

## Tweedimensionale luchtgelagerde tafel op granietbasis. Deel 2. Met microcomputersturing

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

Struik, K. G., & Lammers, M. G. M. (1986). Tweedimensionale luchtgelagerde tafel op granietbasis. Deel 2. Met microcomputersturing. *I-twee werktuigbouwkunde*, 2(4), 15-21.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1986

**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.

Met microcomputersturing

# Tweedimensionale luchtgelagerde tafel op granietbasis (2)

*In het tweede deel van dit artikel besteden we aandacht aan het ontwerp van de graniet-basis en de luchtlager-configuratie enerzijds en het ontwerp van de aandrijvingen anderzijds. Om te kunnen construeren is het noodzakelijk de eigenschappen van het materiaal te kennen. [2] In het algemeen wordt de benaming graniet gebruikt voor meerdere materialen met uiteenlopende eigenschappen uit de groep harde stollings-gesteenten. Deze gesteenten zijn zeer sterke en stabiele materialen, maar ze zijn tevens hard en bros. Bij Pelt & Hooykaas gebruikt men voornamelijk de granietsoort Gabbro (kwartsgehalte circa 50% en hoge Mg- en Fe-gehalten), omdat alleen dit materiaal in voldoende hoeveelheden en in grotere afmetingen verkrijgbaar is.*

**E**nkele eigenschappen van Gabbro ten opzichte van gietijzer:

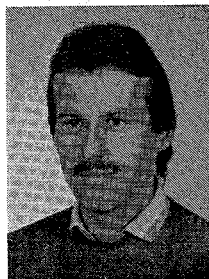
- lager soortelijk gewicht ( $2,9 \text{ kg/dm}^3$  resp.  $7,1 \text{ kg/dm}^3$ ),
- gelijke E-modulus ( $95.000 \text{ N/mm}^2$  resp.  $100.000 \text{ N/mm}^2$ ),
- geen corrosie-verschijnselen, echter waterabsorberend, wat gepaard gaat met zwellen,
- slijtvaster, geen braamvorming bij beschadigingen,
- spanningsvrij en geen krimpverschijnselen,
- moeilijker te vormen, maar eenvoudiger te polijsten,
- minder goede dempingseigenschappen
- kleinere uitzettings-coëfficiënt ( $6,0 \times 10^{-6}/\text{K}$  resp.  $11 \times 10^{-6}/\text{K}$ ), maar minder snelle vereffening van temperatuurverschillen in het werkstuk, (warmtegeleidingscoëfficiënt  $3,2 \text{ W/mK}$  resp.  $50 \text{ W/mK}$ ) waardoor een goede klimaatregeling in de meetkamer vereist is.

Hoe essentieel de temperatuurbeheersing is, blijkt uit het feit dat een vlakplaat van 2 meter lengte en 300 mm dikte bij een temperatuurverschil van  $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$  tussen boven- en onderzijde een bolling zal vertonen van  $1 \mu\text{m}$  [2]

## De granietbasis

In verband met de hoge stijfheidseis van de tafel ( $300 \text{ N}/\mu\text{m}$ ) is het noodzakelijk beide bewegingsassen met voorgespannen luchtlageringen uit te voeren. De hoge stijfheid is belangrijk omdat de uiteindelijke machinauwkeurigheid onder andere hiervan afhankelijk is. Wisselende belastingen op de lagers zullen namelijk resulteren in kantelfouten. De grootte van deze fouten wordt bepaald door de stijfheid van de lagers. De in de opdracht gestelde stijfheid van de luchtlagergeleiding komt overeen met die van een rollager geleiding. De uiteindelijke bouwvorm van de XY-tafel is gekozen aan de hand van het volgende eisenpakket.

**M. Lammers**



Ir. M.G.M. Lammers is hoofd van de afdeling Ontwikkeling bij de firma Pelt en Hooykaas te Helmond.

**K. Struik**



Ing. K.G. Struik is wetenschappelijk ambtenaar aan de afdeling Werktuigbouwkunde van de Technische Hogeschool te Eindhoven.

- De totale hoogte van de tafel moet zo gering mogelijk zijn.
- Zowel de x- als de y-beweging moeten in verticale richting worden afgesteund op hetzelfde referentievlak. De afwijking van een sledebeweging ten opzichte van de ideale rechte lijn wordt namelijk voor een groot gedeelte be-

paald door de nauwkeurigheid van zijn geleiding. Door voor beide assen verschillende geleidingen te kiezen en deze op elkaar af te steunen worden deze afwijkingen gesommeerd. Deze werkwijze dient te worden vermeden.

- Het aantal nauwkeurig te bewerken vlakken voor de luchtlagergeleidingen dient zo klein mogelijk te worden gehouden.
- Bij verplaatsing van de slede moeten de geleidingen zo weinig mogelijk doorbuigen.
- Het totale aantal in de constructie aanwezige luchtligers moet zo gering mogelijk zijn.
- Er moet voldoende ruimte zijn voor inbouw van de aandrijvingen.

