch ontwerp van een vrachtautobeveiligingsconstructie, te zamen met de in de ruimte daarvoor geprojecteerde SWOV-constructie, aan de gestelde eisen zou voldoen. De SWOV-constructie diende daarbij om aanrijdingen (ook de zwaardere) van personenauto's en de lichtere aanrijdingen (normale inrijcondities) van bussen en vrachtauto's (tot middelzwaar) goed te laten verlopen. De vrachtautobeveiligingsconstructie diende de rest van de aanrijdingen (zware vrachtauto's onder extreme inrijcondities) tegen te houden.

Bij deze voorlopige beoordeling van het Belgische ontwerp zou de beslissing moeten vallen of het ontwerpen van een nieuwe constructie noodzakelijk was.

Aan de hand van de opgestelde beoordelingscriteria werd tevens duidelijk welke gegevens dienden te worden verzameld. Dit hield in dat getracht moest worden een duidelijk beeld te verkrijgen in de te verwachten verkeerssamenstelling, het voertuigenpark, de vorm-

geving van de voertuigen, mogelijke ladingen en ongevallen. Voor het mathematisch gedeelte van het onderzoek was eveneens een aantal gegevens noodzakelijk. Dit betekende dat getracht moest worden een duidelijk beeld te verkrijgen omtrent de inrijshnelheden en inrijhoeken benevens een juiste wrijvingscoëfficiënt tussen band en wegdek voor de diverse voertuigtypen. Hierna zou het eerst mogelijk zijn om met behulp van het mathematisch gedeelte een definitief oordeel te geven over het Belgische ontwerp.

De te verzamelen gegevens moesten voornamelijk uit de gebieden van de wegkenmerken, de voertuigkenmerken en de verkeerskenmerken worden gehaald. Het bleek noodzakelijk te zijn dat naast de literatuurstudie van elders aanvullende gegevens moesten worden verkregen. Hiertoe zijn enkele eigen enquêtes opgezet en zijn enkele fabrikanten, importeurs, vervoersorganisaties en de opdrachtgever benaderd.

In de loop van het onderzoek zijn de beoordelingscriteria steeds getoetst op hun volledigheid en aangepast als dat nodig bleek te zijn. Hierdoor was het soms nodig meer gegevens te verzamelen. Ook tijdens het ontwerpen van de nieuwe constructie rees soms de behoefte aan meerdere en/of andere gegevens. Hierdoor ontstond tijdens het onderzoek een voortdurende wisselwerking tussen de verschillende delen van het onderzoek. Ook de mogelijkheden, resp. de beperkingen, van het mathematisch model dat gebruikt is t.b.v. het mathematisch gedeelte van het onderzoek, hadden hierop hun invloed. De normale inrijcondities zijn uit de literatuur verkregen. De extreme inrijcondities zijn berekend met behulp van een computerprogramma (1).

Bij de mathematische evaluatie van de SWOV-constructie is nagegaan welke modificatie van de bestaande SWOV-constructie het beste voldeed aan de eis van het zo goed mogelijk omleiden van botsingen met personenauto's en de lichte botsingen van de andere voertuigen.

Voor het ontwerpen van de vrachtautobeveiligingsconstructie is in eerste instantie gebruik gemaakt van een eenvoudig computerprogramma (1), speciaal ontwikkeld ter besparing van kosten, verder het kleine

programma genoemd. Met behulp van dit kleine programma is een schatting gemaakt voor de stijfheid van resp. palen en liggers (de horizontale elementen die het voertuig moeten geleiden) van de constructie en is de constructie verder geëvalueerd. Het daaruit resulterende voorlopige ontwerp is met behulp van het bestaande computerprogramma (grote programma) tot het definitieve ontwerp ontwikkeld.

1. OPSTELLEN BEOORDELINGSCRITERIA

Voor de beoordeling van het Belgische ontwerp van de vrachtautobeveiligingsconstructie hanteerde de SWOV criteria m.b.t. de volgende onderwerpen:

- A. Eisen te stellen aan een beveiligingsconstructie
- B. Gevaar van schuivende of vallende lading
- C. Eigenschappen van betrokken voertuigen (type, massa, etc.)
- D. Eigenschappen van het viaduct
- E. Optredende vertragingen

A. Eisen te stellen aan een beveiligingsconstructie

De eisen waaraan een beveiligingsconstructie moet voldoen zijn:

1. Het voertuig mag niet door de constructie heen breken, er overheen rijden of kantelen dan wel er onderdoor schieten.
2. Het voertuig mag niet in de eigen verkeersstroom worden teruggekaatst.
3. Na een botsing moet de constructie werkzaam blijven.
4. Letsel aan inzittenden moet zoveel mogelijk worden voorkomen en de schade aan de voertuigen moet zo beperkt mogelijk blijven.
5. De constructie moet snel te repareren zijn.

N.B. Vooral de eis van ondoordringbaar zijn is hier van het aller-grootste belang, waarbij de andere eisen een meer secundair karakter krijgen (2) en (3).

B. Gevaar van schuivende of vallende lading

Dit gevaar vormt een zeer complex probleem. De verscheidenheid in de soort belading, in de wijze van laden en verpakken en in het verpakkingsmateriaal is zeer groot. Ook de wijze van vervoeren van de lading heeft invloed op de gevolgen van een eventuele botsing tegen een beveiligingsconstructie. Bij open vrachtauto's is de kans groot dat de lading tijdens een botsing niet op de vrachtauto zal blijven. Een op het wegdek gevallen en voortglijdende lading zal, als het enigzins mogelijk is, ook moeten worden tegengehouden. Ook de lading die nog op de vrachtwagen is blijven staan zal op een of andere wijze zo goed

mogelijk moeten worden tegengehouden. Hierover bleek geen literatuur voorhanden te zijn.

C. Eigenschappen van betrokken voertuigen

Als maximum massa van het voertuig is 32.000 kg opgegeven. Zover de informatie strekt is deze massa in België voor één enkele vrachtauto te veel, daar maximaal 26.000 kg is toegestaan. Voor grotere massa's komen alleen de zogenaamde combinaties in aanmerking zoals een vrachtauto + aanhangwagen of een trekker + oplegger. De massa van deze combinaties kan echter weer veel groter zijn dan de opgegeven 32.000 kg. Hun treingewicht kan 56.000 kg bedragen.

De zwaartepunthoogten van de diverse typen voertuigen lopen sterk uiteen. Bij betonmixers, tankauto's e.d. liggen - in beladen toestand - de zwaartepunthoogten over het algemeen genomen veel hoger dan bij normale vrachtauto's. Speciale transporten en voertuigen zijn niet bij de beoordeling opgenomen.

D. Eigenschappen van het viaduct

Ook het viaduct zelf geeft zijn beperkingen t.a.v. de constructie van een beveiliging. Hierbij wordt voornamelijk gedacht aan de maximaal in het viaduct op te nemen reactiekrachten ter plaatse van de palen, zowel in langsrichting als in dwarsrichting van het viaduct. De constructie van het viaduct mag door reactiekrachten in de palen van de beveiligingsconstructie niet worden beschadigd.

Verder is het voor de vormgeving van de beveiligingsconstructie van belang te weten hoe en op welke afstand de palen konden worden geplaatst.

Tevens moet worden nagegaan of de palen op het viaduct mogelijk aan de zijkant van het viaduct bevestigd kunnen worden. Dit houdt nl. rechtstreeks verband met de maximaal ter beschikking staande uitbuigingsruimte van de vrachtautobeveiligingsconstructie. Door een botsing wordt via de beveiligingsconstructie een resulterende dwarskracht op het viaduct uitgeoefend. Deze resulterende kracht kan zo groot zijn dat gevaar kan ontstaan voor schade aan de dilatatievoegen in het viaduct en aan de verbinding pijler-brugdek.

E. Optredende vertragingen

Bij het beoordelen of de werking van de beveiligingsconstructie juist is, kan ook worden uitgegaan van de kans op letsel van de inzittenden van het botsende voertuig. Deze kans wordt berekend aan de hand van de optredende vertragingen, c.q. versnellingen. In Amerika is hiervoor o.a. een norm ontwikkeld, de zogenaamde ASI (Acceleration Severity Index), die globaal aangeeft wanneer er letsel zou kunnen zijn ontstaan of niet. Naarmate de ASI-waarde lager is neemt de kans op letsel af. Is de ASI-waarde kleiner dan 1, dan houdt dit in dat slechts een geringe kans op het ontstaan van letsel bestaat. De ASI is in principe ontwikkeld voor personen-auto-inzittenden zonder autogordel, maar zal bij dit onderzoek gehanteerd worden omdat betere criteria ontbreken (4). Een ander punt in de beoordeling is dat via de vertragingen of versnellingen mogelijk iets gezegd zal kunnen worden omtrent het gedrag van de meegevoerde lading.

2. VOORLOPIGE BEOORDELING BELGISCH ONTWERP

Het Belgische ontwerp van de vrachtautobeveiligingsconstructie is getoetst aan de beoordelingscriteria, gesteld in Hoofdstuk 1. Bij deze toetsing kwamen enkele bedenkingen naar voren m.b.t. een zo goed mogelijk functioneren van deze constructie:

1. Getwijfeld kon worden of er sprake kon zijn van een juiste samenwerking tussen de ligger(stijfheid) en de paal(stijfheid). De palen waren veel te zwak, waardoor de beveiligingsconstructie, ondanks de grote stijfheid van de ligger, te ver zou uitbuigen. Een eenvoudige berekening leerde dat, bij een eventuele botsing, de ligger enkele meters zou uitbuigen (1) en (5). De consequentie hiervan zou zijn dat het botsende voertuig van het viaduct zou rijden.
2. De ligger zou vermoedelijk vanwege zijn vorm bezwijken. Bij een zware aanrijding kon nl. de belasting op de ligger zo groot worden dat de ligger zou knikken of op andere wijze bezwijken (1).
3. De keuze van één in plaats van twee of meer liggers leek minder gelukkig. Door de grote verscheidenheid in het voertuigenpark en daardoor ook in zwaartepunthoogten, zou het toepassen van meerdere liggers sterk aan te bevelen zijn. Tevens zou het mogelijk zijn op deze manier de lading beter tegen te houden. Het aanbrengen van een lage ligger voorkomt dan het aanrijden van de palen en kan tevens als extra steun voor de uitgebogen SWOV-constructie dienen. Ook bestaat de mogelijkheid dat een over de weg glijdende lading door deze lage ligger wordt tegengehouden.
4. De ligger was ten opzichte van de paalvorm wel erg zwaar. Als er door welke oorzaak dan ook enkele van de geplande steunpalen zouden zijn verdwenen, dan zouden de palen reeds door het gewicht van de ligger ombuigen, waardoor de beveiligingsconstructie een (groot) deel van zijn werkzaamheid zou verliezen (1). Tevens leek het niet onmogelijk dat bij een zeer zware aanrijding de gehele ligger van het viaduct zou vallen (1).

De hele opzet van het beschouwde Belgische ontwerp was zodanig dat het optimaliseren ervan tot een nieuwe constructie zou leiden. De SWOV gaf er dan ook de voorkeur aan een nieuw ontwerp te maken.

3. VERZAMELEN VAN GEGEVENS

Het verzamelen van de benodigde gegevens was een omvangrijk en tijdrovend werk. Dit had verschillende oorzaken.

In de eerste plaats was, voor zover bij de SWOV bekend, een dergelijk onderzoek nog nergens anders in de wereld verricht. Het bleek dus niet mogelijk terug te vallen op gegevens uit de literatuur.* Dit gold zowel voor het mathematisch gedeelte als voor de proeven op ware schaal.

In de tweede plaats hebben de gegevens die wel beschikbaar waren meer betrekking op personenauto's dan op vrachtauto's.

In de derde plaats was het niet mogelijk om van enkele gegevens binnen het tijdschema een redelijk overzicht te krijgen.

In de vierde plaats is het verkrijgen van gegevens via de opdrachtgever, afgezien van enkele gegevens omtrent het viaduct, erg moeilijk gebleken.

De benodigde gegevens hebben tot het formuleren van een aantal uitgangspunten, naast of op basis van de eerder genoemde criteria, geleid. De uitgangspunten hadden betrekking op de volgende onderwerpen.

1. Verkeerssamenstelling
2. Eigenschappen van voertuigen
3. Ongevallen
4. Eigenschappen van het viaduct
5. Vormgeving vrachtautobeveiligingsconstructie
6. Verkeersmaatregelen
7. Invoergegevens mathematisch model
8. Aanpassing mathematisch model
9. Gedrag SWOV-constructie

* Aan het eind van het onderzoek zijn de SWOV wel enkele Amerikaanse gegevens bekend geworden (6) (7). Deze gegevens hebben de door de SWOV gevolgde procedure ondersteund.

3.1. Verkeerssamenstelling

Aan de opdrachtgever is verzocht een prognose te verstrekken van de te verwachten samenstelling van het verkeer op het viaduct. Deze kon echter niet worden verkregen. Als vervangingsmateriaal is de samenstelling van het totale voertuigenpark gekozen. Hierbij zijn zowel het Belgische als het Nederlandse voertuigenpark beschouwd. Aangenomen is dat, gezien de ligging en het doel van de weg waarin het viaduct is opgenomen (zie het Voorwoord en Afbeelding 1), (zware) vrachtauto's een relatief groot gedeelte van de verkeersstroom op het viaduct zullen uitmaken.

Uit de verdeling van de beide voertuigenparken (8) en (9) bleek dat zowel middelzware vrachtauto's (17.000 à 18.000 kg), als zware vrachtauto's (25.000 kg en meer) frequent zouden voorkomen (zie Afbeelding 2). Tevens bleek uit een verdeling naar soort vrachtauto's (10), dat ook met gesloten vrachtauto's (koelauto's, tankauto's, vee-auto's e.d.) rekening moest worden gehouden. Het belangrijkste argument om deze voertuigen in het onderzoek te betrekken was dat het zwaartepunt van deze voertuigen (veel) hoger ligt en dat de lading over het algemeen genomen niet los komt van de voertuigen en dus ook hun deel aan de op te nemen botsingsenergie zouden blijven leveren. Uit de verzamelde ongevallengegevens bleek ook dat vrachtauto's geschikt voor containervervoer als "gesloten" vrachtauto moeten worden beschouwd.

3.2. Eigenschappen van voertuigen

Mede bepalend voor de vormgeving van de vrachtautobeveiligingsconstructie zijn een aantal kenmerken van de botsende voertuigen en hun eventuele belading. Gezien het feit dat de SWOV-constructie de botsingen van personenauto's zonder meer moest kunnen tegenhouden en daarbij ook nog zoveel mogelijk de botsingen van autobussen en lichte vrachtauto's, werden deze voertuigen niet betrokken bij de vormgeving van de vrachtautobeveiligingsconstructie. Toch was de verscheidenheid van de overgebleven voertuigen nog groot. Van deze voertuigen werden de volgende gegevens verzameld; zwaartepunthoogten in

beladen en onbeladen toestand, laadbakhoogten in beladen en onbeladen toestand, bandhoogten en wijze van van beladen (container en open of gesloten laadbak). Getracht is vast te stellen of de lading in een "gesloten" voertuig tijdens de botsing op het voertuig zou blijven liggen en of de verbindingen (locks) van de container en het voertuig sterk genoeg zouden zijn om één geheel te blijven, hetgeen door de vervoersorganisatie(s) werd bevestigd. Aangenomen werd dat bij open laadbakken de lading tijdens een botsing wel degelijk van de laadbak kan en zal vallen en op het viaduct en/of tegen de vrachtauto-beveiligingsconstructie komt te liggen.

