

Des Duivels Prentenboek (DDP) (36)

D.D.P. 129

Toepassing van standaard kogellagers en dergelijke in mechanismen leidt soms tot onpraktische afmetingen en complexe uitvoeringsvormen.

Logisch en oorspronkelijk denken voert dan wel eens tot wezenlijk andere oplossingen. Achteraf zijn daar vaak kenmerken en trefwoorden aan te verbinden als 'inversie', 'Zapfenerweiterung', afrolling (bij voorbeeld DDP 122e en DDP 130), verdeelde (gespreide) krachtsinleiding en het inleiden van een koppel als 'kleine kracht op grote straal'. Iedere constructeur heeft zoiets wel eens bedacht of meegemaakt en het aantal voorbeelden is legio. In dit DDP worden er twee geschetst die aanleiding kunnen zijn tot nieuwe ideeën in voorkomende gevallen.

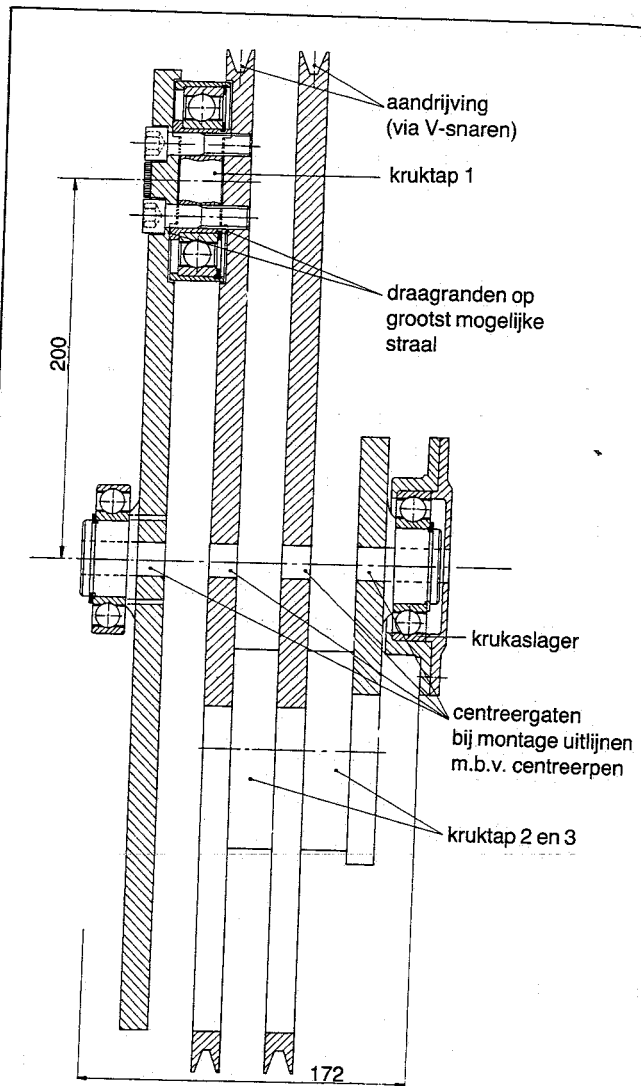
H. Kuiken Bzn. ontwierp een bietenrooimachine: rooibreedte 6 rijen (= 3 meter), loopsnelheid 6 km/h, met achtereenvolgens een maaibalk met bietenlofafvoer, een systeem met 3 balken met zware rubber zwepen die de bieten schoon en los sloegen en een rooiunit die ze uit de grond opwoelde, zuiverde en afvoerde in de bunker. De drie zweepbalken liepen parallel achter elkaar, dwars op de rijrichting en 120° in fase verschoven, 40 cm heen en weerslaand met 600 slagen/ minuut. De zwepen (zes per zweepbalk) mochten enerzijds de bietenkoppen niet te barsten slaan doch moesten anderzijds de bladstelen plus alle latere uitspruitneiging radikaal verwijderen, de bieten loswrikken en de haarwortels afbreken. Er werd nogal wat vermogen gevraagd en dat leek onmogelijk dóór te voeren door een krukas met 3 krukken, kruk lengte 200 mm en totaal toegestane krukaslengte 172 mm.

