

Kalibratie en inspectie van meetmachines met behulp van referentie objecten

Citation for published version (APA):

Hüser-Teuchert, D., Trapet, E., Wäldele, F., & Spaan, H. A. M. (1990). *Kalibratie en inspectie van meetmachines met behulp van referentie objecten*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPA0979). Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1990

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.

**Kalibratie en inspectie van meetmachines
met behulp van referentie objecten**

**Tekst van lezing voor:
Symposium Geometrische Meettechniek
d.d. 7 november 1990, Eindhoven**

Rapport nr.: WPA 0979, november 1990.

Ir. H.A.M. Spaan

**KALIBRATIE EN INSPECTIE VAN MEETMACHINES
MET BEHULP VAN REFERENTIE OBJECTEN**

Door D. Hüser-Teuchert, E. Trapet, F. Wäldele
Gruppe Koordinatenmeßtechnik
Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig.

Vertaald door Ir. H.A.M. Spaan
Lab. voor Geometrische Meettechniek
Technische Universiteit Eindhoven.

Datum 7 november 1990

Kalibratie en inspectie van meetmachines met behulp van referentie objecten

Samenvatting

In 1987 is een kalibratie en inspectie methode voor coördinatenmeetmachines ontwikkeld en met succes toegepast, waarbij gebruik wordt gemaakt van 2-dimensionale (2-D) referentie objecten in de vorm van kogel- en gatenplaten. Hierbij werden verschillende doelen voor ogen gehouden. Ten eerste dient het mogelijk te zijn om de parameters voor software correctie te bepalen, ten tweede dient de kwaliteit van coördinatenmeetmachines, qua onnauwkeurigheid, beoordeeld te worden. Tenslotte moet het mogelijk te zijn de onnauwkeurigheid te bepalen, gerelateerd aan specifieke meetopdrachten, waarbij gebruik wordt gemaakt van simulaties.

De belangrijkste voordelen van de methode zijn dat deze eenvoudig in gebruik is, betrouwbare resultaten geeft, gebruik maakt van goedkope apparatuur en, omdat de methode weinig tijd vraagt, vaker toe te passen is dan andere bekende methoden. Dit alles vergroot het vertrouwen in het gebruik van coördinatenmeetmachines en draagt tevens bij tot een meer economischer gebruik van coördinatenmeetmachines.

Dit artikel geeft een introductie van de methode en laat recente resultaten zien. Daarbij wordt bijzondere aandacht geschonken aan correctie van geometrische afwijkingen en aan de analyse van de potentiële mogelijkheden van kalibratie- en inspectie methoden voor coördinatenmeetmachines, met behulp van referentie objecten.

Introductie

Gedurende afgelopen 15 jaar zijn een grote variëteit aan kalibratie- en controle methodes ten behoeve van coördinatenmeetmachines en gereedschapsmachines voorgesteld en toegepast. Al deze methodes leveren ofwel uitgebreid informatie omtrent de machine ten koste van veel tijd, inspanning, ervaring en van dure apparatuur, of zijn eenvoudig te gebruiken, maar leveren slechts een globaal overzicht van de nauwkeurigheid. Tot op heden was er geen methode met een breed toepassingsgebied, welke eenvoudig en snel te gebruiken is, weinig kosten met zich mee brengt en welke door zowel fabrikant als gebruiker zou kunnen worden geaccepteerd.

De vraag naar bovengenoemde methode wordt vergroot doordat de moderne productie metrologie steeds meer uit handen van gespecialiseerde meettechnici wordt genomen en geïntegreerd wordt in het productieproces. Deze integratie vraagt om een groot vertrouwen in meetmiddelen, welke in ruime mate beschikbaar moeten zijn en welke, om economische redenen, vaak op de grens van de specificaties worden gebruikt. Een geheel andere reden ligt in het feit dat tot nu toe de machine operators niet in staat waren kalibraties, noch afnames te verrichten. Alleen de fabrikant had de mogelijkheid tot het verrichten van uitgebreide controles.

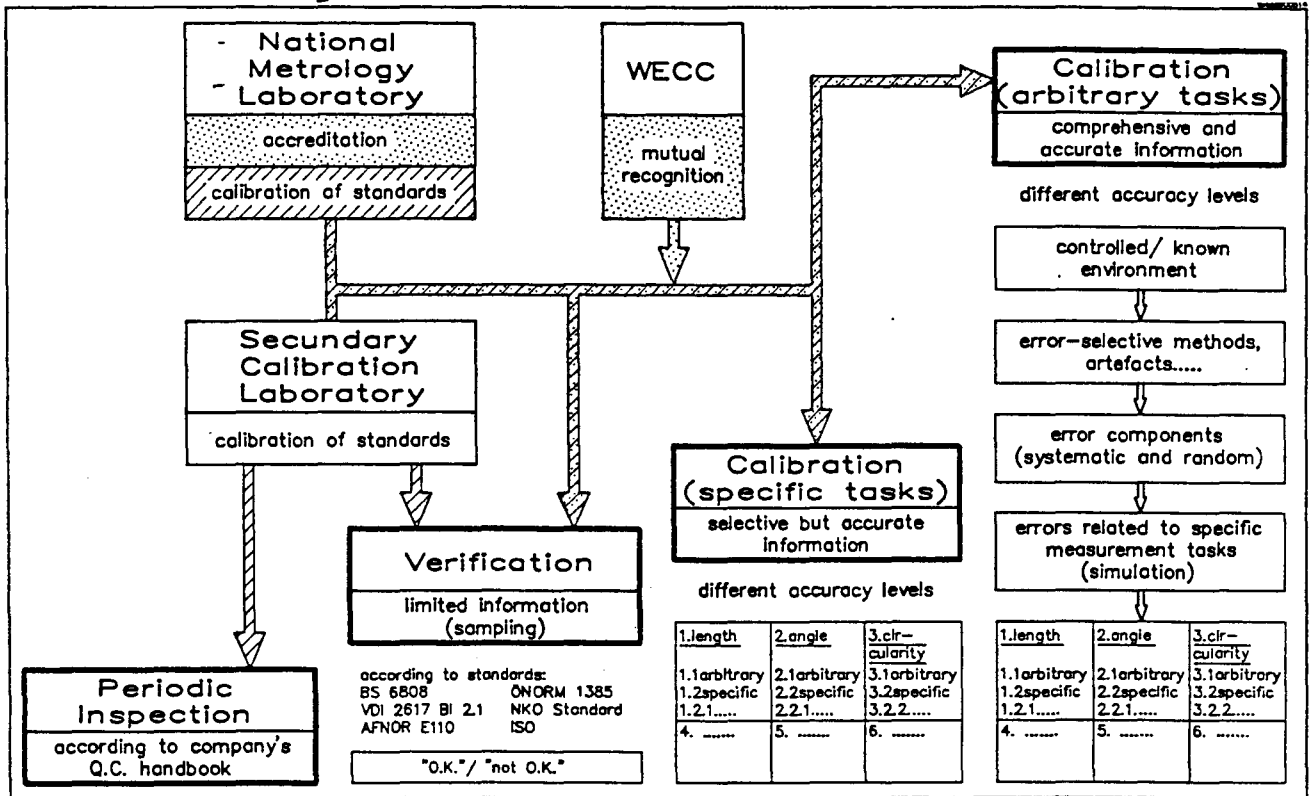
In dit artikel zal een methode worden gepresenteerd waarmee, met behulp van een referentie object, de geometrie afwijkingen van een coördinatenmeetmachine of een gereedschapsmachine kan worden bepaald. Deze methode is eenvoudig in het gebruik, brengt weinig kosten met zich mee ten aanzien van de benodigde apparatuur, de te realiseren nauwkeurigheid is hoog en de methode is "traceable". Hierdoor is deze methode geschikt voor controle van bovengenoemde machines en kan zelfs gebruikt worden voor kalibratie. In het nu volgend gedeelte zal deze methode worden uitgewerkt voor coördinatenmeetmachines. De uiteenzettingen omtrent coördinatenmeetmachines gelden echter tevens voor gereedschapsmachines.

