

Nauwkeurigheid van 3D-meetmachines

Citation for published version (APA):

Schellekens, P. H. J. (1988). Nauwkeurigheid van 3D-meetmachines. *Mikroniek*, 28(1), 4-8.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1988

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

Take down policy

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

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Nauwkeurigheid van 3D-meetmachines

Dr.ir. P.J.H. Schellekens, Laboratorium voor geometrische Meettechniek, TU Eindhoven.

Inleiding

Sedert het begin van de jaren zeventig zijn 3D-meetmachines voorzien van direct gekoppelde computers voor de besturing van de meetmachine en de verwerking van de meetgegevens via uitgebreide software-pakketten. De toepassing van de meetmachines heeft een enorme vlucht genomen en zij worden thans ingezet voor het gehele gebied van de millimeter-nauwkeurigheid tot de (sub)micrometer-nauwkeurigheid.

Voor de laatste jaren is door de fabrikanten veel aandacht aan de verbetering van de nauwkeurigheid van deze machines besteed. De laatste ontwikkelingen gaan in de richting van softwarecorrectie van allerlei afwijkingen die constant of quasi-constant zijn.

De afwijkingenstructuur van 3D-meetmachines is zeer gecompliceerd daar zij uit een flink aantal bronnen ontstaat. Belangrijke bronnen zijn [1]:

- de geometrische structuur,
- het tastsysteem,
- het software-pakket,
- externe invloeden als temperatuur, vocht en trillingen.

De meeste van deze bronnen veroorzaken systematische afwijkingen; de toevallige afwijkingen - met random karakter - ontstaan door het tastsysteem, de luchtlanding en trillingen die van buiten, door de vloer en de lucht, op de meetmachine inwerken.

De grootte van de geometrie-afwijkingen is mede afhankelijk van de toegepaste bouwvorm van de meetmachine. De belangrijkste bouwvormen zijn schematisch weergegeven in figuur 1a t/m 1f.

Uit analyse van deze bouwvormen blijkt dat bepaalde typen zich meer lenen voor hoognauwkeurige meetmachines dan andere. De portaalconstructie wordt het meest toegepast voor de zeer nauwkeurige meetmachines waarbij de aandrijvingen dan nog zodanig kunnen worden aangebracht dat minimale kantelfouten optreden. De horizontale armbouw- en cantilever-machines zijn het meest gevoelig voor doorbuiging bij verplaatsing van de meettaster waarbij de horizontale armbouw-constructie doorbuiging zowel in de Y- als Z-as kan vertonen. Door de fabrikanten wordt gewoonlijk een gedeeltelijke compensatie voor doorbuiging ingebouwd.

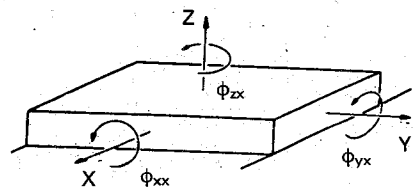
Hierna zullen de belangrijkste bronnen voor systematische afwijkingen worden geanalyseerd waarna meetmethoden worden besproken voor afnamecontrole en periodieke tests van 3D-meetmachines. In de slotbeschouwing worden enige conclusies geformuleerd en wordt aangegeven welke instanties in Nederland ondersteuning kunnen leveren bij het opzetten en uitvoeren van meetprocedures.

Belangrijke systematische afwijkingen bij 3D-meetmachines

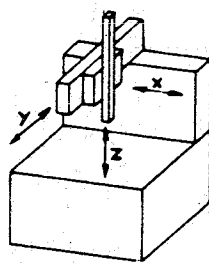
Zoals al eerder is aangegeven kan de geometrie van de meetmachine een belangrijke bron voor systematische afwijkingen zijn. Per geleidingssysteem zijn er in principe 6 vrijheidsgraden

waaruit afwijkingen kunnen resulteren, namelijk 3 translaties en 3 rotaties, in figuur 2 voor de X-geleiding aangegeven met X, Y, Z en ϕ_{xx} , ϕ_{yz} en ϕ_{zx} .