Krukas, aandrijving en balancering werden gecombineerd in het ontwerp van DDP 129a: aandrijving via V-snaren (vanaf de trekker met de flexibele overbrenging van DDP 121) op de middelste twee kruk wangen; kruk tappen met draagranden op de grootst mogelijke straal; montage en revisie op een stalen hulppen met een zeer duidelijke instructie om die pen na het aanhalen van alle bouten te verwijderen alvorens te starten.

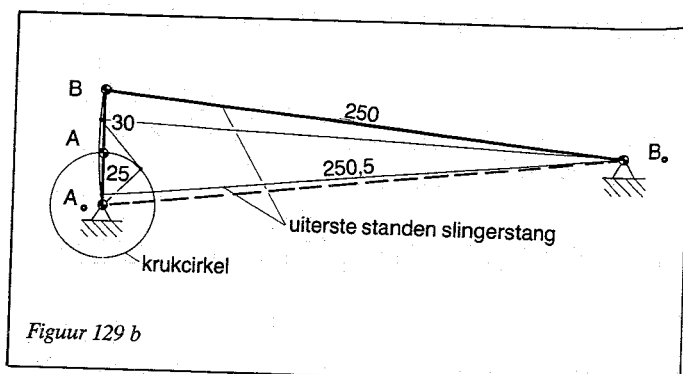
G.J.A. Theeuwis ontwierp een vierstangenmechanisme (in wezen een excentrisch krukdrijfstangmechanisme met slingervolger) volgens DDP 129b met kruk lengte 25 mm, drijf stang 30 mm, slingerstang 250 mm en basislengte $A_0B_0 = 250,5$ mm. In B_0 was een pijp gelagerd 300 mm \varnothing , 5 meter lang, die een nauw gespecificeerde verplaatsing moest maken (relatief lang bijna rust, dan snelle heen en terugslag). Het tegenwerkend koppel op de buis was 16000 Nm!, de drijf stangkracht 64000 N en het aantal slagen 10 per seconde(!).

De uitvoering is weergegeven in DDP 129c; ze is uiterst verrassend, zeer goed doordacht en berekend en 'onbegrijpelijk' als men hem ziet werken (je ziet slechts een poelie links draaien en een arm rechts praktisch stilstaan doch tien maal per seconde bliksemsnel zijdelings uithalen).

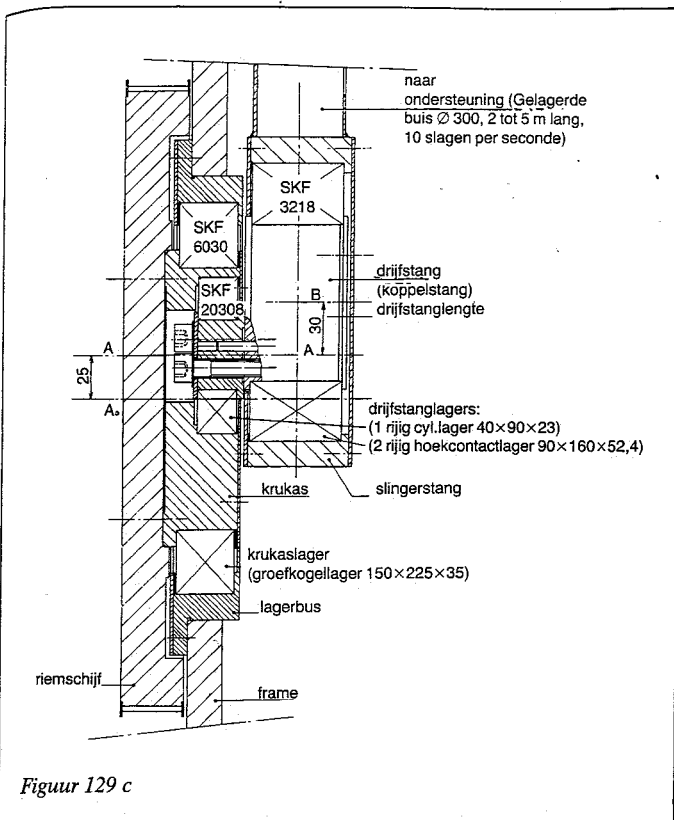
De tandriemschijf zit vlak tegen de frameplaat, vastgeschroefd op de kruk asprop die gelagerd is op een groefkogellager 150x225x35.



Figuur 129 a



Figuur 129 b



Figuur 129 c

De kruk'tap' is in feite de lagerboring voor het kleine éénrijige cylinderlager (40x90x23).