Randvoorwaarden voor kalibratie

De ideale methode, welke zowel voor kalibratie, afname controle als voor periodieke inspectie van coördinatenmeetmachines gebruikt kan worden, zal het volgende moeten bieden:

- 1 - De "traceability" naar nationale of internationale lengtestandaarden vraagt om stabiele referentie objecten dan wel om meetinstrumenten, welke gekalibreerd kunnen worden.
- 2 - De nauwkeurigheid, waaraan het grootste deel van de wereldwijd geïnstalleerde meetmachines voldoen, dient haalbaar te zijn. Op dit moment is deze nauwkeurigheid $0.5 + 1.5 \cdot 10^{-6} \cdot L \text{ } \mu\text{m}$, zodat voor de nauwkeurigste referentie een nauwkeurigheid van $0.25 + 0.75 \cdot 10^{-6} \cdot L \text{ } \mu\text{m}$ noodzakelijk is.
- 3 - De methode dient uniform te zijn, zodat kalibratie, afnamecontrole en periodieke inspectie mogelijk zijn met behulp van dezelfde hardware en software. De methode dient dan ook tegelijkertijd:
 - Een overzicht te genereren, waarmee het gedrag van de coördinatenmeetmachine wordt aangegeven;
 - Parameters te geven, welke gebruikt kunnen worden voor correctie van de geometrieafwijkingen;
 - Nauwkeurigheidsgrenzen te berekenen, welke van toepassing zijn op individuele metingen.
- 4 - De resultaten van een kalibratie, afnamecontrole en periodieke inspectie dienen compatible te zijn met elkaar; geven bijvoorbeeld dezelfde kwaliteitsparameters. De gebruiker dient in staat te worden gesteld de meetonnauwkeurigheid gedurende gebruik af te leiden uit deze parameters. In figuur 1 wordt een overzicht gegeven, waarmee wordt aangegeven dat kalibratie op twee manieren kan worden verricht:
 - Direct, door metingen te verrichten aan referenties, waarbij deze gemeten worden als zijnde op de meetmachine te inspecteren objecten;
 - Indirect, door analyse van de afwijkingen van de coördinatenmeetmachine, waarbij de afwijkingen worden bepaald, welke optreden bij specifieke toepassingen.
- 5 - Het ontwikkelen en uitbrengen van standaarden en aanbevelingen kost geweldig veel tijd, vooral internationaal. Daarom zal een nieuwe methode zo veel mogelijk compatible dienen te zijn met bestaande standaarden.

6 - De inspanning, welke gerealiseerd dient te worden voor personeel, hardware en software, dient voor gebruikers van coördinatenmeetmachines realiseerbaar te zijn.



Figuur 1 Kalibratie, verificatie en periodieke inspecties van coördinatenmeetmachines.

Bij PTB (Physikalische Technische Bundesanstalt) heerste de gedachte dat 2-D en waarschijnlijk 3-D objecten voor bovengenoemde doeleinden zeer geschikt zouden zijn. Gedurende een haalbaarheidstudie in 1987 bleek dat met het meten aan kubussen alle afwijkingcomponenten kwantitatief bepaald kunnen worden. Deze kubussen hebben kogels bevestigd aan de hoekpunten. De metingen werden verricht met behulp van vier verschillende tasters (rechtheidsafwijkingen kunnen alleen bepaald worden na het meten van een veelvoud van aan elkaar grenzende kubussen). De evaluatie, op grond van deze metingen, maakte echter geen gebruik van de volumetrische eigenschappen van een kubus; de zes vlakken werden geëvalueerd als 2-D objecten.

Op grond van het feit dat met behulp van zes meetcycli aan een kogel- of gatenplaat alle geometrie afwijkingen te bepalen zijn en gebruik makend van de ervaringen, welke zijn opgedaan om met behulp van 1-D objecten alle geometrie afwijkingen te bepalen [ZHA 88] [JOU 86] is een grondige vergelijking tussen alle potentiële kalibratie en controle mogelijkheden voor coördinatenmeetmachines gemaakt (figuur 2). Uit dit onderzoek blijkt dat 2-D referentie objecten het beste voldoen aan bovengenoemde eisen. Hierop vormen grote coördinatenmeetmachines een uitzondering, omdat referentie objecten voor dergelijke machines moeilijk te realiseren zijn.

method	dedicated equipment to measure error parameters separately	ball bar, circular check	step gauge, laser step gauge	ball plate/hole plate	3-D object (solid or composed of plates)	3-D object (rod structure)
advantages	<ul style="list-style-type: none"> - accurate - proven - suited for all sizes of CMM - all error parameters - full working space accessible - high density of datum points 	<ul style="list-style-type: none"> - easy to do - quick - cheap - good traceability - suited for large machines (ball bar) 	<ul style="list-style-type: none"> - easy to do - proven - good traceability - accurate - cheap - suited for large machines 	<ul style="list-style-type: none"> - easy to do - quick - cheap - good traceability - all error parameters - accurate 	<ul style="list-style-type: none"> - easy to do - quick - all error parameters - good traceability - accurate 	<ul style="list-style-type: none"> - very easy to do - very quick - all error parameters - good traceability - cheap - suited for large machines
disadvantages	<ul style="list-style-type: none"> - time consuming - expensive apparatus - no "over all" check - requires experts - difficult traceability 	<ul style="list-style-type: none"> - limited information - few datum points 	<ul style="list-style-type: none"> - time consuming 	<ul style="list-style-type: none"> - limited No. of datum points 	<ul style="list-style-type: none"> - voluminous - limited No. of datum points 	<ul style="list-style-type: none"> - few datum points

Figuur 2 Vergelijking tussen alle potentiële kalibratie en controle mogelijkheden voor coördinatenmeetmachines.

Methode

Op grond van bovengenoemd onderzoek is besloten een kalibratie methode gebaseerd op 2-D referentie objecten uit te werken. In het onderstaande wordt beschreven hoe alle geometrie afwijkingen van een 3-D coördinatenmeetmachine afgeleid worden van metingen aan 2-D objecten.

