

# Het ontwerpen van een proefopstelling voor de bestudering van het statische en dynamische gedrag van aërostatische taatslagers

**Citation for published version (APA):**

Snip, J. G. (1991). *Het ontwerpen van een proefopstelling voor de bestudering van het statische en dynamische gedrag van aërostatische taatslagers*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPA1090). Technische Universiteit Eindhoven.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1991

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

**HET ONTWERPEN VAN EEN PROEFOPSTELLING  
VOOR DE BESTUDERING VAN HET STATISCHE  
EN DYNAMISCHE GEDRAG VAN  
AEROSTATISCHE TAATSLAGERS**

**Onderzoeksopdracht WPA-nr. 1090  
Auteur: Snip J.G.**

**Eindhoven, februari 1991  
Technische Universiteit Eindhoven  
Faculteit Werktuigbouwkunde  
Vakgroep WPA  
Afdeling Geometrische Meettechniek  
Begeleiders:  
Dr.Ir. P.H.J. Schellekens  
Ir. J.M. Wang**

## **SAMENVATTING**

Gezien het feit dat in de nabije toekomst aërostatische taatslagers steeds meer gebruikt zullen gaan worden in machines met hoge nauwkeurigheid, is het erg belangrijk dat het gedrag van deze aërostatische lagers bestudeerd wordt. Hierbij moet het gedrag bekeken worden zowel onder statische als dynamische omstandigheden. Er is reeds een opstelling beschikbaar, die het mogelijk maakt het statische gedrag te bestuderen.

Voor de bestudering van de lagers is nu een proefopstelling ontworpen, waarmee het mogelijk is, zowel de dynamische als statische eigenschappen van aërostatische lagers te bepalen.

## VOORWOORD

De proefopstelling is ontworpen, onder begeleiding van ir. J.M. Wang en dr. ir. P.H.J. Schellekens, in het kader van het promotieonderzoek van ir. J.M. Wang. Dit promotieonderzoek omvat de bestudering en optimalisering van aërostatische lagers.

Voor dit promotieonderzoek heeft het meetlaboratorium al de beschikking over een proefopstelling waarmee het statische gedrag van de lagers bestudeerd kan worden. Als aanvulling is een proefopstelling ontworpen waarmee zowel het statische als het dynamische gedrag bestudeerd kan worden. Tevens kan deze opstelling gebruikt worden voor afnamecontroles van lagers, die geleverd zijn door externe instanties.

Bij het ontwerpen van de proefopstelling is, indien mogelijk, gebruik gemaakt van bestaande middelen, zodat kostenbesparend gewerkt kon worden. Dit betekende wel dat de ontwerpvrijheid enigszins beperkt werd.

## INHOUDSOPGAVE

	blz.
SAMENVATTING .....	3
VOORWOORD .....	4
1. INLEIDING .....	6
1.1. Belangrijkste eigenschappen van aërostatische lagers .....	6
1.1.1. Belastingcapaciteit, statische stijfheid .....	6
1.1.2. Damping .....	7
1.1.3. Lagerstabiliteit .....	7
1.2. Ontwerp specificaties .....	8
2. HET ONTWERP .....	10
2.1. Bespreking proefopstelling .....	10
2.1.1. Inleiding .....	10
2.1.2. De portaalconstructie .....	10
2.1.3. Overbrenging statische kracht .....	14
2.1.4. De excitator .....	15
2.1.5. Dyamische krachtsamplitude op testlager .....	15
2.1.6. Globale beschrijving van de proefopstelling.....	16
2.1.7. Eigenfrequenties bewegende gedeelte .....	18
2.1.8. Bewegingsvergelijking .....	20
2.1.9. Geleiding .....	20
2.1.10. Luchtcontactschijf .....	21
2.1.11. Scheefstelling testlager .....	21
2.1.12. Stijfheid blok en luchtcontactschijf .....	21
2.1.13. Trillingsisolering .....	22
2.1.14. Temperatuursinvloed .....	23
2.1.15. Instelbaarheid van de lagerhoogte .....	23
2.2. Instrumentatie .....	24
2.2.1. Aansturing excitator .....	25
2.2.2. Aansturing pneumatisch cilinder .....	25
2.2.3. Meting van de optredende krachten .....	25
2.2.4. Meting $h_0$ en $\delta h$ .....	25
2.2.5. Meting gasverbruik .....	25
2.2.6. Meting versnelling en $\delta h$ .....	25
LITERATUUR .....	27
BIJLAGEN .....	28
Bijlage A tekeningen .....	28
Bijlage B Resultaten GIFTS en SEPRAN .....	45
Bijlage C Berekening eigenfrequenties bewegende gedeelte.....	60
Bijlage D Stijfheid pneumatische cilinder .....	63
Bijlage E Berekening stijfheid blok en luchtcontactschijf .....	64
Bijlage F Typen excitatoren .....	66
Bijlage G Instrumentatie .....	72

## 1. INLEIDING

Voor de bestudering van het statische en dynamische gedrag van aërostatische taatslagers is een proefopstelling ontworpen, die het mogelijk maakt de karakteristieke eigenschappen van deze luchtlagers te onderzoeken.

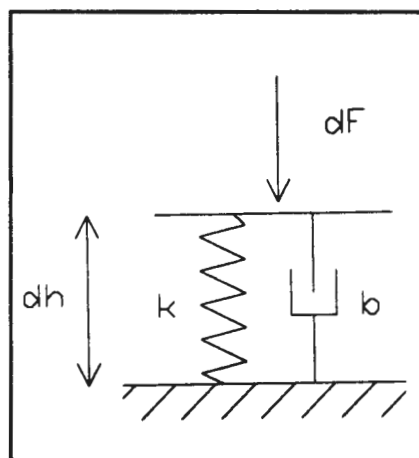
Alvorens het ontwerpproces te bespreken, zullen eerst in het kort enkele van deze eigenschappen behandeld worden.

### 1.1. Belangrijkste eigenschappen van aërostatische lagers

De gasfilm wordt opgevat als een veer-demper-systeem. De massa draagheid van de gasfilm is te verwaarlozen ten opzichte van de veer- en dempingskracht aangezien de massa van de gasfilm zeer gering is.

In figuur 1 is het gemodelleerde veer-demper-systeem weergegeven.

In de literatuur [1,2] worden voor de weergave van de gasfilm verschillende soorten modellen van veer-demper-systemen behandeld, waarbij onder andere rekening is gehouden met gecombineerde eigenschappen van gasfilm en restrictor. Voor de eenvoud wordt hier van het model in figuur 1 uitgegaan. Dit model is geldig bij kleine  $dF$ .



figuur 1 gemodelleerde veer-demper systeem

#### 1.1.1. Belastingscapaciteit, statische stijfheid

De belastingscapaciteit  $W$  is gedefinieerd als de integraal van de drukverdeling  $p$  over het lageroppervlak  $A$ .

$$W = \iint_A p \, dA \quad (1.1.1.a.)$$

De statische stijfheid  $S$  is gedefinieerd als de afgeleide van de belastingscapaciteit  $W$  naar de zweefhoogte  $h_0$ .

$$S = -dW/dh_0 = -\iint_A dp/dh_0 \, dA \quad (1.1.1.b.)$$

De vorm van de drukverdeling wordt bepaald door de spleetvorm, de zweefhoogte,

de randvoorwaarden aangaande de druk, de volumestroom van het gas, de snelheden en de temperatuur aan het einde van de spleetuitlaat en de restrictorinlaat.

### 1.1.2. Damping

Door onder andere de impulsresponsie en stapresponsie van het lager te bepalen, kunnen de dempingseigenschappen bestudeerd worden.

### 1.1.3. Lagerstabiliteit

Het is noodzakelijk dat een aërostatisch lager stabiel is tijdens gebruik. In literatuur [1,2] wordt de stabiliteit behandeld. Uit de praktijk blijkt dat de frequenties waarbij instabiliteit optreed zelden 1000 [Hz] overschrijden.

Een aërostatisch lager kan beschouwd worden als een servosysteem waarbij de overdrachtsfunctie (de frequentieresponsie) de belastingsverandering tegen de spleetwijdteverandering weergeeft. De frequentieresponsie is belangrijk voor de bepaling van de stabiliteit van de lagerspleet. Wanneer we het model in figuur 1 aanhouden en de frequentieresponsie van de gasfilm gelijkstellen met die van het veer-demper systeem dan geldt:

$$K(\omega) = k + j\omega b \quad (1.1.3.a.)$$

waarin  $k$  de dynamische stijfheid (het reële gedeelte van de frequentieresponsie) en  $b$  de dynamische demping is. Men verkrijgt  $b$  door het imaginaire gedeelte van de frequentieresponsie te delen door  $\omega$ .

Het blijkt dat  $k$  en  $b$  frequentieafhankelijk zijn. Voor verdere informatie wordt verwezen naar literatuur [1,2].

## 1.2. Ontwerp specificaties

De proefopstelling moet aan de volgende eisen voldoen:

1) Het leveren van een statische kracht tot 3000 [N] (voor het geval meer lagers tegelijk getest moeten worden).

2) Het uitvoeren van dynamische metingen tot 1000 [Hz].

3) Het leveren van een lineair toenemende kracht van 0 tot 100 [N] binnen 1 [s].

4) Het leveren van een stoot- en een stapbelasting.

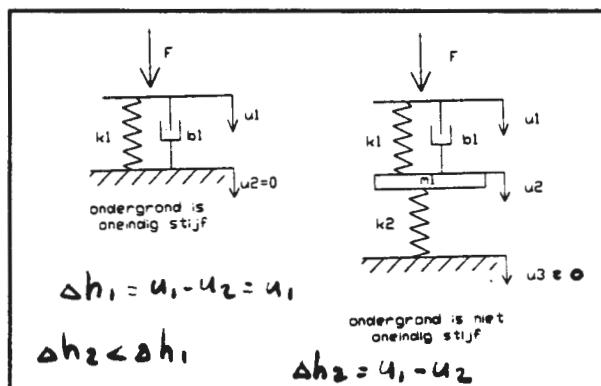
5) Aangezien bij de bepaling van de frequentieresponsie de constructie bloot wordt gesteld aan een brede frequentierange, is het wenselijk dat eigentrillingsvormen in het verticale vlak buiten deze frequentierange vallen. Eigentrillingsvormen in het horizontale vlak optredend binnen de frequentierange beïnvloeden de meetresultaten slechts in geringe mate.

Toch moet hier opslingering worden voorkomen. Dit gebeurt door demping tussen de verbindingdelen maar kan ook gebeuren door dempers te plaatsen op strategische plaatsen. Na fabricage van de proefopstelling kan met behulp van een modale analyse bepaald worden waar deze dempers eventueel geplaatst moeten worden.

6) Onder invloed van statische en dynamische krachten zal een filmdiktevariatie optreden. Aangezien de verplaatsingen in het  $\mu\text{m}$  gebied optreden is het van belang dat de gemeten verplaatsingen overeenkomen met de verplaatsingen die worden veroorzaakt door de opgelegde krachten, willen we de in 1.1. besproken eigenschappen nauwkeurig kunnen bepalen.

In figuur 2 is een en ander voor het geval het een statische kracht betreft, grafisch weergegeven.

Indien de ondergrond niet oneindig stijf is, zal onder invloed van een gelijke kracht een kleinere verplaatsing worden gemeten. Wanneer de verplaatsing  $u_2 - u_3$  van de ondergrond echter ook wordt gemeten, zijn de karakteristieke eigenschappen van het lager toch nauwkeurig te bepalen. Aangezien bij een meetmethode echter altijd gestreefd wordt naar eenvoud, is het zaak de ondergrond zo stijf mogelijk te maken, zodat het verschil met een oneindig stijve ondergrond verwaarloosbaar is en  $u_2 - u_3$  niet gemeten hoeft te worden.



figuur 2 invloed ondergrond op de gemeten verplaatsing

In paragraaf 2.1.12 en bijlage E wordt de ondergrond behandeld.



7)De proefopstelling moet in staat zijn zowel afzonderlijke lagers, als mechanische structuren die meer lagers bevatten, te testen.

## **2. HET ONTWERP**

### **2.1. Bespreking proefopstelling**

#### **2.1.1. Inleiding**

Zoals ook al in het voorwoord gezegd is, is in verband met de kosten, zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande middelen. De portaalconstructie die beschreven wordt in 2.1.2. was reeds aanwezig en is aangepast voor de proefopstelling. Tevens is gebruik gemaakt van een excitator (2.1.4) en instrumentatie (2.2.) die ook reeds aanwezig waren. In bijlage A zijn de tekeningen weergegeven.

Hieronder volgt een beschrijving van de verschillende onderdelen van de proefopstelling.

#### **2.1.2. De portaalconstructie**

Met behulp van het eindige elementen pakket GIFTS is zowel het statische als het dynamische gedrag van de portaalconstructie bekeken. In respectievelijk figuur 3 en figuur 4 zijn de portaalconstructie en het model van deze constructie te zien.

Wat betreft de kinematische randvoorwaarden zijn van de onderste vier knooppunten (81,82,83,84) de zes vrijheidsgraden onderdrukt.

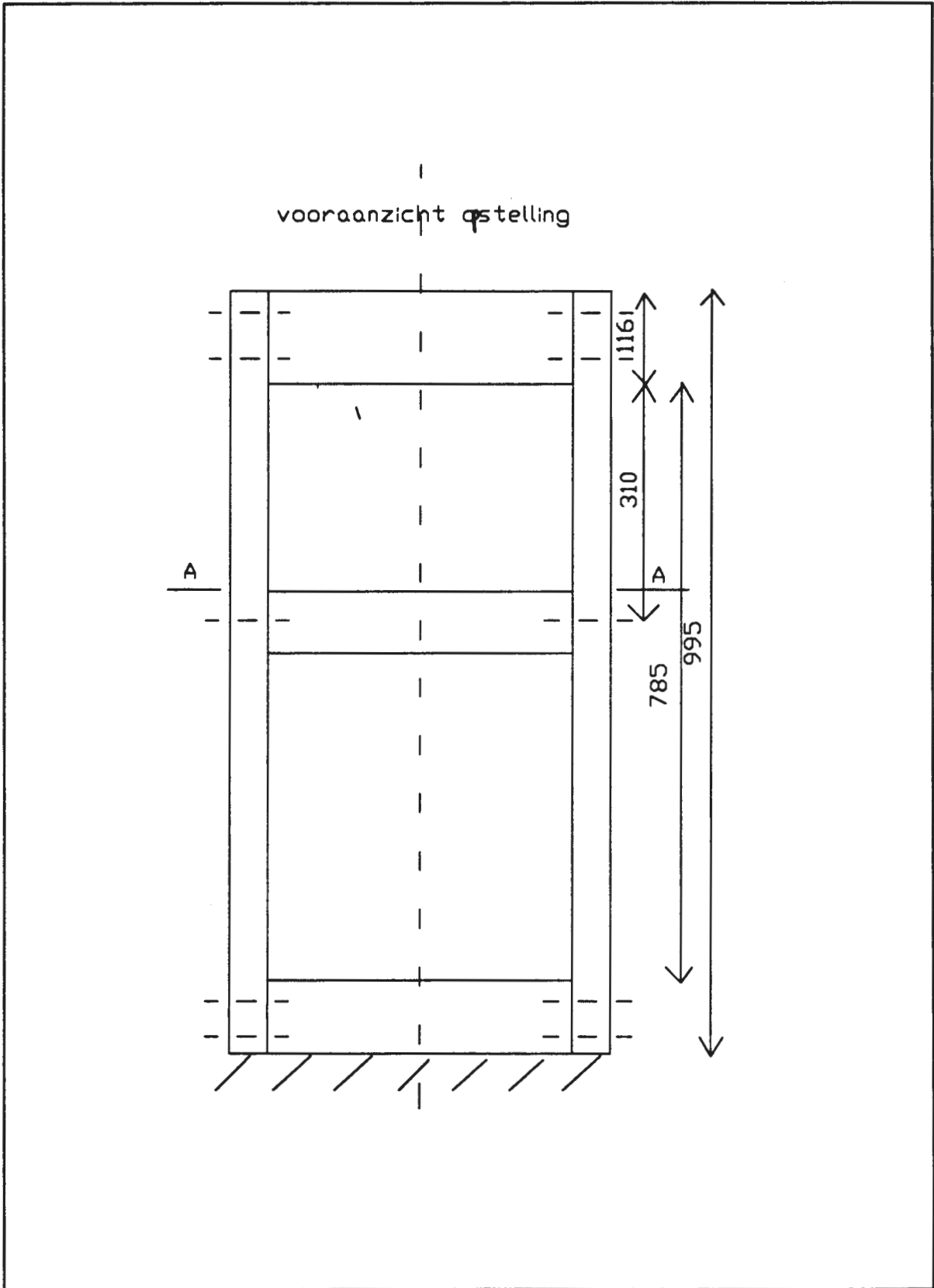
Wat betreft de dynamische randvoorwaarden werkt op de bovenste plaat bij benadering een maximale kracht -340 [N] (gewicht excitator + maximale dynamische amplitude die de excitator kan leveren) en op de middelste plaat een maximale kracht van 3000 [N] (pneumatische cilinder).

De statische doorbuiging van de portaalconstructie onder invloed van de gegeven krachten blijkt na berekening verwaarloosbaar te zijn (zie bijlage B).

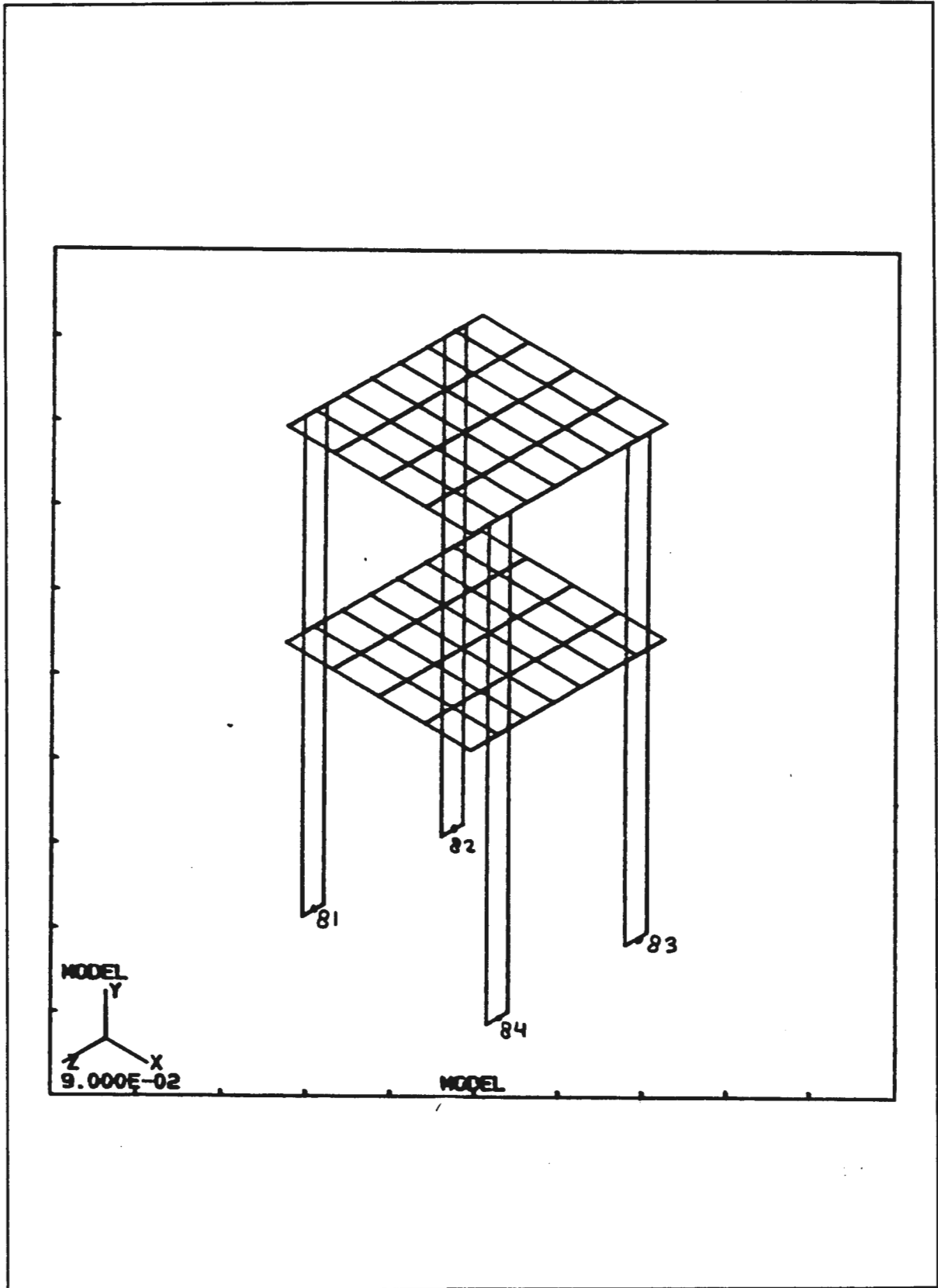
GIFTS is in staat dynamische berekeningen uit te voeren waarmee de eigentrillingsvormen en de bijbehorende frequenties bepaald kunnen worden. In bijlage B zijn deze eigentrillingsvormen weergegeven alsmede materiaal-, knooppunt- en elementinformatie. Eigentrillingsvormen in het verticale vlak blijken tot 1000 [Hz] niet op te treden. De zes eigentrillingsvormen in het horizontale vlak treden op in een frequentiegebied tot 227 [Hz], waarvan de eerste drie in een gebied tot 36 [Hz].

Deze worden veroorzaakt door de grote massa van de bovenste plaat.

Aangezien de middelste plaat geen eigentrillingsvormen in het verticale vlak mag veroorzaken beneden de 1000 [Hz], is voor een stijve plaat gekozen. De grote massa van deze stijve plaat is echter wel verantwoordelijk voor de lage frequenties van de vierde, vijfde en zesde trillingsvorm. Verkleining van de massa van de plaat (bijvoorbeeld door het boren van gaten of door het plateau samen te stellen uit meerdere balken) met behoud van voldoende stijfheid, heeft als gevolg dat de frequenties van de vierde en hogere trillingsvormen omhoog gaan. Dit zal tot gevolg hebben dat over de totale frequentierange tot 1000 [Hz] de eigentrillingsvormen verspreid zullen optreden. Bovendien kunnen er door een veranderde geometrie een aantal trillingsvormen bijkomen in het 1000 [Hz] gebied. In eerste instantie wordt er gekozen voor een stijve plaat.



figuur 3 de portaalconstructie van de opstelling



figuur 4 model van de portaalconstructie

### 2.1.3. Overbrenging statische kracht

Drie mogelijkheden zijn voorhanden:

- 1 mechanisch (b.v. schroefdraad of hefboomoverbrenging)
- 2 pneumatisch (pneumatische cilinder)
- 3 hydrostatisch (hydraulische cilinder)

Aangezien er een maximale kracht van 3000 [N] moet worden geleverd, zijn alle drie de mogelijkheden toereikend.

In verband met trillingen in de proefopstelling veroorzaakt door de excitator vervalt een hefboomoverbrenging, aangezien door eventuele resonantie van de hefboomoverbrenging geen constante kracht geleverd kan worden.

In het geval dat we ook kijken naar de bestuur- en regelbaarheid van de statische kracht dan voldoen 2 en 3 het beste.

Kiezen we voor een cilinder, dan heeft de cilinder als taak een statische kracht uit te oefenen op het testlager. De slag van de cilinder is erg klein (grootte orde van de zweefhoogteverandering van het testlager onder invloed van de statische kracht).

Een hydraulische cilinder heeft als groot nadeel dat de proefopstelling altijd vervuild is met lekkende olie. Bij het testen van de lagers is het van belang dat de contactoppervlakken schoon en dus olievrij moeten zijn.

Een pneumatische cilinder heeft als voordeel dat ze geen vervuiling met zich meebrengt. Hierbij komt nog dat olie een medium is dat nagenoeg niet samendrukbaar is. Lucht is dit wel. Dit betekent dat bij een pneumatische cilinder de druk met behulp van een regelventiel relatief eenvoudig kan worden gevarieerd.

De nauwkeurigheid van de aangeboden druk hangt uiteraard af van de nauwkeurigheid van het regelventiel. In bijlage G zijn de gegevens te vinden van een proportioneel precisie drukventiel.

Een nadeel van een pneumatische in vergelijking met een hydraulische cilinder kan zijn dat de afmetingen veel groter zijn. Dit komt doordat de krachtdichtheid van een pneumatische overbrenging veel lager is (zie literatuur [9]). Een pneumatische cilinder werkt vaak met drukken tot 7 [bar] terwijl een hydraulische cilinder werkt met drukken tot een paar honderd bar.

Gezien de voordelen die een pneumatische cilinder met zich meebrengt, en het feit dat in de meetkamer perslucht aanwezig is, wordt gekozen voor een pneumatische cilinder. Aangezien er geen enkelwerkende cilinders voor het gewenste krachtbereik standaard beschikbaar zijn, wordt voor een dubbelwerkende pneumatische cilinder gekozen. Tevens moet de cilinder beschikken over een doorlopende zuigerstang omdat op de zuigerstang een dynamische kracht uitgeoefend wordt. Voor de specificaties van de cilinder en regelventiel zie bijlage G.

Voor de stijfheid van de cilinder zie bijlage D.

#### 2.1.4. De excitator

Een elektro-magnetische excitator levert de dynamische kracht, die wordt gesuperponeerd op de statische kracht. De specificaties van de excitator zijn te vinden in bijlage F evenals een behandeling van de verschillende typen excitatoren.

In paragraaf 2.2. wordt de aansturing van de excitator besproken.

#### 2.1.5. Dynamische krachtsamplitude op testlager

De grootte van deze amplitude hangt af van de gewenste dynamische verplaatsing van het testlager ten opzichte van de tafel, de zogenaamde filmdiktevariatie  $\delta h$ .

Er wordt aangenomen dat de gasfilm zich lineair gedraagt. Dit is correct indien de filmdiktevariatie klein is ten opzichte van de filmdikte. De filmdikte die wordt veroorzaakt door een statische kracht wordt ook wel zweefhoogte  $h_0$  genoemd. De gemiddelde zweefhoogte van het lager hangt af van de statische uitwendige belasting en de toevoerdruk  $p_s$ .

Aangezien bij een normaal gaslager de zweefhoogte hooguit een tiental  $\mu\text{m}$ 's kan zijn, moet de filmdiktevariatie  $\delta h$  gezocht worden in een gebied  $< 1.0 \mu\text{m}$ .

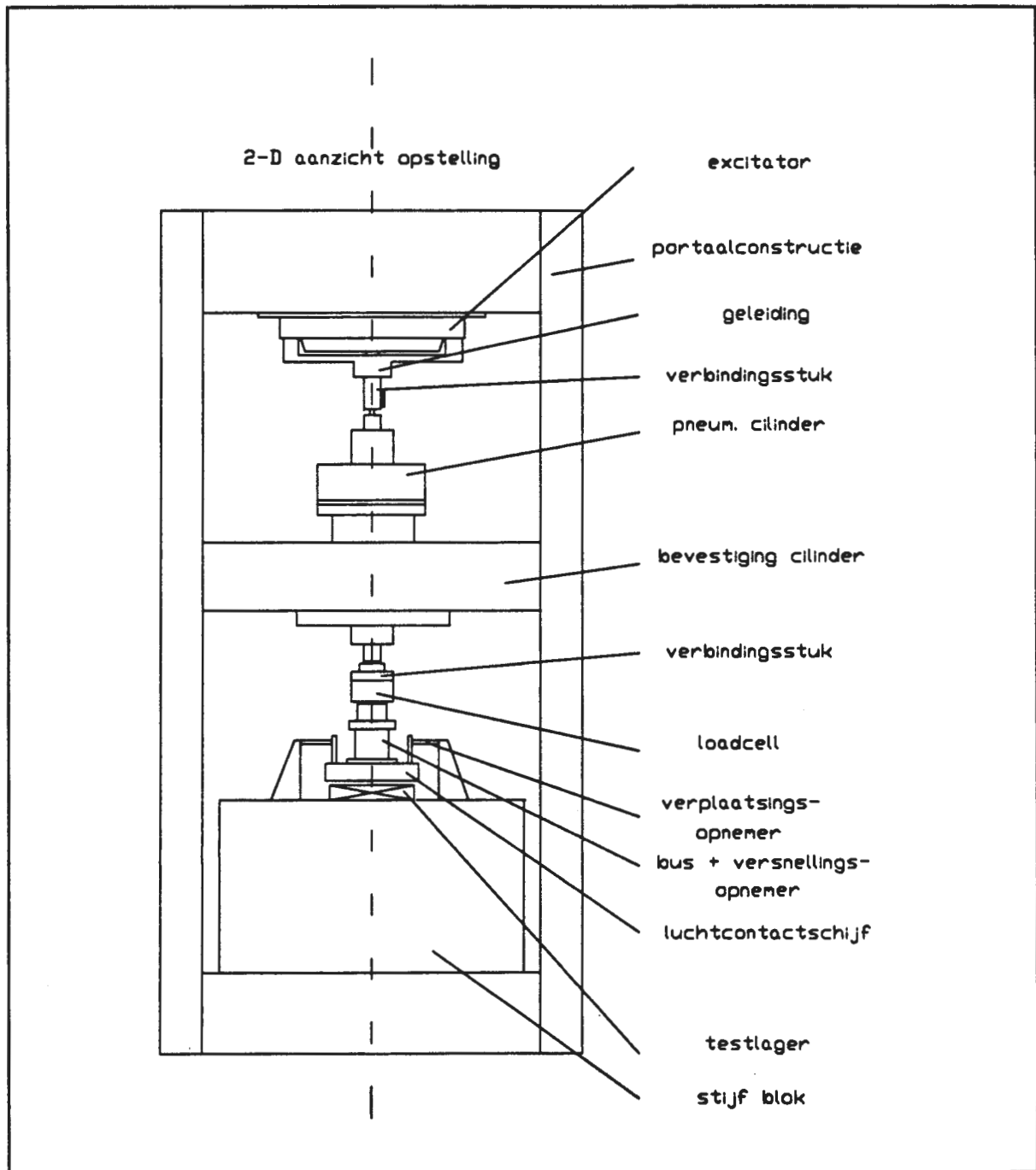
Waarborging van de lineairiteit van de gasfilm vereist dus filmdiktevariatiën  $< 1.0 \mu\text{m}$ . Deze lage waarde heeft tot gevolg dat de signaal-ruisverhouding erg laag is. Het zweefhoogtesignaal wordt dus beïnvloed door ruis. Om niet een te lage signaal-ruisverhouding te krijgen moet gelden  $0.25 \mu\text{m} < \delta h < 1.0 \mu\text{m}$ .

De excitator moet dus in staat zijn een kracht te leveren die bij het te testen lager met de hoogste stijfheid een maximale filmdiktevariatie  $\delta h = 1.0 \mu\text{m}$  kan bewerkstelligen.

Wanneer wordt aangenomen dat het lager met de hoogste stijfheid een stijfheid heeft van  $100 [\text{N}/\mu\text{m}]$ , dan moet de excitator een dynamische kracht met maximale amplitude van  $100 [\text{N}]$  op het lager kunnen uitoefenen.

### 2.1.6. Globale beschrijving van de proefopstelling

Onder invloed van een statische en dynamische kracht die op de gasfilm tussen lagerschoen en luchtcontactschijf worden uitgeoefend zal de filmdikte variëren. Deze krachten zijn in verband met het krachtenevenwicht gelijk aan de integraal van de drukvariatie over heel het lageroppervlak. Door nu de krachten op de gasfilm te



figuur 5 overzichtstekening van de opstelling



meten, evenals de zweefhoogte  $h_0$  en de filmdiktevariatie  $\delta h$ , kunnen de in de inleiding besproken eigenschappen bepaald worden.