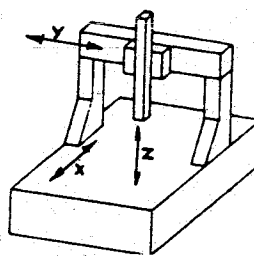
Geprojecteerd op de tasterpunt van de meetmachine leveren deze bewegingen translatie-afwijkingen, ontstaan uit de geleidingen en meetsystemen, van de vorm ΔX_i , ΔY_i en ΔZ_i , waarbij i steeds staat voor de coördinaten X, Y en Z. Algemeen leveren de rotaties ϕ_{ix} , ϕ_{iy} en ϕ_{iz} afwijkingen van de vorm $\Delta l_{ix} = l_i \times \phi_{ix}$, $\Delta l_{iy} = l_i \times \phi_{iy}$ en $\Delta l_{iz} = l_i \times \phi_{iz}$ waarbij l_i de afstand van de tasterpunt tot het meetsysteem is. Bij een afstand $l_i = 1$ m en een hoek $\phi_{ix} = 1''$ levert dit reeds een afwijking $\Delta l_{ix} = 5 \mu\text{m}$. Afwijkingen in de haaksheid tussen de drie coördinaat-



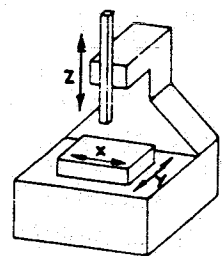
Figuur 2 Vrijheidsgraden van de X-geleiding van een 3D-meetmachine



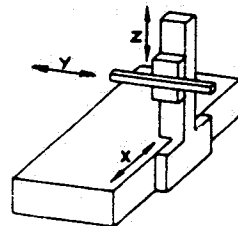
Figuur 1a Cantilever



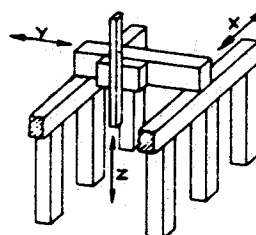
Figuur 1b Portaal



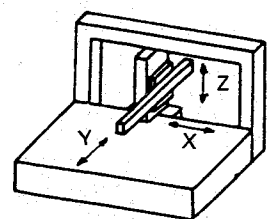
Figuur 1c Kolom



Figuur 1d Horizontale armbouw



Figuur 1e Brug



Figuur 1f Robot

sen leveren fouthoeken α_{xy} , α_{xz} en α_{yz} met bijdragen van de vorm: $\Delta l_x = l_y \times \alpha_{xy}$, etc. Zo komt het totaal aantal bijdragen uit geometrieafwijkingen op $3 \times 6 + 3 = 21$. In figuur 3 is getracht het effect van een aantal bijdragen aan te geven.

Bij het doorrekenen van effecten van deze geometrieafwijkingen kunnen gemakkelijk fouten worden gemaakt. Om dit te voorkomen is op de TUE een computerprogramma CAFAM (Computer Aided Faults Analysis of 3D-Measuringmachines) ontwikkeld dat met behulp van de afmetingen van de meetmachine de afwijkingenstructuur voor de geometrie berekent. Daarna kunnen uit meetgegevens van hoeken ϕ , α en verplaatsingen ΔX , ΔY en ΔZ ook de ruimtelijke afwijkingen van de tasterpositie worden berekend [2]. In figuur 4 is een foutentabel van een meetmachine, berekend met het CAFAM programma, opgenomen.