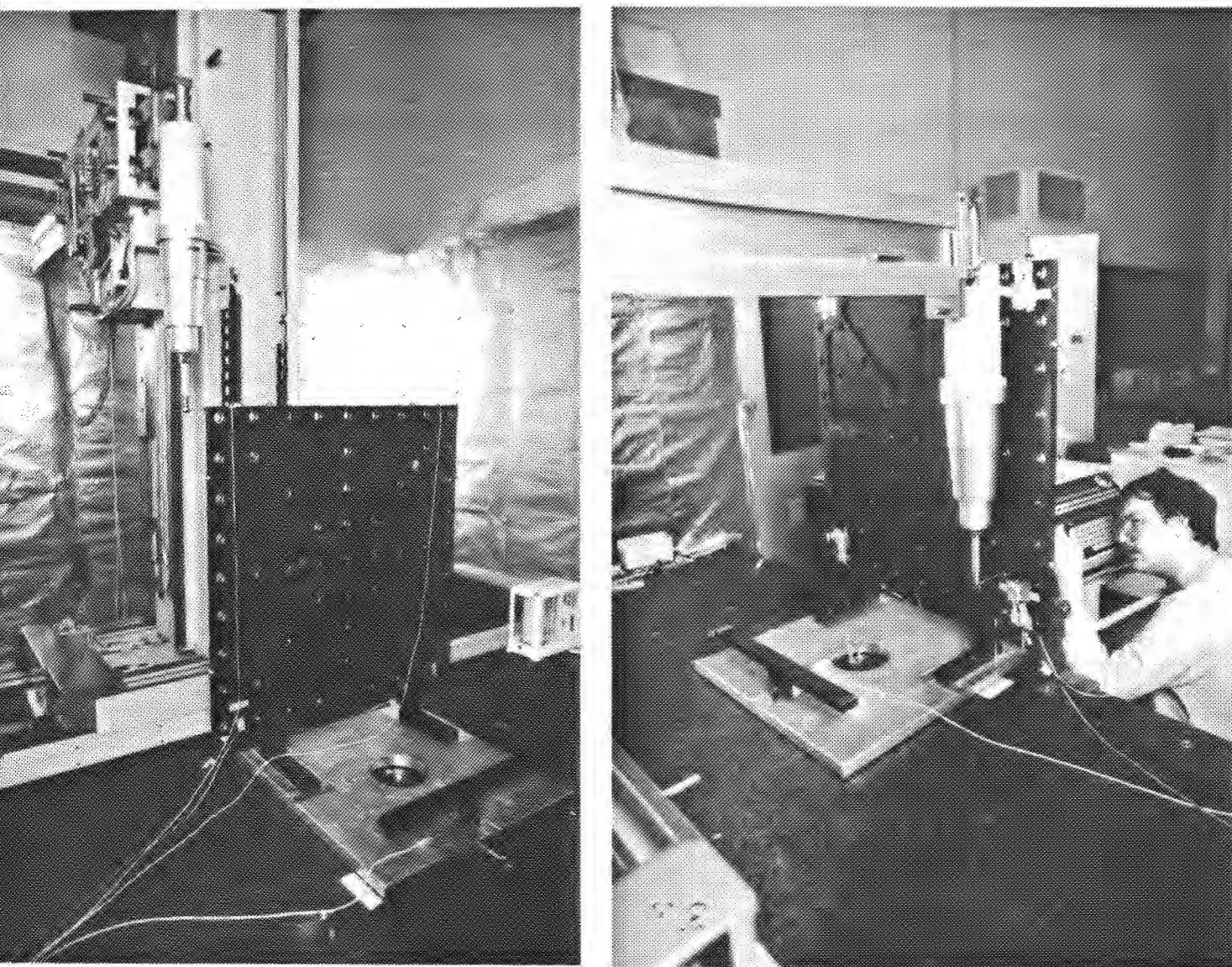
Afwijkingen bij een coördinatenmeetmachine

Verondersteld wordt dat de elementen waaruit een coördinatenmeetmachine bestaat, oneindig stijf zijn. De afwijkingen, welke optreden gedurende de beweging van een geleiding, bestaan dan uit drie translatie afwijkingen, parallel aan de bewegingsrichtingen van de machine, en drie rotatie afwijkingen om deze drie bewegingsrichtingen. Een 3-assige machine heeft dan 18 positie-afhankelijke afwijkingen en drie haaksheidsafwijkingen.

Meetopstelling

In figuur 3 worden twee van de vier noodzakelijke posities van het referentie object getoond, waarbij gebruik wordt gemaakt van een gatenplaat met een raster van 9 x 9 gaten. De metingen zijn uitgevoerd op twee posities met dezelfde taster, welke parallel georiënteerd is aan de pinole. Op de twee andere posities wordt de gatenplaat vanuit beide zijden gemeten met een lange taster. Het midden van de vier horizontale tasters representeert de referentie taster, waarvoor de resultaten (geometrie afwijkingen) berekend zijn. Uiteraard zijn andere tasterconfiguraties mogelijk, hiervoor dienen echter de parameters aangepast te worden.

De hierboven beschreven methode kan gebruikt worden voor een machine met een kinematische keten $X \rightarrow Y \rightarrow Z$, waarbij de pinole de Z-as is. De U-, V- en W-as vormen het assenstelsel van het object, waarbij U altijd parallel georiënteerd is aan de eerste as van de kinematische keten (bijvoorbeeld: $U = X, V = Y$ of $U = Y, V = Z$ of $U = X, V = Z$).

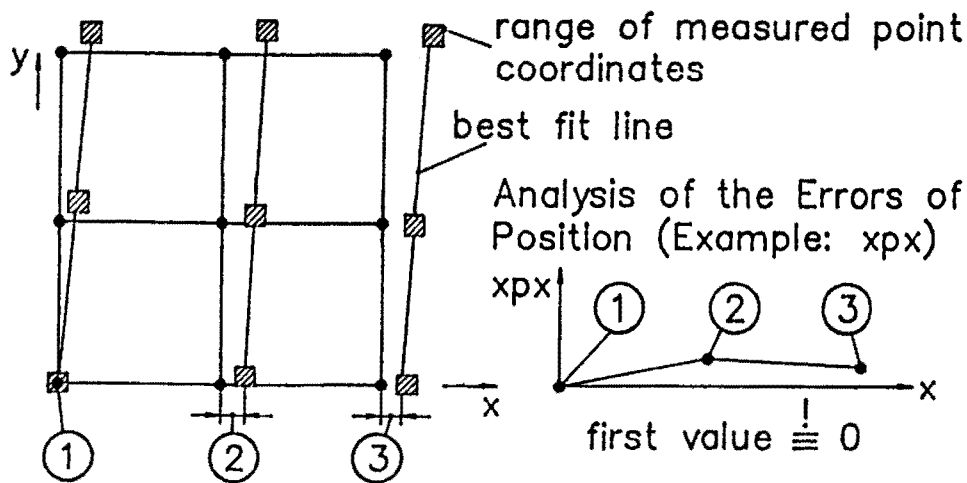


Figuur 3 Twee van de vier noodzakelijke posities van het referentie object.

Evaluatie van lineariteitsafwijkingen (x_{px} , y_{py} , z_{pz})

Teneinde de invloeden van de rotatieafwijkingen te elimineren, worden vanuit twee zijden metingen verricht aan het referentie object. Deze ongewenste invloeden kunnen tevens geëlimineerd worden door twee metingen te verrichten, waarbij het referentie object verplaatst wordt van een bovenste naar een onderste positie. De meetdata wordt bepaald uit het gemiddelde van corresponderende punten. Door deze meetdata worden regressielijnen bepaald. De afwijking wordt bepaald in het snijpunt van de regressielijn met een referentielijn (figuur 4). De afwijking van deze snijpunten met de nominale coördinaten van het snijpunt representeren de lineariteitsafwijking.

Wanneer bovengenoemde referentielijn samenvalt met de middenlijn van de gatenplaat is het mogelijk de lineariteitsafwijking te bepalen uit het gemiddelde van metingen in twee vlakken. Tevens is het dan mogelijk deze data te transformeren naar elke gewenste referentielijn, bijvoorbeeld naar een as uit het assenstelsel van de coördinatenmeetmachine.