De slingerstang ontleent zijn torsiestijfheid aan de 5 m lange pijp en geeft dat via het 2-rijig hoekcontactlager 90x160x52,4 dóór aan de drijfslag, die daardoor in staat is om de 45 mm 'overhang' op te nemen.

Tandriemschijf, lagerbus, krukasprop en 'big-end-prop' van de drijfslag zijn één samenstelling (afgedicht en wel), evenzo slingerstang met 'small-end-prop' van de drijfslag. Montage en revisie via 4 bouten en een stelpen over de drijfslangdeling.

D.D.P. 153

Sterkte-eisen voor een pródúkt of produktiemachine worden afgeleid uit de functionele eisen gesteld aan de afzonderlijke mechanismen. Vaak echter zijn heel andere belastingen oorzaak van schade, deformatie of breuk. De vindingrijkheid van klanten in het oneigenlijke gebruik van huishoudelijke apparaten is berucht. Ook machineontwerpers moeten zich een beeld vormen van de reële risico's die hun machine in de praktijk kan lopen.

Enkele vuistregels zijn:

- De onderkant moet het eigengewicht kunnen dragen want ooit pikt iemand hem op met een vorkheftruck. Het inlassen van twee open stukken rechthoekige pijp van ruim voldoende doorsnede op de juiste steek helpt. Niet dat de heftruckrijder altijd de moeite zal nemen om de vorktanden precies in die pijpen te steken, maar hij zal het gebaar van de constructeur weten te waarderen en de machine in elk geval met zorg behandelen. In feite is het inlassen van zo'n pijp meer psychologie: vanuit de heftruckrijder gezien is een ongelukje met een machine zonder voorzieningen primair een stommiteit van de constructeur, terwijl hij beschadiging van een wel van stevige vorktandhulzen of -beugels voorziene machine duidelijk als zijn eigen fout ziet.
- Elk zijdelings uitstekend onderdeel, hefboom of as moet het volle gewicht kunnen dragen: ooit gooit iemand er een hijsstrop om.

Het inschroeven van hijsogen is een bekende remedie. Eén gesloten oog boven het zwaartepunt is dan in orde: men pikt gewoon de haak daarin. Een machine met bij voorbeeld 4

gesloten ogen op de hoeken vraagt van de sjuowploeg 2 even lange kabels met haken op beide einden en dat is meestal teveel gevraagd.

- De bovenkant van een machine moet sterk genoeg zijn om erop te gaan staan: dat doe je als constructeur ook op je eigen bureau als je een knipperende TL-buis erboven wilt losdraaien.
- Verticale opstanden (voor aansluiting op een bovenliggende stroomvoorziening en dergelijke) moeten niet buigen of breken als jeugdige werknemers stoeiend en elkaar achtervolgend hem pakken om een scherpe bocht te kunnen maken.
- De vraag of je een machine al of niet aan de grond vastzet dient goed doordacht te worden (zie ook DDP 05). Een betonvloer heeft een andere uitzettingscoëfficiënt en een andere thermische tijdsconstante dan de machine en bij verschil van mening wint de vloer.

Bij aanrijding (door heftrucks, materiaalwagens of verschoven materiaalbakken) kan een vastgezette machine plastisch deformeren waar een los opgestelde - in zijn geheel verschuivend - nog stootenergie in wrijving gedissipeerd had.

In deze overwegingen moeten ook worden meegenomen zaken als geleiderails en stootbalken vast op de grond.

Was het vastzetten vooral nodig om een stevige opstelling te realiseren bij gebrek aan voldoende eigengewicht van de machine, dan kan ballasten nog een propositie zijn: trottoirtegels tussen vier hoekprofielen of droog zand in een holle koker (met vul- en aftap opening!).

- Plaatstalen kokers in stijve lichte constructies die zo dunwandig zijn dat ze gemakkelijk zijdelings kunnen worden ingedeukt, kan men eventueel volschuimen.

D.D.P. 156

Wat is de ontwerpstrategie die een (produkt)constructeur volgt of die hij op basis van achteraf verkregen inzicht eigenlijk had moeten volgen? Naast de specificatie en de fysische eisen, eigenschappen en randvoorwaarden spelen tal van andere overwegingen mee:

Liggen de in de specificatie genoemde aantallen echt vast of zijn ze prijsafhankelijk en kan hij een poging wagen tot doorbraak naar veel groter aantallen met een revolutionair ander en desnoods investeringen vergend ontwerpconcept, leidend tot significant lager prijs. Zijn de verkoopkanalen bereid en in staat zo'n doorbraak te volgen?