De belangrijkste van de verzamelde gegevens van de op de weg rijdende vrachtauto's zijn in Afbeelding 3 samengevat. Hierbij moet overigens bedacht worden dat voertuigen van geringe lengte met een bepaalde massa een hogere belasting op de beveiligingsconstructie geven dan langere voertuigen met dezelfde massa. Voorts moet de aanname m.b.t. de vormgeving van de vrachtauto's representatief zijn voor de op de weg rijdende zware vrachtauto's.

Voor de beoordeling van de vrachtauto-beveiligingsconstructie viel de keuze voor het zware voertuig op een vrachtauto met een massa van 30.000 kg. Voor nog grotere massa's viel de keuze op een trekker + oplegger combinatie van 40.000 kg. Voor beide voertuigtypen werden twee zwaartepunthoogten aangenomen. Voor de vrachtauto werd dit ca. 2 m (gesloten vrachtauto) en ca. 1,5 m (open vrachtauto; losse lading met een hoog s.g.). Voor de trekker + oplegger werd dit resp. ca. 2 m (hoge oplegger) en 1,8 m (lage oplegger).

Voor de beoordeling van de SWOV-constructie is gekozen voor een bus met passagiers en een personenauto (ook met 4 passagiers), alsmede voor een middelzware vrachtauto (17.500 kg) daar deze frequent in het wagenpark voorkomt.

N.B. Bijzondere voertuigen werden buiten beschouwing gelaten.

3.3. Ongevallen

De beschikbare ongevalgegevens (11, 12, 13) zijn in de Afbeeldingen 4, 5 en 6 samengevat. Gezien het summiere karakter van deze

gegevens kan slechts een indicatie gegeven worden betreffende de botssnelheid en de daarbij behorende inrijhoeken. Helaas is in de literatuur geen onderscheid gemaakt in gegevens voor personenauto's en vrachtauto's. Wel is bekend dat de gemiddelde inrijnsnelheden van vrachtauto's lager liggen dan die van de personenauto's. Aangenomen is dan ook dat de botssnelheden van de vrachtauto's lager liggen dan die van de personenauto's. Daar de wrijvingscoëfficiënt (14) van vrachtautobanden lager ligt dan voor personenautobanden, is tevens aangenomen dat de botshoeken bij vrachtauto's kleiner zijn dan bij personenauto's.

Als uitgangspunten zijn de volgende (normale) inrijcondities voor het onderzoek aangenomen. Voor het testen van de SWOV-constructie met de personenauto is voor de snelheid 80 km/h tot 100 km/h aangehouden en een inrijhoek van 20° ; voor de andere voertuigen 70 km/h à 80 km/h en inrijhoeken tot 15° .

3.4. Eigenschappen van het viaduct

Mede bepalend voor de vormgeving van de vrachtautobeveiligingsconstructie zijn de eigenschappen van het viaduct. Om te voorkomen dat het viaduct tijdens een botsing wordt beschadigd, moeten de paalreacties op het viaduct beneden een bepaalde waarde blijven.

Door de opdrachtgever is voor het stalen gedeelte van het viaduct een lateraal buigend moment van ca. 500.000 Nm opgegeven en voor het betonnen gedeelte van ca. 360.000 Nm; de paalafstanden bedragen daarbij resp. 4 meter en 3,6 meter (dwarsliggers). Tussen deze paalafstanden konden geen reactiekrachten worden opgenomen. Ook in langsrichting van het viaduct was het niet mogelijk om reactiekrachten van enige betekenis op de dwarsliggers over te brengen.

Voor het temperatuurverschil tussen constructie en viaduct is door de opdrachtgever 15° Celcius opgegeven. Dit kan bijvoorbeeld tot gevolg hebben dat tussen het stalen gedeelte (880 meter) van het viaduct en de beveiligingsconstructie een lengteverschil van ca. 16 cm ontstaat. Om dit te kunnen opvangen moeten expansiemogelijkheden worden aangebracht.

Voor de bevestigingshoogte van de palen werd opgegeven dat het viaduct ca. 40 centimeter dik was.

Voor het vaststellen van de extreme inrijcondities (zie par. 3.7.) was het nodig om de doorsnede van het viaduct te weten. Deze werd opgegeven als zijnde 3 rijstroken, een vluchtstrook en een inspectiepad breed.

3.5. Vormgeving vrachtautobeveiligingsconstructie

De vormgeving van de te ontwikkelen vrachtautobeveiligingsconstructie stond als volgt voor ogen: één ligger ter hoogte van de (gemiddelde) zwaartepunthoogte van voertuigen (ter voorkoming van het kantelen van voertuigen), één ligger ter hoogte van de (gemiddelde) laadbakhoogte van voertuigen (een sterk gedeelte dat over grote lengte aanwezig is, ter voorkoming van penetratie van de liggers in voertuigen) en een derde ligger die de ruimte tussen viaduct en de onderste van de andere liggers opvult om de eventuele voertuiglading tegen te houden, als extra steun voor de uitbuigende SWOV-constructie en om te voorkomen dat de wielen de palen aanrijden. Om het aanrakingsvlak tussen voertuig en beide bovenste liggers zo groot mogelijk te maken en om bij verdraaiing van de liggers een zo gering mogelijke wijziging in het traagheidsmoment te verkrijgen, dienen deze liggers uit meer dan één profiel te bestaan.

Om een zo goed mogelijk gebruik van de beschikbare uitbuigingsruimte te kunnen maken is besloten de palen aan de zijkant, in plaats van op het viaduct te plaatsen. De palen komen hierdoor voorover te hellen (naar de as van het viaduct toe). Een groot voordeel hiervan is dat de liggers tijdens het uitbuigen op hoogte blijven. Tevens kunnen dan de afstandhouders vervallen en kunnen de liggers rechtstreeks aan de palen worden bevestigd. Tijdens het uitbuigen van de palen verdraaien de liggers t.o.v. hun oorspronkelijke stand. Door de samengestelde liggers toe te passen is het mogelijk tijdens deze verdraaiing ongeveer dezelfde buigstijfheid te handhaven. De liggers worden dus tijdens het uitbuigen niet zwakker. Een ander voordeel is dat de expansiemogelijkheden simpeler kunnen worden aangebracht zonder verlies in buigstijfheid van de liggers. Als extra veiligheid ter voorkoming van schade aan het viaduct is ervan uitgegaan dat de reactiekrachten op het viaduct niet groter mogen worden dan maximaal 0,75 maal het opgegevene.

Om de langskrachten in de constructie te kunnen opvangen is voorgesteld per lengte-eenheid (van expansiemogelijkheid tot expansiemogelijkheid) tussen twee palen een diagonaal aan te brengen. Daar het gewicht per meter aanzienlijk zou zijn, is voorgesteld de te plaatsen segmenten gelijk te houden aan de standaardlengte van handelsprofielen (ca. 20 meter). Per segmentlengte kan dan één expansiemogelijkheid worden aangebracht. Hierdoor is het tevens mogelijk vervormde constructiedelen of segmenten gemakkelijker te vervangen. Bovendien kan worden nagegaan in hoeverre gewichtsreductie per lengte-eenheid kan worden verkregen door verandering in paalstijfheid en liggerstijfheid bij gelijkblijvende werking van de constructie.

3.6. Verkeersmaatregelen

Door het invoeren van verkeersmaatregelen is het in principe mogelijk de ernst van een aanrijding te beïnvloeden. Een inhaalverbod voor de zware voertuigen op de derde rijstrook zou een aanzienlijke (ca. 1/3 minder) reductie betekenen in de te vernietigen hoeveelheid botsingsenergie. Bij het invoeren van een totaal inhaalverbod blijft nog minder dan 1/3 van de oorspronkelijke hoeveelheid botsingsenergie over. Ook het invoeren van snelheidsbeperkingen behoort tot de mogelijkheden. De hiermee verkregen reductie in botsingsenergie is dan echter veel kleiner.

Uit contacten met de opdrachtgever bleek dat zowel de invoering van een inhaalverbod als een snelheidsbeperking, wel als mogelijke middelen gezien werden, maar dat men de beslissing wilde laten afhangen van de keuze van de vrachtautobeveiligingsconstructie.

3.7. Invoergegevens mathematisch model

Teneinde bij de vrachtautobeveiligingsconstructie aan de eis van absolute ondoordringbaarheid te voldoen (zie Hoofdstuk 1) dient te worden uitgegaan van extreme inrijcondities. Voor de verschillende zwaardere voertuigen is gekozen voor inrijdingen vanaf de derde rijstrook met snelheden van ca. 80 km/h en inrijdingen vanaf de tweede rijstrook met ca. 85 km/h. Deze waarden zijn mede gebaseerd op de maximaal door zware voertuigen te halen snelheid van ca. 100 km/h (15) en (16).

De eerste berekeningen werden uitgevoerd met behulp van een eenvoudige berekeningsmethode (1) en geschatte extreme inrijcondities. De resultaten hiervan zijn aanvankelijk gehanteerd in de voorontwerpfase van de vrachtautobeveiligingsconstructie.

Voorts is een computerprogramma ontwikkeld om de extreme (fysisch nog net haalbare) inrijcondities te berekenen. Bij de ontwikkeling van dit programma is rekening gehouden met de snelheid, de wrijvingscoëfficiënt, de boogstraal van het viaduct en de loodrechte afstand tussen het voertuig en de plaats van de beveiligingsconstructie als invoergegevens en de fysisch nog juist haalbare inrijhoek als uitvoergegeven. Met behulp van de verzamelde gegevens en informatie zijn voor de geselecteerde voertuigen berekeningen uitgevoerd. De uitkomsten zijn in grafieken verwerkt (zie Afbeeldingen 7 t/m 11). De bij de hierna te beschrijven computersimulaties te hanteren extreme inrijcondities dienen op één van de lijnen in de grafieken te liggen.

Rekening houdende met de gewichten en lengten van de diverse zware voertuigen blijken de fysisch nog net haalbare inrijhoeken voor de zware vrachtauto (30.000 kg) 28° bij 80 km/h van de derde rijstrook en $21,1^{\circ}$ bij 85 km/h van de tweede rijstrook. Voor de trekker + oplegger combinatie (40.000 kg) blijken deze waarden resp. 25° en $18,6^{\circ}$.

Bij het uitvoeren van de computersimulaties is de invloed van de SWOV-constructie (zie hierover verder in dit hoofdstuk) ook in rekening gebracht. Hiertoe zijn de invoergegevens enigszins gereduceerd.

De uiteindelijk gehanteerde extreme inrijcondities zijn dan: voor de zware vrachtauto's $27,5^{\circ}$ en 78,7 km/h vanaf de derde rijstrook en $20,4^{\circ}$ en 83,4 km/h vanaf de tweede rijstrook. Voor de trekker + oplegger combinatie bedragen deze waarden $24,6^{\circ}$ en 79,2 km/h en $18,3^{\circ}$ en 84,1 km/h. Voor de overige in het onderzoek betrokken voertuigen zijn andere inrijcondities gehanteerd, omdat deze voertuigen op grond van hun massa geen gevaar voor de vrachtautobeveiligingsconstructie inhouden. Deze voertuigen en ook de beide zware voertuigen zijn bij de beoordeling van de SWOV-constructie (zie verder in

dit hoofdstuk) betrokken. Voor de vrachtauto's (30.000 kg en 17.500 kg) en de trekker + oplegger combinatie (40.000 kg) zijn 8° en 70 km/h als (normale) inrijconditie gehanteerd. Voor de bus bedragen deze waarden resp. 10° en 80 km/h. Voor aanrijdingen van een personenauto tegen de SWOV-constructie is voor de extreme inrijconditie 30° bij 100 km/h gehanteerd. Voor de normale inrijcondities bedragen deze waarden resp. 80 km/h en 100 km/h bij 20° (5).

3.8. Aanpassing mathematisch model

Tijdens de eerste uitgevoerde simulaties met behulp van het bestaande model bleek dat dit model niet zonder meer in staat was een dergelijke vrachtautobeveiligingsconstructie te simuleren. De oorzaak lag in het feit dat in de ligger oscillatieverschijnselen optraden. Het programma was ook niet in staat om meerdere liggers, grote inrijhoeken en meerdere expansiemogelijkheden per simulatie te simuleren. Ook de voertuigmodellen moesten mede hierdoor wat aangepast worden (1), waarbij tevens de berekening van de ASI waarden is toegevoegd.

3.9. Gedrag SWOV-constructie

De totale viaductbeveiligingsconstructie bestaat uit een SWOV-constructie en daar achter een vrachtautobeveiligingsconstructie. Het hoofddoel van de SWOV-constructie is daarbij het goed laten verlopen van aanrijdingen met een kleine hoeveelheid bewegingsenergie. Daarbij dient dus te worden uitgegaan van die modificatie van de SWOV-constructie die gezien de beoordelingscriteria (Hoofdstuk 1) zo goed mogelijk voor een personenauto werkt en daarbij in staat is een deel van de aanrijdingen van de zwaardere voertuigen op te vangen. Een flexibele SWOV-constructie zou de aanrijdingen met personenauto's goed laten verlopen, maar nagenoeg alle aanrijdingen met zwaardere voertuigen zouden ook aanrijdingen met de vrachtautobeveiligingsconstructie tot gevolg hebben. Daarentegen zou een te stijve SWOV-constructie minder aanrijdingen met de vrachtautobeveiligingsconstructie opleveren, maar grotere gevaren voor de personenauto en inzittenden. Tevens zou het gevaar voor kantelen vergroot worden.

Voor de beoordeling van het gedrag van de SWOV-constructie zijn voor de personenauto's zowel de normale als de extreme inrijcondities gehanteerd. Hierbij is tevens als uitgangspunt aangenomen dat de personenauto ook onder extreme omstandigheden niet in aanraking mag komen met de vrachtautobeveiligingsconstructie.

Voor beide vrachtauto's en de trekker + oplegger combinatie zijn normale inrijcondities gehanteerd; m.a.w. rechthoekig rijden vanaf tweede rijstrook i.p.v. met de boogstraal van het viaduct mee te rijden. Bij deze simulaties is vooral ook op de grootte van de ontsta-
ne rolhoek gelet, met het oog op het eventuele kantelen.

De inrijcondities voor de bus zijn wat zwaarder genomen dan die van de zware voertuigen. Naast het kantelgevaar is tevens het gevaar voor de inzittenden bij aanraking met de vrachtautobeveiligingsconstructie nagegaan.

Bij elke simulatie is de ASI-waarde berekend, welke voor elk botsend voertuig zo laag mogelijk moest zijn.

4. DEFINITIEVE BEOORDELING BELGISCH ONTWERP

De in Hoofdstuk 2 uitgesproken twijfels werden door de uitgevoerde simulaties ondersteund.

Simulaties, uitgevoerd met het kleine programma onder de extreme inrijcondities, gaven dynamische uitbuigingen te zien die meters te groot zijn (1).

Ook onder de normale inrijcondities gaf deze constructie te weinig garantie dat er geen voertuig van het viaduct zal storten.

Uit de Afbeeldingen 12 t/m 14 is te constateren dat het Belgisch ontwerp niet blijkt te voldoen bij aanrijdingen van alle vrachtauto's onder extreme condities (vanaf de derde en de tweede rijstrook). Tevens blijkt dat het ontwerp ook niet voldoet bij aanrijdingen vanaf de eerste rijstrook van zware voertuigen met snelheden hoger dan 60 à 70 km/h. (De fysisch haalbare condities vanaf de eerste rijstrook zijn op analoge wijze verkregen als beschreven in par. 3.7.)