De constructie die het beste aan de gestelde eisen voldoet is geschetst in fig. 1. De basis van de constructie wordt gevormd door een granieten vlakplaat V ( $1300 \times 1070 \times 150 \text{ mm.}$ ) waarvan in langsricting een gedeelte van de zijkanten onder een hoek van  $45^\circ$  zijn afgeschuind. Het bovenvlak van de plaat vormt in verticale richting de referentie

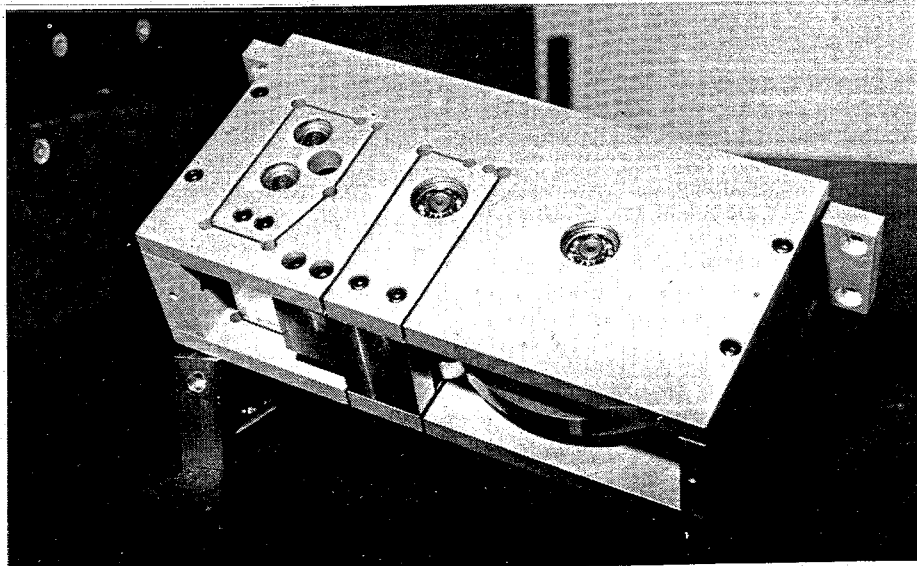


Fig. 10. De wrijvingswielenoverbrenging

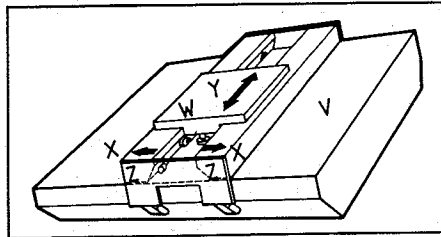


Fig. 1. Ontwerp van de granietbasis

voor zowel de x- als de y-beweging. Op dit referentievlak worden, over de volle breedte van de basisplaat, twee granieten balken Z met luchtlagers afgesteund. Beide balken hebben één vlak, dat een hoek van 45° maakt met het referentievlak en worden aan de uiteinden zodanig met elkaar verbonden dat de schuine zijden in combinatie met het referentievlak een zwaluwstaartgeleiding vormen. De granieten zwaluwstaart kan in langsrichting over de tafel bewegen en representeert daarbij de x-beweging. De afmetingen van de balken zijn zodanig gekozen dat zowel de doorbuiging ten gevolge van de lagervoorspanning als de werkbladhoogte ten opzichte van het referentievlak binnen een aanvaardbare waarde blijven. Het eigenlijke werkoppervlak W van de positioneertafel is een, in dwarsdoorsnede T-vormig, granieten blad (opp. 400x400 mm), dat eveneens op het bovenblad van de vlakplaat is afgesteund. Het werkblad bevindt zich tussen de beide zwaluwstaartbalken en kan in dwarsrichting over de vlakplaat bewegen waardoor de y-beweging ontstaat. In het werkblad zijn enkele draadinserts gelijmd, die kunnen dienen voor klemming van werkstukken.

**De luchtlagerconfiguratie**

Om het aantal luchtlagers in de constructie te beperken is er voorkeur aan gegeven een voorspanning in twee richtingen te realiseren door middel van twee schuine vlakken in combinatie met het referentievlak (in plaats van onderling loodrechte vlakken). Hierdoor wordt bovendien het aantal nauwkeurig te bewerken vlakken verminderd. (zie fig. 1.)

De zwaluwstaartgeleiding z wordt aan de uiteinden door vier luchtlagers (1) afgesteund op het bovenvlak van de vlakplaat. (fig. 2.a). Elk van deze lagers wordt voorgespannen met een van de vier lagers (2), die geleid worden langs de schuine zijden van de basisplaat. De verticale krachtcomponenten van lagers (2) zorgen in combinatie met lagers (1) voor de stijfheid in z-richting van de x-beweging.

Het werkoppervlak W rust evenals de zwaluwstaartgeleiding met vier lagers (3) op het referentievlak. Elk van deze lagers wordt voorgespannen met een van de vier lagers (4), die worden geleid langs de schuine zijden van de zwaluwstaart (fig. 2.b). De verticale krachtcomponenten van lagers (4) zorgen in de combinatie met lagers (3) voor de stijfheid in z-