In figuur 5 is de overzichtstekening van de opstelling te zien.

De statische kracht, de stapbelasting en de ramp belasting worden door een pneumatische cilinder geleverd, de dynamische kracht en de stootbelasting door een electro-magnetische excitator.

Het te testen lager wordt met de uitstroomopening naar boven gericht op een stijf blok geplaatst. Hiervoor zijn twee belangrijke redenen:

- 1) massaverlaging van het bewegende gedeelte (in 2.1.7. wordt het bewegende gedeelte behandeld).
- 2) de lagers zijn makkelijk te plaatsen aangezien er geen constructieve wijzigingen hoeven worden aangebracht.

Vervolgens wordt op het lager druk gezet en wordt op het lager door de cilinder een gewenste statische kracht uitgeoefend. Dit kan een constante kracht zijn maar ook een lineair in de tijd toenemende kracht of een stapbelasting. Met behulp van het verbindingsstuk tussen excitator en zuigerstang wordt de zuigerstang met twee schroeven vastgezet aan de excitator, waarna excitatie plaats kan vinden. Een loadcell meet de optredende statische en dynamische krachten terwijl drie contactloze inductieve opnemers (in het laagfrequentie gebied) en een versnellingsopnemer (in het hoogfrequentie gebied)  $h_0$  en  $\delta h$  meten. De versnellingsopnemer heeft ook als taak de massatraagheid van het bewegende gedeelte (zie 2.1.8.) te bepalen.

### 2.1.7. Eigenfrequenties bewegende gedeelte

Met behulp van het eindige elementen pakket Gifts zijn de eigenfrequenties met bijbehorende eigentrillingsvormen van de portaalconstructie bepaald.

Bij het bewegende gedeelte zijn eigentrillingsvormen in het verticale vlak onvermijdelijk aangezien dit gedeelte een niet te verwaarlozen massa heeft.

Ervan uitgaande dat er geen kanteffecten optreden kan het dynamische gedrag beschreven worden als een een-dimensionale beweging.

Notabene: met uitzondering van de gasfilm wordt de demping in het bewegende gedeelte verwaarloosd. In figuur 6 is het bewegende gedeelte gemodelleerd.

$m_1$  = bewegende gedeelte excitator  
+ verbindingsstuk excitator/  
cilinder

$m_2$  = zuigerstang cilinder+  
verbindingsstuk cilinder/  
load-cell + load-cell

$m_3$  = self-alignment schijfje+  
krachtgeleidingsbus+  
luchtcontact schijf.

$k_1'$  = stijfheid (niet-lin.)  
van cilinder

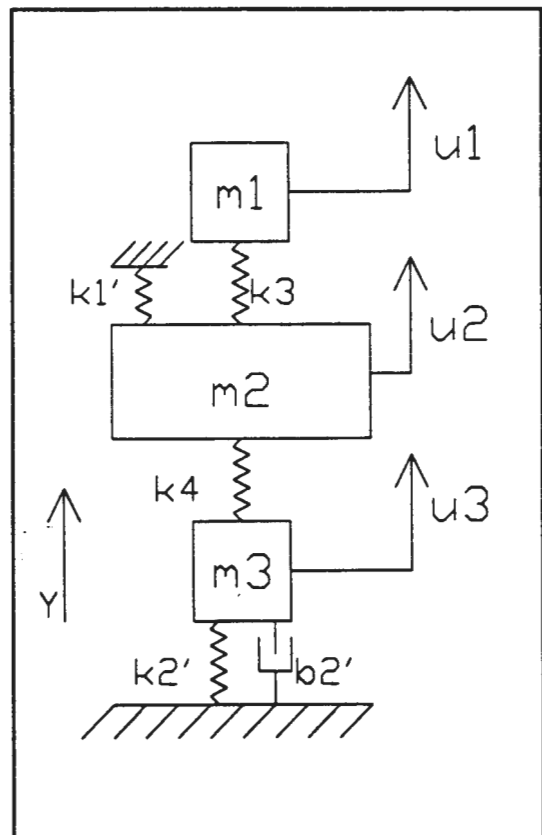
Voor bepaling  $k_1'$  zie bijlage D.

$k_2'$  = stijfheid (niet-lin.)  
van test-lager

$k_3, k_4$  = stijfheden behorende bij  
resp.  $m_1$ ,  $m_2$  en  $m_3$

$b_2'$  = demping gasfilm

$k_1', k_2' < k_3, k_4$



figuur 6 model bewegende gedeelte

Van bovenstaand model is een vereenvoudiging mogelijk, indien aangetoond kan worden dat in het frequentie-bereik tot 1000 [Hz] slechts een eigentrillingsvorm optreedt en dat de overige trillingsvormen ver boven de 1000 [Hz] optreden. De berekeningen die dit aantonen zijn te zien in bijlage C.

Het vereenvoudigde model is in figuur 7 te zien.

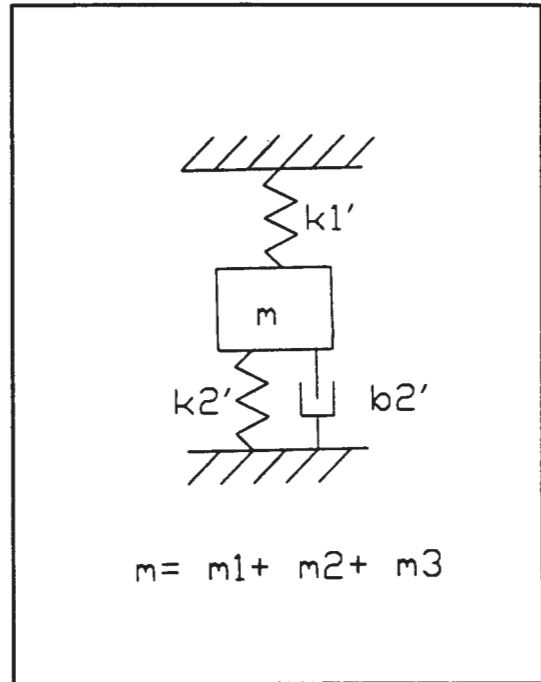
Voor dit model geldt:

$$f_1 = 1/(2\pi) \cdot \text{SQRT}((k_1' + k_2')/m)$$

$$f_1 = 1/(2\pi) \cdot \text{SQRT}(4E7/2.56)$$

$$f_1 = \pm 630 \text{ [Hz]}$$

De eigentrillingsvorm behorende bij  $f_1$  uit zich, aangezien één massa een rol speelt, in een in y-richting trillende massa.



figuur 7 vereenvoudigd model bewegende gedeelte

Het verschil van de waarde  $f_1$  met de uitgebreid berekende waarde ligt waarschijnlijk aan het feit, dat bij de uitgebreide methode met de afronding fouten zijn ontstaan. Aangezien het om grote waarden gaat en er nogal wat aannames zijn gepleegd, is een verschil van ongeveer 7 % niet zo veel. De waarde  $f_1$  van het vereenvoudigde model is waarschijnlijk het meest betrouwbare resultaat, en de uitgebreide berekening van de eigenfrequenties had hier slechts tot doel aan te tonen dat de tweede en derde eigentrillingsvorm optraden bij eigenfrequenties ver boven de 1000 [Hz].

### 2.1.8. Bewegingsvergelijking

De dynamische kracht wordt evenals de statische met behulp van een loadcell gemeten. Gezien het feit dat de krachtopnemer is opgenomen midden in de bewegende massa is in figuur 8 voor deze situatie het dynamische krachtenspel weergegeven.

Bekijken we het krachtenspel in figuur 8 dan volgt:

$$m_A u_A'' = F_{\text{excitator}} - F_{\text{dyn. gemeten}} - F_{\text{pneum.}}$$

$$m_A u_B'' = F_{\text{dyn. gemeten}} - F_{\text{op gasfilm}}$$

waarin:

$$m_A = m_1 + m_2$$

$$m_B = m_3$$

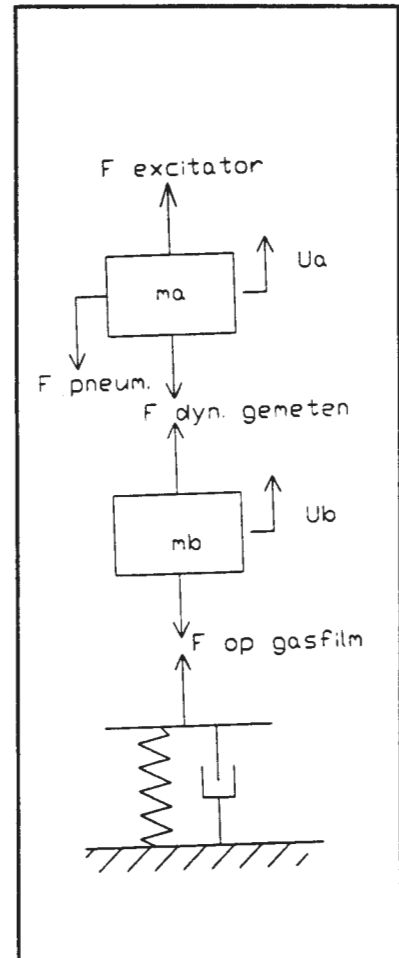
$$F_{\text{op gasfilm}} =$$

$$F_{\text{dyn. gemeten}} - m_B u_B'' = \quad (2.2.6.a.)$$

$$F_{\text{excitator}} - F_{\text{pneum.}} - m_A u_A'' - m_B u_B'' =$$

$$F_{\text{excitator}} - F_{\text{pneum.}} - m_{A+B} u'' \quad (2.2.6.b.)$$

Het blijkt dat voor de bepaling van  $F_{\text{op gasfilm}}$  de massa-traagheid van  $m_B$  meegenomen dient te worden. Deze massa-traagheid kan bepaald worden m.b.v. de versnellingsopnemer.



figuur 8 dynamisch krachtenspel

### 2.1.9. Geleiding

In bijlage A figuur A1 en A4 is de bedoelde geleiding weergegeven.

De geleiding heeft als taak te zorgen dat de stijfheid in het x-z vlak van het verbindingsstuk en zuigerstang vergroot wordt.

### 2.1.10. Luchtcontactschijf

Onder invloed van de optredende krachten zal bij deze schijf buiging optreden. De schijf is weergegeven in bijlage A figuur A1, A10 en A12. Aangezien door buiging de spleetgeometrie gewijzigd wordt, is het erg belangrijk dat deze buiging niet optreedt, omdat een veranderde spleetgeometrie tot andere meetresultaten leidt.

In figuur 9 is van de luchtcontactschijf de onvervormde en vervormde toestand getekend.

In verband met de belastingssituatie zal een maximale verplaatsing optreden in het midden van het lager. Het blijkt na berekening met behulp van het software-pakket SEPRAN dat bij de schijf met dikte 20 [mm] de doorbuiging verwaarloosbaar klein is (zie bijlage B).

### 2.1.11. Scheefstelling testlager

In eerste instantie moet scheefstelling worden voorkomen. Doordat de krachtsinleiding via de self-alignment pin gaat, corrigeert de luchtcontactschijf zichzelf indien het lager niet loodrecht op de krachtrichting staat. Er wordt op deze manier scheefstelling van het lager ten opzichte van de luchtcontactschijf voorkomen.

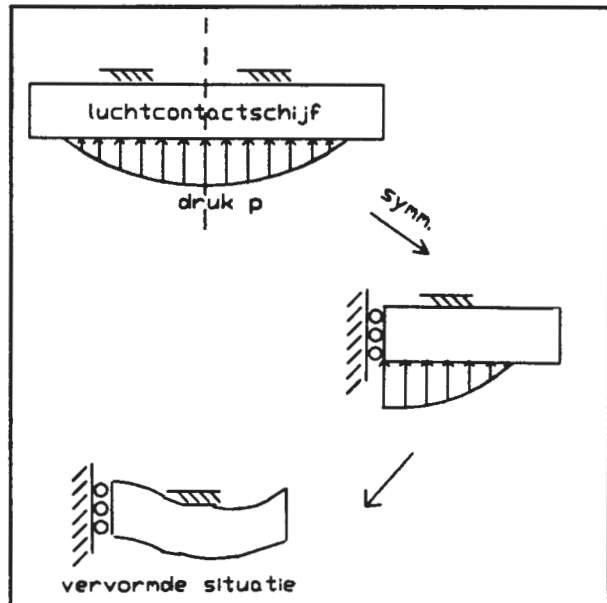
De verplaatsing van de schijf wordt door drie op gelijke afstand geplaatste contactloze inductieve opnemers gemeten. Deze opnemers zijn aan het stijve blok met behulp van statieven bevestigd. Middeling van deze drie metingen geeft een nauwkeurige verplaatsing weer van het middelpunt van de luchtcontactschijf.

### 2.1.12. Stijfheid blok en luchtcontactschijf

Gekozen is voor een granieten blok met een hoogte van 220 [mm]. De keuze is op graniet gevallen in verband met de krasbestendigheid, hoge stijfheid, de bewerkbaarheid van het oppervlak. Een stalen blok was hier ook mogelijk geweest ware het niet dat met de testopstelling ook mechanische structuren met meer dan een lager moeten kunnen worden getest. In dit geval is een granieten ondergrond het meest geschikt aangezien in een werkelijke situatie ook graniet gebruikt wordt.

Zoals ook in de inleiding is vermeld, moet dit blok zo stijf mogelijk zijn.

Na berekening blijkt dat de doorvering van het granieten blok en luchtcontactschijf verwaarloosbaar is. In bijlage E wordt de invloed van de stijfheid van het granieten blok weergegeven.



figuur 9 buiging luchtcontactschijf

### **2.1.13. Trillingsisolering**

De constructie komt in de meetkamer te staan. Uit metingen daar is gebleken dat de invloed van trillingen van buiten af nagenoeg verwaarloosbaar is. De vloer bestaat daar uit een apart fundament. Deze is passief geïsoleerd.

De testopstelling zou omringende machines kunnen hinderen, aangezien er dynamische metingen worden gedaan. De krachtsamplitudes zijn echter niet groot. Damping in de opstelling en in de vloer zal voldoende zijn.

#### **2.1.14. Temperatuursinvloed**

Temperatuursverandering zorgt ervoor dat er uitzetting zal optreden.

Wanneer we ervan uitgaan dat de uitzettingscoëfficiënten van de verschillende onderdelen gelijk zijn, zal temperatuursverandering geen invloed hebben op de meetresultaten aangezien de resulterende verplaatsing ten gevolge van uitzetting ter plekke van het testlager nul is. Het binnenwerk zet immers evenveel uit als de portaalconstructie.

Bij verschillende uitzettingscoëfficiënten van de verschillende onderdelen, treden er bij temperatuursverandering krachtvariëaties op. Deze krachtvariëaties en de daarbij gemeten spleetwijdtevariëaties worden echter gemeten. Om tijdens metingen de krachten toch enigzins constant te houden wordt de opstelling in een geconditioneerde ruimte geplaatst.

#### **2.1.15. Instelbaarheid van de lagerhoogte**

Er moeten lagers getest worden met een hoogte variërend van 12 tot 22 [mm]. Tijdens het testen van een lager is de verplaatsing van de zuigerstang te verwaarlozen. Door nu de zuigerstang in hoogte te laten variëren, kunnen de verschillende lagers getest worden.





### 2.2.1. Aansturing excitator

Aangezien we te maken hebben met een electro-magnetische excitator (zie bijlage F) is de uitgeoefende kracht door de excitator evenredig met de stroom door de spoel. Indien een sinusvormige kracht gewenst is, moet een sinusvormige stroom door de spoel gestuurd worden. In verband met oververhitting en beschadiging van de excitator zit er een maximum aan de te leveren stroomamplitude. Een toongenerator levert spanning met gewenste amplitude en frequentie aan eenversterker die op zijn beurt de stroom levert aan de excitator.

Met behulp van bijvoorbeeld een Fourier-analyser is het mogelijk de excitator te sturen met een witte-ruis signaal.

### 2.2.2. Aansturing pneumatische cilinder

Met behulp van een proportioneel-precisie-drukventiel, zie bijlage G kan de druk in de cilinder geregeld worden. Dit drukventiel kan elektronisch aangestuurd worden en is in staat het drukverloop volgens een ingesteld programma te laten verlopen.

### 2.2.3. Meting van de optredende krachten

Een loadcell meet zowel de statische als de dynamische krachten. De loadcell werkt volgens het rekstrook-principe en is aangesloten op een meetversterker. De specificaties van de loadcell en de meetversterker zijn te vinden in bijlage G. Voor de weergave van dynamische krachten wordt als aanvulling een scoop gebruikt.

### 2.2.4. Meting $h_0$ en $\delta h$

Drie contactloze inductieve opnemers (zie bijlage G) meten de zweefhoogte en filmdiktevariatie in het laagfrequente gebied (tot 300 à 400 [Hz]). De opnemers worden aangesloten op een meetversterker (zie bijlage G).

### 2.2.5. Meting gasverbruik

Het gasverbruik van de lagers wordt met behulp van een volumestroomsensor gemeten.

### 2.2.6. Meting versnelling en $\delta h$

De meting gebeurt met behulp van een piezo-electrische versnellingsopnemer. De specificaties zijn weergegeven in bijlage G. Een ladings-metversterker zet de aan het kwartsoppervlak opgewekte elektrische lading om in een spanning die geijkt kan worden in Volt/Newton.

Tevens wordt  $\delta h$  gemeten bij hoge frequenties met behulp van de versnellingsopnemer aangezien de contactloze inductieve opnemers niet geschikt zijn voor hoogfrequentie metingen. Indien we de verplaatsing zien als een harmonische trilling  $x = X e^{i\omega t}$  dan is de versnelling  $x'' = A e^{i\omega t} = -\omega^2 X e^{i\omega t}$ .

Bij hoge frequenties kunnen nu zeer kleine verplaatsingen gemeten worden omdat de hierbij behorende versnellingen hoog zijn.

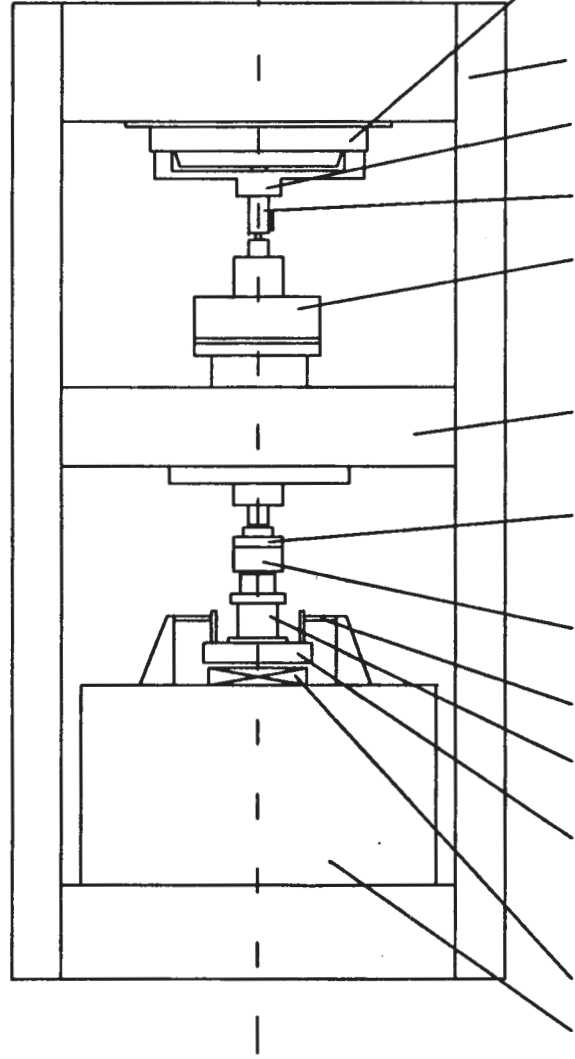
Willen we de verplaatsingen kunnen bepalen dan moet van de gemeten versnellingen de bijbehorende frequenties bekend zijn. Registratie van deze bijbehorende frequenties kan automatisch gebeuren door gebruik te maken van de Fourier-analyser.

## LITERATUUR

- [1] Wang, J.M., Design of externally pressurized gasbearings: theory and practice, report no. WPA 0921, 1990.
- [2] Plessers, P., Dynamische instabiliteit van aërostatische gaslagers in mechanische systemen, Leuven, Katholieke universiteit, 1985.
- [3] Roblee, J.W., Design of externally pressurized gasbearings for dynamic applications, Livermore, University of California, 1985.
- [4] Doebelin, E.O., Measurement systems, Application and design, 4th ed., London, Mc. Graw-Hill, 1990.
- [5] Van Campen, D.H., De Kraker, A., Het dynamische gedrag van constructies, Eindhoven, Technische universiteit, dictaat 4552, versie 1987/1988.
- [6] Van der Wolf, A.C.H., Werktuigen voor de machinefabriek, Eindhoven, Technische universiteit, dictaat 4626.
- [7] Schellekens, P.H.J., Werktuigkundige Meettechniek, Eindhoven, Technische universiteit, dictaat 4629.
- [8] Van der Wolf, A.C.H., The development of a hydraulic exciter for the investigation of machine tools, Eindhoven, Technische hogeschool, 1968.
- [9] Schlosser, W.J.M., Een samenvattende beschouwing van de overbrengingen in werktuigen, Eindhoven, Technische universiteit, dictaat 4611.

