

Stevin : 25.6.90.21/A2/22.03

BEPALING VAN EEN VERKEERSBELASTINGMODEL
VOOR DE BEREKENING VAN VERKEERSBRUGGEN.

sept 1990

M.H. Kolstein, A. Bruls¹⁾

¹⁾ Université de Liège

KEYWORDS:

Bridge loading, static design, fatigue
Measurements

TU-Delft

Delft University of Technology

Faculty of Civil Engineering

Stevin laboratory - Steel constructions

P.O. Box 5049 ; 2600 GA DELFT

tel. 015-783729 / 015-784005

CONTENTS

1.	INLEIDING.	1
1.1.	Introductie.	1
2.	VERKEERSREGISTRATIE.	4
2.1.	Aslasten.	4
2.2.	Typenregistratie.	5
2.3.	Overige registraties.	6
2.4.	Data-acquisitie.	6
3.	VERKEERSANALYSE.	6
4.	SIMULATIEPROGRAMMA UNIVERSITEIT LUIK.	9
4.1.	De verkeerstrein.	9
4.2.	De voertuigtypen.	9
4.3.	De tussenafstanden van vrachtauto's.	10
4.4.	De berekende effecten.	10
4.5.	Bevindingen.	11
5.	ANALYSE VAN DE BELASTINGEN.	11
5.1.	Belasting die lx per dag wordt overschreden.	12
5.2.	Gebruiksbelastingen.	13
5.3.	Statische ontwerpbelasting.	14
5.4.	Vermoeiingsbelasting.	16
6.	BELASTINGMODEL.	20
6.1.	Statische ontwerpbelasting.	20
6.2.	Gebruiksbelasting.	21
6.3.	Vermoeiing.	21
6.4.	Enkele aanvullende opmerkingen.	22
7.	TOETSING VAN HET BELASTINGMODEL.	23
7.1.	Statische ontwerpbelasting.	23
7.2.	Gebruiksbelasting.	24
7.3.	Vermoeiingsbelasting.	24
8.	SLOTOPMERKING.	24
9.	REFERENTIES.	25

1. INLEIDING.

1.1. Introductie.

In 1987 heeft de Commissie van de Europese Gemeenschappen een groep specialisten opgedragen Eurocode 9 Deel 12 "Eurocode on actions - Traffic Loads on Road Bridges" voor te bereiden. De eerste taak bestond uit het samenstellen van een rapport waarin naast inventarisatie van recente ontwikkelingen met betrekking tot verkeersbelastingen een eerste voorstel moest worden gedaan voor nieuwe belastingmodellen voor verkeersbruggen. Verdere uitwerking hiervan vindt op dit moment nog plaats.

Dit rapport geeft een samenvatting van de studies die sinds 1975 met financiële ondersteuning vanuit de Europese Gemeenschap voor Kolen en Staal over dit onderwerp zijn uitgevoerd en die de wetenschappelijke basis vormen voor de voorgestelde Eurocode-belastingmodellen. Het spreekt voor zich, dat de belastingen zeker niet alleen voor stalen bruggen van belang zijn, maar in gelijke mate gelden voor betonnen bruggen.

De internationale samenwerking bij dit EGKS onderzoek bestond uit de volgende landen en onderzoekinstituten:

- Engeland : Transport and Road Research Laboratory;
- België : Université de Liège;
- Italië : Università di Piza;
- Duitsland : Fraunhofer Institut für Betriebsfestigkeit;
- Frankrijk : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées;
- Nederland : Stevinlaboratorium TU-Delft.

Samenwerking binnen Nederland heeft plaats gevonden met diverse afdelingen van de Rijkswaterstaat.

Gedurende het onderzoek zijn 14 verschillende verkeersbruggen en 3 spoorbruggen gemeten. De bruggen zijn zodanig geselecteerd, dat een variatie van verschillende constructietypen werd verkregen. Daarbij kwam het brugdek met een orthotrope plaatvloer het meeste voor.

Ten gevolge van de ontwikkeling van het vrachtverkeer (verkeersintensiteit) is sinds 1970 het wegennet sterk uitgebreid. Daarnaast is de verkeersbelasting (hoogte van de aslasten) fors

toegenomen. De uitbreiding van de Europese markt stimuleert de internationale handel en daardoor het nationale en internationale wegtransport. De werkelijke lasten die op bruggen voorkomen kunnen hierdoor sterk afwijken van de lasten waar destijds van uitgegaan is bij de bepaling van de rekenbelastingen voor het statisch ontwerp.

Naast het statisch ontwerp is het vermoeingsgedrag van een constructie van belang. Deze is in sterke mate afhankelijk van het totale belastingverloop en van de grootten van de aanwezige kerven (spanningsconcentraties). In een brug voor gewoon verkeer komen als regel relatief weinig zeer hoge spanningen voor hetgeen altijd aanleiding is geweest om een dergelijke brug meer als een statisch belaste constructie te bezien, dan als een constructie waarbij rekening moet worden gehouden met vermoeiing. De toename van de toelaatbare spanningen door verbetering van staalsoorten en het toepassen van hoogwaardige staalsoorten naast de afname van de eigen-gewichtspanningen, leiden er echter toe, dat de spanningswisselingen steeds groter worden en de kans op vermoeiings- beschadiging tijdens de gebruiksduur van de brug daarmee eveneens. Dit zou kunnen worden opgevangen door het toepassen van constructies met kleinere spanningsconcentraties, maar dit is economisch meestal niet verantwoord, zeker daar niet waar alleen door gebrek aan kennis over belastingen, spanningen en het vermoeingsgedrag (waarschijnlijk vaak volkomen onnodig) daartoe moet worden overgaan. Een betere kennis van de spanningsspectra en belastingspectra bij verkeersbruggen is een eerste vereiste om het vermoeingsgedrag van die verkeersbruggen voor de toekomst beter te kunnen voorspellen.

Het vaststellen van spanningsspectra doormiddel van metingen kan in principe op tweeërlei wijze worden uitgevoerd.

A. Men meet aan vele bruggen, op vele plaatsen van de brug gedurende lange tijden spanningen, om daarna met behulp van statische bewerkingen een "bovengrenswaarde" (of meerdere bovengrenswaarden voor verschillende onderdelen) te verkrijgen. Dit is een zeer kostbare, tijdrovende methode, waarvan het resultaat twijfelachtig is. Spreidingen in resultaten zijn niet voldoende bekend, het aantal en duur van de metingen kan niet worden bepaald. De relatie van de metingen tot het verkeersaanbod is niet of summier bekend (gegevens

over wagenpark e.d.) en extrapolatie in de toekomst is derhalve moeilijk, waardoor de metingen ook vaker herhaald zullen moeten worden.

- B. Behalve dat men spanningsspectra meet, probeert men ook gelijktijdig het ontstaan van de spectra zo goed mogelijk te analyseren in al zijn invloedsfactoren. Wijziging van een invloedsfactor maakt het dan in de toekomst mogelijk om, b.v. met computersimulatieprogramma's de invloed daarvan na te gaan op de spanningsspectra. Ook kan veel eenvoudiger gecontroleerd worden welke factoren daarvoor kritisch zijn.

Bij het hier beschreven EGKS-onderzoek is zoveel mogelijk gestreefd naar de hiervoor genoemde tweede methode. Het minimale wat nodig is om de beïnvloeding van de grootte van de spanning in een brugconstructie te kunnen bekijken is:

- 1e. De grootte van de belastingen op de brug. De interactie van een aantal belastingen op de brug, waarbij de afstand tussen de belastingen een rol speelt.
- 2e. De plaats van de belasting c.q. het stelsel van belastingen op de brug.
- 3e. De overdrachtsfunctie (het invloedsvlak), dat wil zeggen de spanning die de belasting veroorzaakt in een bepaald punt van de brug, zowel statisch als dynamisch.

Het spectrum wordt dan nog bepaald door het aantal keren, dat combinaties van deze factoren voorkomen.

Indien voldoende bekend is van deze factoren en hun frequentieverdelingen is het ook mogelijk door computersimulatie het spectrum te bepalen, waardoor de grootten van de invloeden van de verandering van de factoren op het spectrum eenvoudig kunnen worden nagegaan. Daarvoor zijn naast het meten van de spanningsspectra op verschillende punten aan een brug ook de aslastenverdeling, de afstanden tussen de assen en de afstanden tussen de voertuigen bepaald. Ook zijn statische metingen uitgevoerd en metingen onder verkeer met bekende aslasten, snelheid en bekende plaats op de brug om de overdrachtsfunctie te kunnen bepalen.

2. VERKEERSREGISTRATIE.

In het verleden was het slechts mogelijk aslasten van vrachtwagens te meten door deze uit het verkeer te halen en de wiellasten te bepalen met behulp van statische weegbruggen. Deze controle werd meestal uitgevoerd door de politie en heeft nooit tot doel gehad de basis te vormen voor een wetenschappelijke studie omtrend belastingen.

Sinds 1970 zijn er diverse registratie systemen beschikbaar gekomen die in het wegdek aangebracht kunnen worden. Van het passerende verkeer kunnen ongemerkt de asbelastingen worden bepaald. Analyse van deze belastingen geven vervolgens een duidelijk beeld van de reële verkeersbelastingen.

2.1. Aslasten.

Door het aanbrengen van weegbruggen en detektoren in het wegdek (fig.1) kan het verkeer worden geregistreerd. Het eigenlijke weegbruglement bestaat uit een stalen plaat van 100x50x4 centimeter. Twee van deze platen worden met de korte zijde naast elkaar dwars op de rijrichting in de weg aangebracht. In de platen zijn in langsrichting twee groeven gefreesd waardoor elastische scharnieren ontstaan. In deze groeven zijn rekstrookjes geplakt op een zodanige wijze, dat de meetuitkomsten nagenoeg onafhankelijk zijn van het aangrijpingspunt van de belasting in langsrichting op de plaat, dat wil zeggen in dwarsrichting op de weg. De langsranden van de platen zijn opgelegd op rubberstroken. In het meetelement zelf bevinden zich dus in het geheel geen losse onderdelen. Bij de inbouw van een meetelement worden de langsranden van de plaat met behulp van busjes en bouten op een zodanige wijze en met zodanige speling vastgezet, dat de plaat wel op zijn plaats wordt gehouden, maar verder onbelemmerd kan doorbuigen. De rubberstroken worden enigszins voorgespannen, zodat dynamische effecten worden voorkomen. De fundering van de weegbrug bestaat uit een stalen bak die het verwijderen van een laag van ca. 70 mm dikte van de wegverharding noodzakelijk maakt. Deze bak wordt met behulp van een epoxyhars in de wegverharding gelijmd. Een vlak wegdek voor de weegbrug is strikt noodzakelijk aangezien ten gevolge van het massaveersysteem van de vrachtwagens dynamische effecten kunnen ontstaan die de metingen onbetrouwbaar maken.

2.2. Typenregistratie.

Een Kurt-Weiss detektor bestaat uit een draadlus en een detektieschakelaar en werkt kort samengevat als volgt. Boven de lus wordt een elektromagnetische veld opgewekt, dat verstoord wordt door een naderend voertuig. Deze verstoring wordt gedetekteerd als een faseverschuiving van de lusstroom, die omgezet wordt in een elektrisch signaal: de "handtekening". Deze handtekening wordt gesupponeerd op een gelijkspanning. Met behulp van bijvoorbeeld het tijdsverschil tussen een primaire en de bijbehorende secundaire handtekening is het nu mogelijk om de snelheid van het voertuig te bepalen. De snelheid is nodig om asafstanden, carrosserielengte e.d. te kunnen bepalen. Door de output van weegbruggen en detectoren te combineren kan het verkeer als volgt worden vastgelegd (zie figuur 2).

$$\text{- voertuigsnelheid} = \frac{\text{meetfrequentie} * L_2}{T_3 - T_2} \quad \text{of} \quad \frac{\text{meetfrequentie} * L_3}{T_4 - T_2}$$

$$\text{- carrosserielengte} = \text{voertuigsnelheid} * \frac{T_4 - T_2}{\text{meetfrequentie}} - L_3$$

$$\text{- asafstand(en)} = \text{voertuigsnelheid} * \frac{T_1 - T_0}{\text{meetfrequentie}}$$

Hierin is :

L_1 = de afstand tussen de weegbrug en het begin van de eerste meetlus,

L_2 = de afstand tussen het begin van de eerste en de tweede meetlus,

L_3 = de lengte van de meetlus,

T_0 = het tijdstip waarop de eerste as de weegbrug passeert,

T_1 = het tijdstip waarop de tweede as de weegbrug passeert,

T_2 = het tijdstip waarop het voertuig de eerste meetlus bereikt,

T_3 = het tijdstip waarop het voertuig de tweede meetlus bereikt,

T_4 = het tijdstip waarop het voertuig de eerste meetlus passeert,

T_5 = het tijdstip waarop het voertuig de tweede meetlus passeert.

2.3. Overige registraties.

Voor het registreren van spanningen in de brugconstructie is gebruik gemaakt van metaalrekstrookjes. Dit soort rekstrookjes worden in het laboratorium op een stukje metaal verlijmd, afgemonteerd en geïsoleerd. Het geheel wordt vervolgens op de betreffende meetplaats gelijmd.

Van de verschillende meetpunten zijn onder verschillende omstandigheden de spanningen in de brug geregistreerd:

- het spanningsverloop (invloedslijn) die resulteert uit de passage van een langzaam rijdende gecalibreerde vrachtauto, die achtereenvolgens in verschillende sporen over de brug is gereden,
- de spanningshistorie onder de normale verkeersbelasting bij het gelijktijdig vastleggen van dit verkeer.

2.4. Data-acquisitie.

Weegbruggen, detektoren en rekstrookjes zijn aangesloten op één en hetzelfde data-acquisitiesysteem. Een speciaal ontwikkeld meetprogramma verzamelt piekwaarden van weegbruggen en rekstrookjes, deelt ze in klassen in en geeft de weegbrugpiekwaarden, evenals de detektoren, een tijdregistratie mee.

Deze gegevens worden direct op tape uitgevoerd en dienen als input voor verdere verwerking op het laboratorium. Het grote voordeel van een dergelijk meetsysteem boven analoge registratie is, dat op zeer eenvoudige en snelle wijze met behulp van andere computerprogramma's een eerste indruk van de gegevens kan worden verkregen. Een nadeel is, dat het eigenlijke meetsignaal niet meer is te achterhalen.

3. VERKEERSANALYSE.

Bij de analyse van het verkeer is in alle landen uitgegaan van dezelfde voertuigtypen (fig3.)

De resultaten van de verkeersregistraties zijn middels de computer in de volgende histogrammen verwerkt:

- de verschillende voertuigtypen vastgesteld door de geometrie die vooraf is gedefinieerd (fig.3);
- de asafstanden tussen de assen voor ieder voertuigtype (fig.4b);
- de asbelastingen voor de verschillende assen (fig.4a);
- de voertuig-tussenafstanden (fig.5);
- de aslastenverdeling van het totale verkeer (fig.6).

De gemeten spanningen zijn geanalyseerd middels het tellen van spannings- overschrijdingen en spannings-intervallen geanalyseerd volgens de rainflowtelmethode (fig.7a en 7b).

Resultaten van verkeersregistraties zoals deze in Europa zijn vastgelegd gedurende het EGKS-onderzoek zijn verzameld in figuur 8 (aslastenverdelingen) en figuur 9 (voertuigtypen).

Uit de figuur 8 kan geconcludeerd worden, dat de hoogst geregistreerde aslasten in Europa liggen tussen de 125 en 205 kN. Deze overschrijden in alle gevallen de wettelijk maximaal toelaatbare waarden in de verschillende landen (fig.10).

Afgezien van de hoogte van de aslasten kunnen aan de hand van de spectra drie groepen verkeer worden onderscheiden, namelijk;

- zwaar : Rio Verde, Caronte, Saint Nazaire, Haagsche Schouw;
- middelzwaar : Monthery, Autreville, Forth, Limburger Bahn, Rheden;
- licht verkeer: Manchester en Wye.

De samenstelling van het verkeer verschilt aanmerkelijk (fig.9). In Frankrijk, Nederland en Engeland is de twee-assige vrachtwagen het meest frequent voorkomende type gevolgd door de truck met oplegger. De vrachtwagen met aanhanger komt hier duidelijk minder voor. Dit in tegenstelling tot Duitsland waar de vrachtwagentypen met aanhanger het meeste voorkomen. Het meest opvallend bij de samenstelling van het verkeer in Italië is het grote aantal vrachtwagens met zeven of acht assen. Het mag duidelijk zijn, dat het samenstellen van een Europese standaard verkeerstrein voor het uitvoeren van simulaties er hierdoor niet eenvoudiger op wordt. Opvallend is verder het grote aantal vrachtwagens per uur op de brug bij Rheden.

Zoals gezegd zijn de aslasten gemeten van rijdende voertuigen, het dynamische effect van het voertuig maakt dan ook onderdeel uit van de gemeten waarden. Deze moet men niet verwarren met dynamische effecten van de brug zelf. Statische ijkmetingen middels gecalibreerde vrachtauto's hebben aangetoond, dat de dynamische effecten van de vrachtwagen op de weegbrug zijn te verwaarlozen. De gemeten aslasten zijn dus ook de in werkelijkheid voorkomende aslasten.

4. SIMULATIEPROGRAMMA UNIVERSITEIT LUIK.

4.1. De verkeerstrein.

Aan de Universiteit van Luik is in 1972 een simulatieprogramma ontwikkeld wat gebaseerd is op een statistische verkeerstrein die de verkeersbelasting op een brugconstructie simuleert. Hierbij kan zowel treinverkeer als wegverkeer worden gesimuleerd. De tengevolge van de verkeersbelasting optredende momenten, vervormingen, spanningen en dergelijke kunnen worden berekend. Het verkeer wat door het programma wordt samengesteld mag zich op verschillende parallele stroken bevinden.

De verkeerstrein is gedefinieerd door verschillende voertuigtypen en de afstand tussen de voertuigen.

4.2. De voertuigtypen.

Voor ieder voertuigtype bepaalt men uit het gemeten verkeer:

- de frequentie van voorkomen;
- de asafstanden;
- de gemiddelde aslast (Q_{gem}) en de minimale aslast (Q_{min}) van iedere as.

Bij het vaststellen van Q_{gem} en Q_{min} van iedere as is rekening gehouden met de aslastenverdeling zoals bijvoorbeeld is gegeven in figuur 12a. Uit deze figuur blijkt duidelijk, dat de aslastenverdeling van een bepaalde as twee aaneengesloten verdelingen bevat. Op basis hiervan is er bij de verdere analyse vanuitgegaan, dat een onderscheid kan worden gemaakt tussen beladen en niet-beladen vrachtauto's.

