

REMKRACHTVERDELING

Experimenteel en analytisch onderzoek naar de relatie tussen de remkrachtverdeling, de remvertraging en koersstabiliteit van personenauto's en vrachtauto's

Samenvatting van de research-rapporten van Subcommissie II van de Werkgroep "Banden, Wegdekken en Slipongevallen"

R-78-33

Voorburg, 1978

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

SAMENVATTING

Bij een gegeven remkrachtcoëfficiënt tussen band en wegdek is de maximaal haalbare vertraging van een voertuig afhankelijk van de verdeling van de remkrachten over de wielen. Via berekeningen is nagegaan aan welke voorwaarden het remsysteem van personenauto's en trucks moeten voldoen om een optimaal effect te bereiken qua vertraging en stabiliteit.

Voor een aantal normaal op de Nederlandse wegen toegelaten personenauto's is proefondervindelijk bepaald hoe het daadwerkelijk gesteld is met de remkrachtverdeling. Voor trucks en trekker-opleggercombinaties is rekenkundig nagegaan wat de samenhang is tussen vertraging, remkrachtverdeling en stabiliteit van deze voertuigen.

Aan de hand van de verkregen gegevens zijn aanbevelingen opgesteld voor verbeteringen aan remsystemen en worden beoordelingsmethoden voor remsystemen bediscussieerd.

INHOUD

Samenvatting

Definities, begrippen en symbolen

1. Voorwoord

2. Inleiding

3. Theoretisch optimale remkrachtverdeling van twee-assers

3.1. Optimale remkrachtverdeling

3.2. Afwijking t.o.v. de optimale remkrachtverdeling

4. Wettelijke bepalingen

5. Praktijkonderzoek aan twee-assers

5.1. Doel van het onderzoek

5.2. Opzet van het onderzoek

5.3. Meetmethode en condities

5.4. Beproeving remdrukverdelingsventielen

5.5. Meetresultaten van 3 typen van 2 verschillende merken

5.6. Meetresultaten van tien exemplaren van hetzelfde type

6. Remkrachtverdeling bij bedrijfswagens

6.1. Toegepaste remsystemen bij bedrijfswagens

6.2. Theoretisch optimale remkrachtverdeling

6.3. In de praktijk toegepaste remkrachtverdeling bij bedrijfswagens

6.4. Remwaardering

7. Resultaten van berekeningen voor enkele praktijkvoorbeelden

7.1. Ongelede voertuigen

7.2. Gelede voertuigen

7.3. Invloed van aanspreek- en zweltijden

7.4. Remkrachtverdeling van bedrijfswagens in de praktijk

8. Conclusie

8.1. Personenauto's

8.2. Ongelede bedrijfswagens

8.3. Gelede bedrijfswagens

Literatuur

Tabellen 1 t/m 4

Figuren 1 t/m 18

DEFINITIES, BEGRIPPEN EN SYMBOLEN

<u>Symbool</u>	<u>Grootheid</u>	<u>Eenheid</u>
a	relatieve vertraging	-
F_x	horizontale kracht in het wielvlak	N
F_{x_1}	remkracht aan de vooras	N
F_{x_2}	remkracht aan de achteras	N
F_{x_3}	remkracht aan de opleggeras	N
$F_{x_{tot}}$	totale remkracht van een voertuig	N
F_z	verticale wielbelasting	N
F_{z_1}	voorasbelasting	N
F_{z_2}	achterasbelasting	N
$F_{z_{1st}}$	statische voorasbelasting	N
$F_{z_{2st}}$	statische achterasbelasting	N
ΔF_z	gewichtsoverzetting tussen de assen van een voertuig	N
G	gewicht	N
g	versnelling van de zwaartekracht	ms ⁻²
k	remwaardering	-
l	wielbasis	m
zw	zwaartepunt	-
μ_x	remkrachtcoëfficiënt in langsrichting	-
ψ	ligging van het zwaartepunt in horizontale zin gerelateerd aan de wielbasis	-
χ	ligging van het zwaartepunt in verticale zin gerelateerd aan de wielbasis	-
ω_R	hoeksnelheid van een wiel tijdens remmen	rad s ⁻¹
ω_0	hoeksnelheid van een vrijrollend wiel	rad s ⁻¹

- Aanspreektijd : De tijd die verloopt tussen het tijdstip van aanraken van het bedieningspedaal en het tijdstip waarop de drukopbouw in de remleiding begint.
- Kental van een rem : De inwendige overbrengingsverhouding tussen de optredende remkracht en de daarvoor benodigde bedieningskracht van de rem.
- Langsslip : In formule : $(1 - \frac{\omega_R}{\omega_0}) \cdot 100\%$
Zie ook Slipongevallen (SWOV, 1969-4).
- Responsietijd : De som van aanspreektijd en zweltijd.
- Remdrukbegrenzingsventiel : Ventiel dat de hoofdremcilinderdruk vanaf een bepaalde schakeldruk op een constant niveau houdt.
- Remdrukverdeling : De verhouding van de aan de hoofdremcilinderdruk gerelateerde remdrukken aan de verschillende wielen.
- Remdrukverminderingsventiel: Ventiel dat de hoofdremcilinderdruk boven een bepaalde schakeldruk volgens een bepaalde verhouding verminderd doorgeeft.

- Remkrachtcoëfficiënt : In formule $\frac{F_x}{F_z}$
Zie ook Slipongevallen (SWOV, 1969-4).
- Remkrachtverdeling : De verhouding van de aan de totale remkracht gerelateerde remkrachten aan de verschillende wielen van een voertuig.
- Remkrachtverdeling, ideale : Remkrachtverdeling waarbij onder alle omstandigheden alle wielen van een voertuig bij toenemende rempedaalkracht gelijktijdig zullen blokkeren.
- Remkrachtverdeling, optimale: Remkrachtverdeling waarbij bij gelijke remkrachtcoëfficiënten tussen elke band en het wegdek alle wielen van een voertuig bij toenemende rempedaalkracht gelijktijdig zullen blokkeren.
- Remwaardering : De remwaardering k bij een bepaalde vertraging is de waarde van de vertraging gedeeld door de maximaal optredende remkrachtcoëfficiënt.
In formule $K_2 \frac{a}{u_{xm}}$.
- Zweltijd : De tijd die verloopt tussen het tijdstip, waarop de drukopbouw in de remleiding begint tot het tijdstip dat deze 70 of 90% van zijn asymptotische waarde bereikt.

1. VOORWOORD

In 1966 heeft de toenmalige minister van Verkeer en Waterstaat aan de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV verzocht een onderzoek in te stellen naar het verschijnsel slippen. Hierbij diende, naast de mate waarin slipongevallen bijdragen tot verkeersonveiligheid, onderzocht te worden welke factoren een rol spelen bij het slippen.

Ter bestudering van de problemen is een Werkgroep "Banden, Wegdekken en Slipongevallen" ingesteld. In het rapport Slipongevallen (SWOV, 1969-4), het eerste interimrapport van de Werkgroep, is een inventarisatie gegeven van de factoren die bij het slippen van belang zijn. Voor het bijeenbrengen van gegevens die nodig zijn voor het oplossen van de praktijkproblemen zijn deelopdrachten verstrekt aan een aantal subcommissies.

De deelopdracht aan Subcommissie II omvatte onderzoek naar de relatie tussen de remkrachtverdeling, de remvertraging en de stabiliteit van een voertuig. Het betreft voertuigtechnische aspecten van zowel personen- als vrachtauto's (trucks al dan niet met aanhanger en trekkers met oplegger).

Doel van het onderzoek was te komen tot voorstellen ter verbetering van de eigenschappen van het voertuig, in die zin dat daarmee de grootst mogelijke vertraging onder alle omstandigheden zou kunnen worden bereikt, zonder dat daarbij de koersstabiliteit en bestuurbaarheid verloren gaat. Om dit doel te bereiken is een literatuurstudie verricht en is experimenteel en analytisch onderzoek uitgevoerd met verscheidene voertuigen.

Het onderzoek is tot stand gekomen dankzij de medewerking van het Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO te Delft en het Laboratorium voor Voertuigtechniek van de Technische Hogeschool Delft.

Subcommissie II van de Werkgroep Banden, Wegdekken en Slipongevallen was op 31 december 1975 als volgt samengesteld:

Ir. A. Dijks, voorzitter¹⁾

Laboratorium voor Voertuigtechniek van de TH-Delft

Ir. A. Edelman

Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO, Delft

Ir. P.D. v.d. Koogh

Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO, Delft

Ir. L.H.M. Schlösser

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV,
Voorburg

Ir. H.G. Paar

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV,
Voorburg

1) Tot 22 december 1970 berustte het voorzitterschap bij

Dr.Ir. H.B. Pacejka

Laboratorium voor Voertuigtechniek van de TH-Delft

Verder hebben van de Subcommissie deel uitgemaakt:

Ir. P.M.W. Elsenaar

Rijkswegenbouwlaboratorium, Delft

J.H. v.d. Water, gastlid

Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO, Delft

J. Edelman, gastlid

Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO, Delft

Over dit onderzoek zijn in de jaren 1971 t/m 1973 enkele rapporten verschenen (zie literatuurlijst) en aan de Werkgroep "Banden, Wegdekken en Slipongevallen" aangeboden.

Hoewel de werkgroep haar onderzoekprogramma nog niet geheel voltooid had, kwam in 1973 bij haar de behoefte naar voren aan terugkoppeling met het beleid. De werkgroep heeft van verder onderzoek afgezien in afwachting van een maatregelgerichte inbreng van de beleidsbepalende overheidsinstanties. Om deze beleidsinbreng te coördineren zou de werkgroep moeten worden opgevolgd door een Begeleidende Overheidswerkgroep als sturende instantie. De oprichting van deze BOWG is evenwel vertraagd door de reorganisatie van het beleid op het gebied van de verkeersveiligheid die leidde tot de oprichting van de Directie Verkeersveiligheid DVV. Door deze ontwikkeling is ook de publikatie van de researchresultaten van de werkgroep vertraagd. De SWOV heeft toen besloten de resultaten van het onderzoek van o.a. Subcommissie II in eigen beheer op wat kortere termijn te verspreiden. De vorm van de oorspronkelijke rapporten leende zich daar echter niet toe. Derhalve is besloten van deze rapporten een samenvatting te maken. In deze samenvatting zijn tevens de meest belangrijke recente ontwikkelingen opgenomen. Het rapport is samengesteld door ir. L.H.M. Schlösser.

Ir. E. Asmussen

Directeur Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid
SWOV

2. INLEIDING

De vertraging die een auto kan bereiken is afhankelijk van de grootte van de remkrachtcoëfficiënt tussen band en wegdek. De relatieve vertraging kan maximaal gelijk worden aan de grootte van de maximale remkrachtcoëfficiënt en is onafhankelijk van het gewicht van het voertuig. In hoeverre de maximale vertraging ook werkelijk gehaald kan worden, wordt bepaald door de remkrachtverdeling tussen de wielen van het voertuig en bij vrachtauto's soms ook nog door het remvermogen.

Op een homogeen wegdek en tevens gelijke banden met dezelfde profieldiepte op elk wiel mogen gelijke remkrachtcoëfficiënten worden verondersteld. Onder deze omstandigheden kan onder een optimale remkrachtverdeling worden verstaan die remkrachtverdeling, die ervoor zorgt dat alle wielen van een voertuig bij toenemende rempedaalkracht gelijktijdig zullen blokkeren.

De remkracht van een geblokkeerd wiel op een nat wegdek is aanzienlijk minder dan van een wiel dat geremd wordt met ca. 20% langsslip (zie figuur 1). De situatie is wat dit betreft voor truckbanden ongunstiger dan voor personenwagenbanden.

Op een nat wegdek is de vertraging van een voertuig, waarvan een of meer wielen zijn geblokkeerd, dus lager dan van een voertuig waarvan de wielen nog net niet zijn geblokkeerd. Bovendien is een voertuig met geblokkeerde voorwielen onbestuurbaar. Er kunnen geen spoorkrachten meer geleverd worden, die voor koerscorrecties noodzakelijk zijn. Zijn de achterwielen geblokkeerd, dan is het voertuig instabiel. Het voertuig zal theoretisch de neiging hebben 180° om zijn hoogteas te draaien en in deze positie zijn weg te vervolgen. In werkelijkheid kan het voertuig echter blijven draaien, van de weg geraken, een obstakel treffen of over de kop slaan.

De volgorde van blokkeren van de assen is belangrijk. Het wordt in het algemeen gunstig geacht als het eerst de voorwielen aan

de blokkeergrens geraken. Het voertuig blijft dan, weliswaar onbestuurbaar, in rechte lijn zijn weg vervolgen. Bij trekker-opleggercombinaties is de gunstigste volgorde van blokkeren: vooras, opleggeras, achteras. Bij een geblokkeerde achteras zal de combinatie de neiging hebben te gaan scharen.

Op natte wegdekken is het met de huidige remsystemen van bedrijfswagens moeilijk blokkeren te voorkomen, maar men kan dan wensen dat dit gelijktijdig met alle assen gebeurt. Met een optimale remkrachtverdeling kan men voorkomen dat een as voortijdig blokkeert.

De optimale remkrachtverdeling is zeker geen constante verdeling maar hangt in sterke mate af van de gewichtsverdeling en daarmee de beladingstoestand van het voertuig. Bij het remmen van een twee-assig voertuig wordt de achteras ontlast en de vooras extra belast. De grootte van de gewichtsoverzetting is afhankelijk van de zwaartepuntshoogte, de wielbasis en de vertraging tijdens het remmen.

Bij kleine vertragingen bepaalt de statische gewichtsverdeling hoofdzakelijk de remkrachtverdeling. In noodsituaties zal echter een grote vertraging gewenst zijn, waardoor in deze kritische omstandigheden de dynamische effecten juist bijzonder belangrijk zijn.

Speciaal bij bedrijfswagens zijn de problemen van de remkrachtverdeling aanzienlijk. De belastingvariatiën (statische gewichtsverdeling) zijn zeer groot. Als men de verhouding laadvermogen gedeeld door het eigen gewicht beschouwt, dan bedraagt dit voor personenauto's 35-55%, voor trucks 100-200% en voor aanhangwagens 350%. Voor trekker-opleggercombinaties kan de situatie nog ongunstiger zijn evenals voor de individuele assen van bedrijfswagens. Grote dynamische gewichtsovertellingen komen voor bij trucks met een hoog zwaartepunt en met een korte wielbasis, zoals betonmixers en tankwagens. Als

de remkrachtverdeling onder alle beladings- en belastingsomstandigheden (statisch en dynamisch) redelijk in de buurt van de optimale remkrachtverdeling moet liggen moet deze lastafhankelijk zijn, zich dus al dan niet automatisch aanpassen aan de verticale wielbelasting.

Ook bij gebruik van antiblokkeerapparatuur is een goede remkrachtverdeling gewenst. Bij storing van de elektronisch gestuurde antiblokkeerinrichting moet in elk geval normaal geremd kunnen worden (fail-safe werking). Men zal verder niet graag zien dat bij elke remming de antiblokkeerapparatuur in werking treedt. Zodra dit het geval is zullen sterk wisselende remkrachten optreden aan de betreffende as wat een verhoogde slijtage van de onderdelen van de wielophanging zal betekenen. Verder kan een goede remkrachtverdeling een grote verbetering in de doseerbaarheid van een remsysteem opleveren ook in samenwerking met een antiblokkeerinrichting.

Antiblokkeerapparatuur is voor wegvoertuigen reeds verkrijgbaar, zij het tegen een relatief hoge prijs. De apparatuur is echter gevoelig voor storingen t.g.v. voertuigtrillingen, vervuiling en mechanische slijtage. Daarom wordt in het laatste ontwikkelingsstadium van de antiblokkeerinrichtingen gewerkt aan verhoging van de betrouwbaarheid, eenvoud van onderhoud en verlaging van de kostprijs.

3. THEORETISCH OPTIMALE REMKRACHTVERDELING VAN TWEE-ASSERS

Bij de hiernavolgende theorie over de remkrachtverdeling van twee-assers is gedacht aan personenauto's en vrachtauto's. Deze laatste categorie voorzover ze in beladen toestand een totaal-gewicht hebben van niet meer dan 35 kN. Deze voertuigen hebben in het algemeen een hydraulisch remsysteem.

Dit hydraulisch systeem wordt door menselijke spierkracht in werking gesteld. Waar dit onvoldoende is, zoals bij zwaardere voertuigen en vaak bij gebruik van schijfremmen, die geen zelf-bekrachtigend effect hebben, wordt het systeem-vacuüm of luchtdruk - bekrachtigd.

Voor de berekening van de optimale remkrachtverdeling zal worden uitgegaan van een tweedimensionaal model. Hierbij wordt verondersteld dat het voertuig, voor wat betreft de langsas een symmetrisch remgedrag vertoont. Tevens wordt verondersteld dat het voertuig geen zijdelingse verplaatsing ondergaat.

3.1. Optimale remkrachtverdeling

Een voertuig heeft een gewicht G , een wielbasis l en een zwaartepunt z_w , waarvan de ligging t.o.v. de wielen en het grondvlak kan worden aangegeven door de coëfficiënten Ψ en χ (zie figuur 2).

In statische toestand is de gewichtsverdeling over de voor- en achterassen:

$$\text{statische voorasbelasting} \quad : F_{z_{1st}} = (1 - \Psi) G \quad (1)$$

$$\text{statische achterasbelasting} \quad : F_{z_{2st}} = \Psi \cdot G. \quad (2)$$

Indien er geremd wordt treedt in het algemeen (geen helling) een verandering op in de wielbelasting t.g.v. de gewichtsover-zetting ter grootte van $\Delta F_z = \chi a \cdot G$.

met a = de vertraging gerelateerd aan de versnelling van de zwaartekracht g .

Voor de op het gewicht betrokken dynamische asbelasting is dan te schrijven:

$$\frac{F_{z_1}}{G} = \frac{F_{z_{1st}} + \Delta F_z}{G} = (1 - \Psi + \chi . a) \quad (4)$$

$$\frac{F_{z_2}}{G} = \frac{F_{z_{2st}} - \Delta F_z}{G} = \Psi - \chi . a \quad (5)$$

De gewichtsverdeling is dus afhankelijk van de plaats van het zwaartepunt en de vertraging.

$$\text{Verder geldt } F_{z_1} + F_{z_2} = G \quad (6)$$

$$\text{en voor de remkrachten } F_{x_{tot}} = F_{x_1} + F_{x_2} = a . G \quad (7)$$

Indien de maximale remkrachtcoëfficiënten μ_{xm} voor alle wielen gelijk zijn, moet getracht worden de remkrachten aan de assen bij een bepaalde vertraging in overeenstemming te brengen met de dynamische asbelasting. Voor de optimale remkrachtverdeling geldt, daar dan $F_{x_{tot}} = \mu_{xm} . G$ (8)

$$\text{met formule (7) dat de vertraging } a = \mu_{xm} \quad (9)$$

Hieruit blijkt dat de relatieve vertraging niet groter kan worden dan de grootte van de maximale remkrachtcoëfficiënt μ_{xm} .

De optimale remkrachten aan de assen zijn in dimensieloze vorm:

$$\frac{F_{x_1}}{G} = \mu_{xm} \frac{F_{z_1}}{G} = \mu_{xm} (1 - \Psi + \chi a) \quad (10)$$

$$\frac{F_{x_2}}{G} = \mu_{xm} \frac{F_{z_2}}{G} = \mu_{xm} (\Psi - \chi . a) \quad (11)$$

De optimale **remkrachten** in dimensieloze vorm worden in een grafiek tegen elkaar uitgezet (figuur 5a). De optimale remkracht-

verdelingslijn is alleen afhankelijk van de plaats van het zwaartepunt.

3.2. Afwijking t.o.v. de optimale remkrachtverdeling

Het zal in de praktijk vrijwel nooit zo zijn dat alle vier wielen tegelijk aan de blokkeergrens geraken. Constructief wordt namelijk de curve van de optimale remkrachtverdeling benaderd door een rechte of een combinatie van rechten. Door deze benadering wijkt de remkrachtverdeling af van de optimale remkrachtverdeling. Dit heeft gevolgen voor de remweg en de stabiliteit en bestuurbaarheid van het voertuig.

Indien de remkrachtverdeling niet optimaal is, betekent dit dat niet alle wielen gelijktijdig aan de blokkeergrens geraken. De wielen van een van de assen gaan eerder blokkeren dan de wielen van de andere as. Aangezien de remkrachtcoëfficiënt bij geblokkeerde wielen kleiner is dan bij nog net niet geblokkeerde wielen, is de ene as al over het maximum heen terwijl de andere as het maximum nog niet heeft bereikt (figuur 1). De vertraging wordt hierdoor kleiner en de remweg langer.

Om te kunnen vaststellen in hoeverre de werkelijk bereikbare vertraging afwijkt van de in het optimale geval haalbare vertraging, wordt een remwaardering gedefinieerd. De remwaardering k bij een bepaalde vertraging is de waarde van die vertraging gedeeld door de maximaal optredende remkrachtcoëfficiënt. In formule:

$$k = \frac{a}{\mu_{xm}} \quad (12)$$

Indien de remkrachtverdeling optimaal is, bereikt de remwaardering de waarde 1 (zie formule 9). In alle andere gevallen is de remwaardering kleiner dan 1.

Voor een bepaalde ligging van het zwaartepunt kan de remwaardering in een grafiek worden uitgezet als functie van de vertraging a . Meestal wordt voor de grafiek een interval beschouwd van waarden van a die in de praktijk voorkomen. Een goede keuze

is een interval waarbij a waarden aanneemt van 0,2 tot 0,8. De gevolgen van het afwijken van de optimale remkrachtverdeling kunnen we demonstreren aan de hand van een voertuig waarbij de remkrachten aan voor- en achteras een constante verhouding hebben. In figuur 3a zijn de remkrachten aan voor- en achteras op de horizontale en verticale as uitgezet. In de grafiek is de curve voor de optimale remkrachtverdeling ingetekend alsmede de constante remkrachtverdeling. Slechts voor één vertraging is de constante remkrachtverdeling gelijk aan de optimale remkrachtverdeling. Voor kleinere vertragingen is te zien dat de vooras overberemd is, dat wil zeggen dat voor die vertragingen de remkracht aan de vooras groter is dan overeenkomt met de optimale remkrachtverdeling. De voorwielen gaan hier het eerst blokkeren. Bij hogere vertragingen dan die gegeven door het snijpunt van constante en optimale remkrachtverdeling gaan de achterwielen het eerst blokkeren.

Kijken we naar de remwaardering van dit voertuig met constante remkrachtverdeling dan zien we dat alleen voor de vertraging waarin de constante remkrachtverdeling gelijk is aan de optimale, de remwaardering de waarde 1 bereikt (figuur 3b). Bij een overberemde vooras of achteras neemt de remwaardering af. Aan de ligging van het snijpunt tussen constante en optimale remkrachtverdeling ligt een stabiliteitscriterium ten grondslag. Ligt het snijpunt bij een hoge vertraging bijvoorbeeld 0,8 dan zullen altijd tot die waarde de voorwielen het eerst blokkeren. Dus op ijs, sneeuw en op natte wegdekken blokkeren eerst de voorwielen. Pas op zeer stroeve, droge wegdekken blokkeren de achterwielen het eerst.

Het wordt in het algemeen gunstig geacht als de voorwielen het eerst blokkeren, zeker op nat wegdek. Een geblokkeerd wiel kan geen dwarskrachten meer opbouwen. Bij geblokkeerde voorwielen zal de auto in rechte lijn zijn koers vervolgen. Er kunnen dan echter geen stuurcorrecties meer uitgevoerd worden. Blokkeren de achterwielen het eerst dan wordt de auto instabiel. Hij zal de neiging hebben om rond zijn hoogtes te gaan draaien. Dit is voor de meeste bestuurders niet te corrigeren.

Het verschuiven van het snijpunt naar hoge vertragingen is dus gunstig voor de stabiliteit. Het heeft echter wel tot gevolg dat de remwaardering voor lagere vertragingen, op nat wegdek bijvoorbeeld, slechter wordt. In de praktijk wordt dit nadeel opgelost door een geknikt lineaire remkrachtverdeling toe te passen (zie figuur 4a). Na een bepaalde remdruk gaat de ene lineaire remkrachtverdeling over in een andere. Hierdoor is het voertuig tot aan een hoge vertraging stabiel en heeft toch over het gehele praktijkgebied een hoge remwaardering (figuur 4b).

Een belangrijke factor die de remkrachtverdeling beïnvloedt, is de mate van belading van een voertuig. Hierdoor verandert de plaats van het zwaartepunt. Voor de lege en de maximaal beladen toestand wordt voor wat betreft **de in te bouwen remkrachtverdeling** meestal een compromis gezocht. Dikwijls wordt ook lastafhankelijke of vertragingafhankelijke **remkrachtverdelingsapparatuur** toegepast. Hierdoor is een betere aanpassing te verkrijgen aan belastingvariaties en dynamische effecten.