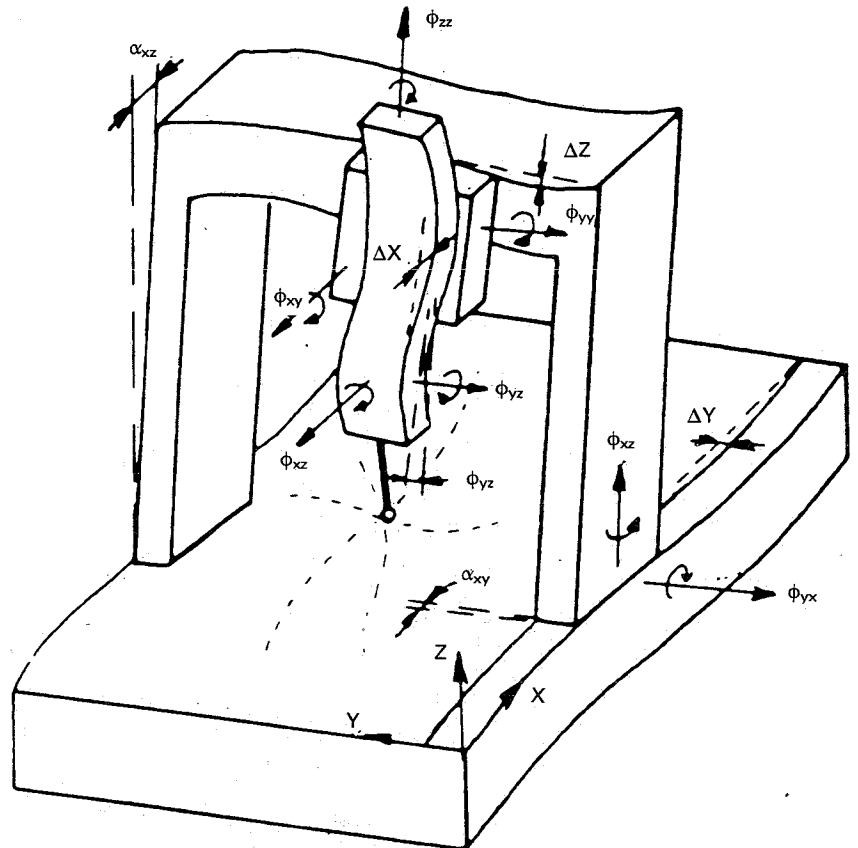
Substitutie van praktijkwaarden levert als uitkomst dat reeds bij temperatuurverschillen van 1°C een bolling van vele μm per meter lengte kan optreden. Deze bolling levert weer rotatie-afwijkingen van de vorm $\Delta l = l \times \phi$ bij geleiding langs dit gekromde oppervlak. Door inwerkingen van vocht op granieten geleidingen kunnen lokaal vormveranderingen van vele μm ontstaan die uiteraard weer doorwerken naar de positie van de tasterpunt [3].

Tenslotte kunnen nog afwijkingen ontstaan doordat bij ruimtelijke tasterverplaatsingen ook weer massaverplaatsingen optreden waardoor de belastingkrachten op de luchtlagers variëren en waardoor, ten gevolge van de eindige stijfheid van de luchtlagers, luchtspleetvariëaties optreden die weer doorwerken naar de tasterpositie.

Door het tastsysteem kunnen nog specifieke afwijkingen ontstaan; de belangrijkste zijn:

- reproduceerbaarheidsafwijkingen bij herhaling van aantasten,
- omkeerfouten bij aantasting uit tegengestelde richting,
- afwijkingen in de meetsystemen bij metende tastsystemen,
- schakelfouten en looptijdeffecten bij schakelende tastsystemen,
- effecten van de doorbuiging van taststiften en vervorming van het meetobject bij aantasten.

Afwijkingen die door het gebruik van de software ontstaan zijn op voorhand moeilijk te onderkennen en komen dikwijls pas bij specifieke metingen naar voren. Software-''gevoelige'' metingen zijn in dit geval kegelmetingen, tandwielmetingen en curvemetingen.



Figuur 3 Effecten van geometrie-afwijkingen

Bij de nieuwste meetmachines die op de markt komen zijn softwarepakketten verkrijgbaar die corrigeren voor een deel van de geometrie-afwijkingen van de meetmachine. Het is uiteraard zaak dat deze softwarecorrecties ook na installatie bij de gebruiker nog juist functioneren.

In samenhang met de meest optimale gegevensverwerking is het belangrijk de meetpunten bij geometriemetingen zo te kiezen dat de rekenmethode zo stabiel mogelijk is, hetgeen betekent dat dikwijls de meetpunten gespreid over het object gekozen moeten worden. Dicht bijeen liggende meetpunten geven onnauwkeurige resultaten bij b.v. cirkel-, vlak-, lijn-, cilinder-, bol- en kegelbepalingen.