De gemeten aslastenverdeling wordt opgesplitst in twee delen waarvan het aantal assen gelijk is. Van iedere verdeling wordt Q_{gem} en Q_{min} bepaald. Resultaten van deze analyse voor het verkeer geregistreerd bij de brug Rheden is gegeven in figuur 13. Deze standaardwagens dienen als invoer voor het simulatieprogramma.

De aslastenspectra van de verschillende assen van deze standaardwagens worden in het simulatieprogramma als volgt berekend:

$$Q_i = Q_{min} + (Q_{gem} - Q_{min}) x_i, \text{ hierin is } i = (i, i+1, \dots, i+15).$$

De belastingcoëfficiënt x_i is gedefinieerd middels de frequentieverdeling uit figuur 14. Wanneer $x_i = 0$ dan is $Q_i = Q_{\min}$ en als $x_i = 1$ dan is $Q_i = Q_{\text{gem}}$.

In figuur 12 is van een bepaalde as het gemeten aslastenspectrum en het spectrum wat op de hierboven genoemde wijze wordt berekend in het simulatieprogramma gegeven.

Zoals uit figuur 15 blijkt reproduceert de simulatie nauwkeurig het gemeten aslastenspectrum in de rechter rijstrook op de Brug Rheden. Dit betekent, dat middels deze methodiek een verkeerstrein kan worden gedefinieerd die representatief is voor de werkelijke verkeersbelasting.

4.3. De tussenafstanden van vrachtauto's.

De afstanden tussen de voertuigen is vastgelegd middels een bepaalde frequentie verdeling. De verschillende verdelingen waarmee bij de uitgevoerde simulaties beschreven in dit rapport is gerekend zijn verzameld in figuur 16.

4.4. De berekende effecten.

Het te beschouwen brugdetail wordt in het simulatieprogramma beschreven door de invloedslijn.

Volgens een randomachtig proces verplaatst de voertuigtrein zich stapsgewijs over de invloedslijn. Bij iedere positie worden de effecten van de belasting op deze invloedslijn berekend waardoor een achttal histogrammen kunnen worden afgeleid, namelijk:

- de momenten c.q. dwarskrachten;
- de maximale waarden, de minimale waarden (top-dal);
- het verschil tussen maxima en minima;
- het verschil tussen minima en maxima;
- de niveauoverschrijdingen;
- analyse middels de rainflow en range-pair telmethode.

De dynamische effecten van de constructie kunnen in het programma meegenomen worden door de theoretische invloedslijn te wijzigen (fig. 17).

Resultaten van de op de hierboven genoemde werkwijze voor een detail van de Haagsche Schouw Brug zijn gegeven in figuur 18. In deze figuur staan eveneens de gemeten waarden vermeld.

Geconcludeerd kan worden, dat de gemeten spanningen in een bepaald constructieonderdeel goed kunnen worden gesimuleerd.

4.5. Bevindingen.

Geconcludeerd kan worden, dat middels de hiervoor genoemde werkwijze, aslastenspectra en spanningsspectra goed kunnen worden gesimuleerd. Verdere analyse c.q. extrapolatie is dan ook goed mogelijk.

5. ANALYSE VAN DE BELASTINGEN.

In de eerste plaats moet men zich afvragen welke belasting gesimuleerd moet worden om resultaten te verkrijgen die algemeen van toepassing zijn. De spanningen worden in dat geval niet meegenomen omdat zij afhankelijk zijn van de brugconstructie. Daarom is het beter situaties te kiezen die vaak bij het doorrekenen van een brug in beschouwing worden genomen, zoals bv:

- het veldmoment van een ligger op twee steunpunten;
- het dwarskrachtenverloop van een ligger op twee steunpunten;
- het steunpuntsmoment van een doorgaande ligger op drie steunpunten;
- etc.

Het is duidelijk, dat de te beschouwen belastingen voor de berekening van een brug onafhankelijk moeten zijn van de constructie. Dit betekent, dat slechts rekening gehouden moet worden met een enkele parameter, namelijk de lengte van de rijstrook. Het is dan ook voldoende om te weten wat de totale belasting is die wordt veroorzaakt door het wegverkeer over een bepaalde rijstrooklengte. De invloedslijn die met deze belasting correspondeert over een lengte L is gelijk aan de rijstrooklengte met een constante ordinaat gelijk aan 1.

Statistisch gezien is deze belasting alleen afhankelijk van de meetperiode waarbij de verkeersregistraties hebben plaatsgevonden.

5.1. Belasting die 1x per dag wordt overschreden.

Resultaten van de gesimuleerde belastingen die één keer per dag worden overschreden zijn verzameld in figuur 19. In deze figuur zijn belastingcurves gegeven van het verkeer wat voorkomt op een rijstrookgedeelte met een lengte L.

Afhankelijk van L resulteert dit in de volgende belastingen (fig. 19a):

- een geïsoleerde as wanneer $L = 0$ meter;
- een stelsel van twee assen ($L < 2,5$ m.) of drie assen ($L < 4$ m.);
- een verzameling assen, of een enkel voertuig ($L < 20$ m.).

Op grotere rijstrooklengten ($L > 20$ m.) waarbij meerdere voertuigen tegelijkertijd kunnen voorkomen moet rekening worden gehouden met de verdeling van de afstanden tussen voertuigen.

Allereerst is bij de simulatie uitgegaan van de geregistreeerde afstanden tussen de voertuigen (fig.15b.). Aangezien al het verkeer rijdend is geregistreeerd, zijn de afstanden tussen de voertuigen groot (fig. 16.a). Voor Rheden betekent dit, dat de gemiddelde tussenafstand van het geregistreeerde verkeer 450 meter bedroeg.

Bij andere verkeersomstandigheden, bijvoorbeeld rijdende files of verkeersopstoppingen worden situaties veroorzaakt waarvan men de verschillende effecten niet of nauwelijks kent. Daarom is voor het verkeer wat de zwaarste voertuigen bevat (Rheden) de afstanden tussen de voertuigen teruggebracht.

Een drietal situaties zijn vervolgens gesimuleerd (fig.19c) :

- een gemiddelde afstand van 120 m (R 120), zie figuur 16b;
- een gemiddelde afstand van 24 m (R 24), zie figuur 16c;
- een gemiddelde afstand van 4,8 m (R 4,8), zie figuur 16d.

De verkregen belastingkrommen kunnen allemaal voorgesteld worden door een lokale belasting (een voertuig) en een toegevoegde belasting per lengte eenheid.

Op deze wijze kunnen dan belastingmodellen worden afgeleid. Door voor verschillende invloedslijnen (vorm) optredende effecten te simuleren kan getoetst worden of het model in staat is reële effecten te reproduceren.

5.2. Gebruiksbelastingen.

De belasting die dagelijks voorkomt kan direct afgeleid worden van de uitgevoerde verkeersmetingen. Figuur 20 geeft voor 9 verkeersstromen de belastingen die 1 keer per dag wordt overschreden.

Figuur 19a geeft de bijbehorende belastingkrommen voor rijstrooklengten $L < 10\text{m}$. Hier is voor ieder voertuig met de gemiddelde asafstand gerekend.

Deze lasten kunnen worden voorgesteld door:

- een enkele as van 120 - 195 kN;
- een tandemas van 210 - 300 kN, waarbij de asafstand varieert tussen 1,2 en 1,5 m of tussen 1,8 en 2,2 m (fig.3);
- de derde as correspondeert hetzij met de vooras van een 3-assige vrachtwagen waarvan de tandemas 3-5 meter verwijderd is of van de tweede as van een vrachtwagen met aanhanger waarvan de afstand tussen de achterassen (tandem of drieasser) 5-7 meter bedraagt;
- een voertuig waarvan het totale gewicht ligt tussen de 390 en 610 kN.

In figuur 20 is eveneens te zien, dat de de zwaarste as gemeten is bij Caronte en de zwaarste voertuigen zich bevinden bij Rheden.

Voor de rijstrooklengten $L > 10\text{m}$ zijn de verkregen belastingkrommen voor de negen geregistreeerde verkeersstromen (incl. gemeten voertuigafstanden) gegeven in fig 19b. Het gezamenlijke geregistreeerde verkeer kan met uitzondering van verkeersstroom "9" afgedekt worden met de formule:

$$Q_g = 600 + 10 L \text{ als } 10 < L \leq 50;$$

$$\text{en } Q'_g = 900 + 4 L \text{ als } 50 < L.$$

Figuur 19c toont de invloed van de reductie van de afstanden tussen de voertuigen. De kromme R 4,8 correspondeert met het verkeer wat de zwaarste belastingen heeft en waar de gemiddelde afstand tussen de voertuigen gelijk is aan 4,8m. Dit verkeer simuleert de situatie, waarbij sprake is van een verkeersopstopping. De vrachtwagens bevinden zich in de rechterraijstrook, de personenauto's rijden op de naastliggende rijstroken.

Deze verkeerssituatie is reëel wanneer de gebruiksbelasting moet worden gedefinieerd. Zij kan als volgt worden vastgelegd:

$$Q_g = 600 + 15 L \text{ als } 10 < L \leq 150;$$

en $Q'_g = 1500 + 9 L \text{ als } 150 < L.$

5.3. Statische ontwerpbelasting.

Om de belasting voor een periode R te kunnen bepalen is het noodzakelijk de bekende (gemeten) waarden te extrapoleren.

Gebleken is, dat het histogram van aslasten van een bepaalde as veelal een verdeling heeft zoals is aangegeven in figuur 4. Het eerste deel komt overeen met niet of licht beladen voertuigen en het tweede deel met de beladen voertuigen.

Bij de analyse van deze histogrammen blijkt, dat de 'staart' van de verdeling overeenkomt met een halve normale verdeling:

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2}$$

waarin $z = \frac{x - x_0}{\sigma},$

σ = de berekende standaard deviatie wanneer $x > x_0$

x = de aslast Q

Voor een bepaalde waarde x_0 van het histogram wordt de standaard deviatie berekend en aangepast om de beste correlatie met de normale verdeling te verkrijgen (lineaire correlatie met de Gauss schaal). Wanneer voor een aantal x_0 - waarden de correlatie factor is bepaald is het mogelijk de beste verdeling gedefinieerd door x_0 en σ te kiezen. De waarde die hoort bij een periode R is gegeven door:

$$x_R = x_0 + \sigma \cdot z_R$$

waarbij

$$F(z_R) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{z_R}^{\infty} e^{-z^2/2} dz = \frac{1}{2N_S} \frac{T_Q}{T_R}$$

$N_S = \sum n_i$, wanneer $x_i > x_0$ in het betreffende histogram

T_S = de tijdsperiode behorende bij het histogram

T_R = een bepaalde tijdsperiode

Het simulatieprogramma toetst dus welk deel van het histogram overeenstemt met de normale gauss-verdeling van waaruit vervolgens het gemeten aslasten spectrum wordt geëxtrapoleerd (fig.21a). De coëfficiënten die bij deze lineaire extrapolatie zijn verkregen zijn altijd groter dan 0,999 en bereiken dikwijls de waarde 0,9999 wat de betrouwbaarheid van de methode bewijst.

Figuur 21a geeft de bewerking van het histogram van aslasten geregistreerd in Rheden. Deze figuur en figuur 20 laten zien, dat de waarde die 1 keer per jaar voorkomt $\pm 1,2$ keer de waarde is die per dag voorkomt. En verder dat de waarde met een periode van 1000 jaar (statistisch gezien) ongeveer 1,4 maal de waarde is die 1 keer per dag voorkomt. Hieruit blijkt, dat de statische ontwerpbelasting afhankelijk van de berekeningswijze en de keuze van de periode van voorkomen niet meer dan 10% te hoog is geschat, hetgeen allerziens acceptabel is.

De resultaten van de gesimuleerde belastingen die met een periode van "1000 jaar" voorkomen zijn verzameld in figuur 22. In deze figuur worden belastingkrommen Q_{st} beschouwd voor diverse rijstrooklengten L , geheel analoog aan figuur 19 waar belastingkrommen Q_g zijn gegeven. De Q_{st} belastingen bij $L \leq 15$ m. kunnen voorgesteld worden door (fig.22a.):

- een geïsoleerde as van 170 - 280 kN;
- een tweeasser van 310 - 460 kN;
- een voertuig van 580 - 910 kN.

Figuur 22b geeft de belastingkrommen Q_{st} waarbij de gemeten voertuigafstanden in rekening zijn gebracht voor $L > 10$ meter. Deze krommen kunnen worden voorgesteld door een locale belasting van 600 - 1000 kN en een gelijkmatig verdeelde belasting van 2 - 20 kN/m.

Aldus in formulevorm:

$$Q_{st} = 800 + 21 L \text{ als } 10 < L \leq 50 \text{ m. ;}$$

en

$$Q'_{st} = 1600 + 5 L \text{ als } L > 50 \text{ m.}$$

Voor de bepaling van de ontwerpbelasting is het noodzakelijk de situatie van het extreme verkeer te beschouwen. Daarom zijn met het zware verkeer van Rheden simulaties uitgevoerd, waarbij de afstanden tussen de voertuigen zijn verkleind (fig.22c). De kromme R 4,8 stemt overeen met

een gemiddelde tussenafstand van 4,8 m (verkeersopstopping van vrachtwagens).

De ontwerpbelasting Q_{st} is dan gelijk aan:

$$Q_{st} = 800 + 25 L \text{ als } 10 < L \leq 80 \text{ m.};$$

en $Q'_{st} = 1600 + 15 L \text{ als } 80 < L.$

5.4. Vermoeingsbelasting.

Bij de vermoeing wordt de vermoeings- beschadiging afhankelijk gesteld van twee parameters:

- de verdeling van de spanningsintervallen $\Delta\sigma$, verkregen middels de Rangepairs- of de Rainflowtelmethode;
- het aantal wisselingen tijdens de gebruiksduur van de brug.

Deze werkwijze wordt zowel in de NEN 2063 als in de Eurocode 3 gehanteerd.

Er is sprake van een vermoeingsbeschadiging wanneer het te beschouwen constructiedetail belast wordt door een spanningspectrum wat tenminste voor een deel hoger ligt dan de constante amplitude vermoeingslimiet $\Delta\sigma_d$ (fig.23).

In de eerste plaats is het dus van belang te weten wat de grootste spanningswisseling is die vermoeingsschade veroorzaakt. Wanneer deze waarde boven de vermoeingslimiet ligt dan kan middels de beschadigingsregel van Miner een equivalente spanning worden bepaald. De geregistreerde verdelingen van de spanningswisselingen zijn gecompliceerde verdelingen die vervangen kunnen worden door het getallenpaar $\Delta\sigma_e$, n_e die dezelfde beschadiging veroorzaken. Daar het spanningsniveau bij de analyse van de belastingen niet bekend is moet bij het gebruik van de cumulatieve beschadigingsregel van Miner gebruik gemaakt worden van onbegrensde Wöhler krommen met constante hellingen. Dit betekent dat de beschadiging van een constructiedetail gelijk is aan;

$$D_\sigma = \sum d_i = \sum n_i \cdot \Delta\sigma_i^m = n_e \cdot \Delta\sigma_e^m$$

Bij een lineair verband tussen de belasting en de spanning, is;

$$D_s = \sum d_i = \sum n_i \cdot \Delta F_i^m = n_e \cdot \Delta F_e^m \quad (1)$$

waarin :

- D = totale beschadiging;
 d_i = beschadiging door ΔF_i ;
 ΔF_i = belastingsrange per blok;
 n_i = aantal wisselingen wat hoort bij ΔF_i ;
 m = helling van de Wöhlerkromme
 ΔF_e = equivalente belasting;
 n_e = equivalent aantal wisselingen bij ΔS_e ;

De helling van de Wöhler-kromme (m) varieert tussen 3 en 5. Wanneer de belastingen onafhankelijk van de brugconstructie bepaald moeten worden is het noodzakelijk, dat de belastingen in beperkte mate afhankelijk mogen zijn van de waarde voor m .

Een oneindig aantal getalparen ΔF_e en n_e voldoen aan (1) die als volgt kunnen worden bepaald:

- wanneer n_e bekend is kan ΔF_e als volgt worden berekend :

$$\Delta F_e = \sqrt[m]{\frac{\sum n_i \cdot \Delta F_i^m}{n_e}} \quad (2)$$

- als ΔF_e bekend is dan kan n_e als volgt worden berekend:

$$n_e = \frac{\sum n_i \cdot \Delta F_i^m}{\Delta F_e^m} \quad (3)$$

Bij de analyse van de verdeling van de vermoeiingsbeschadiging middels de regel van Miner, is gebleken, dat bij alle effecten veroorzaakt door het wegverkeer :

- voor kleine waarden van ΔF_i de beschadiging d_i gering is, zelfs wanneer het aantal wisselingen n_i erg groot is;
- voor grote waarden van ΔF_i de beschadiging d_i gering is, omdat het aantal wisselingen snel afneemt en de beschouwde beschadiging verwaarloosbaar is als $\Delta F_i > \Delta F_f$.

Dit blijkt bijvoorbeeld uit het aslasten histogram van figuur 21. Door de schaal te veranderen is dit histogram representatief voor ieder

- D = totale beschadiging;
 d_i = beschadiging door ΔF_i ;
 ΔF_i = belastingsrange per blok;
 n_i = aantal wisselingen wat hoort bij ΔF_i ;
 m = helling van de Wöhlerkromme
 ΔF_e = equivalente belasting;
 n_e = equivalent aantal wisselingen bij ΔS_e ;

De helling van de Wöhler-kromme (m) varieert tussen 3 en 5. Wanneer de belastingen onafhankelijk van de brugconstructie bepaald moeten worden is het noodzakelijk, dat de belastingen in beperkte mate afhankelijk mogen zijn van de waarde voor m .

Een oneindig aantal getalparen ΔF_e en n_e voldoen aan (1) die als volgt kunnen worden bepaald:

- wanneer n_e bekend is kan ΔF_e als volgt worden berekend :

$$\Delta F_e = \sqrt[m]{\frac{\sum n_i \cdot \Delta F_i^m}{n_e}} \quad (2)$$

- als ΔF_e bekend is dan kan n_e als volgt worden berekend:

$$n_e = \frac{\sum n_i \cdot \Delta F_i^m}{\Delta F_e^m} \quad (3)$$

Bij de analyse van de verdeling van de vermoeiingsbeschadiging middels de regel van Miner, is gebleken, dat bij alle effecten veroorzaakt door het wegverkeer :

- voor kleine waarden van ΔF_i de beschadiging d_i gering is, zelfs wanneer het aantal wisselingen n_i erg groot is;
- voor grote waarden van ΔF_i de beschadiging d_i gering is, omdat het aantal wisselingen snel afneemt en de beschouwde beschadiging verwaarloosbaar is als $\Delta F_i > \Delta F_f$.