Gezien zijn vormgeving zal de ligger door het verdraaien tijdens het uitbuigen steeds verder naar de zwakste doorsnede toe draaien. Door deze verdraaiing zal het reeds aanwezige gevaar van knikken of bezwijken van de ligger steeds groter worden. Ook de reeds in de voorlopige beoordeling van het Belgisch ontwerp aangehaalde ongunstige verhouding tussen liggerstijfheid en paalstijfheid is door de simulaties bevestigd. Door de grote liggerstijfheid zal de lengte van de uitbuiging zeer groot worden, waardoor er bij een aanrijding een groot gedeelte van de constructie buiten het viaduct komt te hangen. Door de zwakke palen van de constructie bestaat de kans dat het gewicht van het gedeelte van de beveiligingsconstructie dat buiten het viaduct hangt, de hele constructie van het viaduct trekt (1).

De conclusie t.a.v. de door België voorgestelde constructie luidt dat, op basis van het gestelde in Hoofdstuk 2 en 3, bij extreme inrijcondities niet verwacht mag worden dat de beveiligingsconstructie adequaat zal werken.

5. MATHEMATISCH GEDEELTE VAN HET ONDERZOEK

Reeds in een vroeg stadium van het onderzoek werd het duidelijk dat de voorbereidende werkzaamheden veel tijd en geld in beslag zouden nemen, als deze met behulp van het grote programma zouden zijn uitgevoerd. Dit grote programma houdt nl. rekening met een groot aantal invloeden en geeft een grote hoeveelheid uitkomsten (uitvoer). Al deze uitkomsten zijn voor een eerste beoordeling van het ontwerp niet nodig. Daarom is een klein en eenvoudiger programma ontwikkeld. Dit kleine programma houdt alleen rekening met de hoogst noodzakelijke invloeden en geeft maar een beperkte uitvoer. Het kleine programma wordt "geijkt" op het grote programma (1).

Met behulp van het kleine programma is eerst een ruwe oriëntatie verricht onder de uitgewerkte mogelijkheden. Het voornaamste doel was om een inzicht te verkrijgen in de juiste verhouding tussen liggerstijfheid en paalstijfheid van de te ontwikkelen vrachtautobeveiligingsconstructie. Het voornaamste hoofdgegeven was de aanwezige uitbuigingsruimte.

Na deze eerste selectie zijn de overgebleven mogelijkheden met behulp van het grote programma nader onderzocht (1).

In dit deel van het onderzoek is ook het gedrag van het botsende voertuig nagegaan en is bekeken hoe het tijdens de botsing reageerde. Tevens kon nu ook de invloed van de botsing op het viaduct nader worden bestudeerd. Ook is de invloed van de SWOV-constructie en haar aandeel in het keren van een uit de koers geraakt voertuig nagegaan, om tot een zo goed mogelijke samenwerking tussen beide constructies te komen. Bij het bestuderen van de invloed van de SWOV-constructie is tevens nagegaan of het wenselijk is de 3-golfrail in plaats van de normale 2-golfrail toe te passen (17).

Nadat door middel van computerruns met het grote programma een indruk omtrent het voldoen van de uiteindelijke gekozen configuraties van de vrachtautobeveiligingsconstructie aan de gestelde criteria was verkregen, is het kleine programma door middel van aanpassen van een aantal correctie-factoren "geijkt" op het grote programma.

Met het kleine programma is vervolgens een overzicht samengesteld dat inzicht geeft in de prestaties van de voorgestelde vrachtautobeveiligingsconstructies afhankelijk van snelheid en inrijhoek.

6. DISCUSSIE EN SAMENVATTING

Dit hoofdstuk bevat een korte samenvatting van hetgeen aan kennis verzameld werd in de eerdere hoofdstukken van dit verslag en in het rapport van Prof. V. Giavotto (1), op basis waarvan in een discussie de argumentatie wordt geleverd voor de conclusies ten aanzien van de voor te stellen SWOV-constructie en ten aanzien van de voor te stellen vrachtautobeveiligingsconstructie.

SWOV-constructie

De voor te stellen SWOV-constructie zal in staat moeten zijn een personenauto onder "normale" condities tegen te houden, zonder dat de personenauto in contact komt met de vrachtautobeveiligingsconstructie. De ASI-waarde zal daarbij zo laag mogelijk moeten blijven. Voor de bus, en eventueel de middelzware vrachtauto, mag de voor te stellen SWOV-constructie geen kantelgevaar opleveren. Onder "normale" condities moeten de bus en eventueel de middelzware vrachtauto vrijwel geheel door de SWOV-constructie kunnen worden gekeerd. Daarbij moet de ASI-waarde laag blijven.

Voor zware vrachtauto's mag de SWOV-constructie geen kantelgevaar opleveren, en onder lichtere dan "normale" condities moet de SWOV-constructie zo lang mogelijk in staat zijn ook de zware vrachtauto's tegen te houden.

De ruimte die voor uitbuiging van de SWOV-constructie in principe ter beschikking is bedraagt ca. 1,4 m.

Een belangrijke eis is dus dat de personenauto onder normale condities door de SWOV-constructie wordt tegengehouden. Hieraan voldoet de SWOV-constructie V_{1p} 2DL 267 (18).

Bij een snelheid van 80 km/h en een inrijhoek van 20° is de ASI ongeveer 1 voor de bestuurderszitplaats. Bij snelheden rond de 100 km/h en inrijhoeken van 13° tot 23° zijn de ASI-waarden 0,82 tot 1,52. Hieruit blijkt dat onder extreme omstandigheden (100 km/h en inrijhoek groter dan 20°) de ASI-waarde bij personenauto's toch boven de waarde 1 zal stijgen. Dit is helaas onvermijdelijk. De uitbuigingen van de SWOV-constructie bedragen onder deze extreme inrijcondities ca. 1 m tot 1,4 m.

Er mag worden aangenomen dat personenauto's onder normale condities de vrachtautobeveiligingsconstructie niet zullen raken, en dat onder extreme condities de hoeveelheid laterale botsingsenergie van zware personenauto's sterk gereduceerd zal zijn voordat ze deze constructie zullen raken. Het gevaar voor de inzittenden is daarbij acceptabel te achten (het betreft zeer extreme situaties!).

De bus (met passagiers) zal bij 80 km/h en 10° inrijhoek de vrachtautobeveiligingsconstructie juist raken. De rolhoek van de bus is daarbij maximaal ca. $4,4^{\circ}$. De hoogst genoteerde ASI-waarde, voor passagiers achter in de bus, blijft laag, nl. ca. 0,3.

Onder normale inrijcondities is de rolhoek van de middelzware vrachtauto ca. $7,5^{\circ}$. Hierbij wordt juist geen contact met de vrachtautobeveiligingsconstructie gemaakt.

De zware vrachtauto's worden onder lichte tot normale condities redelijk door de SWOV-constructie verwerkt.

Een analoog beeld geldt voor de zogenaamde 3-golfrail SWOV-constructie.

Het verdient aanbeveling ook in de "middenberm" van het viaduct dezelfde SWOV-constructie (V_{1p} 2DL 267) te gebruiken, aangezien de uitbuigingsruimte die ter beschikking staat, afgezien nog van de lichtmasten die er geplaatst zijn, niet veel groter is dan in de zijberm.

Vrachtautobeveiligingsconstructie

De eisen te stellen aan de vrachtautobeveiligingsconstructie zijn, kort samengevat, dat onder extreme condities alle te beschouwen voertuigen op het viaduct moeten blijven, waarbij de ASI-waarden zo laag mogelijk moeten zijn. (Een inrijding van een personenauto wordt hierbij buiten beschouwing gelaten). Tevens zal de vormgeving van de beveiliging zodanig moeten zijn dat zoveel mogelijk voorkomen wordt dat eventuele lading van het viaduct valt, en dat bij inrijdingen de voertuigen zoveel mogelijk op daartoe geschikt geachte plaatsen in contact komen met de beveiligingsconstructie.

Op grond van het laatste is gekozen voor een constructie bestaande uit een aantal liggers (1) (zie Afbeelding 15).

Belangrijk was om de orde van grootte van paal- en liggerstijfheid te bepalen. Dit geschiedde door middel van het kleine programma. Daarbij zijn voertuigen en extreme condities gehanteerd zoals weergegeven in par. 3.2. De maximale paalstijfheid lag min of meer vast op grond van het maximum moment dat het viaduct kan verdragen. Daarbij is er van uitgegaan dat het maximaal optredende moment ongeveer de helft zou mogen zijn van de waarden die werden opgegeven als maximaal te verdragen (dit is dus een strengere voorwaarde dan het eerder gestelde uitgangspunt: 0,75 maal de opgegeven waarden). Bijkomende argumentatie is verkregen uit de overweging dat de "golflengte" (als gevolg van een inrijding) niet te klein, maar ook niet te groot mag worden. In het eerste geval wordt het voertuig als het ware gevangen in een uitstulping van de constructie; in het tweede geval zou na een inrijding een groter dan nodige lengte van de constructie vervangen moeten worden. Als toelichting kan hier worden gesteld dat de paalstijfheden een aanzienlijk grotere invloed hebben op de prestaties (totaal stijfheid) van de constructie, dan de liggerstijfheid. Om dezelfde prestatie te verkrijgen zou een stijve-lijgerconstructie veel zwaarder moeten zijn dan een constructie met stijve palen. Uit optimaliseringsoverwegingen (hoeveelheid materiaal en daarmee de kosten van de constructie) ligt het dan ook voor de hand een constructie te kiezen met stijve palen (binnen het toelaatbare op het viaduct over te brengen moment) en de liggerstijfheid aan te passen naar de additionele behoefte in verband met de totale energie-opname (prestatie) bij een botsing. Het blijkt dat dan een constructie ontstaat als is beschreven in (1). De afmetingen van de liggers, en de wijze waarop ze zijn samengesteld blijken in het opzicht van stabiliteit (knikken e.d.) en "golflengte" te voldoen aan gestelde voorwaarden.

In de constructie zijn tevens een aantal andere uitgangspunten verwerkt: de paal helt naar voren om daarmee ruimte te creëren voor de uitbuiging; de constructie bestaat uit twee samengestelde liggers, één op "gemiddelde" zwaartepunthoogte en één op "gemiddelde" laadbakhoogte. Nagegaan is hoe het contact met vrachtauto's zou verlopen bij het uitbuigen van de constructie. Een derde ligger op geringe hoogte is bedoeld om eventueel over de grond schuivende lading tegen

te houden, om te voorkomen dat de palen direct worden aangerezen door de wielen en als eventuele extra steun voor de SWOV-constructie. De samengestelde liggers hebben het voordeel te zijn opgebouwd uit gemakkelijk verkrijgbare profielen; de verbinding van deze liggers met de palen kan zeer eenvoudig en robuust worden uitgevoerd en tenslotte was een expansiemogelijkheid, ontworpen voor een dergelijk samenstel, al eerder in de praktijk getest op deugdelijkheid, zij het op een kleinere schaal. De noodzaak tot het maken van een betrekkelijk groot aantal expansiemogelijkheden over de gehele lengte van de beveiligingsconstructie is hierin ook verwerkt. Het benodigde materiaal voor het opbouwen van een dergelijke beveiligingsconstructie bedraagt per strekkende meter gemiddeld ca. 300 kg tot 400 kg zodat, ook al vanwege het gemakkelijk en snel herstelbaar moeten zijn van de constructie na een inrijding, het gewicht tot redelijk handelbare proporties is teruggebracht, als wordt uitgegaan van segmenten met een lengte gelijk aan die van de handelslengte van de benodigde profielen (ca. 20 m). Lassen van de constructie wordt dus bij voorbaat uitgesloten, enerzijds vanwege het moeilijker herstel na een inrijding, en anderzijds vanwege de gevaren die slechte lassen inhouden met betrekking tot scheuren e.d., als bijv. een aanrijding op een las plaatsvindt. Overigens, de expansiemogelijkheden moeten niet te dicht bij elkaar worden geplaatst omdat dan de longitudinale krachten die bij een aanrijding op de constructie werken en via de palen en diagonalen worden overgebracht op het viaduct, over te weinig palen worden verdeeld, zodat dan de momenten veroorzaakt door longitudinale krachten te hoog worden.

Het uiteindelijke voorstel bevat vier alternatieven, ieder bestaande uit twee paren beveiligingsconstructie (één voor het betonnen gedeelte van het viaduct en één voor het stalen gedeelte), steeds met ongeveer gelijkwaardige prestaties per paar, echter met een van elkaar afwijkende ligger-paalstijfheid-verhouding.

De eerste twee paren zijn ontworpen op basis van de "extreme" condities voor voertuigen komende van de derde rijstrook (NOS III en VOS III). Het derde en vierde paar is ontworpen op basis van de "extreme" condities voor voertuigen komende vanaf de tweede rij-

strook (NOS II en VOS II). Uit dit voorstel dienen dus achtereenvolgens twee keuzen te worden gedaan.

1. Indien wordt besloten dat tevens zodanige verkeersmaatregelen worden genomen dat inrijdingen van vrachtauto's vanaf de derde rijstrook absoluut kunnen worden voorkomen, kan worden volstaan met de NOS II of VOS II constructies.

2. De keuze tussen NOS of VOS constructies dient te worden bepaald op grond van afwegingen van kosten (o.a. massa materiaal per strekkende meter) tegen als toelaatbaar te achten krachten op het viaduct.

De zogenaamde NOS-constructies bestaan uit liggers die zijn samengesteld uit IPE 360 profielen. De VOS-barriers hebben minder stijve liggers die zijn samengesteld uit IPE 300 profielen. De VOS-constructies hebben t.o.v. de qua prestatie overeenkomende NOS-constructies stijvere palen. De VOS-constructies brengen dan ook hogere krachten over op het viaduct.

De NOS II en NOS III verschillen onderling uitsluitend in paalstijfheid. Hetzelfde geldt voor de VOS II en VOS III-constructies.

Aangezien bij het stalen gedeelte van het viaduct de paalafstand 4 m diende te bedragen en bij het betonnen gedeelte 3,60 m, moet hiermee bij alle constructies rekening worden gehouden. Om een gelijkblijvende paalweerstand per strekkende meter constructie te verkrijgen dienen bij het stalen gedeelte de palen iets stijver te zijn dan bij het betonnen gedeelte. De keuze van de profielen wordt echter beperkt door de in de handel verkrijgbare afmetingen. Voor de diverse constructies zijn dan ook de zo goed mogelijk bijpassende profielen gekozen (zie ook Afbeelding 18). Het grote voordeel hierbij is dat de liggers geen aanpassing behoeven, zodat discontinuïteiten daarin kunnen worden vermeden.

Door middel van computerruns met het grote programma is, op basis van de in (1) aangegeven mogelijkheden, vervolgens gecontroleerd hoe de hierboven vermelde vrachtautobeveiligingsconstructies zich gedragen onder de gedefinieerde extreme condities. Daarbij zijn als criterium gebruikt: de vraag of de wielen van de voertuigen al dan niet op het viaduct bleven; de ASI-waarden voor inzittenden; een

maximum uitbuiging van de constructie. Daarbij werd ook nagegaan of er kantelgevaar bestond. In deze computerruns is rekening gehouden met de invloed die de SWOV-constructie al gehad heeft op de inrijcondities.

