

# Supernauwkeurig meten met ISARA

*De nauwkeurigste meetmachine ter wereld. Dat durft IBS Precision Engineering in Eindhoven te claimen voor zijn meetmachine ISARA, zie afbeelding 1. Inderdaad is een volumetrische meetonzekerheid van 30 nm binnen een meetgebied van 100 bij 100 bij 40 mm een prestatie die waarschijnlijk zijn weerga niet heeft. Die nauwkeurigheid is bereikt door op een slimme manier bekende verworvenheden als het comparatorprincipe van Abbe, geavanceerde laserinterferometrie, moderne softwarecompensatie, thermische en dynamische isolatieprincipes, minimale warmteontwikkeling en minutieuze kalibratie te combineren met het uiterst nauwkeurig bewerken van bijzondere materialen. De ISARA is een gezamenlijke ontwikkeling van IBS en Philips CFT: Centre for Industrial Technology.*

• Frans Zuurveen •

**D**e naam IBS staat voor de beginletters van Ingenieurs Bureau Spaan. Dat werd in 1993 opgericht door Henny Spaan, die aan de TU Eindhoven de geometrische meettechniek met de papepel kreeg ingegoten door zijn afstudeerhoogleraar prof. Piet Schellekens. In 1995 promoveerde Spaan op de softwarecompensatie van afwijkingen in gereedschapsmachines. Softwarecompensatie vormt de kern van de expertise van IBS Precision Engineering, dat momenteel bestaat uit 16 medewerkers. Dat zijn voornamelijk ontwerpers en monteurs, want productie van precisiecomponenten wordt uitbesteed.



Afbeelding 1. IBS Precision Engineering claimt dat zijn meetmachine ISARA de nauwkeurigste niet-laboratoriummachine ter wereld is.

## MEETMACHINE ISARA

### Diversiteit

IBS biedt een programma met twee kenmerken: de producten hebben te maken met precisiegeometrie en ze worden ontworpen in overleg met de klant. Dat laatste wil zeggen dat er nauwelijks voorraad is en dat er altijd langdurig wordt overlegd voordat het tot een klantenorder komt. Dat geldt vooral voor de complete meetmachines, die zijn toegespitst op een specifiek meet- of positioneerprobleem. Het geldt in wat mindere mate voor sensoren en luchtlagers. Op het gebied van dienstverlening is IBS actief door het testen van gereedschapmachines volgens norm ISO 230.

Luchtlagers van gesinterd materiaal hebben het voordeel dat de lucht kan toestromen vanuit een oneindig aantal openingen. Het Amerikaanse New Way maakt zulke lagers op maat uit gesinterde koolstof, aluminiumoxide of siliciumcarbide. IBS is alleenvertegenwoordiger voor Europa en helpt bij het ontwerpen van een luchtlager, dat vervolgens in de VS met grote precisie wordt vervaardigd.

IBS levert ook de contactloze capacitieve en inductieve opnemers van Lion Precision in St. Paul, Minnesota, zie afbeelding 2. De resolutie van hun nieuwste capacitieve opnemer met een diameter van 3 mm bedraagt maar liefst 0,5 nm bij een meetgebied van 20 tot 30  $\mu\text{m}$  in combinatie met een hoge lineariteit. De opnemers van Lion Precision ontwikkelen nagenoeg geen warmte en de meeste zijn geschikt voor toepassing in vacuüm.

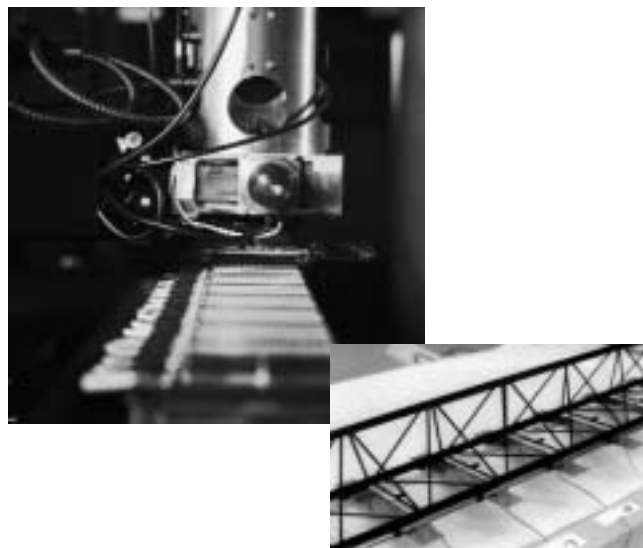
De precisiemachines die IBS volgens klantenspecificatie ontwerpt, hebben bijna altijd een granieten basisplaat van BoTech bv in Helmond. Dat geldt ook voor de Vera, een contactloos onrondheids-meetinstrument, zie afbeelding 3. De Vera meet producten met een diameter tot 300 mm en een lengte tot 1250 mm met een meetonzekerheid van minder dan 1  $\mu\text{m}$ .



Afbeelding 2. Capacitieve en inductieve opnemers van Lion Precision.