Dit blijkt bijvoorbeeld uit het aslasten histogram van figuur 21. Door de schaal te veranderen is dit histogram representatief voor ieder

effect wat proportioneel is met de aslasten. Dit is gebleken bij de analyse van de verschillende spanningshistogrammen .

Eveneens is gebleken, dat de beschadiging veroorzaakt door de wisselingen in een periode kleiner dan een dag minder is dan 1% van de totale beschadiging. Aangenomen wordt dus dat: $\Delta F_f = \Delta F_d$.

De equivalente belasting ΔF_e kan benaderd worden door de belasting die de grootste vermoeiingsbeschadiging geeft. Daarom wordt gezocht naar het zwaartepunt van de verdeling:

$$d_i = n_i \cdot \Delta F_i^3 \quad (4)$$

Wordt er vervolgens van uitgegaan, dat

$$\Delta F_m = \frac{\sum n_i \cdot \Delta F_i^4}{\sum n_i \cdot \Delta F_i^3} \quad (5)$$

dan kan het aantal wisselingen n_m behorende bij ΔF_m middels vergelijking (3) voor $m = 3$ worden bepaald.

$$n_m = \frac{\sum n_i \cdot \Delta F_i^3}{\Delta F_m^3} \quad (6)$$

Door de waarde van ΔF_m uit vergelijking (5) in te vullen in vergelijking (6) krijgt men:

$$n_m = \frac{(\sum n_i \cdot \Delta F_i^3)^4}{(\sum n_i \cdot \Delta F_i^4)^3} \quad (7)$$

Wanneer $m = 4$, dan moet het aantal wisselingen behorende bij ΔF_m dezelfde beschadiging veroorzaken dus:

$$n_m = \frac{\sum n_i \cdot \Delta F_i^4}{\Delta F_m^4} = \frac{(\sum n_i \cdot \Delta F_i^3)^4}{(\sum n_i \cdot \Delta F_i^4)^3} = n_m \quad (8)$$

Dit resulteert dan in

$$\Delta F_m = \frac{\sum n_i \cdot \Delta F_i^4}{\sum n_i \cdot \Delta F_i^3}$$

en het bijbehorende equivalente aantal wisselingen om de zelfde beschadiging te veroorzaken moet gelijk zijn aan:

$$n_m = \frac{(\sum n_i \cdot \Delta F_i^3)^4}{(\sum n_i \cdot \Delta F_i^4)^3}$$

deze geldt dus voor $m = 3$ en $m = 4$.

Uit het voorgaande blijkt dus, dat door S_m te definieëren zoals is aangegeven, n_m (het aantal wisselingen wat beschouwd moet worden om de beschadiging te verkrijgen van een werkelijke belasting) gelijk is voor zowel $m = 3$ als $m = 4$.

Bij de bepaling van de belastingen voor de berekening van de vermoeiingsbeschadiging wordt uitgegaan van een Rainflow histogram wat verkregen is bij de simulatie van het verkeer.

De volgende werkwijze wordt dan toegepast:

- de berekening van ΔF_m door formule (5);
- de berekening van n_m door formule (6);
- het kiezen van een aantal wisselingen n_e , dichtbij het verschillende aantal berekende waarden van n_m uitgaande van een gegeven verkeer;
- het vervolgens berekenen van de verschillende belastingen ΔF_e behorende bij n_e voor $m = 3, 4$ en 5 .

Op deze manier is aangetoond, dat wanneer n_e dicht bij n_m ligt, ΔF_e niet wordt beïnvloedt door m en daarom gelijk genomen kan worden aan 3 zonder dat de nauwkeurigheid van de berekening wordt aangetast.

De waarde n_e die op deze wijze is bepaald is altijd kleiner dan het totale aantal wisselingen: $n_e \ll \sum n_i$.

Resultaten van deze analyse zijn voor de onderzochte verkeersstromen verzameld in de figuren 14 en 19. Hieruit blijkt, dat verschillende equivalente belastingen en aantallen de volgende waarden moeten hebben:

- Eén as van 75 - 108 kN en een bijbehorend aantal $n_e = 0,5 n_{30}$;
- Een voertuig van 225 - 417 kN en een bijbehorend aantal $n_e = 0,125 n_{30}$.

Hierbij is n_{30} het aantal assen zwaarder dan 30 kN.

Voor rijstrooklengten > 10 meter geeft figuur 24a de berekende equivalente belastingen voor de verschillende verkeersstromen wanneer $n_e = 0,2 n_{50}$. Deze kunnen worden beschouwd als een lokale belasting van 260 - 400 kN en een gelijkmatigverdeelde belasting van 0,5 - 2 kN/m.

De hoogste belastingkromme wordt afgedekt door de volgende formules;

$$\Delta Q_e = 400 + 2 L \text{ als } 10 < L \leq 100 ,$$

en $\Delta Q'_e = 500 + L \text{ als } 100 > L .$

In figuur 24b zijn de resultaten van de equivalente belastingen gegeven wanneer de afstanden tussen de voertuigen worden teruggebracht. De belasting is het hoogst bij een gemiddelde voertuigtussenafstand van 24 meter en niet voor de kortere afstand van 4,8 meter. Verder blijkt, dat de belastingkrommen voor het verkeer van Rheden (het zwaarst) en Forth (het lichtst) een steilere helling hebben dan de belastingkromme van Rio Verde (fig.24a).

Het aantal wisselingen wat gedurende de gebruiksduur van de brug voor vermoeiing in beschouwing moet worden genomen is erg groot.

Wanneer n_{30} per dag gelijk is aan 20.000 en een periode van 100 jaar wordt genomen met 200 werkdagen per jaar, dan is het equivalente aantal wat in rekening moet worden gebracht $N_e = 200 \cdot 10^6$ wisselingen.

Daar de vermoeiingslimiet van de Wöhlerkrommen gedefinieerd is bij $5 \cdot 10^6$ wisselingen, is het noodzakelijk naast de equivalente spanning de maximale spanning te bepalen.

6. BELASTINGMODEL.

Aan de hand van de onderzoeksresultaten zoals deze in het voorgaande zijn beschreven is een belastingmodel afgeleid voor het berekenen van verkeersbruggen. Het model is getoetst voor kleinere en gemiddelde overspanningen, dit moet eventueel nog gedaan worden voor bruggen met grote overspanningen.

De voorgestelde belasting voor de berekening van verkeersbruggen bestaat uit een locale belasting welke een voertuig voorstelt en een gelijkmatig verdeelde belasting. Het voertuig moet op alle locaties waar verkeer wordt toegelaten in rekening worden gebracht.

6.1. Statische ontwerpbelasting.

Het voertuig bestaat uit 4 assen van 200 kN met asafstanden van 1,2 m, \pm 4,0 m en 1,2 meter (fig. 25a). Iedere as heeft twee wielen met een spoorbreedte van 2 meter waarbij de bandenprent gelijk is aan 300 x 300 mm².

Voor de berekening van constructie details in dwarsrichting (troggen, dwarsdragers e.d.) kunnen de "tandem" assen naast elkaar worden geplaatst (fig. 25b).

Voor de berekening van locale effecten wordt een enkele as van 280 kN in beschouwing genomen (fig. 25c).

De gelijkmatig verdeelde belasting moet gelijktijdig met het voertuig in rekening worden gebracht. Deze bestaat bij een rijstrookbreedte van 3,5 meter uit:

- een belasting q_1 van 3 kN/m² verdeeld over het totale brugoppervlak en
- een extra belasting q_2 van 3 kN/m² in de rechterrijstrook.

Dit belastingmodel dekt een groot aantal reële verkeersbelastingen, en is vanwege zijn symmetrie gemakkelijk toe te passen.

Voorlopig wordt voor de impactfactor van het voorgestelde belastingsmodel een waarde van 1,4 voor alle geconcentreerde lasten aangehouden. Nader onderzoek wat op dit moment in Europees verband wordt uitgevoerd moet nog uitwijzen of bijstelling noodzakelijk is.

6.2. Gebruiksbelasting.

De gebruiksbelasting is afgeleid van de statische ontwerpbelasting:

De asbelasting $Q_g = 0,75 \times Q_{st} = 150$ kN.

De gelijkmatig verdeelde belasting is 30% van q_1 en 30% van q_2 . In beide gevallen dus 10 kN/m².

6.3. Vermoeiing.

Wanneer ten gevolge van de gebruiksbelasting σ_1 de maximale spanning is en σ_2 de minimale spanning dan is de spanningsrange $\Delta\sigma_r = \sigma_1 - \sigma_2$.

Er is sprake van een oneindige vermoeiings levensduur wanneer $\Delta\sigma_r < \Delta\sigma_D$, waarbij $\Delta\sigma_D$ de vermoeiingsgrens is waaronder bij constante amplitude belasting geen vermoeiingsberekening behoeft te worden uitgevoerd (fig.23).

In het geval waarbij $\Delta\sigma_r > \Delta\sigma_D$, moet een levensduur berekening worden uitgevoerd waarbij de equivalente spanning $\Delta\sigma_e$ en het bijbehorende aantal equivalente wisselingen N_e moeten worden beschouwd.

Hierin is $\Delta\sigma_e = 1/2 \Delta\sigma_g$ en $N_e = k \cdot N_v$.

De waarde voor k is gelijk aan 1, $1/2$ of $1/4$ afhankelijk van de situatie of $\Delta\sigma_e$ veroorzaakt wordt door één as of een twee of vierassig voertuig.

De waarde N_v is het aantal vrachtwagens dat op een rijstrook passeert gedurende de gebruiksduur van een brug. Een vrachtauto wordt hierbij gedefinieerd als een voertuig met een voertuiggewicht groter dan 35 kN.

Wanneer men niet beschikt over het aantal vrachtwagens dan kunnen de volgende waarden worden gehanteerd voor een gebruiksduur van 100 jaar :

- $N_v = 2.000.000$ voor secundaire wegen waar minder dan 100 vrachtwagens per dag passeren;
- $N_v = 20.000.000$ voor 2 of 3 strooks wegen waar minder dan 1000 vrachtwagens per dag passeren;
- $N_v = 200.000.000$ voor wegen die tenminste twee rijstroken per rijrichting bevatten.

6.4. Enkele aanvullende opmerkingen.

Het voorgestelde belastingmodel is een compromis tussen eenvoud en de zeer complexe realiteit van voertuigen en verkeer.

Het voorgestelde assenstelsel is een vereenvoudiging van de truck met oplegger met 4 assen, die aangepast is uit symmetrie overwegingen.

Het belastingstelsel uit fig. 25b reproduceert effecten van twee elkaar tegemoetkomende of passerende vrachtwagens.

De gelijkmatigverdeelde belasting q_1 van 3 kN/m^2 komt bij een rijstrookbreedte van 3,5 m overeen met $10,5 \text{ kN/m}$ wat overeenstemt met

het gemiddelde verkeer waar filevorming van vrachtauto's gecombineerd met personenauto's optreedt.

Wanneer in een rijstrook vrachtwagens dicht op elkaar gaan rijden of stilstaan dan resulteert dat in een belasting van $3,5(3+3) = 21$ kN/m. Voor bruggen met grote overspanningen zou deze q_2 belasting beperkt kunnen blijven tot ongeveer 100 meter.

Uit figuur 19a/b blijkt, dat de gebruiksbelasting ($Q_g = 600 + 6,3L$) overeenkomt met de dagelijkse verkeersbelasting die onder normale verkeersomstandigheden optreedt.

Uit figuur 24b blijkt, dat de equivalente belasting ($Q_e = 300 + 3,15L$) geldig is voor overspanningen kleiner dan 100 meter.

7. TOETSING VAN HET BELASTINGMODEL.

Om de geschiktheid van het belastingmodel ten opzichte van het reële verkeer te kunnen testen zijn drie verkeersstromen gesimuleerd waarvan de voertuigen overeenkomen met het zwaarste verkeer (Rheden) en de gemiddelde voertuig afstanden met respectievelijk R120, R24 en R4,8. Deze verkeersstromen zijn achtereenvolgens over de volgende drie invloedslijnen gestuurd (fig.26):

- het maximale veldmoment van een ligger op twee steunpunten, M_0 ;
- het maximale veldmoment van een ligger op drie steunpunten, M_1 ;
- het tweede steunpuntmoment van een ligger op drie steunpunten, M_2 .

De effecten van het verkeer worden bekeken wanneer het verkeer in één respectievelijk twee rijstroken passeert. In het tweede geval is het verkeer in beide stroken statistisch gezien hetzelfde waarbij de onderlinge invloedsfactor van de rijstroken 0,75 cq 0,25 bedraagt.

De verhouding van de optredende momenten ten gevolge van het reële verkeer en het belastingmodel geeft een indruk over de betrouwbaarheid van de berekende waarden middels het belastingmodel (fig.27-29).

7.1. Statische ontwerpbelasting.

De berekende momenten ten gevolge van het belastingmodel en het zwaarste verkeer met een gemiddelde tussenafstand van 4,8 meter zijn verzameld in figuur 27.

Gelet op de momenten M_0 en M_2 , blijkt het belastingmodel uitgezonderd voor $L = 5m$, enigszins hogere waarden te geven (0 à 8%). Voor een overspanning van 5 meter blijken deze momenten 12 à 53% hoger te zijn. Dit wordt waarschijnlijk met name veroorzaakt door de tweede asafstand van het belastingmodel.

De simulatie van de M_1 -momenten levert een hoger positief moment van 9 à 14% en een negatieve moment wat veel hoger ligt (uitgezonderd $L = 5m$).

De conclusies gelden voor de éénstrooks zowel als de tweestrooks situatie.

7.2. Gebruiksbelasting.

Uit figuur 28 blijkt, dat voor het zwaardere verkeer met een gemiddelde voertuigafstand van 120 meter het belastingmodel over het algemeen 5 à 17% hogere waarden oplevert. In het geval waarbij de gemiddelde tussenafstand 4,8 meter bedraagt onderschat het belastingmodel met name de situatie bij de grotere invloedsvlakken (M_0 en $L > 40m$ en M_2).

7.3. Vermoeiingsbelasting.

Uit figuur 29 blijkt, dat de berekende waarden middels het belastingmodel meestal hoger zijn dan de berekende waarden ten gevolge van het gesimuleerde verkeer met een gemiddelde voertuigafstand van 120 meter. Deze toename bedraagt in sommige gevallen 30%.

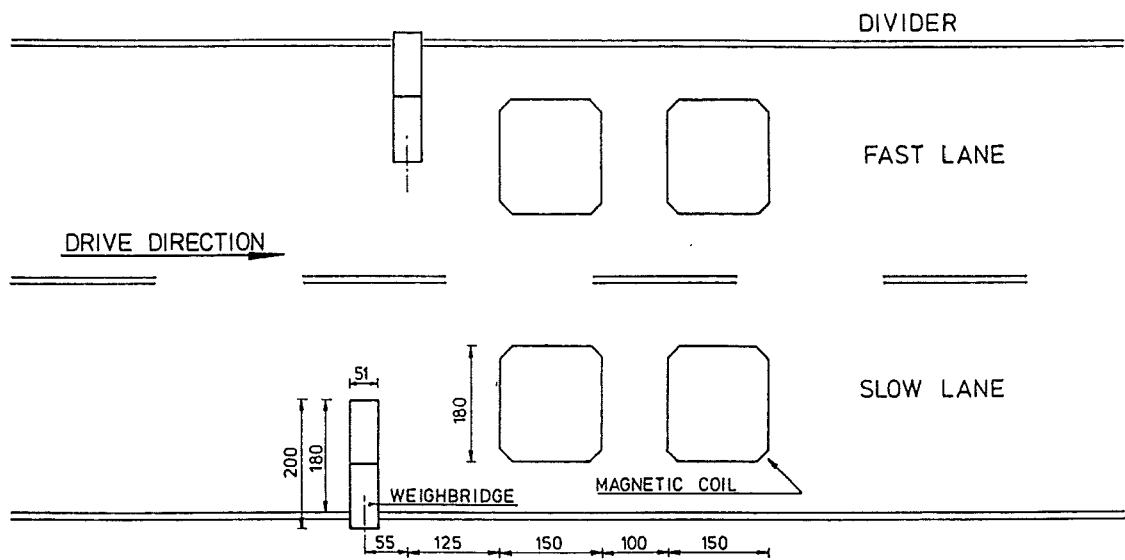
Wanneer gerekend wordt met een gemiddelde tussenafstand van 4,8 meter blijkt, dat met name bij de bepaling van de steunpunts- momenten in de één rijstrookssituatie een onderschatting van $\pm 13\%$. Bij twee rijstroken is dit $\pm 20\%$.