De NOS III-constructie buigt maximaal ca. 1,20 meter uit, waarbij de ASI-waarden voor de voertuigen varieert tussen 2 en 1,3. De wielen van de voertuigen blijven binnen de rand van het viaduct. De middelzware vrachtauto krijgt onder extreme condities een hoge ASI-waarde, hetgeen veroorzaakt wordt door de geringere massa van het voertuig. Voor de bus (ook met passagiers) geldt hetzelfde als voor de middelzware vrachtauto. Ook onder afwijkende extreme condities - lagere snelheden en grotere inrijhoeken - worden goede resultaten voor de zware voertuigen verkregen. De ASI-waarden blijven hierbij rond de waarde 1. Voor de VOS III-constructie geldt een analoog beeld.

De NOS II-constructie, die iets minder stijf is dan de NOS III-constructie, geeft bij extreme condities zowel voor de zware voertuigen als ook voor de middelzware vrachtauto goede resultaten. De ASI-waarden blijven relatief laag en de voertuigen blijven op het viaduct. Voor de VOS II-constructie geldt hetzelfde.

Afbeelding 16 bevat de prestaties van de NOS III en VOS III-constructie op basis van een uitbuiging van ca. 1,3 meter, hetgeen ongeveer het maximum is voor deze constructies. Afbeelding 17 geeft dezelfde informatie voor de NOS II en VOS II-constructie.

De globale conclusie die uit beide afbeeldingen valt te trekken is dat alle voorgestelde beveiligingsconstructies in staat zijn te voldoen aan het hoofdcriterium: tegenhouden van een zware vrachtauto van 30.000 kg (met inachtnaam van de mogelijkheid de invloed van verkeersmaatregelen te verdisconteren in de uiteindelijke keuze van een beveiligingsconstructie). In het hoge snelheidsgebied liggen de fysisch nog haalbare inrijcondities iets hoger dan de mogelijkheden van de beveiligingsconstructies. Dit geldt in iets sterkere mate voor de VOS III van voor de overige constructies. De afwijking moet echter als marginaal worden beschouwd, gezien de extreme inrijcondities die zijn gehanteerd.

Onder verwijzing naar het rapport van Prof. V. Giavotto (1) kunnen nog de volgende opmerkingen worden gemaakt:

De voorgestelde verbinding tussen paal en liggers is zodanig uitgevoerd dat paalafstanden naar believen gekozen kunnen worden. Dit levert dus weinig moeilijkheden op bij de opbouw van de constructie. Tevens houdt dit in dat, ondanks de verschillen in paalafstanden (4 en 3,6 meter), zoals die noodzakelijk zijn gezien de constructie van het viaduct (betonnen en stalen gedeelte), hiervoor geen speciale voorzieningen behoeven te worden getroffen. Uitsluitend de paalstijfheid (paalprofiel) moet worden aangepast aan de paalafstand.

De verbinding tussen paal en viaduct is zo ontworpen dat hiermee nauwelijks, door eventuele in de vrachtautobeveiligingsconstructie werkende longitudinale krachten veroorzaakte, koppels op het viaduct kunnen worden overgebracht. De longitudinale krachten in de constructie kunnen worden getransporteerd door de voorgestelde diagonalen en als langskracht op de dwarsliggers van het viaduct overgebracht.

De voorgestelde verbindingsconstructie tussen paal en viaduct is bedoeld om op een door de opdrachtgever te voorziene wijze aan het viaduct te worden bevestigd. De verbindingsconstructie is zodanig ontworpen dat het viaduct niet beschadigd kan worden door inwerking van krachten als gevolg van een inrijding tegen de beveiligingsconstructie (althans indien de opgave van de maximaal te verdragen krachten juist is). De verbindingsconstructie bevat een zeer dikke plaat, die niet zal vervormen als gevolg van een aanrijding met de beveiligingsconstructie. Vervorming of beschadiging zal optreden in de bouten.

De voorgestelde expansiemogelijkheid kan niet alleen kleinere expansielengten overbruggen, zoals benodigd tussen de voorgestelde lengte-eenheden van de beveiligingsconstructie in de orde van 20 meter, maar is ook in staat grotere expansielengten (tot ca. 1 meter) te overbruggen. Voor zover is kunnen worden nagegaan, zal een totale expansielengte van ca. 1 meter ruim voldoende zijn voor het overbruggen van de in het viaduct geplande expansiemogelijkheden.

Begin en eind van de vrachtautobeveiligingsconstructie mogen geen extra gevaar opleveren. Nagegaan moet worden of, met name het begin van de beveiligingsconstructie, kan worden afgebogen van het wegverkeer (liefst tot een afstand van tenminste 10 m) en of de uiteinden bijvoorbeeld kunnen worden ingegraven.

7. CONCLUSIE

Ten aanzien van de door de opdrachtgever voorgestelde vrachtautobeveiligingsconstructie luidt de conclusie dat het zeer onwaarschijnlijk is dat deze constructie onder zwaardere inrijcondities in staat zal zijn zware vrachtauto's te verhinderen van het viaduct af te rijden.

De SWOV stelt voor als alternatief:

Een SWOV-constructie (type V_{1p} 2DL 267): dubbeluitgebouwd met een afstandhouder op elke 1,333 meter, een DL4 paal (met 4 mm las) bij elke tweede afstandhouder en een diagonaal in elk middenveld van een railenlengte van ca. 4 m. Deze constructie wordt voorgesteld voor zowel zijberm als middenberm.

Een vrachtautobeveiligingsconstructie, op basis van de beoordeling van de in Hoofdstuk 6 aangegeven overwegingen, te kiezen uit de mogelijkheden als vermeld in de Tabel op blz. 32.

Deze keuze betreft in het kort de volgende elementen.

1. Modificaties II of III (op basis van evt. verkeersmaatregelen).
2. NOS of VOS (op basis van kosten/toelaatbaar te achten krachten op viaduct).
3. Paalafstand (stalen of betonnen gedeelte).

N.B. De resultaten van deze studie moeten ten hoogste als voorlopig worden aangemerkt, aangezien de theoretische studie niet is geverifieerd door middel van proeven op ware schaal. De uitvoering hiervan is afhankelijk van een beslissing van de opdrachtgever.

Vrachtauto- beveiligings- constructie, type	Gedeelte viaduct	Paal- afstand (m)	Paal- profiel	Ligger- profiel	Hoek helling paal t.o.v. brugdek	Massa per strekkende meter (kg/m)	Max. buigend moment in dwarstichting v.h. viaduct op de verbin- ding paal- viaduct (tonfm)	Max. totaal kracht op het viaduct (tonf)
NOS III	beton	4	HE 180B	IPE 360	21°	394	18,91	140,7
VOS III	beton	4	HE 180A	IPE 300	22,5°	333	23,72	150,1
NOS III	staal	3,6	HE 200A	IPE 360	21°	397	19,20	140,7
VOS III	staal	3,6	HE 220A	IPE 300	22,5°	325	21,34	150,1
NOS II	beton	4	HE 160A	IPE 360	21°	379	10,49	86,8
VOS II	beton	4	HE 160B	IPE 300	22,5°	319	13,55	94,9
NOS II	staal	3,6	HE 160A	IPE 360	21°	386	10,49	86,8
VOS II	staal	3,6	HE 200B	IPE 300	22,5°	322	12,20	94,9

AFBEELDINGEN

Afbeelding 1. Plattegrond en aanzicht van het viaduct in de auto-snelweg "rondweg Brussel".

Afbeelding 2. Verdeling Nederlands en Belgisch park aan voertuigen met een massa groter dan 3500 kg. Bron: (8) en (9).

Afbeelding 3. Zwaartepunthoogten, laadbakhoogten en bandhoogten van vrachtauto's (en personenauto's).

Afbeelding 4. Verdeling botssnelheden. Bron: (11) en (12).

Afbeelding 5. Verdeling botssnelheden. Bron: (13).

Afbeelding 6. Verdeling botshoeken. Bron: (11), (12) en (13).

Afbeelding 7. Fysisch mogelijke inrijcondities van personenauto (1245 kg) voor eerste, tweede en derde rijstrook, alsmede voor derde rijstrook bij rechte weg.

Afbeelding 8. Fysisch mogelijke inrijcondities van autobus (13.000 kg) voor eerste, tweede en derde rijstrook, alsmede voor derde rijstrook bij rechte weg.

Afbeelding 9. Fysisch mogelijke inrijcondities van middelzware vrachtauto (17.500 kg) voor eerste, tweede en derde rijstrook, alsmede voor derde rijstrook bij rechte weg.

Afbeelding 10. Fysisch mogelijke inrijcondities van zware vrachtauto (30.000 kg) voor eerste, tweede en derde rijstrook, alsmede voor derde rijstrook bij rechte weg.

Afbeelding 11. Fysisch mogelijke inrijcondities van trekker + opleggercombinatie (40.000 kg) voor eerste, tweede en derde rijstrook, alsmede voor derde rijstrook bij rechte weg.

Afbeelding 12. Mogelijkheden Belgisch ontwerp (130 cm uitbuiging) tegen fysisch mogelijke inrijcondities van middelzware vrachtauto (17.500 kg) voor eerste, tweede en derde rijstrook, alsmede voor derde rijstrook bij rechte weg.

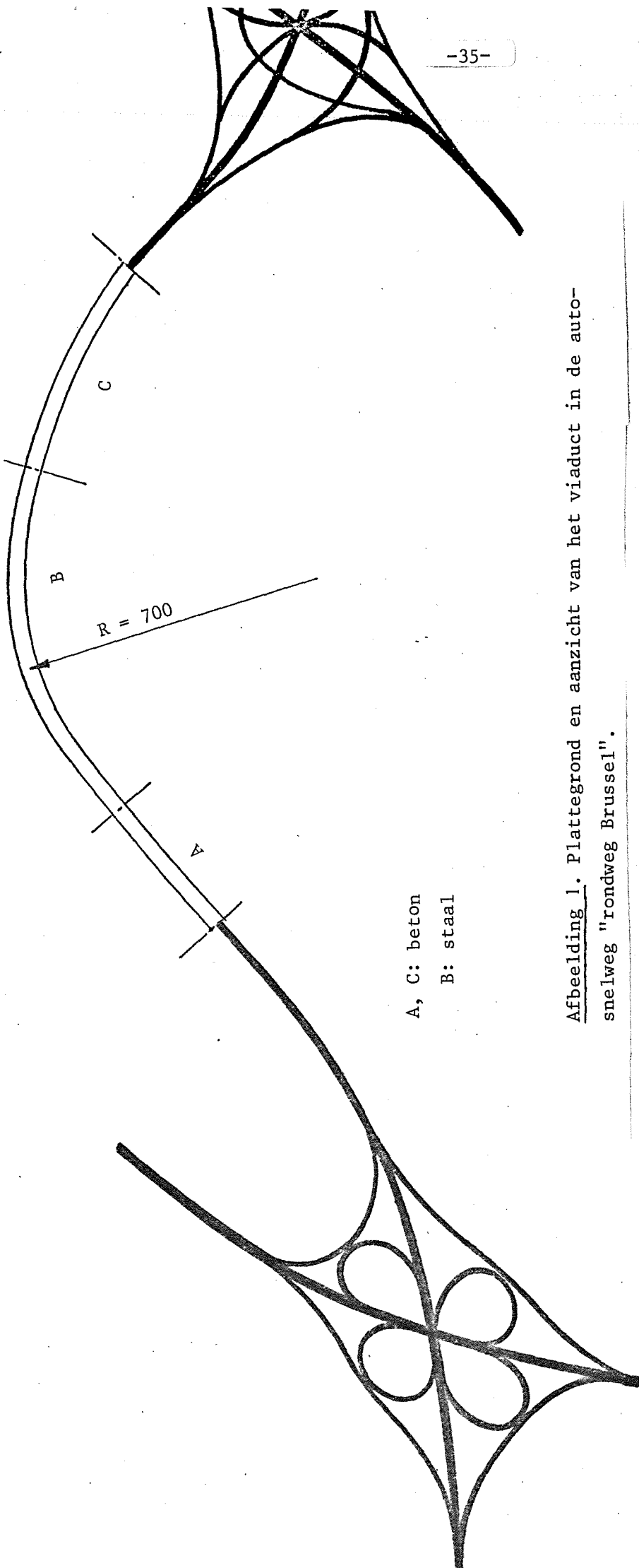
Afbeelding 13. Mogelijkheden Belgisch ontwerp (130 cm uitbuiging) tegen fysisch mogelijke inrijcondities van zware vrachtauto (30.000 kg) voor eerste, tweede en derde rijstrook, alsmede voor derde rijstrook bij rechte weg.

Afbeelding 14. Mogelijkheden Belgisch ontwerp (130 cm uitbuiging) tegen fysisch mogelijke inrijcondities van trekker + opleggercombinatie (40.000 kg) voor eerste, tweede en derde rijstrook, alsmede voor derde rijstrook bij rechte weg.

Afbeelding 15. Dwarsdoorsnede voorgestelde vrachtautobeveiligingsconstructie.

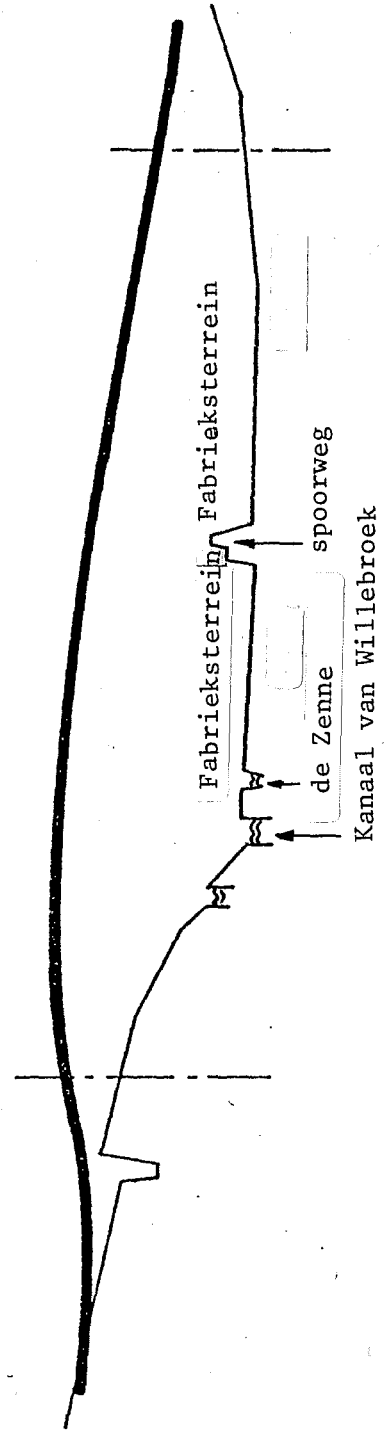
Afbeelding 16. Mogelijkheden NOS III en VOS III constructies (130 cm uitbuiging) tegen fysisch mogelijke inrijcondities zware vrachtauto (30.000 kg) voor eerste, tweede en derde rijstrook, alsmede voor derde rijstrook bij rechte weg.