**Bijlage A Tekeningen**

2-D aanzicht opstelling



excitator

portaal-constructie

geleiding

verbindingsstuk

pneum. cilinder

bevestiging cilinder

verbindingsstuk

load-cell

verplaatsings-  
opnemer

bus + versnellings-  
opnemer

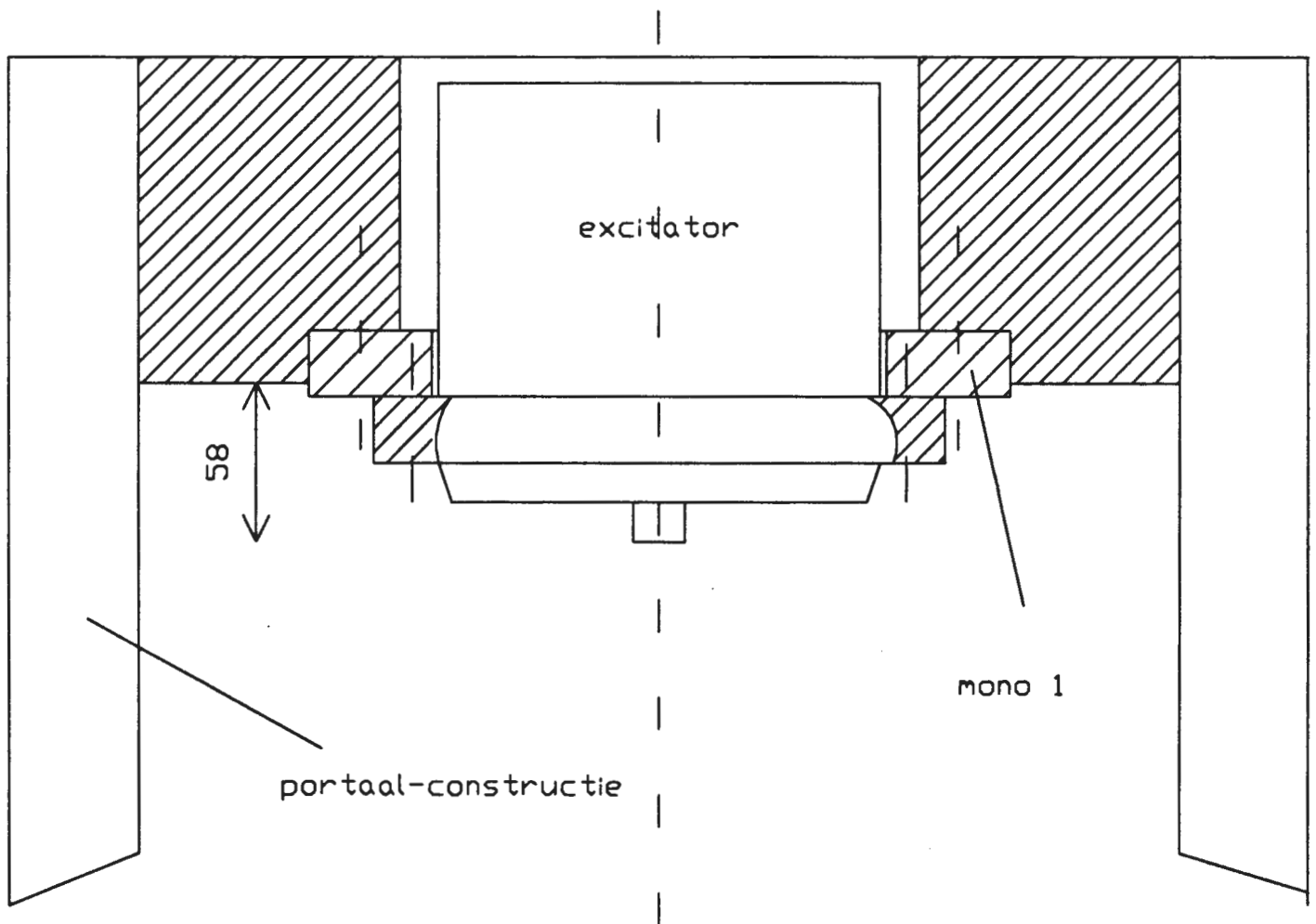
luchtcontact schijf

test-lager

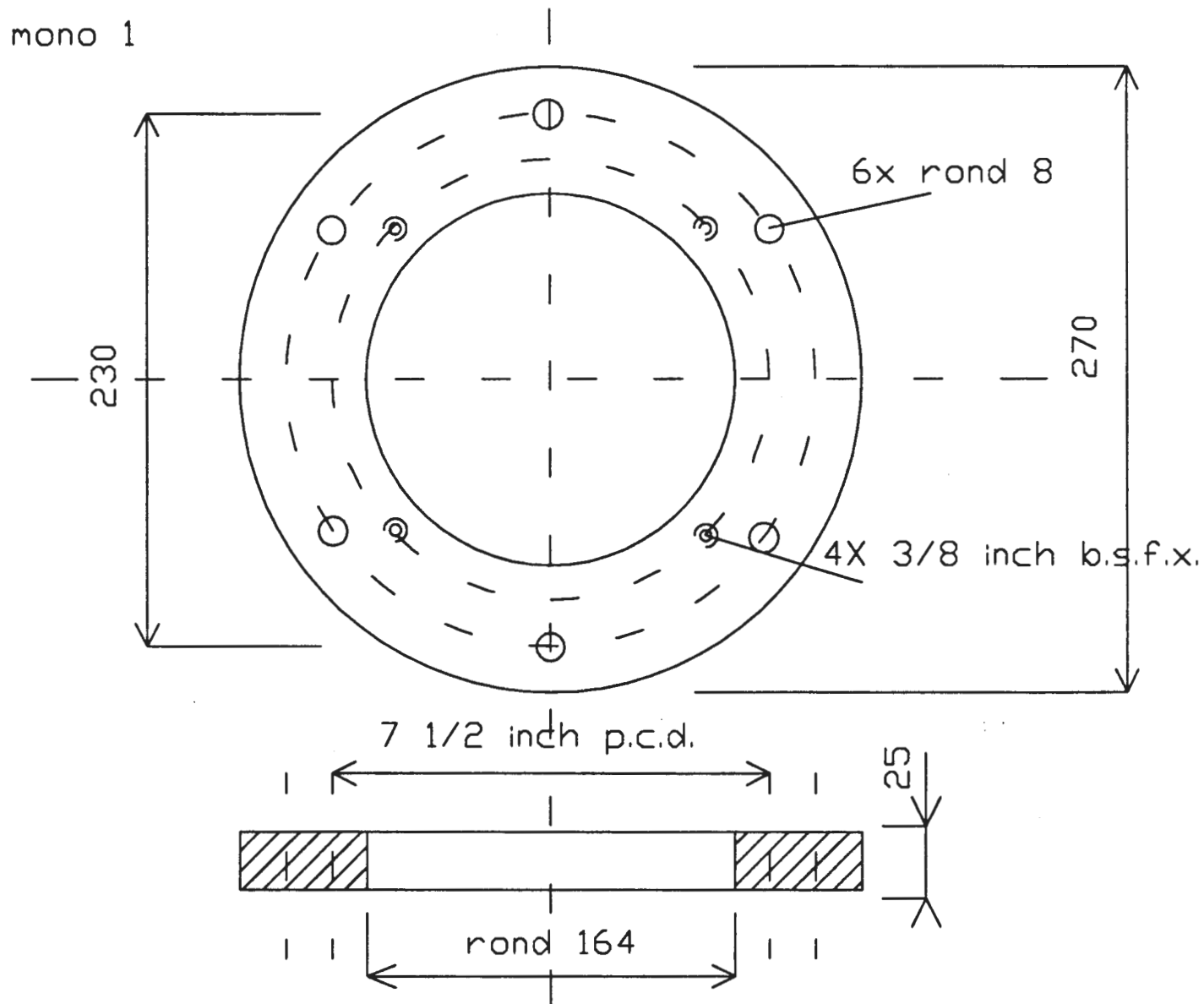
stijf blok

Figuur A1

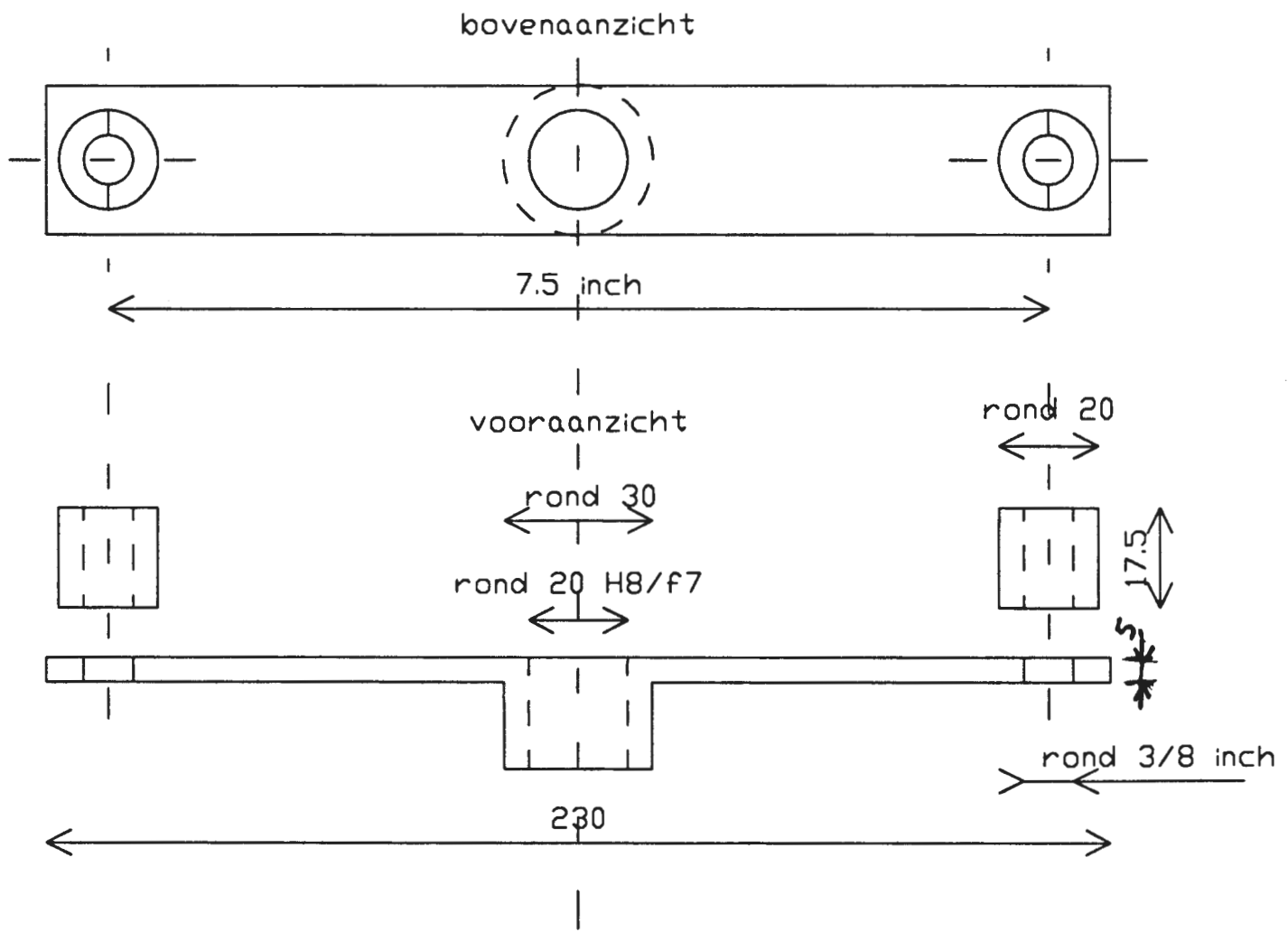
doorsnede bovenkant opstelling



Figuur A3

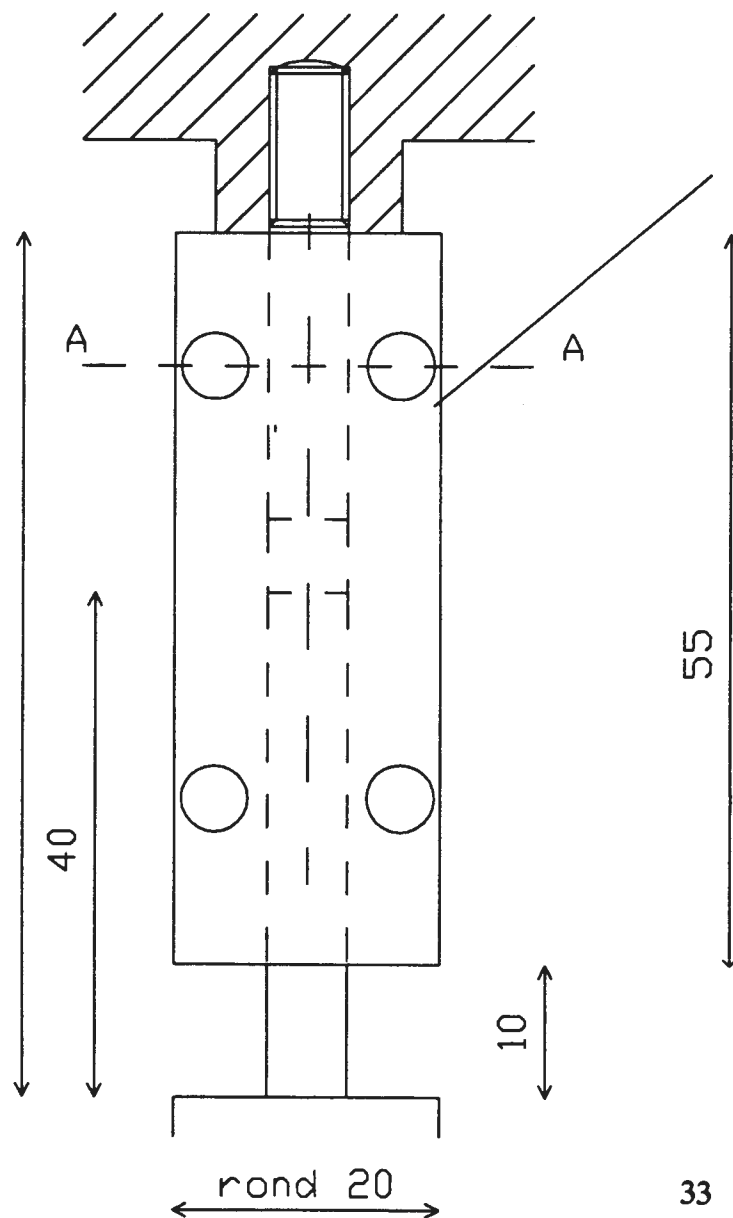


mono 2 geleiding verbindingstuk





Figuur A5

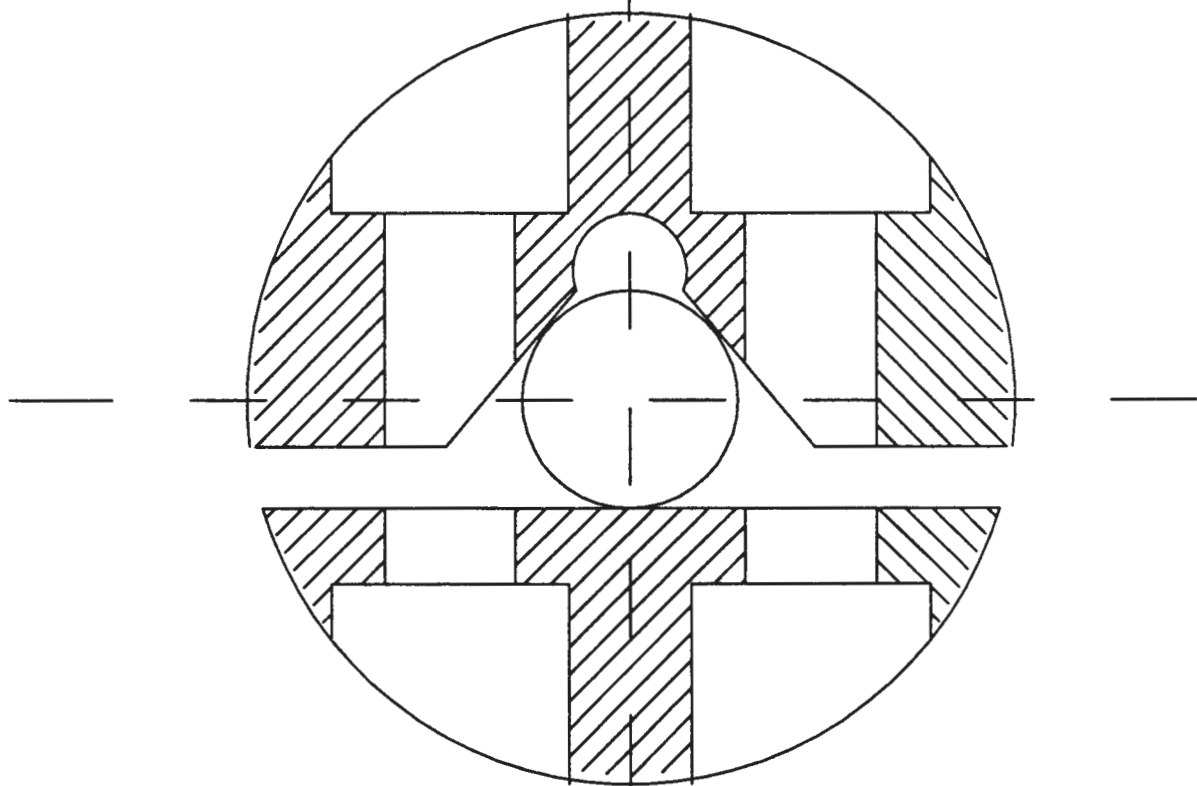


mono 3

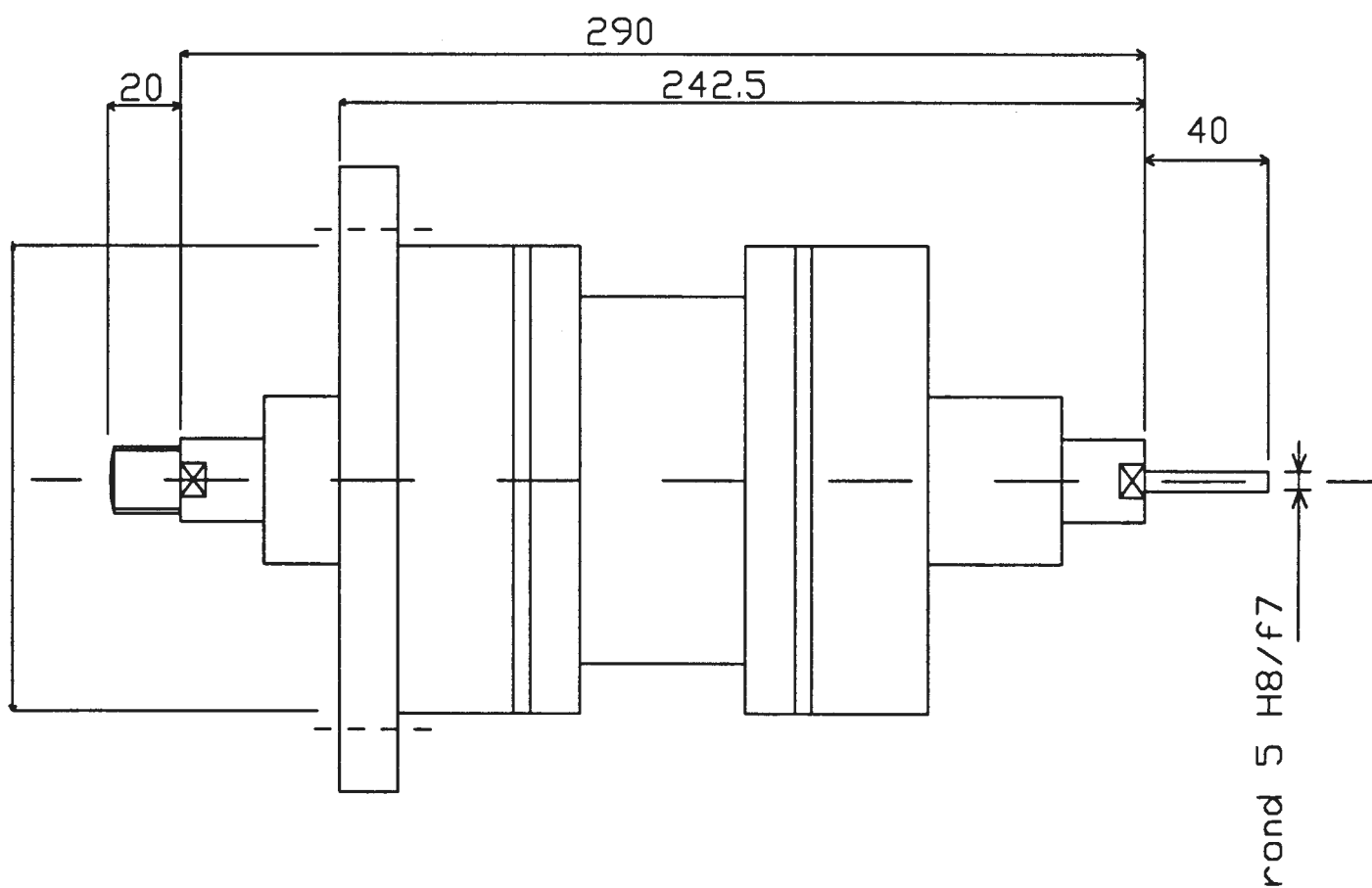
koppeling excitator/cilinder

mono 3 verbindingsstuk excitator/cilinder

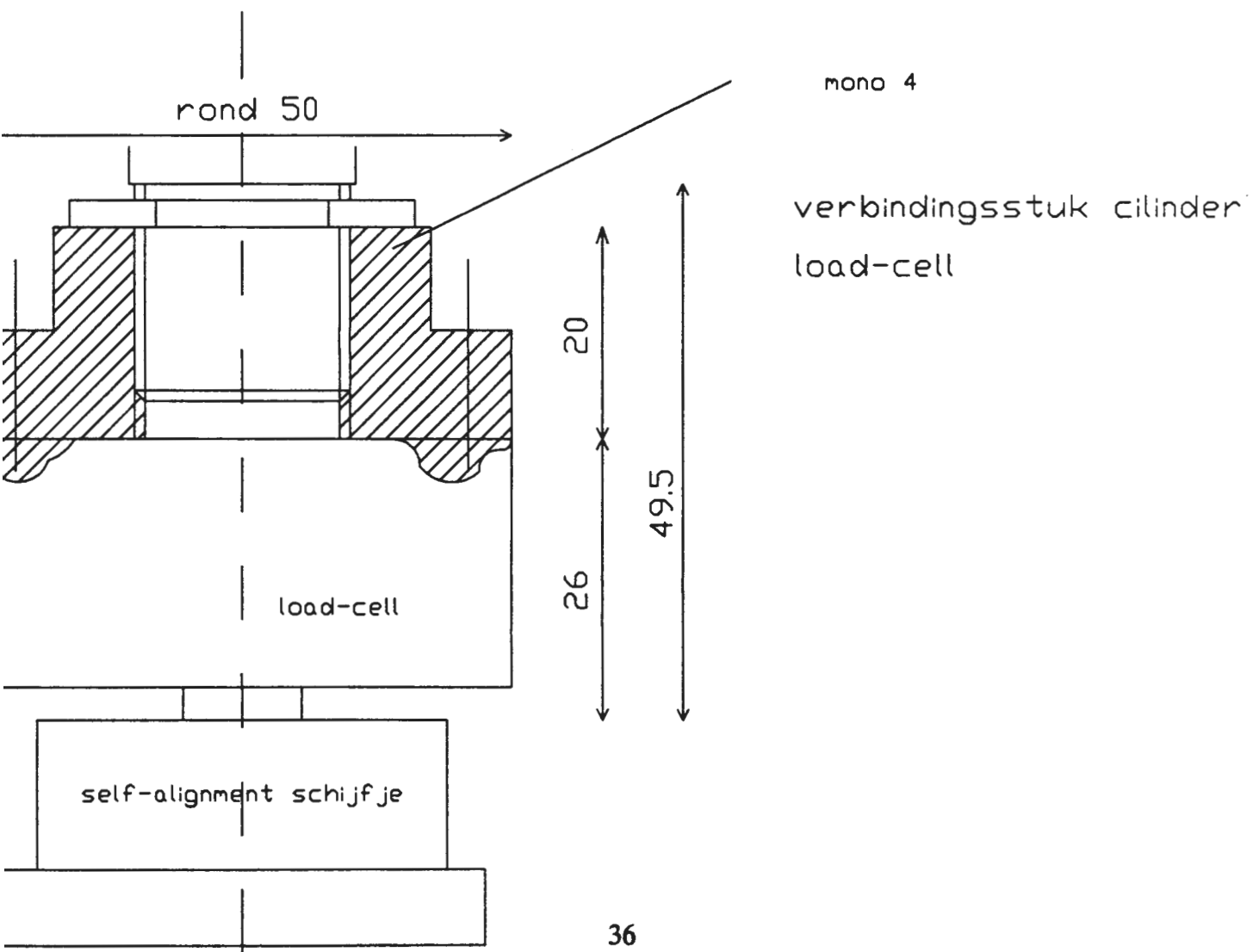
doorsnede A-A



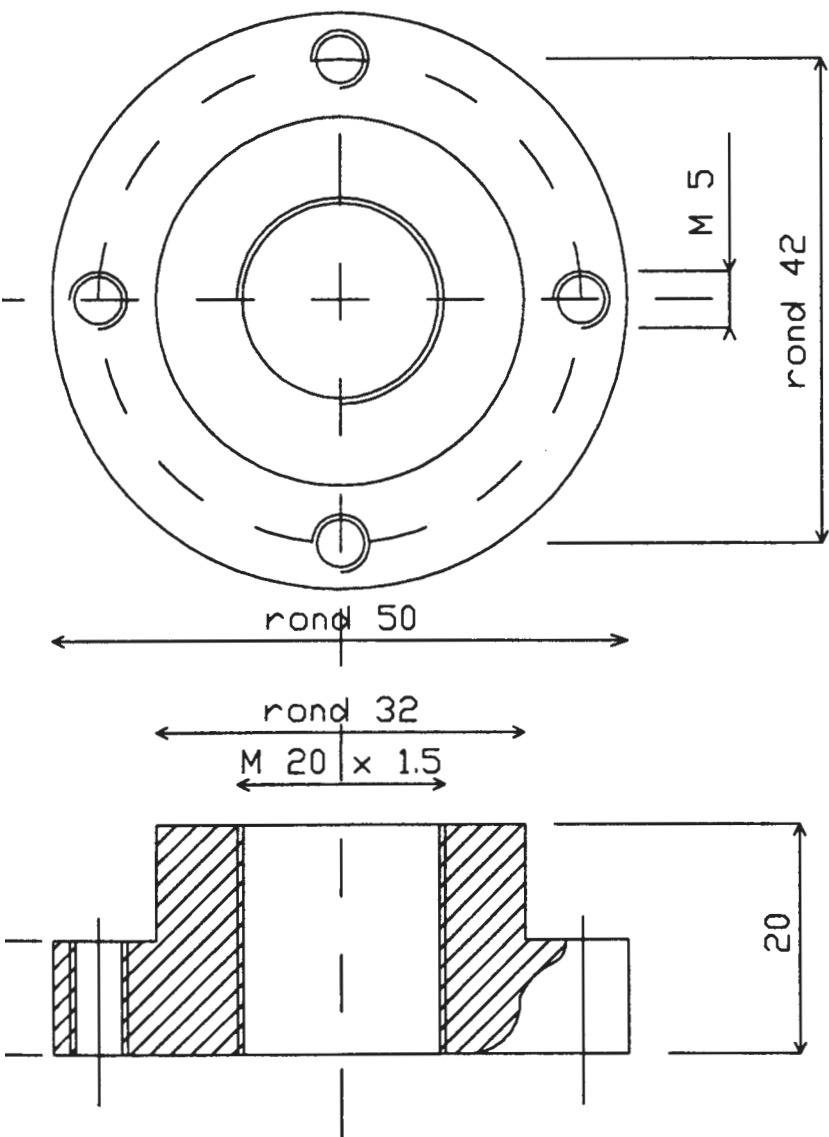
Pneumatische cilinder



Figuur A8



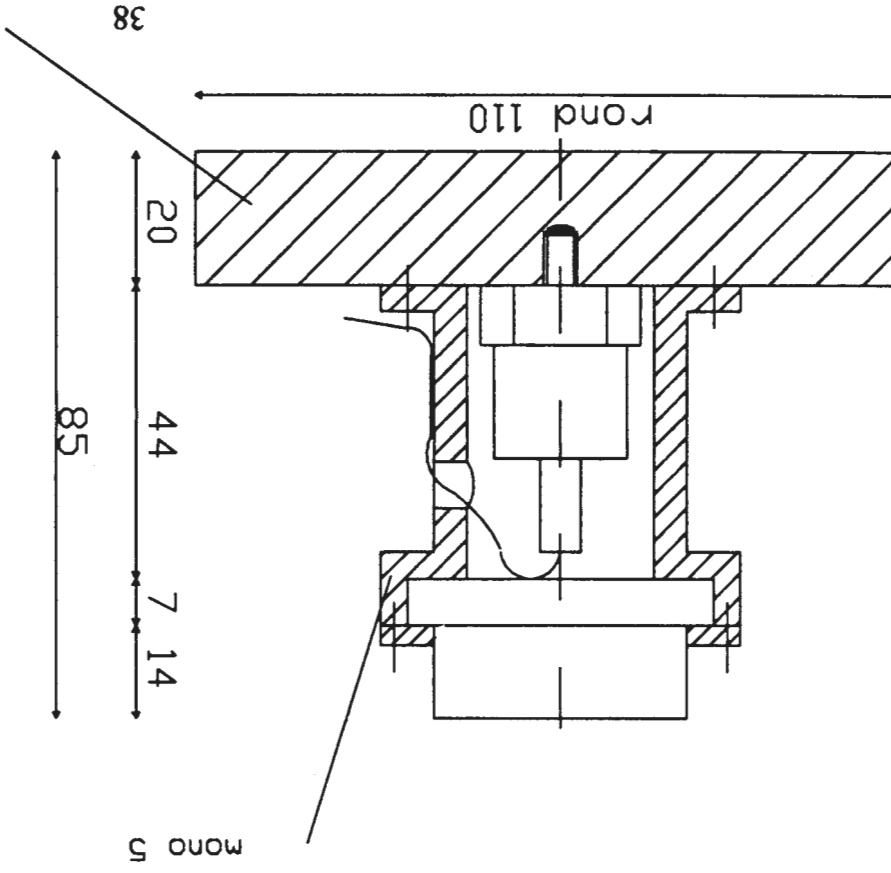
Figuur A9

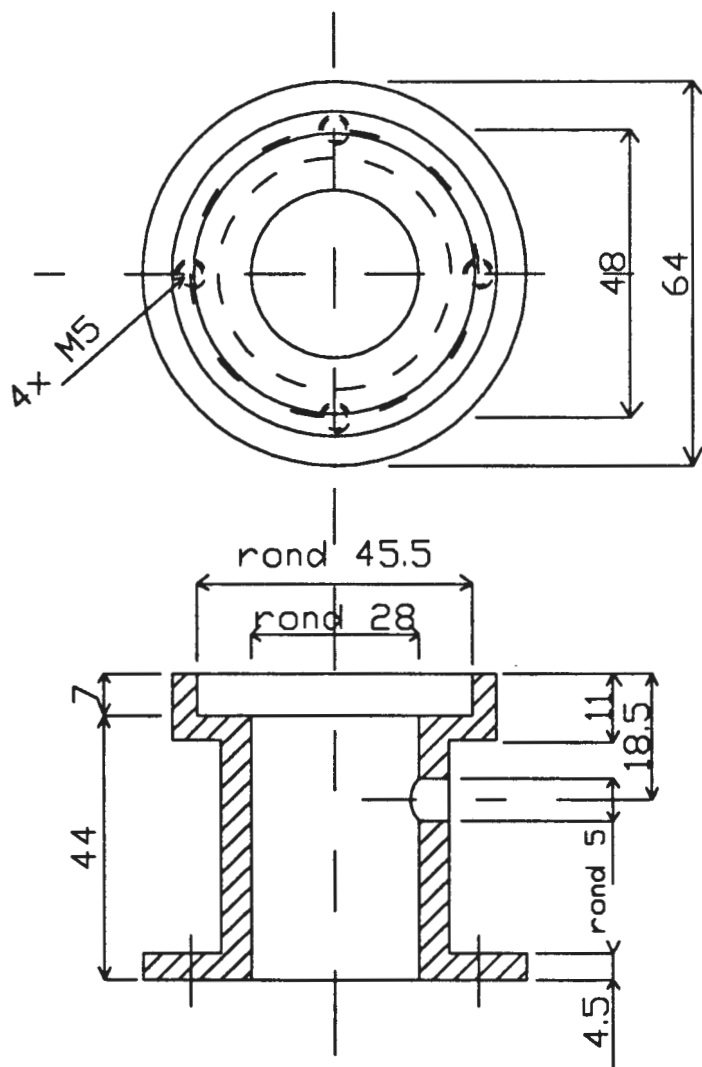


mono4 verbindingsstu  
cilinder/load-cell

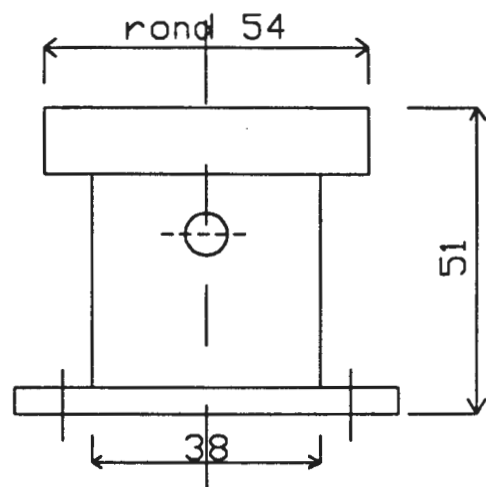
Figuur A10

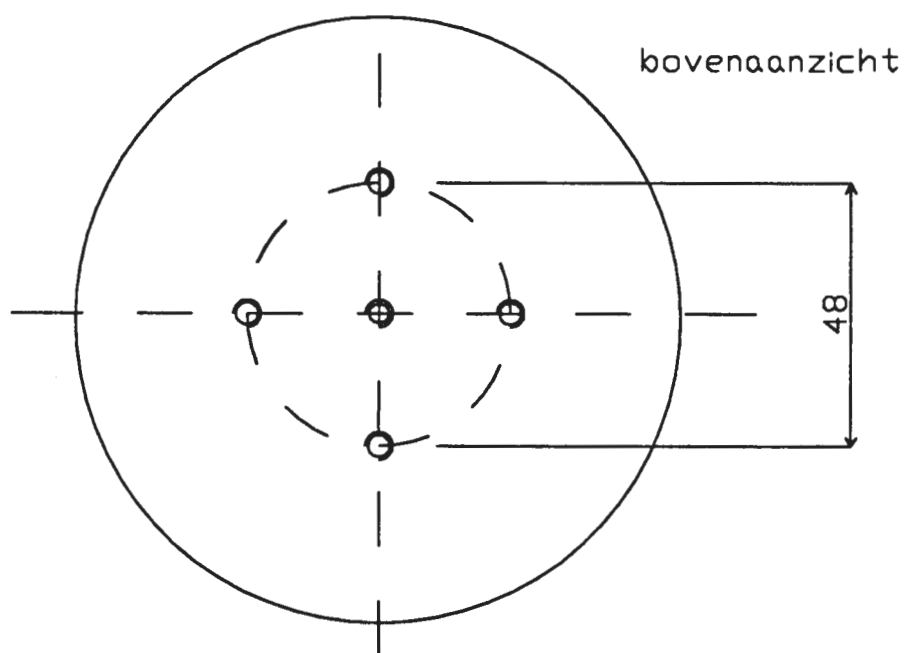
Krachtdoorleidingsconstructie  
+ versnellingsverplaatsings  
opnemer + contactoppervla  
van het gas-lager