Een verandering in de remkrachtverdeling tijdens één beladings-toestand kan optreden t.g.v. variaties in de wrijvingscoëfficiënt tussen frictiemateriaal en remschijven en -trommels. Deze variaties zijn afhankelijk van de relatieve snelheid tussen voeringmateriaal en schijven resp. trommels, de aanlegdruk en vooral de temperatuur (fading).

Indien de voorwielremmen warmer worden dan de achterwielen kan bij de keuze van de remvoering of remblokken hiermede rekening gehouden worden. **De wrijvingscoëfficiënt als functie van de temperatuur is voor verschillende materialen niet steeds gelijk.** De invloed op de remkrachtverdeling van de terugstelkrachten van trommelremmen en het remmen met al dan niet ingeschakelde motor is slechts van weinig betekenis.

Een verandering in de remkrachtverdeling doet zich ook voor wanneer remblokjes of remvoering worden vervangen door materiaal met een andere frictiecoëfficiënt. Een verandering treedt eveneens op als een of meerdere wielremcilinders niet goed functio-

neren. Bovendien is dan een symmetrisch remgedrag niet altijd meer gewaarborgd.

Indien voertuigen zijn uitgerust met remdrukverdelingsventielen kunnen deze ontregeld raken. Zeker bij lastafhankelijke typen met als ingangssignaal een veerweg, heeft dit onmiddellijk gevolgen voor de remkrachtverdeling.

4. WETTELIJKE BEPALINGEN

In landen, die aangesloten zijn bij de EEG, bestaan voor wat betreft de voorschriften aan remsystemen gemeenschappelijke richtlijnen. Naast deze gemeenschappelijke **richtlijnen kan elk** land nog aanvullende bepalingen vaststellen. De voertuigen die aan de EEG-richtlijnen voldoen mogen in grensoverschrijdend verkeer in de overige landen niet geweigerd worden, ongeacht de nationale richtlijnen.

Voor toelating op de weg wordt in Nederland als algemene eis aan de bedrijfsrem gesteld dat daarmee het voertuig onder alle omstandigheden op een veilige, snelle en doelmattige wijze tot stilstand kan worden gebracht, ongeacht de snelheid, de belading en de helling waarop het voertuig zich bevindt.

De eisen aan de reminrichting en de wijze van uitvoering van remproeven staan omschreven in 71/320/EEG. Deze richtlijn werd op 26 juli 1971 uitgegeven en moest binnen 18 maanden na uitgiftedatum in de verschillende lidstaten van kracht zijn. In dit reglement wordt over de remkrachtverdeling opgemerkt dat deze oordeelkundig over de assen **moet** zijn verdeeld. De interpretatie hiervan is geregeld in het reglement 75/524/EEG van 25 juli 1975 dat op 1 oktober 1976 van kracht werd. Hierin worden aan de volgorde van blokkeren van de assen (stabiliteitscriterium) **eisen gesteld. In hoeverre nieuw op de weg toe** te laten voertuigen aan de eisen voldoen, wordt nagegaan bij een typekeuring die wordt uitgevoerd door de Rijksdienst voor het Wegverkeer RDW.

Bij de typekeuring komen niet alle voor de remkrachtverdeling relevante aspecten aan de orde. De remproeven vinden plaats op een droog, redelijk stroef en vlak wegdek. De beladingstoelstanden zijn leeg of volbeladen. Het voldoen aan 75/524/EEG geschiedt veelal rekenkundig aan de hand van door de constructeur geleverde gegevens. Het reglement voorziet echter in de mogelijkheid dat de met de keuring belaste technische instantie kan overgaan tot aanvullende proeven die door deze dienst eventueel nodig worden geacht om zich ervan te vergewissen dat

aan de voorschriften is voldaan.

Een apart probleem vormt de verenigbaarheid van gelede voertuigen, speciaal trekker-opleggercombinaties. Het is zeer lastig waterdichte voorschriften te maken zodanig dat elke trekker en elke oplegger qua remsysteem op elkaar zijn afgestemd, speciaal wanneer het gaat om nieuwe trekkers, die aan de laatste voorschriften voldoen en oudere opleggers.

Over een antiblokkeerinrichting bestaan vooralsnog geen wettelijke voorschriften. Wel dienen voertuigen die voorzien zijn van een antiblokkeerinrichting onverkort te voldoen aan de reglementen 71/320 en 75/524/EEG.

Voor meer informatie over de EEG-richtlijnen wordt verwezen naar enkele artikelen van Wassink (1974, 1975, 1976) en Krügel en Hoffmann (1978) waar ook enkele voorbeelden zijn uitgewerkt.

5. PRAKTIJKONDERZOEK AAN TWEE-ASSERS

5.1. Doel van het onderzoek

Theoretische beschouwingen over remkrachtverdeling, benaderingen van de optimale remkrachtverdelingscurve alsmede wettelijke bepalingen laten nog vragen open over hoe het nu daadwerkelijk in de praktijk gesteld is met de remkrachtverdeling van op de weg toegelaten voertuigen.

Om een indruk te krijgen hoe het met de remkrachtverdeling van normaal aan het verkeer deelnemende personenauto's gesteld is, zijn in twee series metingen een zestiental voertuigen proefondervindelijk getest. Hiervoor is een keuze gemaakt uit normaal in de handel verkrijgbare typen voertuigen.

5.2. Opzet van het onderzoek

Voor de eerste van de twee series metingen zijn van twee merken, Fiat en Simca, elk drie typen gekozen. Deze voertuigen waren **2 à 3 jaar oud en hadden een ongeveer gelijke kilometerstand** (tabel 1).

Door het meevoeren van meetapparatuur kon alleen in volbeladen toestand gemeten worden. Voorzover er geen lastafhankelijk remdrukverdelingsventiel aanwezig is, kan de remkrachtverdeling voor andere dan de volbeladen beladingstoestand door extrapolatie worden verkregen.

Tevoren werd reeds onderkend, dat door van elk type slechts één exemplaar te beproeven de uitkomsten niet generaliseerbaar zouden kunnen zijn. Wel zouden tendensen te achterhalen moeten zijn.

In de tweede reeks metingen werden van één van de zes bovengenoemde typen, namelijk de Simca 1100, tien exemplaren beproefd. Uit de vijf jaren dat het model reeds **in productie was, werden de voertuigen zodanig gekozen dat er een regelmatige reeks ontstond qua leeftijd en kilometerstand** (tabel 2). Het gekozen

type bezit een lastafhankelijk remdrukverdelingsventiel. Voor deze tweede reeks is de meetapparatuur zodanig aangepast, dat zowel in lege, half beladen als vol beladen toestand kon worden gemeten.

Parallel aan deze metingen werden op een proefstand twee lastafhankelijke remdrukverdelingsventielen beproefd op hun werking. Het betreft een product van elk der beide merken die in de eerste meetserie betrokken waren. Een van deze ventielen is gemonteerd in de Simca 1100, het andere in de Fiat 128.

5.5. Meetmethode en condities

Voor het meten van de remmomenten aan de wielen is een meetwiel ontworpen bij IW-TNO. De werking van het meetwiel berust op het meten van de vervorming van een meetnok. De vervorming wordt met behulp van rekstrookjes in een brugschakeling gemeten en wel zodanig dat alleen de remmomenten worden gemeten. Indien de dynamische rolstraal bekend is kunnen de remkrachten berekend worden.

De proeven zijn uitgevoerd op wegen met een hoge en een lage stroefheid. Er is gebruik gemaakt van het zuidelijke inspectiepad van het vliegveld Zestieenhoven, **verder van de baan** van de politieslipschool, eveneens op Zestienhoven en deels van de slipbaan van de KNAC-slipschool bij het vliegveld Ypenburg.

Van de te beproeven voertuigen werden bepaald: de plaats van het zwaartepunt, uitgedrukt in de coëfficiënten Ψ en χ , de verticale wielbelastingen in de verschillende beladingstoestanden en het totaalgewicht. Om de bij een afremming gemeten remkoppels om te zetten in remkrachten moet de dynamische rolstraal van de band bekend zijn. Voor de bepaling van de dynamische rolstraal werd voor de gebruikte bandenmaten de door de fabrikant aangegeven bandspanning aangehouden. Door de gewichtsoverzetting tijdens het remmen verandert de rolstraal.

Hiervoor moet gecorrigeerd worden. Er is daartoe een vaste gemiddelde vertragingsswaarde van $a = 0,5$ aangenomen, waarna een ijkgrafiek is opgesteld.

Na het berekenen van de definitieve waarden van de remkoppels uit de meetsignalen kan de procentuele remkrachtverdeling berekend worden. Door de totale remkracht te delen door de massa van het voertuig is ook de vertraging bekend. De verkregen waarden van de remkrachtverdeling en remvertraging kunnen worden uitgezet in een grafiek conform figuur 5. De optimale remkrachtverdeling voor een bepaalde auto kan worden berekend indien de gewichtsverdeling bekend is. Hierbij is uitgegaan van een constante hoogte van het zwaartepunt bij alle beladingstoestanden. Samen met de gemeten waarde kan de berekende curve eveneens in de remkrachtverdelingsdiagrammen worden ingetekend en wel in lege als in volbeladen toestand.

5.4. Beproeving remdrukverdelingsventielen

De beproefde lastafhankelijke remdrukverdelingsventielen zijn beide van een type dat na een bepaalde schakeldruk de oorspronkelijke constante verhouding tussen de remdrukken omzet in een andere constante verhouding. De grootte van de schakeldruk wordt bepaald door de belasting op de achteras.

Bij beide ventielen bleek dat het na de schakeldruk verminderd oplopen van de druk naar de achterwielen aanwezig was. Bij vergelijking met het door berekening verkregen verloop bleef de werkelijk optredende remdruk naar de achterwielen na de schakeldruk achter bij de berekende waarden. Hiervoor kon niet met zekerheid een oorzaak worden vastgesteld.

De grootte van de schakeldruk bleek lineair te verlopen met de belasting van de achteras. Hetingangssignaal voor het beïnvloeden van de schakeldruk is een verplaatsing van de carrosserie t.o.v. de achteras.

Voor een juiste werking van de ventielen dient het regelsysteem zorgvuldig te worden afgesteld. Een verkeerde afstelling veroorzaakt een onjuiste aanpassing van de achterremdruk aan de ach-

asbelasting. Het verdient aanbeveling de afstelling weinig kritisch te maken, dat wil zeggen dat een geringe afwijking bij de afstelling niet leidt tot een grote verandering van de schakeldruk.

Bij een wisselende achterasbelasting om een vaste waarde, bleken de ventielen deze wisselende belasting in het frequentiegebied van 0 tot 20 Hz (praktijkwaarden) in beperkte mate te kunnen volgen. Bij de wisselende belasting bleven de hoogste drukken lager en de laagste drukken hoger dan de overeenkomstige drukken in statische toestand.

5.5. Meetresultaten van 3 typen van 2 verschillende merken

Bij deze serie metingen is van drie aanvangssnelheden, 90, 70 en 50 km/h, tweemaal hard en tweemaal geleidelijk afgeremd. Op de slipbanen werd van resp. 50 en 30 km/h geleidelijk afgeremd. De meetresultaten zijn weergegeven in de figuren 5 t/m 10. Zoals reeds opgemerkt, was het in die gevallen, waarbij een lastafhankelijk remdrukverdelingsventiel aanwezig was, niet mogelijk een uitspraak te doen omtrent de remkrachtverdeling in onbeladen toestand.

Indien de gemiddelde remkrachtverdelingen beschouwd worden valt in de eerste plaats op dat de twee fabrikanten kennelijk een enigszins van elkaar afwijkend uitgangspunt hanteren voor wat betreft een in te bouwen remkrachtverdeling. De wagens van Fiat zijn zo ontworpen dat (in volbeladen toestand) in het algemeen de voorwielen het eerst zullen blokkeren. Bij Simca valt te constateren dat weliswaar de voorwielen bij lagere vertragingen ($a < 0,5$) het eerst zullen blokkeren, maar dat bij hoge vertragingen de achterwielen het eerst gaan blokkeren.

Bij Fiat gaat men er kennelijk van uit dat onder alle omstandigheden de richtingsstabiliteit gewaarborgd moet zijn. Dit resulteert in het geval van een constante remkrachtverdeling in een lagere gemiddelde remwaarderding.

De gemiddelde remwaardering ($0,2 < a < 0,8$) van voertuigen met een lastafhankelijke remkrachtverdeling ligt in volbeladen toestand tussen 90 en 95%. Indien de lastafhankelijke regelaar goed werkt, kan worden verwacht dat deze remwaardering zich ook bij andere beladingstoestanden op een dergelijk niveau zal handhaven.

De conclusie uit het voorgaande kan dus zijn dat zowel volledige stabiliteit (voorals het eerst aan blokkeergrens) als een gemiddeld remwaarderingsgetal boven 90% voor alle belastings-toestanden (excessen daargelaten) praktisch te realiseren moet zijn met behulp van een adequaat lastafhankelijk remdrukverdelingsventiel. Aan het systeem worden hierbij hogere eisen gesteld naarmate het eigen gewicht van het voertuig ten opzichte van de maximale lading kleiner is. Eventuele regelingen in de marge tussen 90 en 100% remwaarderingsgetal zijn nauwelijks aanbevelenswaardig op grond van het feit dat de remkrachtverdeling ook in één beladingstoestand aan betrekkelijk grote variaties onderhevig is. Het laatste is te constateren uit de verrichte metingen, waaruit blijkt dat bijvoorbeeld de remvoeringstemperatuur een van de meest belangrijke oorzaken van de variaties moet zijn. Een nog meer optimale afremming is slechts te bereiken met antiblokkeerapparatuur.

5.6. Meetresultaten van tien exemplaren van hetzelfde type

In de tweede serie metingen was een van de doelstellingen na te gaan hoe de remkrachtverdeling afhankelijk van de leeftijd van de voertuigen verandert. Het spreekt vanzelf dat hiervoor voertuigen zijn gekozen die over een lastafhankelijk remdrukverdelingsventiel beschikken. Door aanpassing van de meetapparatuur kon nu ook de werking van het ventiel in andere dan de volbeladen toestand beoordeeld worden.

Voor het bepalen van onderscheiden beladingstoestanden is uitgegaan van het ledig, rijklaar gewicht van de voertuigen, ver-

meerderd met het gewicht van een bestuurder en het gewicht van de handbagage. Voor de volbeladen toestand is het door de fabrikant maximaal toegestane gewicht genomen. De half beladen toestand werd daar tussenin gekozen. Aan de hand van een beladings-schema werd elk voertuig op dezelfde wijze beladen. De hoogte van het zwaartepunt ten opzichte van de voertuigbodem werd constant verondersteld. Wel werd de inverting van het voertuig op de plaats van het zwaartepunt gemeten. Dat is van belang voor het berekenen van de optimale remkrachtverdeling.

De metingen werden bij voorkeur verricht op een droog wegdek en er werd zodanig geremd dat geen van de wielen blokkeerde (visuele waarneming). De aanvangssnelheden waren 95 en 70 km/h en bij voertuig no. 5 ook met 50 km/h. De wijze van remmen was verdeeld in normaal remmen en hard remmen. Bij normaal remmen werd de druk op het rempedaal geleidelijk toegevoerd, terwijl bij hard remmen de druk abrupt werd toegevoerd en constant gehouden.

Alle metingen werden per beladingstoestand, snelheid en wijze van remmen tenminste drie maal uitgevoerd. Teneinde de temperatuur van de remschijven en remtrommels niet te hoog te laten oplopen werd tussen elke maal remmen tenminste 10 minuten gewacht. Van het minstens drie maal remmen per meetconditie werd het gemiddelde bepaald van de remkrachtverdeling. Daaruit werd per beladingstoestand uit de metingen per aanvangssnelheid en wijze van remmen een meetzône verkregen. Hieruit ontstaat voor die bepaalde beladingstoestand uiteindelijk één gemiddeld gemeten remkrachtverdeling. Met behulp van deze voor die specifieke beladingstoestand verkregen remkrachtverdeling en de bijbehorende berekende optimale remkrachtverdeling kan de remwaardering worden bepaald. Voor het interval $0,2 \leq a \leq 0,8$ werd voor iedere beladingstoestand ook de gemiddelde remwaardering berekend en in dezelfde figuur weergegeven.

De meetresultaten zijn weergegeven als:

1. De gemeten remkrachtverdelingen van de tien voertuigen in de drie beladingstoestanden (fig. 11, 12 en 13). Ter vergelijking

is de optimale remkrachtverdeling van een van de voertuigen ingetekend. De berekende optimale remkrachtverdeling kan per voertuig nog wel verschillen. Dit hangt af van de ligging van het zwaartepunt t.o.v. de bodem. Deze ligging verandert o.a. met de afstelling van de wagenhoogte. Ook bandenmaat en bandspanning spelen hierbij nog een rol. De verschillen zijn echter niet groot.

2. Het verloop van de remwaardering en het gemiddelde remwaarderingstetal over het interval $0,2 \leq a \leq 0,8$ voor de drie beladingstoestanden. Deze gegevens alleen voor de voertuigen 5 en 10 (fig. 14 en 15).

3. Een tabel van de gemiddelde remwaarderingen in de drie beladingstoestanden en gemiddeld over alle beladingstoestanden (tabel 3).

Bij beschouwing van de meetresultaten valt direct op, dat de voertuigen, die alle van hetzelfde type zijn, onderling grote verschillen in remkrachtverdeling kunnen vertonen. Verwacht zou worden dat dit ook in het gemiddelde remwaarderingstetal over alle beladingstoestanden tot uitdrukking zou komen. Dat blijkt echter nauwelijks het geval te zijn. Het is daarom zinvol de remkrachtverdeling te beschouwen zoals die daadwerkelijk is gemeten tesamen met de optimale remkrachtverdeling. Hierbij komen de grote verschillen tussen de voertuigen duidelijk tot uiting. Deze verschillen zijn niet allemaal te herleiden tot een foutieve instelling of een foutieve werking van het lastafhankelijke remdrukvindelingsventiel. Bij een niet juist afgestelde voertuighoogte heeft, bij een overigens correcte afstelprocedure, het ventiel niet de juiste werking. Tevens kan het gebruik van hulpveren van invloed zijn op het juiste ingangssignaal voor het ventiel. Een andere factor die van invloed is, is de verandering van de wrijvingscoëfficiënt tussen frictiemateriaal en remtrommels en remschijven, die zich op de voor- en achteras verschillend gedragen.

Welke factoren nu precies de verschillen veroorzaken, is met de gevolgde meetmethode niet met zekerheid uit te maken. Het na de schakeldruk gereduceerd oplopen van de remdruk naar de achteras, was bij de metingen aan dit type vrijwel niet aanwezig. Uitsluitend het geheel nieuwe voertuig 10 en ten dele voertuig 7 vertoonden de verwachte karakteristiek.

Het niet oplopen van de achterremdruk kan wellicht verklaard worden door de daling van de wrijvingscoëfficiënt tussen voering en trommel (het beproefde type heeft aan de vooras schijfremmen en aan de achteras trommelremmen) als gevolg van het tijdens het remmen oplopen van de temperatuur. In hoeverre hiermee bij de keuze van het frictiemateriaal rekening is gehouden, is niet bekend.

Indien nu een overberemde vooras als stabiliteitscriterium wordt beschouwd, dan valt op dat bij zeven van de tien voertuigen in lichte beladingstoestand daaraan niet of nauwelijks wordt voldaan. Bij vijf van de tien voertuigen wordt daaraan in half beladen toestand en in een van de tien bij vol beladen toestand niet voldaan. Hoe lichter het voertuig, hoe moeilijker aan het stabiliteitscriterium wordt voldaan. Het lijkt erop dat de werking en/of afstelling van het lastafhankelijke ventiel, nadat het voertuig enige tijd in gebruik is geweest niet meer geheel voldoet. Het geheel nieuwe voertuig had onder alle omstandigheden een overberemde vooras.

Wanneer het resultaat van deze tweede serie metingen mag worden samengevat, dan leidt dat tot de conclusie dat een theoretisch goede voorziening in de praktijk grote verschillen te zien kan geven. De aanwezigheid van een lastafhankelijk remdrukverdelingsventiel kan bijdragen tot een betere remkrachtverdeling, echter onder voorwaarde dat het ventiel goed kan worden afgesteld en dat de afstelling niet te kritisch is. Bij het betrokken voertuig heeft één mm verkeerde afstelling een invloed gelijk aan die van ca. 300 tot 350 N achterasbelasting. Het blijft altijd moeilijk om in de praktijk bij deze typen remkrachtregelaars het enig juiste afstelpunt te bepalen.

Er zijn verschillende factoren die een remkrachtverdeling kunnen beïnvloeden. De belangrijkste daarvan lijkt de variatie van de wrijvingscoëfficiënt tussen frictiemateriaal en remschijven of remtrommels door bv. temperatuurveranderingen. Het effect daarvan is groter naarmate de rem een hoger kental heeft. Ook het vervangen van remvoertingen met een andere frictiecoëfficiënt kan veranderingen geven. Het veranderen van de statische instelling van de veren van de wielophanging (het zg. zetten) is eveneens van invloed. Het blijven echter factoren die door een remdrukverdelingsventiel nooit kunnen worden opgevangen. Redenen waarom het geen zin heeft een remwaardering van meer dan 90-95% na te streven.

6. REMKRACHTVERDELINGEN BIJ BEDRIJFSWAGENS

In dit hoofdstuk worden in het kort de remsystemen besproken en meer uitgebreid de remkrachtverdelingen bij de categorie bedrijfswagens. Onder bedrijfswagens wordt hier verstaan die voertuigen, die maximaal beladen een totaalgewicht hebben van meer dan 35 kN. Globaal geldt dat vrachtauto's met een gewicht onder deze grens, een remsysteem en een remkrachtverdeling hebben die overeenkomen met die van personenauto's. Kortekeerzhalve zij voor wat de theorie betreft daarnaar verwezen.

6.1. Toegepaste remsystemen bij bedrijfswagens

De moderne bedrijfswagens beschikken meestal over een gescheiden, tweekrings remsysteem. Indien er een aanhangwagen wordt getrokken is het remsysteem van de aanhangwagen vaak gekoppeld met een van de kringen, meestal de kring van de vooras. Raakt er een kring defect, dan wordt de volgwagen automatisch overgeschakeld op de andere kring van het trekkende voertuig.

Op moderne trucks worden vrijwel uitsluitend nog tweeleidings-systemen toegepast. De ene leiding dient voor het sturen van het remsysteem en de andere voor het vullen van de voorraad tanks. Een van de belangrijkste voordelen van het tweeleidingsysteem boven het eenleidingsysteem, dat beide functies via één leiding moet vervullen, is, dat tijdens het remmen de voorraad tanks gevuld kunnen worden.

De meest voorkomende typen remsystemen bij bedrijfswagens zijn de volgende. Hydraulische remmen voor lichte bedrijfswagens tot een totaalgewicht in beladen toestand van ca. 50 kN. Luchtdruk-bekrachtigde hydraulische remmen voor voertuigen met een maximum totaalgewicht van 120-140 kN en luchtdrukremmen, volluchtsysteem bij trucks met een totaalgewicht boven 140 kN. Vacuumremmen en vacuum bekrachtigde remmen worden alleen toegepast bij lichte bedrijfswagens en personenauto's met benzinemotor. Zwaardere

trucks en bussen beschikken vrijwel altijd over een luchtdruk-remsysteem met twee kringen en tweeleidingsstelsel.

Waar in het volgende gesproken zal worden over remkrachtverdeling, wordt bedoeld de remkrachtverdeling die ontstaat door het in werking stellen van de bedrijfsrem bij ontkoppelde motor. Hulpremmen, noodremmen en motorremmen zullen buiten beschouwing worden gelaten.

6.2. Theoretisch optimale remkrachtverdeling

Evenals voor de personenauto's kan voor de bedrijfsauto's ook een optimale remkrachtverdeling worden berekend.

Voor ongelede voertuigen zoals trucks, bussen en solotrekkers geldt dezelfde theorie als voor de personenauto's. Een tandemasconstructie kan voor de berekening van de remkrachtverdeling worden opgevat als een enkele as met de totale belasting van het tandemstel en ook de totale remkracht.

Op soortgelijke wijze als bij twee-assige voertuigen (inclusief tandemassen) kan bij gelede voertuigen een twee-dimensionaal model berekend worden. Een truck met aanhangwagen kan worden beschouwd als twee ongelede voertuigen die gekoppeld zijn. Er treedt geen reactiekracht op tussen truck en aanhanger als de vertraging van de voertuigen afzonderlijk gelijk zou zijn aan de vertraging van de voertuigen gekoppeld. Deze situatie probeert men in de praktijk te benaderen.

Zijn de vertragingen ongelijk dan wordt er een trek- of drukkracht uitgeoefend op de truck via de triangel van de aanhangwagen. Deze krachten kunnen ook optreden bij verschillen in aanspreek- en zweltijden tussen de remmen van de truck en die van de aanhangwagen in de eerste ogenblikken van een remming. In dergelijke omstandigheden is de door de constructie gegeven remkrachtverdeling, als er plotseling geremd wordt, van geen betekenis. De remkrachtverdeling wordt dan in de eerste seconde grotendeels bepaald door de aanspreek- en zweltijden.