8. SLOTOPMERKING

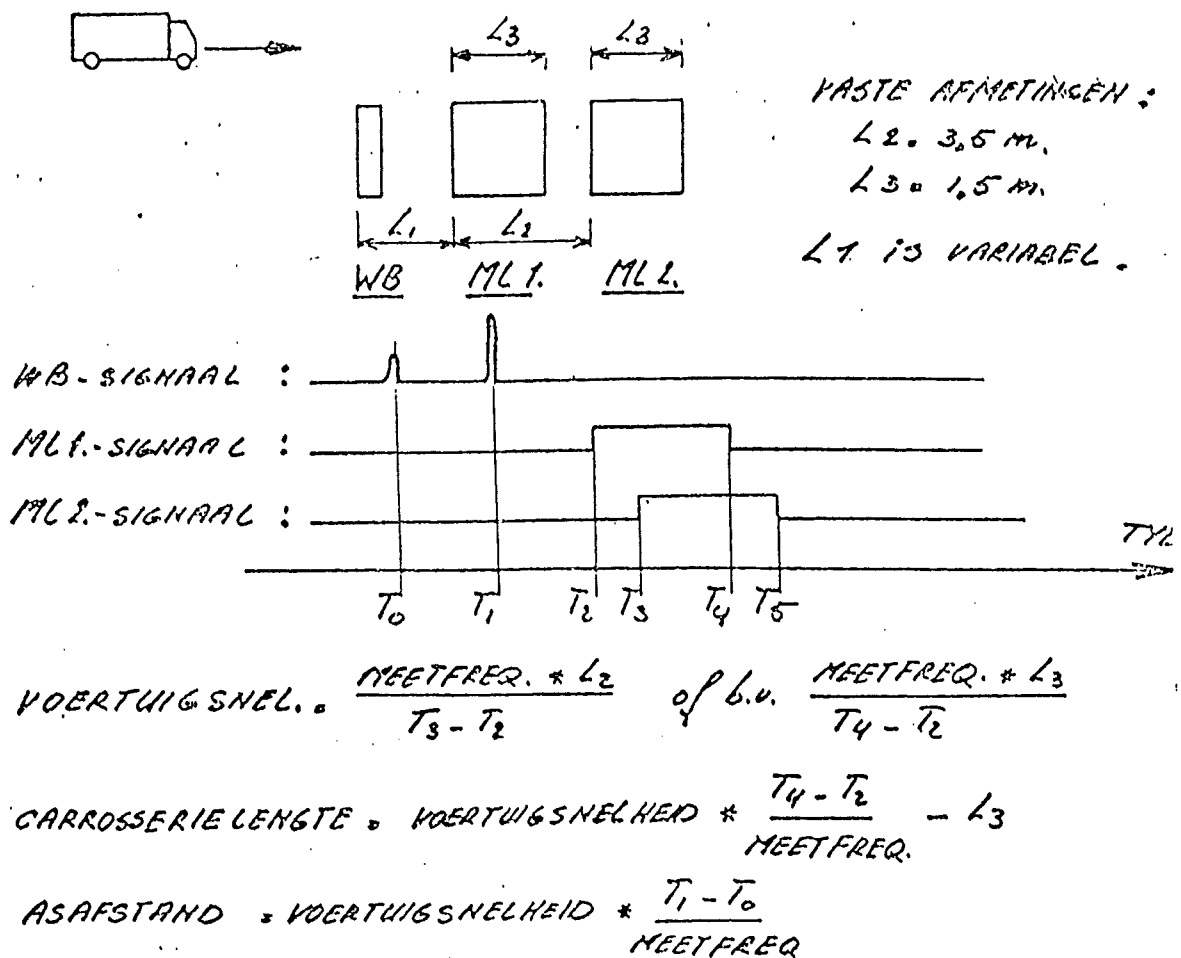
Dit artikel legt de basis voor een methodiek die het mogelijk maakt om op wetenschappelijke wijze een belastingmodel voor het berekenen van verkeersbruggen af te leiden uit het actuele wegverkeer. Uitgangspunt hierbij was het definiëren van een eenvoudig toepasbaar belastingmodel op basis van de reële situatie.

9. REFERENTIES.

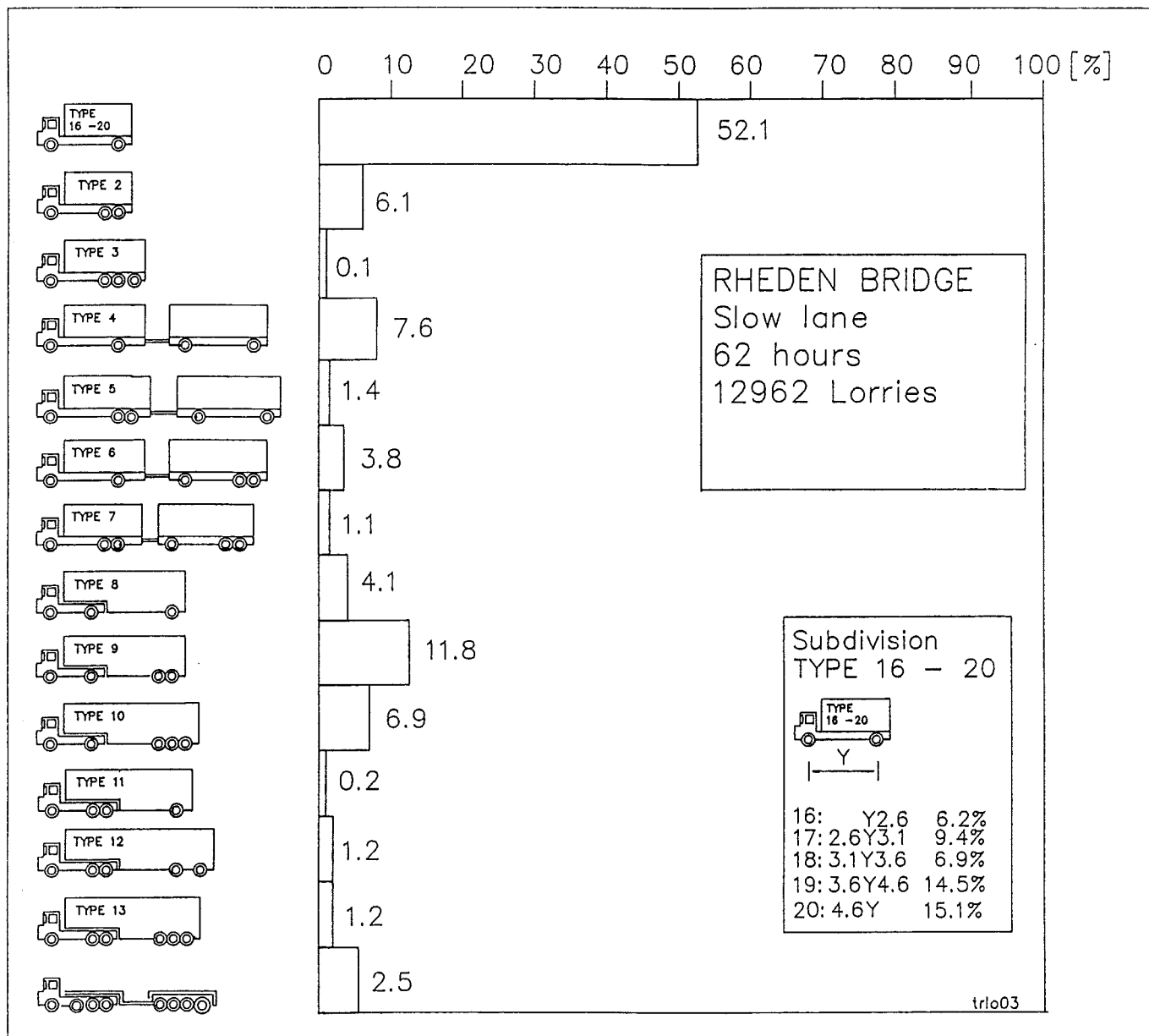
- [1] Prelimery background report for Eurocode on Actions, Part 12: Traffic loads on road bridges.
- [2] Common report 1st phase 'Measurements and interpretations of dynamic loads on bridges' Report EUR 7754.
- [3] Common report 2nd phase 'Measurements and interpretations of dynamic loads on bridges' Report EUR 9759.



Figuur 1. Weegbruggen en meetlussen.

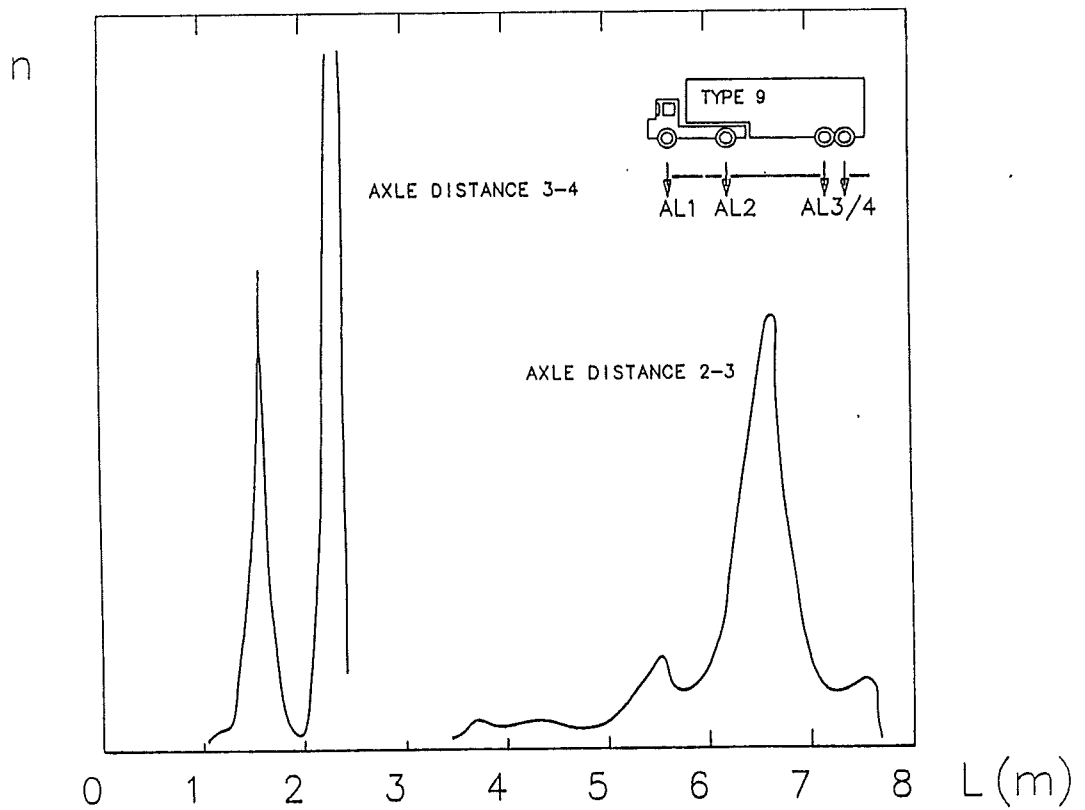
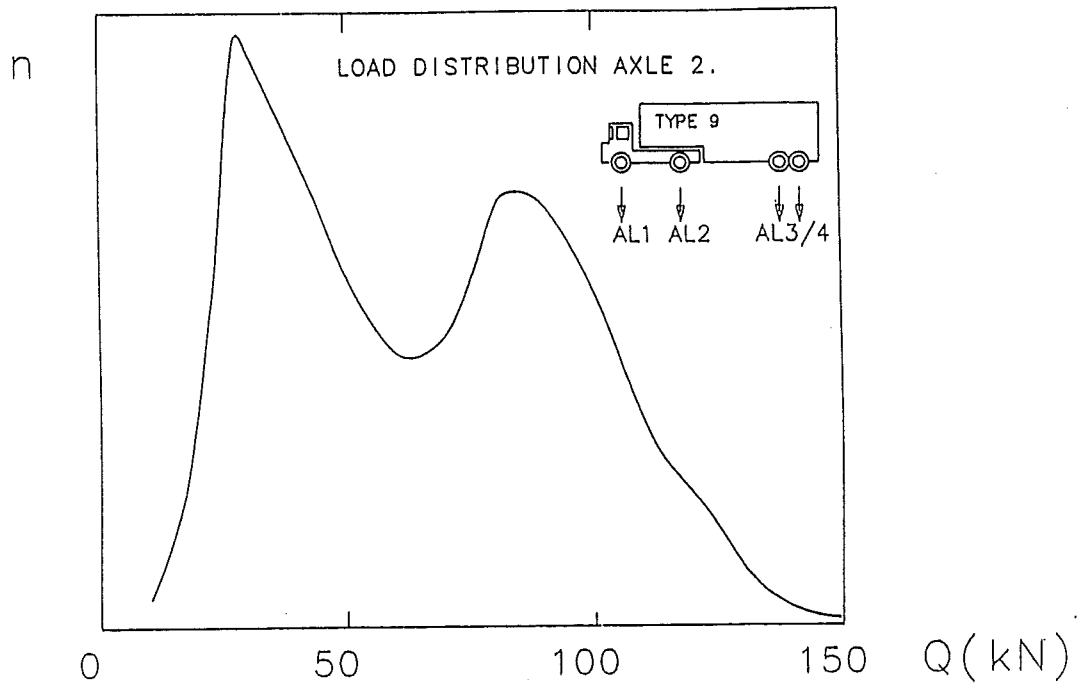


Figuur 2. Bepaling van de voertuigsnelheid, carrosserielengte en asafstand.

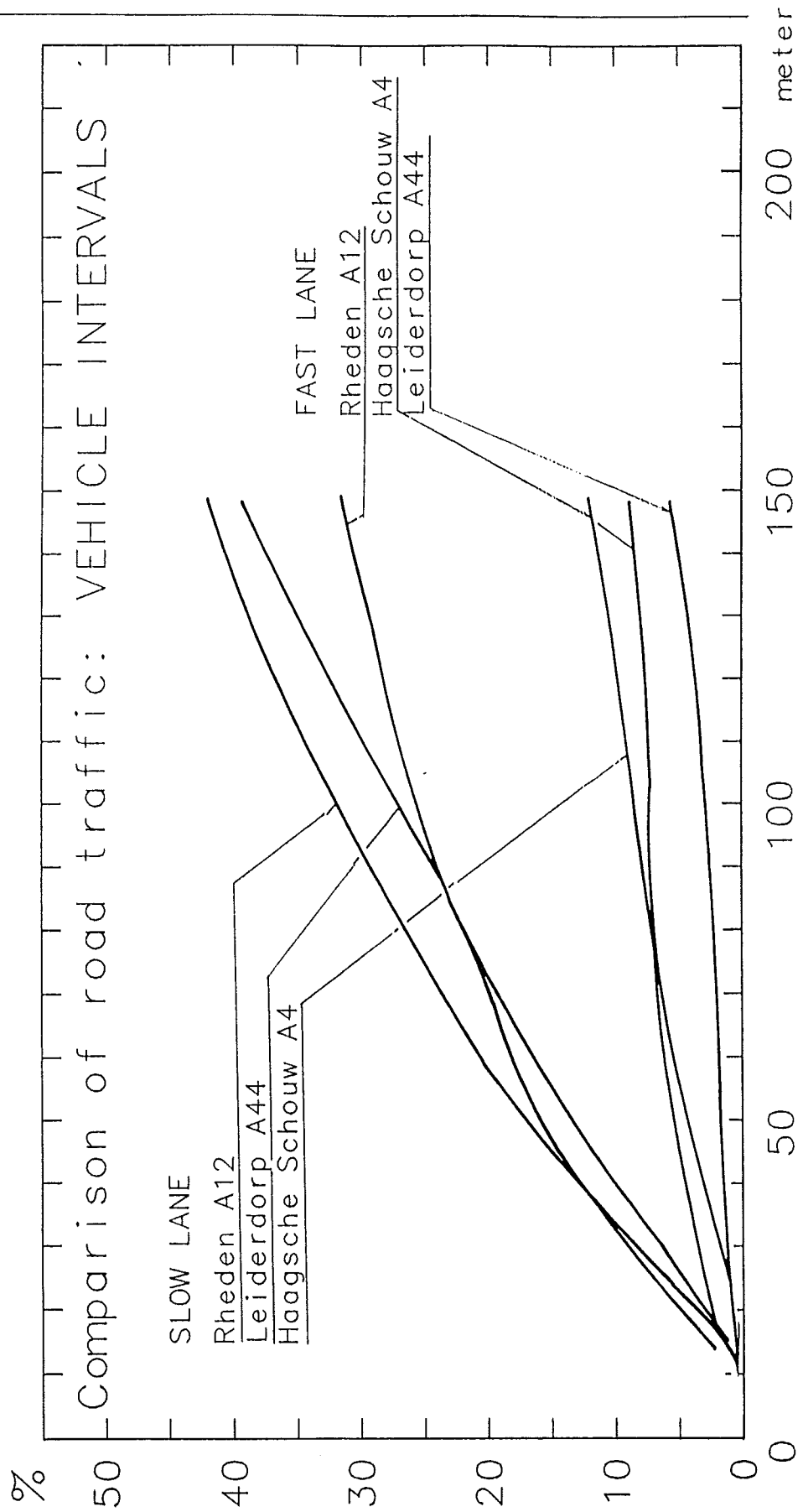


Figuur 3. Frequentieverdeling voertuigtypen in Rheden.