De nauwkeurigheid van 3D-meetmachines wordt door de diverse leveranciers nogal eens verschillend opgegeven. Een aanbevolen manier is de presentatie van een-, twee- en driedimensionale meetnauwkeurigheid. Dit kan als volgt geschieden:

$$1\text{-D: } U_1 = A_1 + K_1 \times L \leq B_1$$

$$2\text{-D: } U_2 = A_2 + K_2 \times L \leq B_2$$

$$3\text{-D: } U_3 = A_3 + K_3 \times L \leq B_3$$

U_i zijn de afwijkingen in de drie gebieden met bovengrenzen B_i ; A_i en K_i zijn constanten, en L is de lengte van het meettraject.

Afamecontroles en testen voor 3D-meetmachines

Afamecontroles

Bij moderne meetmachines wordt de afamecontrole van steeds groter belang door de steeds toenemende meetnauwkeurigheid die door de fabrikant aangeboden en door de gebruiker gewenst wordt. De afamecontrole bij installatie is ruwweg te splitsen in twee typen, namelijk:

- volledige geometriecontrole,
- afnametests met behulp van meetobjecten zoals eindmaten en stapeindmaten.

In plaats van eindmaten kunnen ook goed gekalibreerde kogelstaven, dat zijn staven met op de uiteinden gemonteerde precisiekogels, worden gebruikt.

Bij geometriecontrole worden de meetsystemen gecontroleerd en worden de mogelijk nog optredende translaties gemeten evenals de rotaties, haaksheid en eventuele doorbuiging van machinedelen. In principe is uit een juiste verwerking van de resultaten van deze metingen de statische afwijking van de meetmachine in zijn meetvolume te berekenen. Ook kunnen deze gegevens voor softwarecorrectie van geometrieafwijkingen worden gebruikt.

Asbenoeming: 1ste geleiding $\rightarrow U = Y$
 2de geleiding $\rightarrow V = XB - X$
 3de geleiding $\rightarrow W = ZB - Z$

Meetbereik: X-bereik $\rightarrow XB = 550.0$ mm
 Y-bereik $\rightarrow YB = 1200.0$ mm
 Z-bereik $\rightarrow ZB = 450.0$ mm

Verbindingsvectoren: $U_{uv} \rightarrow Y_{yx} = 0.0$ mm
 $V_{uv} \rightarrow X_{yx} = -100.0$ mm
 $W_{uv} \rightarrow Z_{yx} = 600.0$ mm

$U_{vw} \rightarrow Y_{xz} = -100.0$ mm
 $V_{vw} \rightarrow X_{xz} = 0.0$ mm
 $W_{vw} \rightarrow Z_{xz} = -150.0$ mm

Tastercomponenten: Y-component $\rightarrow Y_t = 0.0$ mm
 X-component $\rightarrow X_t = 0.0$ mm
 Z-component $\rightarrow Z_t = -50.0$ mm

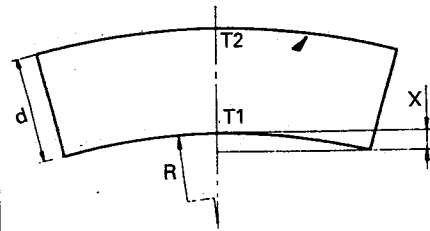
As-coördinaten: X-as $\rightarrow X'' = X - X_t$
 Y-as $\rightarrow Y'' = Y - Y_t$
 Z-as $\rightarrow Z'' = Z - Z_t$

Foutsoort	dy	dx	dz
Lineariteit			
TYy-TY(y)	TYy		
TXx-TX(x)		TXx	
TZz-TZ(z'')			TZz
Rechtheid			
TYx-TY(x)	TYx		
TYz-TY(z'')	TYz		
TXy-TX(y)		TXy	
TXz-TX(z'')		TXz	
TZy-TZ(y)			TZy
TZx-TZ(x)			TZx
Haaksheid			
SYx	-SYx* [X]		
SYz	-SYz* [Z]		
SXz		-SXz* [Z]	
Kantel			
RYx-RY(x)		RYx* [Z-ZB+Zxz]	-RYx* [Xxz+Xt]
RYz-RY(z'')		RYz* [Z-ZB]	-RYz* [Xt]
RXy-RX(y)	-RXy* [Z-ZB+Zyx+Zxz]		RXy* [Yyx+Yxz+Yt]
RXz-RX(z'')	-RXz* [Z-ZB]		RXz* [Yt]
RZy-RZ(y)	RZy*	-RZy* [Yyx+Yxz+Yt]	
	[X-XB+Xyz+Xxz]		
RZx-RZ(x)	RZx* [Xxz+Xt]	-RZx* [Yxz+Yt]	
Rotatie			
RYy-RY(y)		RYy* [Z-ZB+Zyx+Zxz]	-RYy* [X-XB+Xyx+Xxz]
RXx-RX(x)	-RXx* [Z-ZB+Zxz]		RXx* [Yxz+Yt]
RZz-RZ(z'')	RZz* [Xt]	-RZz* [Yt]	