Bij een trekker-opleggercombinatie is de situatie anders. Tijdens het remmen treedt er een gewichtsoverzetting op van de oplegger naar de trekker. Afhankelijk van de vertraging is in tabel 4 aangegeven hoe voor verschillende ligging van het zwaartepunt de asbelasting varieert.

6.3. In de praktijk toegepaste remkrachtverdeling bij bedrijfswagens

De bij bedrijfswagens toegepaste remkrachtverdelingen worden voor verschillende voertuigtypen op verschillende gronden gekozen. Stadsbussen bijvoorbeeld kunnen inrijden op wachtende mensen indien ze door geblokkeerde voorwielen onbestuurbaar zijn geworden. Dit gevaar wordt zo groot geacht dat onder alle omstandigheden de achterwielen het eerst moeten blokkeren.

Bij oudere twee-assige trucks die nog niet aan 75/524/EEG behoeften te voldoen paste men vaak een optimale remkrachtverdeling toe voor de volbeladen toestand bij vertraging 0. Uit een gegeven remvertraging volgde de totale benodigde remkracht. Indien het gewicht bekend was volgde uit de statische gewichtsverdeling de remkrachtverdeling. Indien de belasting minder was en bovendien bij elke remming, was altijd een overberemde achteras aanwezig met gevaar voor een instabiel voertuig. Een tandemasconstructie kan in dit opzicht gunstig zijn. Indien de lichtst belaste as van het tandemstel geblokkeerde wielen heeft, hoeft dit bij de zwaarst belaste as nog niet het geval te zijn.

In het algemeen werd een vaste remkrachtverdeling toegepast tussen vooras en achteras(sen). Dit heeft het voordeel van eenvoud en betrouwbaarheid. Bij voertuigen met grote belastingsvariaties op een of meerdere assen is het dan echter zeer moeilijk onder alle omstandigheden een redelijk optimale remkrachtverdeling te bereiken. Bij autobussen zijn bijvoorbeeld wat dit betreft betere resultaten te verwachten dan bij betonmixers (grote gewichtsvariatie, korte wielbasis en hoog zwaartepunt).

Om de nadelen van een vaste remkrachtverdeling voor een deel op te heffen bestaat daartoe de mogelijkheid door het toepassen van remkrachtverdelingsapparatuur. Er bestaan voor de luchtdrukremmen, evenals voor de hydraulische remmen, kleppen die worden toegepast om de remkrachtverdeling te beïnvloeden. Hierna volgen hiervan enkele voorbeelden. In een aantal gevallen zal men zonder deze kleppen niet aan 75/524/EEG kunnen voldoen.

6.3.1. Handbediende remdrukregelklep

Deze kleppen waren in Nederland verplicht bij opleggers en aanhangwagens met een toelaatbaar totaalgewicht van meer dan 35 kN. Door middel van deze kleppen kan de druk in de remleidingen van de aanhangwagen of oplegger meestal worden beperkt. Het ventiel heeft in de regel drie standen: leeg, half beladen en vol beladen. In de stand vol beladen wordt de stuurdruk onverminderd doorgegeven naar de remcilinder.

In de beide andere standen wordt de druk tot een zekere waarde beperkt. Hiermee wordt beoogd de maximale remkracht van de aanhangwagen te beperken ongeveer in overeenstemming met de beladingstoestand. De remkrachtverdeling blijft echter tot de schakeldruk onveranderd. Dit betekent dat als op gladde wegen wordt gereden en men moet licht of normaal afremmen, een lege aanhangwagen grote kans loopt te gaan scharen vanwege geblokkeerde wielen. Dit ondanks het feit dat de remkrachtregelaar in de stand leeg staat.

6.3.2. Vaste drukregelkleppen

Dit is een klep die bijvoorbeeld in Scandinavië wordt toegepast bij het rijden op zeer gladde wegen. Men wil dan dat bij de doorgaans lagere snelheden de vooras niet blokkeert in verband met de gewenste bestuurbaarheid. Men past het ventiel toe in de leiding naar de voorwielen waarbij de ingestuurde druk voor de lagere drukken wordt gereduceerd en voor de hogere drukken onverminderd weer wordt doorgegeven.

6.3.3. Automatische lastafhankelijke remdrukverdelers (ALB)

Deze categorie remkrachtverdelers worden per as toegepast en regelen de toegelaten remdruk in verhouding tot de asbelasting. Als de kleppen de achterasbelasting op het moment van het begin van het remmen als maat voor de toelaatbare remdruk nemen en deze reductie van de leidingdruk constant houden gedurende het remmen spreekt men van een statische regeling. Een dynamische regeling past de remkracht aan de wisselende asbelasting aan, dus ook aan de gewichtsoverzetting tijdens het remmen. De asbelasting kan worden bepaald door de afstand te nemen van de bakmassa tot de as. In de regel is dit een goede maat voor de asbelasting. Bij luchtveren met hoogteregelaars moet men andereingangssignalen gebruiken zoals bijvoorbeeld de luchtdruk in de veren.

Toch is het ingangssignaal (veerweg) het zwakke punt van de ALB's. Als complicaties, die optreden kunnen worden genoemd: constantheid in de tijd, het zgn. zetten van de veerpakketten; aanpassing aan verschillende opbouwen van trucks; invloed van tordering van de as; bij tandemassen een gemiddelde van de twee aslasten; een zeer korte veerweg bij sommige constructies; vervuiling.

Voor voertuigen met een zeer groot verschil in achterasbelasting in de lege toestand t.o.v. de beladen toestand, kan het zijn dat het regelbereik van de ALB niet voldoende is. De ALB kan de druk niet altijd tot nul regelen, maar heeft een bepaalde minimale druk, meestal ongeveer 1,5 à 2 bar. Het regelbereik is dan 1 op 3,5 à 4. Voor trekkers met en zonder oplegger is een regelbereik nodig van 1 : 7 voor de achteras. Men kan er nu naar streven de initiële remkrachtverdeling voor de volbeladen toestand zo goed mogelijk te maken. Een ALB kan dan de remkrachtverdeling in de lege of minder beladen toestand aanpassen.

Een ALB wordt voor een motorwagen meestal alleen op de achteras toegepast. Een ALB op voorassen is alleen dan nodig als er grote asbelastingsvariëaties (beladen/leeg gewicht verhouding groter dan ca. 1,4) optreden. Een dynamisch regelende ALB is vooral te prefereren boven een statisch regelende ALB in die gevallen waar grote dynamische asbelastingsvariëaties optreden.

6.4. Remwaardering

Werd voor de personenauto's een remwaardering voor het gehele voertuig gedefinieerd, voor de bedrijfswagens wordt nu per as als volgt een remwaardering gedefinieerd. De remwaardering is het quotiënt van de relatieve vertraging van het voertuig en de remkrachtcoëfficiënt van de betreffende as. Indien de remkrachtcoëfficiënt groter is dan de vertraging uitgedrukt in g, is de as overberemd. De remwaardering is dan kleiner dan 1. De remwaardering is zeer afhankelijk van de beladingstoestand van de truck.

Het meest kritiek is de remwaardering in de buurt van 0,3 tot 0,5 g. Bij regen zullen de remkrachtcoëfficiënten tussen truckbanden en het natte wegdek globaal liggen tussen waarden van 0,3 tot 0,5. Bij hard remmen is het zeer gewenst dat de remwaardering in dit gebied dan ook dicht de optimale benadert om te voorkomen dat een der assen voortijdig blokkeert en scharen het gevolg kan zijn.

7. RESULTATEN VAN BEREKENINGEN VOOR ENKELE PRAKTIJKVOORBEELDEN

7.1. Ongelede voertuigen

Met behulp van een computerprogramma zijn berekeningen uitgevoerd aan negen voertuigen. Het betrof normale zware trucks, lichtere trucks, een 5 tons bestelwagen, een autobus, een betonmixer en enkele solotrekkers.

Indien onbeladen, blijken vrijwel altijd de achterassen overberemd te zijn. Beladen is dit vaak ook het geval, vooral bij hogere vertragingen ten gevolge van de gewichtsoverzetting. Als het voertuig beladen en ongeremd een remkrachtverdeling heeft die redelijk de optimale benadert, kan een ALB, dynamisch regelend er voor zorgen dat ook tijdens het remmen de remkrachtverdeling goed de optimale blijft benaderen. In de lege toestand kan een ALB een grote verbetering betekenen. Met een vaste remkrachtverdeling kan moeilijk bij elke beladingstoestand en voor elke vertraging een redelijke benadering van de optimale remkrachtverdeling bereikt worden.

In figuur 16 en 17 is te zien dat voor een twee-assige vrachtwagen met een 13-tons achteras vooral met een dynamisch regelende ALB, waarden voor de remwaardering gehaald worden, die dicht de optimale benaderen.

In Nederland is weliswaar de maximaal toelaatbare asdruk 100 kN (10 tonf), maar daar in Scandinavië, Frankrijk en België hogere aslasten worden toegelaten rijden deze trucks onveranderd op de Nederlandse wegen.

7.2. Gelede voertuigen

Van de combinatie trekker-oplegger zijn er twee onderzocht met resp. 360 en 210 kN maximaal treingewicht. Bij deze combinaties zijn in de lege toestand de achteras van de trekker en de oplegger overberemd. Dit zal meestal ook bij andere trekker-opleggercombinaties het geval zijn.

Beladen zijn beide assen vaak ook overberemd. Vooral de zeer grote verhouding leeg/beladen voor de opleggeras is zeer ongunstig voor een goede remkrachtverdeling. Het blijkt dat een vaste remkrachtverdeling moeilijk de optimale remkrachtverdeling bij elke beladingstoestand en voor elke vertraging kan benaderen.

De handbediende remkrachtregelaar voor de oplegger is een voorziening van twijfelachtig nut. In de stand "leeg" komt de klep pas in werking bij zeer hoge vertragingen (0,6 - 0,8 g) vanwege de dan pas hogere druk in de stuurleiding. Dat zal hierbij in het algemeen geen effect hebben. Indien de klep in werking komt zal deze de remkrachtverdeling bovendien ongunstig beïnvloeden. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat bij de lege combinatie zowel de achteras van de trekker als de as van de oplegger overberemd zijn. Indien de remkracht bij de opleggeras wordt begrensd bij een bepaalde vertraging, zal boven deze vertraging de trekker de benodigde extra remkracht moeten leveren. Dit betekent dat de overberemde achteras nog sterker overberemd zal worden. Dit zal het gevaar van scharen sterk vergroten. Het lijkt in het algemeen gunstiger deze regelaar ongeacht de beladingstoestand in de stand vollast te laten staan. Dit is hetzelfde als het verwijderen van deze regelaar.

Een soortgelijk effect ontstaat indien slechts op de opleggeras of de trekkeras een ALB aanwezig is. Ook nu wordt slechts één van de overberemde assen geregeld en wordt de andere nog sterker overberemd.

Grottere verbeteringen zijn te bereiken bij de toepassing van een ALB op beide genoemde assen. Een ALB heeft het meeste effect als de remkrachtverdeling in de volbeladen toestand redelijk optimaal is indien er niet geremd wordt. De ALB kan dan de remkrachtverdeling aanpassen aan de dynamische gewichtsverdeling tijdens remmen. Door de grote leeg/beladen verhoudingen die soms voorkomen kan het zijn dat voor een ALB een regelbereik wordt geëist, dat in de praktijk door deze kleppen niet gehaald kan worden. In

de lege toestand is een ALB dan toch een grote verbetering.

In figuur 18 is de invloed aangetoond van de toepassing van een ALB, dynamisch regelend, op een trekker-opleggercombinatie.

7.3. Invloed van aanspreek- en zweltijden

De aanspreektijd, de tijd die verloopt tussen het aanraken van het rempedaal en het tijdstip van het begin van de drukopbouw, is niet van belang voor de remkrachtverdeling, mits ze voor alle assen gelijk is.

De zweltijd, de tijd die verloopt tussen het begin van de drukopbouw tot het tijdstip dat deze 70% of 90% van zijn asymptotische waarde bereikt, heeft wel invloed als ze niet voor alle assen gelijk is. Moeilijkheden doen zich niet voor als aan bepaalde eisen van maximale zweltijden is voldaan.

7.4. Remkrachtverdeling van bedrijfswagens in de praktijk

De gemaakte berekeningen gingen uit van de beladingstoestanden leeg en volbeladen. In de praktijk kunnen de reëel optredende remkrachtverdelingen veranderen door een ongelijkmatige belading en dynamische effecten van vloeibare en bulkklading. In de praktijk kan de remkrachtverdeling bovendien nog veranderen door variaties in de frictiecoëfficiënt tussen remvoering en trommel en remblokken en remschijf t.g.v. temperatuur, vervanging en vervuiling. Bij toepassing van remkrachtverdelingsapparatuur kan dit gebeuren door variaties van het ingangssignaal t.g.v. het zetten van veerpakketten, vervuiling, aanpassing aan verschillende opbouwen van trucks, invloed van tordering van de as.

Er zijn dus vele mogelijkheden waardoor een theoretisch goede remkrachtverdeling in de praktijk ongunstig kan gaan afwijken. Het zou zinvol zijn om via praktijkonderzoek na te gaan welke de belangrijkste problemen met de remkrachtverdeling zijn. Dergelijke praktijkproeven zijn uitermate kostbaar. Eenvoudiger en minder

kostbaar is het testen op een rollenbank. Hierop kunnen echter niet alle dynamische effecten gemeten worden. De initiële remkrachtverdeling en de werking van remkrachtverdelingsapparatuur is evenwel goed te onderzoeken. Het Laboratorium voor Voertuigtechniek van de Technische Hogeschool Delft hoopt over niet al te lange termijn de beschikking te krijgen over een testbank voor vrachtauto's.

8. CONCLUSIE

8.1. Personenauto's

De theoretische beschouwingen over remkrachtverdelingen van tweewassers en vooral de praktische beproeving geven aanleiding tot de volgende conclusies en aanbevelingen.

Het gemiddeld remwaarderingsgetal over alle beladingstoestanden voldoet nauwelijks als criterium voor de beoordeling van de remkrachtverdeling. Ook de waarde van een gemiddeld remwaarderingsgetal per beladingstoestand is twijfelachtig.

Bij een gemiddeld remwaarderingsgetal wordt een lage remwaarder-
ring bij lage vertragingen gecompenseerd door een hoge waarde
bij hogere vertragingen en omgekeerd. Het gemiddeld remwaarde-
ringsgetal levert weinig informatie omtrent de werkelijke rem-
krachtverdeling. Verder zijn de grenzen, waarbinnen het gemiddeld
remwaarderingsgetal wordt gedefinieerd aan discussie onderhevig.

Het verdient aanbeveling een stabiliteitscriterium mede in aan-
merking te nemen. Dit is van des te meer belang voor het gebied
van lage mogelijke vertragingen en bij lage remkrachtcoëfficiën-
ten (natte wegdekken). Een criterium voor de beoordeling van een
remkrachtverdeling zou kunnen zijn: een altijd overberemde vooras
en een bepaalde minimum remwaarder-
ing voor het voertuig.

Het zal bijzonder moeilijk zijn aan een dergelijk criterium te
voldoen indien een voertuig beschikt over een constante remkracht-
verdeling. Bij een altijd overberemde vooras levert dit bij lage
vertragingen lage waarden op voor de remwaarder-
ing.

Beter kan aan het criterium voldaan worden door toepassing van
remdrukbe-
grenzings- of remdrukvermind-
eringsventielen. Theoretisch
moet een lastafhankelijk gestuurd
remdrukvermind-
eringsventiel on-
der alle omstandigheden in staat zijn een remwaarder-
ing te halen

boven een zekere grenswaarde, bijvoorbeeld 85%, bij een steeds overberemde vooras.

Deze veronderstelling wordt bij het gemeten type voertuig met een lastafhankelijk remdrukverminderingsventiel niet geheel bevestigd. Vooral aan de eis van een steeds overberemde vooras wordt niet altijd voldaan, speciaal niet in lichte beladingstoestanden. Verder geven de gemeten remkrachtverdelingen onderling vrij grote variaties te zien.

De variaties in de remkrachtverdeling zijn niet alle te herleiden tot verkeerde werking of verkeerde afstelling van het remdrukverdelingsventiel. Variaties in de omstandigheden buiten het remdrukverdelingsventiel kunnen eveneens een grote invloed hebben op de remkrachtverdeling. Genoemd kunnen hier worden de variatie van de wrijvingscoëfficiënt tussen frictiemateriaal en de remtrommels en remschijven, variatie van de ligging van het zwaartepunt in verticale zin, gebruik van hulpveren. Het heeft dan ook geen zin met remkrachtverdelingsapparatuur verbeteringen na te streven in de marge van bijvoorbeeld 90 tot 100% remwaardering.

Het is van belang de afstelling van het lastafhankelijke remkrachtverdelingsventiel weinig kritisch te maken. Onder lastafhankelijk dient bij de meeste twee-assige voertuigen verstaan te worden dat de ventielen in statische zin redelijk op de belasting van de as reageren; in dynamische zin is een juiste reactie van het ventiel om constructieve redenen meestal niet mogelijk. Met een kritische afstelling wordt bedoeld dat een zeer geringe verandering in de afstelling van het ventiel (één of enkele mm) een grote verandering in de uiteindelijke remkrachtverdeling veroorzaakt. Ook de controle op de juiste afstelling van het lastafhankelijke remdrukverdelingsventiel zou zo eenvoudig mogelijk verricht moeten kunnen worden.

De gebruikte meetmethode voldoet voor het gestelde doel namelijk een beeld te krijgen hoe in de praktijk de remkrachtverdeling

varieert. Indien op grote schaal routine-metingen van de remkrachtverdeling zouden moeten plaatsvinden, dan is de gevolgde methode te omslachtig. In dat geval zou de uitgave van een (zeer dure) rollenbank met gekoppelde rollen, instelbare wielbasis, instelbare te simuleren voertuigmassa enz. mogelijk verantwoord zijn. Een probleem bij deze rollenbank blijft echter het feit dat dynamische asbelastingsveranderingen ten gevolge van vertraging van het voertuig uitermate moeilijk te simuleren zijn, zodanig dat de metingen nog steeds in grote aantallen op eenvoudige wijze kunnen geschieden.

Met de bestaande meetapparatuur kan uitbreiding van het onderzoek nog liggen in het bepalen van de remkrachtverdeling bij voertuigen met vertragingsafhankelijke ventielen en remdrukbe-grenzingsventielen. Ook de werking van diverse typen ventielen op de proefbank verdient aanbeveling.

De enige manier om het ideale remgedrag zeer dicht te benaderen is door middel van anti-blokkeerapparatuur. Zolang echter de problemen met deze apparatuur, zoals betrouwbaarheid en onderhoud nog niet bevredigend zijn opgelost, kan het toepassen van remkrachtverdelingsapparatuur, die bovendien heel wat goedkoper is, een aanzienlijke verbetering betekenen in het remgedrag van een voertuig.

8.2. Ongelede bedrijfswagens

Met een constante remkrachtverdeling tussen voor- en achteras is bij deze categorie bedrijfswagens moeilijk onder alle beladingsomstandigheden een enigszins optimale remkrachtverdeling te bereiken. Een uitzondering vormen autobussen. Doordat de motor bij bussen vaak achterin geplaatst is, ligt een enigszins optimale remkrachtverdeling onder verschillende beladingstoestanden zeer wel binnen de mogelijkheden.

Een korte wielbasis en een hoge opbouw (betonmixers, tankwagens)

maken het verkrijgen van een goede remkrachtverdeling bijzonder moeilijk in verband met de grote gewichtsoverzetting tijdens het remmen.

Een verbetering kan bereikt worden met automatische lastafhankelijke remkrachtregelaars (ALB). Deze zouden dan op de achteras moeten worden toegepast. In verband met de kleine leeg/beladen verhouding is een ALB op de voorassen minder noodzakelijk. De remwaardering wordt door toepassing van een ALB aanzienlijk verbeterd.

Voor solo-trekkers zal het gewenste regelbereik door een ALB in de praktijk niet gehaald kunnen worden. Desondanks is door toepassing van een ALB een grote verbetering te bereiken.

In de praktijk is de sturing van een ALB nog een probleem terwijl ook de bedrijfszekerheid nog een en ander te wensen overlaat.

8.3. Gelede bedrijfswagens

Een truck met aanhangwagen kan worden beschouwd als twee ongelede voertuigen die gekoppeld zijn. Indien de vertraging van de beide voertuigen verschillend is moet rekening gehouden worden met een trek- of een drukkracht op de truck via de triangel van de aanhangwagen. Bij een trekker-opleggercombinatie treedt een gewichtsoverzetting op van de oplegger naar de trekker. Bij lege combinaties zijn de achteras en de opleggeras dikwijls overberekend. Dit komt ook voor in beladen toestand. Vooral de zeer grote verhouding leeg/beladen voor de opleggeras is zeer ongunstig voor een goede remkrachtverdeling.

Bij gelede bedrijfswagens is het nut van handbediende remkrachtregelaars twijfelachtig. In de praktijk zal de vertraging waarbij de regelaar in werking treedt, vaak zo hoog zijn dat dit vrijwel nooit zal gebeuren. Op natte wegdekken heeft toepassing

van een dergelijk ventiel helemaal geen effect. Ook voor aanhangwagens en opleggers heeft het gebruik van deze ventielen weinig zin.

Verbeteringen zijn te bereiken door ALB's op de trekkeras én de opleggeras bij trekkers met oplegger. Ook voor aanhangwagens zal een ALB een verbetering betekenen als ook de achteras van de trekkende truck een dergelijke voorziening heeft.

In hoeverre een verplichte antiblokkeerinrichting bij bedrijfs-wagens een ALB alweer overbodig zou maken is nog moeilijk te zeggen. In het algemeen wordt echter een ALB bij de toepassing van een antiblokkeerinrichting een verbetering geacht. Bovendien moeten voertuigen die voorzien zijn van een antiblokkeerinrichting ook voldoen aan de wettelijke eisen aangaande de remkrachtverdeling.

LITERATUUR

Voor deze samenvatting is uitvoerig gebruik gemaakt van de rapporten die door Subcommissie II van de Werkgroep "Banden, Wegdekken en Slipongevallen" in het kader van haar opdracht zijn ingebracht. Voor meer uitvoerige literatuurverwijzingen raadplege men de rapporten.

Water, J.H. v.d. Remkrachtverdeling bij twee-assige voertuigen. Rapport 05-2-3. Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO, Delft. Maart 1971.

Water J.H. v.d. Ontwerp van een meetwiel voor remmomenten aan wielen van personenauto's. Rapport 05-2-3/II. Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO, Delft. April 1972.

Edelman, A.; Edelman, J. Meting van de remkrachtverdeling aan zes typen auto's. Rapport 05-2-3/V. Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO, Delft. November 1972.

Dijks, A. Remkrachtverdelingen bij bedrijfswagens. Rapport AD4. Laboratorium voor Voertuigtechniek TH-Delft. Januari 1973.

Edelman, A.; Edelman, J. Meting van de remkrachtverdeling van 10 Simca's 1100. Rapport 01-2-21001. Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO, Delft. Maart 1973.

Kaptein, D. Onderzoek van de werking van de remdrukverdelers van de Simca 1100 en de Fiat 128. Rapport R127. Laboratorium voor Voertuigtechniek TH-Delft. Juli 1973.

Verder is gebruik gemaakt van:

Slipongevallen. Eerste interimrapport van de SWOV Werkgroep "Banden, Wegdekken en Slipongevallen". SWOV 1969-4.

Mitschke, M. Dynamik der Kraftfahrzeuge. Springer Verlag Berlin, 1972.

Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen. 14e jaargang nr. L202, 6 september 1971 (71/320/EEG).

Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen. 18e jaargang nr. L236, 8 september 1975 (75/524/EEG).

Wassink, E.W. De invoering van de EG-richtlijn reminstallaties. Nederlands Transport 27 (1975-11) nr. 23, p. 666-671.

Krügél, M.; Hoffmann, H. Bremsen-Kompabilität zwischen Sattelzugmaschinen und -anhängern. ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 80 (1978) 5, p. 207-210.

Wassink, E.W. Automatische lastafhankelijke remkracht; regeling binnenkort verplicht. Auto- en Motortechniek 36 (1976-03) nr. 3, p. 116-123.

Wassink, E.W. Nederland voert op 1 oktober 1974 de EG-remvoorschriften. Nederlands Transport 26 (1974-7) nr. 7, p. 364-367.

Wassink, E.W. De invoering van de EG-remvoorschriften in Nederland (2). Nederlands Transport 26 (1974-10) nr. 10. p. 518-520.

TABELLEN 1 T/M 4

Tabel 1. Eigenschappen van de beproefde voertuigen in de eerste meetserie.

Tabel 2. Eigenschappen van de beproefde voertuigen in de tweede meetserie.

Tabel 3. Overzicht van de gemiddelde remwaardering over interval $0,2 \leq (\mu_{xm} \text{ of } a) \leq 0,8$.