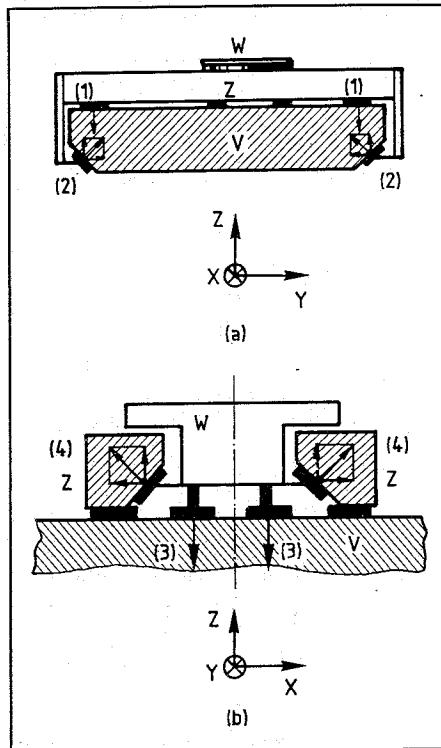


Fig. 2. De luchtlager configuratie

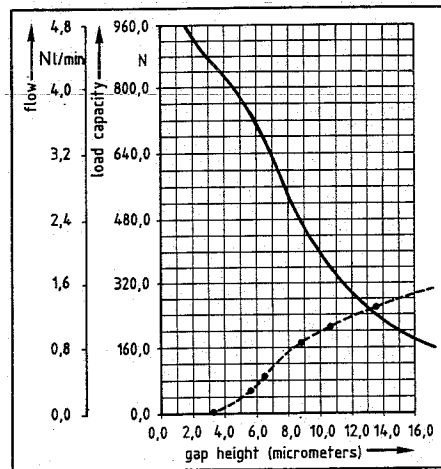


Fig. 3. Door Philips berekende lagerkarakteristiek

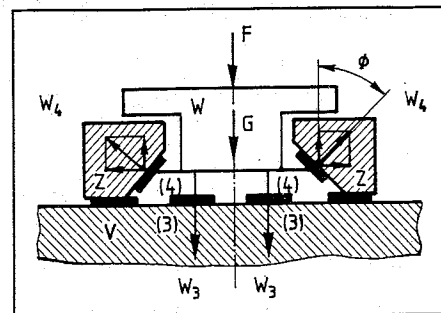


Fig. 4. Krachtenspel bij de y-voorspanning

richting van de y-beweging. De tegenovergesteld gerichte horizontale krachtcomponenten van lagers (4) bepalen de stijfheid in x-richting van de y-beweging. Een poging om het werkoppervlak op drie punten, dus kinematisch bepaald, op te leggen en voor te spannen, strandde op de constatering dat door het onvermijdelijke asymmetrische krachtspel slechts bij scheefstand van het werkblad aan krachten- en momentenevenwicht kan worden voldaan. Dit leidt tot ongelijke spleethoogten onder de lagers dus tot een niet constante verticale stijfheid. Bovendien zou een oplegging op drie lagers een lagere stijfheid tot gevolg hebben dan de oplossing met vier steunlagers.

**Werkpuntkeuze van de luchtlagering**

Het werkpunt van de 16 ingebouwde luchtlagers (8 lagers per as) is geoptimaliseerd met betrekking tot de verticale stijfheid van het werkoppervlak. Hiertoe stond de door Philips berekende lagerkarakteristiek (fig. 3) ter beschikking, die zoals later zou blijken niet geheel in overeenstemming was met de gemeten karakteristiek (deel 1). Uitgangspunt bij de volgende beschouwingen is figuur 4. Uit de lagerkarakteristiek blijkt dat de lagers in het bruikbare gebied een maximale stijfheid hebben bij een luchtspleet tussen 6 en 10 µm. De gemiddelde stijfheid S in dit gebied is circa 80 N/µm. Om de lagers (3) in dit gebied te laten functioneren, zal naast de belasting door het eigen gewicht, een extra verticaal gerichte aandrukkracht moeten worden geleverd door de voorspanlagers (4). Als bijvoorbeeld het gewenste werkpunt van lagers (3), in onbelaste toestand (F=0), h<sub>z</sub> = 8 µm moet zijn, dan zal er evenwicht moeten bestaan tussen de draagkrachten W<sub>3</sub> van lagers (3) enerzijds en het eigen gewicht G van het tafelblad en de verticale componenten van de draagkrachten W<sub>4</sub> van lagers (4) anderzijds, volgens:

$$4 W_3 = G + 4 W_4 \cdot \cos \phi \quad (1)$$

ofwel per lager:

$$W_3 = G/4 + W_4 \cdot \cos \phi \quad (2)$$

met  $W_3$  ( $h_z = 8 \mu\text{m}$ ) = 550 N  
 $G$  = 300 N

(eigen gewicht tafelblad)

$$\phi = 45^\circ$$

volgt hieruit voor W<sub>4</sub> een waarde van 670 N met bijgehorende luchtspleet h<sub>z</sub> = 6,5 µm. De ligging van de karakteristiek van

lager (4) ten opzichte van lager (3) wordt door dit punt vastgelegd.

De totale draagkracht  $W$  moet evenwicht maken met de belasting  $F$  en is voor de complete lagering van het werkkoppervlak te bepalen uit de relatie:

$$W = F = 4W_3 - 4W_4 \times \cos \varphi - G \quad (3)$$

De draagkracht  $W_v$  per voorgespannen lagercombinatie is dan:

$$W_v = W/4 = W_3 - W_4 \times \cos \varphi - G/4 \quad (4)$$

Relatie 4 is in figuur 5 grafisch weergegeven voor een werkpunt  $h_z = 8 \mu\text{m}$  (kromme a).

Door een variatie (middels constructieve maatregelen) van de luchtspleten kunnen de karakteristieken van de lagers (3) en (4) ten optichte van elkaar verlegd worden en zal de resulterende draagkrachtkromme en daarmee het werkpunt bij belasting  $F = 0$ , naar links of rechts verschuiven. In figuur 5 is dit met de stippellijnen b en c aangegeven voor een vergroting respectievelijk verkleining van de luchtspleet. (werkpunten:  $h_z = 10 \mu\text{m}$  respectievelijk  $h_z = 6 \mu\text{m}$ ). De maximale stijfheid die met deze lagers bereikt kan worden is circa  $120 \text{ N}/\mu\text{m}$ . Een combinatie van 4 lagers levert dan een stijfheid van circa  $480 \text{ N}/\mu\text{m}$ . Een positieve belasting in verticale richting zal de horizontale voorspanning nadelig beïnvloeden.