Ligt de ontwerpcapaciteit vast? Kan men een groot project snel genoeg realiseren? Is er reserve capaciteit beschikbaar. Hoe zijn de uitbestedingsmogelijkheden en relaties. Welke kennis is paraat in huis en welke niet. Zijn daarvoor adviseurs aan te trekken. Hoe goed zijn die, hoe betrouwbaar, hoe toegankelijk en wat is hun 'commitment', betrokkenheid en bereidheid tot extra inzet wanneer hun advies niet direct werkt of opgevolgd is.

Ligt de fabricageplaats vast en wat zijn daar dan de tradities, de specifieke kundigheden en de zwakke kanten?

Welke toeleveranciers kunnen worden ingeschakeld. Hoe is de relatie daarmee, wat is hun 'levermoraal'. Kan overleg met hen in de ontwerpfase leiden tot beter en goedkoper produkt, passend in hun fabricagemogelijkheden?

Verschillende van deze aspecten zijn beschreven in het artikel 'Prijsbewust ontwerp van een duurzaam massa-artikel' van ir. H.M. Ruyten, verschenen in 'De Constructeur', aug. 1982, nr. 8, pag. 30-33.

Ervaringen met de ontwikkeling van precisie apparatuur, zowel massaproducten, zoals VLP (Video-Long-Play-)spelers, als professionele apparaten, zoals digitale optische recorders, als de in enkel- of klein-serie fabricage te maken hulpmiddelen daarvoor, zoals meetspelers, laser uitlijnapparaten enz., hebben geleid tot formulering van enkele aspecten van de te volgen ontwerpstrategie. Achteraf bleek die 'vertaalbaar' en dan ook geldig te zijn voor vrijwel alle apparatuur waarin nauwkeurige instellingen voorkomen.

Deze 'aanbevolen' ontwerpstrategie of ontwerp-procedure loopt als volgt:

- Splits het ontwerp in *subsamenstellingen* op grond van:
 - *fysische consistentie*: wat fysisch bij elkaar hoort, tezamen één (elementaire) functie vervult, moet bij elkaar blijven. De 'functievervulling' als zodanig moet meetbaar zijn, beoordeelbaar en optimaliseerbaar, onafhankelijk van andere functies.
 - *uitwisselbaarheid* - dit hangt nauw samen met de later te bespreken servicepolitiek.
 - *afzonderlijke fabricage-unit* of toeleverancier. Op deze gronden kan men tot *subsamenstellingen* komen die niet aan de twee voorafgaande aspecten voldoen. Meestal blijft dat dan een noodoplossing. In elk geval is de *meetbaarheid* en beoordeling van de kwaliteit van het produkt van zo'n fabricage-unit essentieel. Voldoen *subsamenstellingen* wel aan de eerste twee aspecten dan is er daarentegen niets tegen en vaak veel voor om ze toe te wijzen aan afzonderlijke fabricage-units.
- Definieer een *referentiesysteem* en denk daar goed over na. DDP 159 kan daarbij helpen. Laat de zaak bezinken en denk opnieuw na.
- Definieer vanuit het (hoofd)referentiesysteem al de *subsamenstellingen* mét hun mechanische referenties. Vaak liggen de 'grenzen' nu anders dan men normaal gewend is. Zo zal men een slede 'een *subsamenstelling*' noemen en frame met geleiding een tweede. Als het een rechtgeleiding betreft van gladde assen of een lineaal, kan het veel beter zijn om sleet + geleiding als *subsamenstelling* te zien en de 'interface' te definiëren in de oplegpunten van de geleidingen in het frame.
- Laat alles bezinken en kom dan terug op het referentiesysteem. Is alle noodzakelijke informatie omtrent de positie van de samenwerkende *subsamenstellingen* er in vastgelegd - en niet méér dan dat? Leidt het tot maximale simplificatie van de *subsamenstellingen*? Zo ja verklaar het dan voor heilig en wijk er geen stap meer vanaf onder het motto 'Liever de fysica veranderen dan het referentiesysteem'.
- Specificieer alle *subsamenstellingen* vanuit hun mechanische referenties ('interfaces') en leg hun assemblage- en meetprocedures vast. Hierbij is de hierna te bespreken servicepolitiek van doorslaggevend belang.
- Streef naar een extreem simpele eindmontage: in principe moet die niet meer zijn dan opstapelen van de *subsamenstellingen* op hun referenties en elektrisch aansluiten (bij voorbeeld flatcable-connectoren).