Tabel 4. Optimale remkrachtverdelingen voor de gelede voertuigen.

		totaal gewicht	plaats van het zwaartepunt		kilometerstand	remsysteem voor/achter	wielbasis (mm)	remkrachtverdelings- apparatuur	rembekrachtiger
			ψ	χ					
Simca	1301 S	l 1015 v 1945	l 0,473 v 0,575	0,212	09.248	S/T	2520	lastafhankelijk rem- drukverminderings- ventiel	ja
	1100	l 910 v 1320	l 0,396 v 0,477	0,206	50.029	S/T	2520	lastafhankelijk rem- drukverminderings- ventiel	nee
	1000	l 735 v 1160	l 0,612 v 0,560	0,237	32.000	T/T	2220	-	nee
Fiat	850 S	l 700 v 1125	l 0,643 v 0,613	0,245	44.388	S/T	2027	-	nee
	128	l 790 v 1215	l 0,367 v 0,448	0,221	44.635	S/T	2448	lastafhankelijk rem- drukverminderings- ventiel	nee
	124	l 920 v 1330	l 0,473 v 0,511	0,223	48.299	S/S	2420	lastafhankelijk rem- drukverminderings- ventiel	nee

l=leeg l=leeg
v=vol v=vol

S=schijfrem
T=trommelrem

Tabel 1. Eigenschappen van de beproefde voertuigen in de eerste meetserie.

Tabel 2. Eigenschappen van de beproefde voertuigen in de tweede meetserie.

voertuig no.	Bouwjaar	Km-stand	Gewicht leeg rijklaar	Gewicht	Plaats van het zwaartepunt	
					ψ	χ
1	1968	99.283	940	l 1105 h 1260 v 1380	0,416 0,452 0,514	0,203 0,195 0,187
2	1968	82.000	960	l 1145 h 1260 v 1385	0,432 0,452 0,516	0,200 0,192 0,184
3	1969	69.750	945	l 1130 h 1255 v 1400	0,425 0,447 0,508	0,194 0,183 0,180
4	1969	58.169	905	l 1110 h 1240 v 1370	0,423 0,447 0,518	0,200 0,190 0,184
5	1969	50.919	900	l 1115 h 1220 v 1345	0,398 0,434 0,502	0,198 0,191 0,185
6	1970	60.750	885	l 1080 h 1235 v 1370	0,416 0,441 0,528	0,198 0,187 0,180
7	1970	40.000	870	l 1090 h 1215 v 1370	0,426 0,457 0,533	0,197 0,188 0,179
8	1971	41.410	885	l 1090 h 1215 v 1369	0,422 0,449 0,522	0,197 0,187 0,180
9	1971	45.750	890	l 1100 h 1235 v 1375	0,418 0,453 0,519	0,199 0,190 0,183
10	1973	00.010	895	l 1075 h 1240 v 1395	0,409 0,455 0,527	0,202 0,189 0,180

l=leeg

h=halfbeladen v=volbeladen

	Leeg	Half beladen	Vol beladen	Gemiddelde over alle beladings toestanden.
Meetwagen nr. 1	0,906	0,906	0,810	0,874
Meetwagen nr. 2	0,939	0,927	0,816	0,894
Meetwagen nr. 3	0,896	0,930	0,923	0,916
Meetwagen nr. 4	0,897	0,916	0,877	0,897
Meetwagen nr. 5	0,816	0,876	0,879	0,857
Meetwagen nr. 6	0,904	0,888	0,810	0,867
Meetwagen nr. 7	0,803	0,861	0,849	0,838
Meetwagen nr. 8	0,887	0,925	0,835	0,882
Meetwagen nr. 9	0,730	0,723	0,776	0,743
Meetwagen nr. 10	0,832	0,824	0,844	0,833

Tabel: 3 Overzicht van de gemiddelde remwaardering over interval $0,2 \leq (\mu_{x_m} \text{ of } a) \leq 0,8$.

Tabel 4. Optimale remkrachtverdelingen voor de gelede voertuigen.

$F_{z_1} \%$ = percentage van het totale treingewicht op de vooras tijdens het remmen.

Bij de optimale remkrachtverdeling is dit dus ook het rempercentage voor de vooras van de totale remkracht.

$F_{z_2} \%$ en $F_{z_3} \%$: idem voor achteras en opleggeras.

De toegepaste remkrachtverdeling is bij een opleggerrempercentage van

45%: .23 .30 .47

60%: .20 .26 .54

Trekker + oplegger LEEG ZW= 96 cm

vertraging	remkracht betrokken op het totaalgewicht			vooras $F_{z_1} \%$	achteras $F_{z_2} \%$	opleggeras $F_{z_3} \%$
	vooras F_{x_1}/W	achteras F_{x_2}/W	opleggeras F_{x_3}/W			
.0	.00	.00	.00	.39	.26	.36
.1	.04	.02	.04	.41	.24	.35
.2	.09	.05	.07	.43	.23	.35
.3	.13	.06	.10	.45	.21	.34
.4	.19	.08	.14	.47	.19	.34
.5	.24	.09	.17	.49	.17	.34
.6	.31	.09	.20	.51	.16	.33
.7	.37	.10	.23	.53	.14	.33
.8	.44	.10	.26	.55	.12	.33
VOL ZW= 160 cm						
.0	.00	.00	.00	.17	.27	.56
.1	.02	.03	.05	.19	.27	.54
.2	.04	.05	.11	.21	.26	.53
.3	.07	.08	.16	.23	.26	.52
.4	.10	.10	.20	.25	.25	.51
.5	.13	.12	.25	.27	.24	.50
.6	.17	.14	.29	.29	.23	.48
.7	.22	.15	.33	.31	.22	.47
.8	.27	.16	.37	.33	.20	.46
VOL ZW= 200 cm						
.0	.00	.00	.00	.17	.27	.56
.1	.02	.03	.05	.19	.27	.54
.2	.04	.05	.10	.21	.27	.52
.3	.07	.08	.15	.23	.26	.51
.4	.10	.10	.20	.25	.26	.49
.5	.14	.12	.24	.27	.25	.48
.6	.18	.14	.28	.30	.24	.46
.7	.23	.16	.31	.32	.23	.45
.8	.28	.17	.35	.35	.22	.43

FIGUREN 1 T/M 18

Figuur 1. Het verband tussen de remkrachtcoëfficiënt u_x en het percentage wielslip op nat wegdek.

Figuur 2. Krachtenspel bij het geremde voertuig.

Figuur 3a. Optimale remkrachtverdelingslijn en een lineaire benadering van deze curve.

Figuur 3b. Remwaardering van de lineaire benadering van de optimale remkrachtverdeling.

Figuur 4a. Optimale remkrachtverdelingslijn en een lineaire benadering alsmede een geknikt lineaire benadering.

Figuur 4b. Remwaardering van de lineaire en de geknikt lineaire remkrachtverdeling.

Figuur 5. Optimale en gemeten remkrachtverdeling van de Simca 1100.

Figuur 5a. Gemiddelde remwaardering van de Simca 1100.

Figuur 6. Optimale en gemeten remkrachtverdeling van de Simca 1301 S.

Figuur 6a. Gemiddelde remwaardering Simca 1301 S.

Figuur 7. Optimale en gemeten remkrachtverdeling van de Simca 1000.

Figuur 7a. Gemiddelde remwaardering Simca 1000.

Figuur 8. Optimale en gemeten remkrachtverdeling van de Fiat 850 S.

Figuur 8a. Gemiddelde remwaardering Fiat 850 S.

Figuur 9. Optimale en gemeten remkrachtverdeling van de Fiat 128.

Figuur 9a. Gemiddelde remwaardering Fiat 128.

Figuur 10. Optimale en gemeten remkrachtverdeling van de Fiat 124.

Figuur 10a. Gemiddelde remwaardering Fiat 124.

Figuur 11. Gemeten remkrachtverdelingen. Meetwagen 1 t/m 10.
Beladingstoestand: leeg.

Figuur 12. Gemeten remkrachtverdelingen. Meetwagen 1 t/m 10.
Beladingstoestand: half beladen.

Figuur 13. Gemeten remkrachtverdelingen. Meetwagen 1 t/m 10.
Beladingstoestand: vol beladen.

Figuur 14. Remwaardering van meetwagen 5.

Figuur 15. Remwaardering van meetwagen 10.

Figuur 16a. De gewichtsverdeling afhankelijk van de vertraging.

Figuur 16b. De remkrachtcoëfficiënt afhankelijk van de vertraging.

Figuur 16c. Remwaardering afhankelijk van de vertraging.

Figuur 17a. De remkrachtcoëfficiënt afhankelijk van de vertraging.

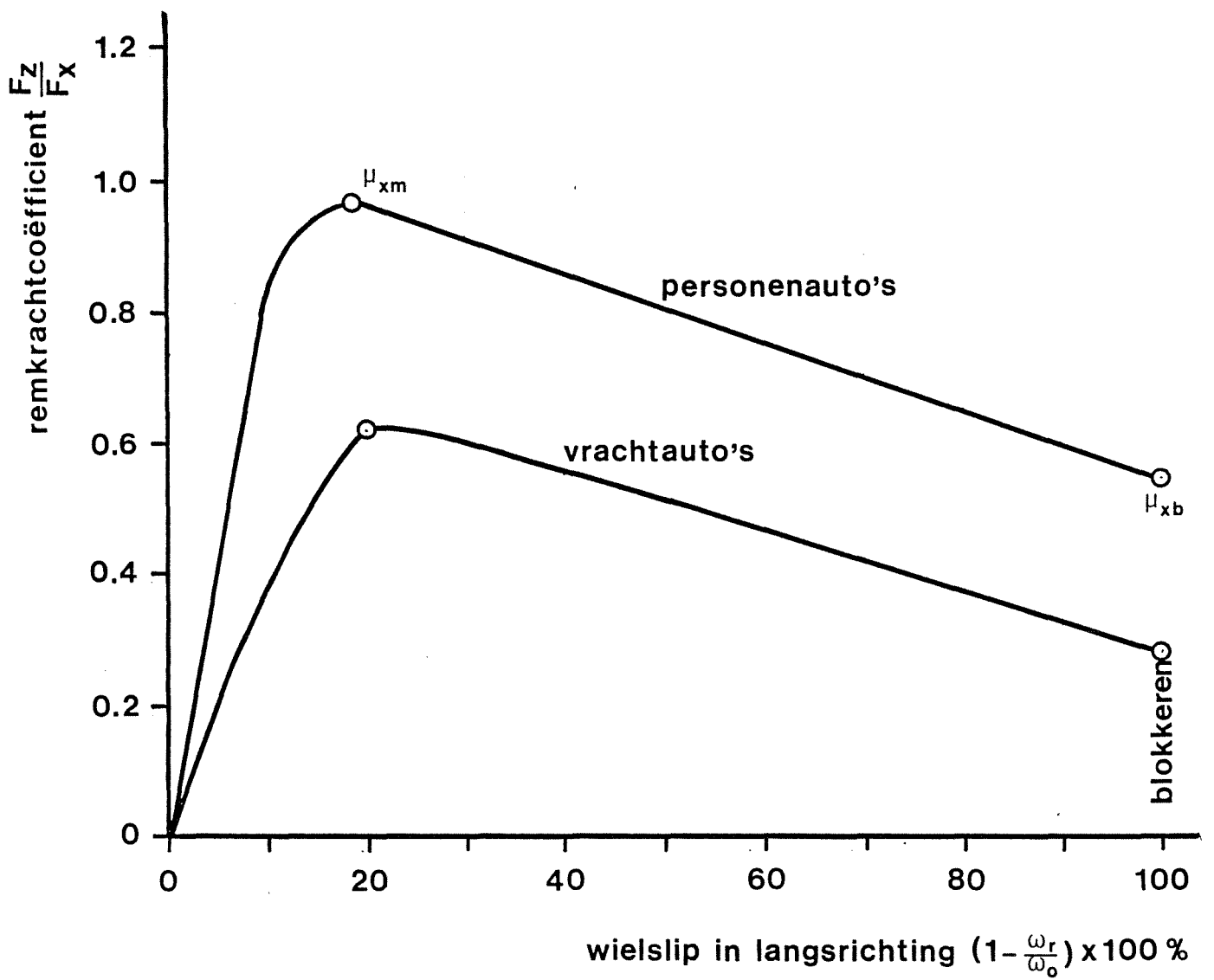
Figuur 17b. Remwaardering afhankelijk van de vertraging.

Figuur 18a. De remkrachtcoëfficiënt afhankelijk van de vertraging.

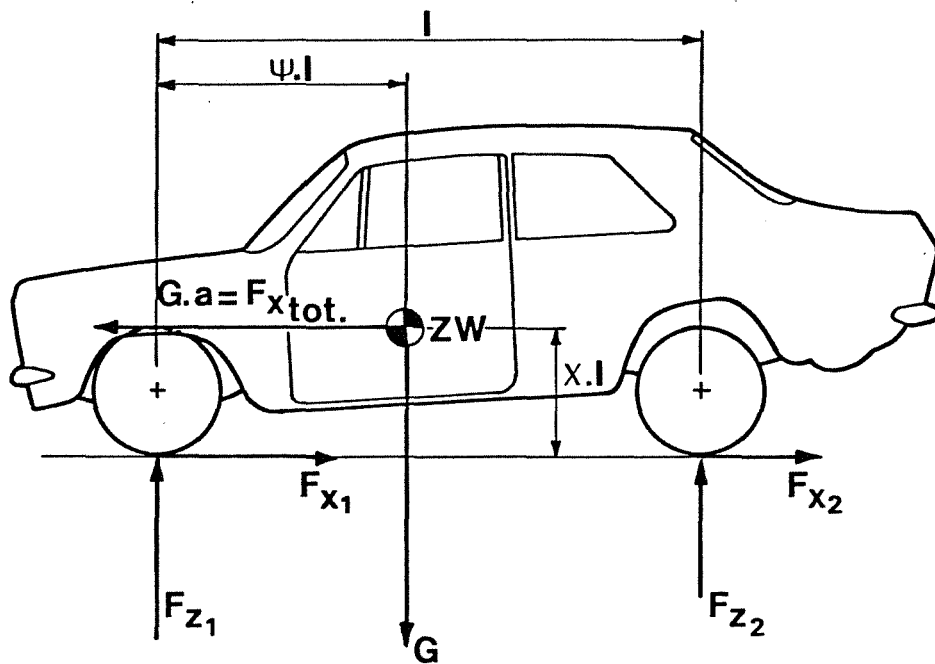
Figuur 18b. Remwaardering afhankelijk van de vertraging.

Figuur 18c. De remkrachtcoëfficiënt afhankelijk van de vertraging.

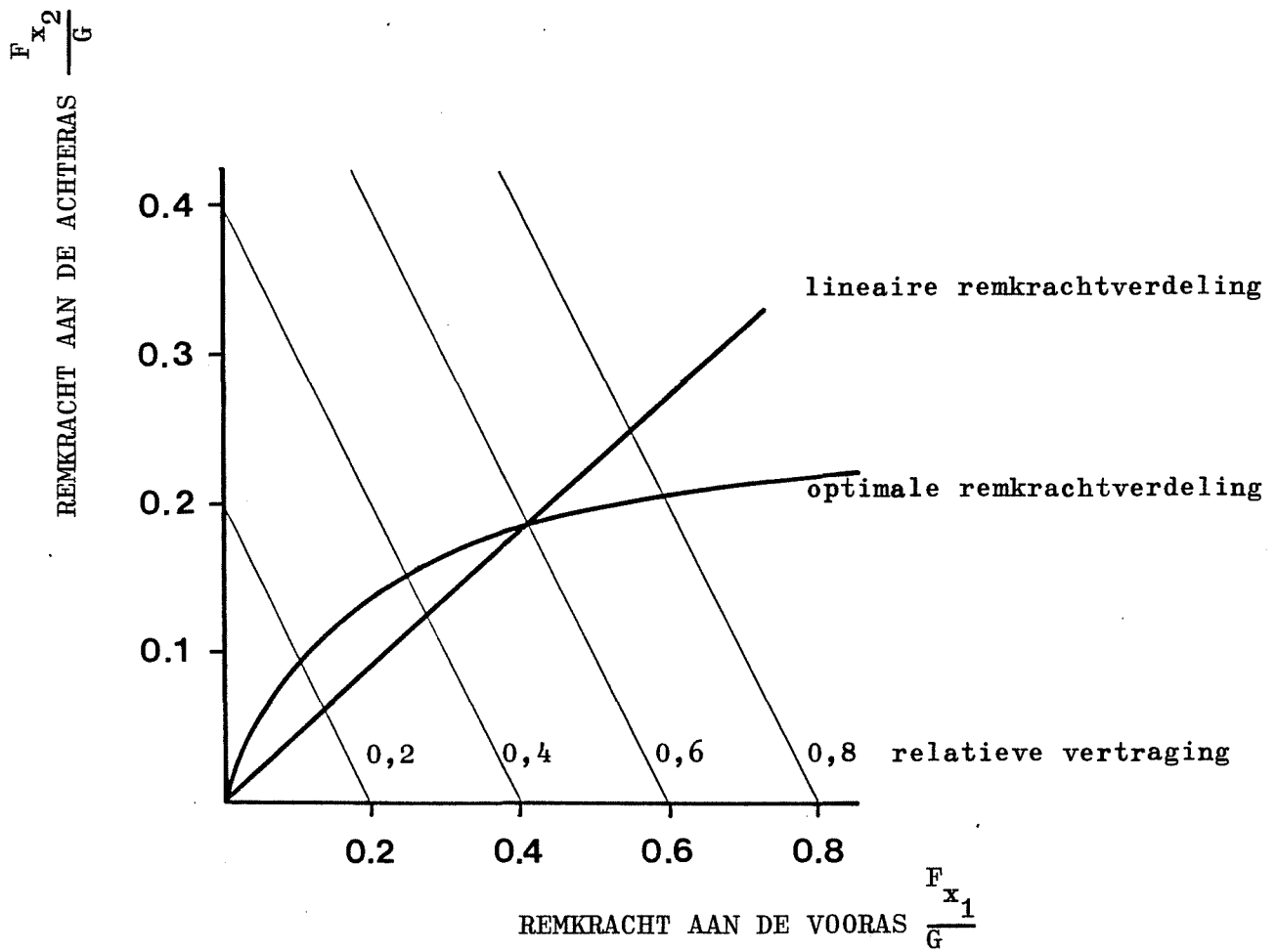
Figuur 18d. Remwaardering afhankelijk van de vertraging.



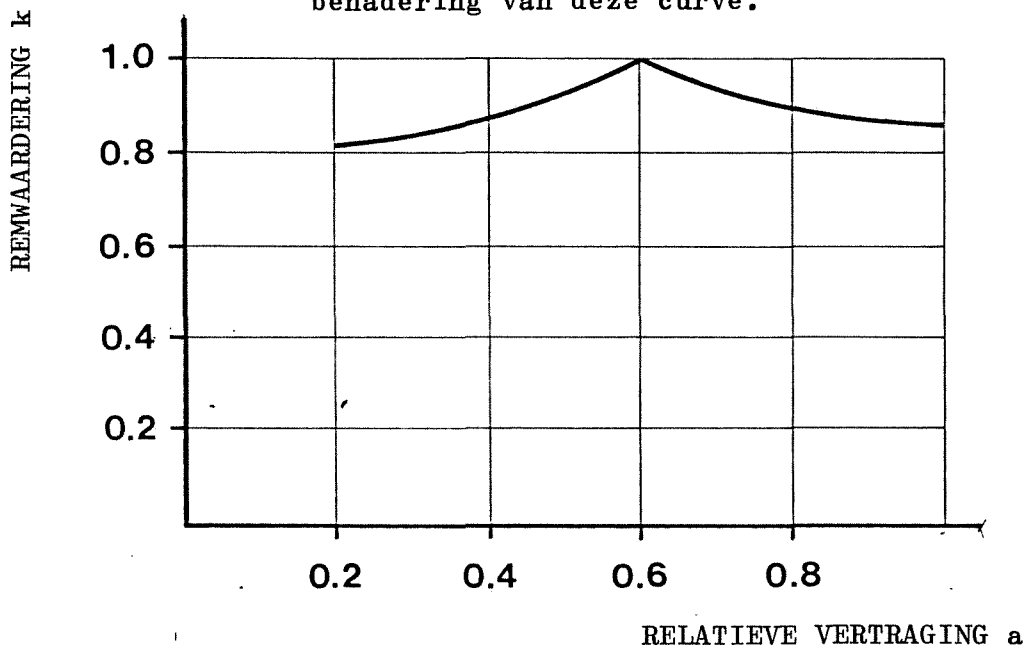
FIGUUR 1 Het verband tussen de remkrachtcoëfficiënt μ_x en het percentage wielerslip op nat wegdek.



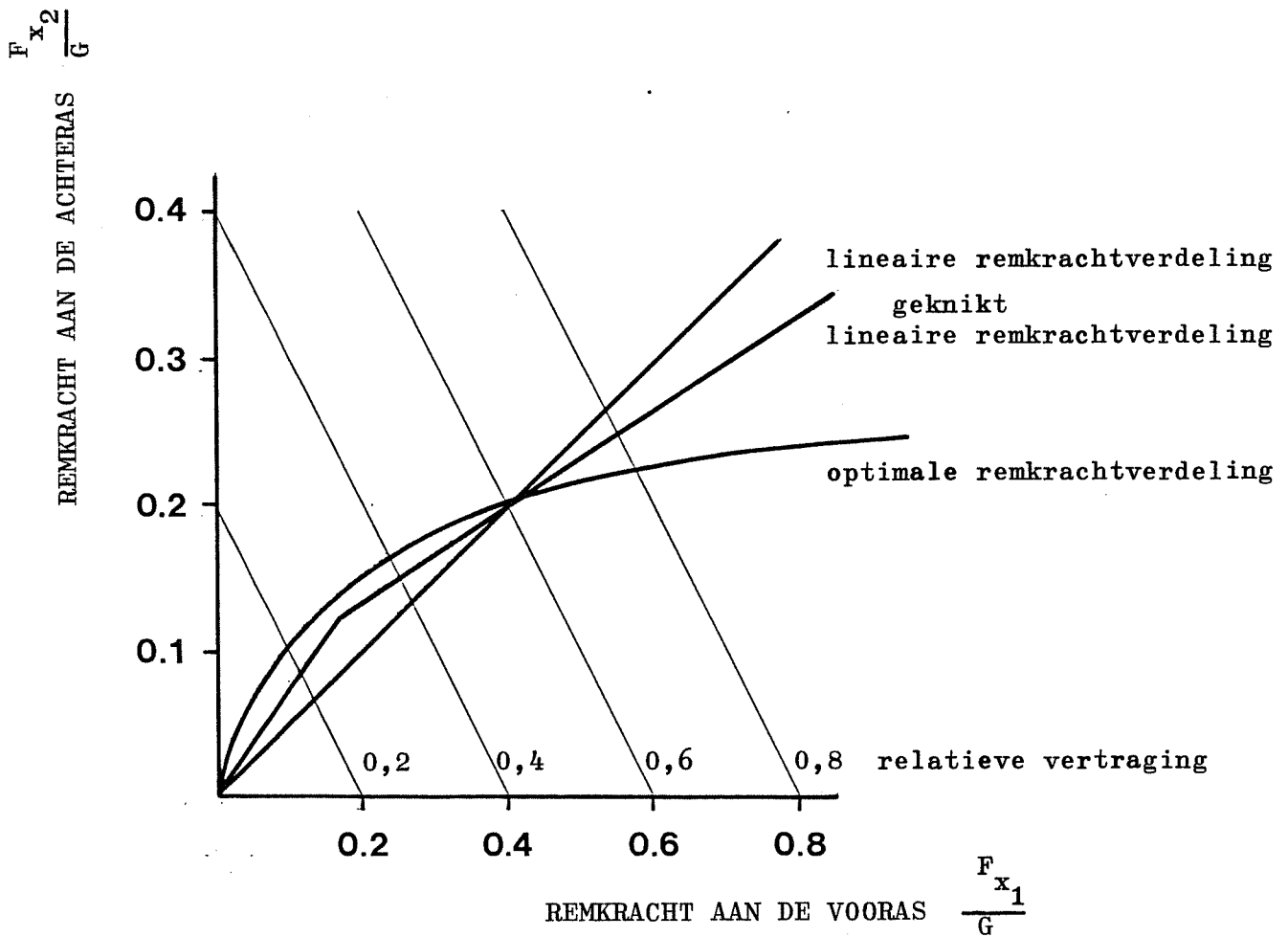
FIGUUR 2 Krachtenspel bij het gremde voertuig.