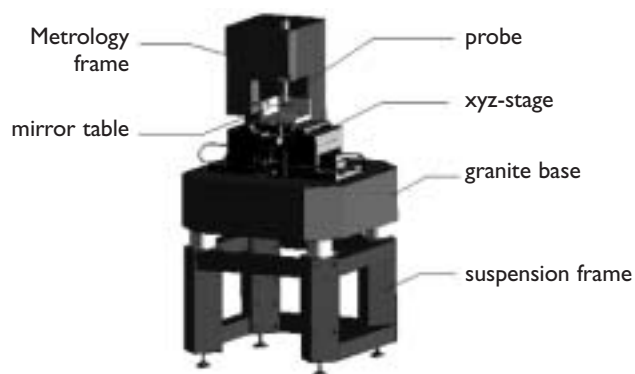
Afbeelding 3. Vera, een contactloos onrondheids-meetinstrument van IBS.



Afbeelding 4. Plaatsingsmachine Alice (a) positioneert bij het CERN siliciumplakken met een onzekerheid van minder dan 1  $\mu\text{m}$  op een soort ladderframe (b).

De Alice is een plaatsingsmachine die is ontworpen voor het CERN in Genève. De machine positioneert siliciumplakken – voor het detecteren van deeltjes – met een plaatsonzekerheid van minder dan 1  $\mu\text{m}$  op een soort ladderframe met een lengte van 2 m, zie afbeelding 4. IBS heeft niet alleen het plaatsingsmechanisme ontworpen, maar ook een speciale vacuüm-grijper voor het oppakken en deponeren van de plakken.

ISARA, zie afbeelding 5, is een supernauwkeurige universele coördinatenmeetmachine, waarin bijna alle verworvenheden van de hedendaagse geometrische meettechniek zijn samengebracht. De naam Isara is afkomstig van het oude Mesopotamië. Isara was daar de Soemerische godin van de eed, of de koningin van het oordeel. Voor de Hetieten was Isara de koningin van het gebergte.



Afbeelding 5. ISARA combineert allerlei basisprincipes van de hedendaagse geometrische meettechniek.

### Comparatorprincipe

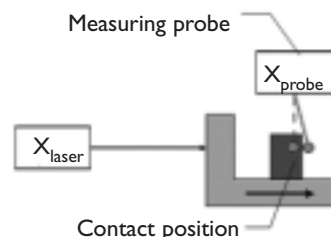
Ernst Abbe legde vanaf 1846 de optisch-wetenschappelijke basis voor de firma Carl Zeiss. Omstreeks 1890 formuleerde hij zijn comparatorprincipe: “Ter vermijding van parallax-fouten is het noodzakelijk een meetsysteem coaxiaal te positioneren ten opzichte van de as waarlangs de verplaatsing moet worden gemeten.”

In de ISARA is het comparatorprincipe consequent toegepast door te werken met een meetpunt – oftewel Abbe-punt – dat zich vast in de ruimte bevindt. Drie laserinterferometers van Renishaw “kijken” in de x-, y, en z-richting naar hetzelfde punt, zie afbeelding 6. De interferometers zijn gemonteerd in een frame van invar, dat – zoals bekend en zoals de naam zegt – een uiterst kleine thermische uitzettingscoëfficiënt heeft: niet meer dan  $10^{-6} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$ . In het meetpunt bevindt zich – vast in de ruimte – een zeer gevoelige taster voor het toucheren van het werkstuk. Op die taster komen we nog terug.

De interferometers ontwikkelen ieder niet meer dan 0,1 W warmte. Toch zijn ze zo ver als mogelijk van het werkstuk gemonteerd door hun lichtweg door middel van vezeloptiek af te buigen. Ook op de thermische afscherming komen we nog terug.



Afbeelding 6. Het invar meetframe met drie laserinterferometers van Renishaw.



Afbeelding 7. Schematekening van interferometer, taster en het blok van zerodur met drie reflecterende vlakken.

Het werkstuk ligt op een blok van zerodur, zie afbeelding 7, een soort gesinterd glas met eveneens een geringe thermische uitzetting. Het glazen blok is uitwendig voorzien van drie reflecterende vlakken, die zowel uiterst vlak zijn als exact haaks ten opzichte van elkaar staan. Omdat steeds in het Abbe-punt wordt gemeten, veroorzaken hoekfouten in de x-, y-, en z-verplaatsing van blok met werkstuk uitsluitend meetfouten van de tweede orde. Met andere woorden: die meetfout is evenredig met het kwadraat van de hoekafwijking in radialen. (Bij niet voldoen aan het Abbe-principe zou de fout evenredig zijn met het product van de hoekafwijking en de afstand tussen meettraject en meetstandaard.)