Uit figuur 5 blijkt dat naarmate het werkpunt bij een grotere luchtspleet ligt, het traject met maximale stijfheid zich voor een groter gedeelte in het gebied van de positieve draagkracht bevindt. Deze ligging van de karakteristiek is aan te bevelen indien de lagering een zeer sterk in grootte variërende positieve belasting moet opvangen, en leent zich minder voor die gevallen waarbij een wisselende belasting optreedt. De grotere luchtspleten onder de lagers gaan uiteraard gepaard met een verhoogd luchtverbruik.

(2) Als het werkpunt bij een kleinere luchtspleet wordt gekozen, moeten er hogere eisen gesteld worden aan de nauwkeurigheid van de geleidingen. Bij verticale belasting zal namelijk de spleethoogte onder een van de voorgespannen lagers nog verder afnemen. Bovendien zijn bij kleinere luchtspleten de krachten die op de omgeving uitgeoefend worden groter. Het onbelaste werkpunt van de luchtlagering is bepaald aan de hand van de volgende voorwaarden:

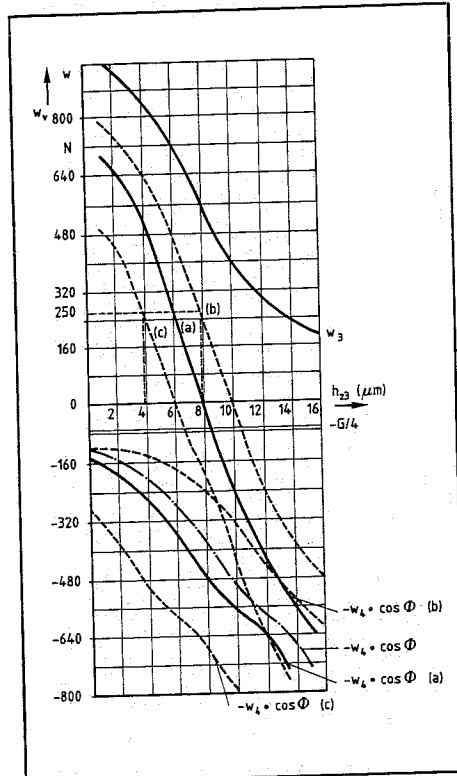


Fig. 5. Grafische weergave van relatie (4)

- Het luchtverbruik moet zo laag mogelijk zijn.
- De karakteristiek moet een zodanige ligging hebben dat het punt met maximale belasting ( $F_{\text{max}} = 1000 \text{ N} = 250 \text{ N}$  per lager) nog ligt op het traject met maximale stijfheid.
- In verband met de vereiste vormnauwkeurigheid van de geleidingen mag de luchtspleet onder de lagers (3) niet kleiner zijn dan circa  $5 \mu\text{m}$  bij maximale belasting.
- De doorbuigingen van de zwaluw-

staartgeleidingen mag in het onbelaste werkpunt maximaal ca.  $10 \mu\text{m}$  zijn. Met behulp van berekeningen kan worden aangetoond dat bij een werkpunt  $h_z = 8 \mu\text{m}$  zo goed mogelijk aan alle voorwaarden wordt voldaan. Bij maximale belasting ( $250 \text{ N}$  per lager) zal zich onder lagers (3) een luchtspleet instellen groter dan  $5,5 \mu\text{m}$ . De vlakheidstolerantie van alle luchtlagergeleidingen is gesteld op  $2 \mu\text{m}$ .

Om vastlopen van de sledes te voorkomen zullen de schuine kanten van vlakplaat en zwaluwstaart geleidingen nauwkeurig parallel gemaakt respectievelijk gesteld moeten worden (evenwijdigheid:  $2 \mu\text{m}$  over  $1300 \text{ mm}$ . resp.  $1070 \text{ mm}$ ). Omdat het vervaardigen van twee parallel vlakken, als ze op grotere afstand van elkaar gelegen zijn, een zeer moeizame procedure is, kan worden besloten de parallelleits-eis te verzwakken.

In dit geval kunnen een starre montage van de lucht-lagers aan een zijde en twee verend opgestelde lagers aan de tegenovergestelde zijde de afwijkingen in parallelleits-eis te verzwakken. De geleiding aan de zijde van het vaste lager is nu bepalend voor de nauwkeurigheid van de beweging. Een variatie in verticale belasting heeft nu geen invloed op de horizontale voorspanning. Wel wordt er door deze oplossing iets aan verticale stijfheid ingeboet.

Bij de serieschakeling van het lager met een veer (figuur 6) geldt in het werkpunt  $F_{v1} = W_{L1}$ . Een variatie in de veerkracht wordt opgevangen door een even grote variatie in de lagerdraagkracht.