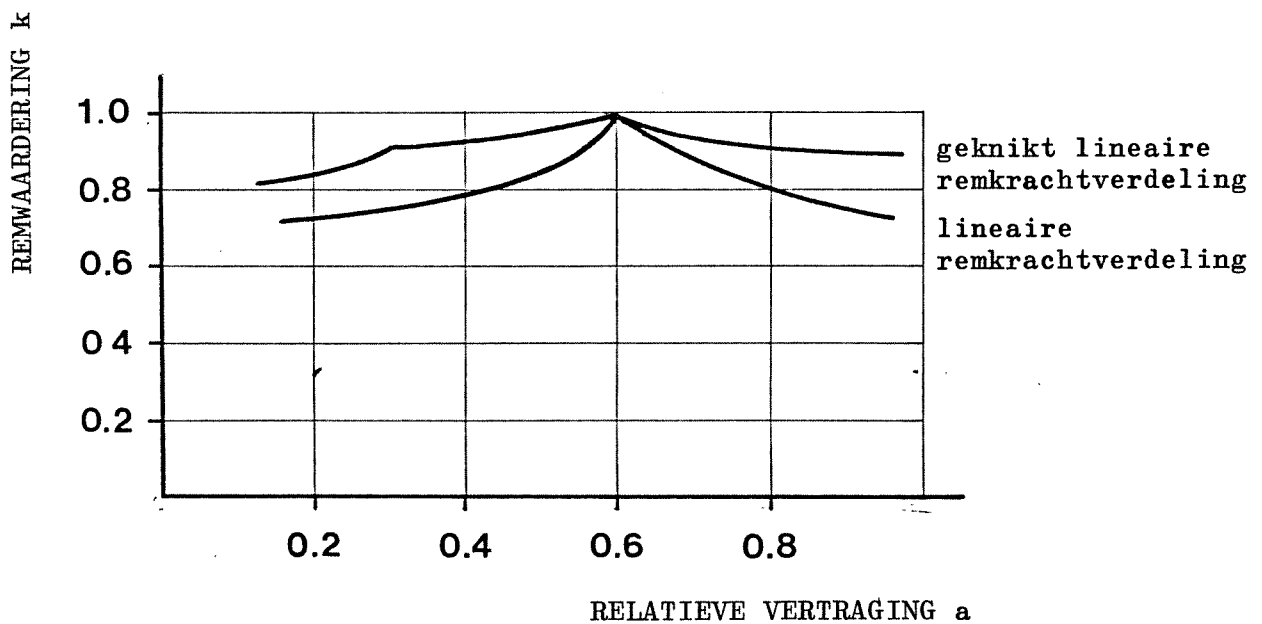
FIGUUR 3a Optimale remkrachtverdelingslijn en een lineaire benadering van deze curve.



FIGUUR 3b Remwaardering van de lineaire benadering van de optimale remkrachtverdeling.



FIGUUR 4a Optimale remkrachtverdelingslijn en een lineaire benadering alsmede een geknikt lineaire benadering.



FIGUUR 4b Remwaardering van de lineaire en de geknikt lineaire remkrachtverdeling.

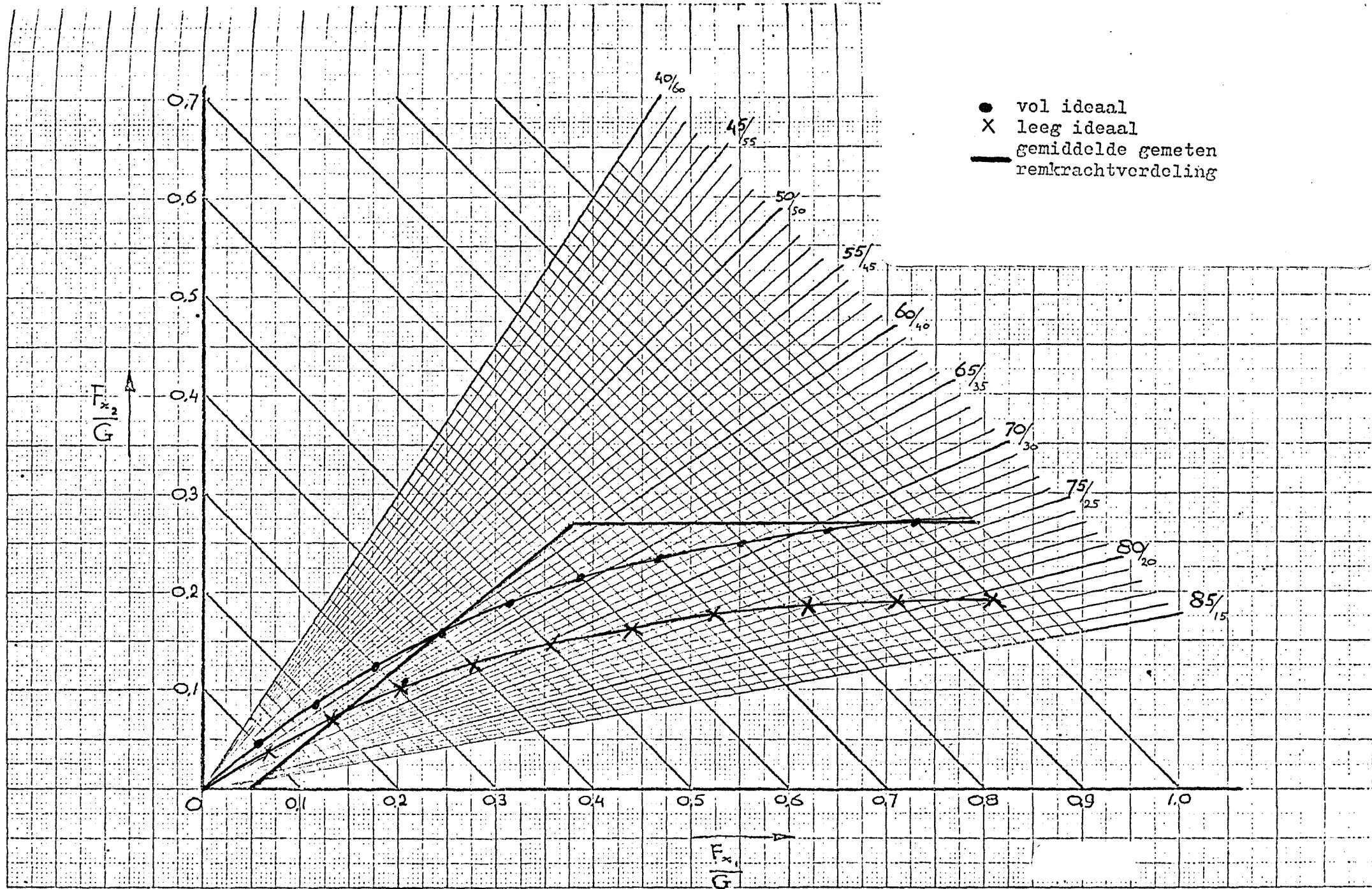
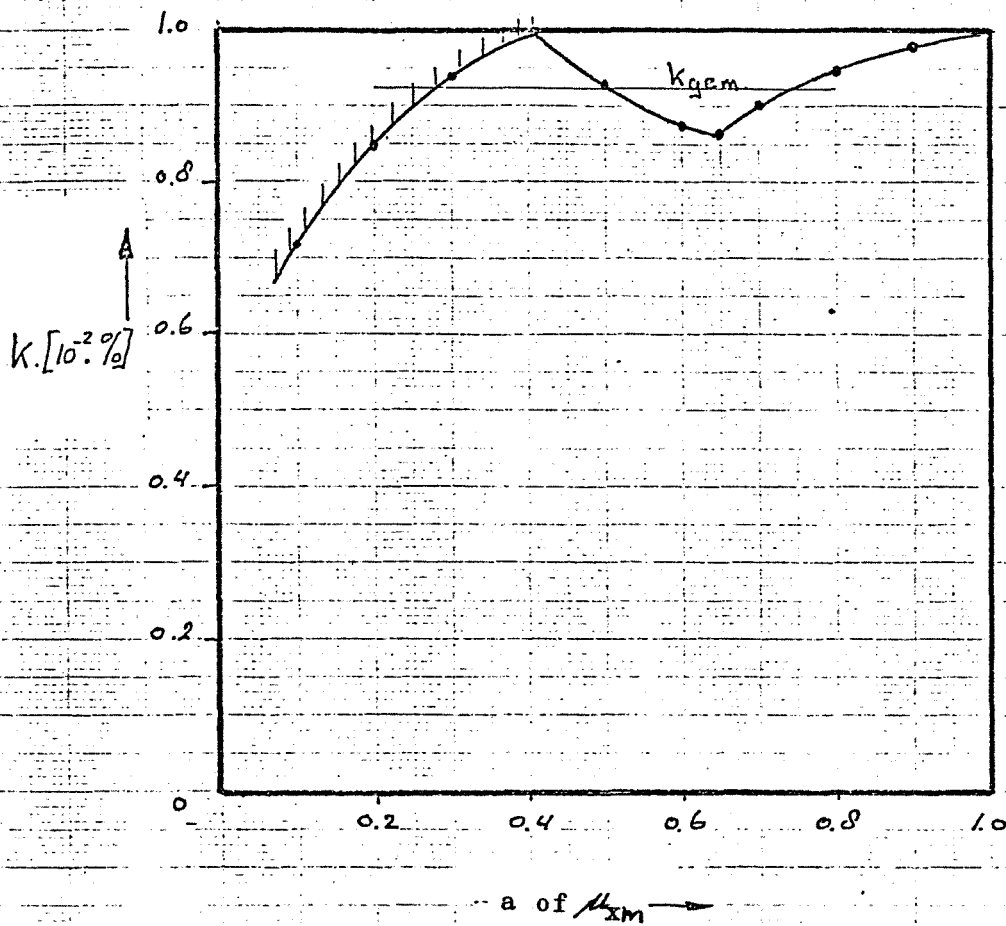


Fig. 5. Optimale en gemeten remkrachtverdeling van de Simca 1100.



Volbeladen

$0,1 < a \text{ of } \mu_{xm} < 0,9$	$k_{gem} = 91,3 \%$
$0,2 < a \text{ of } \mu_{xm} < 0,8$	$k_{gem} = 92,4 \%$
$0,1 < a \text{ of } \mu_{xm} < 1,0$	$k_{gem} = 92,1 \%$

Fig. 5a. Gemiddelde remwaardering van de Simca 1100.

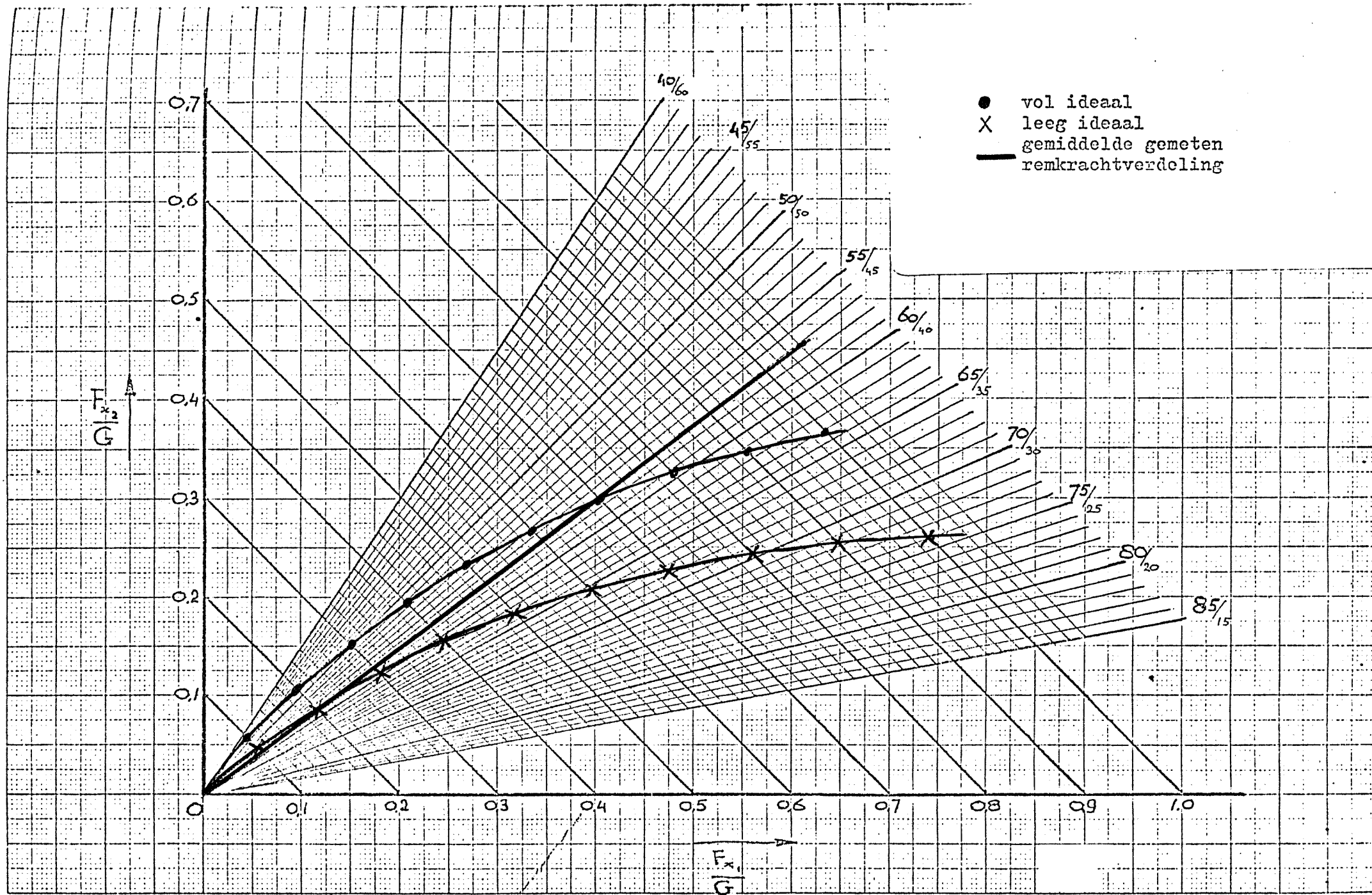
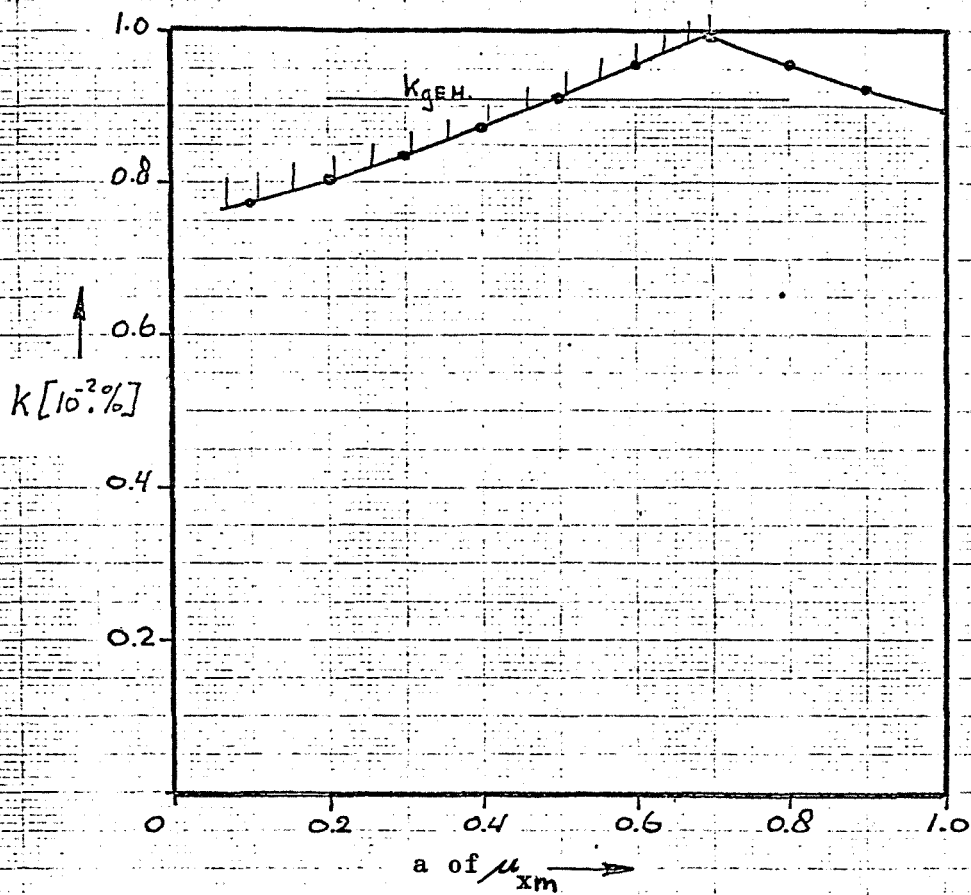


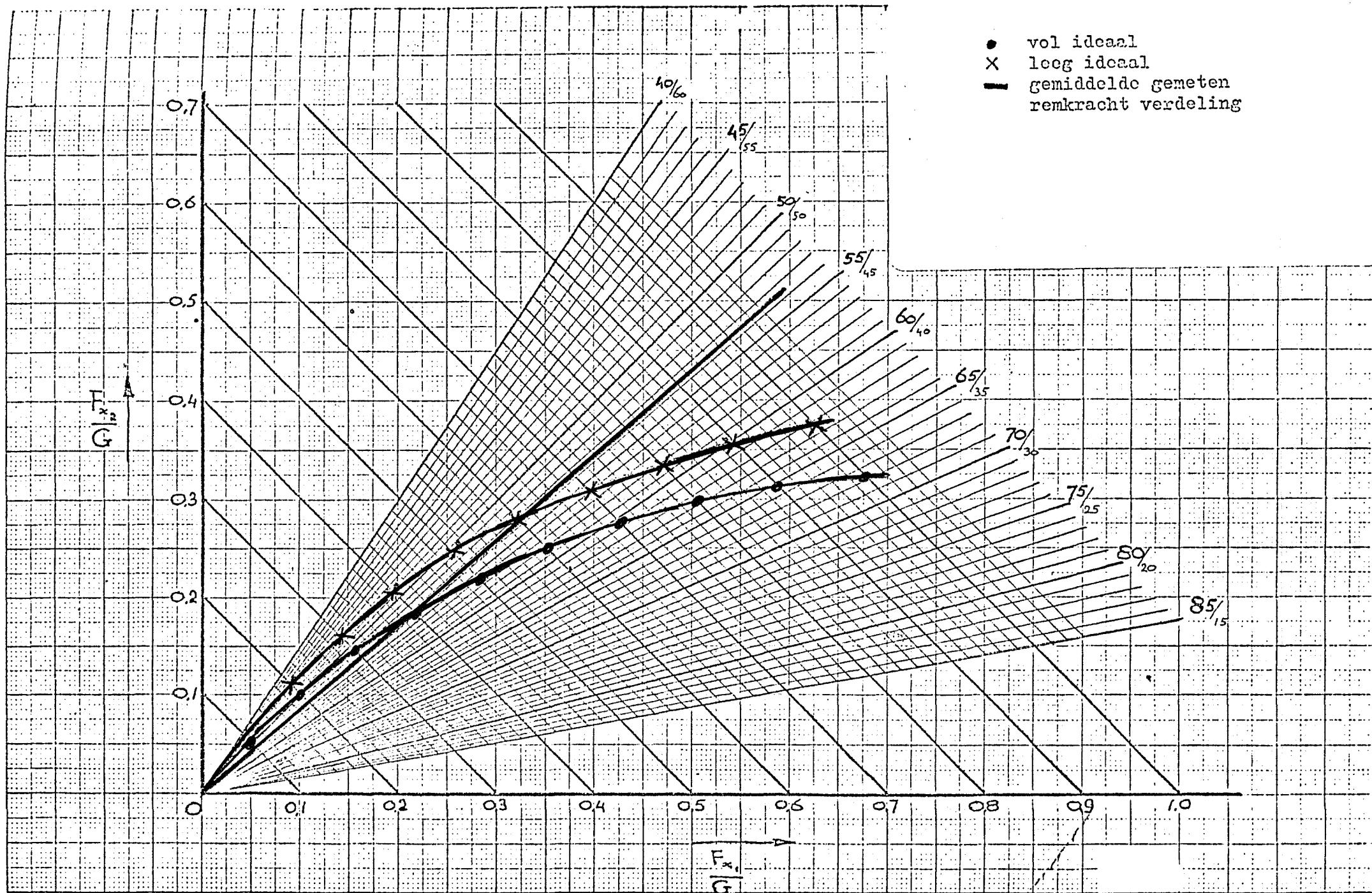
Fig. 6. Optimale en gemeten remkrachtverdeling van de Simca 1301 S.



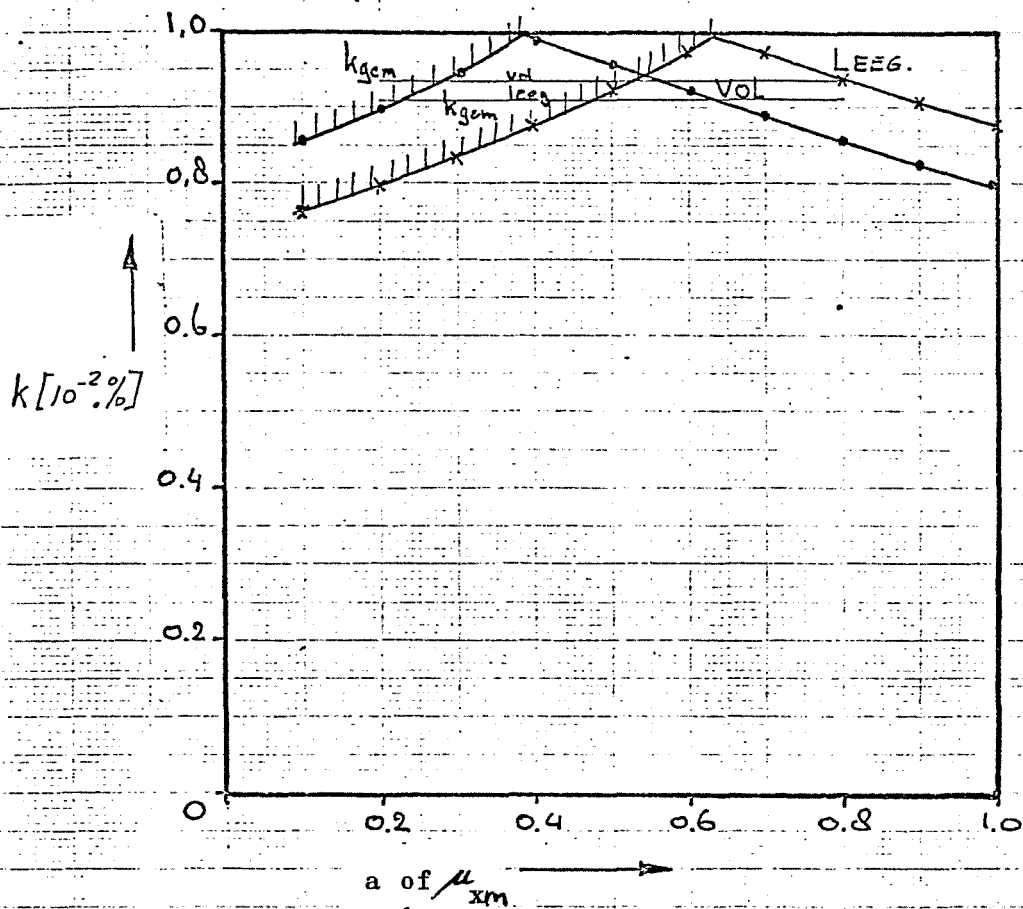
Volbeladen

$0,1 < a \text{ of } \mu_{xm} < 0,9$	$k_{gen} = 90,0 \%$
$0,2 < a \text{ of } \mu_{xm} < 0,8$	$k_{gen} = 91,0 \%$
$0,1 < a \text{ of } \mu_{xm} < 1,0$	$k_{gen} = 90,5 \%$

Fig. 6a. Gemiddelde remwaardering Simca 1301 S.



Figuur 7. Optimale en gemeten remkrachtverdeling van de Simca 1000.



Volbeladen

- 0,1 < a of $\mu_{xm} < 0,9$ $k_{gen} = 91,4 \%$
- 0,2 < a of $\mu_{xm} < 0,8$ $k_{gen} = 93,3 \%$
- 0,1 < a of $\mu_{xm} < 1,0$ $k_{gen} = 90,3 \%$

Leeg

- 0,1 < a of $\mu_{xm} < 0,9$ $k_{gen} = 89,6 \%$
- 0,2 < a of $\mu_{xm} < 0,8$ $k_{gen} = 91,0 \%$
- 0,1 < a of $\mu_{xm} < 1,0$ $k_{gen} = 89,6 \%$

Fig. 7a. Gemiddelde remwaardering Simca 1000.