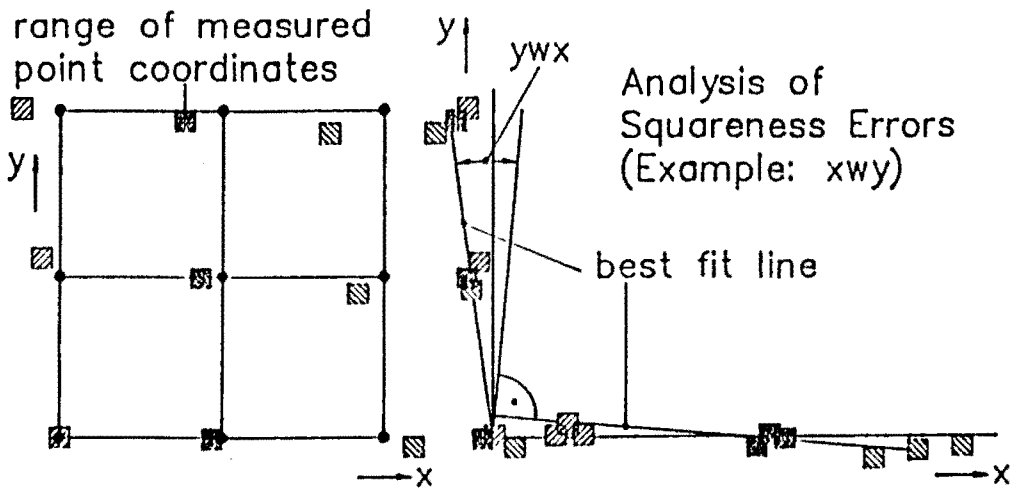


Figuur 4 Analyse van de lineariteitsafwijking (x_{px}).

De betreffende lineariteitsafwijking is positief wanneer de werkelijk verplaatsing van de taster minus de nominale verplaatsing positief is. Dit geldt overigens ook voor alle andere afwijkingen.

Evaluatie van haaksheidsafwijkingen (y_{wx} , z_{wx} , z_{wy})

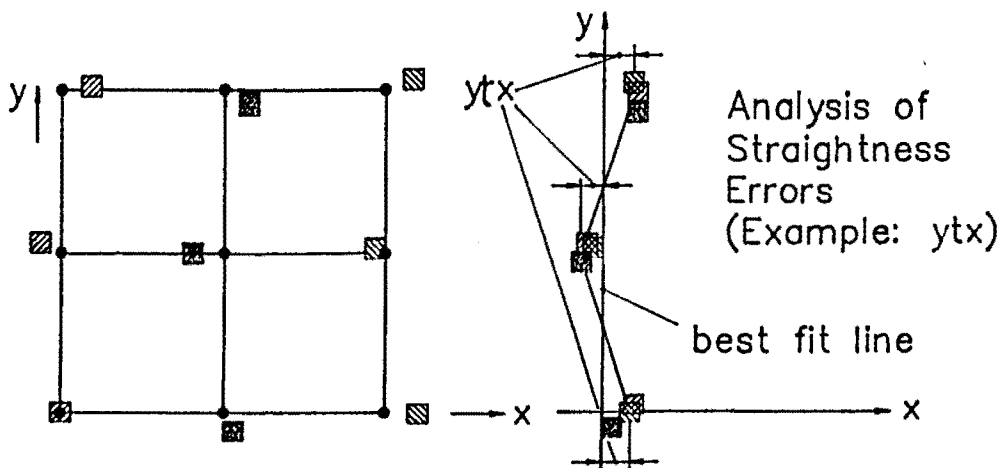
Voor de evaluatie van haaksheidsafwijkingen wordt gebruik gemaakt van dezelfde methode als voor lineariteitsafwijkingen om de invloed van rotatieafwijkingen te elimineren. De hieruit voortkomende meetdata wordt verminderd met de nominale waarde u van de gekalibreerde gatenplaat, waarna een regressielijn wordt berekend (welke ongeveer parallel aan de V-as georiënteerd is). Ter bepaling van de andere regressielijn (welke ongeveer parallel aan de U-as georiënteerd is) wordt dezelfde meetdata verminderd met de nominale waarde v . De som van beide hoeken, waarvan het teken wordt omgekeerd, is dan gelijk aan de gemiddelde haaksheidsafwijking tussen de respectievelijke assen van de coördinatenmeetmachine (figuur 5). Hierbij betekent een positief teken een hoek tussen beide assen, welke groter is dan 90° .



Figuur 5 Analyse van haaksheidafwijkingen (xwy).

Evaluatie van rechtheidsafwijkingen (xty, xtz, ytx, ytz, ztx, zty)

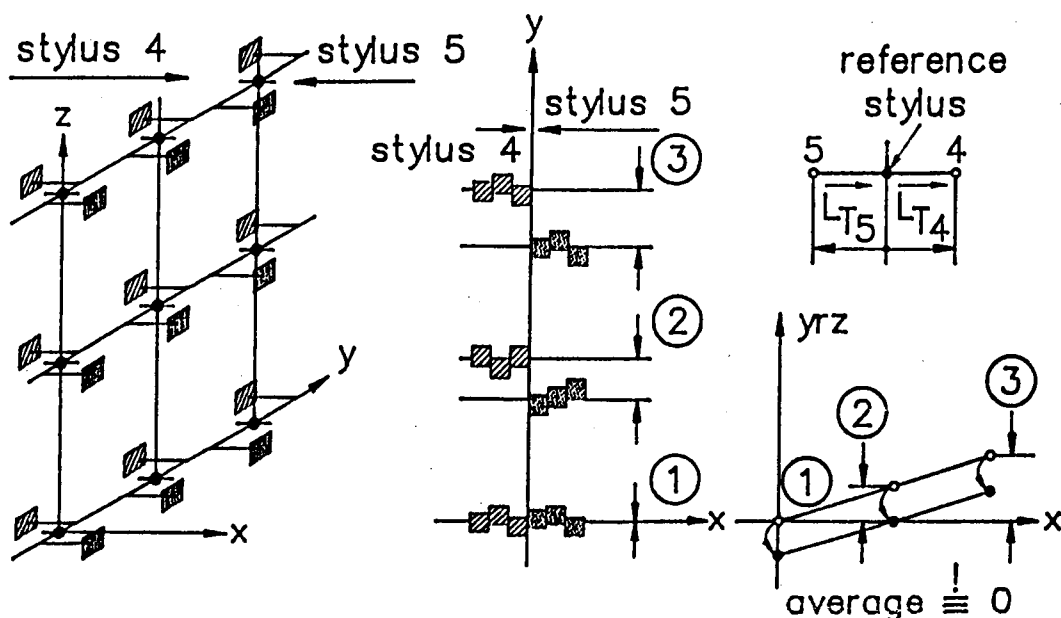
Rechtheidsafwijkingen ijt_j (met i : bewegingsrichting; j : richting van de afwijking) worden bepaald uit het verschil van de meetdata met de regressielijnen. Deze regressielijnen worden op dezelfde wijze berekend als bij de bepaling van haaksheidsafwijkingen (figuur 6). Hierbij wordt ook gebruik gemaakt van de gekalibreerde u en v waardes.



Figuur 6 Analyse van rechtheidsafwijkingen (ytx).