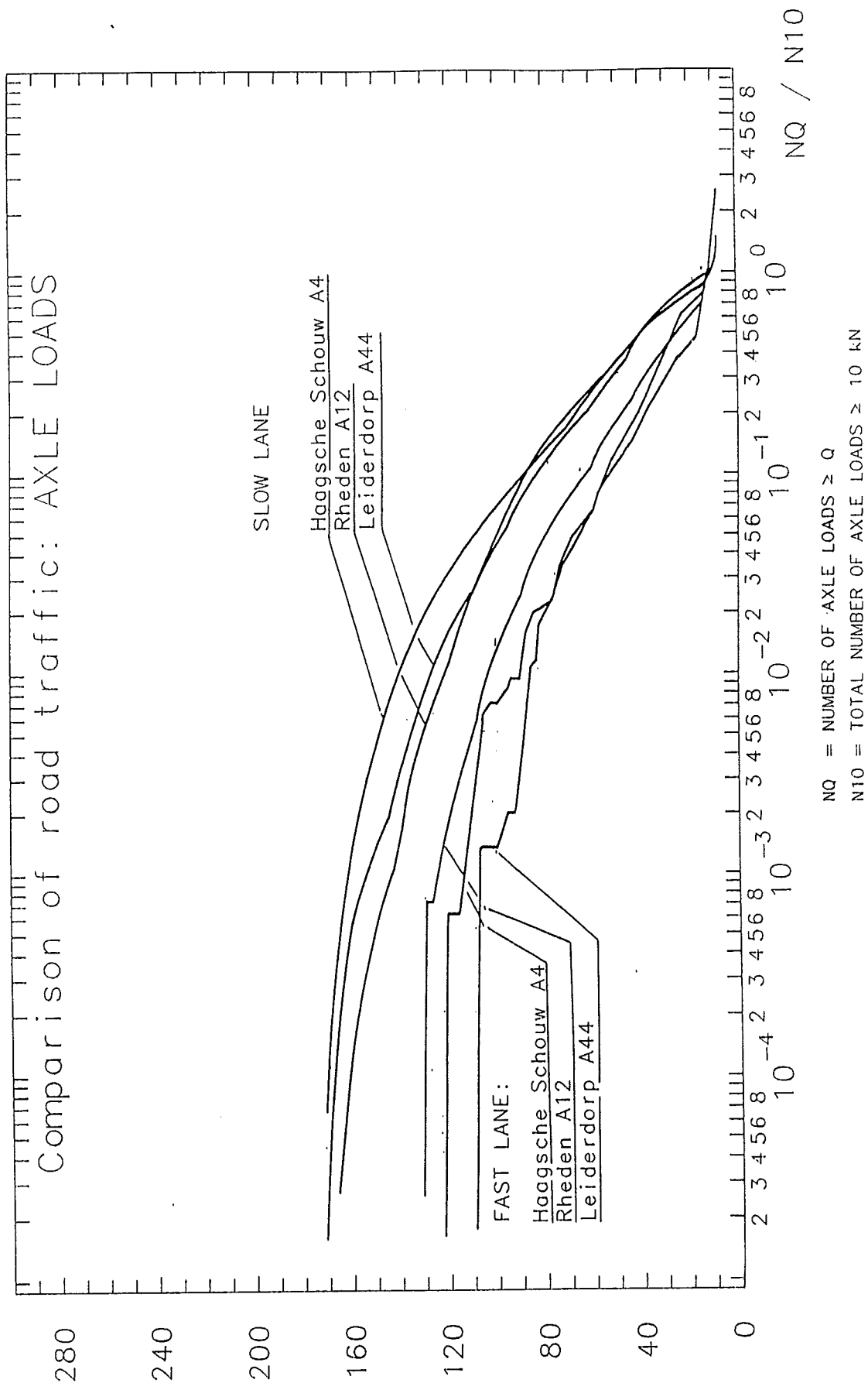
RHEDEN TYPE 9 $n_{tot} = 1528$



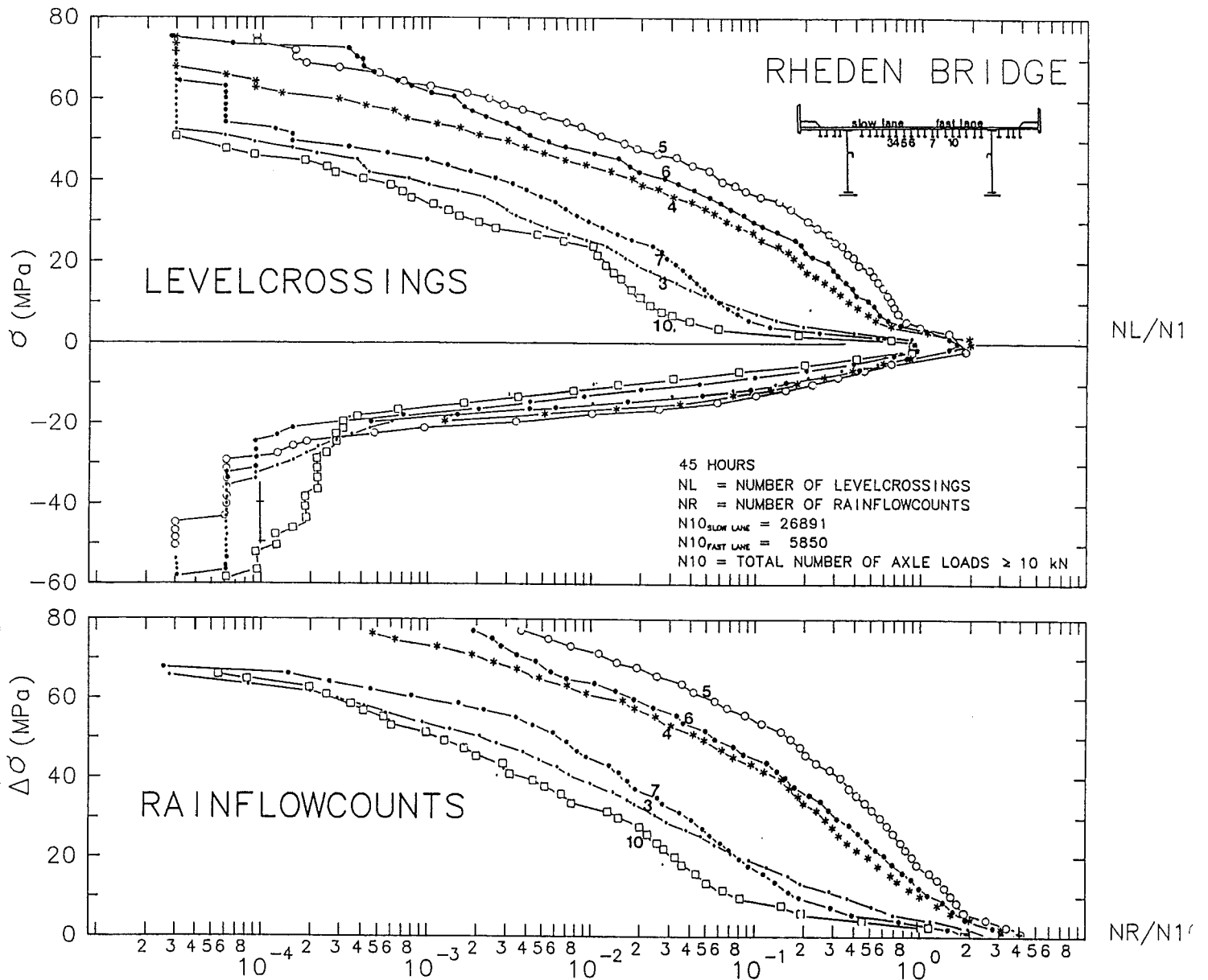
Figuur 4. Aslastverdeling 2^e as en asafstandenverdeling type 9.



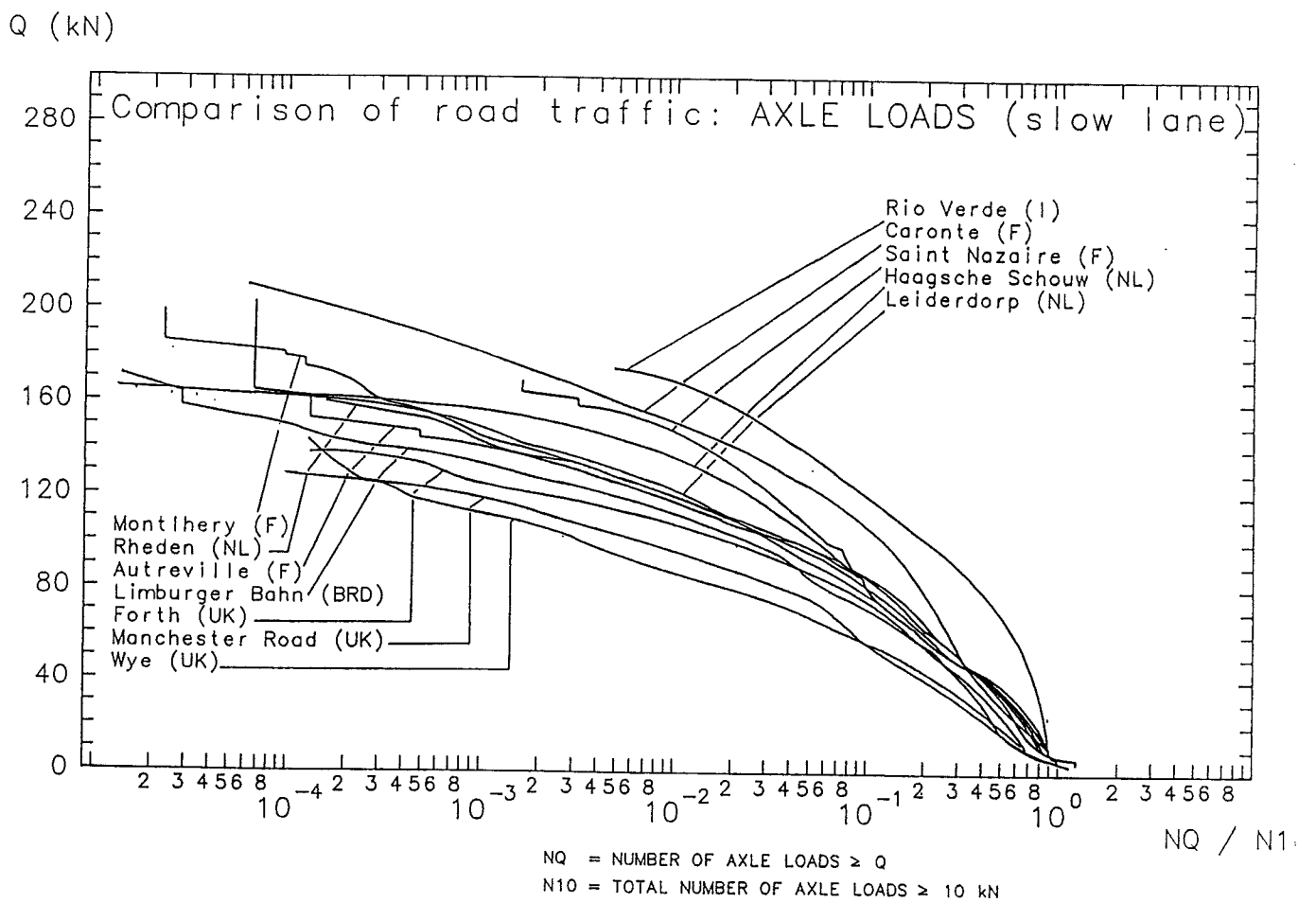
Figuur 5. Voertuig-tussenafstanden Nederland.



Figuur 6. Aslastenverdelingen in Nederland.


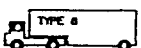
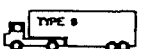
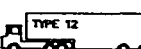

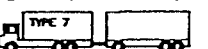


Figuur 7. Spanningsoverschrijdingen en spanningsintervallen - Rheden.

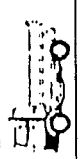





Figuur 8. Aslastverdelingen in Europa.

Figuur 9. Voertuigtypen in Europa.

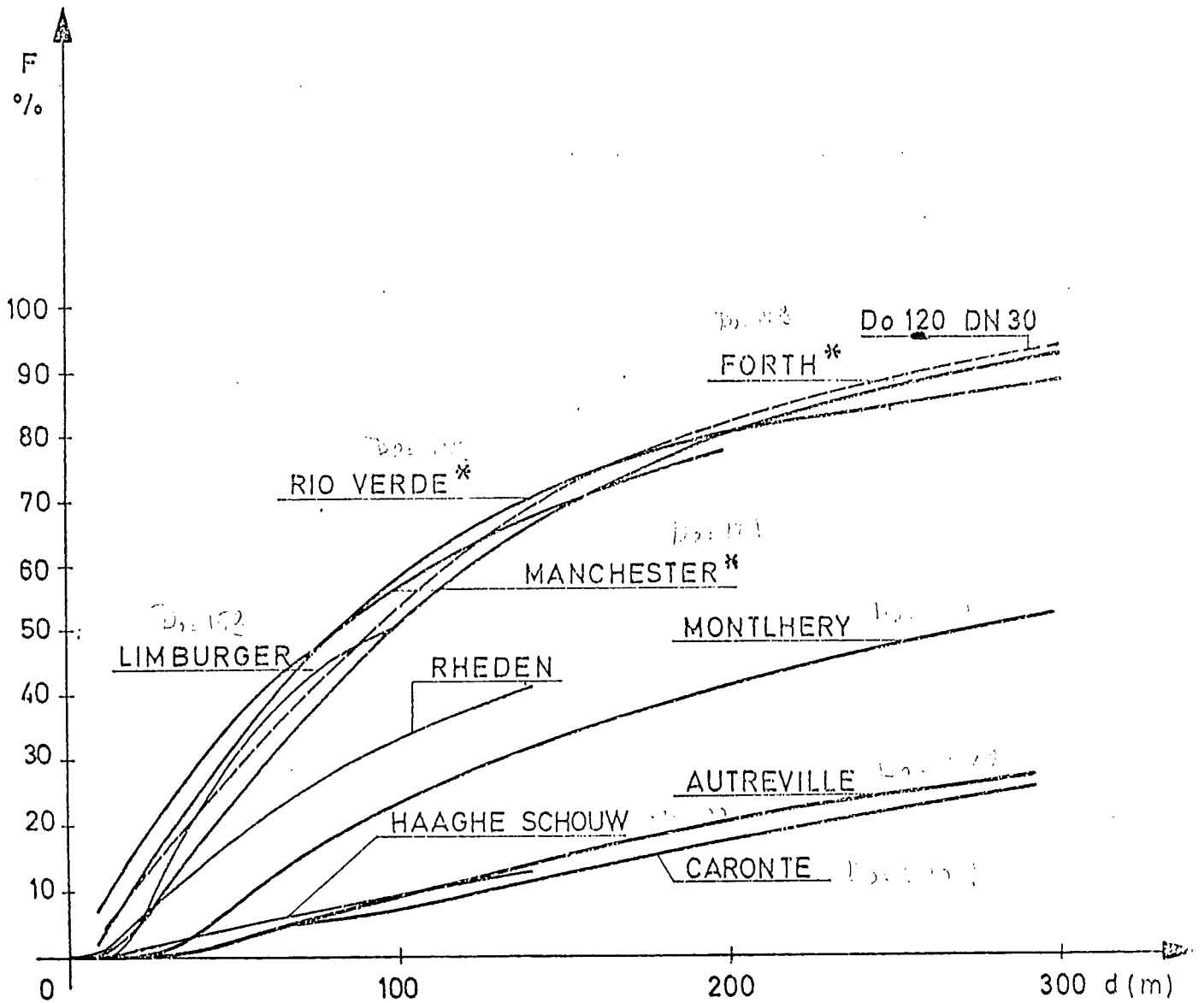
VERKEERSBRUG :	1 CARONTE	2 MONTLHERY	3 AUTREVILLE	4 HAAGSCHE SCHOUW	5 RHEDEN	6 LIMBURGER BAHN	7 FORTH	8 MANCHESTER	9 RIO VERDE
TYPEN	F	F	F	NL	NL	D	GB	GB	I
	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(1)	(1)	(1)
 120	49,2	57,2	39,2	80,3	52,1	41,3	89,1	94,1	58,1
 131	4,8	4,3(*)	3,5(*)	4,4(*)	6,1(*)	3,1	1,9	1,1	2,0
 141							1,0		
 231	17,9	8,4	12,5	3,1	4,1	4,1	2,3	0,6	3,6
 241	22,6(*)	18,1(*)	28,5	4,6(*)	11,8	5,5	5,6(*)	3,7(*)	3,3
 251		0,8(*)	8,2	1,1	6,9(*)	5,4(*)			10,8
 252		5,0		0,3	1,2	2,7(*)			
 261				0,5	1,2(*)				
 341	3,4	5,7	3,7(*)	3,6	7,6	13,8			1,9
 351				0,3	1,4	6,9			
 352	1,1		2,3	0,7	3,8	16,2			2,6
 361	0,4								4,2
DIVERSEN	0,6	0,5	2,1	1,4	5,2	1,0	0,1	0,5	16,8(*)

(1) Alle voertuigen (2) Vrachtauto's (*) Zwaarste voertuigen

DAF TRUCKS		NEDERLAND		DUITSLAND		FRANKRIJK		BELGIË		ITALIË		DENEEMARKE		ENGELAND		IERLAND		LUXEMBURG		OOSTENRIJK		ZWITSERLAND		SPANJE		PORTUGAL		ZWEDEN		NOORWEGEN			
		G	L	G	L	G	L	G	L	G	L	G	L	G	L	G	L	G	L	G	L	G	L	G	L	G	L	G	L	G	L		
PKU/ton		5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6			
Breedte meter		2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5			
Hoogte meter		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
Baklengte afhankelijk van ligging zwaartepunt		NEEN		JA		JA		JA		JA		JA		JA		JA		JA		JA		NEEN		NEEN		NEEN		NEEN		NEEN			
G = gewicht (ton)		G		L		G		L		G		L		G		L		G		L		G		L		G		L		G		L	
L = lengte (meter)		G		L		G		L		G		L		G		L		G		L		G		L		G		L		G		L	
																																	
2 assen		20	11	16	12	19	11	19	11	18	12	18	12	16,3	11	16	10,97	19	11	16	12	16	10	20	11	16	12	-	-	-	12		
3 assen		30	11	22	12	26	11	26	11	24	12	24	12	24,4	11	22	10,97	25	11	22	12	19	12	26	12	22	12	-	-	-	12		
4 assen		40	11							24	12	32	12	30,5	11	28	10,97	25	11			19	12	34	12						12		
5 assen		50	11							33												28	12	34	12								
																																	
4 assen		40	18	32	18	34	18	39	18	40	18	38	18	32,5	18	32	16,46	34	18	32	18	28	18	34	18	32	18	-	24	-	18		
5 assen		50	18	38	18	38	18	40	18	44	18	44	18	32,5	18	32	16,46	42	18	38	18	28	18	34	18				24		18		
6 assen		50	18							44	18	44	18									28	12	34	12								
Max. treingewicht		50	34	34	34	34	34	40	40	44	44	44	44	32,5	32	32	42	42	38	38	28	28	34	34	32	32	51,4	51,4	42,35	42,35			
																																	
3 assen		30	15,5	26	15	32	15	32	15,5	30	15,5	28	15,5	24,4	15	22	14,94	32	15,5	26	16	26	16	33	16,5	26	15,5	-	24	-	15,5		
4 assen		40	15,5	36	15	38	15	38	15,5	38	15,5	34	15,5	32,5	15	32	14,94	32	15,5	32	16	28	16	34	16,5	32	15,5	24	15,5	15,5			
5 assen		50	15,5	38	15	38	15	38	15,5	44	15,5	44	15,5	32,5	15	32	14,94	34	15,5	38	16					34	15,5				15,5		
6 assen		50	15,5																														
Max. treingewicht		50	38	38	38	38	38	38	38	44	44	44	44	32,5	32	32	42	42	34	34	28	28	34	34	32	32	51,4	51,4	42,35	42,35			
																																	
4 assen		40	18	34	18	34	18	35	18	38	18	34	18	34,5	18							28	18										
5 assen		41,5	18	36	18	36	18	40	18	44	18	42	18	35,5	18																		
Max. treingewicht		41,5	34	34	34	34	34	40	40	44	44	44	44	32,5	32	32	42	42	34	34	28	28	34	34	32	32	51,4	51,4	42,35	42,35			