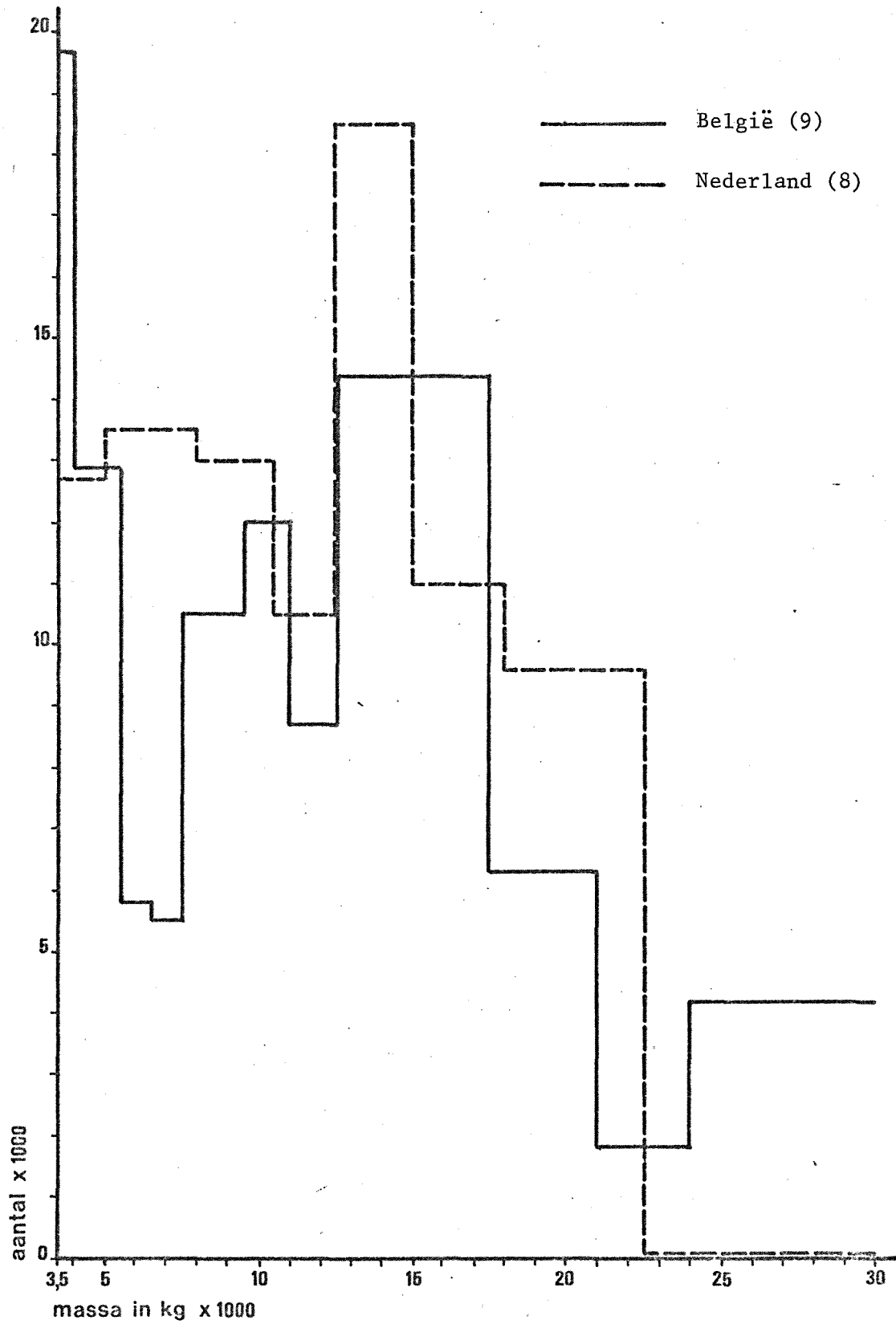
Afbeelding 17. Mogelijkheden NOS II en VOS II constructies (130 cm uitbuiging) tegen fysisch mogelijke inrijcondities zware vrachtauto (30.000 kg) voor eerste, tweede en derde rijstrook, alsmede voor derde rijstrook bij rechte weg.



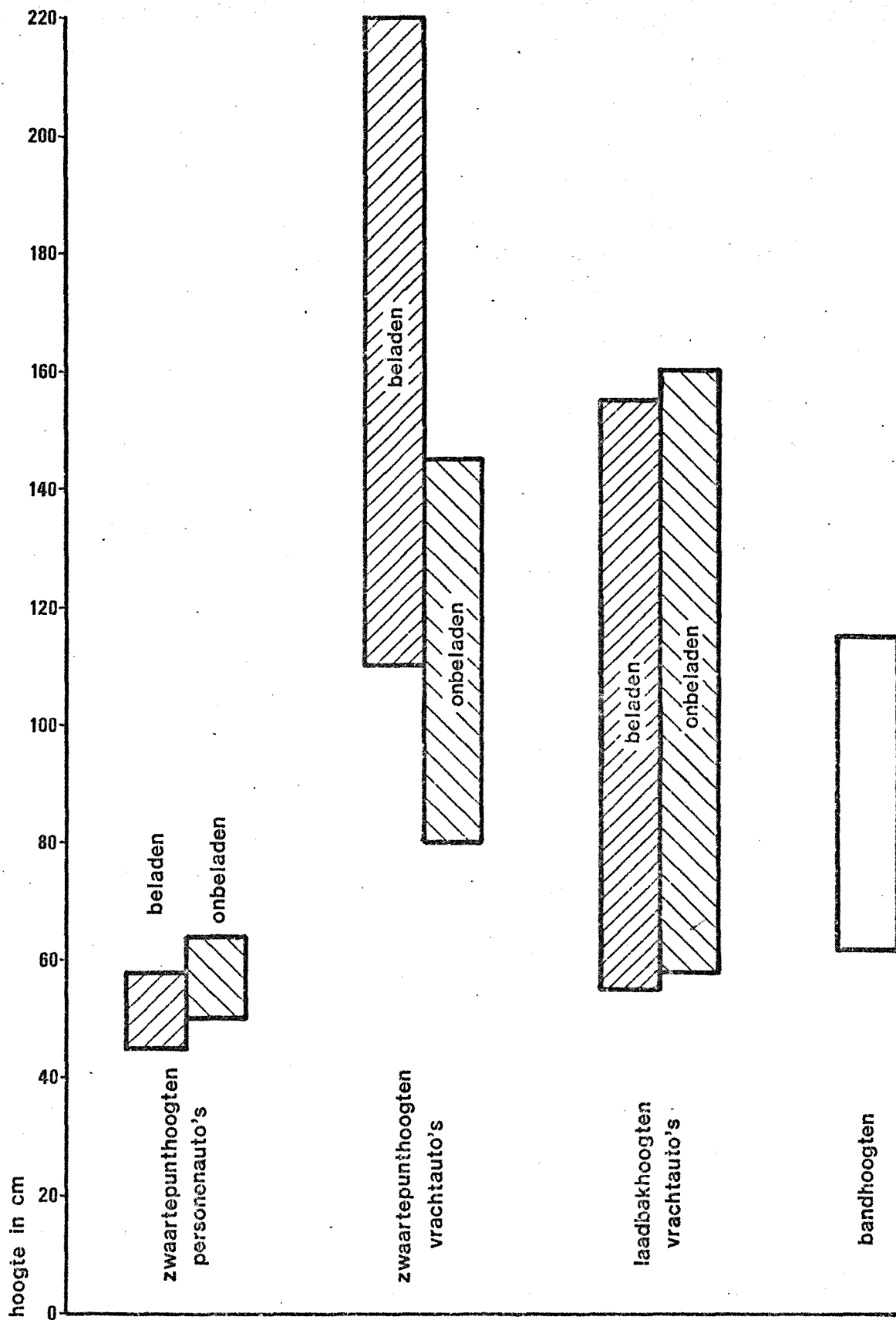
A, C: beton
B: staal

Afbeelding 1. Plattegrond en aanzicht van het viaduct in de auto-snelweg "rondweg Brussel".

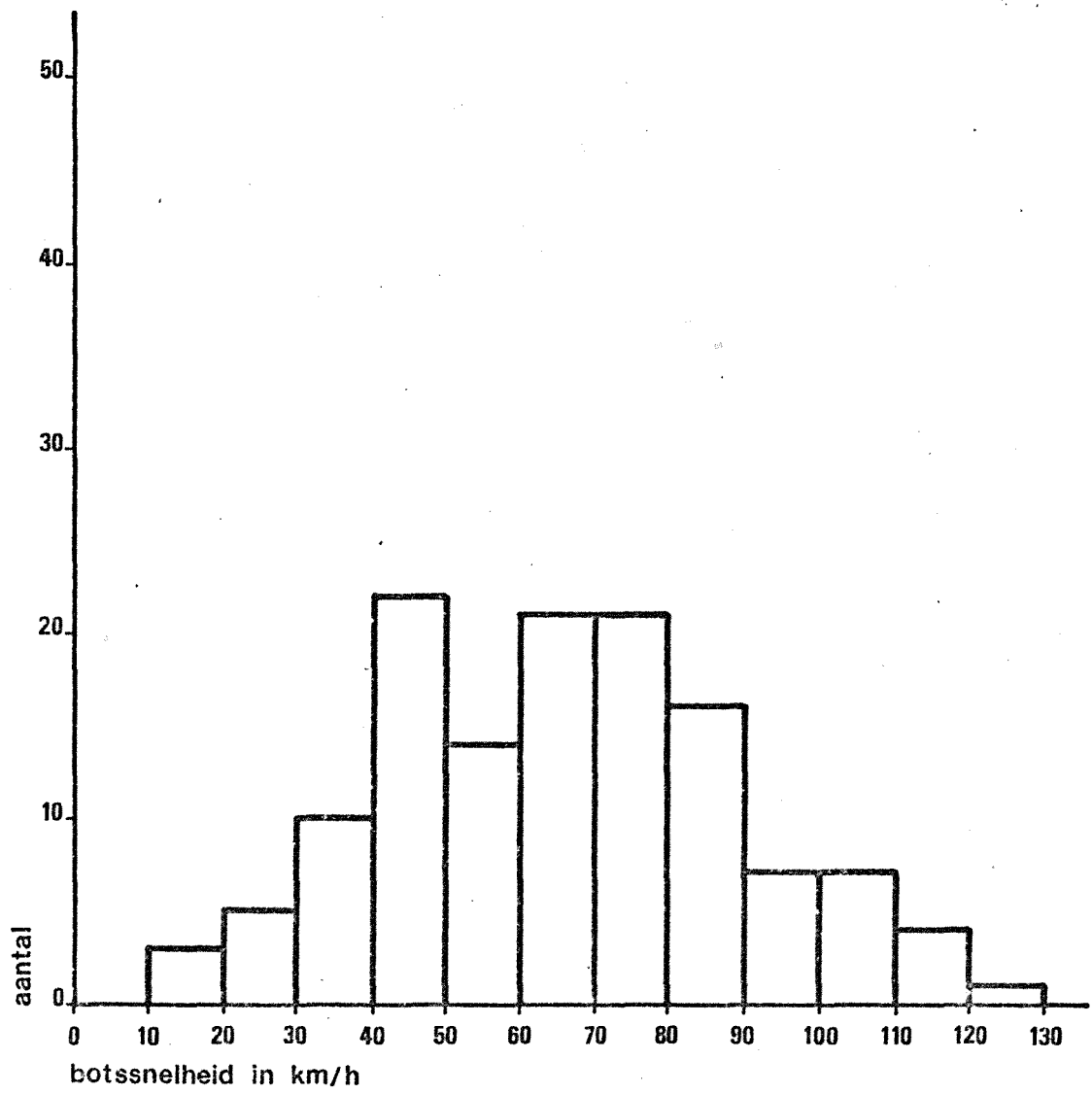




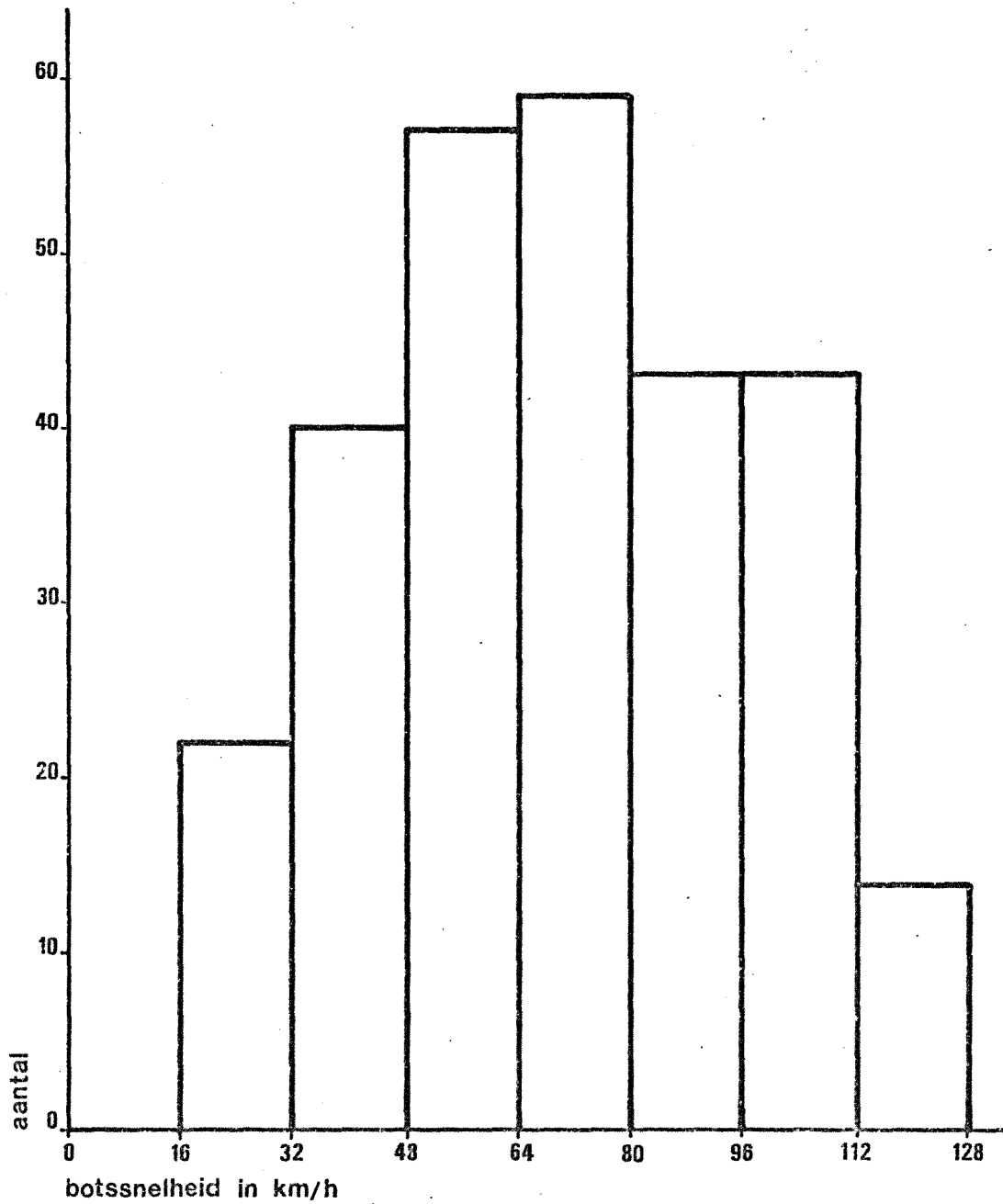
Afbeelding 2. Verdeling Nederlands en Belgisch park aan voertuigen met een massa groter dan 3500 kg. Bron: (8) en (9).