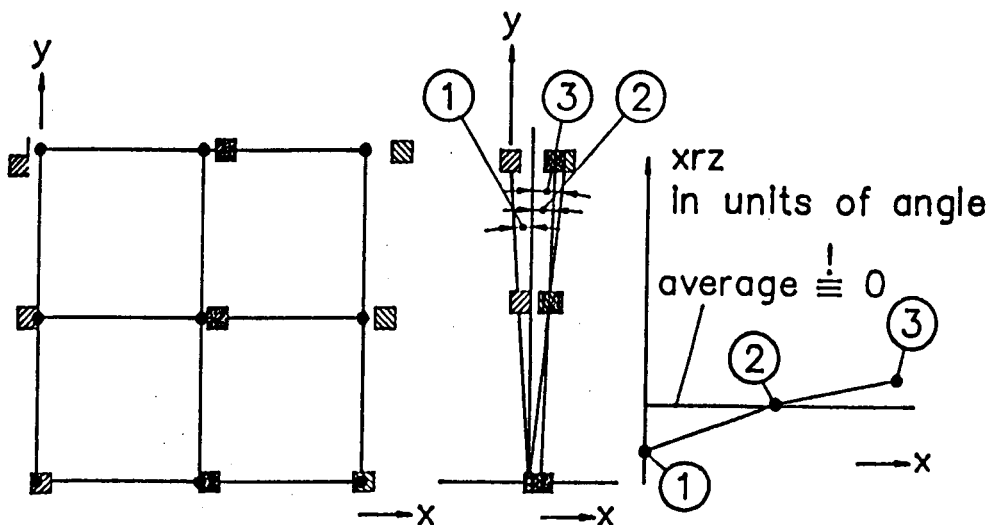
Evaluatie van rotatieafwijkingen (xry , xrz , yrx , yrz , zrx , zry)

In tegenstelling tot voorgaande evaluaties wordt bij de evaluatie van rotatieafwijkingen irj (met i : bewegingsrichting; j : richting waarom de rotatie plaats vindt) gebruik gemaakt van het verschil tussen twee, bij elkaar horende, metingen. De betreffende metingen worden gedaan op corresponderende punten, met tegenover elkaar staande tasters, waarbij de gatenplaat verplaatst wordt in het XY-vlak. Soortgelijke metingen worden gedaan in het XZ- en YZ-vlak (figuur 7). Op deze wijze kunnen alle rotatieafwijkingen, met betrekking tot stampen en gieren, bepaald worden, behalve xrz .



Figuur 7 Analyse van rotatieafwijkingen (yrz).

Teneinde xrz te bepalen wordt gebruik gemaakt van de hoeken behorende bij regressielijnen, welke reeds berekend zijn ter bepaling van de lineariteitsafwijkingen (figuur 8). Aangezien de te bepalen afwijking een modulatie is van de berekende (gemiddelde) haaksheidsafwijking, dient het gemiddelde van deze afwijking gelijk aan nul gesteld worden.



Figuur 8 Analyse van rotatieafwijking x_{rz} .

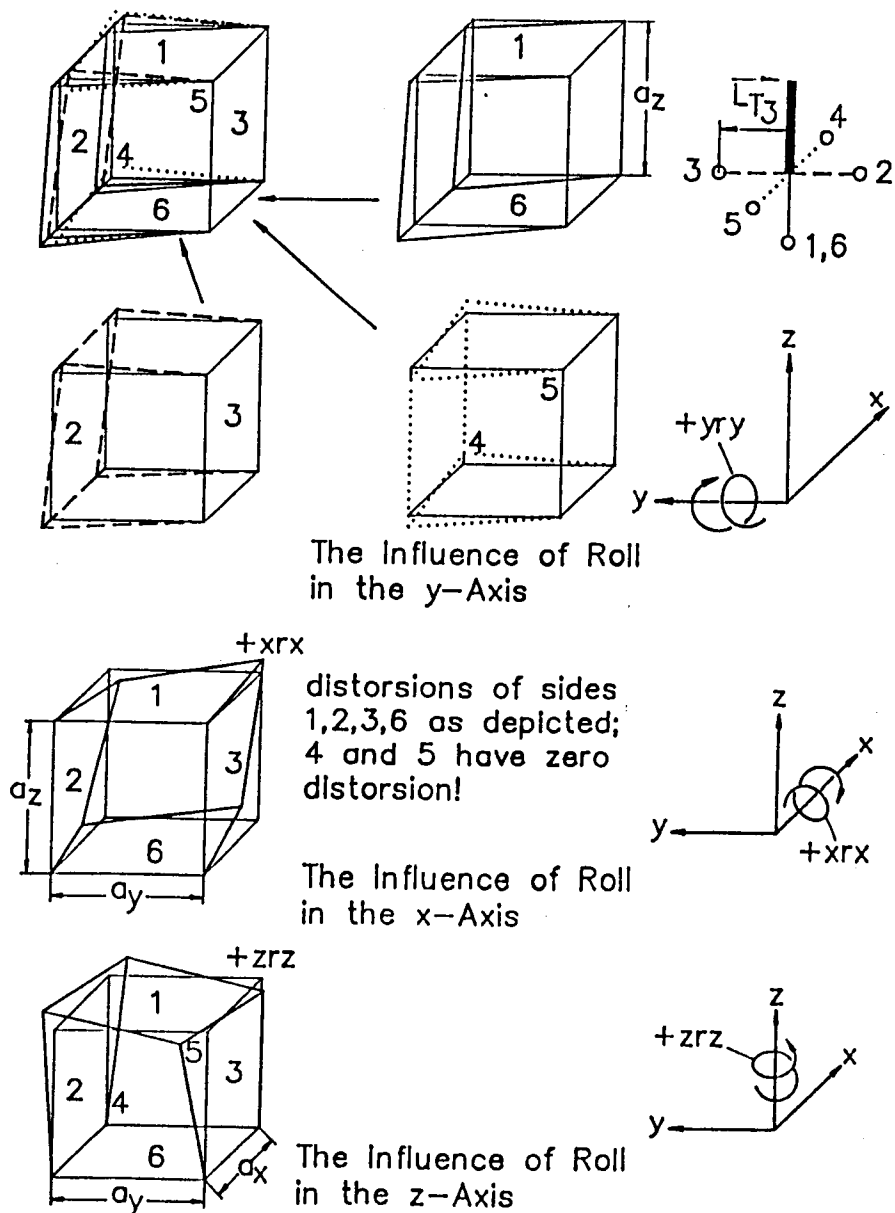
Evaluatie van rotatieafwijkingen (rollen : x_{rx} , y_{ry} , z_{rz})

Alle bovengenoemde afwijkingen kunnen afzonderlijk bepaald worden met behulp van een enkele locatie van de gatenplaat. Dit in tegenstelling tot de rol-afwijkingen, waarbij minimaal twee rol-afwijkingen aanwezig zijn in elke meting van de gatenplaat (figuur 9).

Rol-afwijkingen leiden tot een wijziging in de haaksheid, hier "Shear" genoemd. Rekening houdend met deze "Shear" is het mogelijk de rol-afwijking te bepalen met behulp van een stelsel van lineaire vergelijkingen, wanneer de zes locaties van de gatenplaat de zes zijden van een kubus vormen (figuur 10). Teneinde dit stelsel van vergelijkingen op te lossen dienen de volgende twee stappen te worden ondernomen:

- 1 - De Y-as wordt geëvalueerd voor slechts de eerste en laatste positie. De rol-afwijkingen x_{rx} en z_{rz} kunnen dan over alle meetpunten worden geëvalueerd (9 per as, bij gebruik van een gatenplaat met een raster van 9×9);
- 2 - Aangezien x_{rx} en z_{rz} bekend zijn over het gehele bereik, is het mogelijk y_{ry} te berekenen voor alle tussen liggende posities.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat het voor de analyse van rol-afwijkingen niet noodzakelijk is een gekalibreerd referentie object te hebben. Twee bij elkaar horende metingen vinden namelijk plaats op dezelfde positie op het referentie object, waarbij het verschil tussen deze twee metingen bepalend is voor de rol-afwijking. Dit geldt overigens ook voor de andere rotatieafwijkingen, zoals beschreven in de voorgaande paragraaf.