* Afhankelijk van asafstanden

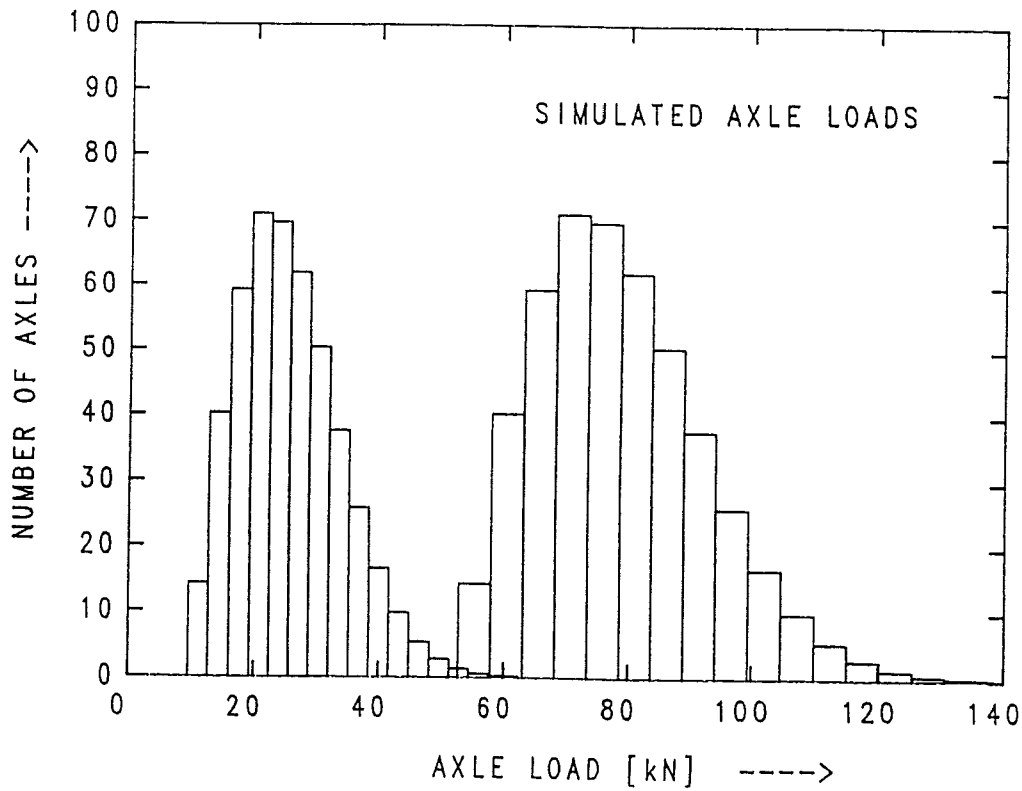
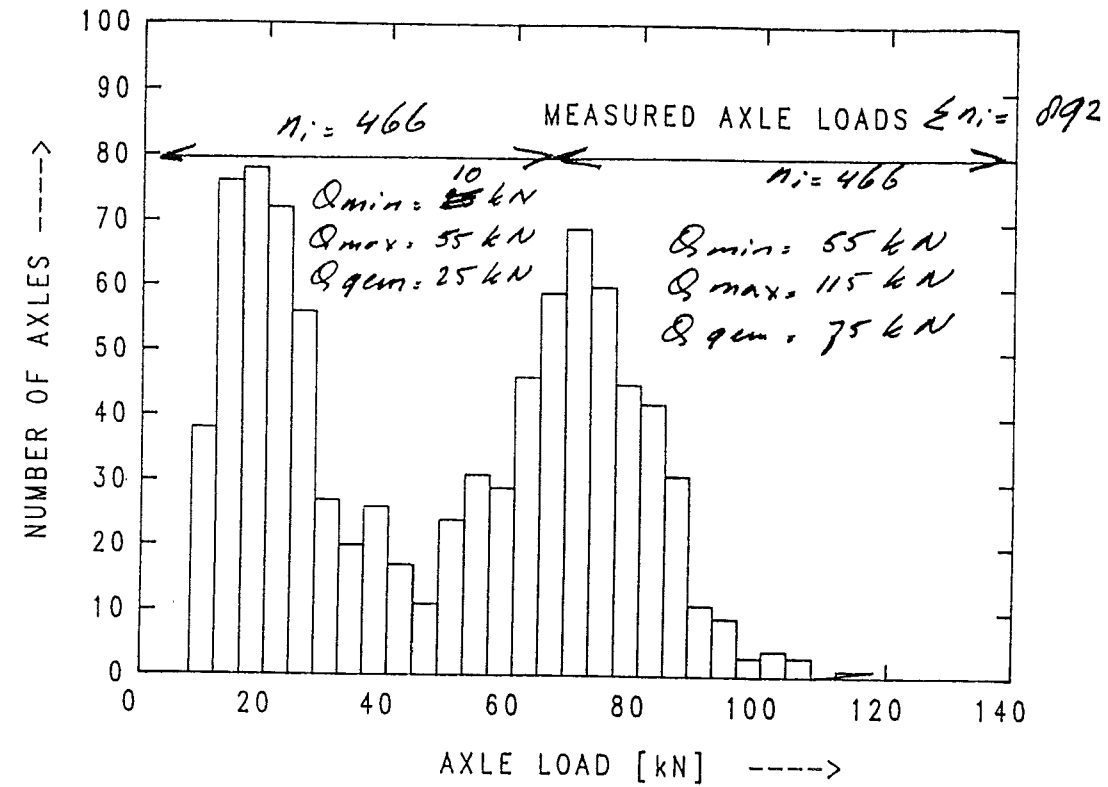
Figuur 10. Maximaal toelaatbare aslasten e.d. in Europa.



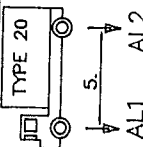
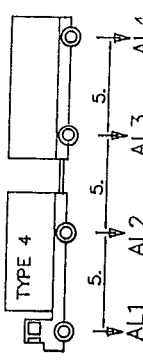
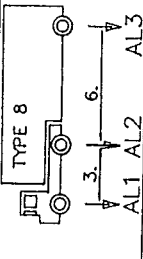
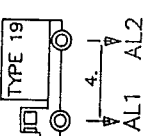
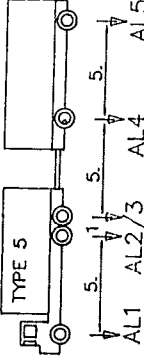
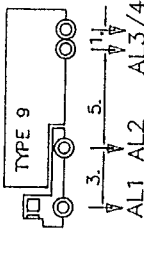
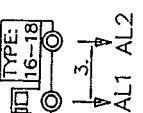
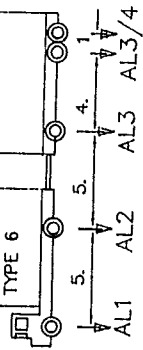
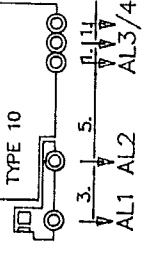
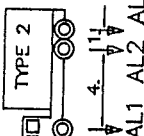
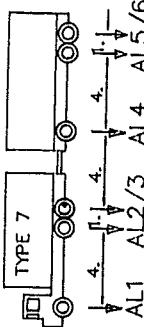
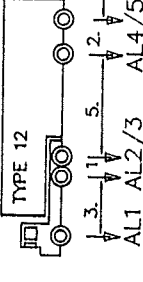
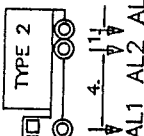
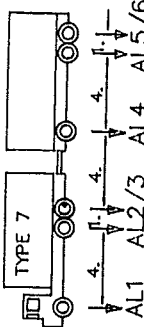
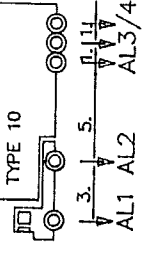
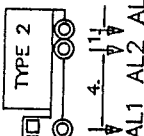
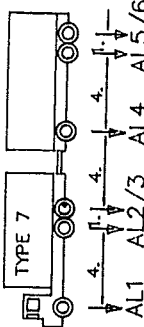
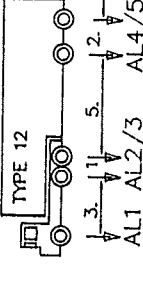
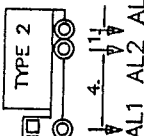
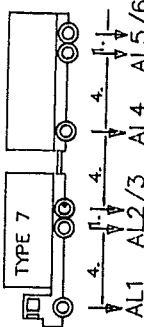
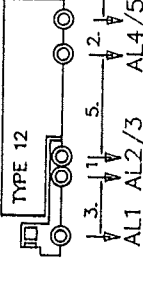
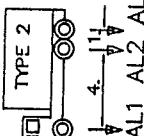
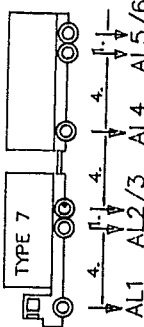
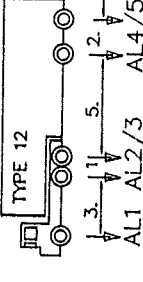
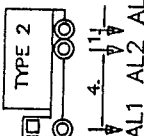
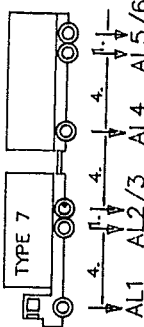
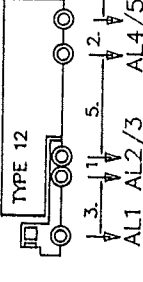
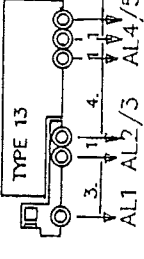
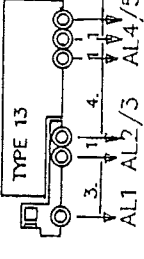
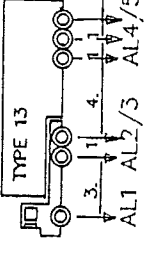
* Distances entre tous les véhicules

Figuur 11. Voertuig-tussenafstanden in Europa.

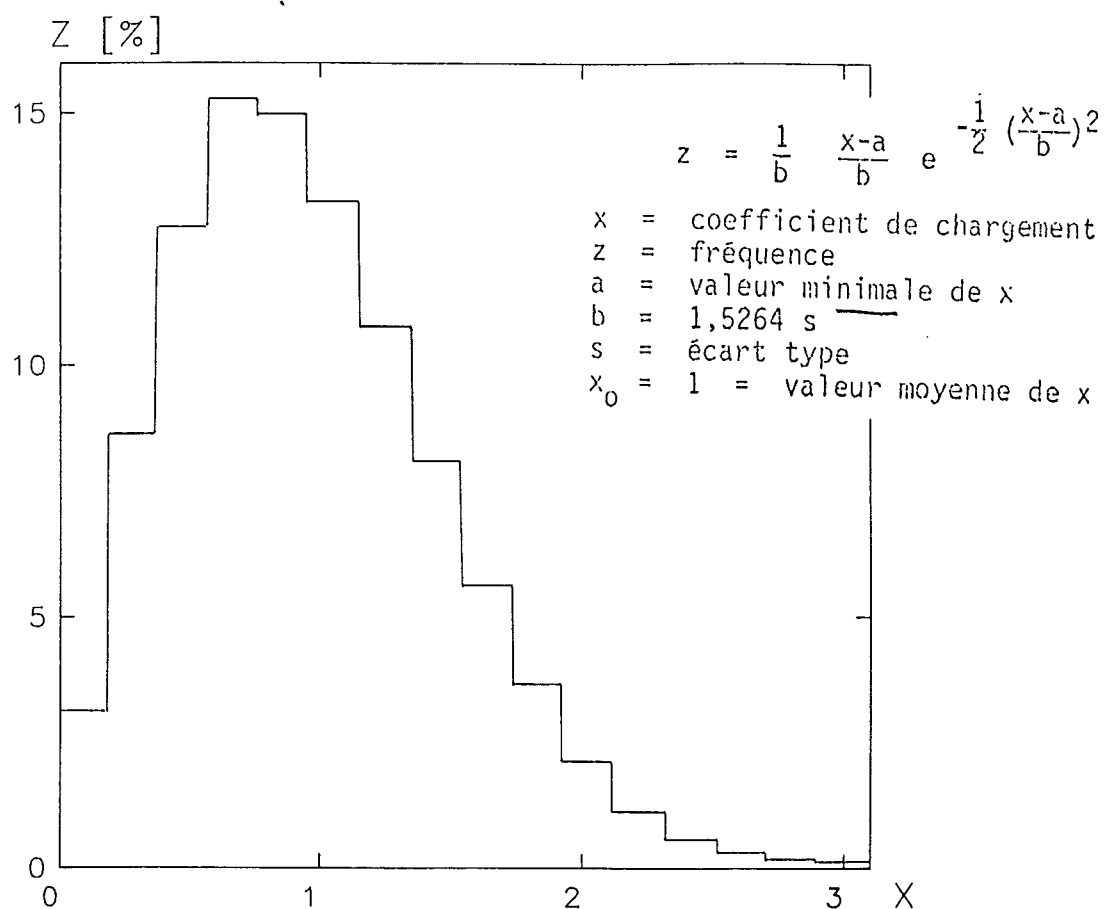
LOAD DISTRIBUTION AXLE 104 RHEDEN Slow Lane



Figuur 12. Gemeten en gesimuleerde aslastenspectrum.

SINGLE VEHICLES	Ni [%]	MEAN [kN]	MIN. [kN]	ARTICULATED VEHICLES	Ni [%]	MEAN [kN]	MIN. [kN]	DRAW BAR VEHICLES	Ni [%]	MEAN [kN]	MIN. [kN]
	12.1	37.00 34.00	16.00 16.00		4.6	43.00 38.00 22.00 20.00	22.00 22.00 8.00		2.4	38.00 32.00 30.00	22.00 14.00 8.00
	11.6	33.00 30.00	8.00 8.00		3.1	43.00 86.00 60.00 42.00 65.00	22.00 60.00 42.00 32.00		1.6	38.00 77.00 82.00	22.00 37.00 42.00
	2.9	30.00 90.00	8.00 55.00		1.4	54.00 66.00 52.00 61.00 60.00	40.00 30.00 20.00 20.00		2.0	48.00 94.00 82.00 88.00	28.00 62.00 56.00 58.00
	6.2	14.00 13.00	8.00 8.00		1.9	60.00 91.00 71.00 54.00 66.00 64.00	30.00 24.00 8.00 8.00		3.9	48.00 94.00 62.00 88.00	28.00 24.00 8.00 14.00
	9.4	14.00 15.00	8.00 8.00		1.9	60.00 47.00	47.00		3.9	48.00 94.00 62.00 88.00	28.00 62.00 56.00 58.00
	5.8	18.00 20.00	8.00 4.00		1.1	59.00 80.00 51.00 69.00 56.00 49.00	44.00 40.00 10.00 30.00 20.00 8.00		3.5	51.00 46.00 22.00 24.00 28.00	34.00 26.00 8.00 8.00 10.00
	1.0	45.00 80.00	4.00 8.00		1.1	59.00 80.00 51.00 69.00 56.00 49.00	44.00 40.00 10.00 30.00 20.00 8.00		3.5	51.00 106.00 78.00 76.00 78.00	34.00 80.00 50.00 50.00
	3.7	43.00 24.00 32.00	25.00 14.00 20.00		1.1	59.00 80.00 51.00 69.00 56.00 49.00	44.00 40.00 10.00 30.00 20.00 8.00		3.5	51.00 106.00 78.00 76.00 78.00	34.00 80.00 50.00 50.00
	2.4	43.00 84.00 74.00	25.00 52.00 50.00		1.1	59.00 80.00 51.00 69.00 56.00 49.00	44.00 40.00 10.00 30.00 20.00 8.00		3.5	51.00 106.00 78.00 76.00 78.00	34.00 80.00 50.00 50.00
SIMULATED TRAFFIC TRAIN BY THE UNIVERSITY OF LIEGE.											
RHEDEN BRIDGE Slow Lane 62 hours 12962 lorries.											
	3.7	51.00 51.00 53.00 50.00 50.00 56.00	33.00 21.00 20.00 10.00 15.00 18.00		3.7	51.00 51.00 53.00 50.00 50.00 56.00	33.00 21.00 20.00 10.00 15.00 18.00		3.7	51.00 51.00 53.00 50.00 50.00 56.00	33.00 21.00 20.00 10.00 15.00 18.00

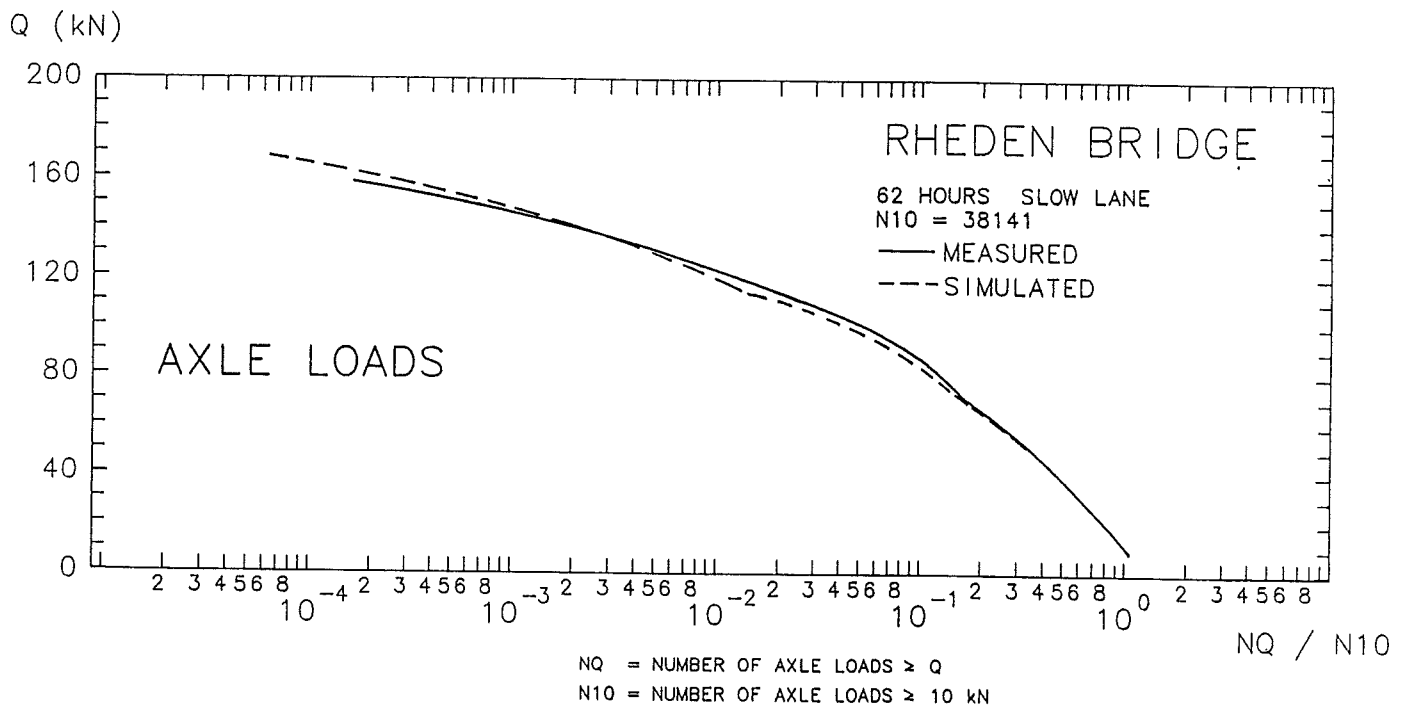
Figuur 13. Gesimuleerde voertuigtrein van het gemeten verkeer in Rheden.