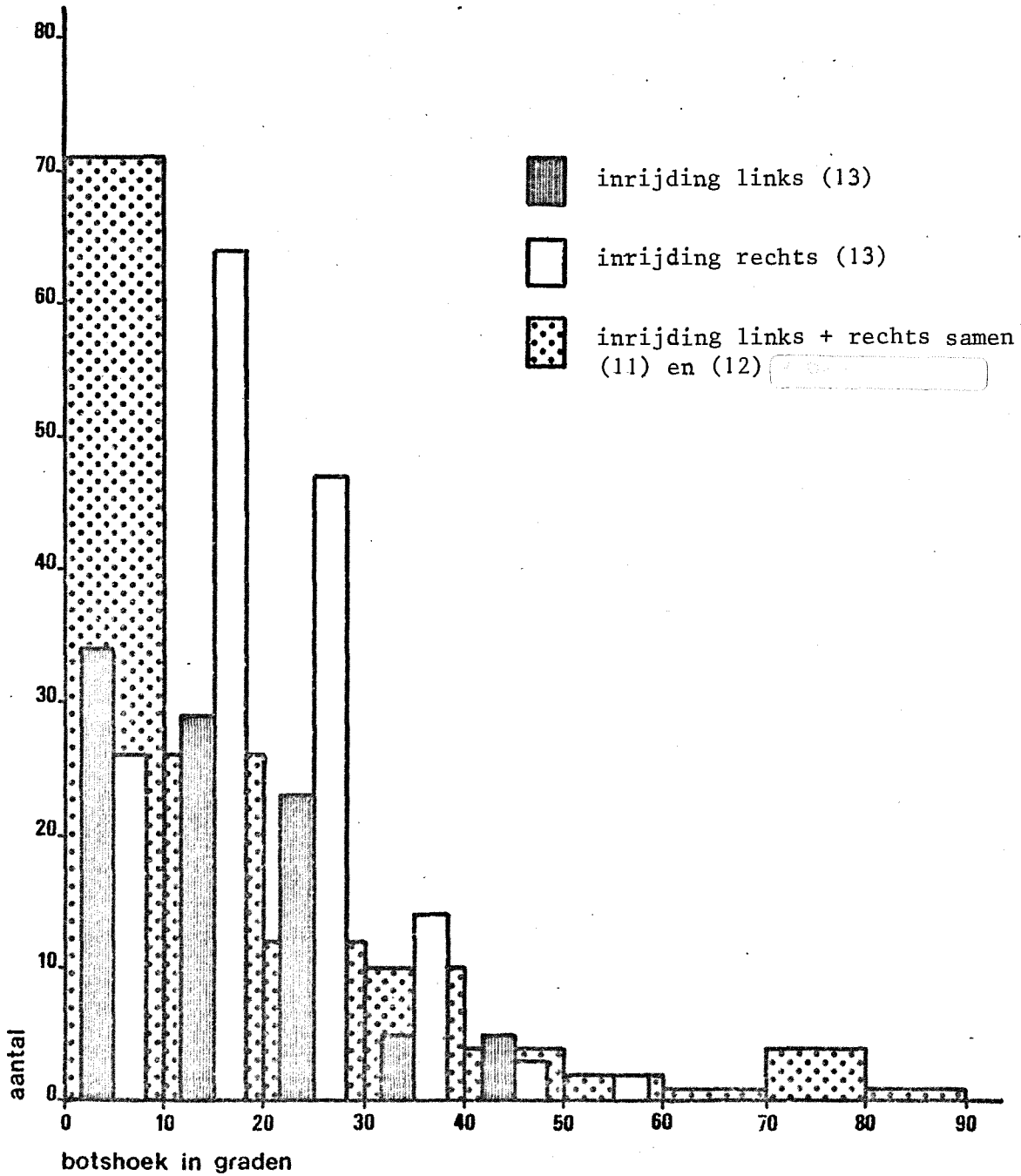
Afbeelding 3. Zwaartepunthoogten, laadbakhoogten en bandhoogten van vrachtauto's (en personenauto's).



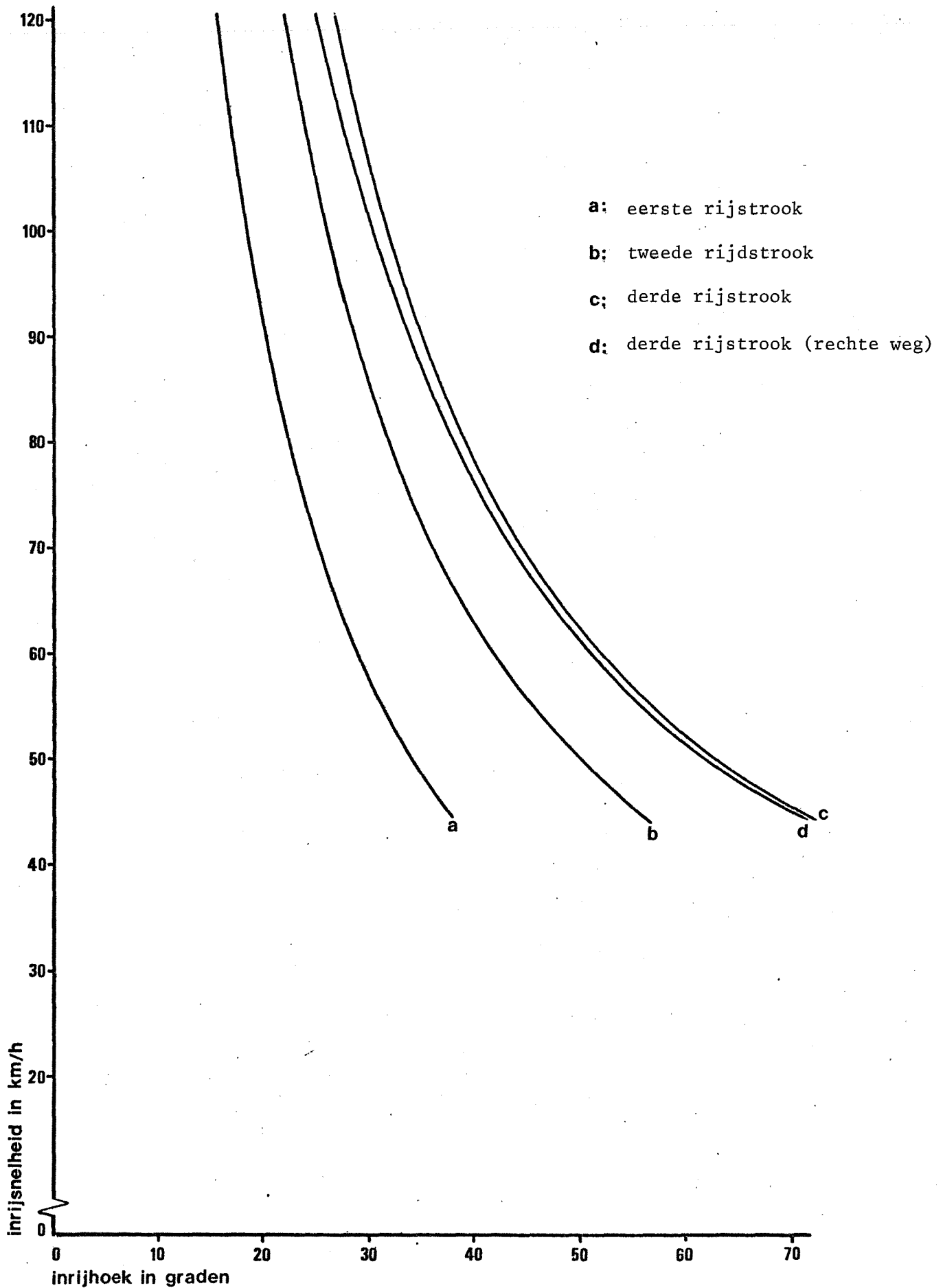
Afbeelding 4. Verdeling botssnelheden. Bron: (11) en (12).



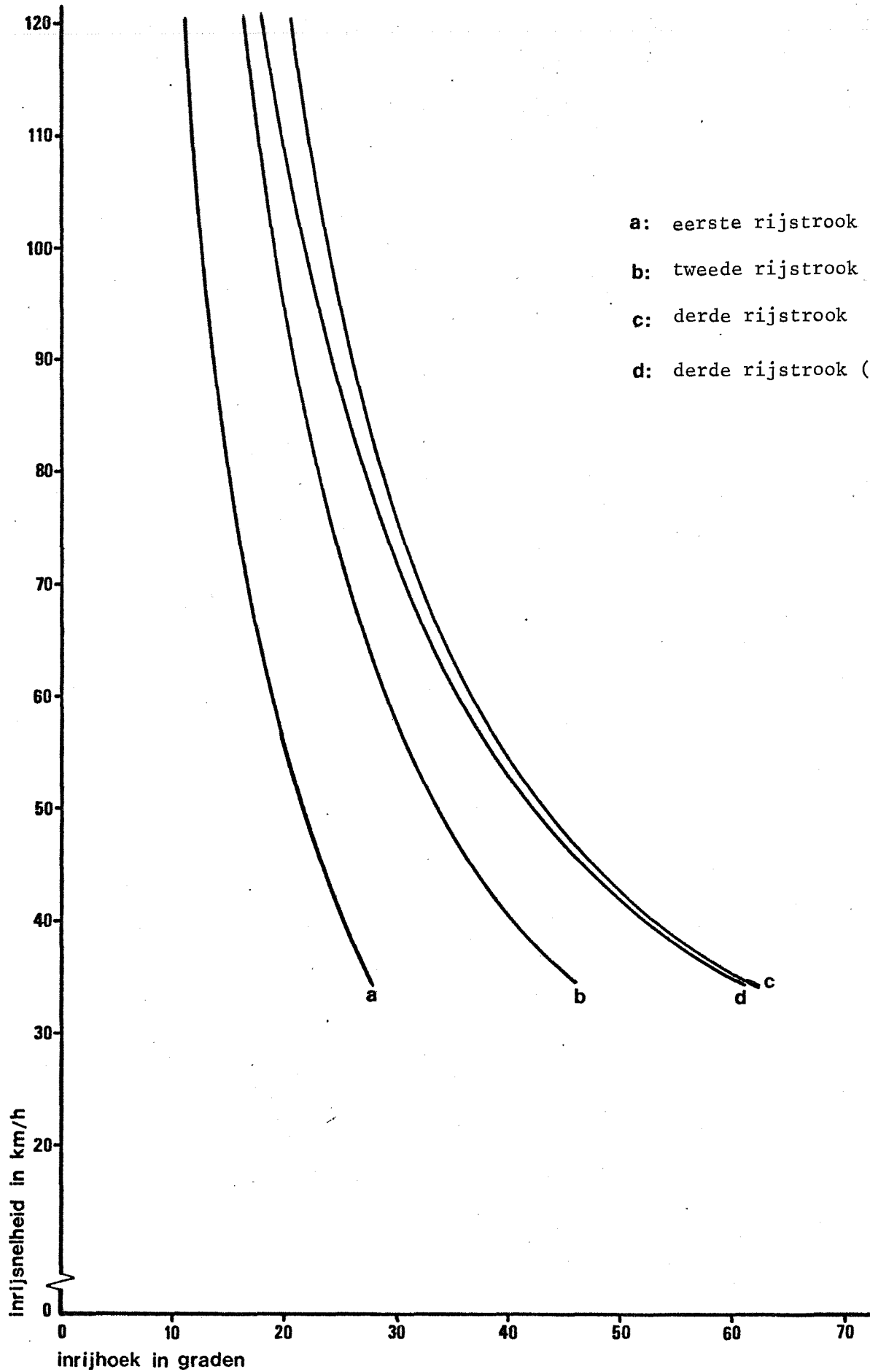
Afbeelding 5. Verdeling botssnelheden. Bron: (13).



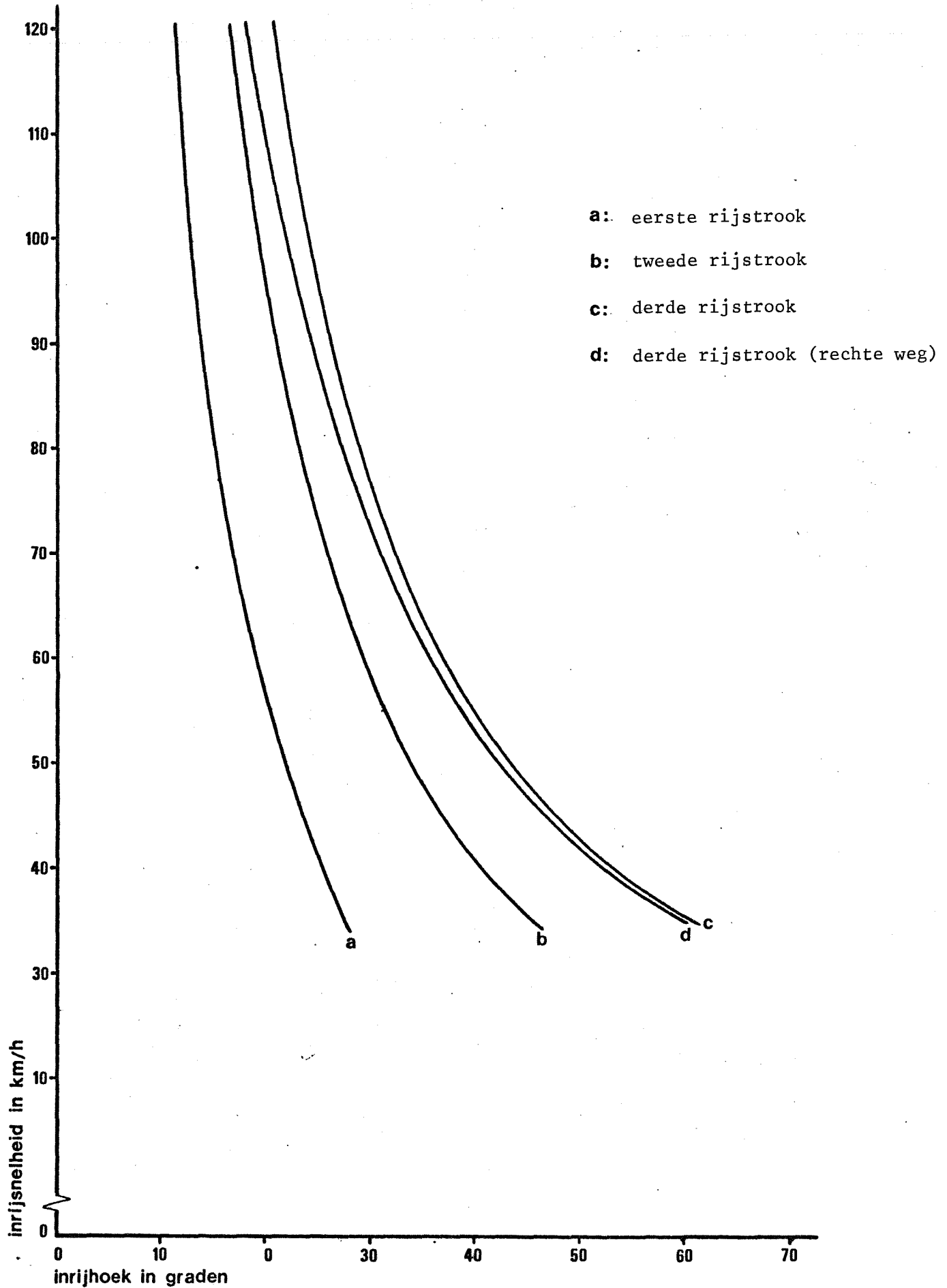
Afbeelding 6. Verdeling botshoeken. Bron: (11), (12) en (13).