Figuur 9 Invloeden van de rol-afwijkingen (xrx , yry , zrz).

stylus resp. sur- face No.	contribution of all three roll components to apparent squareness (shear S)		
	xrx	yry	zrz
1	$xwy + \frac{\sigma_z}{x \cdot 2} \cdot xrx$	$xwy - \frac{\sigma_z}{y \cdot 2} \cdot yry$	xwy
2	$xwz - \frac{\sigma_y}{x \cdot 2} \cdot xrx$	$xwz - \frac{yry}{2}$	$xwz + \frac{L_{T2}}{z} \cdot zrz$
3	$xwz + \frac{\sigma_y}{x \cdot 2} \cdot xrx$	$xwz + \frac{yry}{2}$	$xwz + \frac{L_{T3}}{z} \cdot zrz$
4	ywz	$ywz + \frac{L_{T4}}{y} \cdot yry$	$ywz - \frac{L_{T4}}{z} \cdot zrz$
5	ywz	$ywz + \frac{L_{T5}}{y} \cdot yry$	$ywz - \frac{L_{T5}}{z} \cdot zrz$
6	$xwy - \frac{\sigma_z}{x \cdot 2} \cdot xrx$	$xwy + \frac{\sigma_z}{y \cdot 2} \cdot yry$	xwy

$\underline{\underline{A}} =$	$\begin{bmatrix} +\frac{\sigma_z}{x} & -\frac{\sigma_z}{y} & 0 \\ -\frac{\sigma_z}{x} & -1 & \frac{L_{T2} - L_{T3}}{z} \\ 0 & \frac{L_{T4} - L_{T5}}{y} & \frac{L_{T5} - L_{T4}}{z} \end{bmatrix}$	$\underline{R} =$	$\begin{bmatrix} xrx (x) \\ yry (y) \\ zrz (z) \end{bmatrix}$
			$\underline{S} =$

$$\underline{R} = \underline{A}^{-1} \cdot \underline{S}$$

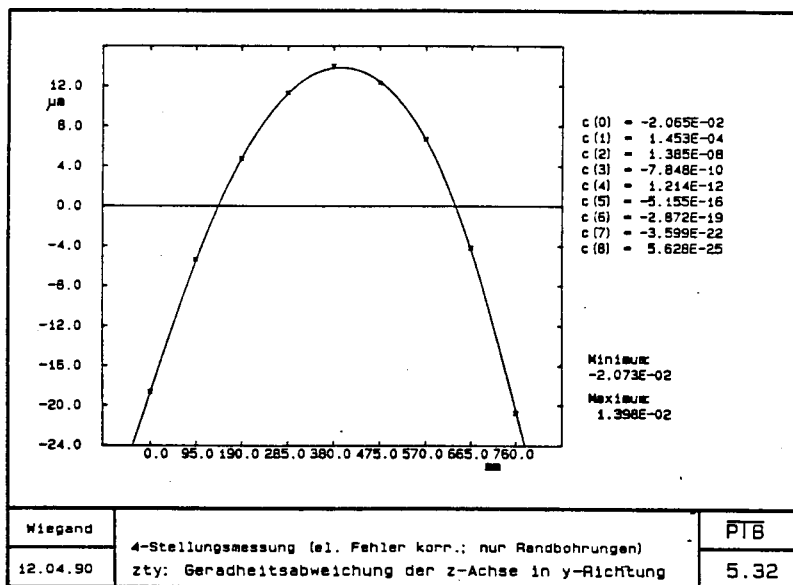
$S_i =$ shear of 2D-
object measured
with stylus No. i
(i=1...6)

Figuur 10 Evaluatie van rol-afwijkingen (xrx, yry, zrz).

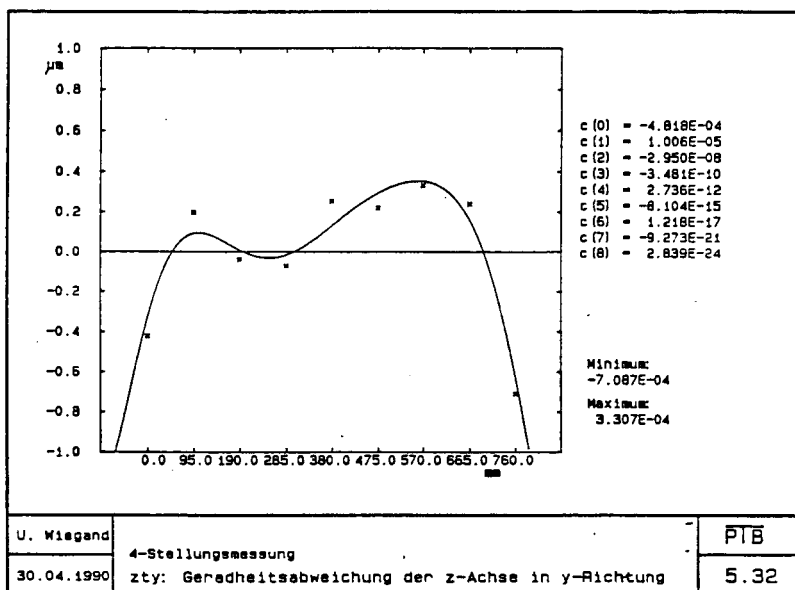
Resultaten en meetnauwkeurigheid

De resultaten, welke zijn verkregen met de hierboven beschreven methode, zijn vergeleken met de resultaten, verkregen met de conventionele methode, waarbij gebruik gemaakt wordt van laserinterferometer en elektronische waterpassen. Hierbij bleek de correlatie tussen beide methoden goed te zijn.

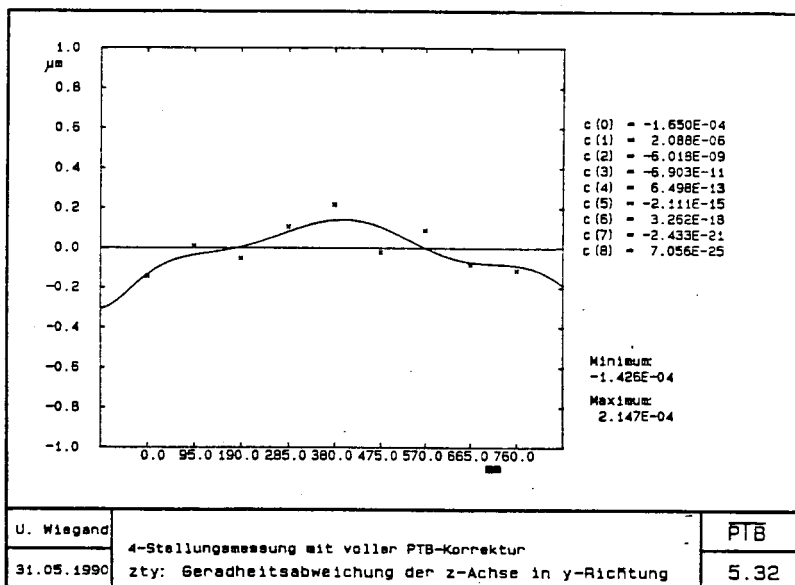
Op grond van de gemeten, cq berekende, geometrie afwijkingen is het mogelijk een softwarematige correctie van de betreffende afwijkingen te realiseren. In de figuren 11 en 12 wordt het resultaat van een dergelijke correctie getoond, waarbij onderscheid wordt gemaakt naar een machine zonder correctie, met een correctie van de fabrikant en met de PTB-correctie.