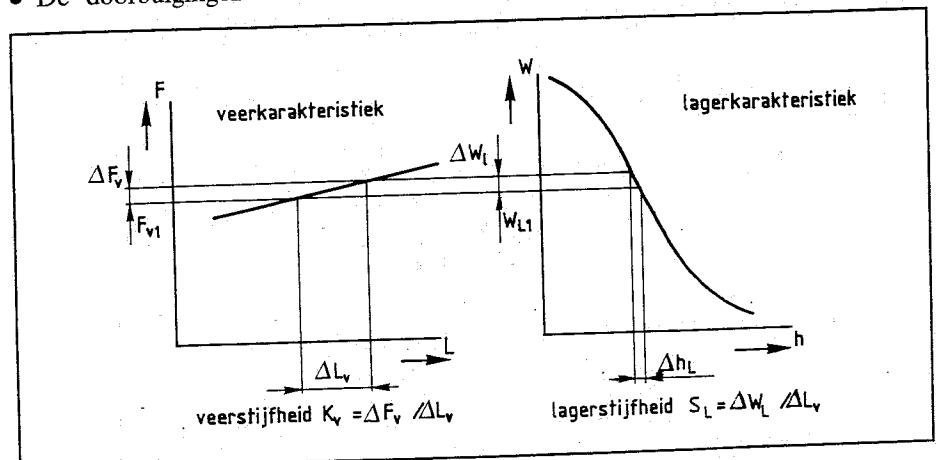


Fig. 6. Combinatie van veer- en lagerkarakteristiek

$$\Delta F_v = \Delta W_L$$

$$K_v \times \Delta L_v = S_L \times \Delta h_L$$

$$\text{of } \Delta h_L = \frac{K_v}{S_L} \times \Delta L_v$$

We willen de luchtspleet onder het lager constant houden dat wil zeggen  $\Delta h_L \rightarrow 0$ . Dus  $K_v \rightarrow 0$  of  $S_L \rightarrow \infty$ . Omdat de lagerstijfheid  $S_L$  vastligt, zullen we een veer moeten kiezen met een lage stijfheid t.o.v. de lagerstijfheid. Bij gebruik van een bladveer wordt de keuze van de veerstijfheid aan de onderkant begrensd door de optredende buigspanning onder de benodigde voorspankracht.

**De aandrijvingen**

De volgende eisen worden gesteld aan de te ontwerpen aandrijvingen:

- Een positioneringsnauwkeurigheid van ten hoogste 1 µm per as.
  - De aandrijving(en) moet (en) in staat zijn het tafelblad met een maximale snelheid van tenminste 60 mm/s te verplaatsen.
  - De motoren moeten kunnen worden aangestuurd met behulp van microcomputers.
  - De aandrijvingen moeten wat betreft afmetingen en geometrie geschikt zijn voor hun toepassing.
  - De overbrenging moet zijn van het type roterend-translerend, dat wil zeggen de opgenomen mechanische energie is van roterende aard terwijl de afgegeven mechanische energie van translerende aard is.
  - Het systeem moet bruikbaar zijn bij toepassing van zowel open als gesloten besturingen. Indien de keuze op het gesloten type valt, moeten zowel directe als indirecte meetsystemen gebruikt kunnen worden.
- De keuze van de aandrijving wordt verder bepaald door de te verplaatsen massa's en het omgevende krachtenspel. Bij de meeste productie- en meetmachines met conventionele geleidingsconstruc-

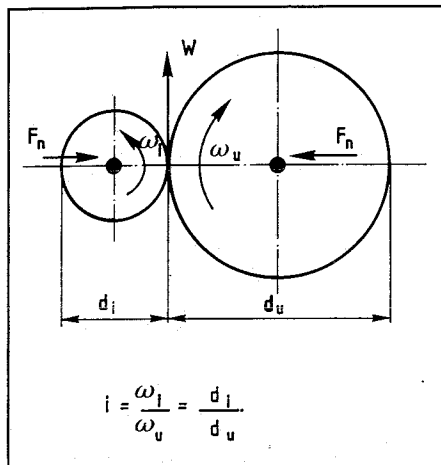


Fig. 7. Wrijvingswielenoverbrenging

ties (rollager- of wrijvingsgeleidingen) is een groot gedeelte van het vermogen nodig om de wrijving in het systeem te overwinnen. In deze gevallen worden het meest constructies toegepast bestaande uit aandrijfmotor en kogelomloopspil. Als luchtlagering wordt toegepast dan kan met veel lichtere aandrijfsystemen worden volstaan, daar de wrijving vrijwel verwaarloosbaar is. De grootste krachten treden bij deze systemen op als de soms grote massa's versneld of vertraagd worden. De hiermee verbonden traagheidskrachten overheersen het krachtenspel.

Een aandrijfsysteem zal in het algemeen uit een versterker, een servomotor en een mechanische overbrenging bestaan. De overbrenging zorgt voor een aanpassing van het (kleine) motorkoppel aan de benodigde aandrijfkraft van de slede. Hiervoor staan verschillende mechanische functie-elementen ter beschikking, zoals riemen, banden, kettingen, tandwielen, wormwielen, kogelomloopspindels, wrijvingswielen etc. Om de gewenste grote plaatsnauwkeurigheid te kunnen bereiken moet een systeem ontworpen worden waarin zo weinig mogelijk niet-lineariteiten aanwezig zijn. Dit houdt in dat verschijnselen zoals reële en virtuele speling en wrijving, met de hieruit resulterende hysteresislussen, moeten worden vermeden en dat de slijtage tot een minimum moet worden beperkt. Speling is in eerste instantie te wijten aan de onvermijdelijke variaties in de fabricage van onderdelen, maar op den duur doen zich in bijna ieder mechanisme veranderingen voor, door slijtage, verbuiging, verschuiving, of verdraaiing, die de speling kunnen vergroten. Het effect

van speling is dat de uitgangsgrootheid niet meer reageert op iedere verandering van de ingangsgrootheid. De speling in een aandrijving wordt doorlopen als het aandrijvend moment van teken omkeert en zal resulteren in stoten. Het dynamisch gedrag wordt hierdoor zeer nadelig beïnvloed. Men kan reële speling wegdrukken door te zorgen dat het aangedreven element een (constante) kracht ondervindt die groot genoeg is om de rustwrijving te overwinnen. Hierdoor kan wrijving worden geïntroduceerd, die, evenals speling, het effect heeft dat het mechanisme in een verkeerde stand tot rust kan komen en dan niet meer reageert op sommige kleine veranderingen van de ingangsgrootheid. In combinatie met een veer blijkt ook dan een onbepaaldheid van plaats te bestaan, welke „virtuele speling” wordt genoemd. [3]