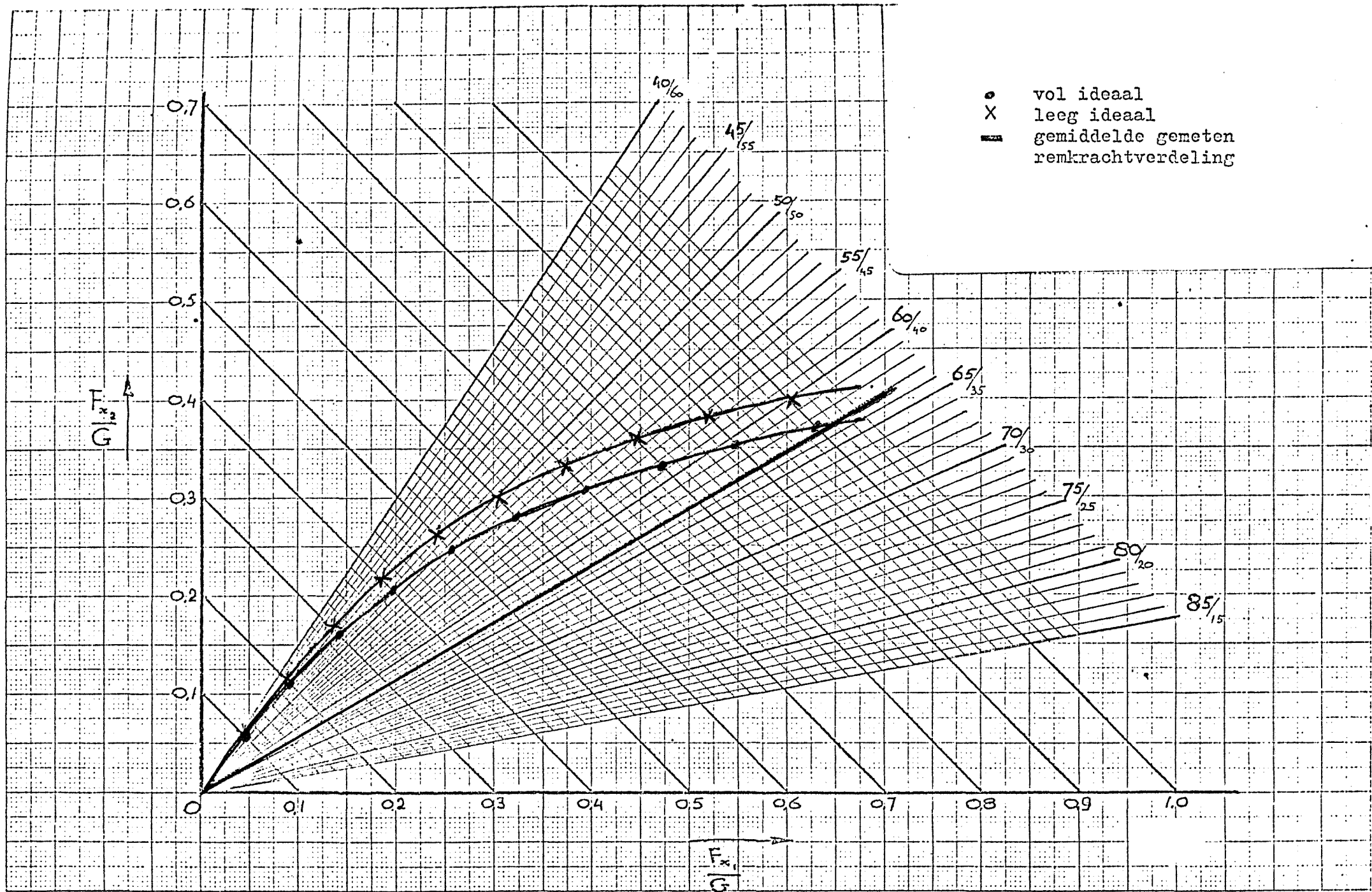
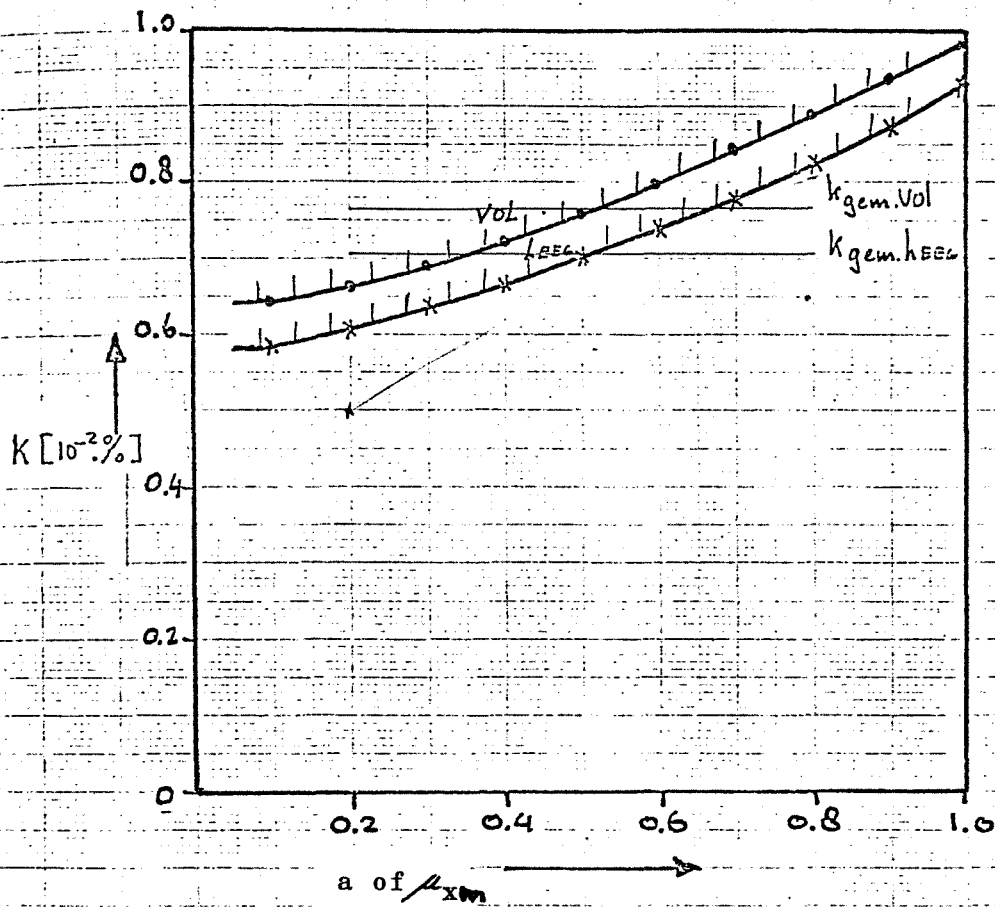


Fig. 8. Optimale en gemeten remkrachtverdeling van de Fiat 850 S.



Volbeladen

$0,1 < a \text{ of } \mu_{Xm} < 0,9$ $k_{gen} = 77,0 \%$

$0,2 < a \text{ of } \mu_{Xm} < 0,8$ $k_{gen} = 76,5 \%$

$0,1 < a \text{ of } \mu_{Xm} < 1,0$ $k_{gen} = 79,1 \%$

Leeg

$0,1 < a \text{ of } \mu_{Xm} < 0,9$ $k_{gen} = 71,1 \%$

$0,2 < a \text{ of } \mu_{Xm} < 0,8$ $k_{gen} = 70,6 \%$

$0,1 < a \text{ of } \mu_{Xm} < 1,0$ $k_{gen} = 73,2 \%$

Fig. 8a. Gemiddelde remwaardering Fiat 850 S.

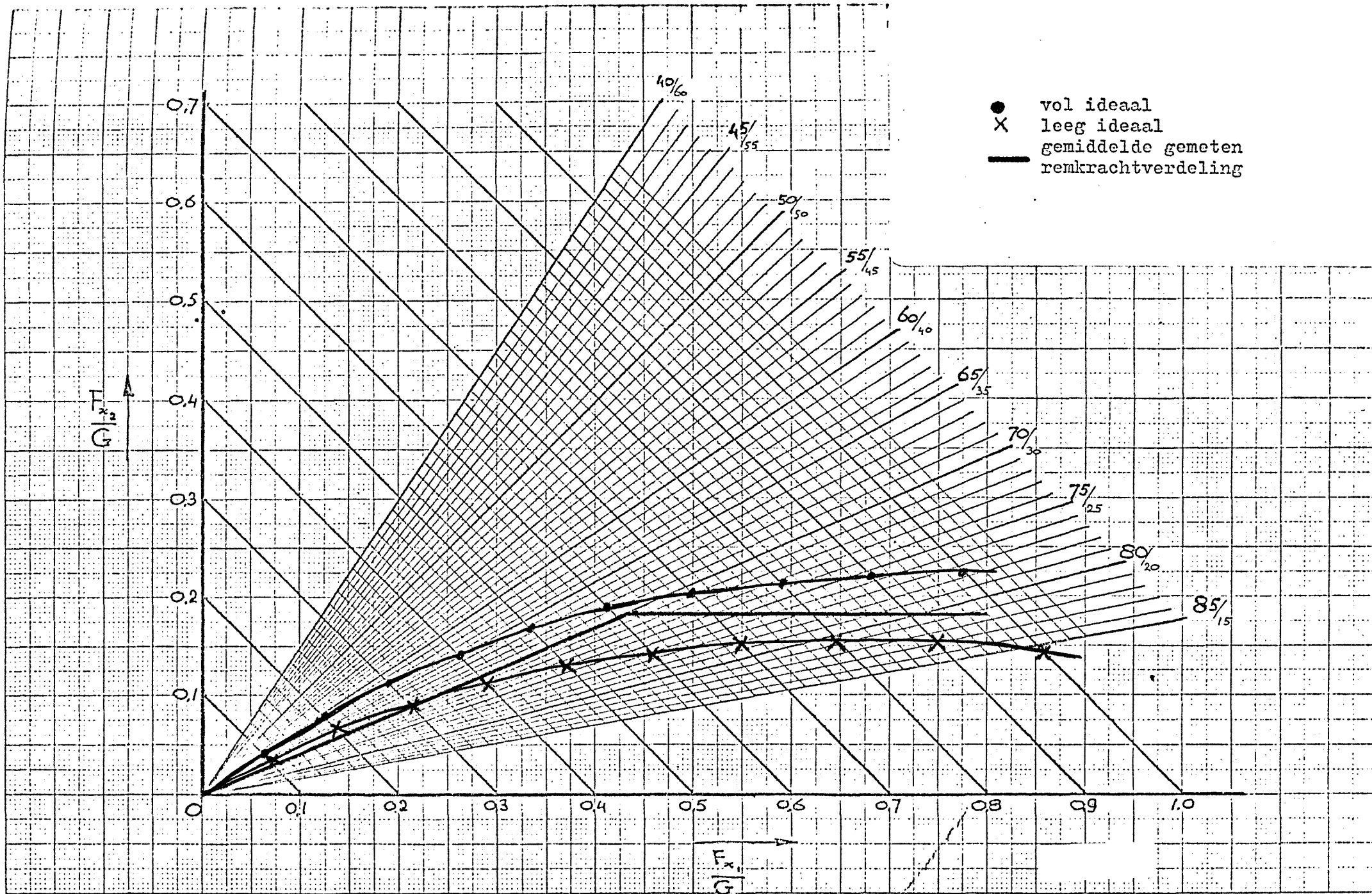
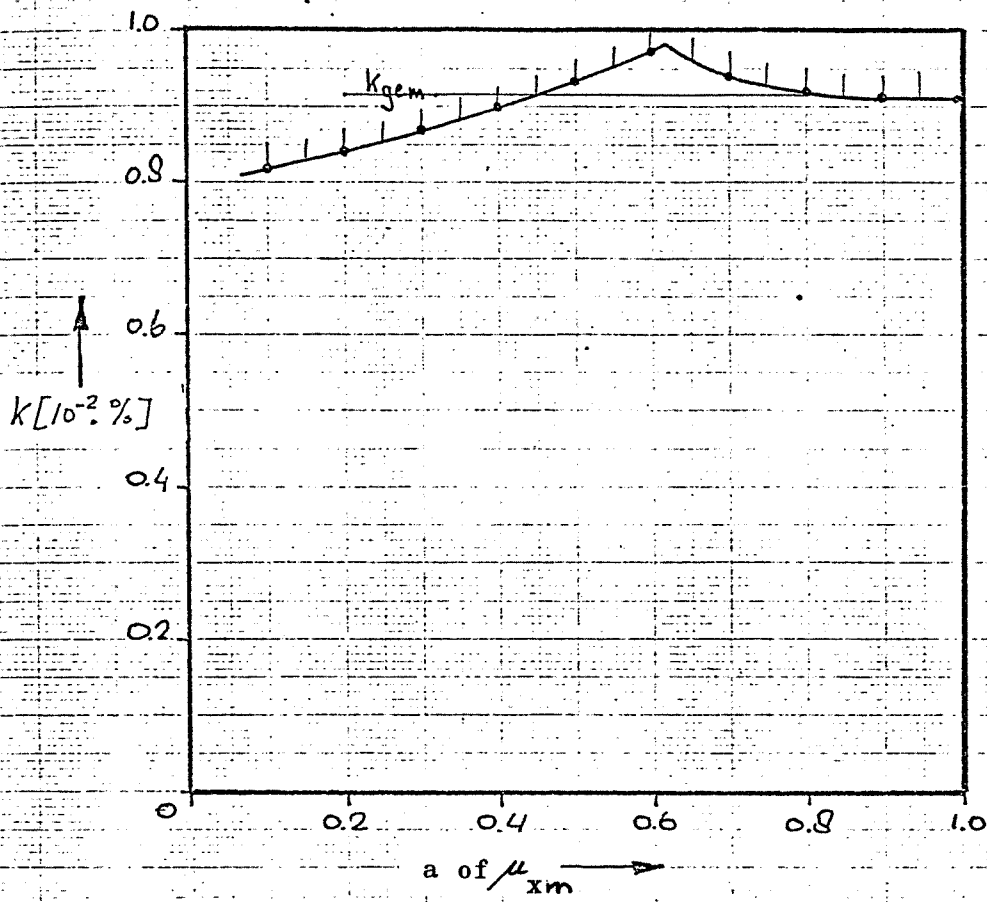


Fig. 9. Optimale en gemeten remkrachtverdeling van de Fiat 128.



Volbeladen

$0,1 < a \text{ of } \mu_{xm} < 0,9$	$k_{gen} = 90,7 \%$
$0,2 < a \text{ of } \mu_{xm} < 0,8$	$k_{gen} = 91,8 \%$
$0,1 < a \text{ of } \mu_{xm} < 1,0$	$k_{gen} = 90,7 \%$

Fig. 9a. Gemiddelde remwaardering Fiat 128.

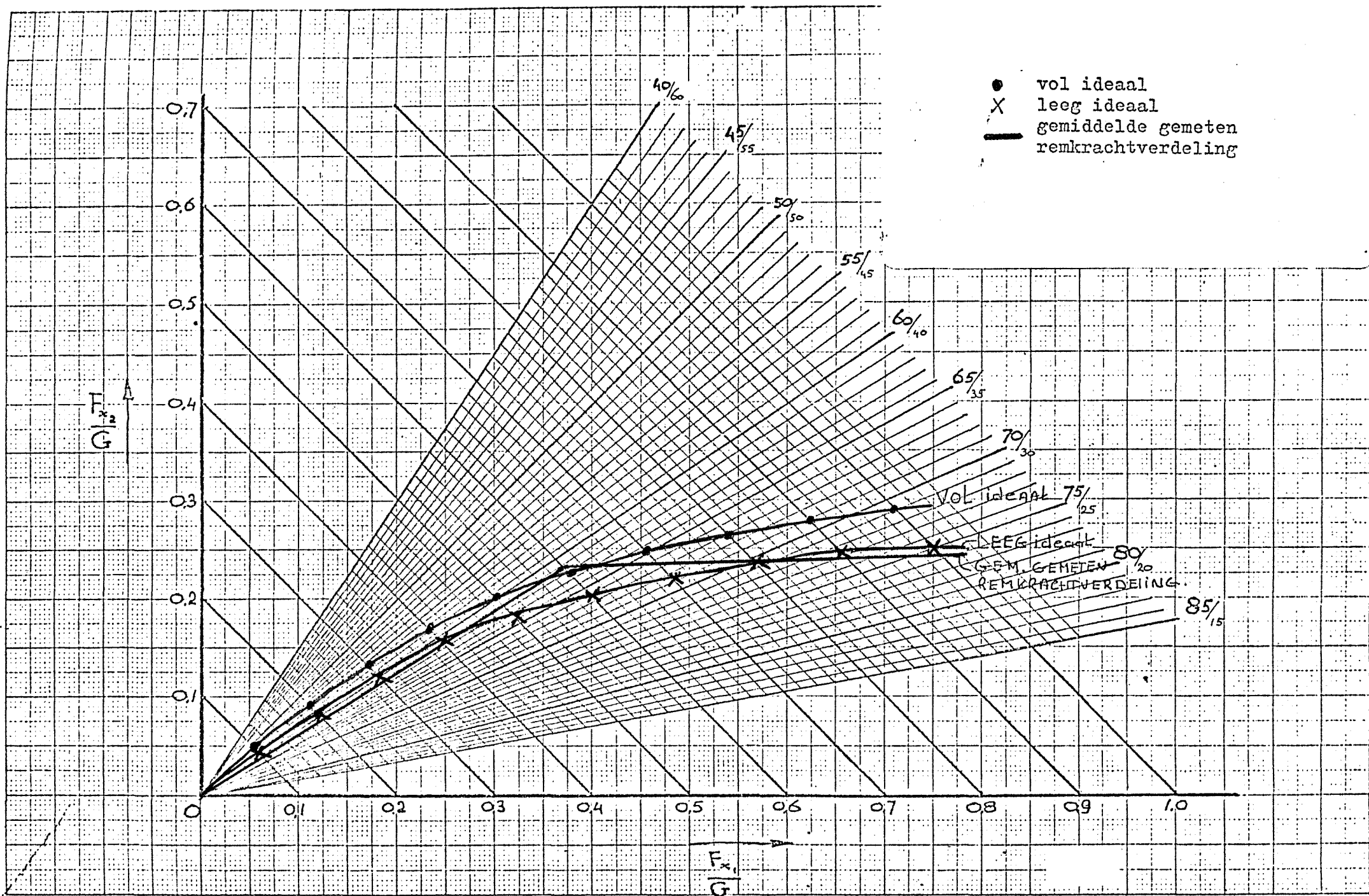
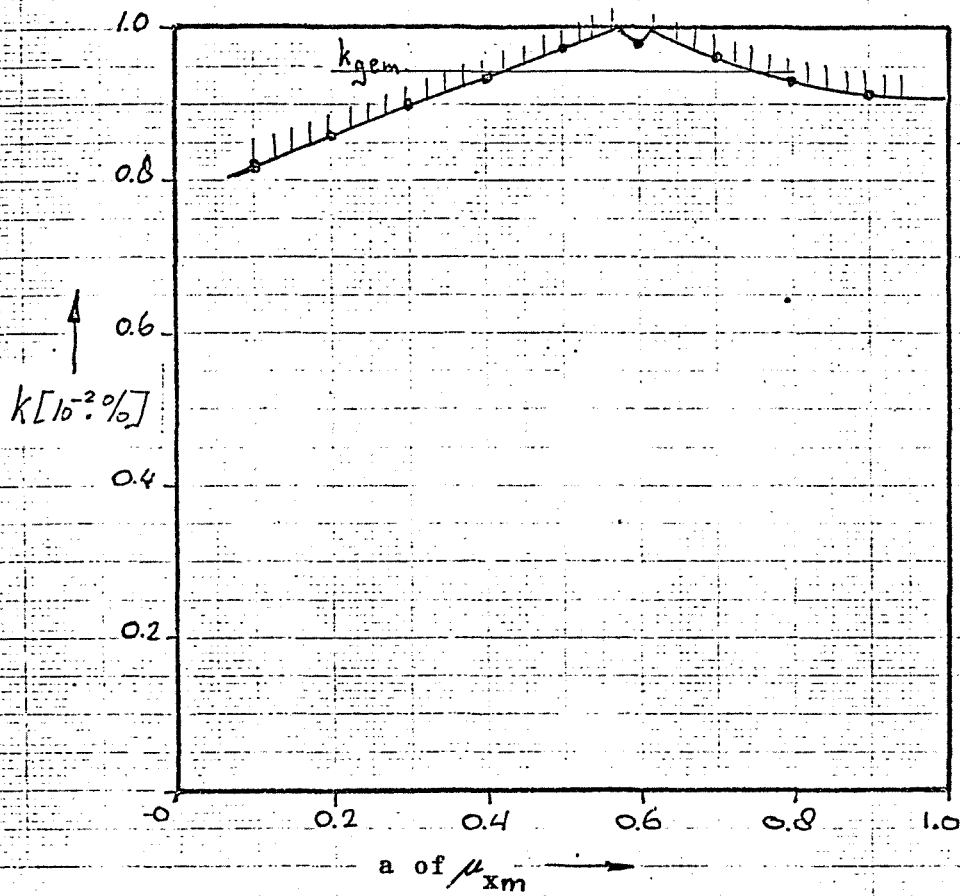


Fig. 10. Optimale en gemeten remkrachtverdeling van de Fiat 124.



Volbeladen

$0,1 < a \text{ of } \mu_{xm} < 0,9$	$k_{gen} = 92,9 \%$
$0,2 < a \text{ of } \mu_{xm} < 0,8$	$k_{gen} = 94,6 \%$
$0,2 < a \text{ of } \mu_{xm} < 0,9$	$k_{gen} = 94,2 \%$
$0,1 < a \text{ of } \mu_{xm} < 1,0$	$k_{gen} = 92,7 \%$
$0,2 < a \text{ of } \mu_{xm} < 1,0$	$k_{gen} = 93,4 \%$
$0,3 < a \text{ of } \mu_{xm} < 1,0$	$k_{gen} = 94,7 \%$

Fig. 10a. Gemiddelde remwaardering Fiat 124.

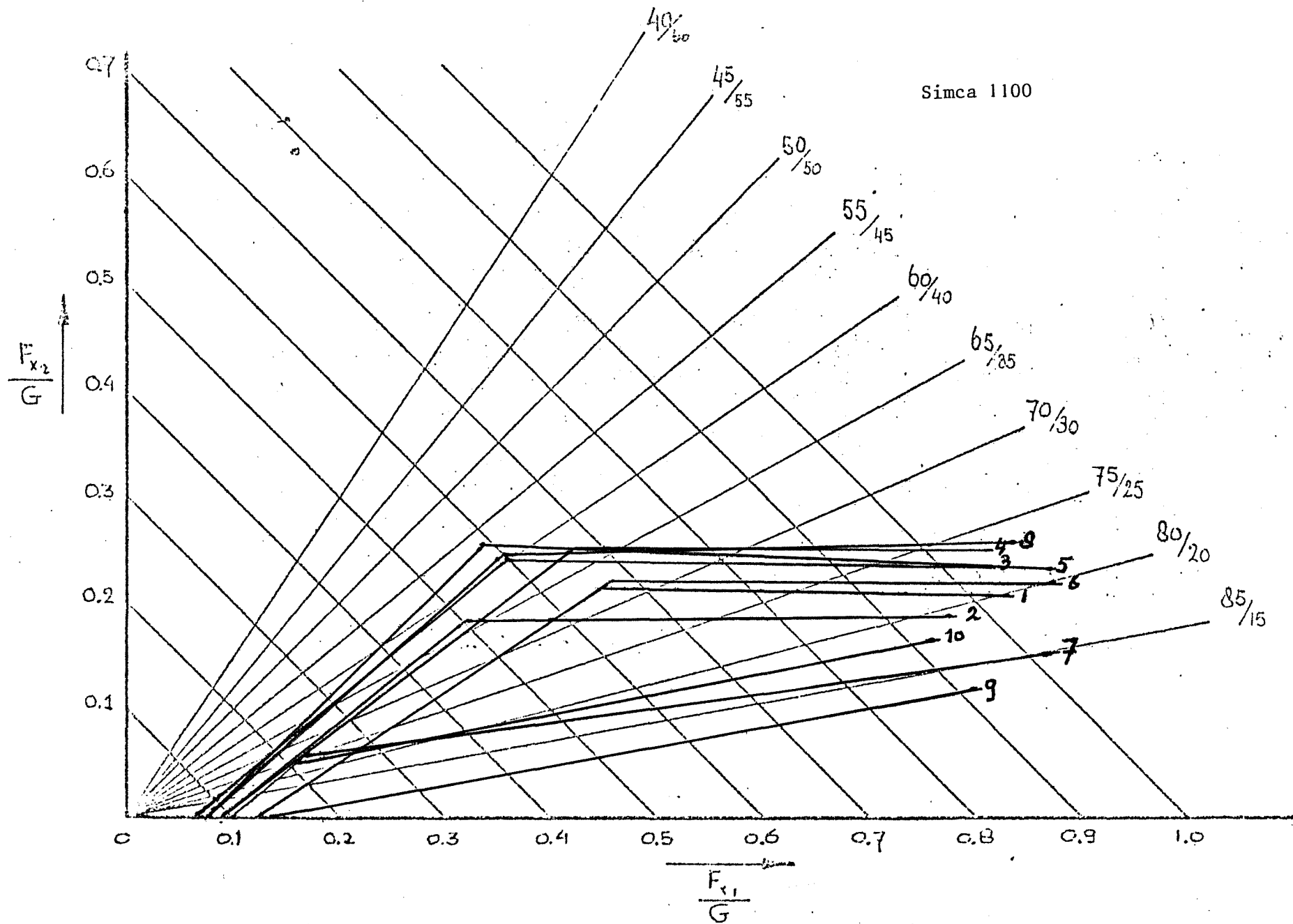


Fig. 11. Gemeten remkrachtverdelingen. Meetwagen 1 t/m 10. Beladingstoestand: leeg.