Figuur 4 Foutentabel berekend met CAFAM

Voor de controle van de meetsystemen, bepaling van translaties (rechtheidsmeting), rotaties en haaksheidsafwijkingen, kan gebruik worden gemaakt

van moderne laserinterferometers met optische hulpmiddelen. De meetspiegel(s) worden daarbij aan de tasterbevestigd waarbij soms het tast-



Figuur 5 Effect van temperatuursgradiënt op een rechtgeleiding

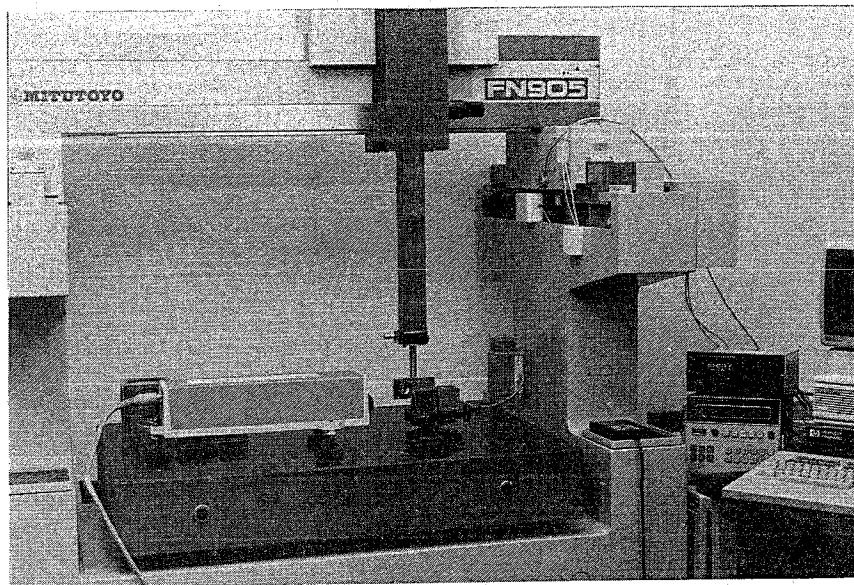
systeem toch gebruikt kan worden, zoals bij metende tastsystemen waarbij de meetwaarde-overname statisch geschiedt. Bij tastsystemen met een dynamische meetwaarde-overname (schakelend tastsysteem) dient de meetwaarde-overname van meetmachine en laserinterferometer op hetzelfde moment plaats te vinden, wat dikwijls moeilijk te realiseren is.

Figuur 6 geeft een overzicht van een rotatiemeting met behulp van een laserinterferometer op een TUE-meetmachine, waarbij de meting volledig geautomatiseerd en geïntegreerd is in het hoofdmeetprogramma van de machine. Het hoofdmeetprogramma is daartoe bij de TUE uitgebreid met speciale meetprocedures voor de uitlezing en verwerking van de meetgegevens van de gekoppelde laserinterferometer. Hiermee kunnen de translatie en rotatieafwijkingen volledig automatisch worden bepaald.

Naast de laserinterferometer wordt nog gebruik gemaakt van autocollimatoren en elektronische waterpasinstrumenten voor het meten van rotaties, hoeknormalen voor haaksheidscontrole en rechtheidslinealen voor rechtheidsmeting.

Voorstellen voor meetprocedures zijn vastgelegd in richtlijnen [4]. De controle van het tastsysteem kan met eindmaten (1-D), ringkalibers (2-D) en ijkogels (3-D) worden uitgevoerd.