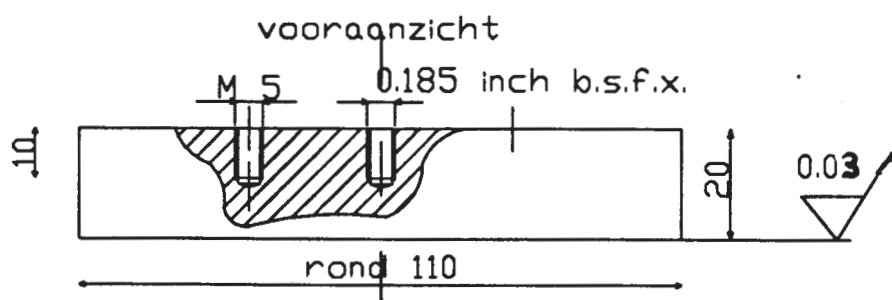


mono 5 krachtgeleidingsbus



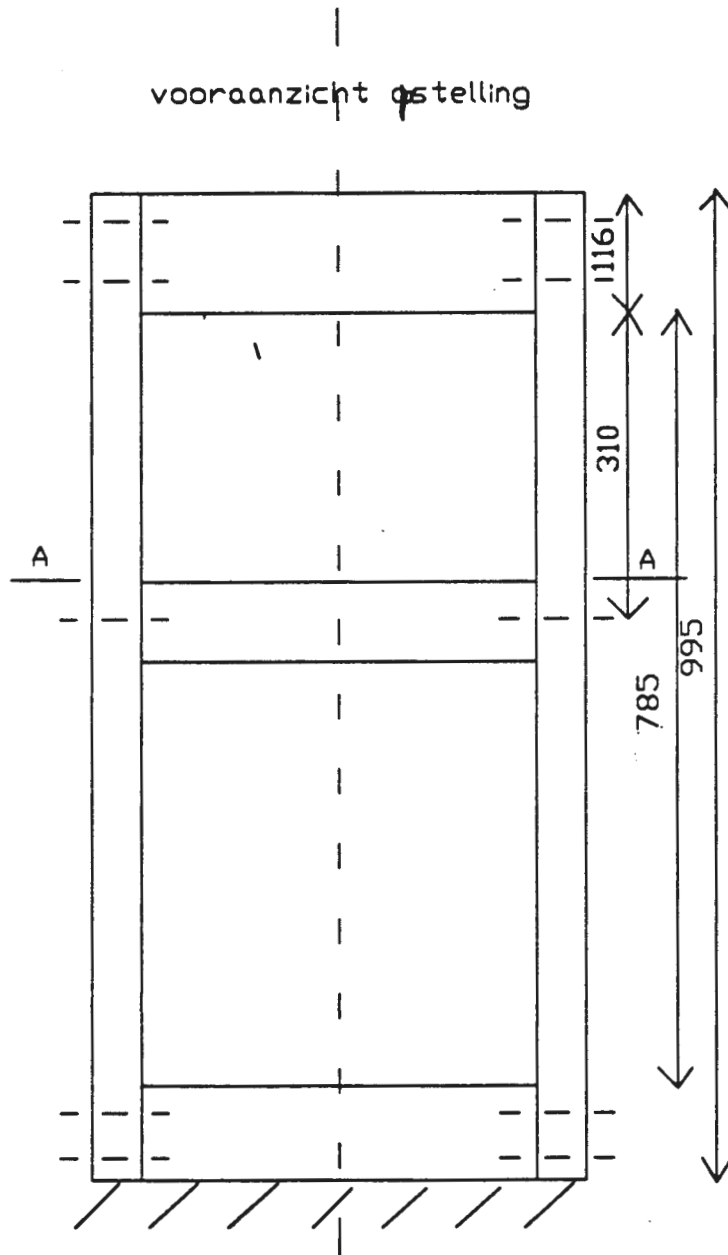


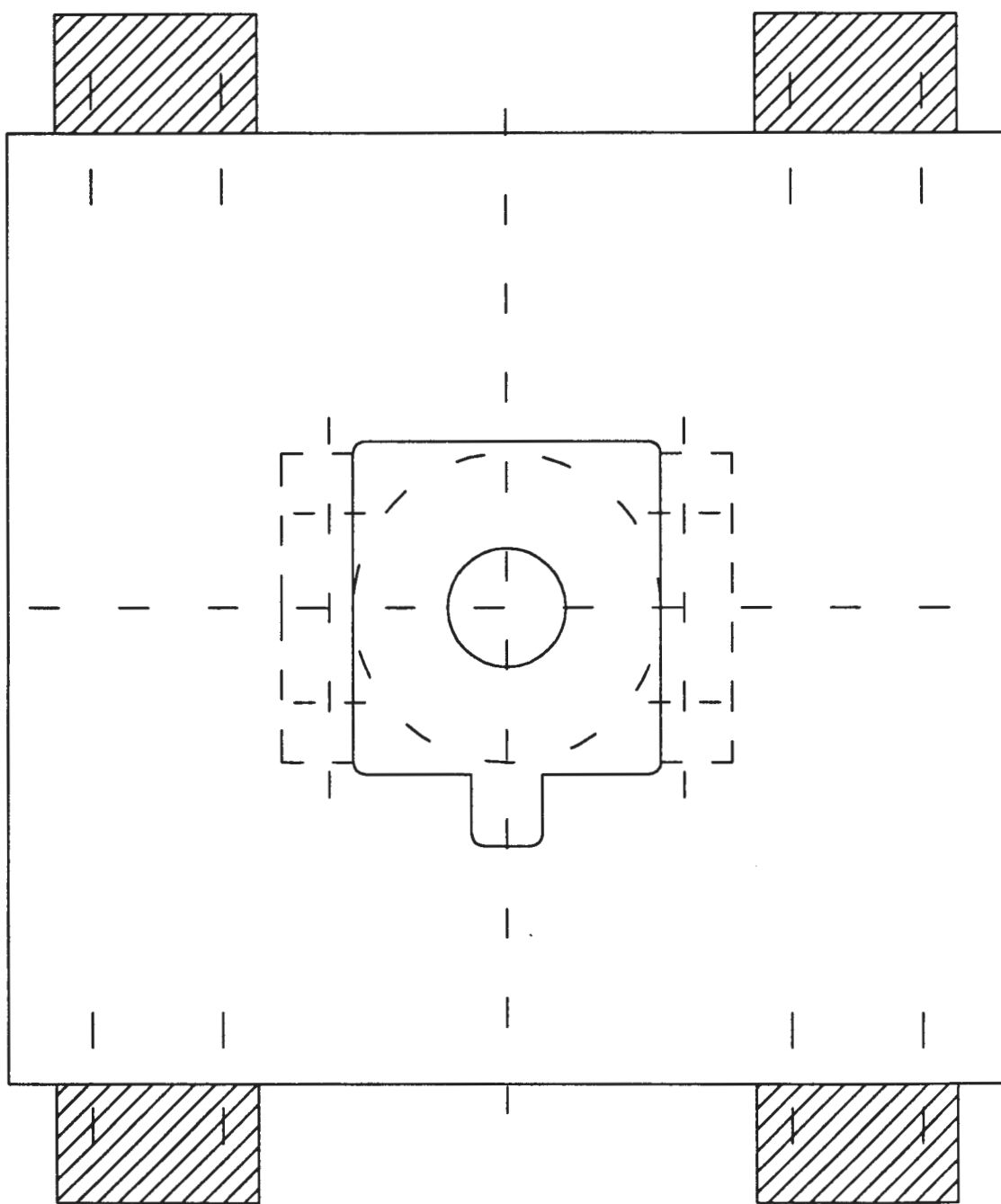
mono 6 luchtcontact  
schijf





Figuur A13

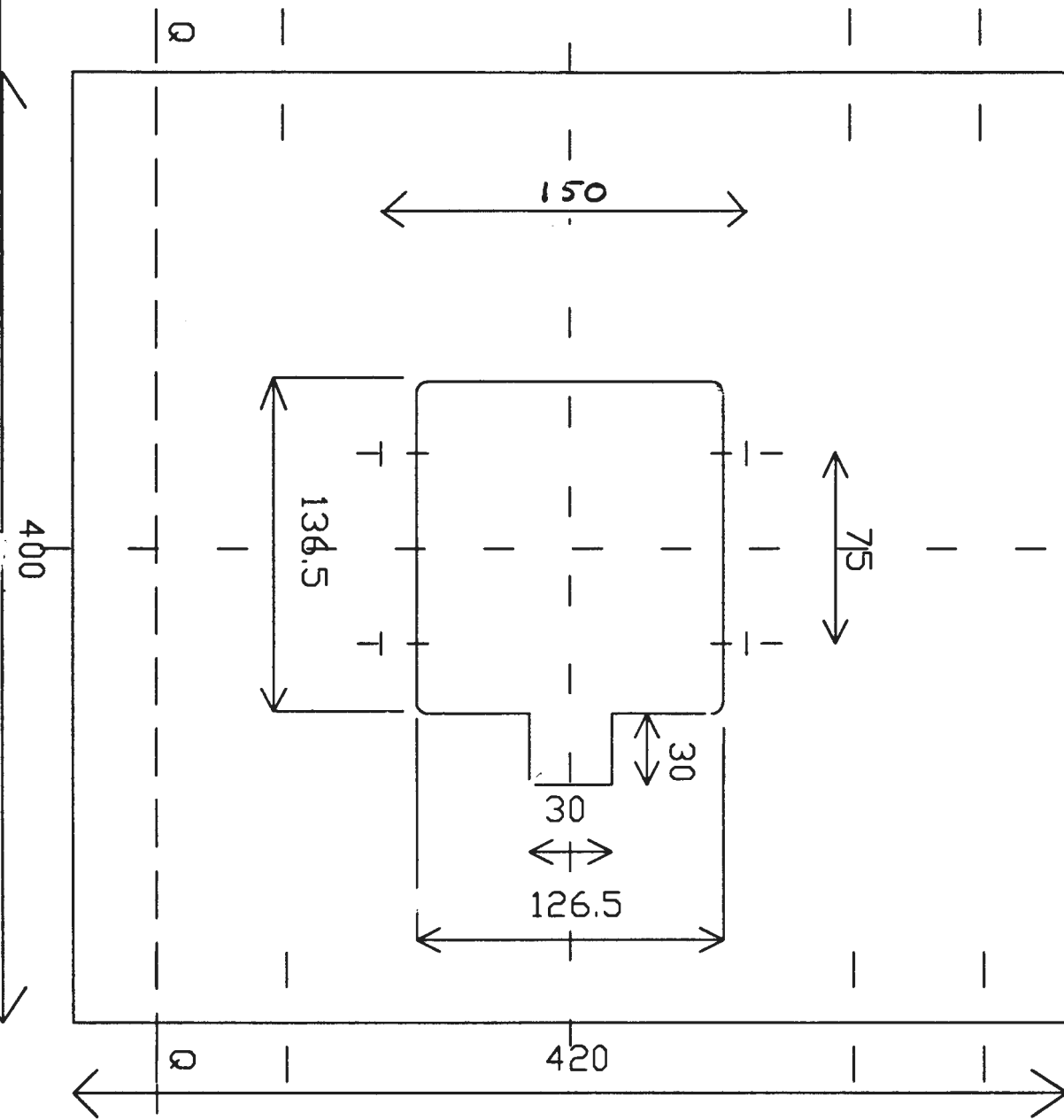




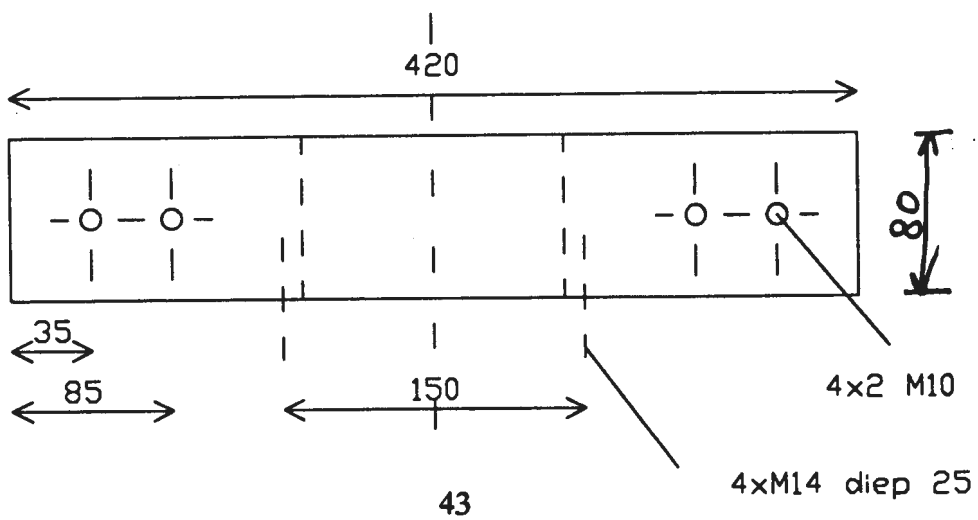
doorsnede A - A

Figuur A15

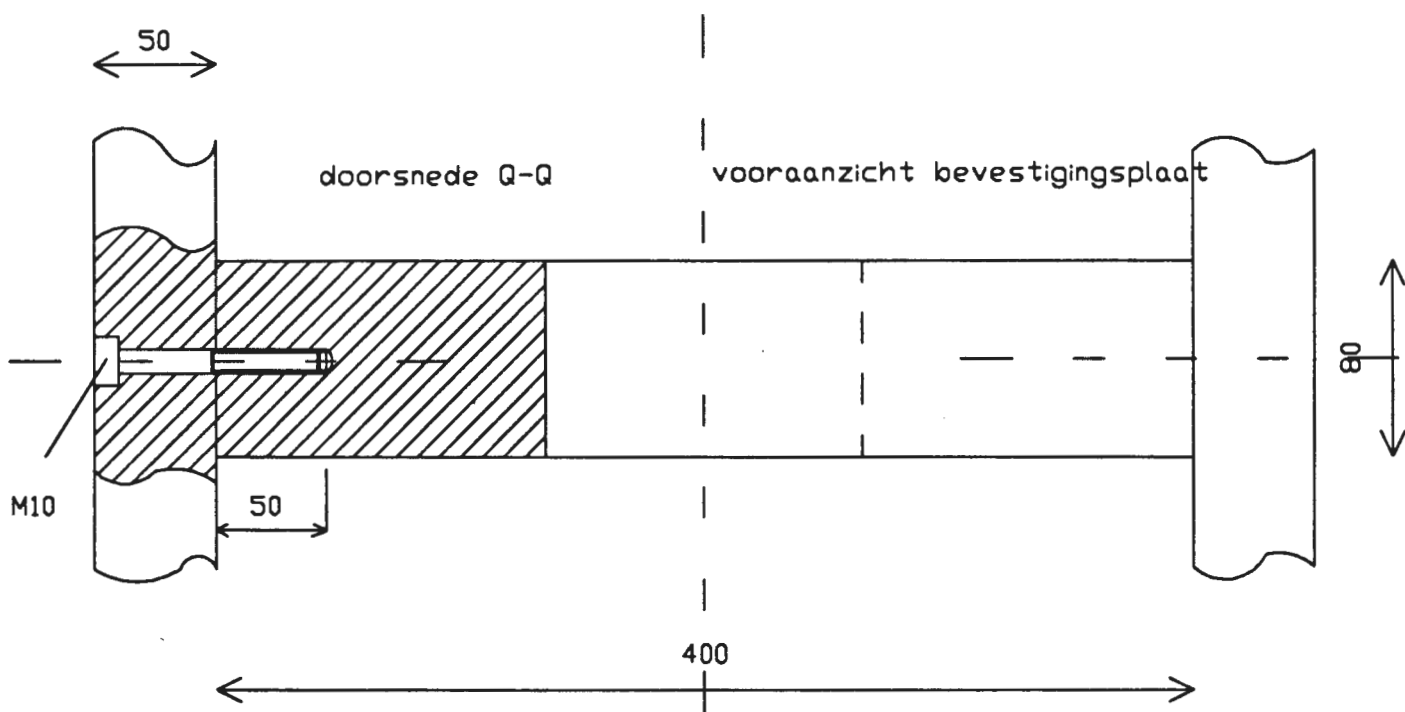
bevestigingsplaat pneumatische cilinder



Zijaanzicht bevestigingsplaat



Figuur A16



## Bijlage B Resultaten GIFTS + SEPRAN

	blz.
Gifts: - eerste 8 eigenfrequenties van het systeem	46
- materiaal informatie	47
- element informatie	47
- knooppunt informatie	48
- verplaatsings informatie van de knooppunten met de grootste verticale verplaatsing	51
- plot onvervormde toestand met knooppuntsnummering	53
- plots van de verschillende trillingsmodes	54
Sepran: - verplaatsings informatie luchtcontactschijf	59 A

OB:snipe

14-FEB-91

16:10:48

FREQUENCIES

MODE	FREQ	EIGV
1	1.83417E+01	1.32812D+04
2	3.11047E+01	3.81954D+04
3	3.58040E+01	5.06083D+04
4	1.25649E+02	6.23269D+05
5	2.09322E+02	1.72978D+06
6	2.26461E+02	2.02464D+06
7	1.19143E+03	5.60399D+07
8	1.19143E+03	5.60399D+07

OB:snip 14-FEB-91 11:40:01  
 MATERIAL INFORMATION  
 AT MAT YOUNG'S POISSON'S SHEAR YIELD MASS  
 O. TYP MODULUS RATIO MODULUS STRESS DENSITY  
 1 1 2.1000E+11 3.0000E-01 8.0769E+10 2.4000E+08 7.9000E+03

OB:snip 14-FEB-91 11:40:14  
 ELEMENT INFORMATION

ELEM NO.	SYS NO.	TYPE	MAT NO.	MAT ANG	THS NO.	CONNECTIVITY			
1	1	QM4	1	.00	1	9	26	45	
2	2	QM4	1	.00	1	9	10	45	46
3	3	QM4	1	.00	1	10	11	46	47
4	4	QM4	1	.00	1	11	12	47	48
5	5	QM4	1	.00	1	12	13	48	49
6	6	QM4	1	.00	1	13	14	49	50
7	7	QM4	1	.00	1	14	2	50	15
8	8	QM4	1	.00	1	26	45	25	51
9	9	QM4	1	.00	1	45	46	51	52
10	10	QM4	1	.00	1	46	47	52	53
11	11	QM4	1	.00	1	47	48	53	54
12	12	QM4	1	.00	1	48	49	54	55
13	13	QM4	1	.00	1	49	50	55	56
14	14	QM4	1	.00	1	50	15	56	16
15	15	QM4	1	.00	1	25	51	24	57
16	16	QM4	1	.00	1	51	52	57	58
17	17	QM4	1	.00	1	52	53	58	59
18	18	QM4	1	.00	1	53	54	59	60

OB:snip 14-FEB-91 11:40:16  
 ELEMENT INFORMATION

ELEM NO.	SYS NO.	TYPE	MAT NO.	MAT ANG	THS NO.	CONNECTIVITY			
19	19	QM4	1	.00	1	54	55	60	61
20	20	QM4	1	.00	1	55	56	61	62
21	21	QM4	1	.00	1	56	16	62	17
22	22	QM4	1	.00	1	24	57	4	23
23	23	QM4	1	.00	1	57	58	23	22
24	24	QM4	1	.00	1	58	59	22	21
25	25	QM4	1	.00	1	59	60	21	20
26	26	QM4	1	.00	1	60	61	20	19
27	27	QM4	1	.00	1	61	62	19	18
28	28	QM4	1	.00	1	62	17	18	3
29	29	QM4	1	.00	2	5	27	44	63
30	30	QM4	1	.00	2	27	28	63	64
31	31	QM4	1	.00	2	28	29	64	65
32	32	QM4	1	.00	2	29	30	65	66
33	33	QM4	1	.00	2	30	31	66	67
34	34	QM4	1	.00	2	31	32	67	68
35	35	QM4	1	.00	2	32	6	68	33
36	36	QM4	1	.00	2	44	63	43	69

OB:snip 14-FEB-91 11:40:17  
 ELEMENT INFORMATION

ELEM NO.	SYS NO.	TYPE	MAT NO.	MAT ANG	THS NO.	CONNECTIVITY			
37	37	QM4	1	.00	2	63	64	69	70
38	38	QM4	1	.00	2	64	65	70	71
39	39	QM4	1	.00	2	65	66	71	72
40	40	QM4	1	.00	2	66	67	72	73
41	41	QM4	1	.00	2	67	68	73	74
42	42	QM4	1	.00	2	68	33	74	34
43	43	QM4	1	.00	2	43	69	42	75

44	44	QM4	1	.00	2	69	70	75	76
45	45	QM4	1	.00	2	70	71	76	77
46	46	QM4	1	.00	2	71	72	77	78
47	47	QM4	1	.00	2	72	73	78	79
48	48	QM4	1	.00	2	73	74	79	80
49	49	QM4	1	.00	2	74	34	80	35
50	50	QM4	1	.00	2	42	75	8	41
51	51	QM4	1	.00	2	75	76	41	40
52	52	QM4	1	.00	2	76	77	40	39
53	53	QM4	1	.00	2	77	78	39	38
54	54	QM4	1	.00	2	78	79	38	37

OB:snip

14-FEB-91

11:40:19

ELEMENT INFORMATION

ELEM NO.	SYS NO.	MAT TYPE	MAT NO.	MAT ANG	THS NO.	CONNECTIVITY			
55	55	QM4	1	.00	2	79	80	37	36
56	56	QM4	1	.00	2	80	35	36	7
57	57	BEAM2	1		3	81	27	41	
58	58	BEAM2	1		3	27	9	41	
59	59	BEAM2	1		3	82	32	36	
60	60	BEAM2	1		3	32	14	36	
61	61	BEAM2	1		3	84	41	27	
62	62	BEAM2	1		3	41	23	27	
63	63	BEAM2	1		3	83	36	32	
64	64	BEAM2	1		3	36	18	32	

OB:snip

14-FEB-91

11:40:30

NODAL POINT INFORMATION

POINT NO.	SYS NO.	X	Y	Z	ACTIVE FREEDOMS		
1	1	.000000E+00	9.330000E-01	.000000E+00	U, V, W, RX, RY, RZ		
2	2	.000000E+00	9.330000E-01	-4.200000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ		
3	3	4.000000E-01	9.330000E-01	-4.200000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ		
4	4	4.000000E-01	9.330000E-01	.000000E+00	U, V, W, RX, RY, RZ		
5	5	.000000E+00	5.300000E-01	.000000E+00	U, V, W, RX, RY, RZ		
6	6	.000000E+00	5.300000E-01	-4.200000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ		
7	7	4.000000E-01	5.300000E-01	-4.200000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ		
8	8	4.000000E-01	5.300000E-01	.000000E+00	U, V, W, RX, RY, RZ		
9	9	.000000E+00	9.330000E-01	-6.000000E-02	U, V, W, RX, RY, RZ		
10	10	.000000E+00	9.330000E-01	-1.200000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ		
11	11	.000000E+00	9.330000E-01	-1.800000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ		
12	12	.000000E+00	9.330000E-01	-2.400000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ		
13	13	.000000E+00	9.330000E-01	-3.000000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ		
14	14	.000000E+00	9.330000E-01	-3.600000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ		
15	15	1.000000E-01	9.330000E-01	-4.200000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ		
16	16	2.000000E-01	9.330000E-01	-4.200000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ		
17	17	3.000000E-01	9.330000E-01	-4.200000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ		
18	18	4.000000E-01	9.330000E-01	-3.600000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ		

OB:snip

14-FEB-91

11:40:31

NODAL POINT INFORMATION

POINT NO.	SYS NO.	X	Y	Z	ACTIVE FREEDOMS		
19	19	4.000000E-01	9.330000E-01	-3.000000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ		
20	20	4.000000E-01	9.330000E-01	-2.400000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ		
21	21	4.000000E-01	9.330000E-01	-1.800000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ		
22	22	4.000000E-01	9.330000E-01	-1.200000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ		
23	23	4.000000E-01	9.330000E-01	-6.000000E-02	U, V, W, RX, RY, RZ		
24	24	3.000000E-01	9.330000E-01	.000000E+00	U, V, W, RX, RY, RZ		
25	25	2.000000E-01	9.330000E-01	.000000E+00	U, V, W, RX, RY, RZ		
26	26	1.000000E-01	9.330000E-01	.000000E+00	U, V, W, RX, RY, RZ		
27	27	.000000E+00	5.300000E-01	-6.000000E-02	U, V, W, RX, RY, RZ		
28	28	.000000E+00	5.300000E-01	-1.200000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ		



29	29	.000000E+00	5.30000E-01	-1.80000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
30	30	.000000E+00	5.30000E-01	-2.40000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
31	31	.000000E+00	5.30000E-01	-3.00000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
32	32	.000000E+00	5.30000E-01	-3.60000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
33	33	1.00000E-01	5.30000E-01	-4.20000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
34	34	2.00000E-01	5.30000E-01	-4.20000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
35	35	3.00000E-01	5.30000E-01	-4.20000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
36	36	4.00000E-01	5.30000E-01	-3.60000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ

OB:snip

14-FEB-91 11:40:33  
 NODAL POINT INFORMATION

POINT NO.	SYS NO.	X	Y	Z	ACTIVE FREEDOMS
37	37	4.00000E-01	5.30000E-01	-3.00000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
38	38	4.00000E-01	5.30000E-01	-2.40000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
39	39	4.00000E-01	5.30000E-01	-1.80000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
40	40	4.00000E-01	5.30000E-01	-1.20000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
41	41	4.00000E-01	5.30000E-01	-6.00000E-02	U, V, W, RX, RY, RZ
42	42	3.00000E-01	5.30000E-01	.00000E+00	U, V, W, RX, RY, RZ
43	43	2.00000E-01	5.30000E-01	.00000E+00	U, V, W, RX, RY, RZ
44	44	1.00000E-01	5.30000E-01	.00000E+00	U, V, W, RX, RY, RZ
45	45	1.00000E-01	9.33000E-01	-6.00000E-02	U, V, W, RX, RY, RZ
46	46	1.00000E-01	9.33000E-01	-1.20000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
47	47	1.00000E-01	9.33000E-01	-1.80000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
48	48	1.00000E-01	9.33000E-01	-2.40000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
49	49	1.00000E-01	9.33000E-01	-3.00000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
50	50	1.00000E-01	9.33000E-01	-3.60000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
51	51	2.00000E-01	9.33000E-01	-6.00000E-02	U, V, W, RX, RY, RZ
52	52	2.00000E-01	9.33000E-01	-1.20000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
53	53	2.00000E-01	9.33000E-01	-1.80000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
54	54	2.00000E-01	9.33000E-01	-2.40000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ

OB:snip

14-FEB-91 11:40:34  
 NODAL POINT INFORMATION

POINT NO.	SYS NO.	X	Y	Z	ACTIVE FREEDOMS
55	55	2.00000E-01	9.33000E-01	-3.00000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
56	56	2.00000E-01	9.33000E-01	-3.60000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
57	57	3.00000E-01	9.33000E-01	-6.00000E-02	U, V, W, RX, RY, RZ
58	58	3.00000E-01	9.33000E-01	-1.20000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
59	59	3.00000E-01	9.33000E-01	-1.80000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
60	60	3.00000E-01	9.33000E-01	-2.40000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
61	61	3.00000E-01	9.33000E-01	-3.00000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
62	62	3.00000E-01	9.33000E-01	-3.60000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
63	63	1.00000E-01	5.30000E-01	-6.00000E-02	U, V, W, RX, RY, RZ
64	64	1.00000E-01	5.30000E-01	-1.20000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
65	65	1.00000E-01	5.30000E-01	-1.80000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
66	66	1.00000E-01	5.30000E-01	-2.40000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
67	67	1.00000E-01	5.30000E-01	-3.00000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
68	68	1.00000E-01	5.30000E-01	-3.60000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
69	69	2.00000E-01	5.30000E-01	-6.00000E-02	U, V, W, RX, RY, RZ
70	70	2.00000E-01	5.30000E-01	-1.20000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
71	71	2.00000E-01	5.30000E-01	-1.80000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
72	72	2.00000E-01	5.30000E-01	-2.40000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ

OB:snip

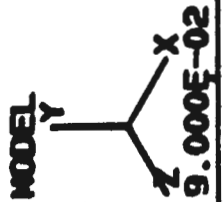
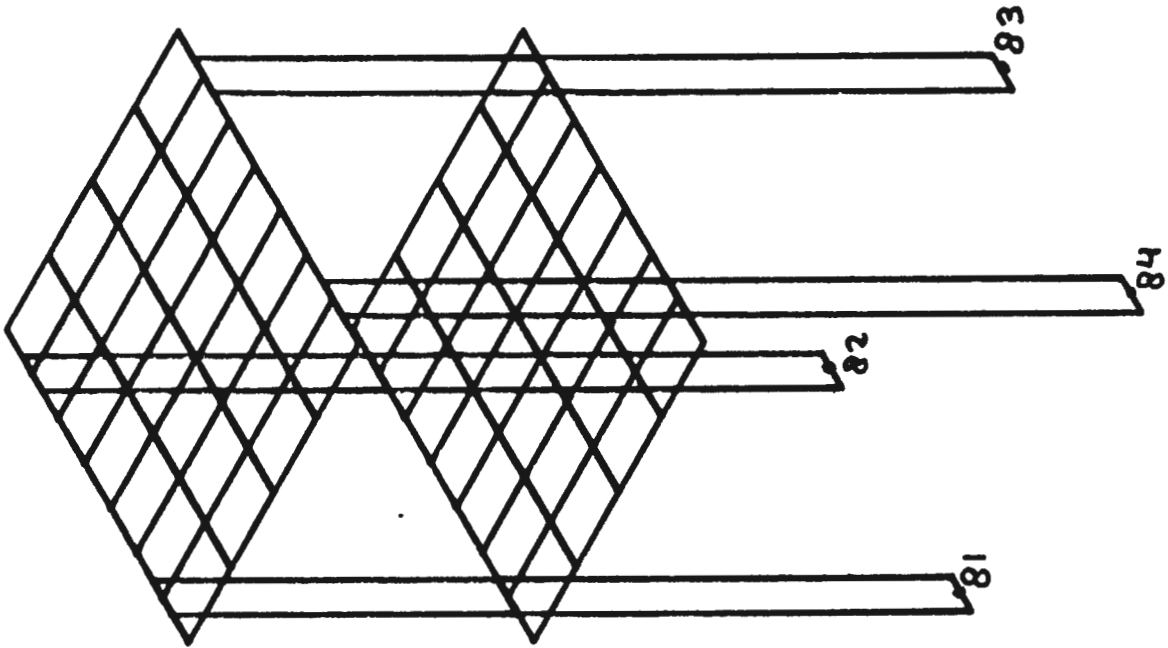
14-FEB-91 11:40:36  
 NODAL POINT INFORMATION

POINT NO.	SYS NO.	X	Y	Z	ACTIVE FREEDOMS
73	73	2.00000E-01	5.30000E-01	-3.00000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
74	74	2.00000E-01	5.30000E-01	-3.60000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
75	75	3.00000E-01	5.30000E-01	-6.00000E-02	U, V, W, RX, RY, RZ
76	76	3.00000E-01	5.30000E-01	-1.20000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
77	77	3.00000E-01	5.30000E-01	-1.80000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ

78	78	3.00000E-01	5.30000E-01	-2.40000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
79	79	3.00000E-01	5.30000E-01	-3.00000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
80	80	3.00000E-01	5.30000E-01	-3.60000E-01	U, V, W, RX, RY, RZ
81	81	.00000E+00	.00000E+00	-6.00000E-02	, , , , ,
82	82	.00000E+00	.00000E+00	-3.60000E-01	, , , , ,
83	83	4.00000E-01	.00000E+00	-3.60000E-01	, , , , ,
84	84	4.00000E-01	.00000E+00	-6.00000E-02	, , , , ,

## DISPLACEMENT INFORMATION

ENT	U	V	W	RX	RY	RZ
55	-3.398E-13	5.997E-07	1.928E-10	2.334E-07	-2.212E-13	1.216E-13
56	-4.652E-13	6.143E-07	3.775E-10	2.285E-07	-1.710E-13	1.422E-13
57	1.316E-09	6.418E-07	1.129E-10	-2.422E-07	-7.861E-13	5.207E-07
58	1.460E-09	6.269E-07	5.129E-10	-2.143E-07	-6.966E-13	4.914E-07
59	1.013E-09	6.169E-07	2.075E-10	-8.809E-08	-6.163E-13	4.863E-07
60	1.013E-09	6.169E-07	-2.119E-10	8.809E-08	-6.078E-13	4.863E-07
61	1.460E-09	6.269E-07	-5.173E-10	2.143E-07	-6.873E-13	4.914E-07
62	1.315E-09	6.418E-07	-1.173E-10	2.422E-07	-7.886E-13	5.207E-07
63	6.918E-10	1.838E-06	-1.988E-11	4.108E-06	-2.505E-13	8.649E-06
64	6.991E-10	2.094E-06	-2.235E-10	3.983E-06	-2.147E-13	9.022E-06
65	4.589E-10	2.283E-06	-9.276E-11	1.708E-06	-1.290E-13	9.348E-06
66	4.588E-10	2.283E-06	8.990E-11	-1.708E-06	3.362E-14	9.348E-06
67	6.988E-10	2.094E-06	2.207E-10	-3.983E-06	2.792E-13	9.022E-06
68	6.913E-10	1.838E-06	1.703E-11	-4.108E-06	5.058E-13	8.649E-06
69	1.971E-13	2.310E-06	1.607E-10	4.545E-06	-4.887E-13	-9.438E-13
70	8.838E-14	2.607E-06	7.285E-11	4.960E-06	-4.385E-13	-8.202E-13
71	-2.009E-14	2.859E-06	-2.919E-12	2.372E-06	-3.682E-13	-9.848E-13
72	-1.282E-13	2.859E-06	-3.007E-13	-2.372E-06	-2.916E-13	8.513E-13
73	-2.361E-13	2.607E-06	-7.607E-11	-4.960E-06	-2.212E-13	5.359E-13
74	-3.439E-13	2.310E-06	-1.640E-10	-4.545E-06	-1.710E-13	2.829E-13
75	-6.914E-10	1.838E-06	-2.025E-11	4.108E-06	-7.862E-13	-8.649E-06
76	-6.990E-10	2.094E-06	-2.239E-10	3.983E-06	-6.966E-13	-9.022E-06
77	-4.589E-10	2.283E-06	-9.312E-11	1.708E-06	-6.163E-13	-9.348E-06



MODEL

VIEW DIRECTION  
58 58 58

VIEWING DIST.  
1.000E+16

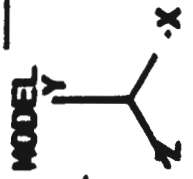
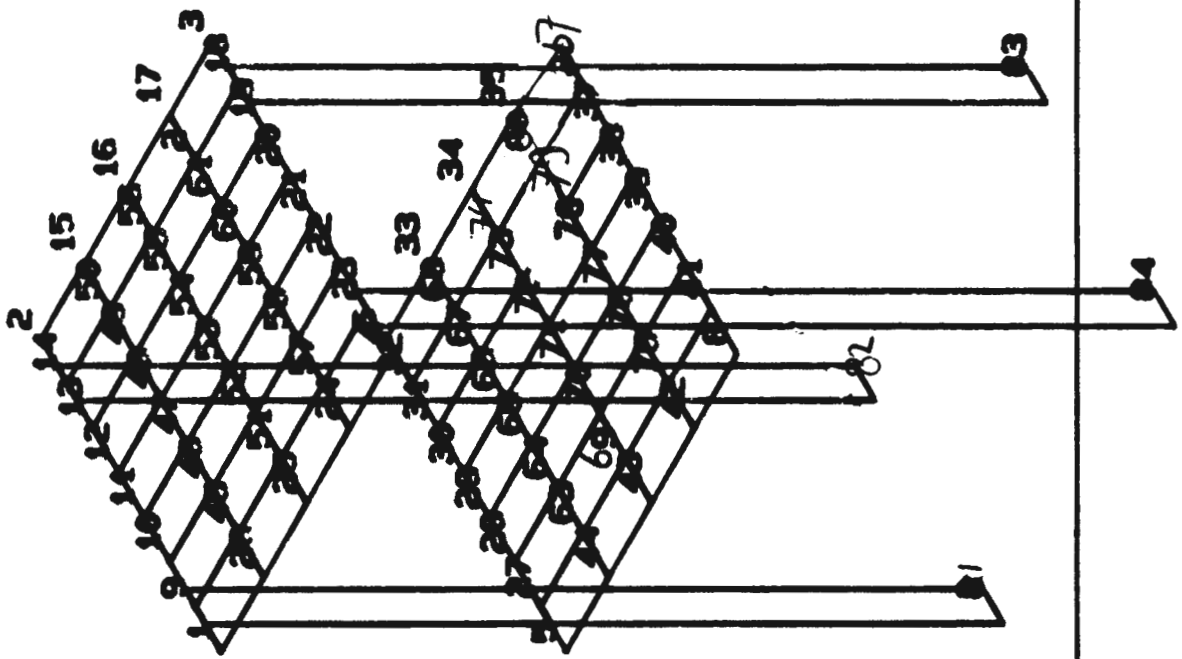
PLOT LIMITS

X .000E+00  
4.000E-01

.000E+00  
9.331E-01y

Z -4.200E-01  
.000E+00

JOB: snip  
14-FEB-91 11:39

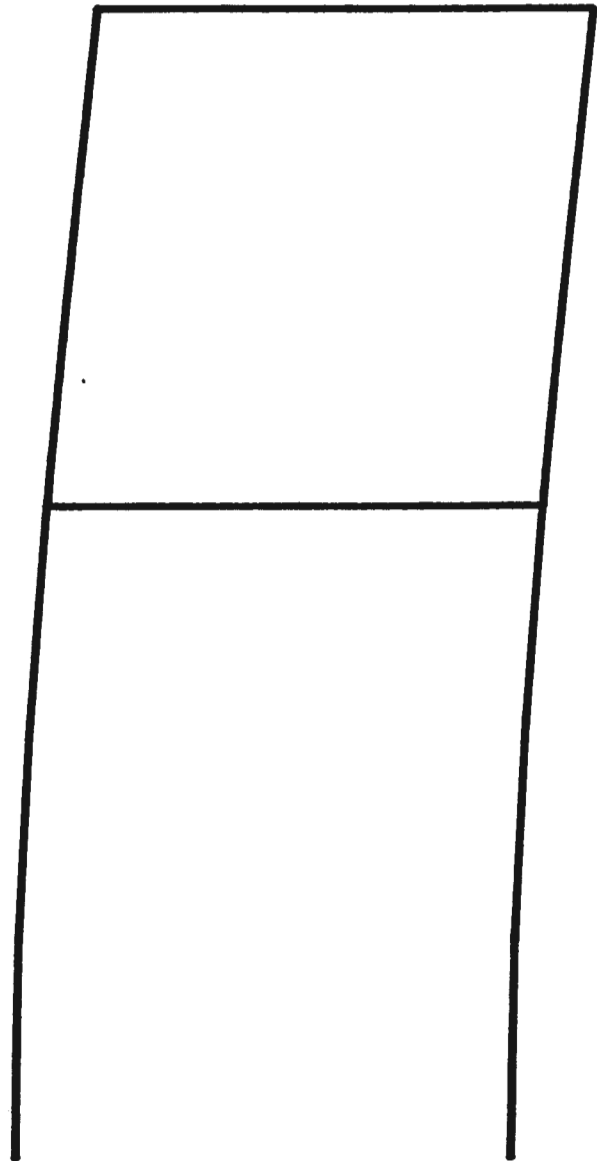


POINT USER NO  
VIEW DIRECTION  
58 58 58  
VIEWING DIST.  
1.000E+16  
PLOT LIMITS  
X .000E+00  
4.000E-01  
Y .000E+00  
9.331E-01  
Z -4.200E-01  
.000E+00

JOB: snip  
14-FEB-91 11:39

MODEL

MODE1-- 1.834E+01CPS



MODEL

Y

Z X

8.000E-02

DEFLECTIONS

DEFLS.