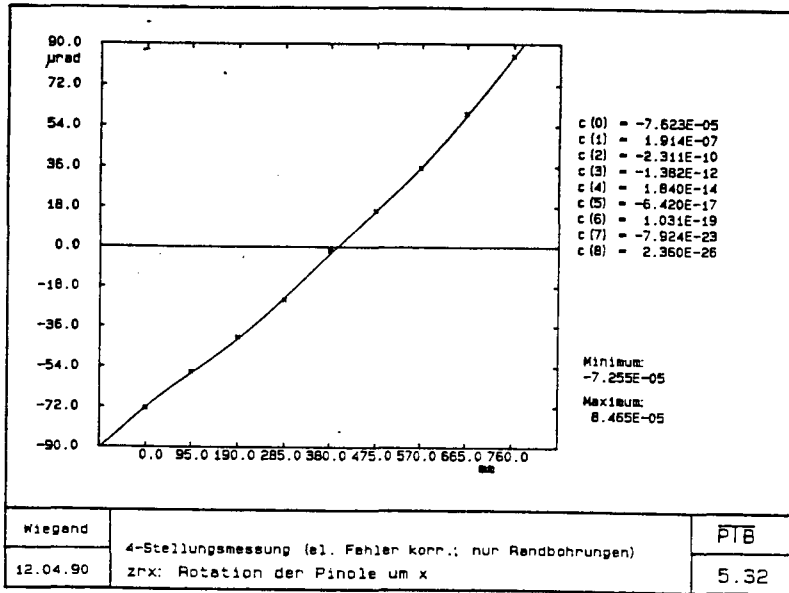
Figuur 11 A: Rechtheidsafwijking Z-as, zonder correctie.



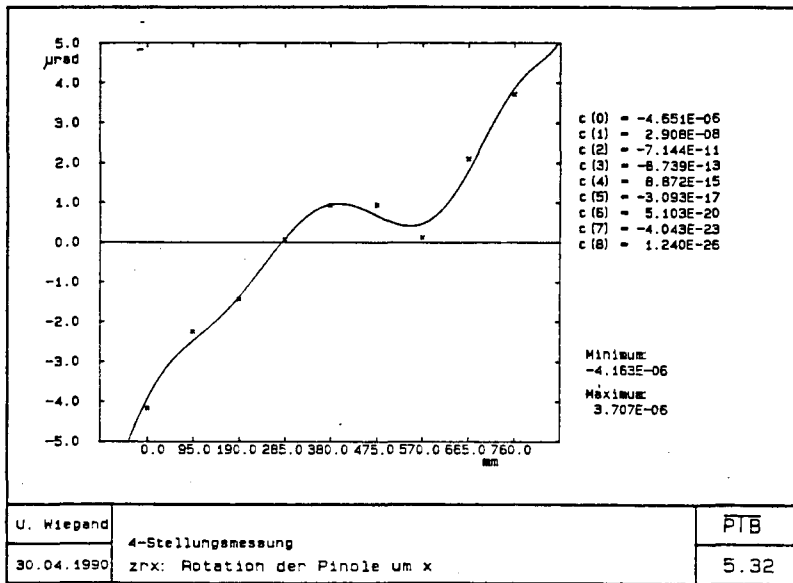
Figuur 11 B: Rechtheidsafwijking Z-as, met correctie van fabrikant.



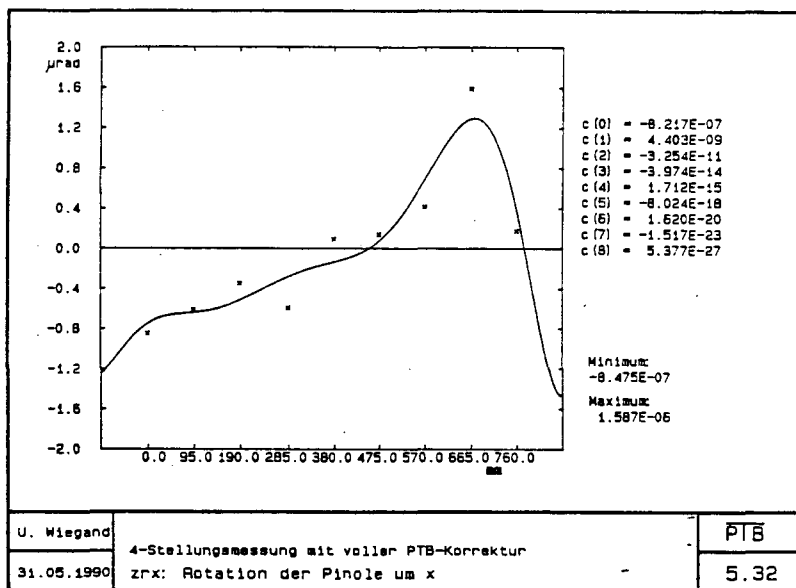
Figuur 11 C: Rechtheidsafwijking Z-as, met PTB-correctie.



Figuur 12 A: Rotatieafwijking Z-as, zonder correctie.

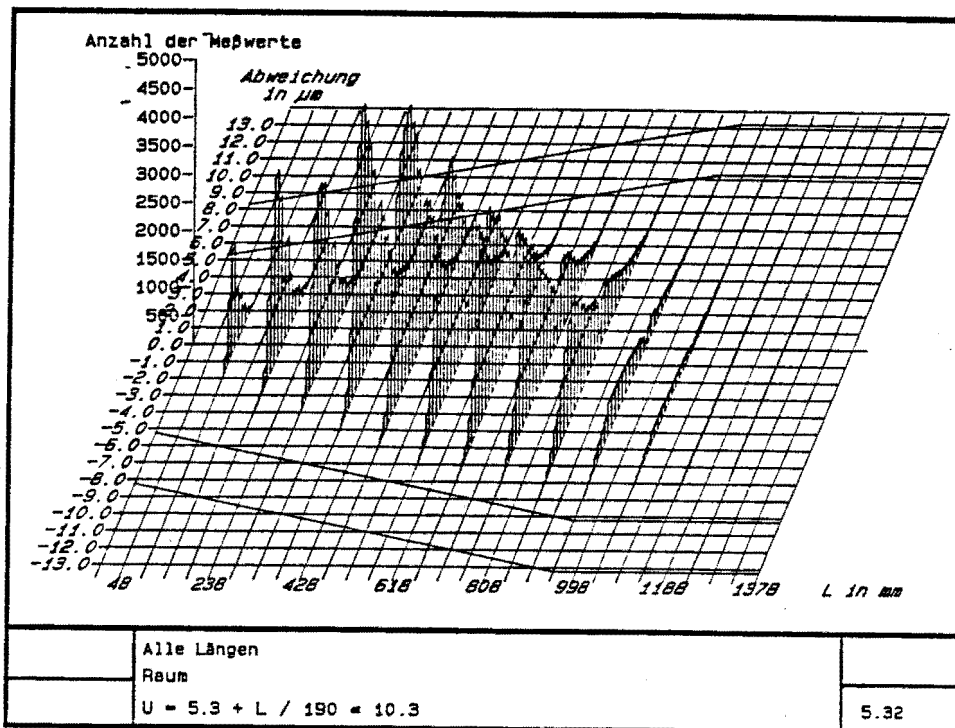


Figuur 12 B: Rotatieafwijking Z-as, met correctie van fabrikant.