Van groot belang is hierbij de vraag: wat wil men bij de klant services? Wisselt men het hele apparaat uit of alleen een defecte *subsamenstelling* of ook een onderdeel daarvan?

Voor zover het onderdelen betreft die een bepaalde instelling behoeven geldt: Wat je ter plaatse vervangt moet je ter plaatse kunnen *meten*, *instellen* en *fixeren* met eenvoudige hulpmiddelen en een eenvoudig instelvoorschrift. Omdat gereedschap, montagevoorschrift en instelvoorschrift vaak op 't kritieke moment onvindbaar zijn valt te overwegen om ze in de verpakking van het nieuwe onderdeel op te nemen.

Bij daarop gericht ontwerp kan men vaak de eigen functies van het apparaat als meetmiddel benutten voor de noodzakelijke instelling.

Voor mechanische instellingen geldt: per instelpunt liefst slechts één, hoogstens twee vrijheidsgraden instellen. Streven naar 100% convergerende instelprocedures en maximale onafhankelijkheid (één schroef voor één vrijheidsgraad die in één meetsignaal is aangeduid). (Zie DDP 48 en DDP 107).

Laat echter de *niet* verder ter plaatse te servicen units en *subsamenstellingen* dan ook optimaal ontworpen zijn op instelling in de fabriek. Hier geldt: instelschroeven niet meegeven naar de klant maar opnemen in de instelgereedschappen in de fabricage.

Zoveel mogelijk onderdelen ongemeten, oningesteld puur op aanslagen in het frame monteren; de noodzakelijke instellingen concentreren in zo weinig mogelijk (kritische) onderdelen maar die dan ook desnoods in zes vrijheidsgraden manipuleren en daarna snel in het frame 'invriezen'. Eén of enkele desnoods dure instelapparaten met een desnoods dure maar in elk geval goed doordachte meetopstelling die zo snel mogelijk in zo weinig mogelijk stappen (dus sterk convergerend, desnoods door tegelijkertijd meer servicebediende instellingen te activeren), de onderdelen perfect instellen en daarbij zo groot mogelijke toleranties van zo goedkoop mogelijke onderdelen compenseert.

Een mooi alternatief kan zijn - een 'heilige' montagemal en meetmal of meetopstelling waarop de onderdelen van de *subsamenstelling* onderling worden gepositioneerd, hetzij op nauwkeurige oplegvlakken van de mal, hetzij door het instellen op gemeten 'fysische effecten', terwijl dan de positie van al die nu goed uitgelijnde onderdelen in het (onbewerkte) frame worden overgenomen en 'ingevroren' (lijm, laserlas of klemmen van strippen of draden die de positie van het onderdeel dan fixeren: zie DDP 99).

Snijvlakken van onderdelen gestampt uit plaat kan men in zo'n montagemal even hard tegen een geharde aanslag drukken om vervolgens met lagere aandrukkracht het onderdeel te positioneren. De braam en het breukvlak zijn nu vlak gedrukt en hoger belast dan later ooit het geval zal zijn. Daarmee kan zeer nauwkeurige positionering op de toekomstige 'interfaces' verkregen worden, zelfs met goedkoop stampwerk. Voorwaarde is altijd dat opspankrachten recht boven de oplegpunten aangrijpen zodat het produkt niet op buiging wordt belast en deformeert (doch na afspannen terugveert).

Zoals reeds in DDP 48 ('convergerende instelprocedures') is gesteld, is het in dit DDP behandelde 'referentiesysteem' ook bij het ontwerp van produktiemachines in de bedrijfsmechanisatie van essentieel belang. Bij elke 'overname' (overzetter, tang) en elke 'montage' (ontmoeting tussen twee onderdelen of *subsamenstellingen*) moet vaststaan waar en hoe de twaalf of meer betrokken vrijheidsgraden zijn bepaald en op elkaar afgestemd, met andere woorden wat het referentiesysteem is.