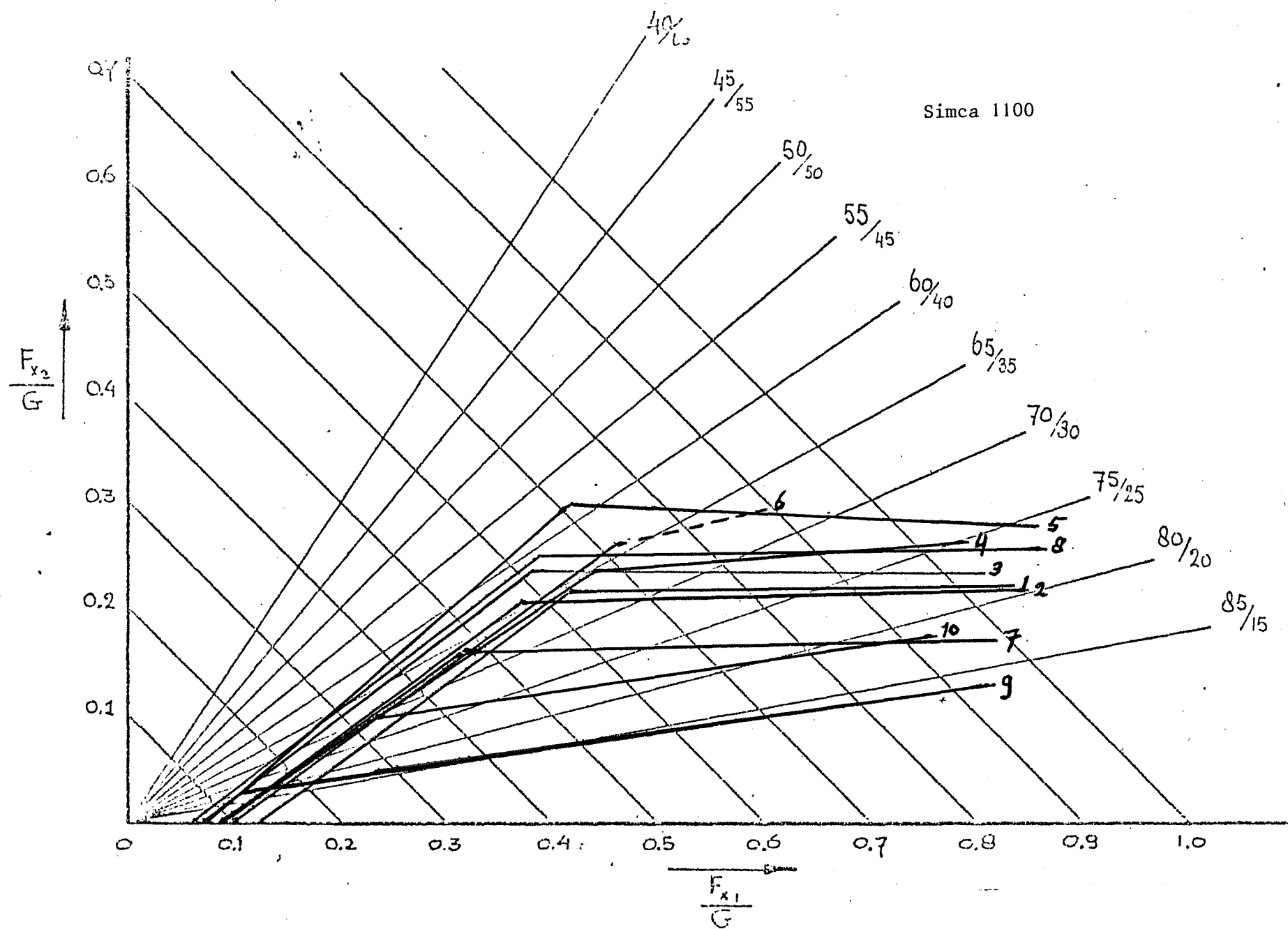


Fig. 12. Gemeten remkrachtverdelingen. Meetwagen 1 t/m 10. Beladingstoestand: half beladen.

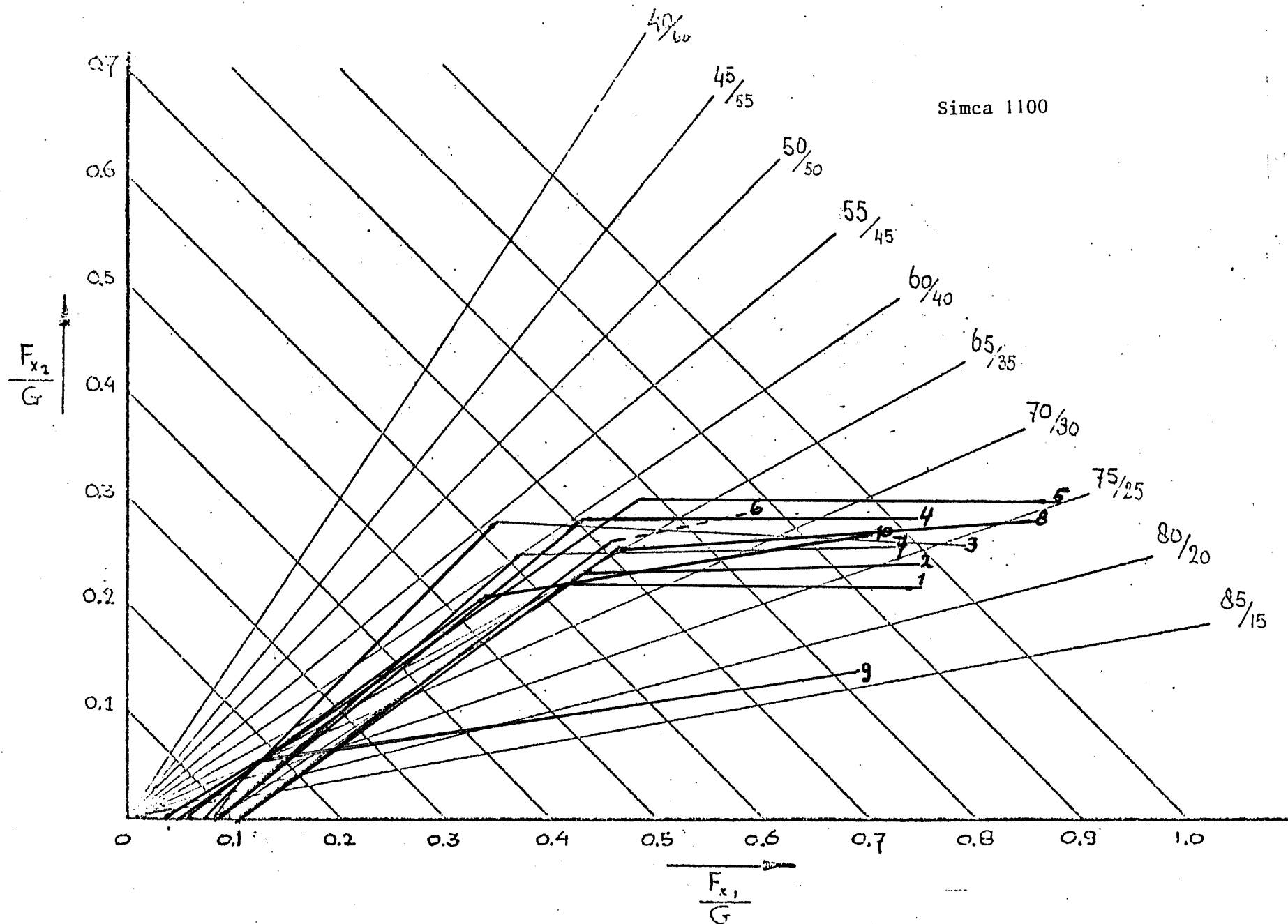
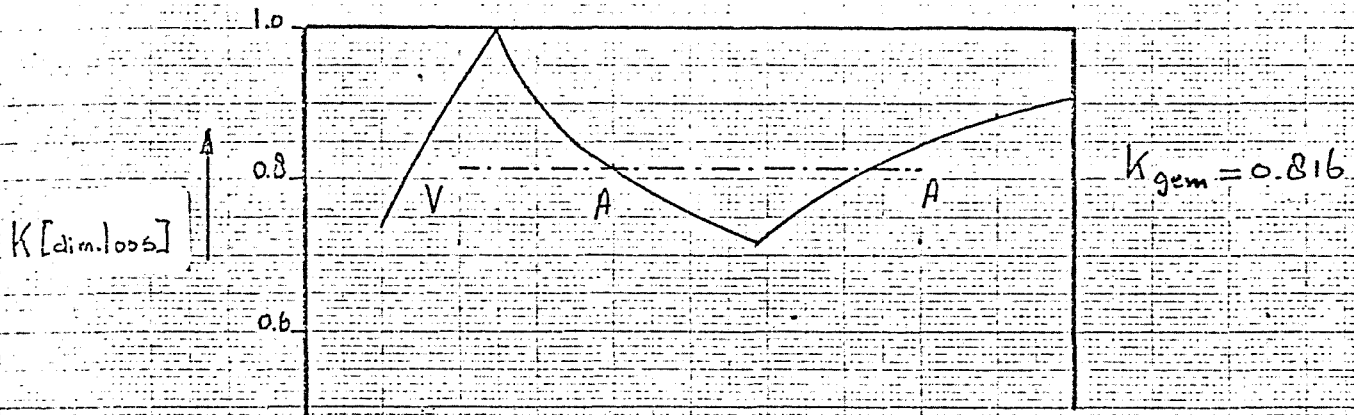


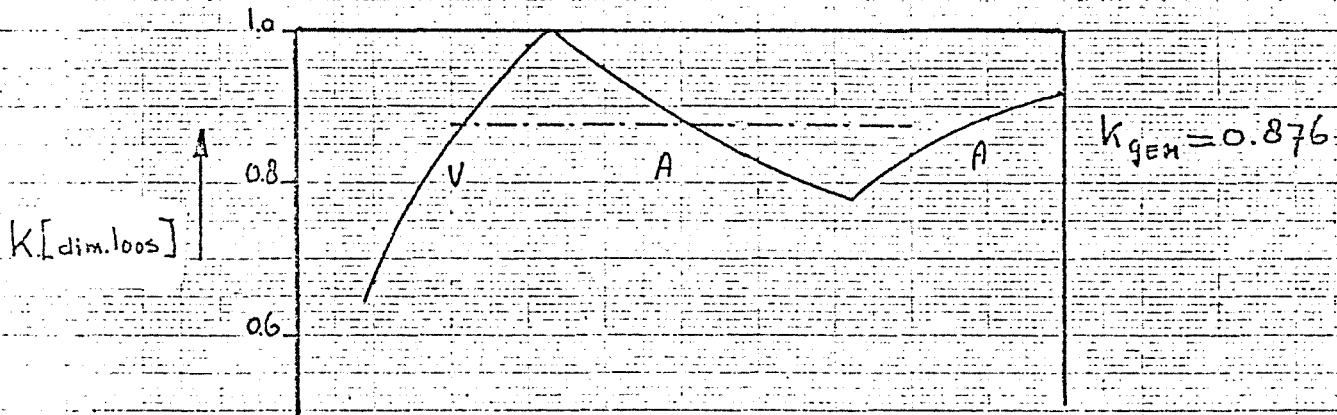
Fig. 13. Gemeten remkrachtverdelingen. Meetwagen 1 t/m 10. Beladingstoestand: vol beladen.

MEETWAGEN 5.

BEIADINGSTOESTAND : LEEG



BEIADINGSTOESTAND : HAIF BELADEN.



BEIADINGSTOESTAND : VOL BELADEN.

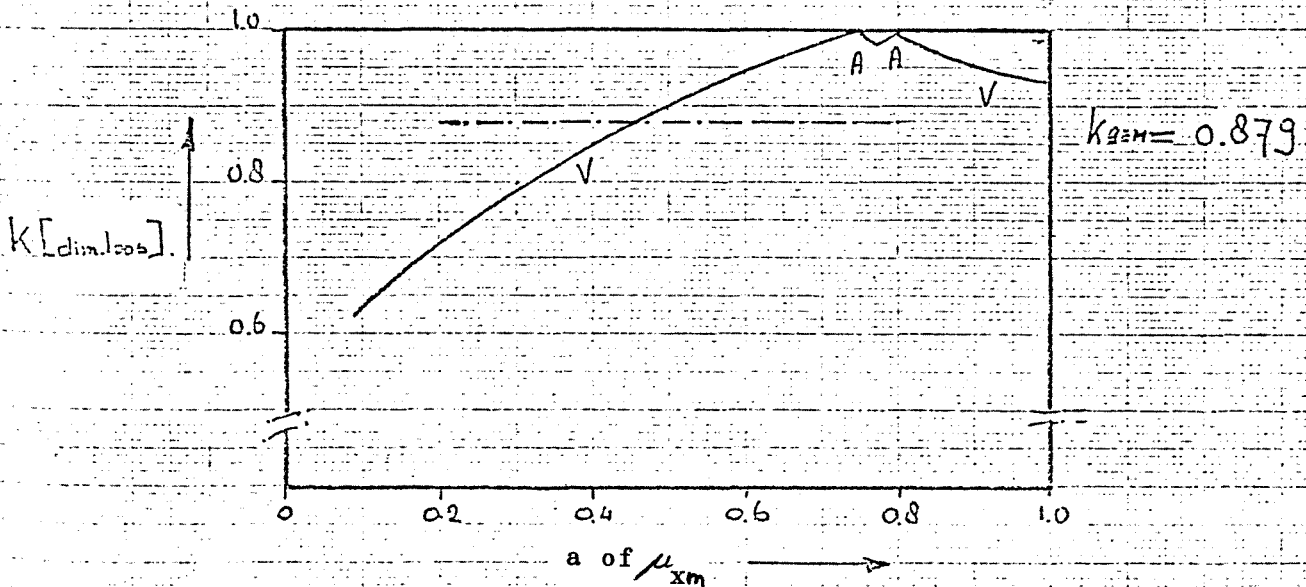
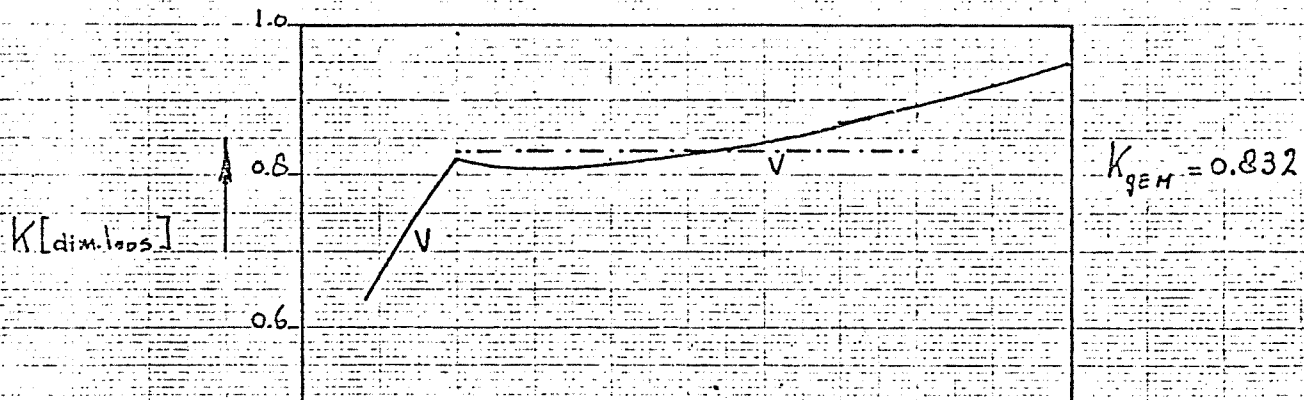


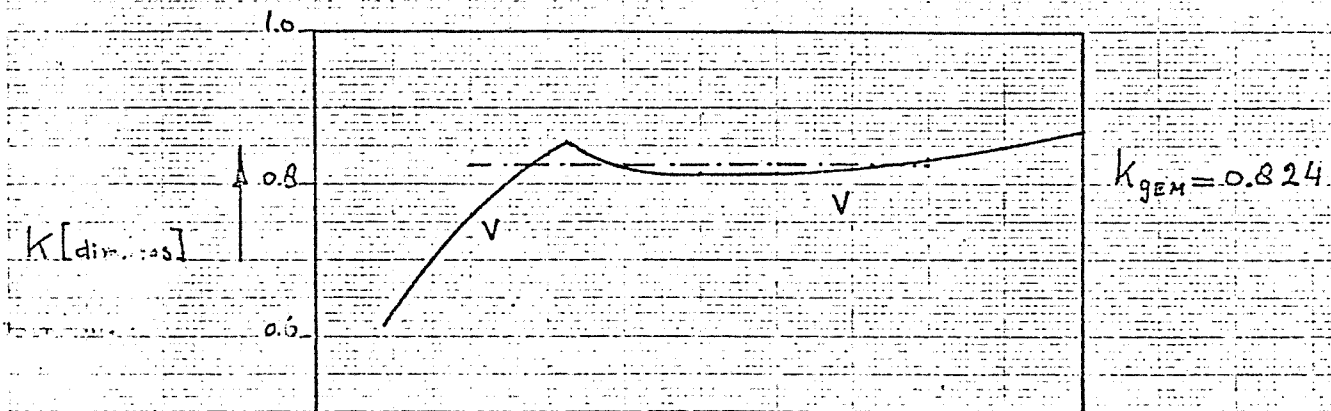
Fig. 14. Remwaardering van meetwagen 5.

meetwagen 10.

BELADINGSTOESTAND : LEEG



BELADINGSTOESTAND : HALS BELADEN.



BELADINGSTOESTAND : VOL BELADEN.

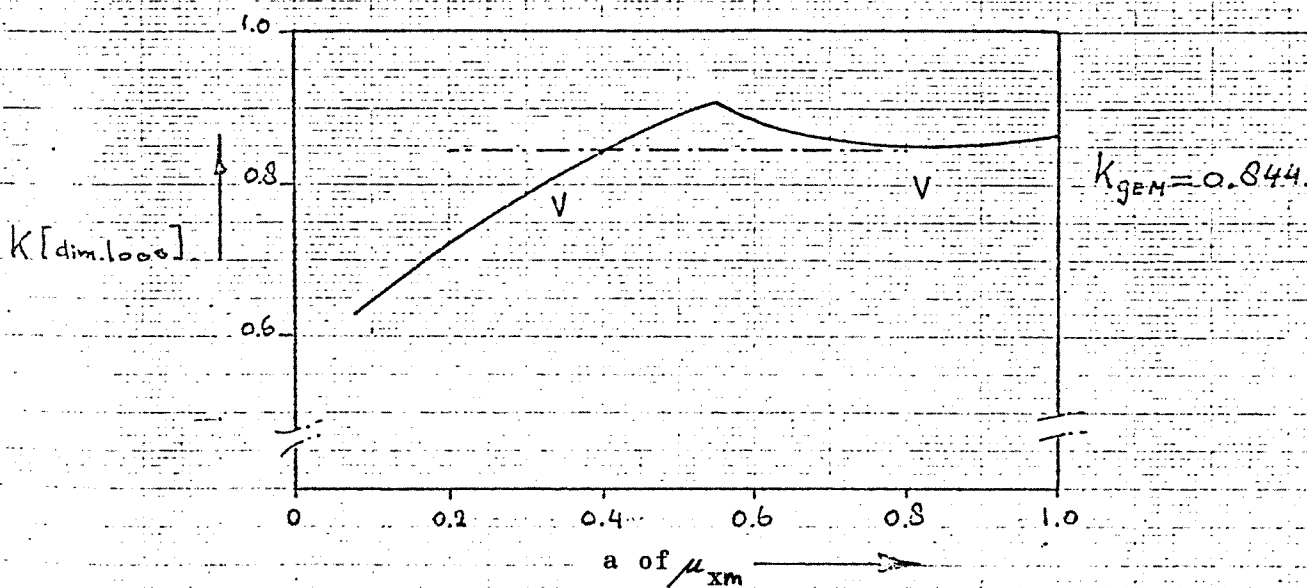


Fig. 15. Remwaardering van meetwagen 10.

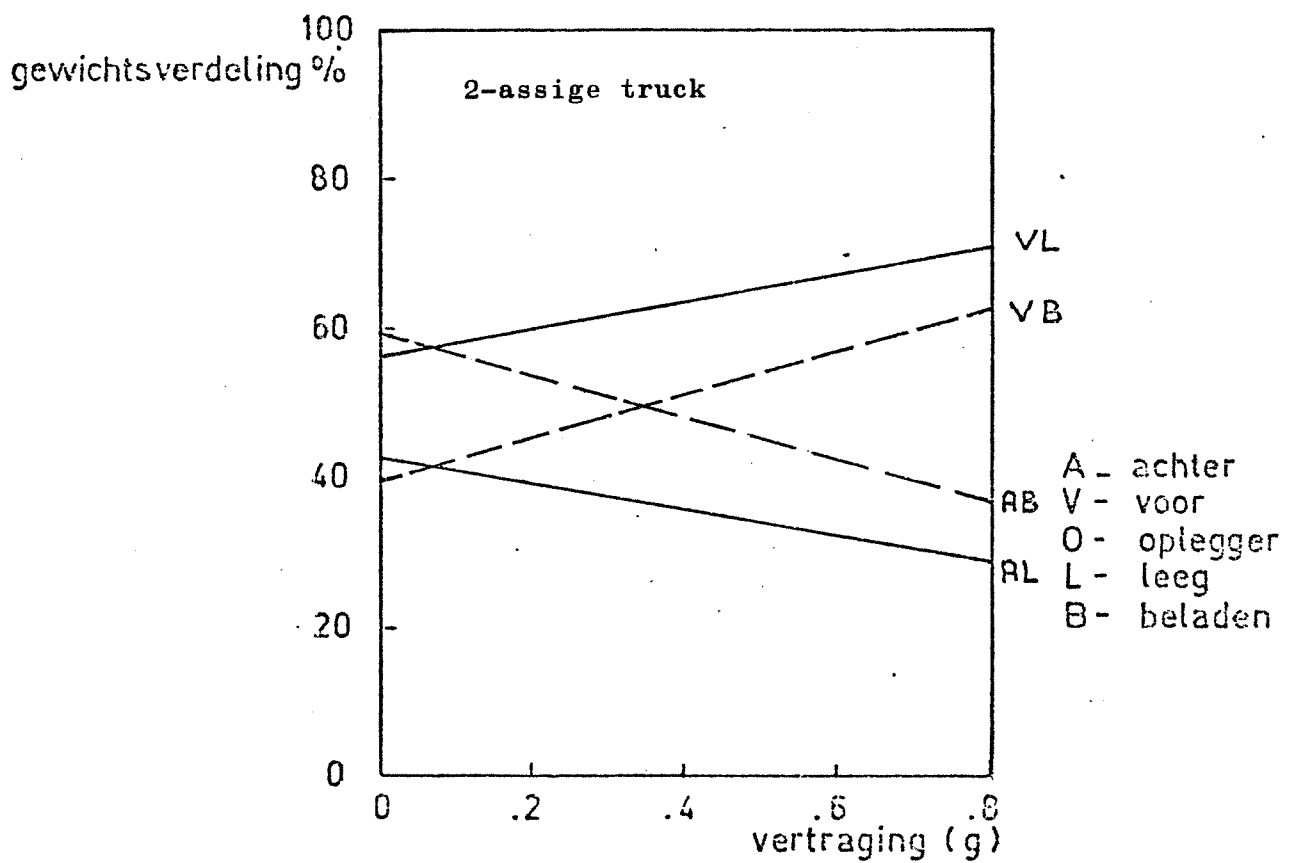


Fig. 16a. De gewichtsverdeling afhankelijk van de vertraging.