Bij afnametests met eindmaten of stap-eindmaten wordt de lengte van het object gemeten met gebruik van het tastsysteem, waardoor dit ook (gedeeltelijk) wordt getest. Belangrijk is bij deze metingen dat de objecten in voldoende posities en op voldoende plaatsen in het meetbereik van de machine worden gemeten. Het verdient aanbeveling langs alle assen op een aantal posities 1-D metingen uit te voeren, in alle vlakken 2-D metingen langs alle vlakken-diagonalen en 3-D metingen langs alle ruimtediagonalen. Belangrijk hierbij is dat de gehele meetlengte getest wordt waarbij dan soms het meettraject in delen moet worden gemeten door de beperkte lengte van de meetobjecten.



Figuur 6 Automatische rotatiemeting (ϕ_{yz}) met laserinterferometer

Bij de metingen dient standaard een temperatuursmeting van meetobject en machinemeetsystemen te worden uitgevoerd. De optredende lengtecorrecties voor temperatuur en verschillen in de uitzettingscoëfficiënt zijn van de vorm:

$$\Delta l = l \times \{X_e \times (T_e - 20) - X_m \times (T_m - 20)\}$$

Hierin is:

l : de meetlengte.

X_e : de lineaire uitzettingscoëfficiënt van het meetobject en T_e de temperatuur.

X_m : de lineaire uitzettingscoëfficiënt van het meetsysteem en T_m de temperatuur.

De analyse van de meetresultaten is in het geval van deze testmetingen aanzienlijk ingewikkelder, met name het aangeven van de geometrie-afwijkingen is lastig.

Zijn de meetmachines voorzien van softwarecorrecties voor geometrie-afwijkingen, dan dient de afnamecontrole te worden uitgevoerd met toepassing van de softwarecorrecties, daar zonder deze correcties de machine afwijkingen kan vertonen die buiten de specificaties liggen [5,6].

De 1-D controlemetingen kunnen hier wel met een laserinterferometer worden uitgevoerd; voor 2-D en 3-D controles zijn eindmaten, stapeindmaten of kogelstaven aan te bevelen.

De controles dienen zeer uitvoerig te zijn daar verkeerde softwarecorrecties lokaal grote afwijkingen kunnen veroorzaken. Ook hier dient weer voldoende aandacht aan de temperatuursmetingen te worden besteed.

Periodiek testen van meetmachines

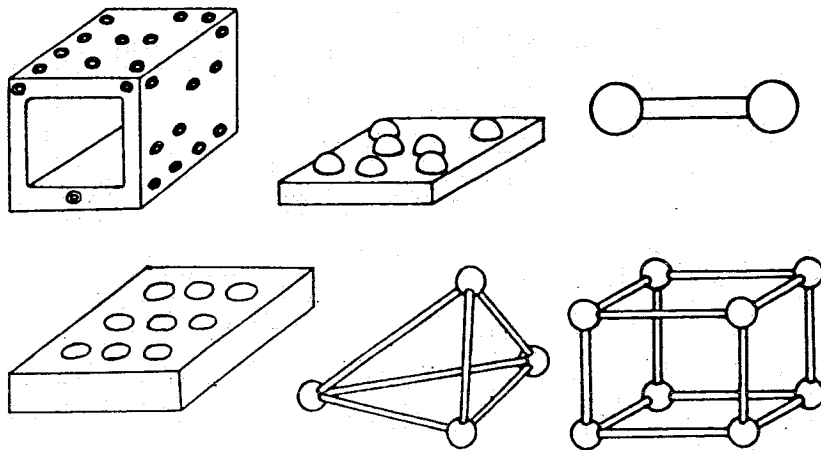
Ook tijdens de gebruiksperiode dienen de meetmachines periodiek gecontroleerd te worden op de meetnauwkeurigheid. Uiteraard biedt hier een volledige afnamecontrole de meeste zekerheid maar kost ook de meeste (productie-) tijd. Een volledige afnamecontrole neemt immers al gauw enige dagen in beslag.

De meeste gebruikers zullen daarom overgaan op periodieke controles waarbij niet steeds op alle afwijkingen gecontroleerd wordt. Dit is ook niet noodzakelijk daar een aantal afwijkingen zich in de tijd slechts langzaam of niet wijzigt. Daartoe behoren bijvoorbeeld de rechtheidsafwijkingen en rotaties ten gevolge van vormafwijkingen in de geleidingen.