Y

Z X

8.000E-02

VIEW DIRECTION

0 0 100

VIEWING DIST.

1.000E+16

PLOT LIMITS

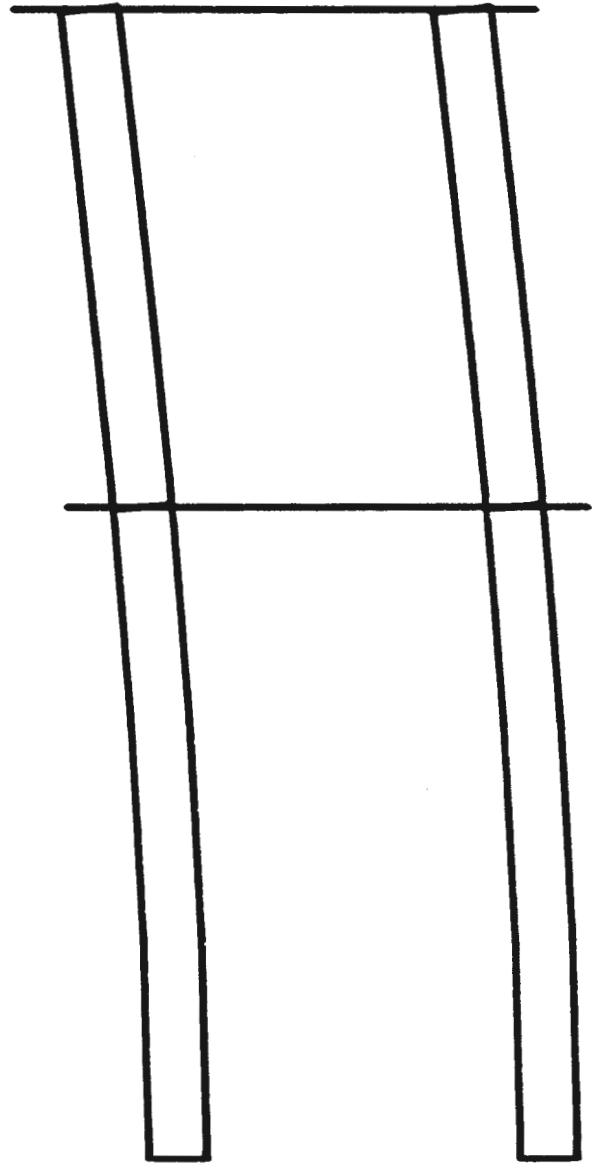
X .000E+00  
4.000E-01

Y .000E+00  
9.331E-01

Z -4.200E-01  
.000E+00

JOB: sn  
14-FEB-91 12:35

MODE2— 3.110E+01CPS



MODEL  
 Y  
 X  
 Z  
 8.000E-02

DEFLECTIONS

DEFLS.  
 Y  
 X  
 Z  
 8.000E-02

VIEW DIRECTION  
 100 0 0

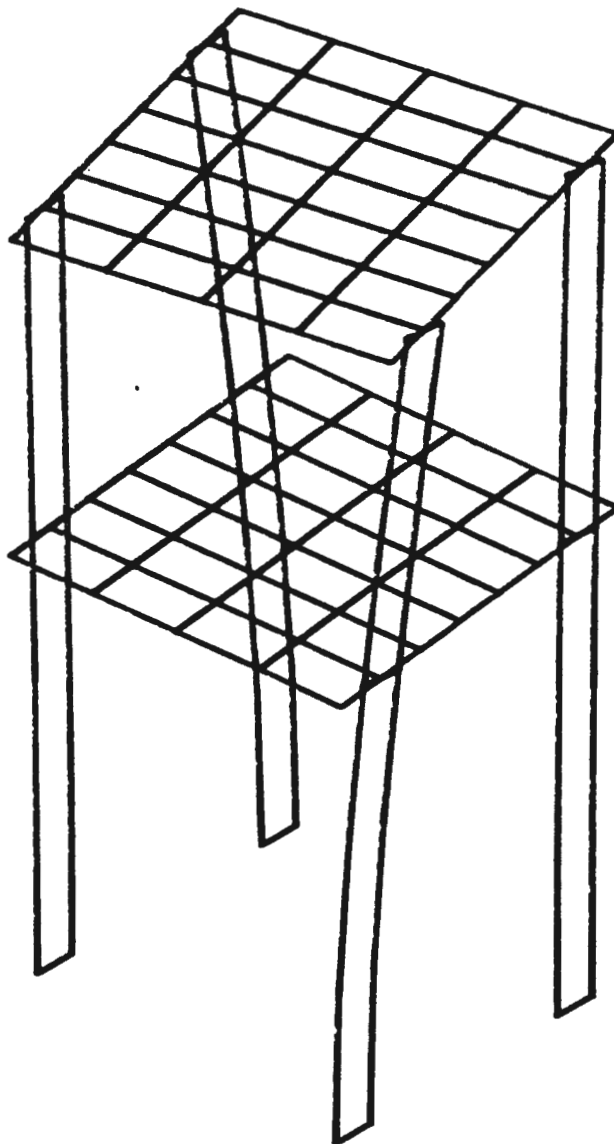
VIEWING DIST.  
 1.000E+16

PLOT LIMITS  
 X .000E+00  
 4.000E-01  
 Y .000E+00  
 9.331E-01  
 Z .000E+00

JOB: 200E-01PU 5311. 402  
 14-FEB-91 12:37

55

MODE3 — 3.580E+01CPS



MODEL  
Y  
Z X  
9.000E-02

DEFLECTIONS

DEFLS.  
Y  
Z X  
1.000E-01

VIEW DIRECTION  
58 58 58

VIEWING DIST.  
1.000E+16

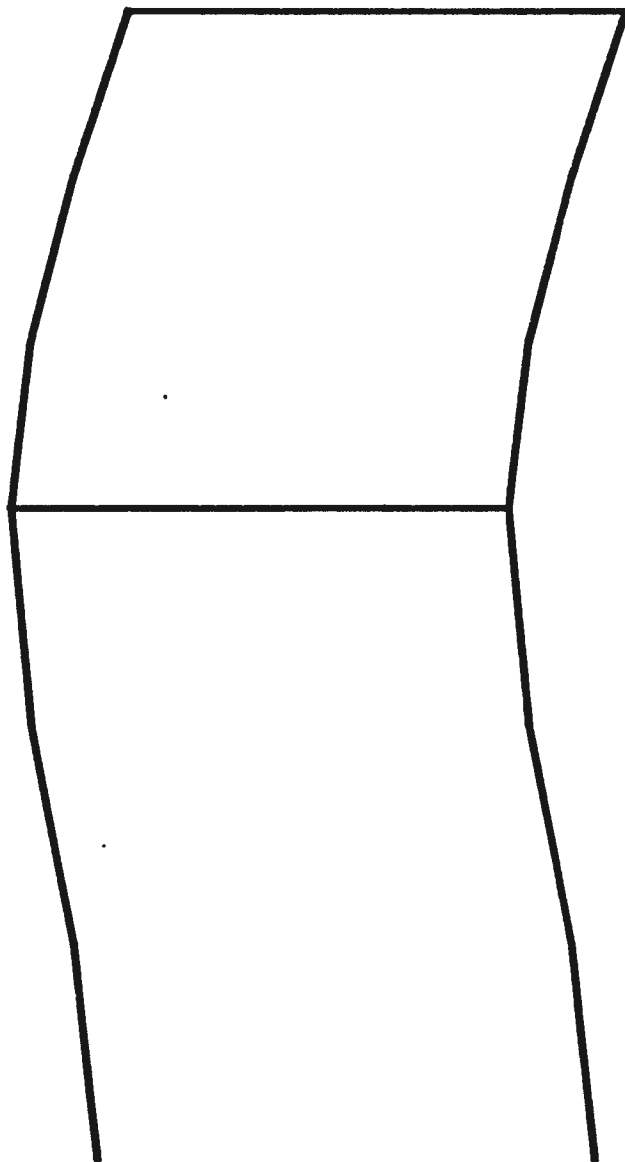
PLOT LIMITS

X	.000E+00
	4.000E-01
Y	.000E+00
	9.331E-01
Z	-4.20E-01
	.000E+00

JOB: snip  
14-FEB-91 12:38



MCDE4-- 1.256E+02CPS



MODEL

Y  
Z—X

8.000E-02

DEFLECTIONS

DEFLS.

Y  
Z—X

8.000E-02

VIEW DIRECTION

0 0 100

VIEWING DIST.

1.000E+16

PLOT LIMITS

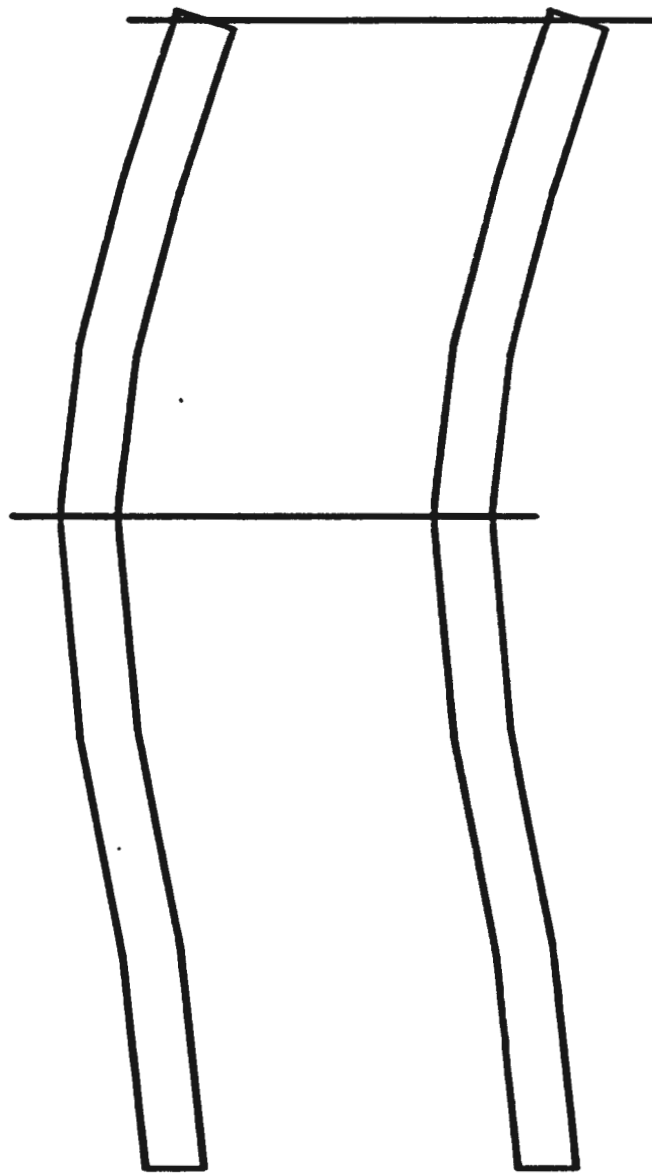
X .000E+00  
4.000E-01

Y .000E+00  
9.331E-01

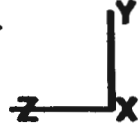
Z -4.200E-01  
.000E+00

JOB: sn  
14-FEB-91 12:40

MODE5 — 2.093E+02CPS

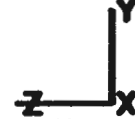


MODEL



8.000E-02

DEFLS.



8.000E-02

DEFLECTIONS

VIEW DIRECTION  
100 0 0

VIEWING DIST.  
1.000E+16

PLOT LIMITS

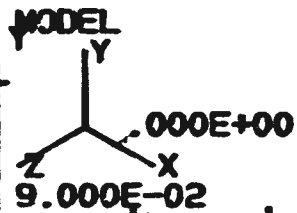
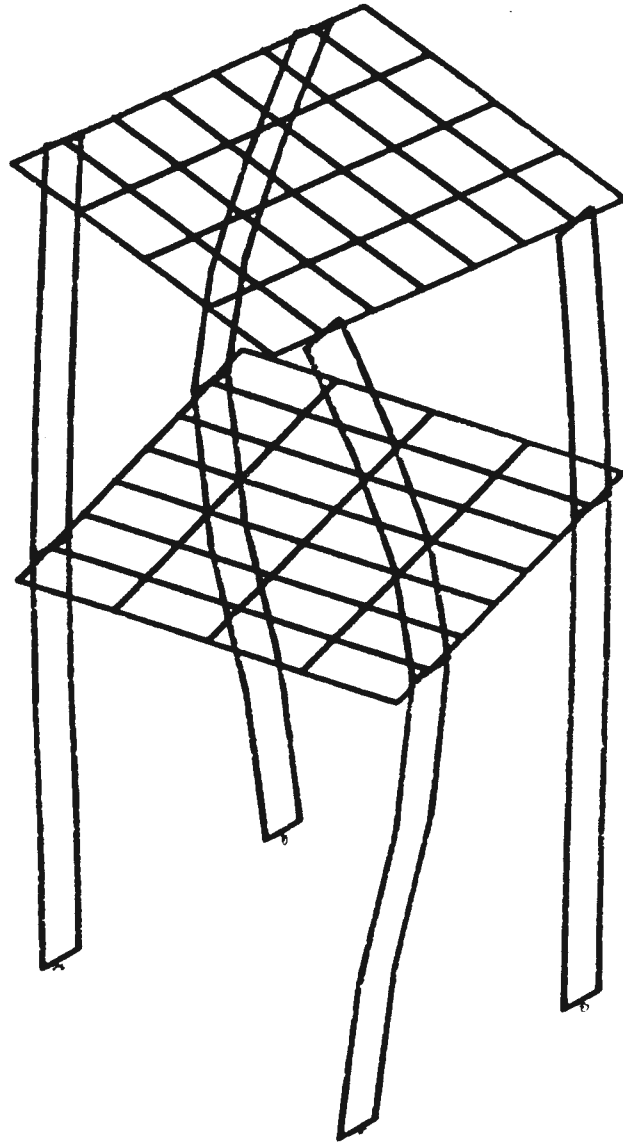
X .000E+00  
4.000E-01

Y .000E+00  
9.331E-01

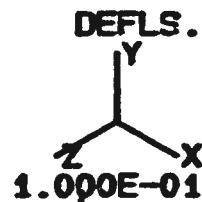
Z .000E+00

JGB1.200E-01PU 5311. 402  
14-FEB-91 12:42

MODE6-- 2.265E+02CPS



DEFLECTIONS



VIEW DIRECTION  
58 58 58

VIEWING DIST.  
1.000E+16

PLOT LIMITS

X .000E+00  
4.000E-01

.000E+00  
9.331E-01

Z -4.200E-01

J snipe  
14-FEB-91 16:12



## Bijlage C Berekening eigenfrequenties bewegende gedeelte

### \*Bepaling massa matrix M en stijfheidsmatrix K

De gegeneraliseerde coördinaten kunnen in matrixvorm als volgt geschreven worden:

$$\underline{u} = |u_1 \quad u_2 \quad u_3|$$

Aangezien in het dynamische systeem alleen translaties en geen rotaties optreden kan de formule voor kinetische energie geschreven worden als:

$$T = \frac{1}{2} \dot{\underline{u}} \underline{M} \dot{\underline{u}}^T \quad \text{waaruit volgt dat} \quad \underline{M} = \begin{vmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{vmatrix}$$

De stijfheidsmatrix K kan uit onderstaande formule van de potentiële energie bepaald worden:

$$V = \frac{1}{2} \underline{u} \underline{K} \underline{u}^T = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} u_1 & u_2 & u_3 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} u_1 & 0 & 0 \\ u_2 & 0 & 0 \\ u_3 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

$$V = k_{11}u_1^2 + k_{12}u_1u_2 + k_{13}u_1u_3 + k_{21}u_1u_2 + k_{22}u_2^2 + k_{23}u_2u_3 + k_{31}u_1u_3 + k_{32}u_2u_3 + k_{33}u_3^2$$

Bekijken we figuur 6 in paragraaf 2.2.5 dan volgt voor de potentiële energie indien we de invloed van de zwaartekracht verwaarlozen:

$$\begin{aligned} V &= 1/2 k_2' u_3^2 + 1/2 k_4 (u_2 - u_3)^2 + 1/2 k_1' (-u_2)^2 + 1/2 k_3 (u_1 - u_2)^2 \\ &= 1/2 (k_2' + k_4) u_3^2 + 1/2 (k_1 + k_3 + k_4) u_2^2 + 1/2 k_3 u_1^2 + \\ &\quad - 1/2 k_4 u_2 u_3 - 1/2 k_3 u_1 u_2 \end{aligned}$$

$$k_{11} = k_3; \quad k_{12} = k_{21} = -k_3; \quad k_{13} = k_{31} = 0; \quad k_{22} = k_1 + k_3 + k_4; \quad k_{23} = k_{32} = -k_4; \quad k_{33} = k_2 + k_4.$$

In matrixvorm geschreven geeft dit:

$$\underline{K} = \begin{vmatrix} k_3 & -k_3 & 0 \\ -k_3 & k_1 + k_3 + k_4 & -k_4 \\ 0 & -k_4 & k_2 + k_4 \end{vmatrix}$$

### \*Berekening eigenfrequenties

Uit bovenstaande gegevens volgt de karakteristieke vergelijking:

$$\begin{vmatrix} \lambda m_1 + k_3 & -k_3 & 0 \\ -k_3 & \lambda m_2 + k_1 + k_3 + k_4 & -k_4 \\ 0 & -k_4 & \lambda m_3 + k_2 + k_4 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{vmatrix} = 0$$

Hieruit volgt:

$$(\lambda m_1 + k_3)(\lambda m_2 + k_1 + k_3 + k_4)(\lambda m_3 + k_2 + k_4) - k_4^2(\lambda m_1 + k_3) - k_3^2(\lambda m_3 + k_2 + k_4) =$$

$$\lambda^3 m_1 m_2 m_3 + \lambda^2 m_1 m_3 k_1 + \lambda^2 m_1 m_3 k_3 + \lambda^2 m_1 m_3 k_4 + \lambda^2 m_2 m_3 k_3 + \lambda^2 m_1 m_2 (k_2 + k_4) + \lambda m_3 (k_1 k_3 + k_3^2 + k_3 k_4) + \lambda (m_1 k_1 + m_1 k_3 + m_1 k_4 + m_2 k_3)(k_2 + k_4) - \lambda (m_1 k_4^2 + m_3 k_3^2) + (k_2 + k_4)(k_1 k_3 + k_3^2 + k_3 k_4) = 0$$

Dit is te herleiden tot:

$$a \lambda^3 + b \lambda^2 + c \lambda + d = 0 \quad (1)$$

Neem voor de bepaling van de laagste eigenfrequenties:

$$k_1' = 5.5E3 \text{ [N/m]}$$

$$k_2' = 40E6 \text{ [N/m]}$$

$$k_3 = \text{stijfheid bewegende gedeelte shaker + verbindingstuk; aangenomen wordt dat } L = 0.1 \text{ [m] en } d = 0.015 \text{ [m]} \\ = EA/L = 2.1E11 \cdot \pi \cdot (0.0075)^2 / 0.1 = 3.7E8 \text{ [N/m]}$$

$$1/k_4 = 1/k_a + 1/k_b \text{ waarin } k_a = \text{stijfheid van } m_2 \\ k_b = \text{stijfheid van } m_3$$

$$1/k_a = 1/k_{\text{zuigerstang}} + 1/k_{\text{loadcell}} = 0.29 / (2.1E11 \cdot \pi \cdot (0.01)^2) + \\ + 0.03 / (2.1E11 \cdot \pi \cdot (0.013/2)^2) \text{ ----> } k_a = 1.8E8 \text{ [N/m]}$$

$$k_b = 2.1E11 \cdot \pi \cdot ((0.038/2)^2 - (0.028/2)^2) / 0.05 = 2.2E9 \text{ [N/m]}$$

====>

$$k_4 = 1.5E8 \text{ [N/m]}$$

$$m_1 = 0.08 + 0.13 = 0.21 \text{ [kg]}$$

$$m_2 = 0.72 + 0.76 + 0.2 = 1.68 \text{ [kg]}$$

$$m_3 = 0.15 + 0.27 + 0.25 = 0.67 \text{ [kg]}$$

$$m_1 + m_2 + m_3 = 2.56 \text{ [kg]}$$

Invullen van bovenstaande gegevens in (1) geeft:

$$a = m_1 m_2 m_3 = 0.24$$

$$b = 5.6E8$$

$$c = 1.3E17 + 1.4E17 - 9.6E16 = 1.7E17$$

$$d = 3.6E25 - 3.4E25 = 2.2E24$$

Na iteratie volgt uit de derdegraads vergelijking (1) een globale oplossing  $\lambda_1 = -1.35475E7$ .

Voeren we de volgende staartdeling uit:

$$\lambda + 1.35475E7/\lambda^3 + 2.3E9\lambda^2 + 7.1E17\lambda + 9.2E24 \setminus \lambda^2 + 2.286E9\lambda + 6.7904E17$$

Deze staartdeling levert de tweedegraads vergelijking:

$$\lambda^2 + 2.286E9\lambda + 6.7904E17 = 0 \quad (2)$$

Deze vergelijking levert de oplossingen:

$$\lambda_2 = -3.509E8$$

$$\lambda_3 = -1.935E9$$

Uit  $\lambda = -\omega^2$  en  $f = 1/(2\pi) * \omega$  volgt:

$$f_1 = 586 \text{ [Hz]}$$

$$f_2 = 2980 \text{ [Hz]}$$

$$f_3 = 7000 \text{ [Hz]}$$

## Bijlage D Stijfheid pneumatische cilinder

Een pneumatische cilinder gedraagt zich als een niet-lineaire veer. Voor de testopstelling zijn, bij benadering, de hoogste en laagste stijfheid van de cilinder van belang. Dit in verband met de bepaling van respectievelijk de eigenfrequenties en de bewegingsvergelijking.

De stijfheid van een pneumatische cilinder hangt van de zuigerhoogte af. Rekening houdend met de gaswet en er van uitgaande dat de perslucht zich als een ideaal gas gedraagt, blijkt dat de laagste stijfheid optreedt bij het grootste volume.

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \text{ ----> } p_1/p_2 = (F_1/A_1) \cdot (A_2/F_2) = V_2/V_1 = (A_2 \cdot L_2)/(A_1 \cdot L_1) \text{ ----> } F_1/F_2 = L_2/L_1$$

Indien ervan uit wordt gegaan dat het hoogteverschil tussen de te testen lagers maximaal 15 [mm] is en dat voor een pneumatische cilinder met maximale slag = 25 [mm] is gekozen, treedt, bij benadering, de laagste stijfheid van de cilinder tijdens het testen van de lagers op bij  $L_1 = 20$  [mm] en de hoogste stijfheid bij  $L_1 = 5$  [mm].

**- bepaling benadering laagste stijfheid (wrijving zuiger/cilinder wordt verwaarloosd)**

$$\begin{aligned} \text{neem minimale statische kracht } F_1 &= 100 \text{ [N]} \\ \text{minimale dynamische kracht } F &= 10 \text{ [N]} (0.25 \cdot 40) \end{aligned} \quad \text{---> } F_2 = 110 \text{ [N]}$$

invullen in formule 1 geeft dit  $L_2 = 18.2E-3$  [m]

$$\text{---> } k_1 = (F_2 - F_1)/(L_1 - L_2) = 5.5E3 \text{ [N/m]} = 0.0055 \text{ [N/}\mu\text{m]}$$

**- bepaling benadering hoogste stijfheid**

$$\begin{aligned} \text{neem maximale statische kracht } F_1 &= 3000 \text{ [N]} \\ \text{maximale dynamische kracht } F &= 50 \text{ [N]} (0.5 \cdot 100) \end{aligned} \quad \text{---> } F_2 = 3050 \text{ [N]}$$

invullen in formule 1 geeft dit  $L_2 = 4.92E-3$  [m]

$$\text{---> } k_1 = 6.1E5 \text{ [N/m]} = 0.61 \text{ [N/}\mu\text{m]}$$

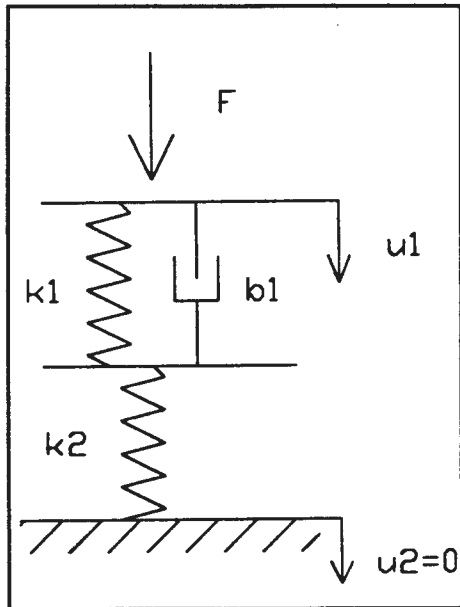
In vergelijking met de stijfheid van het test-lager (40..100 [N/ $\mu$ m]) is de stijfheid van de cilinder ongeveer twee tot drie ordes kleiner.



## Bijlage E Berekening invloed stijfheid ondergrond en stijfheid luchtcontactschijf

### Geval 1

De ondergrond en de luchtcontactschijf worden oneindig stijf verondersteld. In vergelijking met het model gegeven in de inleiding is onderstand model iets uitgebreider, uitgaande van de eindige stijfheid  $k_2$  van het testlager zelf.



$$F = (k_1 k_2) / (k_1 + k_2) * u_1$$

$$u_1 - u_2 = u_1 = F * (k_1 + k_2) / (k_1 k_2)$$

waarin  $k_1 = 40 \dots 100 \text{ [N}/\mu\text{m]}$   
 $k_2 = E * A / L$  met  $E = 2.1 \text{E}11 \text{ [N}/\text{m}^2]$

geval 1 model waarbij ondergrond en luchtcontactschijf oneindig stijf zijn

### Geval 2

Eindige stijfheid ondergrond (blok) en luchtcontactschijf.

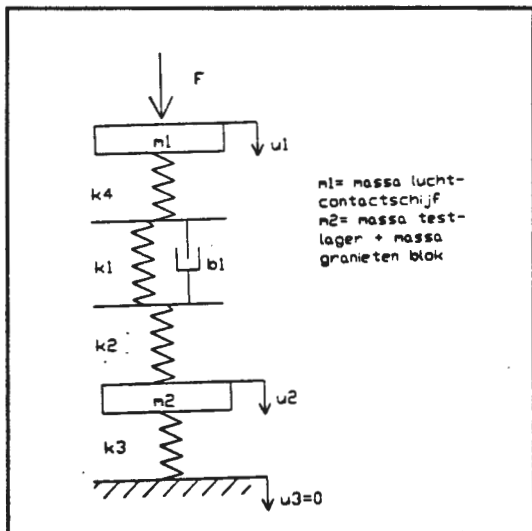
$$F = (k_1 k_2 k_3 k_4) / (k_1 k_2 k_3 + k_2 k_3 k_4 + k_1 k_3 k_4 + k_1 k_2 k_4) * u_1$$

$$= k_3 * u_2$$

$$u_1 = F * (k_1 k_2 k_3 + k_2 k_3 k_4 + k_1 k_3 k_4 + k_1 k_2 k_4) / (k_1 k_2 k_3 k_4)$$

$$u_2 = F / k_3$$

neem  $k_1 = 100 \text{E}6 \text{ [N}/\text{m}]$  (hoogste stijfheid)  
 $k_2 = 2.1 \text{E}11 * \pi * 0.05^2 / (17.5 \text{E}-3) = 9.42 \text{E}10 \text{ [N}/\text{m}]$   
 $k_3 = 6 \text{E}10 * 0.42 * 0.35 / 0.22 = 4.00 \text{E}10 \text{ [N}/\text{m}]$   
 $k_4 = 2.1 \text{E}11 * \pi * 0.055^2 / 0.02 = 9.98 \text{E}10 \text{ [N}/\text{m}]$   
 $F = 3000 \text{ [N]}$  (maximale kracht)



geval 2 model met eindige stijfheid  
 ondergrond en luchtcontactschijf

Voor geval 1 geldt  $u_1 - u_2 = 30.03 \mu\text{m}$ .

Voor geval 2 geldt  $u_1 - u_2 = 30.137 - 0.075 = 30.06 \mu\text{m}$ .

Geval 2 geeft een afwijking van ongeveer 0.1% ten opzichte van geval 1. Deze afwijking is verwaarloosbaar.

## **Bijlage F Typen excitatoren**

### **Hydraulische excitator**

**Voordelen:**

- kan zowel dynamische als statische kracht leveren.
- de dynamische en statische kracht kunnen onafhankelijk van elkaar worden ingesteld.
- de bewegende massa van de excitator is uiterst gering.
- kleine dimensies, dus makkelijk in te bouwen.