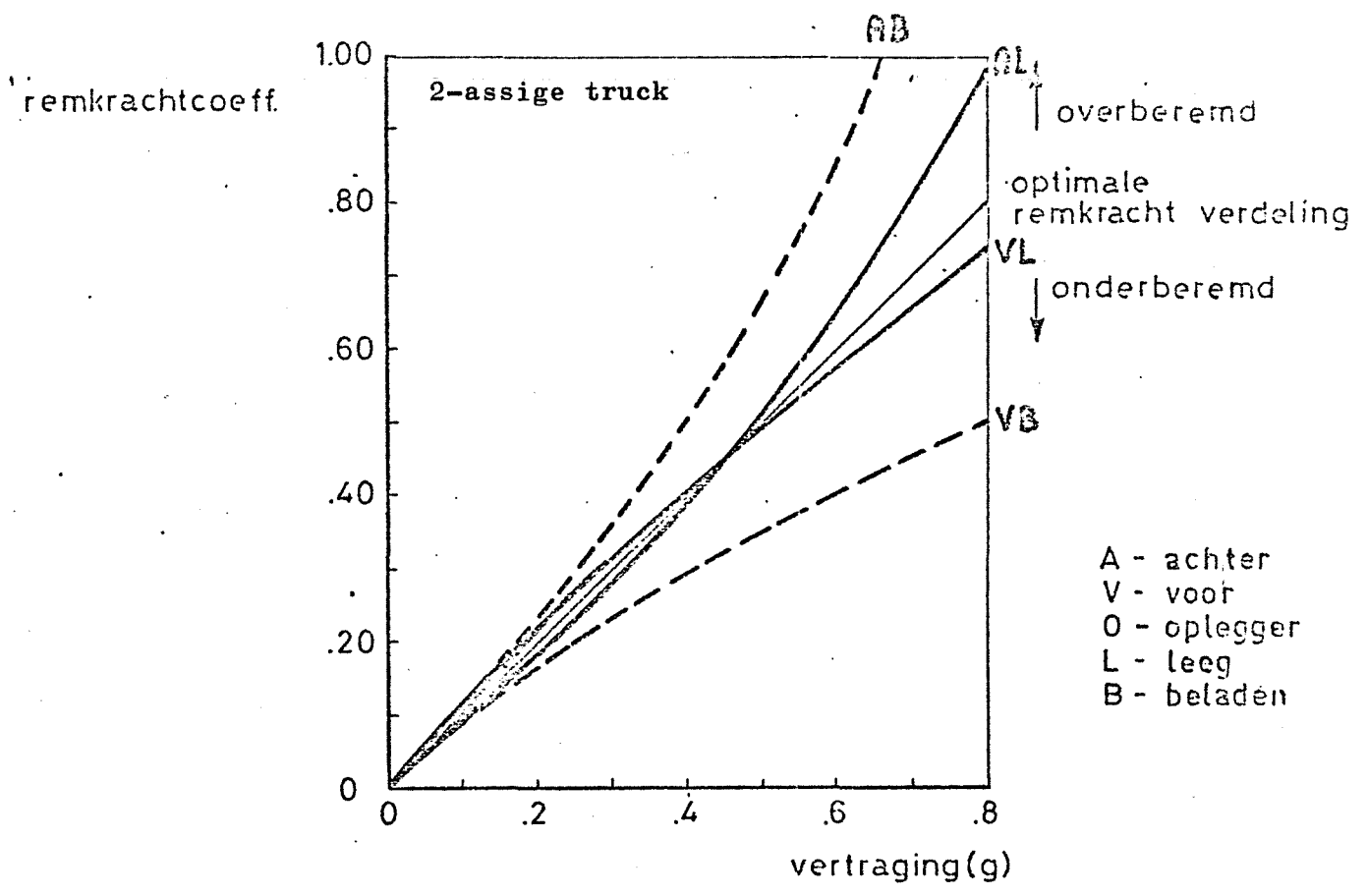


Fig. 16b. De remkrachtcoëfficiënt afhankelijk van de vertraging

————— Leeg ALB statische regeling

----- beladen ALB stat. regeling / geen regeling

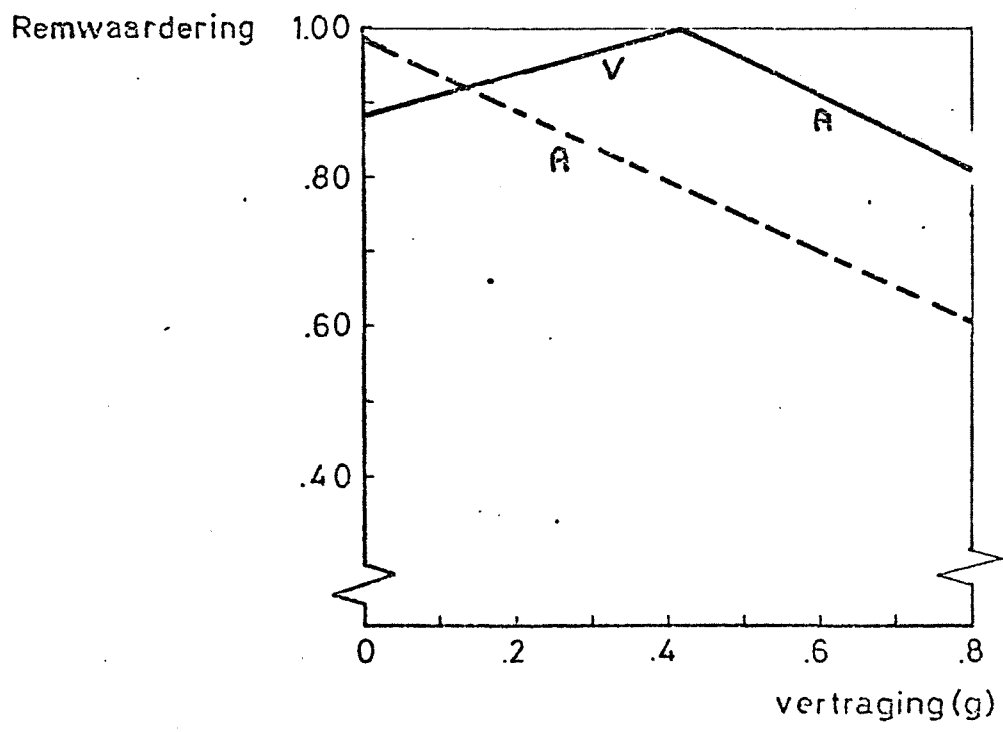


Fig. 16c. Remwaardering afhankelijk van de vertraging

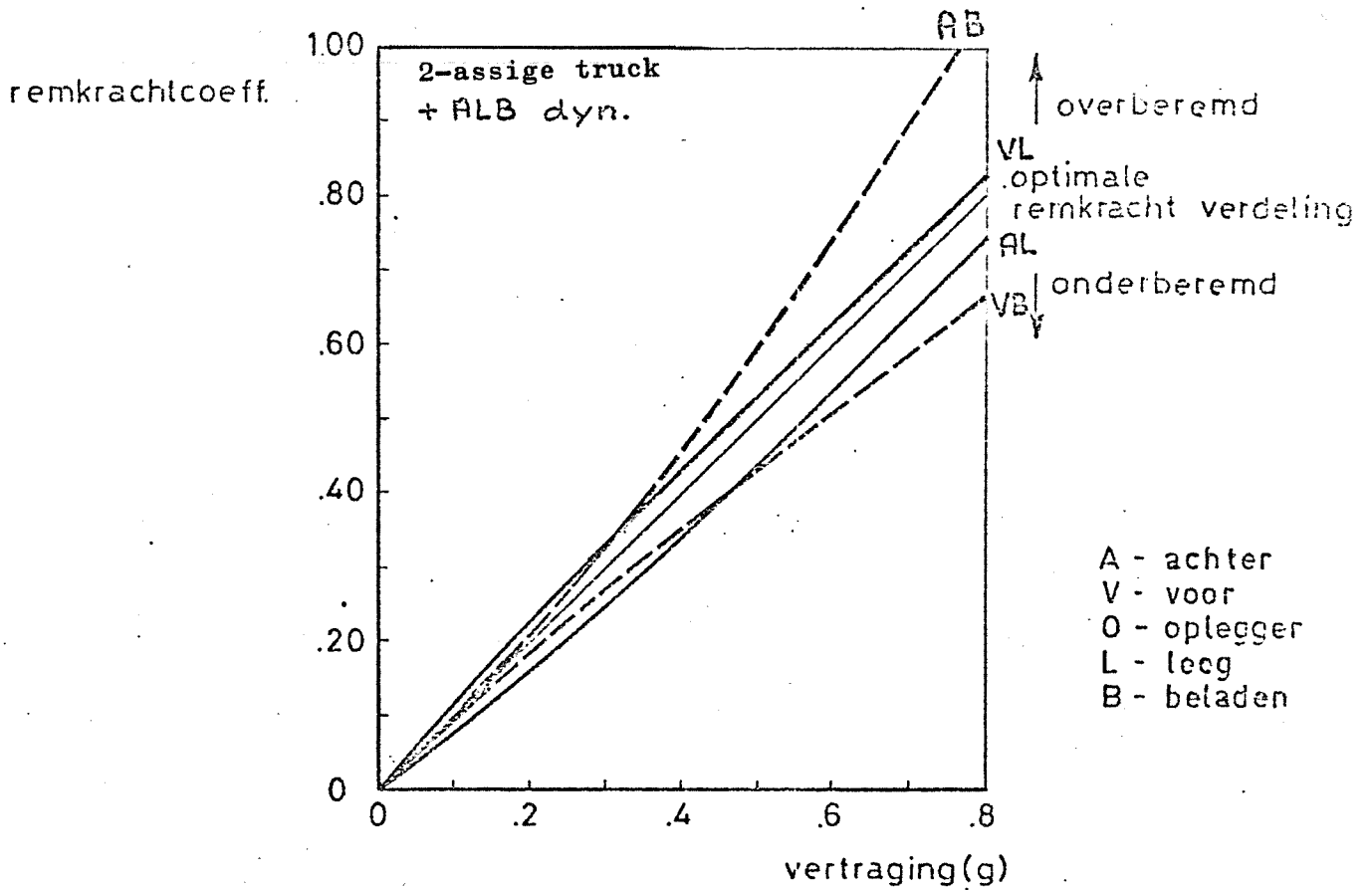


Fig. 17a. De remkrachtcoefficient afhankelijk van de vertraging

ALB - dynamisch regelend

————— Leeg

----- beladen

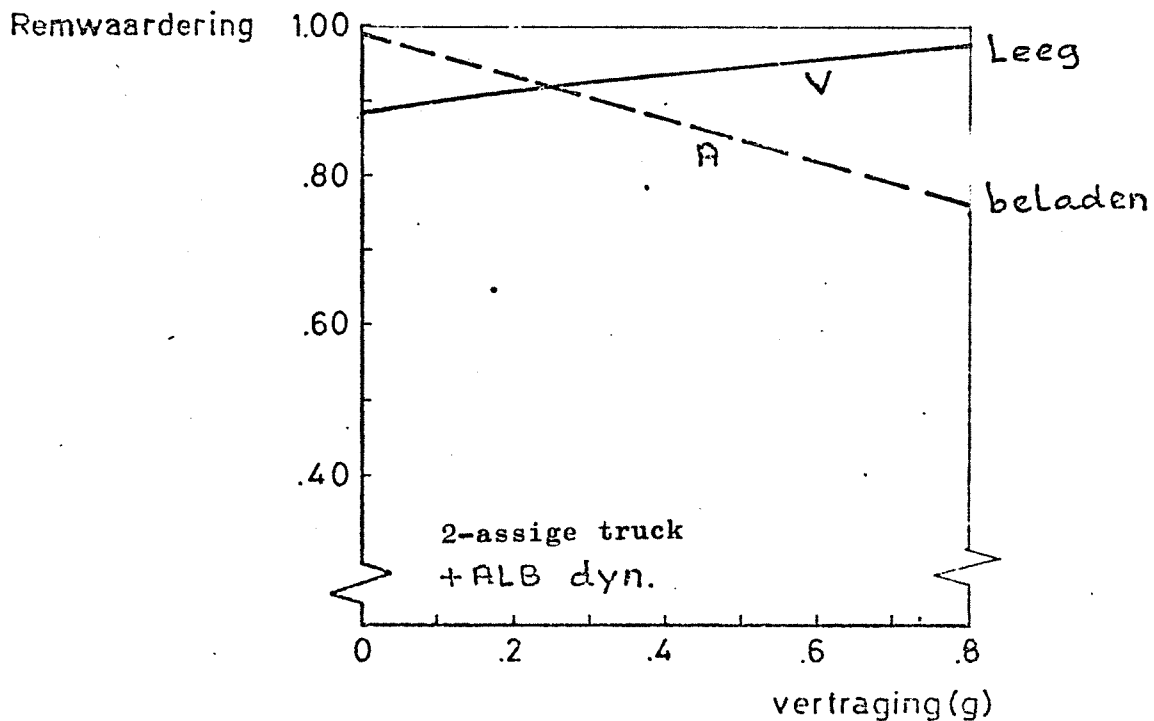


Fig. 17b. Remwaardering afhankelijk van de vertraging

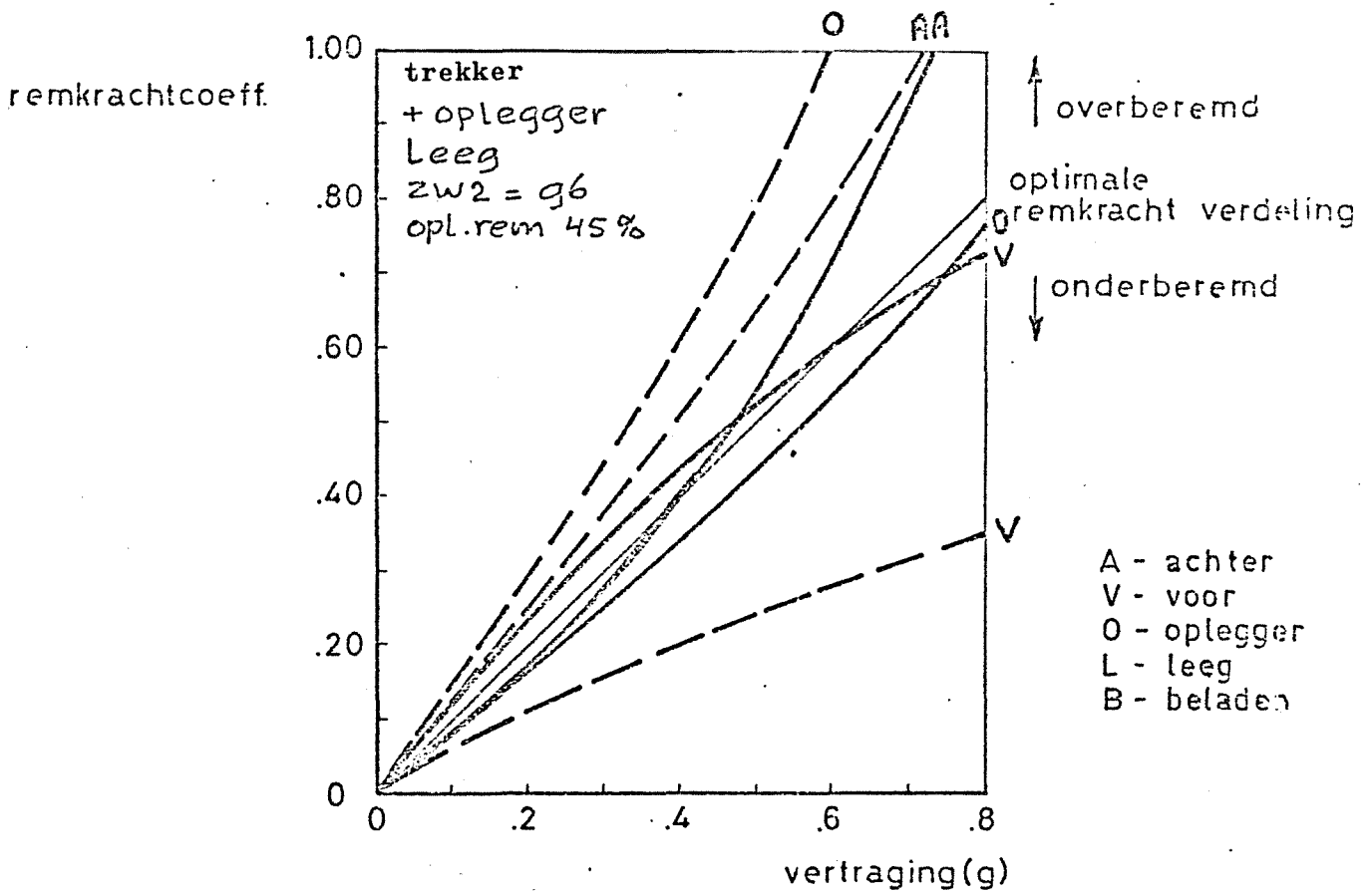


Fig. 18a. De remkrachtcoefficient afhankelijk van de vertraging

———— ALB op achteras en opleggersas
statische regeling
- - - - - geen remkrachtregeling

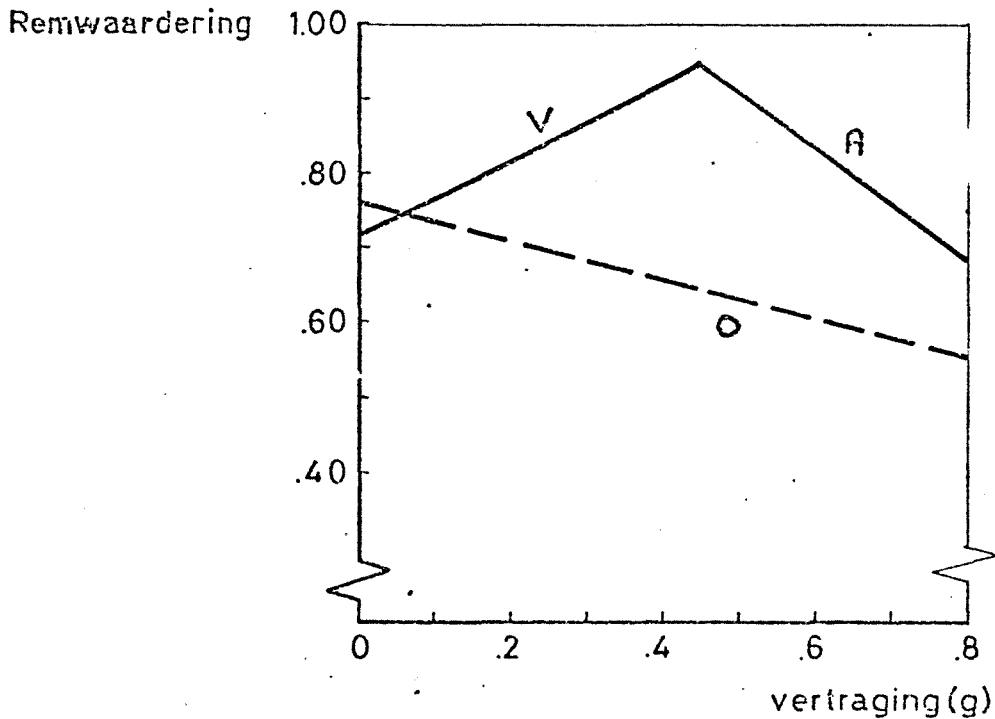


Fig. 18b. Remwaardering afhankelijk van de vertraging

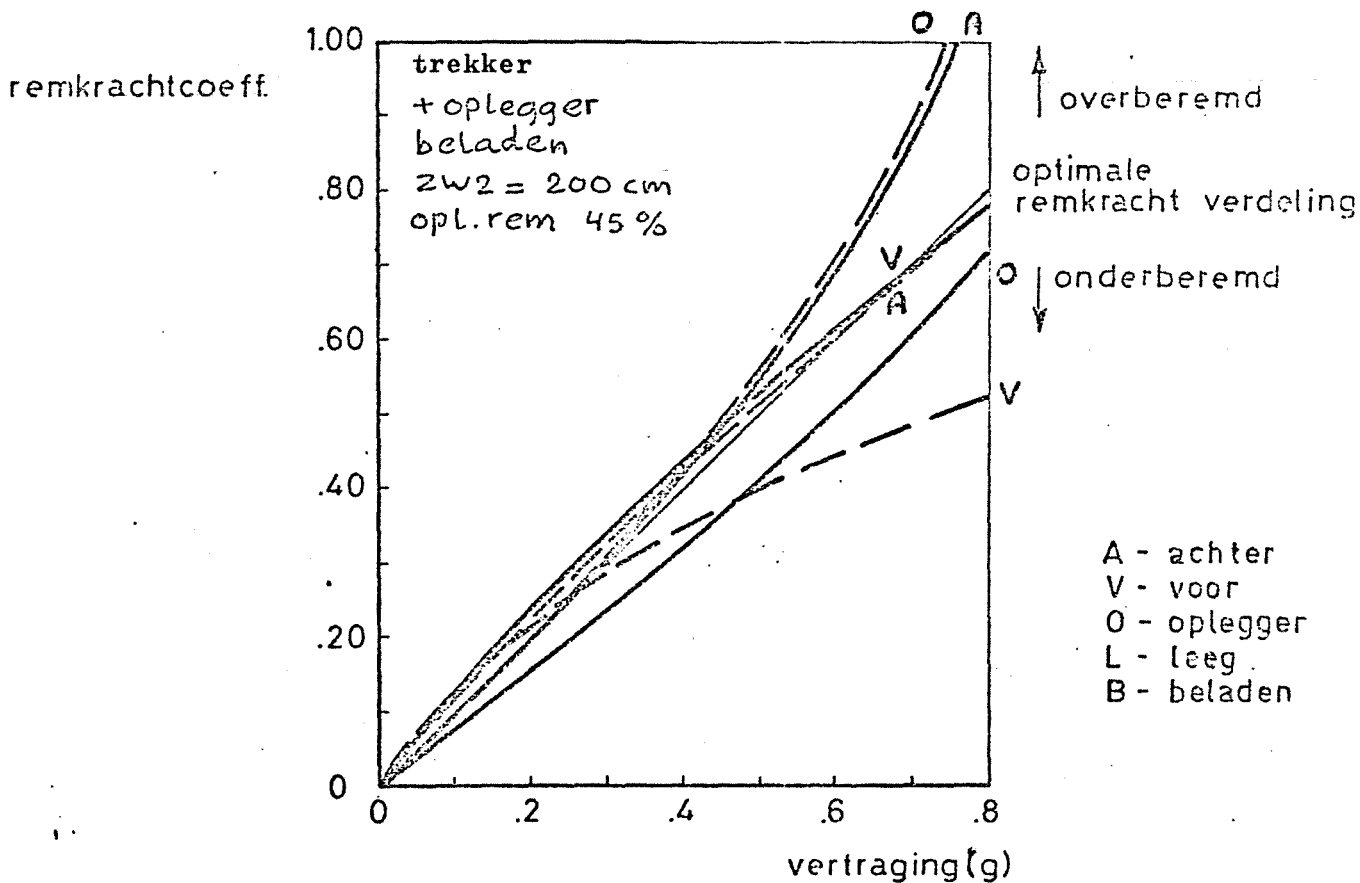


Fig. 18c. De remkrachtcoefficient afhankelijk van de vertraging

———— ALB op achteras en opleggeras
dynamische regeling
- - - - - geen remkrachtregeling (of stat. ALB)

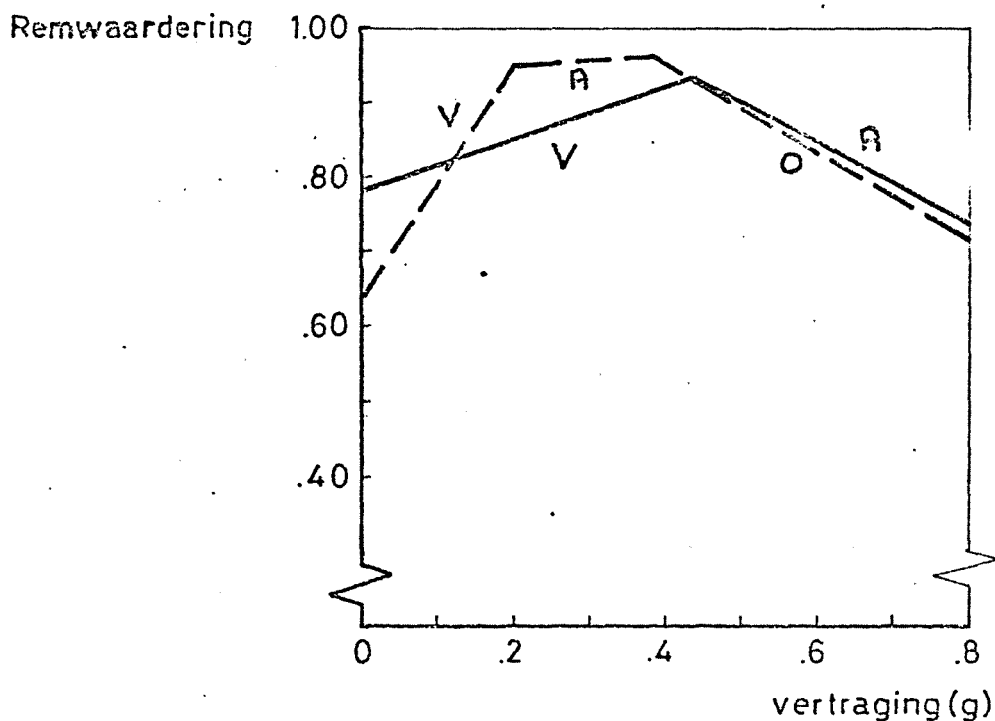


Fig. 18d. Remwaardering afhankelijk van de vertraging