"Tijdsgevoeliger" zijn de haaksheidsafwijkingen bij luchtgelagerde meetmachines, de meetsystemen en het tast-systeem. Deze delen dienen dan ook intensiever gecontroleerd te worden. Naast de "conventionele" controlemetingen met eindmaten en laserinterferometer kunnen bij de periodieke controles op speciale meetobjecten gebruikt worden. Tot deze groep behoren objecten samengesteld uit kogelstaven en ruimtelijke meetobjecten, dikwijls voorzien van goed gedefinieerde cilindrische gaten. Een aantal van dit type objecten is toegepast bij een internationale vergelijking van meetnauwkeurigheid van 3D-meetmachines. Enige objecten zijn afgebeeld in figuur 7.

De testobjecten kunnen op verschillende posities in het meetvolume van de machine worden geplaatst waardoor reproduceerbaarheid en lokale nauwkeurigheid kunnen worden getest. De testobjecten zijn snel te meten, doch het is bij constatering van afwijkingen niet eenvoudig uit de meetresultaten vast te stellen welk geometriedeel verantwoordelijk is voor de gevonden afwijking. Op de TUE wordt gewerkt aan de ontwikkeling van meetmethoden die snelle, doeltreffende controles mogelijk maken. Hierbij moet via computeranalyse vastgesteld kunnen worden welk geometriedeel de eventuele afwijkingen veroorzaakt. In figuur 8 is een beeld gegeven van een experimentele meetopstelling uit dit onderzoek.

Naast deze testobjecten zijn nog ringtestsystemen [7] en om één kogel draai-bare kogelstaven, zoals recentelijk uitgebracht door de Fa. Renishaw, verkrijgbaar. Ook bij deze testsystemen is een goed gegevensverwerkingssysteem noodzakelijk, alsmede objecten van verschillende afmetingen voor de diverse meetbereiken.



Figuur 7 Testobjecten voor 3D-meetmachines

Slotbeschouwing

Getracht is een beeld te geven van de problematiek rond de nauwkeurigheid van 3D-meetmachines.

De geometrische afwijkingen zijn voor wat de 21 standaardbronnen betreft goed te beschrijven en te controleren; wat machinevervormingen ten gevolge van gradiënten betreft, geven temperatuur-effecten problemen.

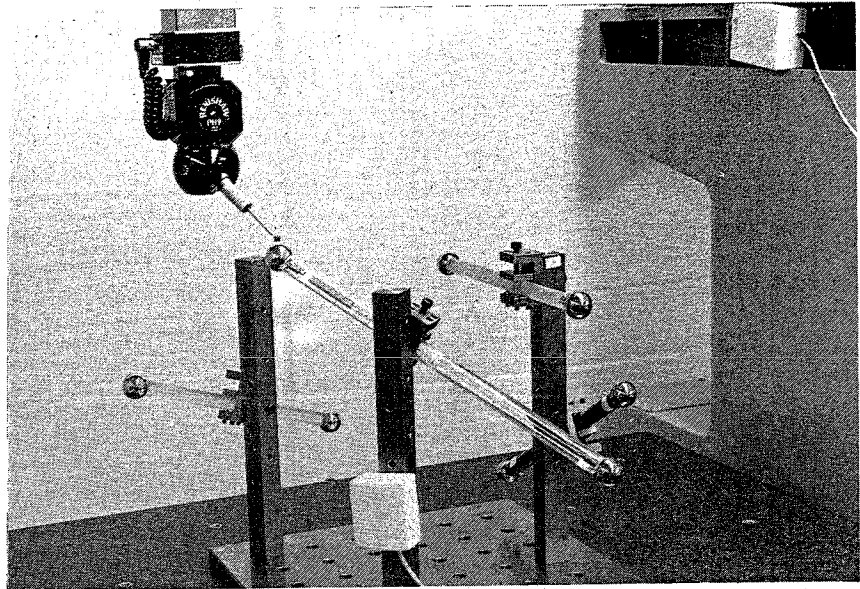
De afnamecontrole kan door middel van geometriemetingen en/of eindmaten worden uitgevoerd. Wordt softwarecorrectie toegepast, dan zal de meetmethode moeten worden aangepast daar in dat geval geometriemetingen zonder meer weinig betekenis hebben. Periodieke testen kunnen plaatsvinden via deelmetingen uit de totale afnamecontrole of via testobjecten. De testobjecten dienen evenals de eindmaten en laserinterferometer [8] met voldoende nauwkeurigheid gekalibreerd te zijn.