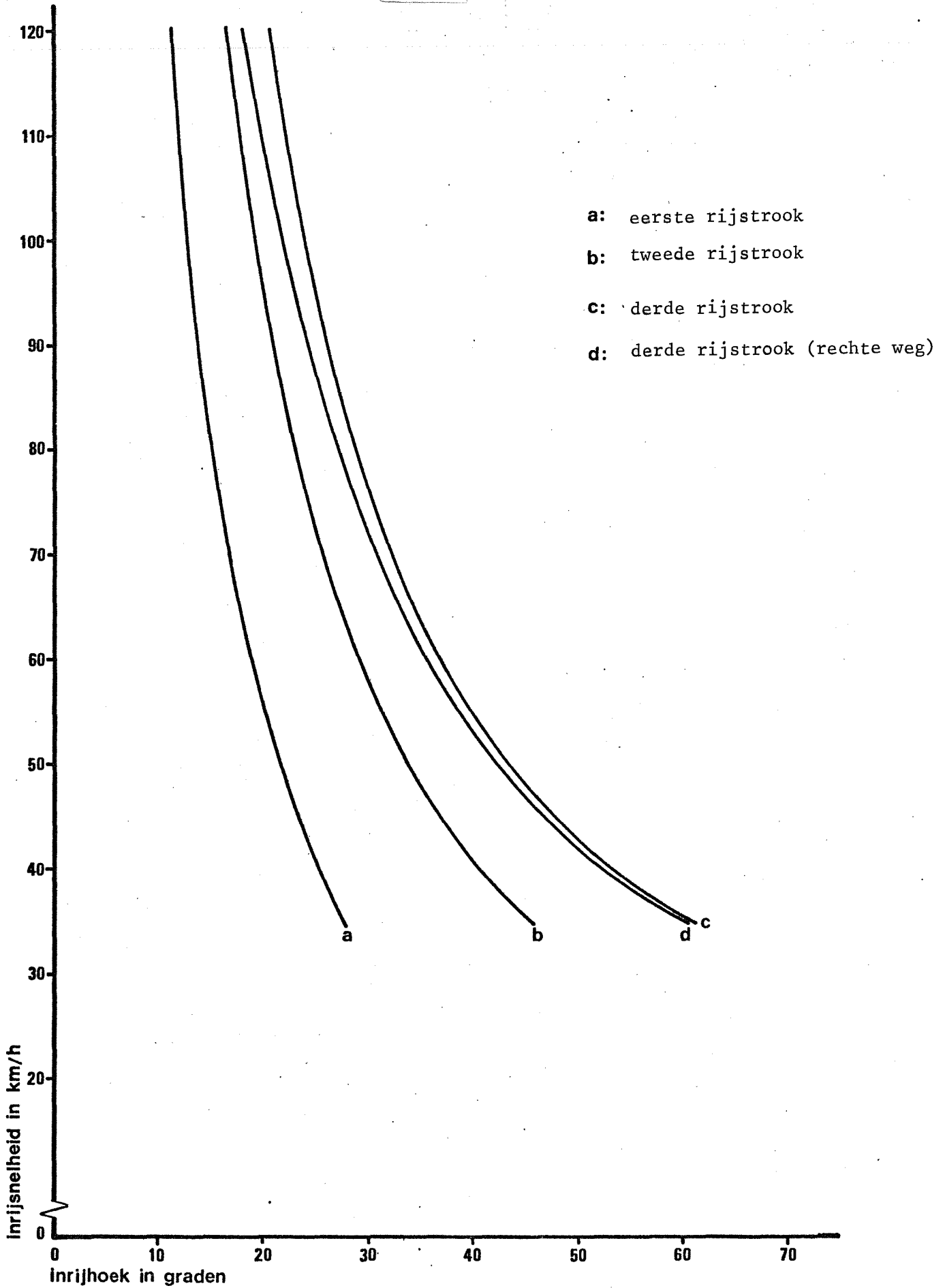
Afbeelding 7. Fysisch mogelijke inrijcondities van personenauto (1245 kg) voor eerste, tweede en derde rijstrook, alsmede voor derde rijstrook bij rechte weg.



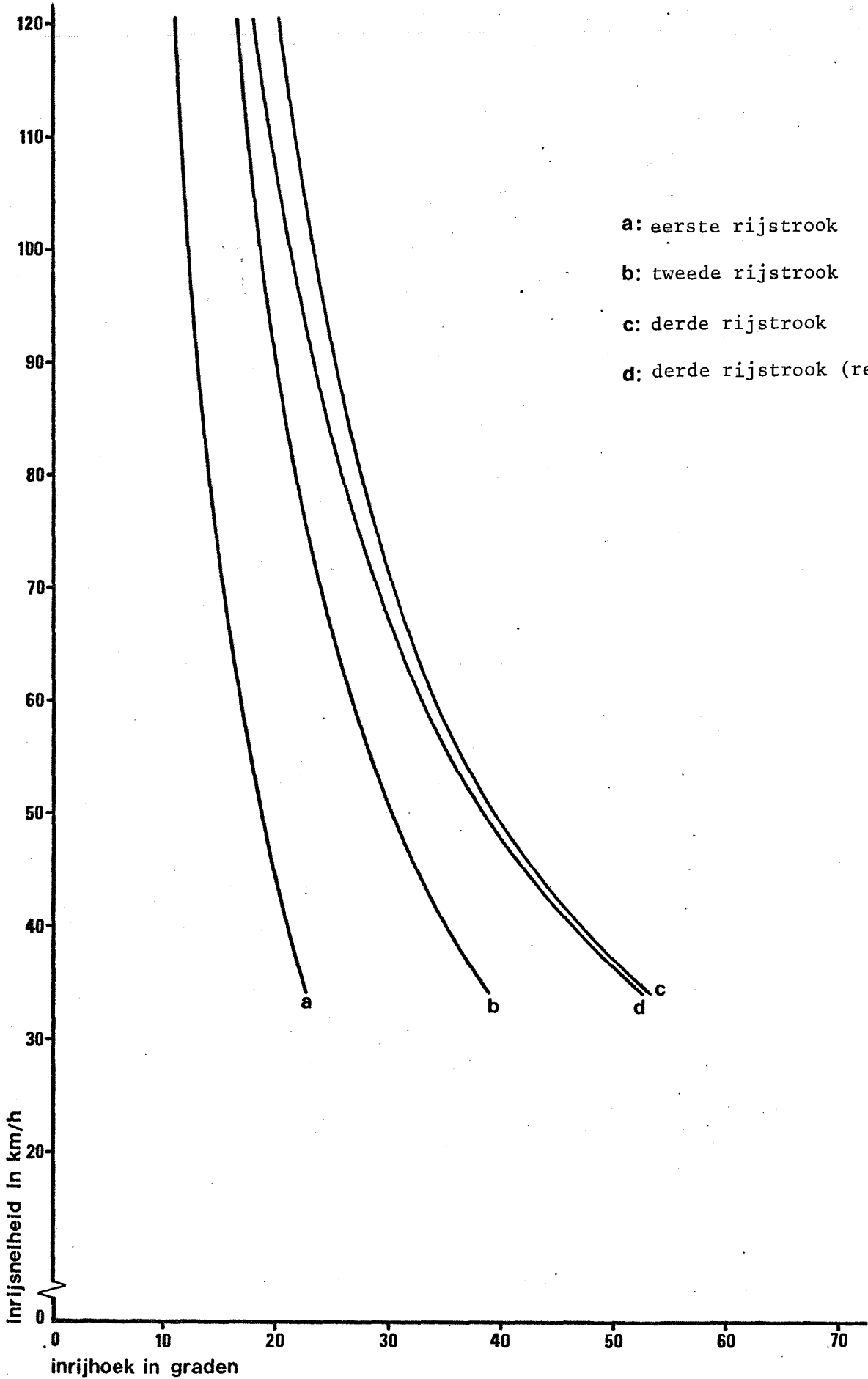
Afbeelding 8. Fysisch mogelijke inrijcondities van autobus (13.000 kg) voor eerste, tweede en derde rijstrook, alsmede voor derde rijstrook bij rechte weg.



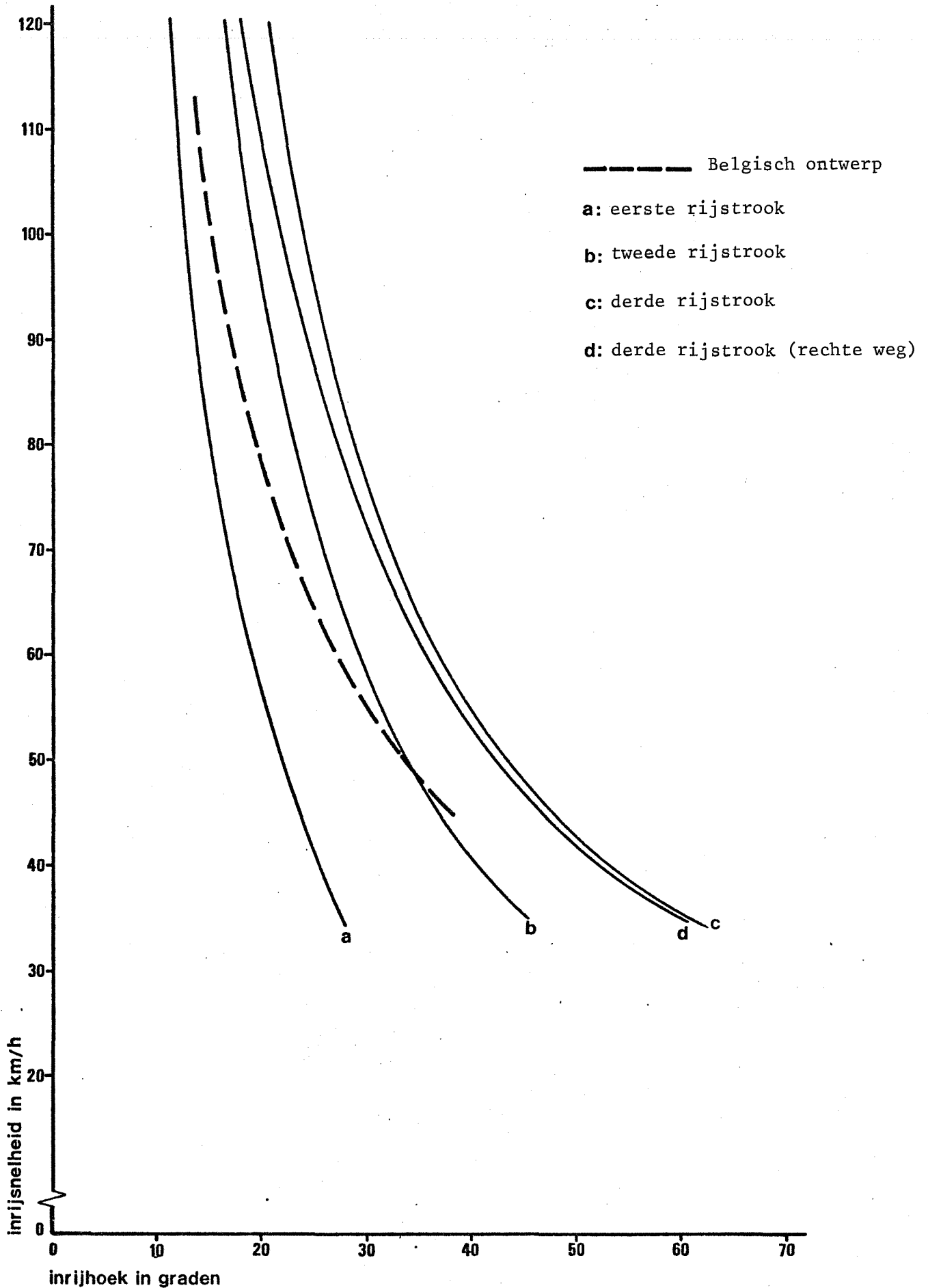
Afbeelding 9. Fysisch mogelijke inrijcondities van middelzware vrachtauto (17.500 kg) voor eerste, tweede en derde rijstrook, alsmede voor derde rijstrook bij rechte weg.



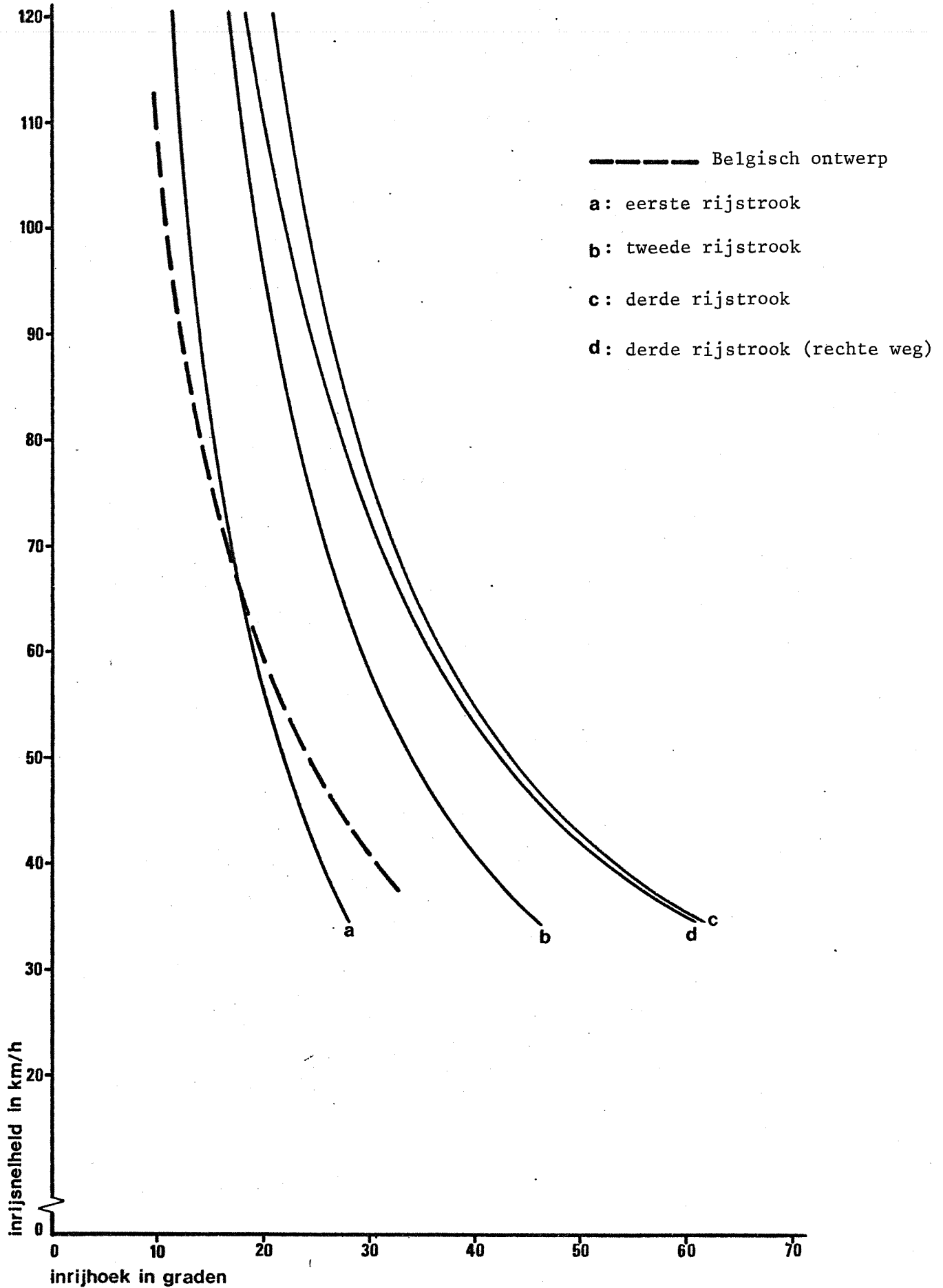
Afbeelding 10. Fysisch mogelijke inrijcondities van zware vrachtauto (30.000 kg) voor eerste, tweede en derde rijstrook, alsmede voor derde rijstrook bij rechte weg.