Als men voor 'klant' leest: machinebediende, en voor 'service-man': de onderhoudsbankwerker, dan gaat DDP 156 onverkort op voor het ontwerp van elke montage-machine.

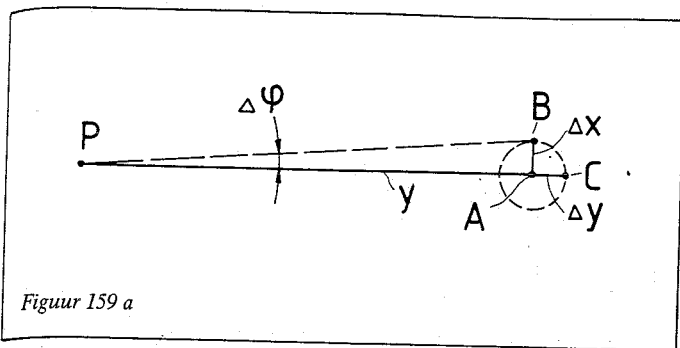
D.D.P. 159

Positioneringsnauwkeurigheid wordt vaak uitgedrukt in (toegelaten) hoekfout: hoek in booggraden, boogminuten, of boogseconden of wel in radialen - voor kleine hoeken is dat de tangens van de hoek. Vuistregel voor omrekening:

$$\begin{aligned} 1^\circ &= 2 \cdot 10^{-2} && (\text{precieser } 1,75 \cdot 10^{-2}) \\ 1' &= 3 \cdot 10^{-4} && (\text{precieser } 2,93 \cdot 10^{-4}) \\ 1'' &= 5 \cdot 10^{-6} && (\text{precieser } 4,9 \cdot 10^{-6}) \end{aligned}$$

Bij voorbeeld: 'Spiegel haaks op lichtstraal': haaks op één vijfde boogseconde = 1 op 1000.000 = 10^{-6} .

De kwantificering van positioneringsnauwkeurigheid door een



Figuur 159 a

klein dimensieloos getal hoeft niet beperkt te blijven tot hoekfouten.

Stel: We willen van punt P naar punt A (zie DDP 159a). Door de fouthoek $\Delta\varphi$ hebben we over de slag $PA = y$ een ongewenste dwarsverplaatsing Δx en komen we in B terecht.

Beschouwen we de cirkel om A als acceptabel doelgebied dan is landing in B even goed als landing in C. Nu is er geen hoekfout $\Delta\gamma = \Delta x/y$ maar een 'overshoot' $\Delta y/y$ en ook die is dimensieloos te gebruiken als maat voor de nauwkeurigheid; bij voorbeeld $10^{-3} = 1$ milliradiaal of '1 mm op 1 meter'.

Bij positioneringsnauwkeurigheid moeten we drie zaken onderscheiden:

- Het toekennen van een 'positie' aan
- Het brengen in positie van
- Het houden in positie van

Met deze aspecten krijgt men in dezelfde volgorde weer te maken als men iets precies wil afstellen; het gaat dan steeds weer om meten, instellen en fixeren. De genoemde drie aspecten komen nu achtereenvolgens aan de orde.

'Positie' moet men dan zien als de plaats van het 'ding' vastgelegd in één of meer vrijheidsgraden.

Bij voorbeeld:

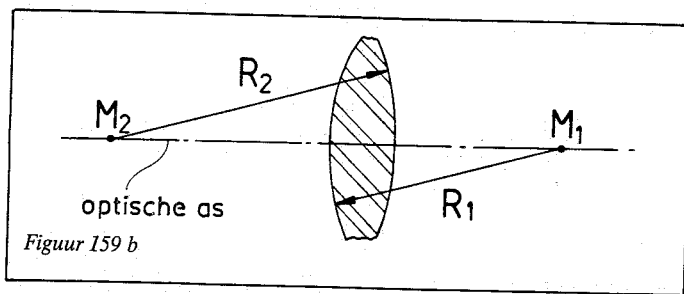
- 1 vrijheidsgraad : Steekpasser afstellen (r of x)
- 2 vrijheidsgraden : 'Schot in de roos': x, y .
- 3 vrijheidsgraden : Stukje in legpuzzel: x, y, φ
- 4 vrijheidsgraden : As, loodlijn of laser uitlijnen (x, y, ψ, ξ , of x_1, y_1, x_2, y_2)
- 5 vrijheidsgraden : Hoofdspil monteren (x, y, z, ψ, ξ)
- 6 vrijheidsgraden : Zonnewijzer inmetelen
- Veel vrijheidsgraden : Tandartsassistente die kind in bedwang houdt.