COEFFICIENTS DE CHARGEMENT

	<u>Valeur</u>	<u>Proportion (%)</u>
1	0.10000	3.06000
2	0.30000	8.62000
3	0.50000	12.69000
4	0.70000	15.20000
5	0.90000	14.91000
6	1.10000	13.25000
7	1.30000	10.78000
8	1.50000	8.05000
9	1.70000	5.55000
10	1.90000	3.55000
11	2.10000	2.10000
12	2.30000	1.16000
13	2.50000	0.60000
14	2.70000	0.29000
15	2.90000	0.13000
16	3.10000	0.06000

Figuur 14. Verdeling belastingcoëfficient.



Figuur 15. Het gemeten en gesimuleerde aslastenspectrum Brug Rheden Slow Lane.

Rheden gemeten tot 150 meter daarna geëxtr.		Theoretische formule [Davenport]					
		R 120		R 24		R 4,8	
[m]	[%]	[m]	[%]	[m]	[%]	[m]	[%]
3	1.05	5	4.49	1	4.49	0	5.47
13	3.95	15	5.80	3	5.80	1	15.38
23	4.77	25	6.15	5	6.15	2	14.67
33	4.75	35	6.16	7	6.16	3	12.72
43	3.84	45	5.99	9	5.99	4	10.61
53	3.63	55	5.73	11	5.73	5	8.65
63	3.09	65	5.42	13	5.42	6	6.96
73	2.81	75	5.09	15	5.09	7	5.56
83	2.49	85	4.75	17	4.75	8	4.44
93	2.71	95	4.41	19	4.41	9	3.46
150	17.78	110	7.81	25	7.81	10	2.72
250	11.40	130	6.64	26	6.64	11	2.13
350	7.82	150	5.58	30	5.58	12	1.66
450	5.85	170	4.65	34	4.65	13	1.29
550	4.02	190	3.85	38	3.85	14	1.00
650	3.20	250	11.20	50	11.20	15	0.78
750	3.00	350	4.10	70	4.10	16	0.60
850	2.77	450	1.43	90	1.43	17	0.46
950	2.56	550	0.50	110	0.50	18	0.36
2500	8.44	650	0.22	130	0.22	25	1.09

$$f(x) = \frac{\gamma^k}{(k)} * x^{k-1} * e^{-\gamma x}$$

f(x) = verdeling

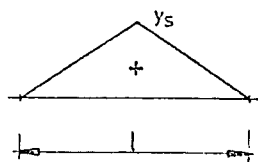
x = afstand

x₀ = gemiddelde waarde; 120 , 24 en 4,8 meter

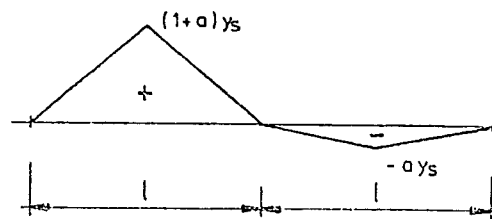
x_n correspondeert met de maximale frequentie = 0,25 x₀

$$\gamma = \frac{1}{x_0 - x_n} \quad \text{en} \quad k = \frac{x_0}{x_0 - x_n}$$

Figuur 16. Frequentieverdelingen van voertuigtussenafstanden (simulatie).

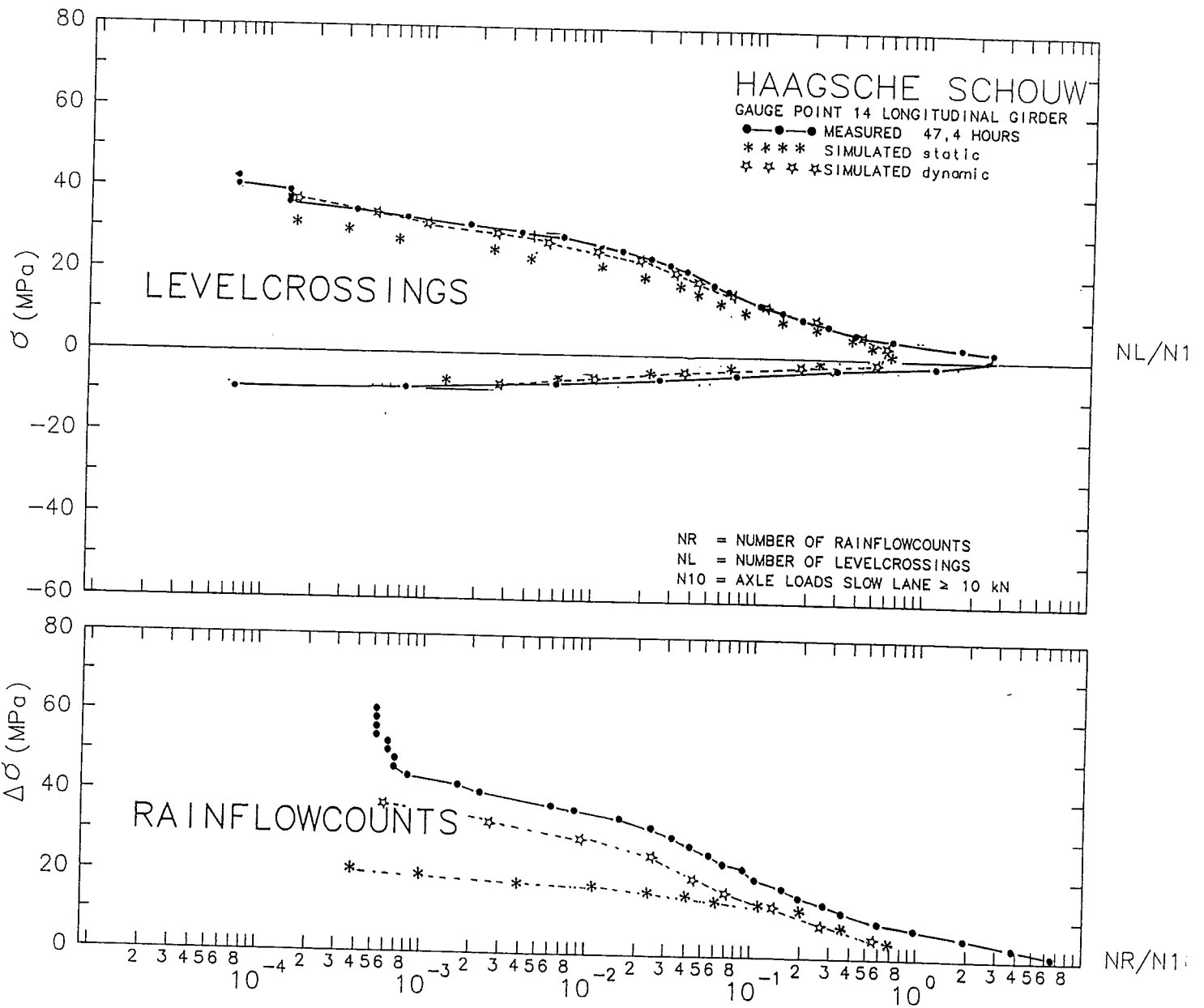


Ligne d'influence statique

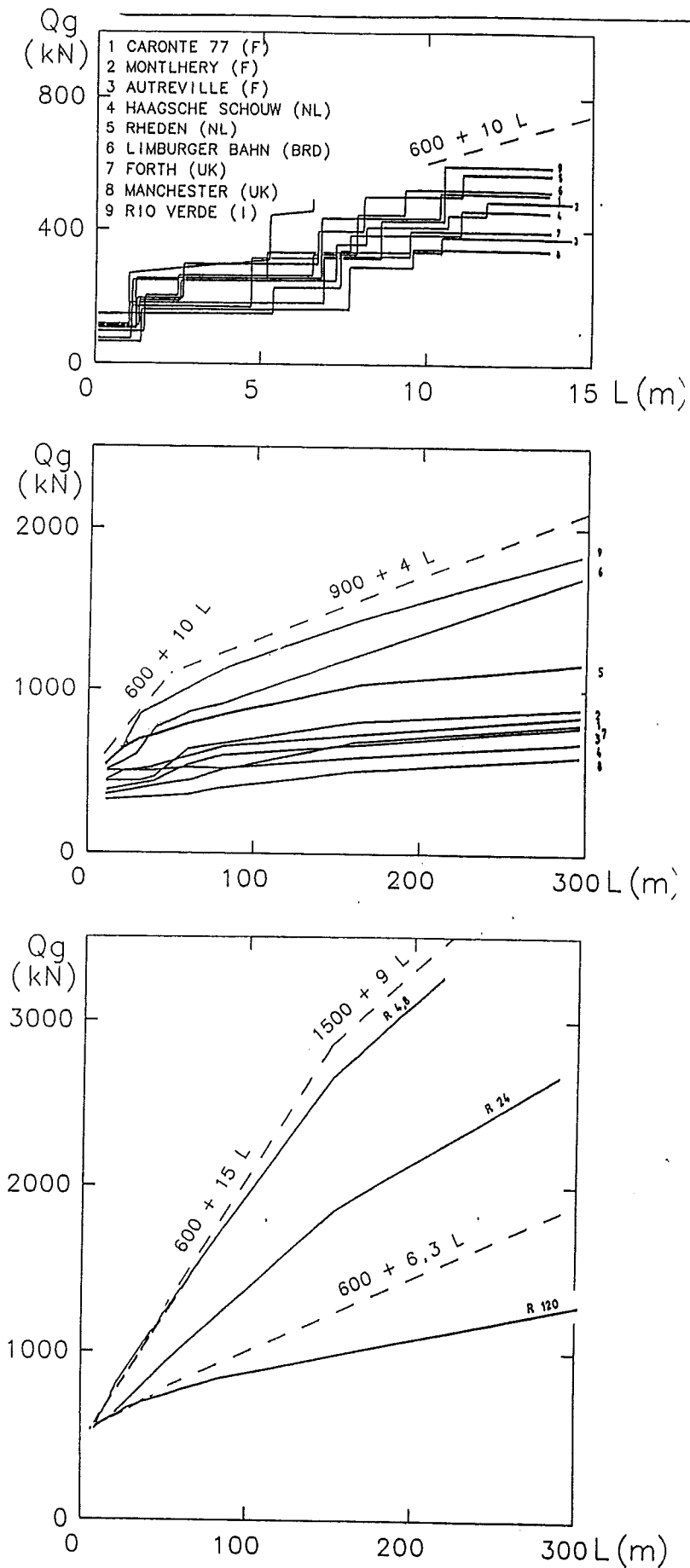


Ligne d'influence dynamique :
coefficient dynamique : a

Figuur 17. Theoretische en dynamische invloedslijn.



Figuur 18. Gemeten en gesimuleerde spanningen.



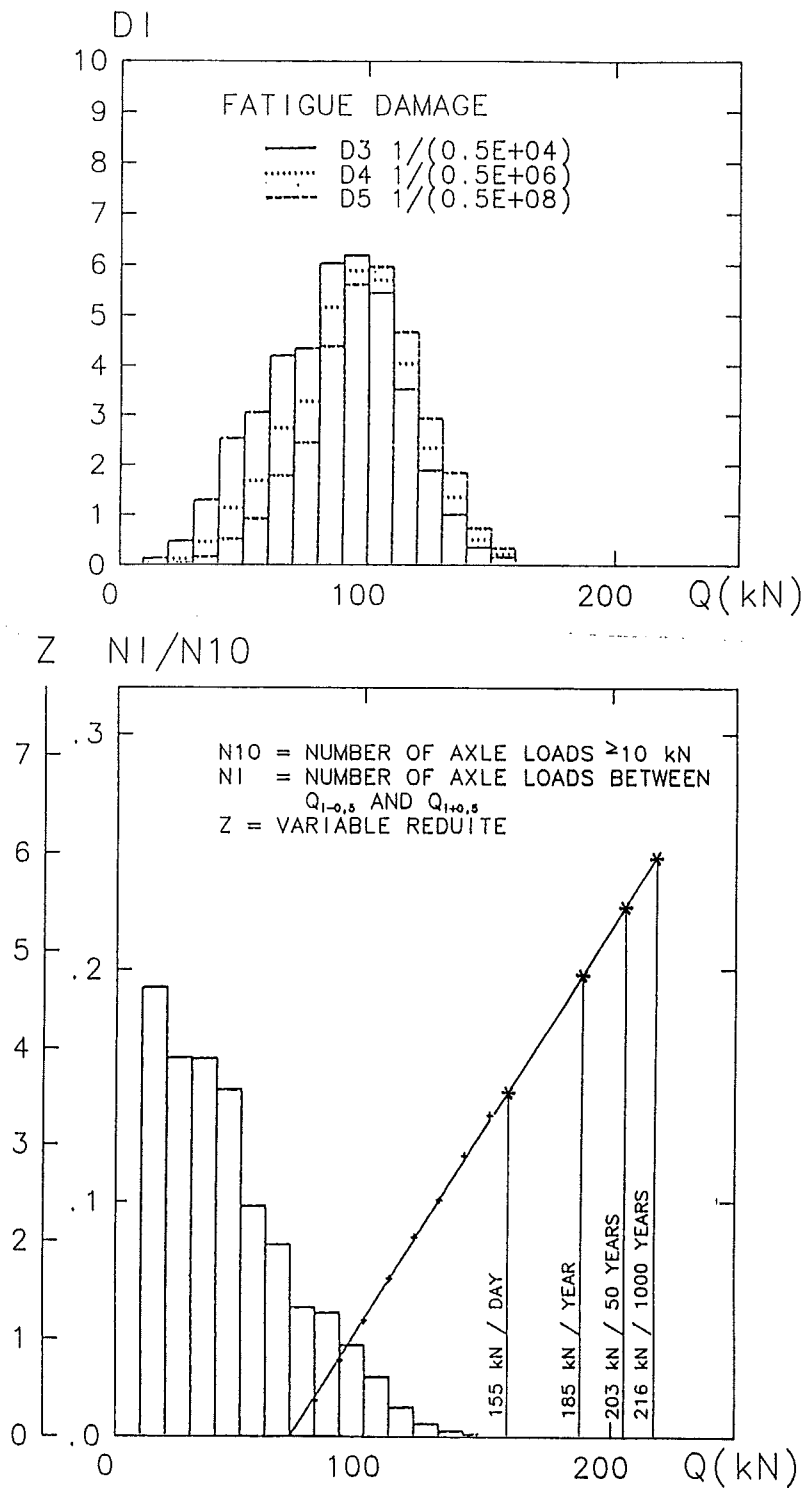
Figuur 19. Belasting die 1 maal per dag voorkomt.

VERKEERSBRUG :	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	CARONTE	MONTLHERY	AUTREVILLE	HAAGSCHE	RHEDEN	LIMBURGER	FORTH	MANCHESTER	RIO VERDE
	F	F	F	NL	NL	D	GB	GB	I
AANTAL VRACHTAUTO'S	1370	3530	1540	1352	3240	8600	2253	1517	1182
PER DAG									
AANTAL ASSEN	2271	6850	3560	1795	6271	20520	3232	1316	3707
> 30 kN (n ₃₀)									
ASLAST PER :									
DAG	195	172	148	162	155	151	126	120	165
JAAR	236	218	177	190	185	179	153	148	189
50 JAAR	262	245	197	206	203	196	168	161	214
1000 JAAR	279	267	209	217	216	210	189	172	227
EQUIVALENTE ASLAST									
(n _e = 0,5 n ₃₀)	108	83	84	90	86	87	82	75	96
TANDEM AS PER:									
DAG	300	240	200	290	240	250	230	210	220
1000 JAAR	440	370	426	467	454	387	340	317	306
VOERTUIGGEWICHT:									
PER DAG	550	530	390	500	610	560	440	390	480
1000 JAAR	770	733	672	729	913	842	620	576	720
EQUIVALENT									
VOERTUIGGEWICHT									
(n _e = 0,125 n ₃₀)	337	304	313	300	340	362	290	227	417
Q-BELASTING									
VRACHTAUTO'S	15,8	15,2	16,3	13,5	15,1	15,3			18,4

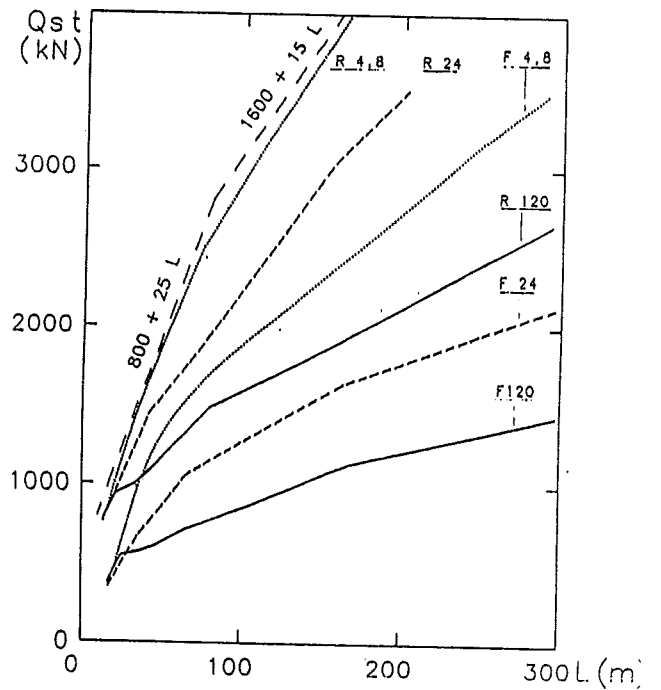
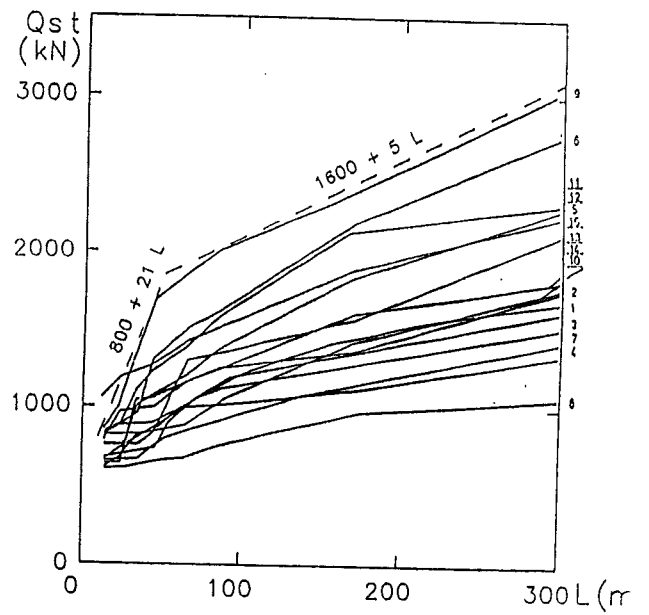
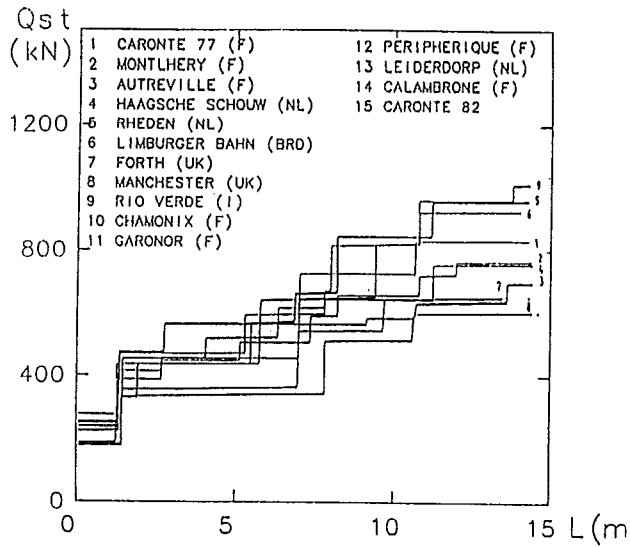
EENHEDEN : kN en meters.