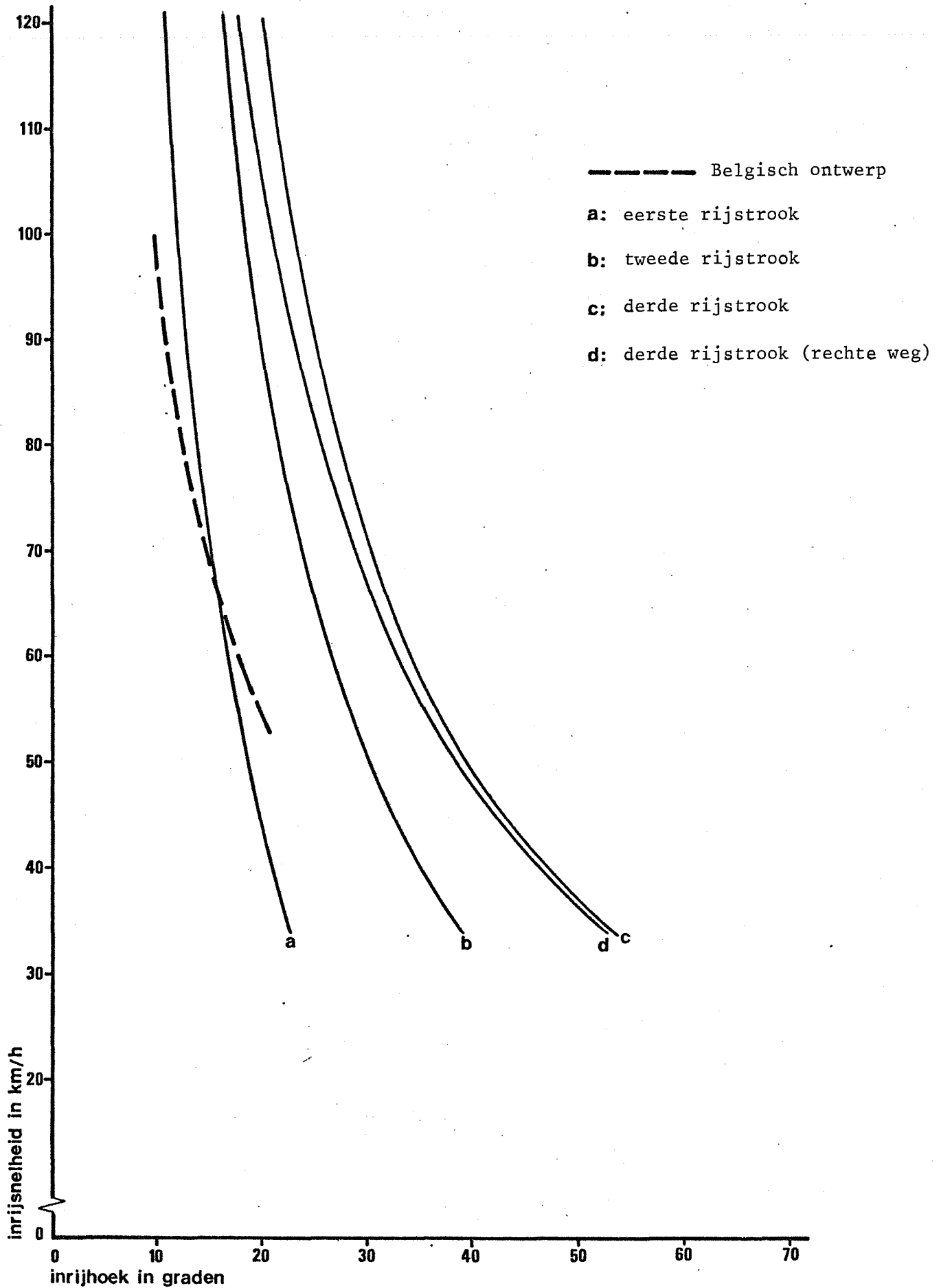
Afbeelding 11. Fysisch mogelijke inrijcondities van trekker + opleggercombinatie (40.000 kg) voor eerste, tweede en derde rijstrook, alsmede voor derde rijstrook bij rechte weg.



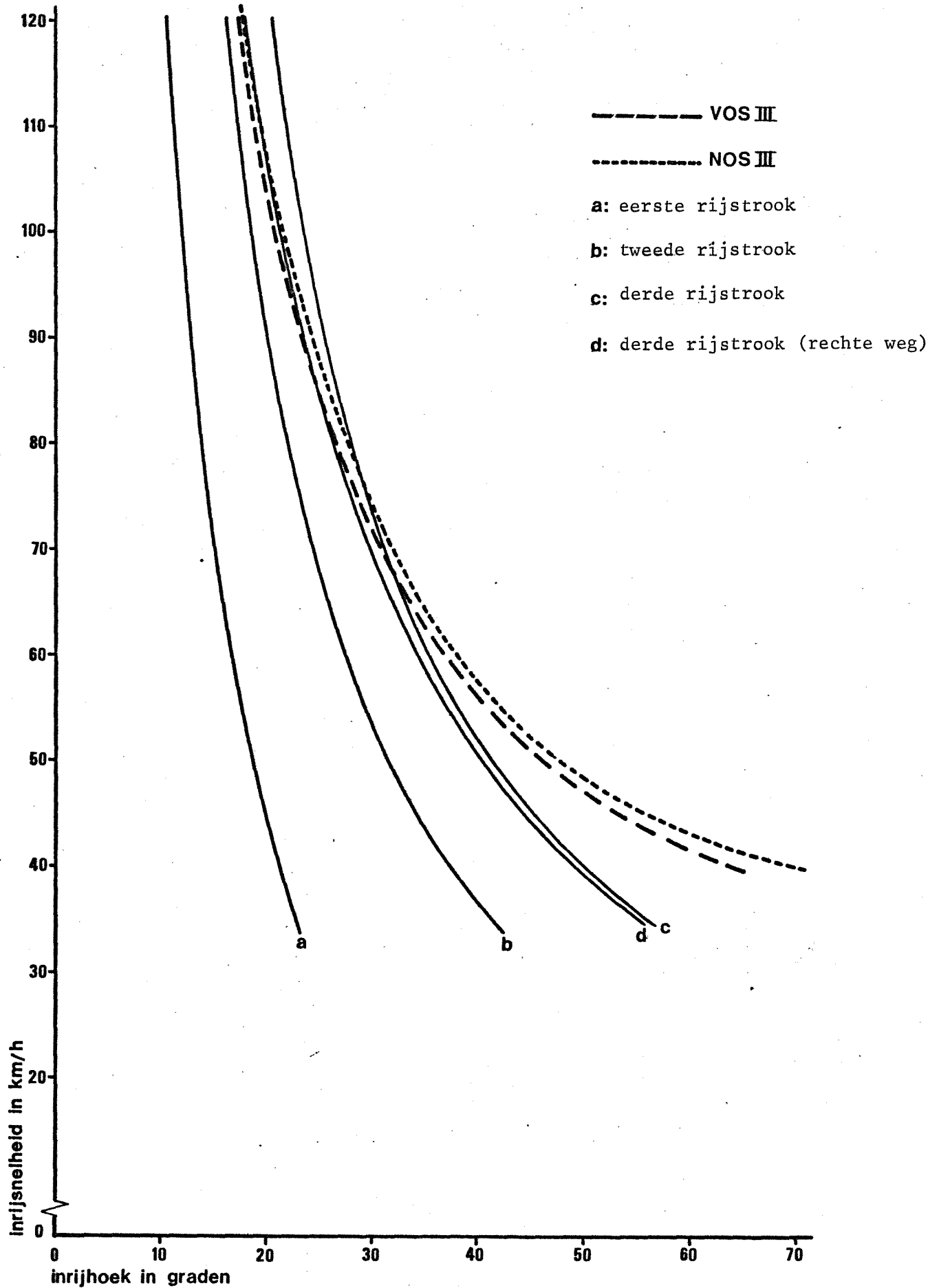
Afbeelding 12. Mogelijkheden Belgisch ontwerp (130 cm uitbuiging) tegen fysisch mogelijke inrijcondities van middelzware vrachtauto (17.500 kg) voor eerste, tweede en derde rijstrook, alsmede voor derde rijstrook bij rechte weg.



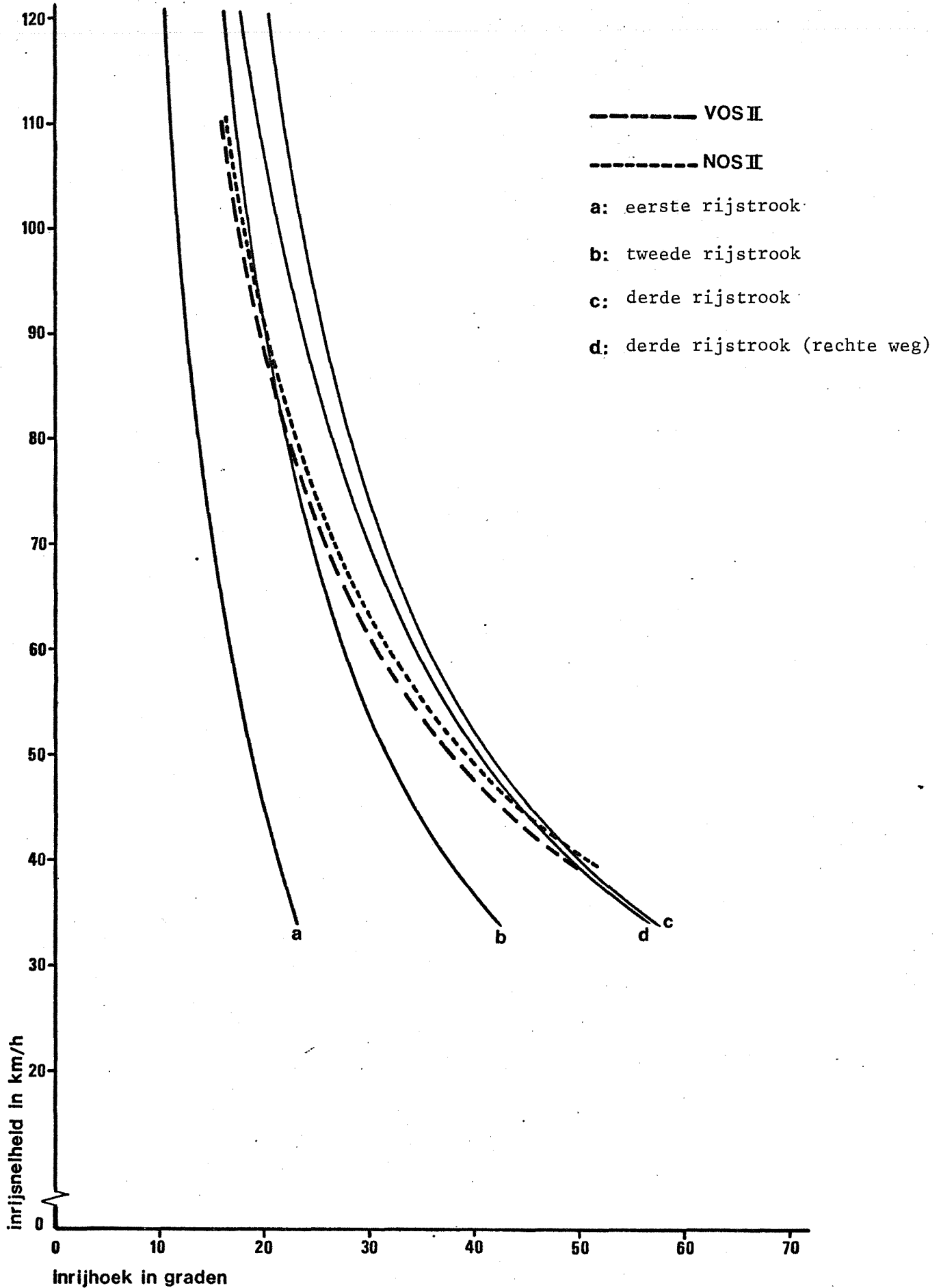
Afbeelding 13. Mogelijkheden Belgisch ontwerp (130 cm uitbuiging) tegen fysisch mogelijke inrijcondities van zware vrachtauto (30.000 kg) voor eerste, tweede en derde rijstrook, alsmede voor derde rijstrook bij rechte weg.



Afbeelding 14. Mogelijkheden Belgisch ontwerp (130 cm uitbuiging) tegen fysisch mogelijke inrijcondities van trekker + opleggercombinatie (40.000 kg) voor eerste, tweede en derde rijstrook, alsmede voor derde rijstrook bij rechte weg.



Afbeelding 16. Mogelijkheden NOS III en VOS III constructies (130 cm uitbuiging) tegen fysisch mogelijke inrijcondities zware vrachtauto (30.000 kg) voor eerste, tweede en derde rijstrook, alsmede voor derde rijstrook bij rechte weg.



Afbeelding 17. Mogelijkheden NOS II en VOS II constructies (130 cm uitbuiging) tegen fysisch mogelijke inrijcondities zware vrachtauto (30.000 kg) voor eerste, tweede en derde rijstrook, alsmede voor derde rijstrook bij rechte weg.

LITERATUUR

1. "Truck barrier project; Design of a new bridge barrier system". Prof. V. Giavotto (1976).
2. "Bermbeveiliging". SWOV-rapport. (1970).
3. "Beveiligingsconstructies op kunstwerken". SWOV-rapport. (Nog niet gepubliceerd).
4. "Criteria for guardrail need and location on embankments". NTIS report PB-214 640. (1972).
5. "Viaductbeveiligingsconstructie voor vrachtauto's". Interim SWOV-rapport. (1975).
6. "Development of a new collapsing ringbridge rail system". SwRI Report, 1975. (Not for publication).
7. "Full scale tests of a modified collapsing ringbridge rail system". SwRI Report, 1976. (Not for publication).
8. "Statistiek van het autopark" (Recente bouwjaren). CBS. (1974).
9. "Verkeer en vervoer in België". Ministerie van Verkeerswezen en van PTT. (1974).
10. "Statistiek van het autopark" (Recente bouwjaren). CBS. (1975).
11. "Highway guardrails - A review of current practice". NCHRP Report 36. (1967).
12. "Erfahrungen mit Metall-Leitplanken". In: Strasse und Verkehr (1964) No. 10 (September).
13. "Development of improved methods for reduction of traffic accidents". NCHRP Report 79. (1969).
14. "Invloedsfactoren op de slipweerstand van autobanden op natte wegdekken". In: Wegen (1975) September.
15. "Tutti i Transporti su Strada". Editoriale Domus SpA., Milano, (z.j.).
16. "INUFA": "Internationaler Nutsfahrzeug Katalog". Vogt-Schild A.G. (1975).
17. "Safety Appurtenances". TRR Report 488. (1974).
18. "Beveiligingsconstructies op kunstwerken". Richtlijnen RWS. (1974).