Op grond van bovenstaande overwegingen en de gunstige ervaringen in het laboratorium voor lengtemeting van de THE met dergelijke systemen, is gekozen voor een wrijvingswieloverbrenging gecombineerd met een stalen band. Staalbanden vervaardigd uit verenbandstaal voldoen aan hoge kwaliteitseisen en hebben een verhoogde E-modulus, waardoor minder rek of toenemende verlening zal optreden. Het materiaal is hard, waardoor de eventueel optredende slijtage gering zal zijn. Doordat het materiaal in allerlei afmetingen verkrijgbaar is, is het mogelijk de stijfheid aan de constructie aan te passen. De staalband wordt gekenmerkt door de afwezigheid van speling en polygooneffecten en door zeer weinig hysteresis. Een koppelvormer met eveneens een kleine hysteresislus is de wrijvingswieloverbrenging. (Figuur 7). Deze is zodanig te construeren dat geen speling optreedt en dat een grote aandrijfstijfheid wordt bereikt. Een nadeel is dat slechts kleine, scherp begrensde, krachten worden overgebracht. Bij deze krachtgesloten overbrengingen wordt gebruik gemaakt van wrijvingskrachten om een energie-stroom door te leiden. Het drijvende wiel neemt het

**Joucomatic**

Postbus 27 6880 AA Velp  
Tel. 085-652922

**Smeringloze techniek in pneumatiek!**

gedrevene wiel mee door wrijving. De wrijvingskracht  $W$  aan de omtrek moet dus tenminste gelijk zijn aan de tangentiële kracht  $F = M/r$ , waarin  $r$  de straal van de schijf voorstelt en  $M$  het door te leiden koppel is. Als  $F_N$  de kracht is, die de beide schijven tegen elkaar drukt, dan is de maximale wrijvingskracht  $F_N \cdot f$ , waarin  $f$  de wrijvingcoëfficiënt voorstelt.

$$\text{Dus } W_{\max} = F_N \cdot x \cdot f \geq F \text{ of } F_N \geq F/f.$$

Bij de meeste toegepaste materialen ligt de wrijvingscoëfficiënt tussen 0,1 en 0,14. Hieruit volgt dat de kracht, waarmee de wielen op elkaar worden gedrukt, tenminste 7 tot 10 maal op die plaats gevraagde omtrekkracht moet zijn. Omwille van een redelijke levensduur kiest men voor een lage toelaatbare Hertzse spanning in het contactgebied. Dit begrenst uiteraard de aandrijfkraft van deze systemen. Bij toepassing in het luchtgelagerde positioneersysteem kan dit nadeel vervallen omdat de traagheidskrachten en momenten en het aandrijvend vermogen vrij gering zijn, terwijl de wrijvingskrachten te verwaarlozen zijn. Figuur 8 geeft een indruk van het beoogde ontwerp. De opzet hierbij, was het realiseren van een identieke oplossing voor de x- en y-beweging. De wrijvingswieloverbrenging voor de x-beweging wordt aan de rechterzijde star tegen de zijkant van de granieten basisplaat gemonteerd. Aan de linkerzijde bevindt zich de omlooprol voor de staalband, die aan weerszijden aan het uiteinde van de zwaluwstaartgeleiding is ingeklemd. De overbrenging voor de y-beweging wordt aan de achterzijde van de tafel star tegen de verbindingplaat van de zwaluwstaarten bevestigd. De bijbehorende staalband-omlooprol bevindt zich aan de voorzijde. De beide uiteinden van de y-as staalband zijn aan weerszijden van het werkoppervlak ingeklemd. De aandrijfrollen van beide staalbanden maken deel uit van de uitgaande assen van de overbrengingen. Bij rotatie van deze rollen zal de bijbehorende slede, gedwongen door de staalband, een translerende beweging maken.

Een nadeel van deze constructie is dat de x-slede eenzijdig, uit het massamiddelpunt, wordt aangedreven. Bij grote versnellings- en vertragingkrachten kan dit aanleiding geven tot hoek-verdraaiingen om de z-as, vooral voor kleine y-coördinaten van het werkoppervlak. Het dynamisch gedrag van de tafel wordt hierdoor nadelig beïnvloed. De y-slede wordt, onafhankelijk van de x-y positie, steeds op