Figuur 20. Geregistreerd en geëxtrapoleerd verkeer in Europa.

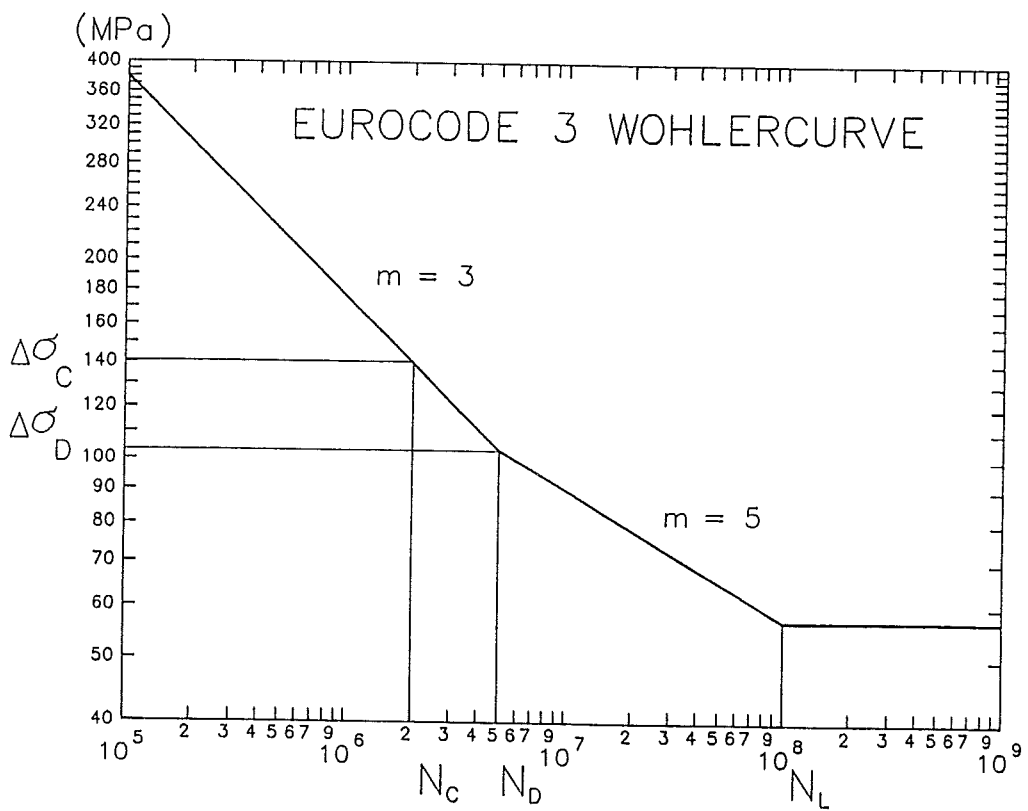
RHEDEN BRIDGE AXLE LOADS



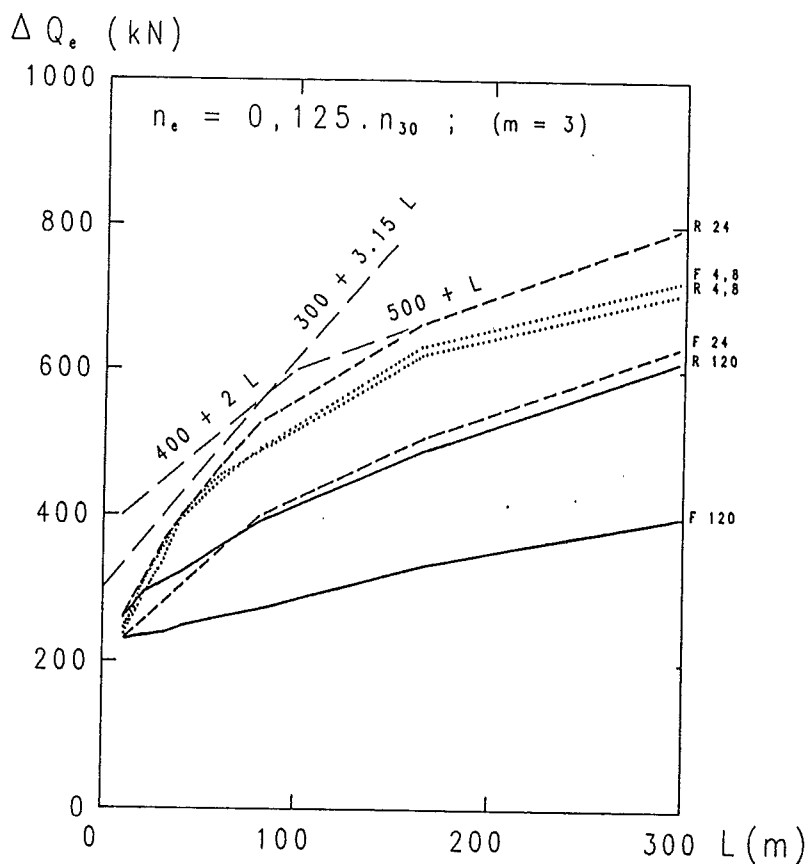
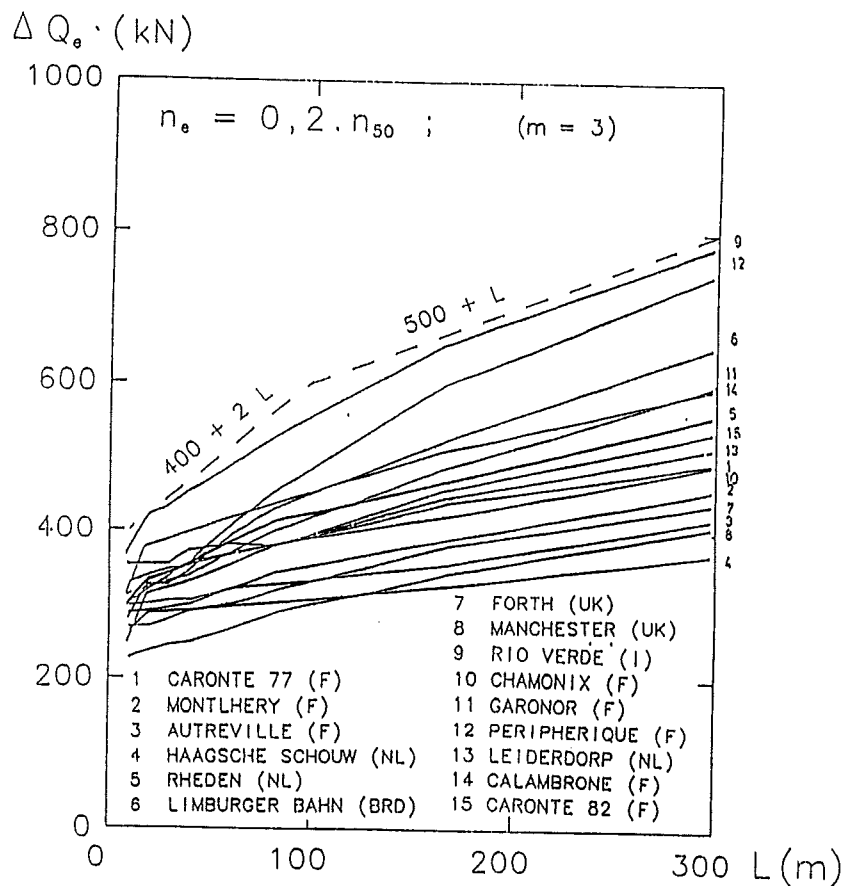
Figuur 21. Extrapolatie gemeten aslasten.



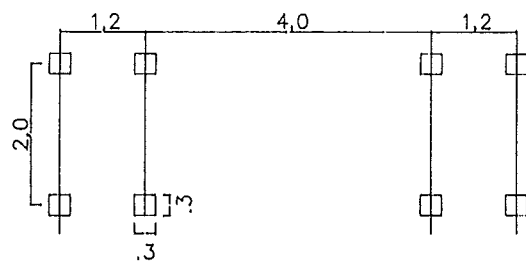
Figuur 22. Geëxtrpoleerde belastingen.



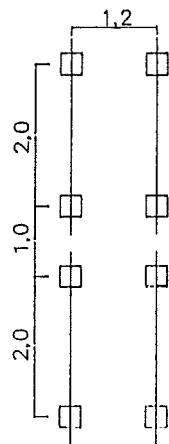
Figuur 23. Wöhler kromme Eurocode.



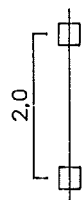
Figuur 24. Equivalente belastingen.



SCHEME 1: $Q=4*200$ kN

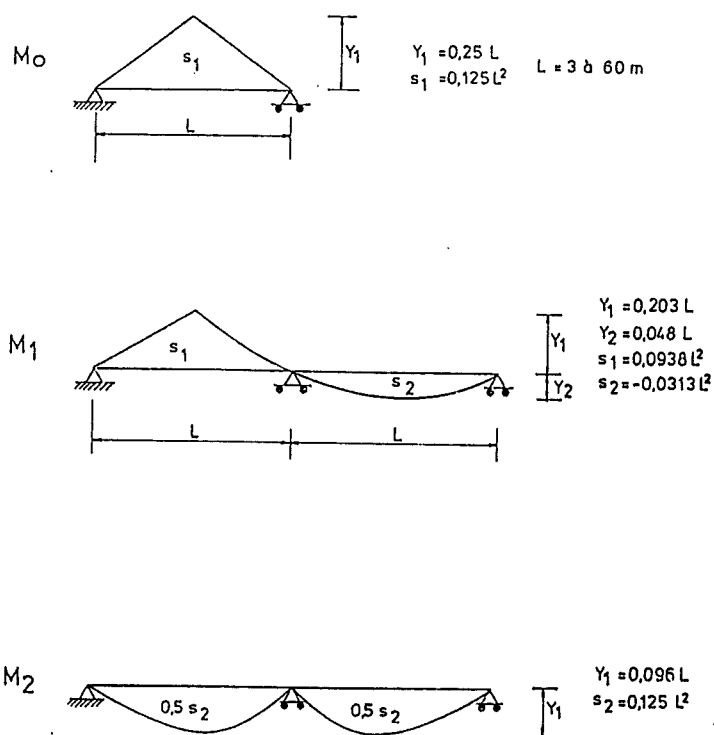


SCHEME 2: $Q=4*200$ kN

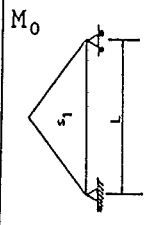
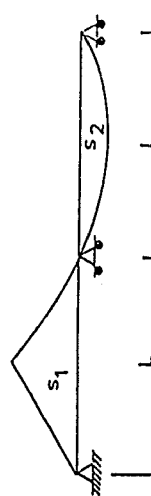
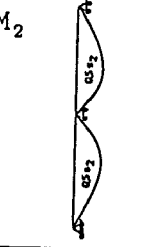


SCHEME 3: $Q=280$ kN

Figuur 25. Belastingmodellen.

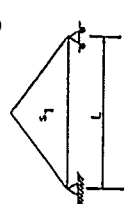
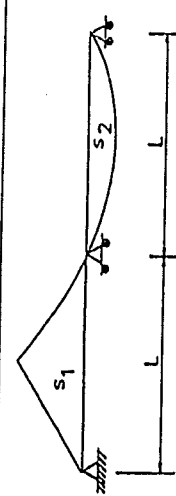
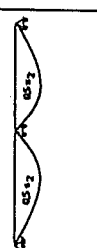


Figuur 26. Invloedslijnen.

	L (m)	1 RIJSTROOK		2 RIJSTROKEN (0,75 - 0,25)	
		ΔM_{st} (kNm)	$\frac{\Delta M_m}{\Delta M_{st}}$	ΔM_{st} (kNm)	$\frac{\Delta M_m}{\Delta M_{st}}$
	3	200	1,05		
	5	400	1,12		
	10	1230	1,01	960	1,00
	20	3700	1,08	2900	1,08
	30	6900	1,06	5600	1,03
	40	10500	1,06	8500	1,05
	60	19000	1,02	15700	0,99
	3	155 - 50	1,10 1,09		
	5	290 - 120	1,22 0,89		
	10	900 - 270	1,05 1,29	680 - 200	1,08 1,22
	20	2700 - 730	1,15 1,32	1950 - 570	1,25 1,32
	30	5100 - 1200	1,12 1,40	4000 - 1000	1,13 1,44
	40	7500 - 1650	1,16 1,54	5800 - 1450	1,19 1,40
	60	14000 - 3200	1,14 1,44	11000 - 2900	1,16 1,29
	3	- 110	1,07		
	5	- 220	1,53		
	10	- 900	1,01	- 740	0,97
	20	- 2400	1,02	- 2000	0,98
	30	- 4400	1,04	- 3600	1,03
	40	- 7200	0,99	- 5800	1,01
	60	- 13600	1,02	-11800	0,98

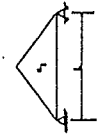

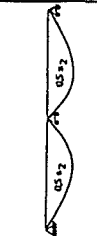
Mst : Het berekende moment middels het zwaarste verkeer en een gemiddelde voertuigafstand van 4,8 meter.
 Mm : Het berekende moment middels het belastingmodel.

Figuur 27. Statische ontwerpmomenten.

	L (m)	1 RIJSTROOK				2 RIJSTROKEN	
		$d_o = 120$ m		$d_o = 4,80$ m		$d_o = 4,80$	
		ΔM_g (kNm)	$\frac{\Delta M_m}{\Delta M_g}$	ΔM_g (kNm)	$\frac{\Delta M_m}{\Delta M_g}$	ΔM_g (kNm)	$\frac{\Delta M_m}{\Delta M_g}$
	3	140	1,12				
	5	290	1,05				
	10	740	1,09	780	1,04	640	
	20	2200	1,15	2350	1,08	1900	1,02
	30	4100	1,08	4400	1,01	3600	0,95
	40	5800	1,12	7000	0,93	5600	0,90
	60	9800	1,10	13000	0,83	10500	0,80
	3	110 - 35	1,15 1,08				
	5	210 - 70	1,15 1,04				
	10	560 - 160	1,11 1,29	540 - 160	1,14 1,29	440 - 110	1,07 1,43
	20	1700 - 600	1,17 1,00	1700 - 400	1,17 1,50	1350 - 300	1,12 1,53
	30	3100 - 1000	1,12 1,00	3100 - 700	1,12 1,43	2600 - 400	1,03 1,94
	40	4500 - 1400	1,13 1,02	4800 - 1000	1,06 1,43	3950 - 550	1,00 2,02
	60	7600 - 2200	1,15 1,09	8800 - 1400	0,99 1,72	7200 - 1000	0,98 1,89
	3	- 80	0,96				
	5	- 200	1,40				
	10	- 560	1,01	- 600	0,94	500	0,87
	20	- 1180	1,16	- 1650	0,83	1350	0,79
	30	- 2100	1,13	- 3000	0,79	2500	0,75
	40	- 3100	1,13	- 4900	0,71	4000	0,69
	60	- 5400	1,14	- 9400	0,66	8200	0,61

Mg : Het berekende moment middels het zwaarste verkeer.
 Mm : Het berekende moment middels het belastingmodel.

Figuur 28. Momenten in het gebruiksstadium.

	L (m)	1 RIJSTROOK				2 RIJSTROKEN (0,75 - 0,25)	
		$d_o = 120$ m		$d_o = 4,80$ m		$d_o = 4,80$	
		ΔMe (kNm)	$\frac{\Delta Mm}{\Delta Me}$	ΔMe (kNm)	$\frac{\Delta Mm}{\Delta Me}$	ΔMe (kNm)	$\frac{\Delta Mm}{\Delta Me}$
M_0 	3	60(1)	1,31				
	5	139(2)	1,10				
	10	315(2)	1,17	335(2)	0,96	313(2)	0,90
	20	1106	1,15	1270	1,00	1010	0,96
	30	1953	1,13	2200	1,01	1740	0,98
	40	2795	1,16	3214	1,01	2540	0,99
	60	4525	1,19	5356	1,00	4250	0,98
M_1 	3	61(1)	1,26				
	5	132(2)	1,19				
	10	308(2)	1,20	310	1,20	267	1,06
	20	1139	1,14	1116	1,16	885	1,12
	30	1979	1,13	1909	1,18	1530	1,13
	40	2798	1,17	2756	1,19	2140	1,18
	60	4488	1,24	4467	1,24	3590	1,25
M_2 	3	43(1)	1,00				
	5	111	1,26				
	10	284	0,99	324	0,87	271	0,80
	20	575	1,19	742	0,92	619	0,86
	30	1012	1,17	1330	0,89	1050	0,89
	40	1480	1,18	1900	0,92	1490	0,93
	60	2442	1,27	3130	0,99	2450	1,02

$n_e = 0,50n_{30}$

$n_e = 0,25n_{30}$

ΔMe : Het berekende moment inter val middels het zwaarste verkeer met een gemiddelde voertuigafstand van 4,8 meter.

ΔMm : Het berekende moment middels het belastingmodel.

Figuur 29. Equivalente momenten