**Nadelen:**

- beperkt frequentiebereik in vergelijking met andere typen excitatoren.
- het frequentiebereik is afhankelijk van de gewenste slag. Hoe kleiner de slag hoe groter het frequentiebereik.
- een hydraulisch circuit moet worden aangelegd + de benodigde pompen en kleppen. Erg duur!
- signaalruis, onder andere veroorzaakt door de pompen.

**Opmerking:** De drukvariaties in het hydraulische systeem worden verzorgd door een servoklep. Deze servoklep kan zowel mechanisch als electro-hydraulisch worden aangestuurd. Het electro-hydraulisch aangestuurde systeem wordt gebruikt indien grote krachten gewenst zijn, die met behulp van een relatief kleine excitatorkop worden doorgevoerd. In het geval van mechanische aansturing zijn de te behalen krachten kleiner. De productie van een mechanisch aangedreven servoklep is relatief eenvoudig.

### **Electro-magnetische excitator (met bewegende pen)**

**Voordelen:**

- het frequentiebereik is erg groot
- geringe bewegende massa (groter dan bij een hydraulische excitator)
- elektrisch aangedreven.

**Nadelen:**

- de dynamische kracht amplitude is beperkt
- indien grote dynamische krachten toch gewenst zijn, dan zijn grote dimensies, massa van de excitator en koeling noodzakelijk.

**Opmerking:** Een statische kracht kan gegenereerd worden met behulp van gelijkstroom. Bij grote krachtamplitude ontstaan ook hier weer dimensie en koelingsproblemen.

### **Inertia-excitator (e.m. excitator met bewegende behuizing)**

**Voordelen:**

- elektrisch aangedreven
- de excitator kan op het te testen object geplaatst worden.
- via de centrale pen kan een eventuele statische kracht worden doorgeleid.

- Nadelen:
- toevoeging van extra massa door eigen gewicht, dus de bewegende massa is erg groot
  - beperkte dynamische kracht amplitude
  - beperkte frequentie range
  - excitator kan geen statische kracht leveren.

### **Hamerklap**

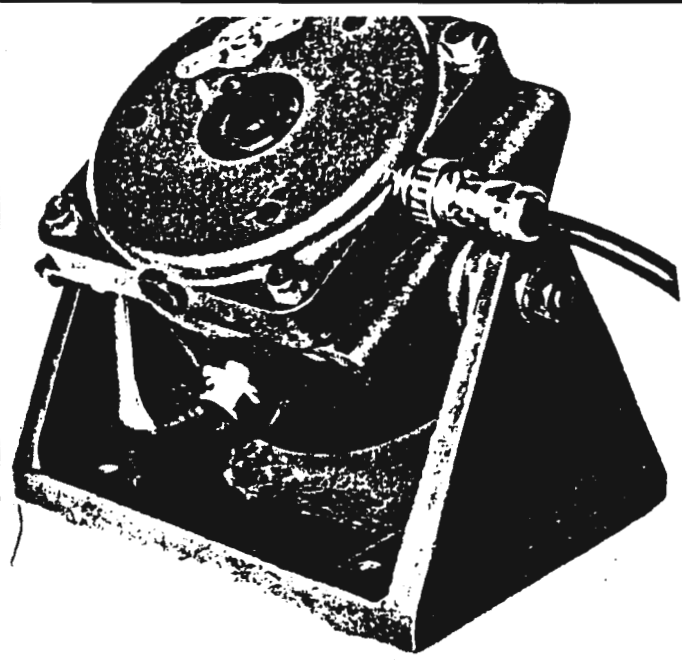
- Voordelen:
- ideaal indien een pulssignaal op veel punten van een constructie moet worden toegediend
  - de breedte van de hamerpuls en het nuttige frequentiegebied kan door de keuze van het kopmateriaal beïnvloed worden.

- Nadeel:
- er kunnen met een hamerklap slechts pulssignalen geleverd worden.

Aangezien een electro-magnetische excitator (zie bijgevoegde bladen) beschikbaar was, is voor dit type gekozen. Indien gekeken wordt naar de maximaal te leveren dynamische kracht, de te leveren frequentierange, de aansturing en de grootte van de bewegende massa van de excitator is dit een gerechtvaardigde keuze.

# goodmans vibration generator v50 mk 1

2330, =



Continuous research and development by Goodmans in the field of electro-dynamic vibration testing, together with the desire to improve on existing design, has resulted in the presentation of the V50 Mk.1.

This compact and versatile unit produced to the high standard set by its predecessor, the V390A, embodies several commendable new features, which place it in the forefront of similar units in its size and weight class.

Fitted with a COLUMAX permanent magnet, and with larger conductors fitted to the coil, the thrust rating has been raised to 50 lb. maximum with air cooling.

The unit's improved suspension is more robust in design and has a linear stiffness characteristic giving a total excursion of 0.7" to satisfy the requirements of DEFENCE SPECIFICATION D.E.F. 5011.

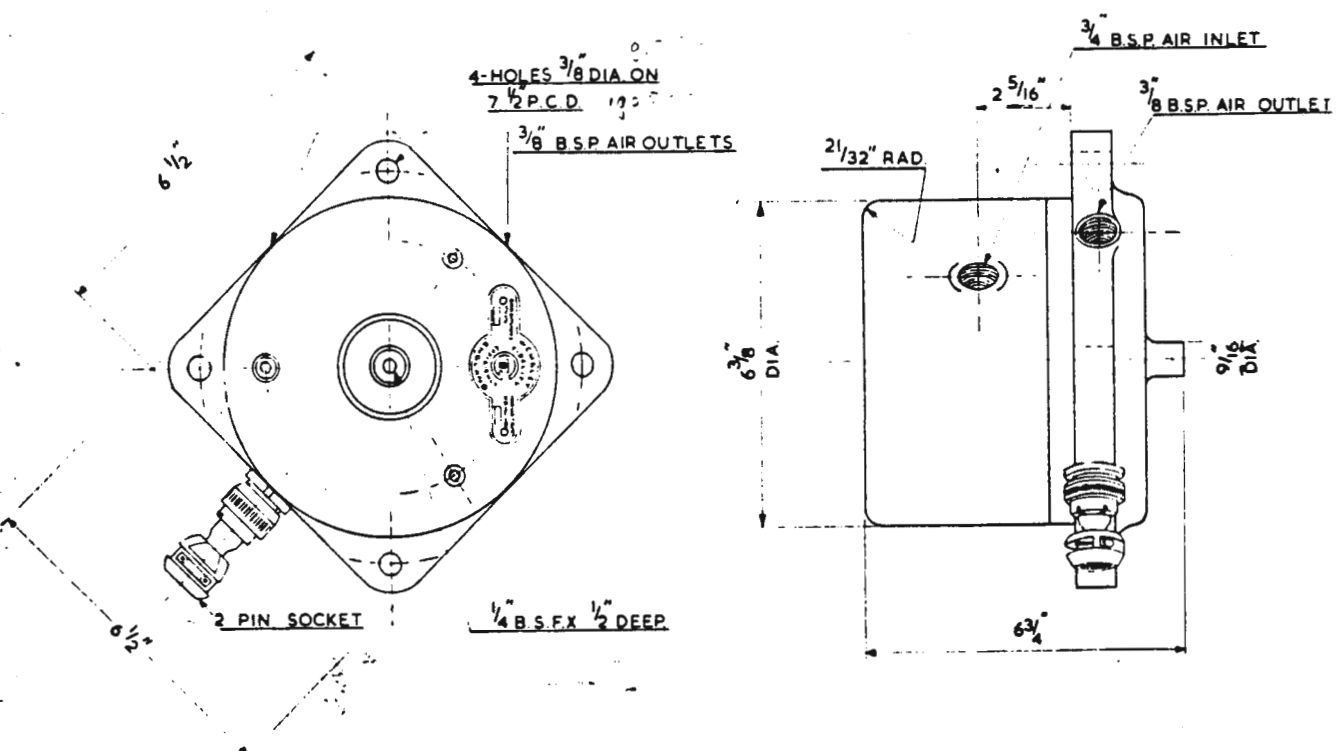
Fatigue and destruction testing can be carried out either conventionally, or, using an auxiliary suspension, employing the mass of the vibrator as the load.

Auxiliary suspensions and trunnion mountings are available as optional extras, and the vibrator is particularly suited to batch production testing small components, such as electronic valves, transistors etc.

Typical thrust curves for 50VA and 250VA input are shown on graphs G.1226 and G.1227.

Thrust obtainable at other input and cooling conditions may be calculated from the values of impedance, amps per g and maximum permissible current, shown on graphs G.1225, G.1224 and G.1228.

For short tests up to 20 minutes' duration, the current input may be increased above the maximum values given, by 20% if the unit is naturally cooled, or 15% if air cooled, with corresponding increases in thrust and acceleration.



# v50 mk 1 performance specification

## Thrust

Peak Thrust (at 2.5 lb. load) (100 c/s)

(a) Naturally cooled	24 lb.
(b) Air cooled with blower	48 lb.
(c) Air cooled from air line at 13" static water gauge.	50 lb.

Outline Drawing No. 100069-09

## Structural Resonance

First unloaded structural resonance 5 kc/s

## Stroke

Total 0.7"

## Moving System

Mass	0.18 lb.
Unloaded fundamental resonance	35 c/s
D.C. resistance (c.l.d)	5.3 ohms

## Cooling Requirements

Blower (Part No. 7871/S)  
or air line at 13" static water gauge.

## Dimensions

Overall  $6\frac{1}{2}'' \times 6\frac{1}{2}'' \times 6\frac{1}{2}''$   
Driving spindle (internal thread)  $\frac{1}{4}''$  B.S.F.  
or  $\frac{1}{4}'' \times 28$  N.F.

## Weight

Vibrator only	31 lb.
Vibrator with trunnion	53 lb.

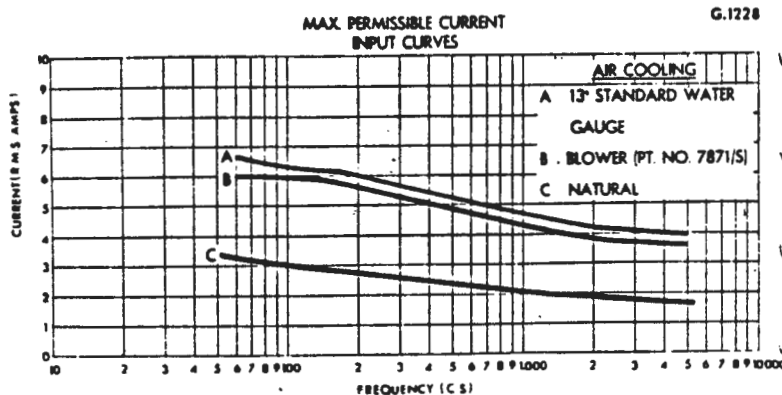
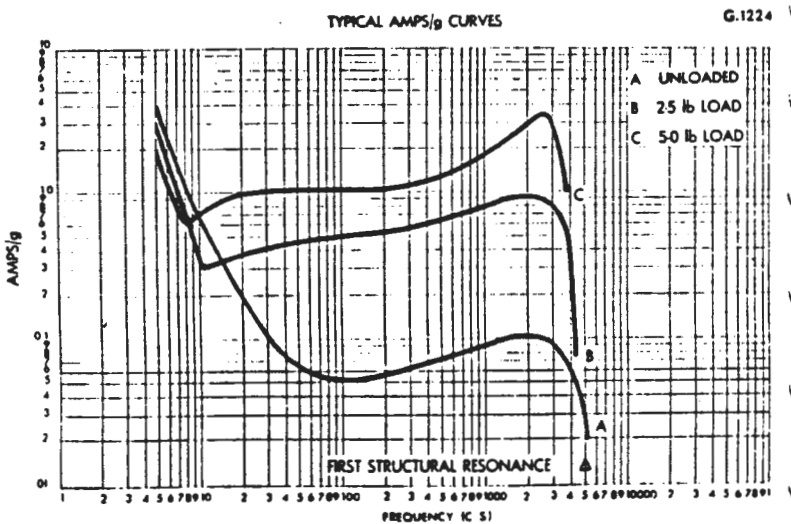
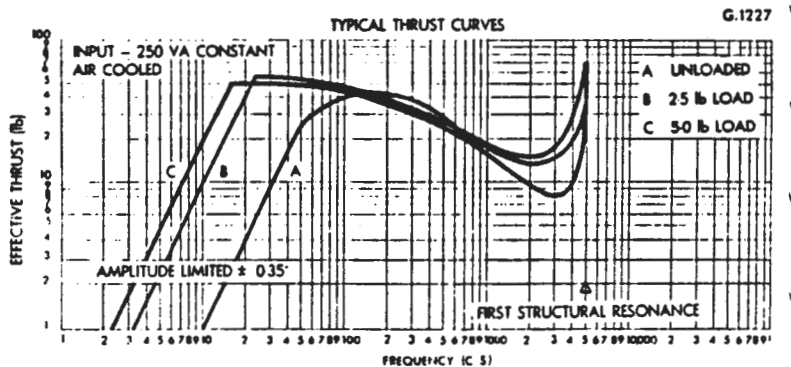
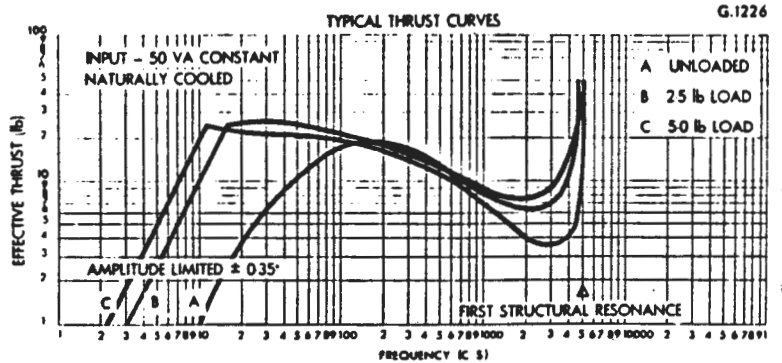
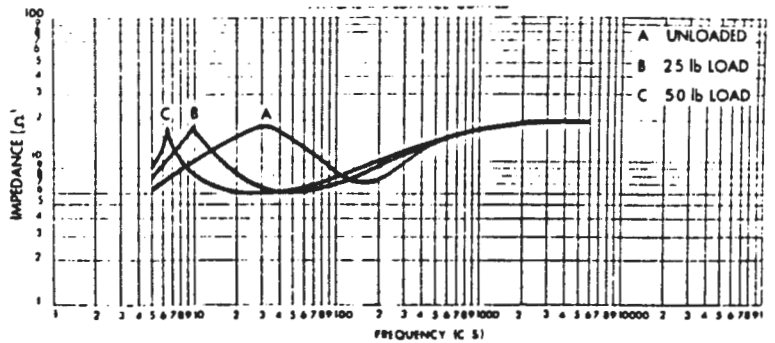
## GOODMANS INDUSTRIES LTD VIBRATION DIVISION

AXIOM WORKS LANCELOT ROAD  
WEMBLEY MIDDLESEX ENGLAND

Telephone: WEMBLEY 1200

Cables: Goodaxiom, Wembley, England

Printed in England



# operation

The operating procedure for a vibration generator is relatively simple but it is necessary to take certain elementary precautions to avoid overloading the vibrator, electrically and mechanically and damaging either the vibrator or the driving equipment, or both. The maximum permitted current is given in Fig. 2.5, while the maximum output to be obtained from the driving equipment in use depends on impedance matching and power factor of the load. In general, bad matching will be indicated by inefficient operation of the equipment, as shown by an abnormally high d.c. input power to the power amplifier valves for the required load current. In this case, the impedance graph on Fig. 2.5 will show the appropriate output impedance to be selected on the driving equipment.

In the absence of variable matching facilities, a certain sacrifice of peak force must be accepted. In some cases this can be rectified by an additional matching transformer, but electrical power factor correction is not to be recommended.

The vibration generator can be damaged mechanically by prolonged operation at excessive amplitudes, by the application of an excessively large static load, especially for a long period without some means of counter-balancing the applied weight, or by the application of an excessive torque about a vertical or horizontal axis.

In general, any static load applied to the vibration generator should be such that the deflection of the moving system plus the semi-amplitude required for the test is not greater than half the total stroke of the vibrator. Some form of auxiliary suspension must be employed when large static loads are being dealt with. This can consist of an external spider, or some form of low rate springs. Braided rubber cord is frequently used for this purpose.

To operate the vibrator, proceed as follows:

- (1) Connect the load to the vibrator mechanically, ensuring that the moving system is not displaced from the mean position.
- (2) Check that the oscillator amplitude control is at the zero position then switch on the oscillator and amplifier.
- (3) Select a suitable frequency and amplitude on the oscillator controls and check that the driving spindle commences to vibrate.
- (4) Carry out the test programme.

*Note: If the frequency is varied, the output current and the matching condition will be liable to vary due to the variation of vibrator impedance and power factor with frequency. This is of particular importance when working in swept frequency conditions.*

# servicing

If the vibration generator requires servicing or overhaul, it is recommended that the unit be returned to Pye-Ling Limited (or to their Agents if outside the United Kingdom) for this purpose.

In cases where the user has a sufficiently comprehensive repair organisation to permit work of this type to be carried out, the spares listed on the Parts List are obtainable from the manufacturers. To dismantle the generator, proceed as follows:

- (1) Disconnect the external electrical connections.
- (2) De-magnetise the magnet assembly.
- (3) Remove the top cover retaining screws and ease off the cover, complete with dust cover and screw down terminals.
- (4) Disconnect the electrical leads from the terminals and remove the top cover complete.
- (5) Remove the felt washer and unscrew the four countersunk front plate retaining screws. The

armature, front plate, moving coil and suspensions may now be removed from the vibrator body.

- (6) If it is desired to remove the magnet and pole tip, unscrew the central retaining screw in the vibrator base.
- (7) Clean all components and inspect for damage and deterioration.

*Note: Any damage or deterioration likely to have taken place during service will almost certainly be confined to the moving assembly. To simplify the overhaul procedure, the front plate assembly, comprising the front plate, moving coil and upper and lower suspensions, is supplied as a complete unit. It is only necessary to break the bonding retaining the moving coil to the armature then to bond the replacement coil to the original armature. The vibrator may then be assembled in the reverse order to that given for dismantling. When this has been completed, re-magnetise the magnet assembly.*

# description

## Construction

The major components of the vibrator, comprising the yoke, magnet and pole tip, moving coil assembly and top cover are assembled as shown in Fig. 2.4. The magnet and pole tip are assembled within the yoke casting so that an annular gap exists between the pole tip and the central bore in the front plate. A central through bolt, passing through the base of the yoke casting, retains the magnet and pole tip. Four counter-sunk head screws, passing through a packing piece into the base of the yoke, retain the front plate.

The moving coil assembly is accurately located in the annular gap between the pole tip and the front plate bore by screws and distance pieces, passing through the front plate and the upper and lower flexible suspensions of the coil. The driving spindle is attached to the upper part of the coil and protrudes through a flexible cover in the top cover. The top cover, secured to the front plate by four socket head screws, carries two screw down terminals for connection of the a.c. supply to the moving coil. A keeper rod is inserted through a bore in the driving spindle and clamped by the screw down terminals. The magnetic circuit is formed by a slug magnet, the steel yoke and the front plate and produces a magnetic field of sufficient intensity for satisfactory operation of the vibrator.

## Functioning

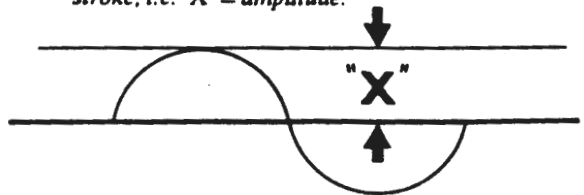
The vibration generator functions by the interaction between a steady magnetic field, produced by a permanent magnet, concentrated in the annular gap formed between the pole tip and the central bore in the front plate, and an oscillating current flowing in the moving coil. In such circumstances, a force is generated at right angles to the lines of flux and to the conductor carrying the current. This force is proportional to the product of the instantaneous current and the magnetic flux density.

The drive is derived from the amplified output from an oscillator. For the V47 vibration generator, the Pye-Ling Type PO5VA oscillator/amplifier is recommended, but any suitable oscillator/amplifier combination can be employed. The frequency of the movement at the moving coil is the same as the frequency of the oscillator signal, while the amplitude is proportional to the signal. A test load, mounted on the moving coil driving spindle, can, therefore, be vibrated at any fixed frequency pre-set on the oscillator or swept through a range of frequencies under manual or automatic control.

In addition to the electrical characteristics of the equipment, mechanical limitations must also be considered when assessing the performance of the vibrator. The construction of the moving assembly is such as to give the maximum possible strength compatible with the lowest possible weight. This is most important to the efficiency of the generator since the total weight to be vibrated necessarily means the weight of the moving system plus the weight of the test load. The greater the weight therefore, of the moving system, the less force is available to the test load.

It will also be realised that, at the lower frequencies, amplitude limitation will restrict the theoretically available acceleration. This is governed by the standard formula,  $\text{acceleration} = 4\pi^2 \text{frequency}^2 \times \text{amplitude}$ .

*Note: In this connotation, amplitude means half the total stroke, i.e. 'X' = amplitude.*



Performance data on the V47 generator can be seen on the curves in Fig. 2.5.



## Bijlage G Instrumentatie

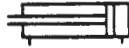
	blz.
- pneumatische cilinder	73
- proportioneel-precisie-drukventiel	79
- versnellingsopnemer	81
- load-cell	82
- meetversterker load-cell	84
- inductieve verplaatsingsopnemer	85
- meetversterker verplaatsingsopnemers	90

Doppeltwirkender Zylinder

Ausführungen:

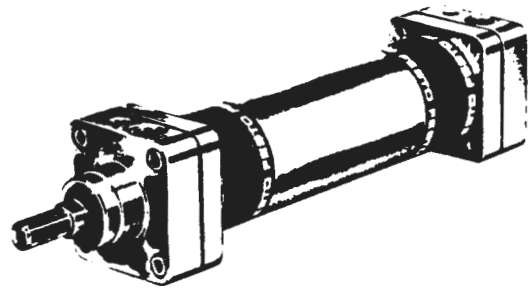
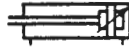
ohne Endlagendämpfung

Typ DN-...



mit beidseitig einstellbarer  
Endlagendämpfung

Typ DN-...-PPV



Sonderausführungen:

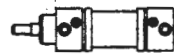
S2	Dübelbohrung Kolbenstange	S6	Wärme- Dämmung bis 120°C
S3	Saugbohrung Kolbenstange	S7	Zylinder aus Messing
S5	Chemisch empfindliche Zylinder- Lauffläche	S8	Außenbohrung mit ... Kühlmittel- Leitung - S 3

Die Sonderausführungen können mit-  
einander kombiniert werden.

Diese Zylinderbaureihe entspricht ISO 6431, DIN 24335 (VDMA) und CETOP RP 43 P in Funktion, Abmessungen und Befestigungsmöglichkeiten.

Einbau Grundzylinder ohne Befestigungselemente

Befestigung vorn



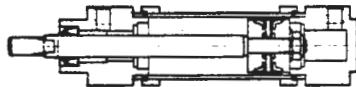
Befestigung hinten



Zusatzbauteile (Blatt 1.310, 1.320):

- Gabelkopf Typ SG
- Gelenkkopf Typ SGS
- Flexkupplung Typ FK

Beispiel: Typ DN-...



Einbauvarianten und zusätzliche Befestigungselemente

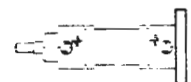
Fußbefestigung Typ HN



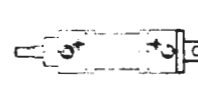
Flanschbefestigung Typ FN  
vorn



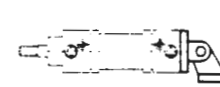
Flanschbefestigung Typ FN  
hinten



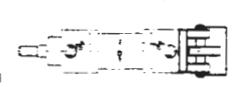
Schwenkflansch Typ SN



Schwenkflansch Typ SN  
mit Lagerbock Typ LN



Schwenkflansch Typ SN  
mit Lagerbock Typ LSN  
(seitliche Auslenkung max. 5°)

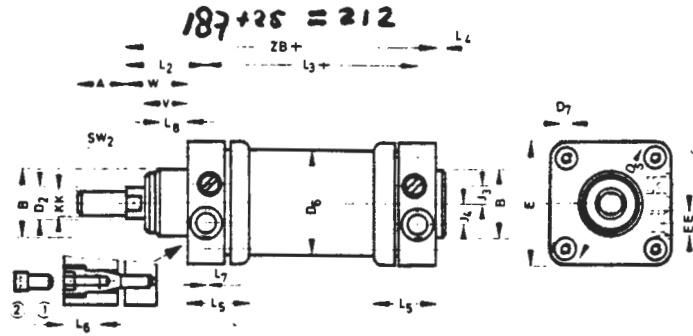


Bestellbezeichnung (siehe Blatt 1.270.2)			Teile-Nr. + DN + Kolben- $\phi$ + Hublänge + Endlagendämpfung + Sonderausführung Bestellbeispiel: Kolben- $\phi$ 63 mm, Hublänge 80 mm, einstellbare Endlagendämpfung, Sonderausführung S 2 = 5546 DN-63-80-PPV-S 2						
Medium			gefilterte, geölte oder gefilterte, nicht geölte Druckluft						
Bauart			Kolbenzylinder						
max. zulässiger Betriebsdruck			12 bar						
Temperaturbereich			-20 bis +80° C						
Werkstoffe			Lager- und Abschlußdeckel: G-Al, lackiert; Zylinderrohr: Präzisionsstahlrohr, lackiert; Kolbenstange: X 20 Cr 13, Gewinde gerollt; Dichtungen: Perbunan						
Gewichte			siehe Rückseite						
Kolben- $\phi$ mm	Standard- Hublängen mm		Hublänge* min.-max. mm	Schubkraft bei 6 bar		Rückzugskraft bei 6 bar	Anschluß	Dämpfungs- länge mm	
				N	( $\approx$ kp)				N
32	25	160	1 bis 2000	450	(45)	380	(38)	R 1/8	19
40	40	200	1 bis 2000	710	(71)	590	(59)	R 1/4	21
50	50	250	1 bis 2000	1130	(113)	940	(94)	R 1/4	23
63	80	300	1 bis 2000	1800	(180)	1610	(161)	R 3/8	23
80	100		1 bis 2000	2900	(290)	2610	(261)	R 3/8	30
100	125		1 bis 2000	4550	(455)	4260	(426)	R 1/2	30

\* Hubtoleranzen nach DIN  $\pm 1,3$  mm

Änderungen vorbehalten

Typ DN...



- 1 Innensechskantschraube mit Innengewinde (im Zylinder eingebaut)
- 2 Zylinderschraube mit Innensechskant (wird mit den Befestigungselementen geliefert)
- 3 Reglerschraube für einstellbare Endlagendämpfung
- + = zuzüglich Hublänge

Kolben- ø mm	A	B <sub>18</sub> ø	D <sub>218</sub> ø	D <sub>5</sub> ø	D <sub>6</sub> ø	D <sub>7</sub>	E	EE	J <sub>3</sub>	J <sub>4</sub>	KK	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>	L <sub>6</sub>	L <sub>7</sub>	L <sub>8</sub>	SW <sub>2</sub>	V	W	ZB
32	20	30	12	46	37	M 5	45	R 1/8	7	-	M 10 x 1,25	35	76	4	38,5	13	12	-	10	16	26	120
40	24	35	16	56	45	M 5	54	R 1/4	9	4,5	M 12 x 1,25	42	81	5,5	37,5	13	6	-	13	20	30	135
50	32	40	20	68	55	M 6	65	R 1/4	12	5,5	M 16 x 1,5	49	82	5	38,5	16	4	17	17	25	37	143
63	32	42	20	84	68	M 6	80	R 3/8	13	13	M 16 x 1,5	54	87	6	46,5	19	-	20	17	28	40	155
80	40	48	25	100	86	M 8	96	R 3/8	17	16	M 20 x 1,5	62	96	6	48	21	-	23	22	34	48	172
100	40	52	25	132	110	M 8	126	R 1/2	16	16	M 20 x 1,5	69,5	101	7	54,5	21	-	23	22	40	53	187

Gewichte

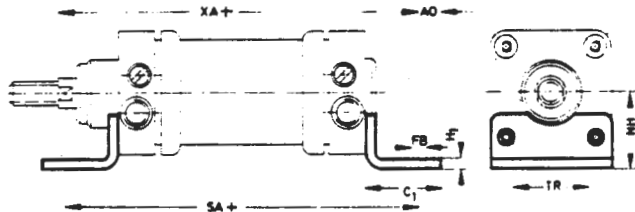
Kolben- ø mm	Grundzylinder kg				Befestigungselemente kg				
	Typ DN...	Grund- gewicht	Gewicht pro 10 mm Hub	DN... PPV Grund- gewicht	Gewicht pro 10 mm Hub	HN... Stahl, verzinkt	FN... G-Al	SN... GD-Al	LN... GTS-35
32	0,970	0,030	1,000	0,030	0,140	0,080	0,110	0,160	0,140
40	1,150	0,042	1,200	0,042	0,220	0,110	0,180	0,210	0,200
50	1,675	0,057	1,760	0,057	0,380	0,190	0,260	0,420	0,350
63	2,685	0,065	2,760	0,065	0,580	0,340	0,460	0,540	0,460
80	3,505	0,099	3,650	0,099	1,100	0,520	0,700	0,880	0,780
100	6,355	0,168	6,500	0,168	1,480	0,900	1,280	1,370	1,180

4/27 (4 B2)

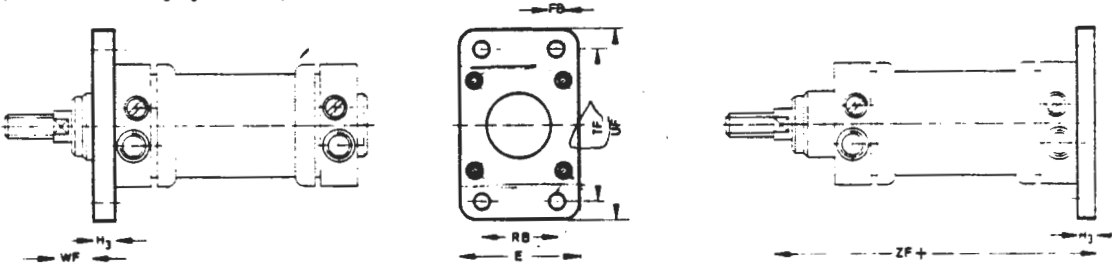
Änderungen vorbehalten

Befestigungselemente für Zylinder-Baureihe DN-...