- Het toekennen van een positie aan.....
Hangt er vanaf wat ons 'ding' moet doen.
Bij centerpunt, graveernaald (of beitelpunt): de punt zelf.
Bij mantelfrees: het middelpunt en de middelpuntsbaan.
Het gefreesde profiel is 'een equidistante' aan die middelpuntsbaan.
Als het een nokprofiel betreft:
de nokrolmiddelpuntsbaan is weer equidistant (of valt samen) met de middelpuntsbaan van de frees.
Hoe zit het nou met de beitelpunt (die is ook 'afgerond')!
Vaak is de positie niet bepaald door mechanische aanslagen, oplegging of vorm, maar door (een verzameling van) fysische grootheden of daarmee samenhangende begrippen.
Nodig is dan een vertaalslag van de fysische eisen naar de mechanische toleranties op de mechanische referenties. Bij voorbeeld de lens (zie DDP 159b): die heeft een optische as (x, y, ψ, ξ) en een brandpunt (x, y, z).

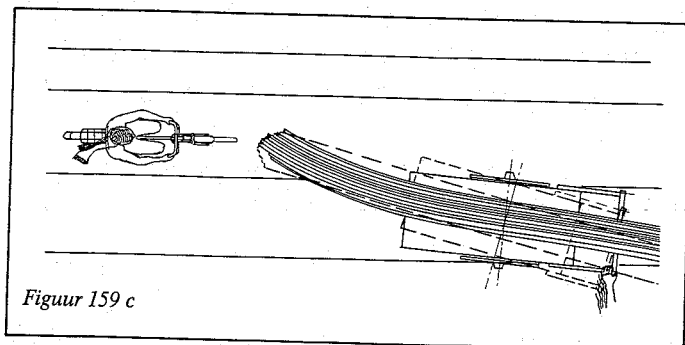
Analoog bij elektronenmicroscop: elektron-optische as.

- Het brengen in positie.....
Dit vergt verplaatsen. Vragen zijn dan:
◦ Hoe?
◦ Waarheen?
◦ Hoe snel?
- Hoe verplaatsen?
– met de hand ... eventueel met manipulatoren
– met servomechanismen
– (in het bijzonder waar het periodiek gebeurt, bij voorbeeld met een as die éénmaal per cyclus ronddraait): met excenters of nokmechanismen.
- Waarheen verplaatsen?
Dit vergt meten: Bij voorbeeld meten van mechanische referenties of: direct meten van het betrokken fysische effect. Dit laatste speelt in het bijzonder bij manipuleren en bij servomechanismen.
Bij verplaatsing met een (nok)mechanisme: Eénmalig meten en goed afstellen; daarna steeds op identieke wijze dezelfde verplaatsing realiseren – in de hoop dat er niets 'verloopt'.
- Hoe snel verplaatsen?
DDP 159c geeft een voor de schrijver zeer pijnlijke jeugdherinnering: handkar met panlatten: stond scheef op straat; werd nog 'nèt op tijd' rechtgezet.
Pijnlijk duidelijk werden de navolgende effecten:
een vertraging (van circa 1/4 trillingstijd) en naslingeren!
Een kwestie van 'Discontinuïteiten in de opgedrongen beweging' (hetzij in de plaats, of in de snelheid, of in de versnelling enzovoort).
- Het houden in positie.....
Zowel 'dynamisch' als 'statisch'.
Dynamisch (trillingen en) vooral stoorsnelheden uit de omgeving (zie DDP 61).
 $v_b \approx 1$ mm/s (werkplaats)
 $v_b \approx 0,1$ mm/s (lab.)
Remedie: 'Isoleren' (zie DDP 62.)

Onder 'statistisch' vallen dan zowel thermische uitzetting (DDP 100, DDP 103e, en f, DDP 126k, DDP 171) als kruip (micro-slip (DDP 12, DDP 14, DDP 99)), hysteresis en virtuele speling (DDP 59, DDP 107 deel II, hoofdstuk 12 afbeelding 12-1e).



Figuur 159 b



Figuur 159 c