De keuze van het type testobject is in principe arbitrair, doch belangrijk is dat het zeer stabiel is in de tijd, goed te kalibreren en geschikt voor de analyse op geometrie-afwijkingen.

In de Technische Commissie Geometrische Meettechniek van de Nederlandse Kalibratie Organisatie wordt gewerkt aan aanbevelingen voor de uitvoering van afnameprocedures voor 3D-meetmachines waarbij ook aandacht aan testprocedures wordt besteed.

De volgende NKO-erkende laboratoria en instituten bezitten expertise op het gebied van afnamecontroles en testen:

- I.A.C., Emmen; Ir. R. Galestien.
- Centrale Meetkamer, Rank Xerox, Venray; de heer J. van Bokhoven.



Figuur 8 Testmeting voor de nauwkeurigheidsanalyse van een 3D-meetmachine

- Laboratorium voor Geometrische Meettechniek, TU Eindhoven; Dr. Ir. P. Schellekens.
- Centrale Meetkamer Machinefabrieken, Philips Eindhoven; Ing. H. Jenniskens.
- FDO Technische Adviseurs BV, Amsterdam; de heer A. van Steenis.

Literatuur

- [1] A. van Steenis, Coördinaten-meetmachines, hun nauwkeurigheid en de kalibratie daarvan, MB Produktietechniek, 50, nr. 7, 1984.
- [2] F. Theuws, Computermodellering van de foutenstructuur van 3D-meetmachines, TUE rapport, WPA rapportnr. 0355, 1986.

- [3] Ir. W. de Bruin, Enkele toepassingen van een vlakheidsmeet- en evaluatiemethode I, MB Produktietechniek, 49, nr. 8, 1983.
- [4] VDI/VDE Richtlijnen, VDI/VDE 2617, Genauigkeit von Koordinatenmessgeräte, Kenngrößen und deren Prüfung.
- [5] Ir. J. Teeuwssen, Afname-rapport van een BRAVO 4207 meetrobot bij Volvo Car BV, TUE rapport, WPA rapportnr. 0260, 1986.
- [6] Prof. Dr. H. Kunzmann, De betekenis van de coördinatenmeettechniek voor de produktiemeettechniek, MB Produktietechniek, 50, nr. 21, 1984.
- [7] Dr. W. Knapp, Circular tests for three coordinate measuring machines and machine tools, Precision Engineering, 5, nr. 3, 1983.
- [8] Dr. Ir. P. Schellekens, Absolute meetnauwkeurigheid van technische laserinterferometers, TUE Dissertatie, nov. 86.

Ultrasnelle fotografie in productie-bedrijven

Ultrasnelle fotografie kan een goed en goedkoop hulpmiddel zijn bij het analyseren van snel verlopende processen en van storingen in snel werkende machines. Drie-, vijf-, tienduizend of meer beelden van een enkele "proces-seconden"

waarin steeds iets mis gaat, of waarin niet gebeurt wat de ontwerper van het proces verwacht, onthullen daarvan vrijwel altijd de juiste oorzaak. Vaak is daarmee ook duidelijk in welke richting verbetering of een oplossing moet worden gezocht.

Het Metaalinstuut TNO past de ultrasnelle fototechniek al zeer lang toe bij onderzoek naar het breukgedrag van staal, maar is gaandeweg ook diensten buiten het eigen vakgebied gaan verlenen. Een documentatieblad van het instituut beschrijft in deze geest toepassingen van snelle fotografie en film bij

o.a. de ontwikkeling van een vergaaren hechtmachine, een probleem bij de productie van buizen uit kunststof, en het opvoeren van de snelheid van een flessenvulmachine. Ook processen als verstuiven, drogen, koelen, mengen en malen laten zich volgens het documentatieblad goed via de snelle camera bestuderen.

Geïnteresseerden kunnen het blad aanvragen bij de groep Fotonica van het Metaalinstuut TNO, postbus 541, 7300 AM Apeldoorn; telefoon (055) 773344, toestel 1132.