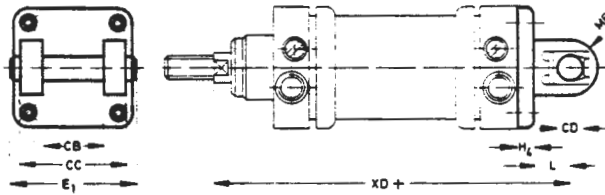
**Fußbefestigung Typ HN-...**  
(2 Füße mit Befestigungsschrauben)



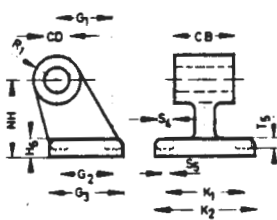
**Flanschbefestigung Typ FN-...**  
(1 Flansch und Befestigungsschrauben)



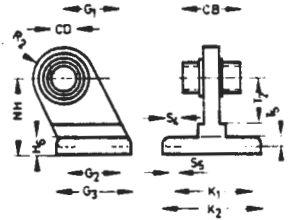
**Schwenkflansch Typ SN-...**  
(1 Schwenkflansch mit Achsboizen und Befestigungsschrauben)



**Lagerbock Typ LN-...**  
(1 Lagerbock)



**Lagerbock Typ LSN-...**  
(1 Lagerbock mit sphärischer Lagerung)



Bei Bestellung Kolben- $\phi$  angeben  
+ = zuzüglich Hublänge

Kolben- $\phi$ mm	AO	C <sub>1</sub>	CB	CC	CD	E	E <sub>1</sub>	FB	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>6</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	L
32	8	32	26	45	10	45	54	7	21	18	31	4	10	8	8	38	51	14
40	10	38	28	52	12	54	62	9	24	22	35	5	10	9	10	41	54	16
50	10	42	32	60	12	65	70	9	33	30	45	6	12	11	12	50	65	16
63	15	50	40	70	16	80	82	9	37	35	50	6	15	12	12	52	67	23
80	17	60	50	90	16	96	102	12	47	40	60	8	18	14	14	66	86	24
100	14	57	60	110	20	126	126	14	55	50	70	8	18	15	15	76	96	28
Kolben- $\phi$ mm	MR	NH	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	RB	SA	S <sub>4</sub> $\phi$	S <sub>5</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	TF	TR	UF	WF	XA	XD	ZF	
32	10	32	10	13	32	142	10	5,5	16	5,7	64	32	77	16	144	142	130	
40	13	36	11	15	36	161	10	5,5	20	5,7	72	36	90	20	163	160	145	
50	16	45	13	15	45	170	11	6,6	22	6,8	90	45	110	25	175	170	155	
63	18	50	15	20	50	185	11	6,6	30	6,8	100	50	125	25	190	190	170	
80	18	63	15	20	63	210	15	9	31	9	126	63	154	30	215	210	190	
100	23	71	19	24	75	220	15	9	38	9	150	75	186	35	230	230	205	

Änderungen vorbehalten

1.270.1

Doppeltwirkender Zylinder  
in Sonderausführung

mit durchgehender  
Kolbenstange

Ausführungen:

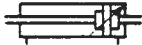
ohne Endlagendämpfung

Typ DN-...-S 2



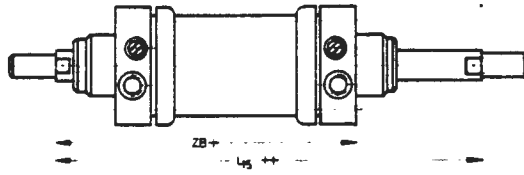
mit beidseitig einstellbarer  
Endlagendämpfung

Typ DN-...-PPV-S 2

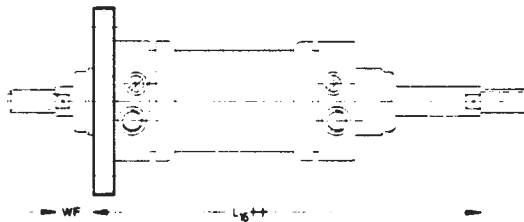
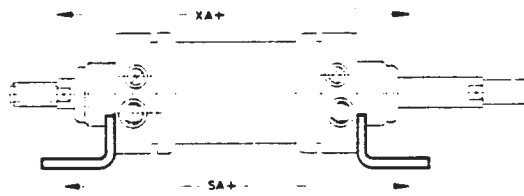


Die lieferbaren Hublängen entsprechen  
der Normalausführung

Abweichende Angaben zur Normalausführung



+ 25 [mm]



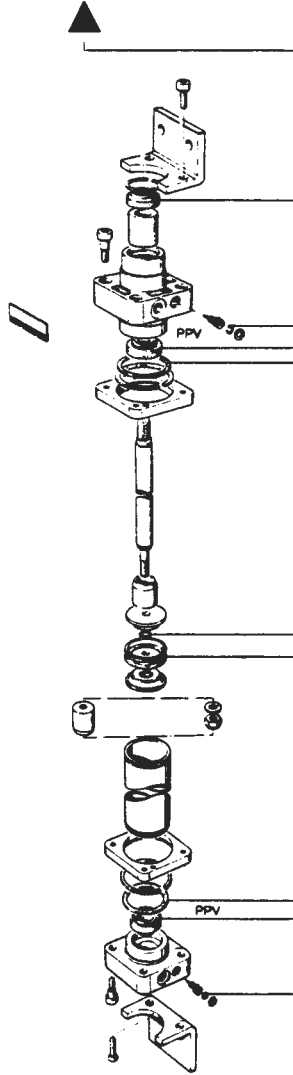
+ = zuzüglich Hublänge  
++ = zuzüglich 2 x Hublänge

Kolben- ∅ mm	Schubkraft = Rückzugkraft bei 6 bar für S 2 N	(= ko)	L <sub>15</sub>	L <sub>16</sub>	SA	WF	XA	ZB
32	380	(38)	146	130	142	16	144	120
40	590	(59)	165	145	161	20	163	135
50	940	(94)	180	155	170	25	175	143
63	1610	(161)	195	170	185	25	190	155
80	2610	(261)	220	190	210	30	215	172
100	4260	(426)	240	205	220	35	230	187



Verschleißteilsätze

Kolben-Ø mm	Typ DN-...	Typ DN-...-PPV	
32	Bestellbezeichnung 101 740	Bestellbezeichnung 103 504 ▶ 1/80	
40	101 741	103 506 ▶ 2/80	
50	101 742	103 508 ▶ 9/80	
63	101 743	103 778 ▶ 2/81	
80	101 744	102 753 ▶ 9/80	
100	101 745	103 752 ▶ 12/80	

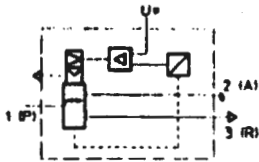


Änderungen vorbehalten

Bestenbezeichnung						Bestenbezeichnung						Bestenbezeichnung					
Teile-Nr.	Typ	Kolben-a	Hub	End-lagen-dämpf.	Sonder-ausfüh-rung	Teile-Nr.	Typ	Kolben-a	Hub	End-lagen-dämpf.	Sonder-ausfüh-rung	Teile-Nr.	Typ	Kolben-a	Hub	End-lagen-dämpf.	Sonder-ausfüh-rung
5159	DN	-32-	25			5169	DN	-40-	25			5179	DN	-50-	25		
5180	DN	-32-	40			5170	DN	-40-	40			5180	DN	-50-	40		
5181	DN	-32-	50			5171	DN	-40-	50			5181	DN	-50-	50		
5162	DN	-32-	80			5172	DN	-40-	80			5182	DN	-50-	80		
5163	DN	-32-	100			5173	DN	-40-	100			5183	DN	-50-	100		
8535	DN	-32-	125			8539	DN	-40-	125			8543	DN	-50-	125		
5164	DN	-32-	160			5174	DN	-40-	160			5184	DN	-50-	160		
5165	DN	-32-	200			5175	DN	-40-	200			5185	DN	-50-	200		
8536	DN	-32-	250			8540	DN	-40-	250			8544	DN	-50-	250		
5166	DN	-32-	300			5176	DN	-40-	300			5186	DN	-50-	300		
4964	DN	-32-	...			4965	DN	-40-	...			4966	DN	-50-	...		
5537	DN	-32-	...		-S 2	5538	DN	-40-	...		-S 2	5539	DN	-50-	...		-S 2
					-S ...						-S ...						-S ...
4970	DN	-32-	25	PPV		4980	DN	-40-	25	PPV		4990	DN	-50-	25	PPV	
4971	DN	-32-	40	PPV		4981	DN	-40-	40	PPV		4991	DN	-50-	40	PPV	
4972	DN	-32-	50	PPV		4982	DN	-40-	50	PPV		4992	DN	-50-	50	PPV	
4973	DN	-32-	80	PPV		4983	DN	-40-	80	PPV		4993	DN	-50-	80	PPV	
4974	DN	-32-	100	PPV		4984	DN	-40-	100	PPV		4994	DN	-50-	100	PPV	
8537	DN	-32-	125	PPV		8541	DN	-40-	125	PPV		8545	DN	-50-	125	PPV	
4975	DN	-32-	160	PPV		4985	DN	-40-	160	PPV		4995	DN	-50-	160	PPV	
4976	DN	-32-	200	PPV		4986	DN	-40-	200	PPV		4996	DN	-50-	200	PPV	
8538	DN	-32-	250	PPV		8542	DN	-40-	250	PPV		8548	DN	-50-	250	PPV	
4977	DN	-32-	300	PPV		4987	DN	-40-	300	PPV		4997	DN	-50-	300	PPV	
4958	DN	-32-	...	PPV		4959	DN	-40-	...	PPV		4960	DN	-50-	...	PPV	
5543	DN	-32-	...	PPV	-S 2	5544	DN	-40-	...	PPV	-S 2	5545	DN	-50-	...	PPV	-S 2
					-S ...						-S ...						-S ...
<b>Befestigungselemente</b>						<b>Befestigungselemente</b>						<b>Befestigungselemente</b>					
5135	HN	-32				5136	HN	-40				5137	HN	-50			
5141	FN	-32				5142	FN	-40				5143	FN	-50			
5153	SN	-32				5154	SN	-40				5155	SN	-50			
5147	LN	-32				5148	LN	-40				5149	LN	-50			
5561	LSN	-32				5562	LSN	-40				5563	LSN	-50			
5189	DN	-63-	25			5199	DN	-80-	25			5209	DN	-100-	25		
5190	DN	-63-	40			5200	DN	-80-	40			5210	DN	-100-	40		
5191	DN	-63-	50			5201	DN	-80-	50			5211	DN	-100-	50		
5192	DN	-63-	80			5202	DN	-80-	80			5212	DN	-100-	80		
5193	DN	-63-	100			5203	DN	-80-	100			5213	DN	-100-	100		
8547	DN	-63-	125			8551	DN	-80-	125			8555	DN	-100-	125		
5194	DN	-63-	160			5204	DN	-80-	160			5214	DN	-100-	160		
5195	DN	-63-	200			5205	DN	-80-	200			5215	DN	-100-	200		
8548	DN	-63-	250			8552	DN	-80-	250			8556	DN	-100-	250		
5196	DN	-63-	300			5206	DN	-80-	300			5216	DN	-100-	300		
4967	DN	-63-	...			4968	DN	-80-	...			4969	DN	-100-	...		
5540	DN	-63-	...		-S 2	5541	DN	-80-	...		-S 2	5542	DN	-100-	...		-S 2
					-S ...						-S ...						-S ...
5000	DN	-63-	25	PPV		5010	DN	-80-	25	PPV		5020	DN	-100-	25	PPV	
5001	DN	-63-	40	PPV		5011	DN	-80-	40	PPV		5021	DN	-100-	40	PPV	
5002	DN	-63-	50	PPV		5012	DN	-80-	50	PPV		5022	DN	-100-	50	PPV	
5003	DN	-63-	80	PPV		5013	DN	-80-	80	PPV		5023	DN	-100-	80	PPV	
5004	DN	-63-	100	PPV		5014	DN	-80-	100	PPV		5024	DN	-100-	100	PPV	
8549	DN	-63-	125	PPV		8553	DN	-80-	125	PPV		8557	DN	-100-	125	PPV	
5005	DN	-63-	160	PPV		5015	DN	-80-	160	PPV		5025	DN	-100-	160	PPV	
5006	DN	-63-	200	PPV		5016	DN	-80-	200	PPV		5026	DN	-100-	200	PPV	
8550	DN	-63-	250	PPV		8554	DN	-80-	250	PPV		8558	DN	-100-	250	PPV	
5007	DN	-63-	300	PPV		5017	DN	-80-	300	PPV		5027	DN	-100-	300	PPV	
4961	DN	-63-	...	PPV		4962	DN	-80-	...	PPV		4963	DN	-100-	...	PPV	
5548	DN	-63-	...	PPV	-S 2	5547	DN	-80-	...	PPV	-S 2	5548	DN	-100-	...	PPV	-S 2
					-S ...						-S ...						-S ...
<b>Befestigungselemente</b>						<b>Befestigungselemente</b>						<b>Befestigungselemente</b>					
5138	HN	-63				5139	HN	-80				5140	HN	-100			
5144	FN	-63				5145	FN	-80				5146	FN	-100			
5156	SN	-63				5157	SN	-80				5158	SN	-100			
5150	LN	-63				5151	LN	-80				5152	LN	-100			
5564	LSN	-63				5565	LSN	-80				5566	LSN	-100			

Proportional-Präzisions-Druckventil

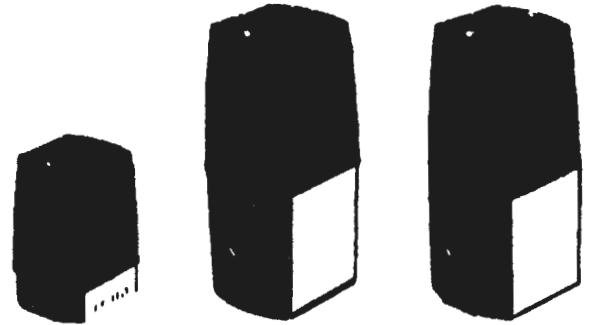
Typ MPPE-3-1/8  
MPPE-3-1/4  
MPPE-3-1/2



Zubehör:  
Steckdose Typ MSSD-PE  
Haltewinkel  
Bestellbezeichnung 33366 HPE-1/4-1/2

Das Proportional-Präzisions-Druckventil, mit integriertem Drucksensor, regelt den anstehenden Druck. Am Ausgang entsteht ein zur vorgegebenen Sollwertspannung proportionales Drucksignal. Werkseitig ist das Ventil bei 0 bis 10 V Sollwertspannung auf 0,2 bis 10 bar Ausgangsdruck eingestellt.

Eine Änderung der Potentiometereinstellung (Aussteuerbegrenzung Nullpunktverschiebung, Hysterese) ist nur dann notwendig wenn ein anderer Arbeitsbereich des Ventils erwünscht ist.



Für die elektrische Ansteuerung des Ventils wird die Steckdose Typ MSSD-PE eingesetzt. Diese wird auf die Rundsteckverbindung des Ventils aufgesteckt und ist direkt ansteuerbar. Z. B. über D/A-Einschub einer FPC-Steuerung.

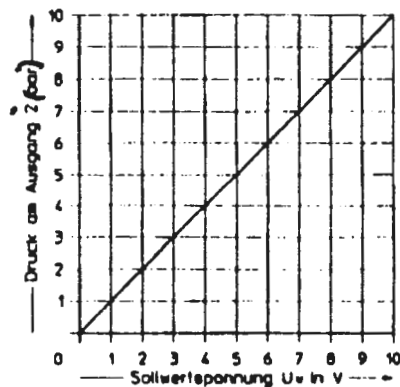
Mit dem Druck-Regelventil können:

- Pneumatische Drücke nach einer vorgegebenen elektrischen Führungsgröße variabel eingestellt werden.
- Der Druckverlauf kann nach einem eingestellten Programm vorgegeben werden.

Einsatzmöglichkeiten:

- Variierende Klemmkraft für Spann- und Klemmzylinder
- Gegendruckerzeugung bei Zylindern.

Regelkennlinie



Teilbezeichnung	Teile-Nr./Typ	33 363	33 364	33 365	33 367
Medium		MPPE-3-1/8	MPPE-3-1/4	MPPE-3-1/2	MSSD-PE
		25 bis 50 µm gefilterte, geölte oder gefiltert ungeölte Druckluft, neutrale Gase			
Bauart		3-Wegeventil mit Vorsteuerung über zwei 2/2-Wegeventile			
Befestigungsart		4 selbstschneidende Schrauben			am Ventil
Anschluß	pneumatisch elektrisch	G 1/8	G 1/4	G 1/2	Schraubklemmen (max. 1,5 mm <sup>2</sup> ); PG 11
Versorgungsdruckbereich		1 bis 12 bar			
Ausgangsdruckbereich		0,2 bis 10 bar (siehe Diagramm)			
Normalnenndurchfluß max.		40 l/min	1660 l/min	3000 l/min	
Versorgungsspannung		24 V Gleichspannung ± 15 %			24 V = ± 15 %
Restwelligkeit		max. 1 V innerhalb des Versorgungsspannungsbereichs			
Leistungsaufnahme		max. 6 W			
Eingangssignal/Sollwertspannung (U <sub>v</sub> )		0 bis 10 V			
Eingangswiderstand		10 kΩ			
Einstellbereiche	Nullpunktverschiebung Aussteuerbegrenzung Hysterese	-30 % bis +30 % von U <sub>v</sub> max. (Werkseinstellung 0 %) 10 % bis +200 % von U <sub>v</sub> max. (Werkseinstellung 100 %) 100 mbar Werkseinstellung			
Linearitätsabweichung		1 % von Ausgangsdruckbereich			
Schutzart		IP 65			IP 65
Einschaltdeuer		100 %			
Temperaturbereich		0 bis +50 °C			-40 bis +90 °C
Werkstoff		Gehäuse: Al, Schutzkappe: Kunststoff			
Gewicht		0,875 kg	1,600 kg	1,650 kg	0,060 kg





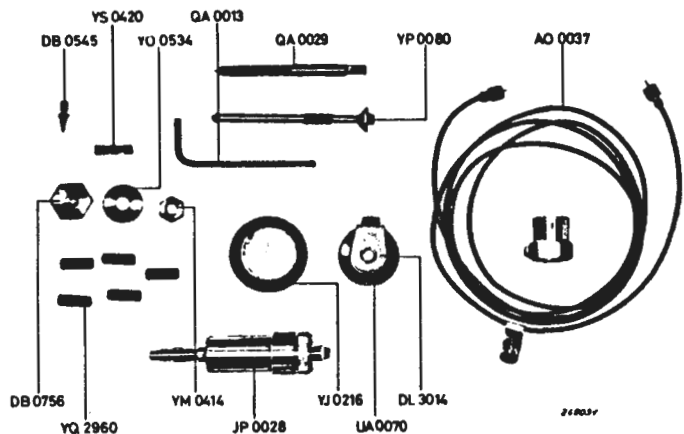


Fig.10.1. Photograph of an accelerometer set (excl. mahogany case).

### SPECIFICATIONS 4338 (4318/58)

Charge Sensitivity, pC/g	100 ± 2%
Voltage Sensitivity, mV/g	approx. 100
Sensitivity stability (ISA-RP 37.2)	better than 2%
Free Resonance, kHz	20
Mounted resonance (solid steel), kHz	12
Capacity incl. cable, pF	approx. 1000
Transverse sensitivity, %**	< 3
Base strain sensitivity***	< 5 × 10 <sup>-5</sup> g/μ strain (in plane of base)
Max. ambient temp., °C	260
Temperature sensitivity, dB/°C	0.02
Leak resists, at 20°C, MΩ	> 2 × 10 <sup>4</sup>
Typical value at 250°C, MΩ	2 × 10 <sup>4</sup>
Magnetic sensitivity, g/k gauss***	< 0.2
Acoustic sensitivity	< 194 dB SPL equivalent to 1 g
Torque sensitivity 6–60 kgcm(%)	< 1
Frequency range with steel screw ± 2%	0* – 1500 Hz
" " " " " ± 10%	0* – 3000 Hz
Cable connection	Top
Height, mm/inches	30.8/1.99
Weight, grams/ounces	typical 60/2.12
Material of base	stainless steel (AISI.316)
Provision for water cooling	yes
Mounting thread	10–32 NF

\* The low frequency cut-off is determined by the preamplifier.

\*\* Axis of minimum transverse sensitivity indicated by red dot.

\*\*\* Ref. ISA. RP 37.2–64

10. Abmessungen (Freimaßtoleranz mittel nach DIN 7168)

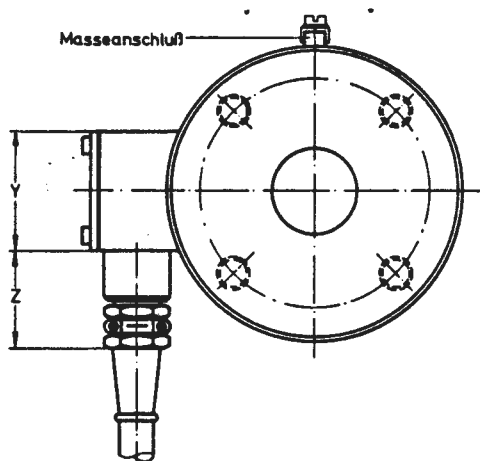
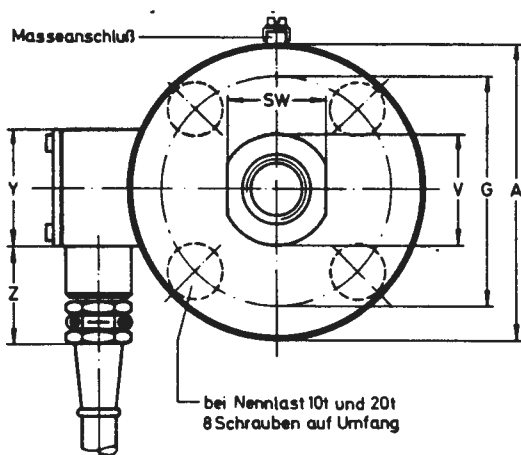
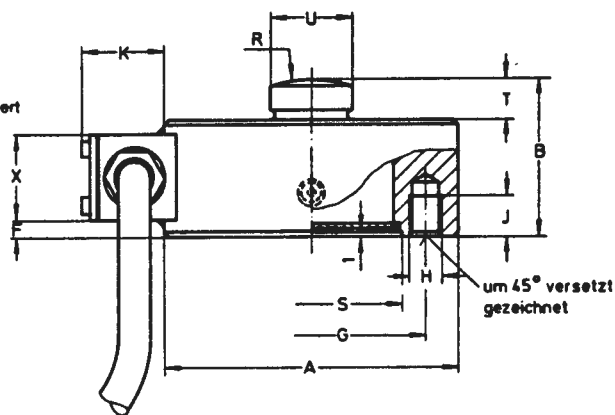
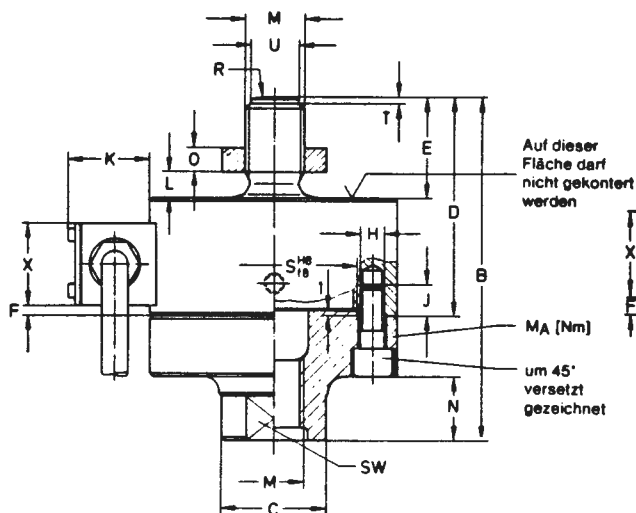
10.1 Aufnehmer

**U 2A, U 2-E**  
für Nennlasten von 50 kg bis 20 t  
(für Nennkräfte von 500 N bis 200 kN)

Schutzart IP 67

**C 2, C 2-E**  
für Nennlasten 50 kg bis 50 t  
(für Nennkräfte 500 N bis 500 kN)

Schutzart IP 67



Typ	Abmessungen in mm																				M <sub>A</sub> [Nm]			
	∅A <sub>0,2</sub>	B	∅C	D	E	F	∅G	H	J	K	L	M	N	O	R	∅S	SW	T	∅U	V		X	Y	Z
U2A/50kg.../1t	50	72	21	47	24	2	42	4 x M5	6	22	4,2	M 12	13	7	60	34	19	1,6	9,5	22	20	32	25	9
U 2A/2 t	90	112	33	72	38	5	70	4 x M10	12	25	10,8	M20x1,5	15	10	100	55	30	1,6	17	34	26	36	34	75
U 2A/5 t	100	141	40	86	47	5	78	4 x M12	17	25	13,2	M24x2	19	12	100	61	36	2	20	40	26	36	34	125
U 2A/10 t	135	197	68	122	67	10	105	8 x M12	16	26	19	M39x2	29	19	160	79	60	2	36	65	26	36	34	125
U 2A/20 t	155	232	82	142	85	10	125	8 x M16	20	26,5	24,2	M48x2	32	22	160	97	70	2,2	43	82	26	36	34	300

Typ	Abmessungen in mm													
	∅A <sub>0,2</sub>	B	F	∅G	H	J	K	R	∅S	T	∅U	X	Y	Z
C 2/50 kg ... /1 t	50	30	2	42	4 x M 5	6	25	60	34 <sup>H8</sup>	7	13 <sub>0,1</sub>	20	32	25
C 2/2 t und 5 t	90	48	5	70	4 x M 10	12	27	100	55 <sup>H8</sup>	12,5	25 <sub>0,1</sub>	26	36	34
C 2/10 t und 20 t	115	60	10	90	4 x M 12	16	27	160	68 <sup>H8</sup>	12,5	32 <sub>0,1</sub>	26	36	34
C 2/50 t	155	90	10	125	4 x M 16	20	28	300	97 <sup>H8</sup>	15,5	44 <sub>0,1</sub>	26	36	34

## 9 Technische Daten

Typenreihe		U 2 A		C 2	
Genauigkeitsklasse		0,2		0,2	
<b>Nennlast</b>	kg t	50   100; 200; 500 1; 2; 5; 10; 20		50   100; 200; 500; 1; 2; 5; 10; 20; 50	
<b>Nennkennwert</b>	mV/V	2		2	
<b>Kennwerttoleranz</b> (Kalibriertoleranz des Ausgangssignals bei Nennlast und $g = 9,81029 \text{ m/s}^2$ ) bei Zug bei Druck	% %	$< \pm 0,2$   $< \pm 0,2$ $< \pm 1,5$   $< \pm 0,5$		$< \pm 0,2$	
<b>Temperaturkoeffizient des Kennwerts</b> pro 10 K im Nenntemperaturbereich im Gebrauchstemperaturbereich	% %	$< \pm 0,1$ $< \pm 0,1$		$< \pm 0,1$ $< \pm 0,1$	
<b>Temperaturkoeffizient des Nullsignals</b> pro 10 K im Nenntemperaturbereich im Gebrauchstemperaturbereich	% %	$< \pm 0,05$ $< \pm 0,1$		$< \pm 0,05$ $< \pm 0,1$	
<b>Zusammengesetzter Fehler</b> Zug Druck	% %	$< \pm 0,2$ $< \pm 0,2$		$< \pm 0,2$	
<b>Veränderlichkeit</b>	%	$< \pm 0,03$		$< \pm 0,03$	
<b>Eingangswiderstand</b> bei Referenztemperatur	$\Omega$	$350 \pm 2$		$350 \pm 2$	
<b>Ausgangswiderstand</b> bei Referenztemperatur	$\Omega$	$350 \pm 1,5$		$350 \pm 1,5$	
<b>Isolationswiderstand</b>	G $\Omega$	$> 5$		$> 5$	
<b>Nennbereich der Speisespannung</b>	V	0,5 ... 10   0,5 ... 12		0,5 ... 10   0,5 ... 12	
<b>Maximale Speisespannung</b>	V	12   18		12   18	
<b>Referenztemperatur</b>	$^{\circ}\text{C}$	+23		+23	
<b>Nenntemperaturbereich</b>	$^{\circ}\text{C}$	-10 ... +70		-10 ... +70	
<b>Gebrauchstemperaturbereich</b>	$^{\circ}\text{C}$	-30 ... +85		-30 ... +85	
<b>Lagerungstemperaturbereich</b>	$^{\circ}\text{C}$	-50 ... +85		-50 ... +85	

## Mechanische Werte

Nennlast	Gebrauchs- last	Grenzlast	Bruchlast	zul. dynamische Belastung* (Schwingbreite nach DIN 50100)		relative statische Grenzquerbelastung (bezogen auf die Nennlast)		Meßweg in mm		Eigen- frequenz in kHz $\pm 15\%$	
				U 2 A	C 2	U 2 A	C 2	U 2 A	C 2	U 2 A	C 2
50 kg	75 kg	75 kg	> 150 kg	50 kg	50 kg	12,5 kg	25 kg	< 0,1	< 0,1	4	4,4
100 kg	150 kg	150 kg	> 300 kg	160 kg	100 kg	25 kg	50 kg	< 0,1	< 0,1	6	8,7
200 kg	300 kg	300 kg	> 600 kg	320 kg	200 kg	50 kg	100 kg	< 0,1	< 0,1	8,7	9,7
500 kg	750 kg	750 kg	> 1,5 t	800 kg	500 kg	125 kg	250 kg	< 0,1	< 0,1	14	18,5
1 t	1,5 t	1,5 t	> 3 t	1,6 t	1 t	250 kg	500 kg	< 0,1	< 0,1	17,5	19,3
2 t	3 t	3 t	> 6 t	3,2 t	2 t	500 kg	1 t	< 0,07	< 0,06	8	13
5 t	7,5 t	7,5 t	> 15 t	8 t	5 t	1,25 t	2,5 t	< 0,07	< 0,06	8,5	14
10 t	15 t	15 t	> 30 t	16 t	10 t	2,5 t	5 t	< 0,09	< 0,06	6	13
20 t	30 t	30 t	> 60 t	32 t	20 t	5 t	10 t	< 0,09	< 0,06	5,6	14
50 t	75 t	75 t	> 150 t	-	50 t	-	25 t	-	< 0,1	-	10,5

\* Die größte Lastspitze darf die Nennlast nicht überschreiten.