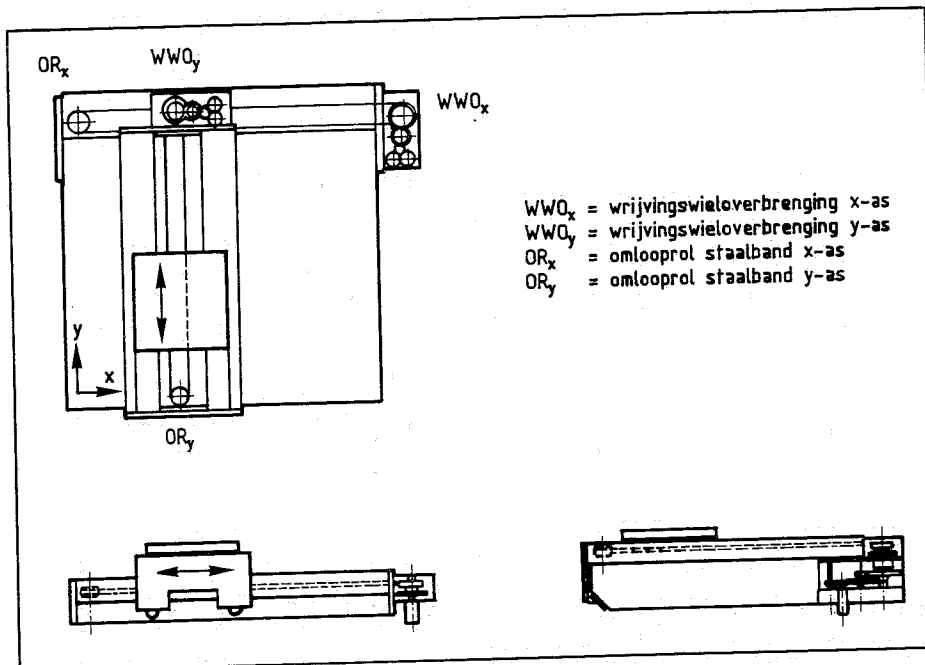


Fig. 8. Ontwerp van de aandrijvingen

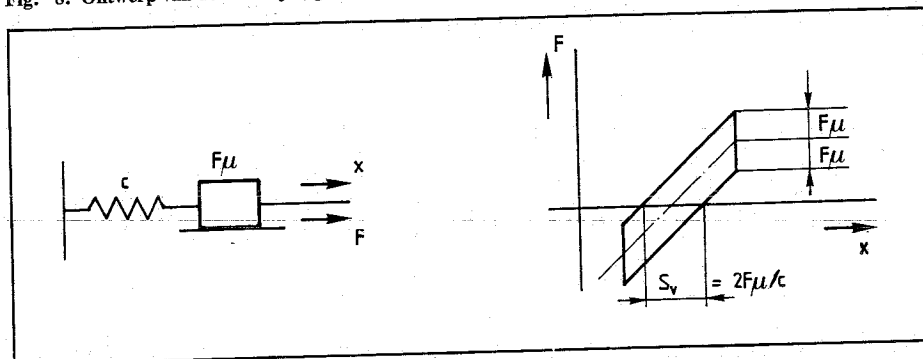


Fig. 9. Model en hysteresislus van de staalband

gelijke (kleine) afstand van het massamiddelpunt aangedreven.

Om staalbanden te kunnen toepassen zal een berekening op sterkte en stijfheid uitgevoerd moeten worden. Wat betreft sterkte zullen we ervoor moeten zorgen dat de toelaatbare spanning in de band niet wordt overschreden. Omdat de trekkracht in de band evenals de bandsnelheid klein zijn wordt het grootste gedeelte van de totale spanning in de band bepaald door de buigspanning. Een verhoging van het aandeel van de trekspanning kan echter veroorzaakt worden door mogelijk kinematisch overbepaald aflopen van de band. Omdat zowel de baan van de aflopende band als de baan van de getrokken slede, middels omlooprol respectievelijk granieten rechtgeleiding, voorgeschreven is, worden de vrijheidsgraden niet op eenduidige wijze

vastgelegd. Het resultaat hiervan is het ontstaan van een dwarsspoorhoek, waardoor de trekkracht meer of minder uit het midden van de band aangrijpt. Hierdoor is de trekspanning in de band niet gelijkmatig verdeeld, maar zal lineair verlopen.

Wat de stijfheid betreft, kunnen we de staalbandoverbrenging benaderen door het vervangingschema met bijbehorende hysteresislus van figuur 9. [4] In dit model komen alleen een veerstijfheid  $c$  en een wrijving  $F\mu$  voor. Er is geen (reële) spelling aanwezig. Toch blijkt er een zekere onbepaaldheid van plaats te zijn: een virtuele speling  $s_v = 2F\mu/c$ . Uit de maximaal toelaatbare virtuele speling is de vereiste stijfheid van de staalband te bepalen. De slede met de staalbandoverbrenging is te modelleren als een massa met twee parallel geschakelde veren: het

trekkende en het getrokken part van de band, elk met een stijfheid afhankelijk van de positie van de slede. Bij een gekozen doorsnede van de band is hieruit de minimale bijbehorende stijfheid te bepalen. Aangetoond kan worden [1] dat een daling van de stijfheid wederom kan optreden bij kinematisch overbepaaldheid van de constructie.

Bij het ontwerp van de aandrijvingen wordt uitgegaan van een maximale snelheid van 90 mm/s en een maximale versnelling van 90 mm/s<sup>2</sup>. Ondanks een aanzienlijk verschil tussen x- en y-as wat betreft de aan te drijven massa, is er naar gestreefd de overbrengingen zodanig te construeren, dat ze zowel in vorm als in afmetingen identiek zijn. Dit heeft grote fabricage-technische voordelen. De gewenste overbrengingsverhouding zou in maximaal twee trappen te realiseren moeten zijn, daar een groter aantal trappen snel in complexere constructies resulteert. De vertragingfactor van de overbrengingen moet zo groot zijn, dat voldoende koppel op de laatste roterende as aanwezig is om de slede de gevraagde maximale versnelling te geven. Een overbrenging  $i = 60$ , opgesplitst in twee afzonderlijke overbrengverhoudingen  $i_1 = 7,5$  van de ingaande trap en  $i_2 = 8$  van de uitgaande trap, bleek te kunnen voldoen voor zowel de x- als de y-as aandrijving. De overbrenging bestaat uit een aluminium behuizing waarin de wrijvingswiellassen voorgespannen zijn gelagerd. (figuur 10).

Alle assen worden met een bepaalde kracht tegen de samenwerkende wielen gedrukt. Om deze krachten, die afhankelijk zijn van het ter plaatse gewenste koppel, over te kunnen brengen is het nodig een van de assen „star” te lagere, terwijl de overige assen kunnen bewegen in de richting van de aandrukkracht.