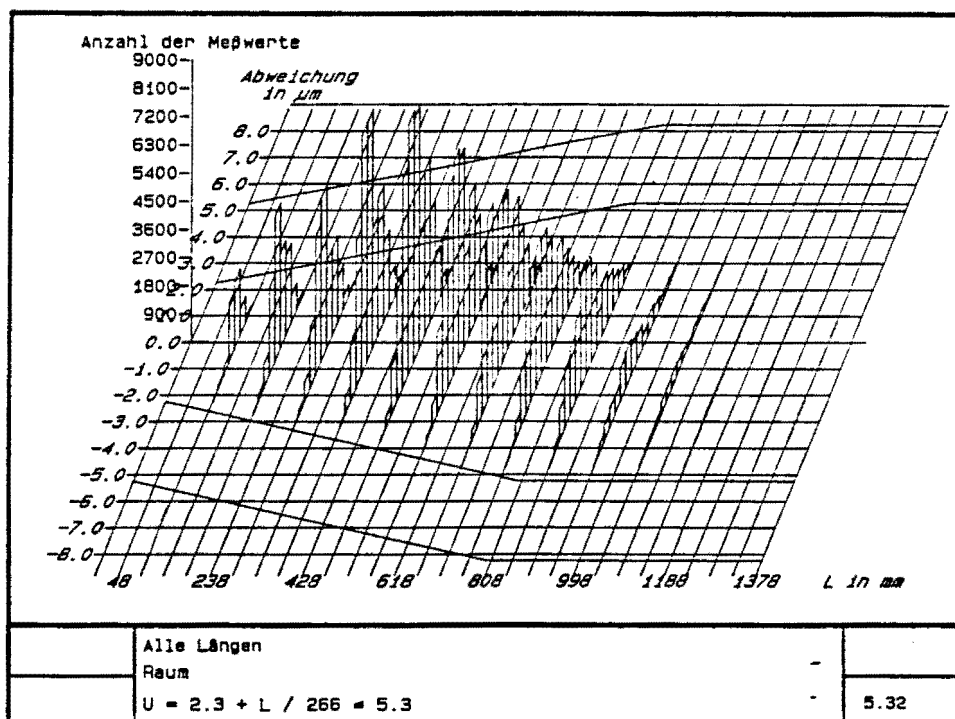


Figuur 12 C: Rotatieafwijking Z-as, met PTB-correctie.

Wanneer de afwijkingcomponenten bekend zijn is het mogelijk een afchatting te genereren van de te realiseren nauwkeurigheid van een coördinatenmeetmachine, voor een specifieke meetopdracht. Hiertoe wordt, met behulp van simulaties, de afwijking bepaald. In figuur 13 worden de resultaten getoond van een dergelijke simulatie voor een 3-D lengtemeting. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar een machine met een correctie van de fabrikant en de PTB-correctie.



Figuur 13 A: Afschatting van de nauwkeurigheid voor een 3-D lengtemeting (machine met correctie van fabrikant).



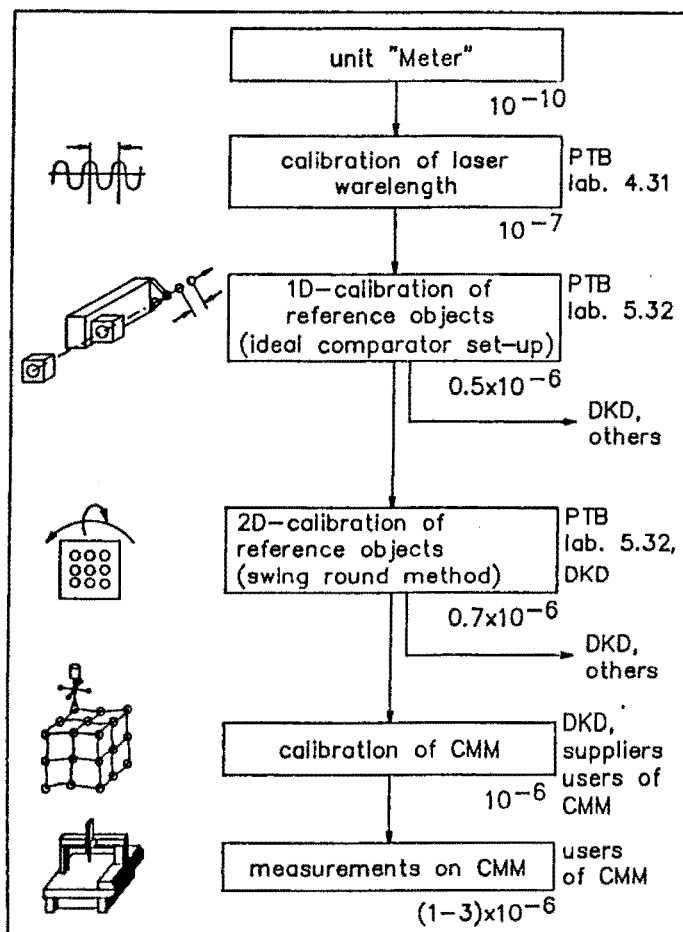
Figuur 13 B: Afschatting van de nauwkeurigheid voor een 3-D lengtemeting (machine met PTB-correctie).

Ten behoeve van een afchatting van de meetonauwkeurigheid van bovengenoemde methode, is aangenomen dat de onnaauwkeurigheid bij het bepalen van de middelpunten van de gaten $\pm 0.3 \mu\text{m}$ bedraagt (voor een gatenplaat ter grootte van $400 \times 400 \text{ mm}$, met 36 gaten). Tevens is aangenomen dat er geen drift optreedt in de coördinatenmeetmachine. Gebruik makend van deze aannames is de onnaauwkeurigheid voor het bepalen van lineariteitsafwijkingen $\pm 0.2 \mu\text{m}$, rotatieafwijkingen $\pm 0.5 \mu\text{m/m}$ en van rechtheidsafwijkingen $\pm 0.25 \mu\text{m}$. De grootste bijdrage in deze onnaauwkeurigheid wordt hierbij niet meer geleverd door de kalibratie, referentie object of de methode zelf, maar wordt beïnvloed door de stabiliteit van de coördinatenmeetmachine.

Toekomstige ontwikkelingen

Op het moment wordt de hierboven beschreven methode getest in hoeverre deze kan functioneren als officiële kalibratie methode voor coördinatenmeetmachines binnen de 'Deutsche Kalibrations Dienst' (DKD). De hiervoor noodzakelijke "traceability" wordt door de methode gewaardborgd (figuur 14).

Internationaal wordt momentaan door experts uit Europese landen gediscussieerd in WECC-verband (West European Calibration Cooperation) over de mogelijkheid tot het voorspellen van afwijkingen, welke optreden bij een specifieke meting. Deze voorspellingen zijn hierbij gebaseerd op simulaties, waarbij gebruik wordt gemaakt van de geometrie afwijkingen van coördinatenmeetmachines.



Figuur 14 "Traceability" van de methode voor controle van coördinatenmeetmachines.

Literatuur

Standards, VDI/VDE 2617; BS 6808; CMM

- [JOU 86] F. Jouy, Theoretical modelisation and experimental identification of the geometrical parameters of coordinate-machines by measuring a multi-directed bar, Annals of the CIRP Vol. 35/1/1986, p 393-396
- [TRA 89] E. Trapet, F Wäldele, Koordinatenmeßgeräte in der Fertigung - Temperatureinflüsse und erreichbare Meßunsicherheit, VDI-Bericht 751, 1989, p 209-227
- [ZHA 88] G. Zhang et al., A displacement method for machine geometry calibration, Annals of the CIRP Vol. 37/1/1988, p 515-518