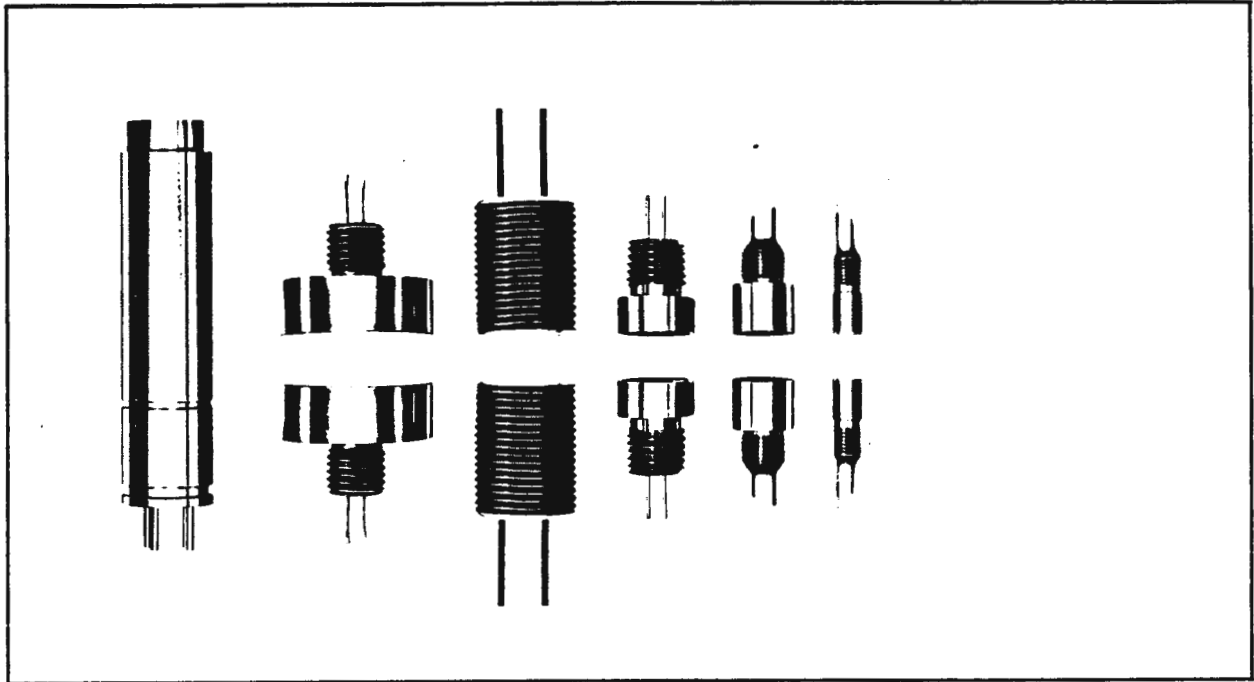
## E Technische Daten

Genauigkeitsklasse		0,1
<b>Trägerfrequenz</b>	Hz	5000 ± 2%
<b>Brückenspeisespannung <math>U_B</math> (Effektivwert)</b>	V	1,5 ± 3%
<b>Anschließbare Meßwertaufnehmer</b> induktive Aufnehmer (Halbbrücke) Max. Kabellänge zum Aufnehmer	mH m	8... 20 500
<b>Meßbereiche:</b> intern umschaltbar kontinuierliche Feineinstellung	mV/V %	2 ± 80; ± 8 <sup>1)</sup> 14
<b>Nullabgleichbereich</b> Grobabgleich <sup>2)</sup> , mit 4 internen Schaltern in 16 Stufen, je Stufe im Abgleichbereich ± 80 mV/V im Abgleichbereich ± 8 mV/V kontinuierlicher Feinabgleich im Abgleichbereich ± 80 mV/V im Abgleichbereich ± 8 mV/V	mV/V mV/V mV/V mV/V	± 5 ± 0,5 ± 3,2 ± 0,32
<b>Meßfrequenzbereich (-1 dB)</b>	Hz	0... 150
<b>Linearitätsabweichung</b>	%	± 0,1 v. E. bzw. ± 2 digit
<b>Meßfolgezeit</b>	ms	330
<b>Analog-Ausgang</b> Max. Ausgangsspannung, je nach Anzeigebereich Zulässiger Lastwiderstand Innenwiderstand Trägerrestspannung	V kΩ Ω mV	± 1,999; ± 1,000; ± 0,500 > 5 < 5 30 (1,5% v. E.)
<b>Digitalanzeiger</b> Ziffernhöhe Anzeigebereiche, umschaltbar Unsymmetrie bei Polaritätswechsel	mm d d	7-Segment LED, 3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> -stellig 14 ± 1999; ± 1000; ± 500 < ± 1
<b>Einfluß der Netzspannung bei ± 10%, Änderung auf</b> Nullpunkt Meßempfindlichkeit <b>Temperatureinfluß pro 10 K im Nenntemperaturbereich</b> auf die Empfindlichkeit auf dem Nullpunkt am Verstärker Ausgang im Meßbereich 80 mV/V im Meßbereich 8 mV/V <b>Nenntemperaturbereich</b> <b>Gebrauchstemperaturbereich</b> <b>Lagertemperaturbereich</b> <b>Netzanschluß</b> <b>Leistungsaufnahme</b> <b>Abmessungen:</b> Frontplatte (H x B) Länge <b>Gewicht</b> <b>Schutzklasse nach DIN 57 411</b> <b>Schutzart nach DIN 40050</b>	% % % mV mV °C °C °C V VA mm mm kg	< 0,05 < 0,05 < 0,2; typ. 0,1 < 1,1 < 5,8 -10... +50 -20... +60 -25... +70 220 V ± 10% (50... 60 Hz) 6,6 48 x 96 172 0,5 II IP 40

<sup>1)</sup> Im Meßbereich 8 mV/V kann jeder beliebige Meßbereich zwischen 8 mV/V und 160 mV/V eingestellt werden.

<sup>2)</sup> Im Grobabgleichbereich 8 mV/V kann jeder beliebige Abgleichbereich zwischen 8 mV/V und 160 mV/V eingestellt werden.

## Inductive Contactless Transducer Tr



The contactless displacement transducers Tr, used in conjunction with 5 kHz carrier frequency amplifiers, are particularly suitable for dynamic problems which require the measurement of displacements, movements, deflections, radial vibrations, etc., to be picked up without contact and without reaction effects. The field of application of the Tr transducers is not, however, restricted to measurements of movements only, as they can also be used, for example with a spring element to measure forces, or with a diaphragm for detecting pressures. The high degree of sensitivity of the coils makes it possible to work with such small displacements, compared to mechanical measuring devices, that one can in practice speak of "displacement-free" measurement. Depending on the type of coil and the arrangement of the coils, the measurable displacements lie between  $\pm 1 \times 10^{-4}$  mm and  $\pm 1$  mm.

### Special features

- small space requirement
- great versatility
- robust construction, protected against moisture
- small mass, and hence suitability for dynamic measurements on rotating parts or parts subjected to high accelerations
- entirely free from reaction on the measured object

### Brief description

Tr transducers are available in a range of sizes and designs. The choice of the most suitable transducer for a particular problem must take into account the nature of the task and the physical conditions of installation.

The transducers Tr 4, Tr 8, Tr 10, Tr 10 D and Tr 20 consist of two measuring coils which are installed separately and oriented according to the task involved. Together they form an inductive half bridge (See the diagram). These types are chiefly intended for permanent installation in machines etc. The numbers in the type designation correspond to the outer diameter of the transducer (except Tr 10 D).

The Tr 4 transducers should be used where the larger models cannot be employed for reasons of space. As a result of their very small dimensions they are less robust and have a somewhat higher electrical interference level. If the measuring arrangement must have great sensitivity of measurement, good zero point stability and linear indication, both transducer elements must be used as active sensors in a differential circuit (Installation arrangement 1). In principle it is also possible to measure using just one active transducer element, the second element being fixed opposite a piece of material corresponding to the object to be measured (Installation arrangement 2).

The Tr 10 D is water-tight and resistant to pressure on the front end. The cup-shaped stainless steel housing allows it to be installed in measuring arrangements where very high pressures on the front end can arise, even in corrosive media.

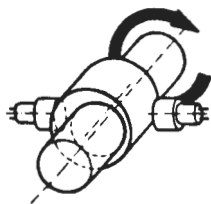
The transducer Tr 102 consists of two standard Tr 10 coils, which are placed in one housing. This transducer is constructed in accordance with the installation arrangement 2 and is therefore to be used singly and not in a pair. The measuring coils is located at the front surface of the cylindrical housing, whilst the compensation coil is situated in the interior of the transducer. The transducer can be used when the initial air gap "L<sub>A</sub>" is approximately 0.2 to 2 mm, as the internal reference air gap "L<sub>R</sub>" can be similarly adjusted by means of a slotted screw on the end of the housing at the plug end.

**Principle of measurement**

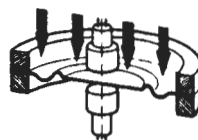
Each transducer Tr contains one measurement coil. The transducers (measurement coils) are paired and connected in a Wheatstone half bridge circuit which is energized by a carrier frequency (5 kHz or 50 kHz).

If the inductance of one measurement coil changes the Wheatstone bridge is detuned and the output signal varies. In the case of ferromagnetic materials a change of the distance between the object to be measured and the coil produces a variation of the coil inductance. If the transducer is energized with high frequency carrier voltage e.g. 50 kHz, it is possible to measure also with non ferromagnetic materials. In this case the effect is caused by eddy currents in the object to be measured.

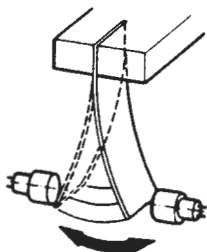
**Examples for using Tr transducers**



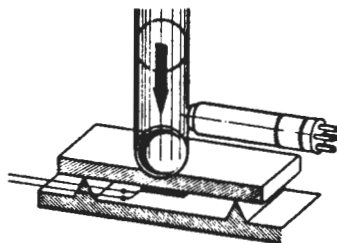
Continuous measurement of the movements of a shaft, using an eccentric piece.



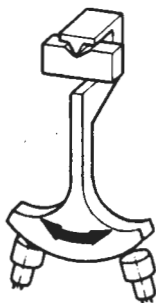
Arrangement for measuring the position of a thin diaphragm.



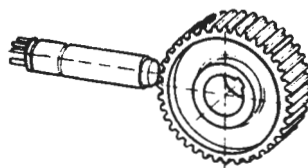
Frequency and amplitude measurement on a leaf spring (tuning fork).



Deriving a trigger pulse in a falling ball test.

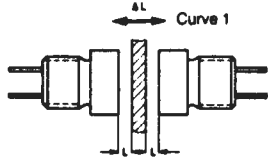


Contact-free and reaction-free measurement of the position or motion of a pendulum.

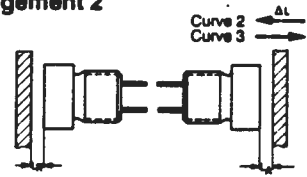


Measuring the movement of a gear wheel for speed measurements, angle marking and so on.

**Installation arrangement 1**



**Installation arrangement 2**



**Sensitivity**

The sensitivity (ratio of output voltage to supply voltage) depends on the type of transducer used, the initial air gap  $L_A$ , the change in the air gap  $\Delta L$  and the circuit. The reference air gap  $L_R$  is equal to  $L_A$  in the balanced condition. Diagrams 1 to 4 have as a parameter the change in the air gap  $\Delta L = 0.1 \text{ mm}$ . The relationship between the measured value and the indication in the installation arrangement 1

up to a 20% change of the initial air gap is linear (deviation < 1%), if  $\Delta L \leq 0.2 L_A$ .

With the transducer circuit in accordance with the installation arrangement 2 the relation between the measured value and the indication is not linear. As the transducer Tr 102 is basically operated in this circuit, the relevant curves for different values of the initial air gap  $L_A$  are shown in the fifth diagram.

Diagram 1

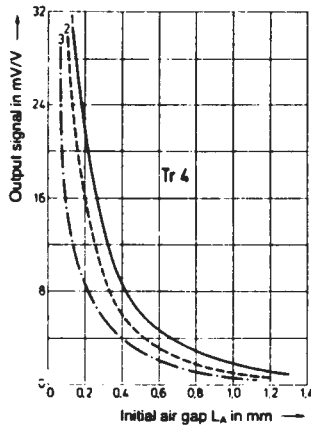


Diagram 2

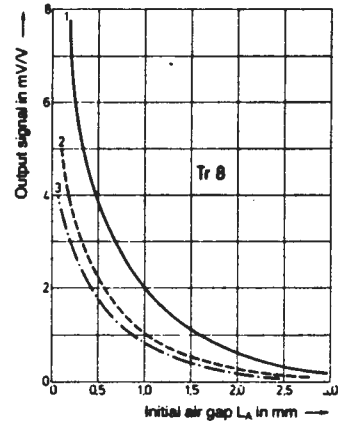


Diagram 3

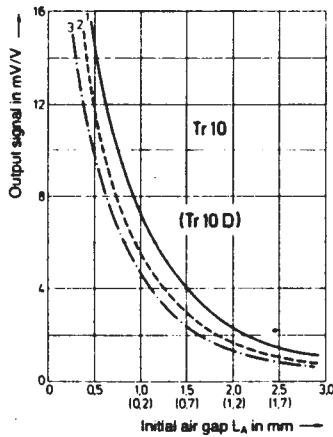


Diagram 4

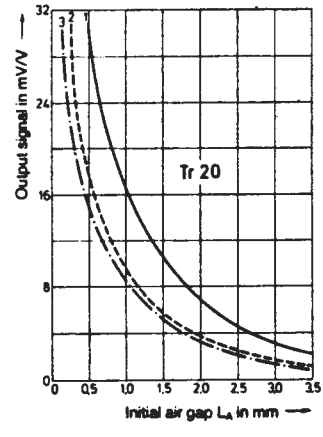
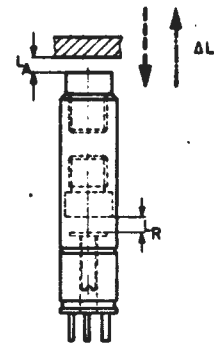
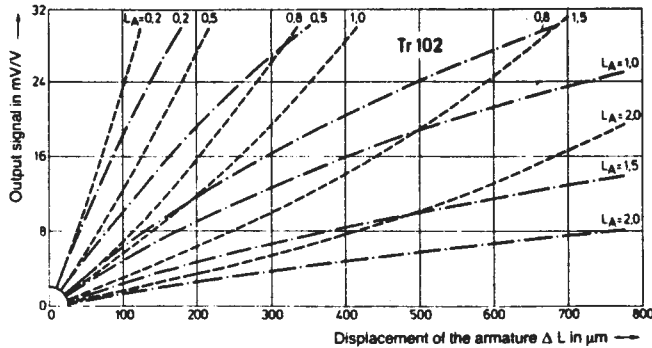


Diagram 5

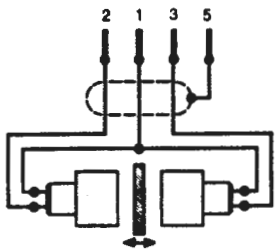




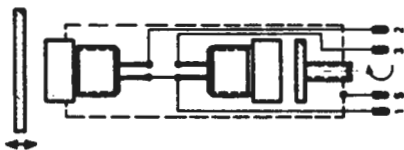


**Schematic Diagram**

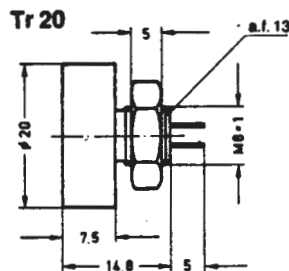
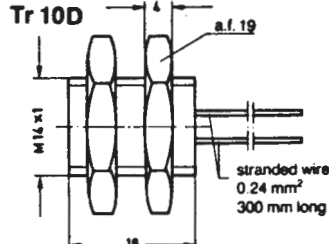
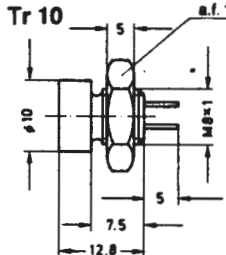
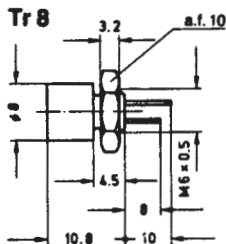
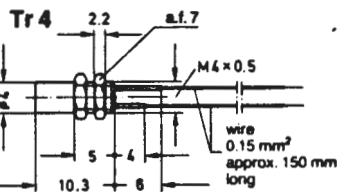
Installation arrangement 1



Installation arrangement 2



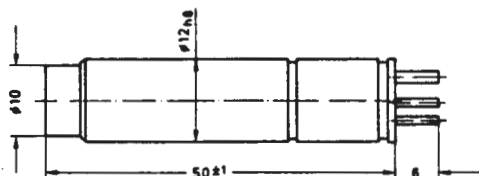
**Dimensions**



Tr 102



Connector HS 31 P



narrow tolerance according to DIN 7168 rough

**Technical Data**

Type		Tr 4	Tr 8	Tr 10	Tr 10 D	Tr 20	Tr 102
Max. measuring displacement (L/ΔL approx. 5 : 1 at a linearity deviation < ± 1 %)	mm	0.45	0.6	0.6	0.6	0.7	see diagram 5
Sensitivity with a measuring displacement ΔL = 0.1 mm		see diagram 1	see diagram 2	see diagram 3	see diagram 3	see diagram 4	see diagram 5
Command supply voltage (rms value)	V	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Service range of supply voltage	V	1 ... 6	1 ... 6	1 ... 6	1 ... 6	1 ... 6	1 ... 6
Carrier frequency	kHz	5*	5	5*	5	5	5*
Inductance** approx.	mH	2 x 5	2 x 3	2 x 3.2	2 x 3.2	2 x 5	6.4
Resistance approx.	Ω	2 x 90	2 x 26	2 x 33	2 x 33	2 x 50	66
Service temperature range	°C	-160 ... +120	-160 ... +120	-160 ... +120	-160 ... +120	-160 ... +120	-160 ... +120
Weight without nuts	g	2 x 0.5	2 x 1.5	2 x 3.5	2 x 13	2 x 11.5	25

\* also obtainable for 50 kHz

\*\* dependent on the initial air gap L<sub>0</sub>

**Accessories**

for			for	
Tr 4	screened low capacitance special cable with free ends, in lengths of 10 m, 20 m, 50 m, 100 m 4 core, 5 mm dia, 4 x 0.17 mm <sup>2</sup> 4 core, 8 mm dia, 4 x 0.26 mm <sup>2</sup>	Kab 5/00-4 Kab 8/00-4	Tr 102	Transducer connection cable with cable socket HK 31 S-G and cable plug MS 3106 A 16 S - 1 P, length 3 m
Tr 8				Kab 0106-3
Tr 10	Transducer connection cable with one free end and a cable plug MS 3106 A 16 S - 1 P length 1 m length 3m	Kab 0103-1 Kab 0103-3	Tr 102	Transducer connection cable with one free end and cable socket HK 31 S - G, length 3 m
Tr 10 D				Kab 0104-3
Tr 20				

We reserve the right to make technical modifications

**HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GMBH**

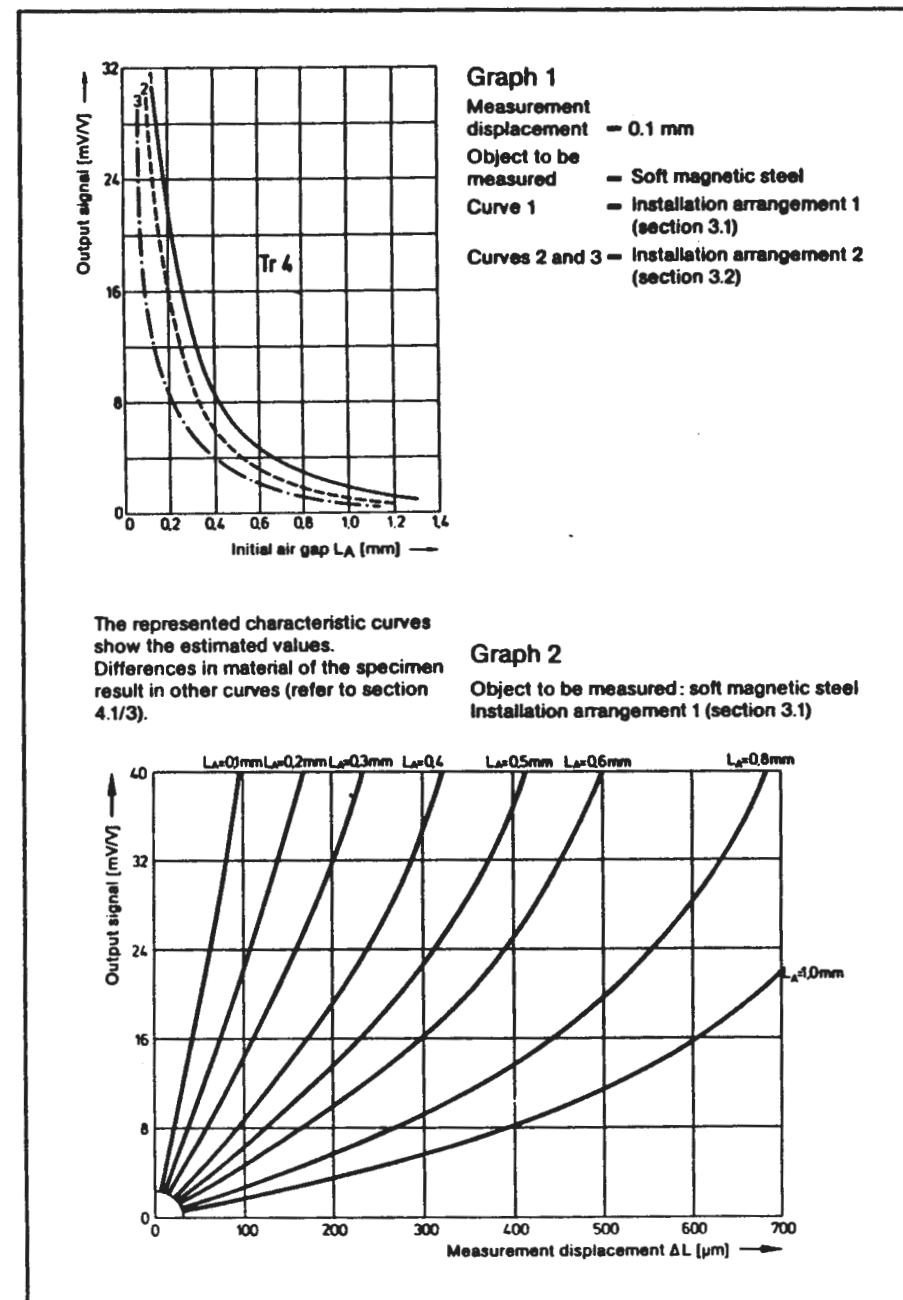
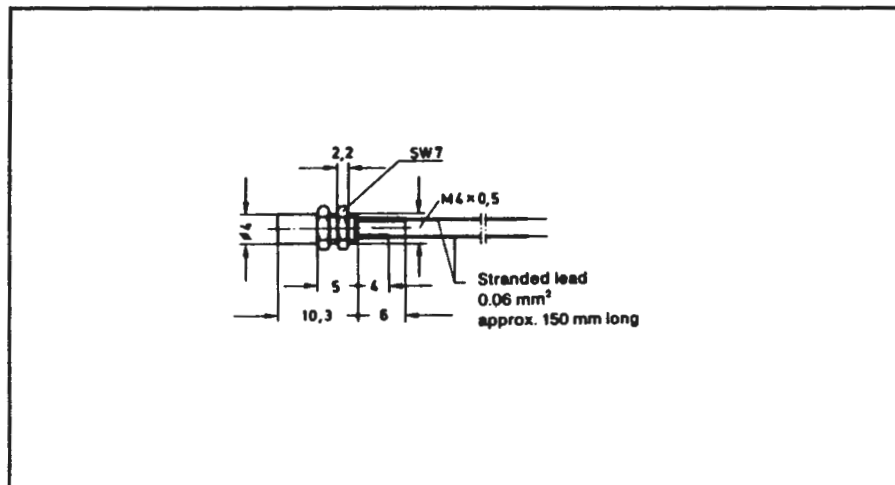
Postfach 4235 · Im Tiefen See 45  
D-6100 Darmstadt 1 · Telefon (06151) \*803-1  
Telex: 419341 · Telegramm: Messtechnik Darmstadt

Technical Data

Type		Tr 4-5	Tr 4-50
Maximum measurement displacement for linearity deviation < 1% ( $\Delta L/L_A < 0.2$ )	mm	0.45	0.45
Carrier frequency	kHz	5	50
Recommended supply voltage	V	2.5	2.5
Supply voltage service range	V	1 ... 6	1 ... 6
Inductance per coil *) approx.	mH	5	0.5
Resistance per coil, approx.	$\Omega$	90	16
Service temperature range	$^{\circ}\text{C}$	- 160 ... + 120	- 160 ... + 120
Weight per coil (without nuts)	g	0.5	0.5
Width across flats of the nuts included in the supply	mm	7	7
Maximum tightening torque	Nm	0.1	0.1

\*) depending on the initial air gap  $L_A$

Dimensions (Narrow tolerance according to DIN 7168 - rough)

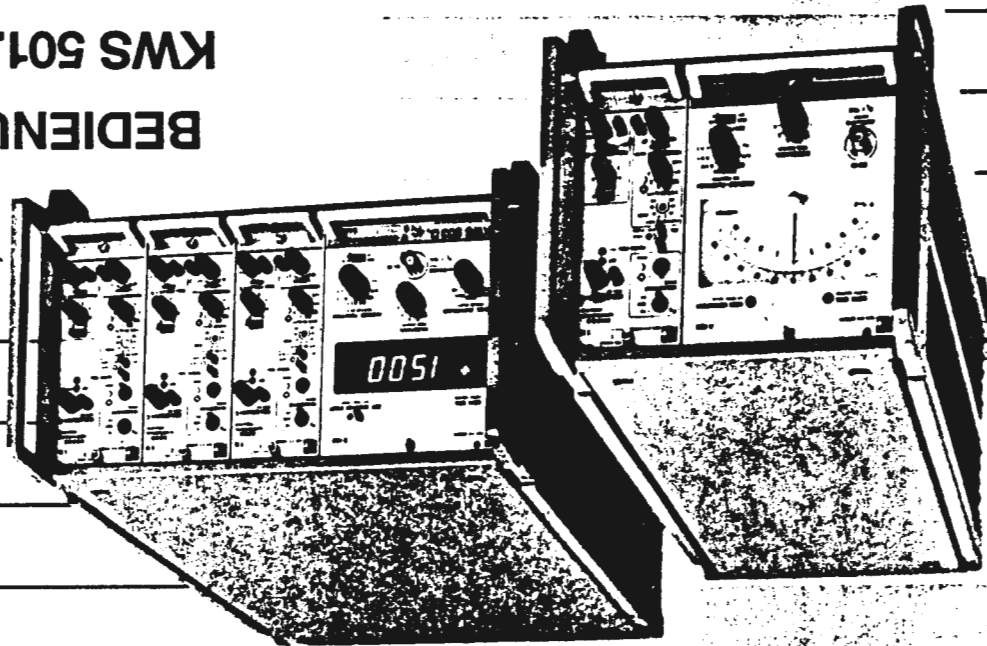


5-KHz-Meßverstärker mit  
Analog- oder Digitalanzeiger

KWS 501.A (D) . . . 506.A (D)

BEDIENUNGSANLEITUNG

*alpha 3000*



ELEKTRISCHES  
MESSEN  
MECHANISCHER  
GRÖSSEN

HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK

Technische Änderungen vorbehalten

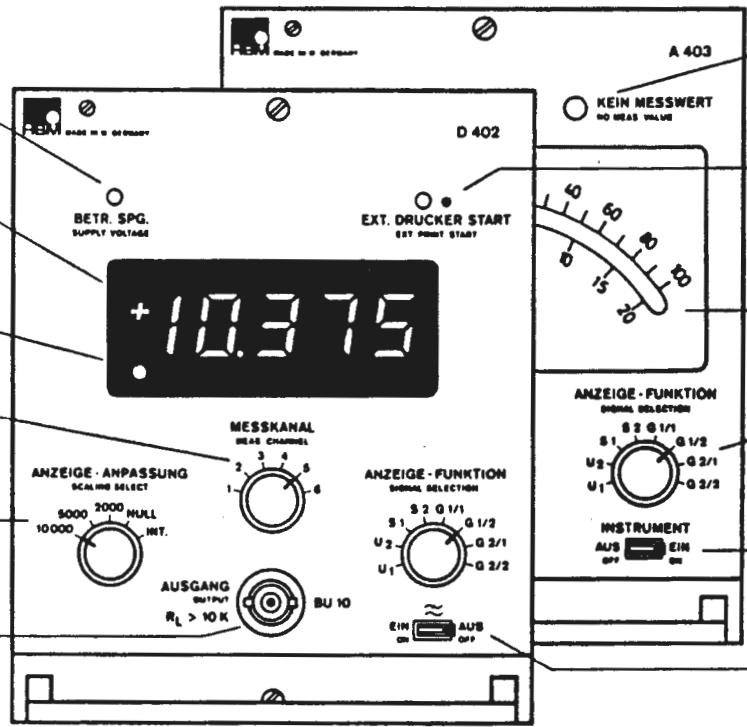
**HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GMBH**

Postfach 4235 · Im Tiefen See 45 · D-6100 Darmstadt · Tel. (06151) \*803-0 · Telefax (06151) 894896 · Telex 419341 · Telegr.: Messtechnik Darmstadt

vw-d 9.88 - 0.6 br

**Bedienelemente  
Anzeigeeinheiten**

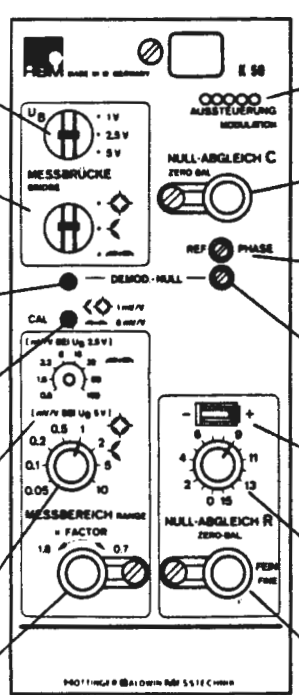
- BETR. SPG.**  
Signalisiert die eingeschaltete Versorgungsspannung
- DIGITAL-ANZEIGE**  
Vier-einhalbstellige 7-Segment-Anzeige
- LEUCHTPUNKT**  
Signalisiert eine Übersteuerung
- MESSKANAL**  
Anwahl des gewünschten Meßkanals
- ANZEIGE-ANPASSUNG**  
Einstellen des Nennwertes der Digitalanzeige
- AUSGANG**  
Analogausgang des angewählten Signals



- KEIN MESSWERT**  
Offene Eingangsleitung, bzw. nicht belegter Kanal
- EXT. DRUCKER START**  
LED signalisiert eingebauten Druckermodul DM 08. Taste löst einen Druckvorgang über externen Drucker aus.
- ANALOGANZEIGE**  
Drehspulinstrument Klasse 1,5
- ANZEIGE-FUNKTION**  
Wahl des Ausgangssignals, das auf der Anzeige dargestellt wird
- INSTRUMENT**  
Anzeigeelement kann abgeschaltet werden
- TIEFPASS**  
Ein- und Ausschalten der internen Tiefpaßfiltern

**Bedienelemente Verstärkereinschub\* K 50**

- BRÜCKENSPEISESPANNUNG**  
Wahlschalter zum Einstellen der Brückenspeisespannung
- MESSBRÜCKE**  
Wahlschalter zum Anpassen des Verstärkers an DMS Halb- oder Vollbrücke bzw. induktive Halbbrücke
- DEMODULATOR**  
Taste zum Abrufen des Kontrollsignals für den internen Nullpunkt
- KALIBRIERSIGNAL**  
Taste zur Aktivierung des verstärkerinternen Kalibriersignals
- MESSBEREICH INDUKTIV**  
LED-Anzeige weist darauf hin, daß die Brückenauswahl auf induktiv steht und damit die veränderten Meßbereichswerte wirksam sind
- MESSBEREICH**  
Stufenschalter zur Meßbereichseinstellung
- MESSBEREICH FEIN**  
Potentiometer zum Feinabgleich des Meßbereiches



- AUSSTEUERUNG**  
die LED-Anzeige zeigt eine Übersteuerung des Verstärkers an
- NULL-ABGLEICH C**  
Potentiometer für den Brückennullabgleich nach Phase (C-Abgleich)
- REFERENZPHASE**  
Schraubendreher-Potentiometer für den Abgleich der Referenzphase
- DEMODULATOR**  
Schraubendreher-Potentiometer für den Abgleich des internen Nullpunktes (Demodulator-Null)
- POLARITÄT**  
Schalter zum Einstellen der Polarität der Abgleichspannung
- NULL-ABGLEICH R GROB**  
Potentiometer für den Grob- abgleich des Brückennullpunktes nach Betrag (R-Abgleich)
- NULL-ABGLEICH R FEIN**  
Potentiometer für den Fein- abgleich des Brückennullpunktes nach Betrag (R-Abgleich)

\* Ist eine Zusatzeinheit eingebaut, können sich weitere Bedien- und Anzeigeelemente auf der Frontplatte befinden. Vgl. ZUSATZEINHEITEN