Omdat we de hoogste prioriteit hebben gesteld aan de stijfheid in de aandrijfrichting en het zo goed mogelijk sporen van de staalband, moeten we voor dit starre deel de uitgaande as kiezen. Op deze as bevindt zich namelijk de aandrijfrol van de staalband. De band verlaat de overbrengingsunit in een richting loodrecht op de richting van de aandrukkrachten. De radiale bewegingsvrijheid van de overige assen is gerealiseerd door middel van elastische gatscharnieren. [3] Deze worden in onder- en bovenplaat van de behuizing verkregen door twee gaten te boren met een bepaalde diameter en met een bepaalde tussenruimte (damhoogte) en met zaagsneden het

overige materiaal te scheiden. (Figuur 10.)

De vrije uiteinden van het losgesneden materiaal in boven- en onderplaat worden daarna met elkaar verbonden. Door op dit verbindingblokje een kracht uit te oefenen in een richting evenwijdig aan de richting van de aandrukkracht zal het aangrijpingspunt van de kracht en daarmee de betreffende wrijvingswielas(sen) kunnen bewegen met een relatief lage dwarsstijfheid. De dam fungeert hierbij als scharnierpunt. De plaats van het gatscharnier is zodanig gekozen dat een optimale langsstijfheid wordt verkregen.

De ingaande as bestaat in feite uit een wrijvingswielletje dat op het motorasje gelijmd is en dat door twee onder 45° geplaatste aandrukrollen tegen het samenwerkende wiel gedrukt wordt. Het ingaande wielletje maakt hierdoor op drie punten contact, zodat zijn positie in het vlak opgespannen door deze drie punten volledig vastgelegd wordt. Voorwaarde is dan natuurlijk dat het motorrolletje deze voorgeschreven positie daadwerkelijk kan innemen, met andere woorden dat het rolletje in twee richtingen kleine bewegingen kan opnemen. Om dit mogelijk te maken is een motorophanging uitgevoerd met behoud van de twee eerste vrijheidsgraden, terwijl de vier overige vrijheidsgraden geëlimineerd worden.

Op grond van de betere regelbaarheid ten opzichte van andere motoren, is voor

de xy-tafel gekozen voor gelijkstroommotoren met tacho-eenheid en ijzerloze rotor. IJzerloze gelijkstroommotoren hebben zeer kleine overgangsweerstanden en een gering rotor-traagheidsmoment waardoor ze in enkele milliseconden vanuit stilstand naar volle snelheid kunnen aanlopen, maar ook in dezelfde korte tijd kunnen remmen en van draairichting veranderen. De motoren zijn van het staafankertype en hebben een goede overbelastbaarheid. De vermogensversterker of motorvoeding vormt de gelijkstroombron voor de motoren en levert de benodigde energie voor de aandrijving. Voor de xy-tafel is gebruik gemaakt van lineaire transistorversterkers. Deze kunnen een goede gelijkspanning afgeven en zijn zeer nauwkeurig, maar zijn slechts toepasbaar bij kleinere vermogens. Voor de positioneertafel met een benodigd continu vermogen tot enkele Watt's is dit geen bezwaar. Figuur 11 toont de xy-tafel voorzien van de aandrijvingen.

#### Literatuur:

- [1] M.G.M. Lammers, Ontwerp en bouw van een luchtgelagerde twee-dimensionaal instelbare, tafel op graniet basis, met microcomputer gestuurd positioneringssysteem. WPB-rapport nr. 0158 THE, 1985.
- [2] A.W.M. Boogers, M. van Kampen, Graniet met haar eigenschappen en toepassingen, voordracht ten bate van gespreksgroep meettechniek 1982.
- [3] W. van der Hoek, Het voorspellen van dynamisch gedrag en positioneringsnauwkeurigheid van constructies en mechanismen. Dictaat THE 1981.
- [4] J.M.K. Hillen, Aandrijving voor een universele precisie-meetmachine WTB-rapport 0011 THE, 1981.

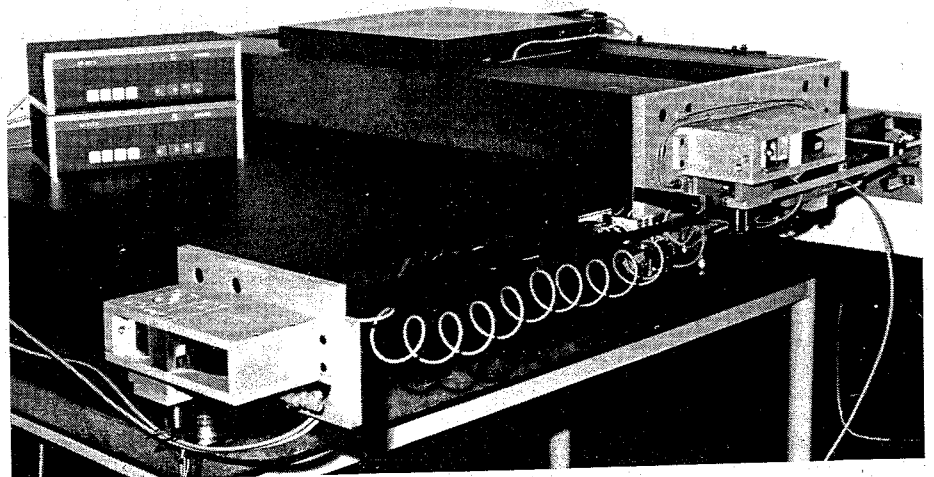


Fig. 11. De xy-tafel met aandrijvingen