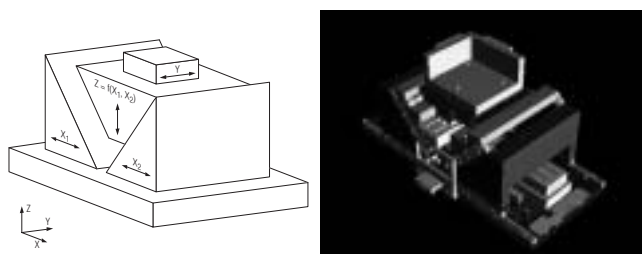
### De werkstuktafel

Uit het voorgaande zou men kunnen concluderen dat er nauwelijks eisen worden gesteld aan de tafel die het werkstuk door het meetgebied beweegt. Hoekfouten veroorzaken immers alleen meetfouten van de tweede orde. Maar aangezien het hier om een instrument gaat dat meet in het nanometergebied, diende er toch een speciale werkstuktafel te worden ontworpen, zie afbeelding 8.

Een combinatie van drie blokken bewerkstelligt de beweging van de tafel in x- en z-richting. Dat zijn twee blokken met ieder een tegengesteld gericht vlak met een helling van  $45^\circ$ , en daartussen een blok met twee vlakken van  $45^\circ$ . Op het

## MEETMACHINE ISARA

horizontale bovenvlak van het laatste blok is de y-slede geplaatst. Als de twee onderste blokken met dezelfde snelheid in dezelfde richting bewegen, levert dat een verplaatsing in de x-richting. Bewegen ze onder dezelfde condities tegen elkaar in, dan ontstaat er een verplaatsing in de z-richting. De y-slede er bovenop is “conventioneel” ontwerp.



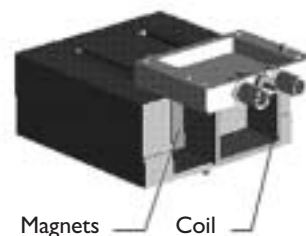
Afbeelding 8. Tekening (a) en computeranimatie (b) van de x,y,z-werkstuktafel. In (b) is boven ook het zerodur spiegelblok zichtbaar.



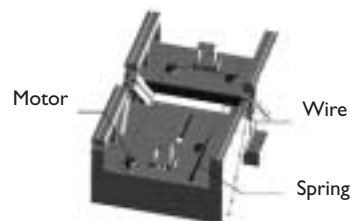
Afbeelding 9. De kogelgeleidingen in de werkstuktafel.

Het zou verleidelijk zijn de blokken ten opzichte van elkaar te geleiden met behulp van luchtlagers. Maar omdat thermische effecten in deze machine uit den boze zijn, is gekozen voor kogelgeleidingen, zie afbeelding 9. Weliswaar is die constructie enigszins overbepaald, maar door op geometrie geselecteerde kogels toe te passen, is het effect daarvan gering terwijl toch voldoende stabiliteit wordt bereikt. Door één der kogelbanen niet V-vormig maar vlak uit te voeren, is een kinematisch ontwerp zoveel mogelijk benaderd.

Lineaire motoren met stilstaande permanente magneet en bewegende spoel drijven de sleden aan, zie afbeelding 10. De snelheid wordt nauwkeurig gestuurd binnen een gebied van 0,01 tot 10 mm/s door terugkoppeling van de eerste afgeleide van de gemeten positie.



Afbeelding 10. Lineaire motoren met stilstaande permanente magneet en bewegende spoel drijven de sleden aan.



Afbeelding 11. Balanceren van de massa van het middelste blok met kabel, veer en motor. De afbeelding toont de onderkant van de drie x,z-blokken.

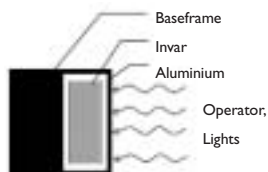
De massa van het middelste blok is door middel van een kabel met veer zorgvuldig gebalanceerd, zie afbeelding 11. Een motor met besturing via de verplaatsingsmeting zorgt dat de veer steeds dezelfde kracht blijft leveren.

### Thermische en mechanische afscherming

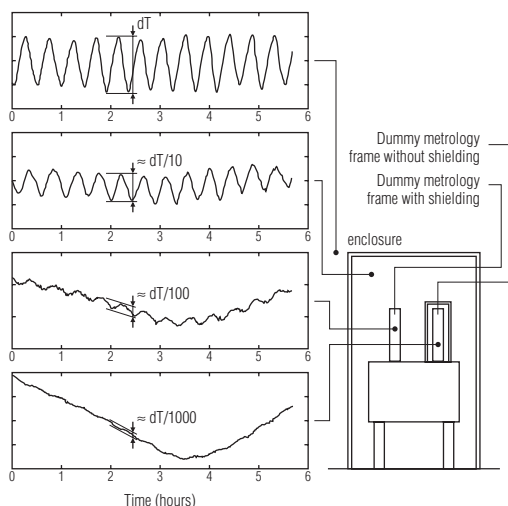
Het vermogen dat de interferometers en de motoren gezamenlijk produceren, is kleiner dan 1 W. Hoewel dat zeer gering is en de thermische uitzetting van meetframe en spiegelblok beperkt blijven, zijn er toch maatregelen getroffen om omgevingsinvloeden uit te bannen. Daarom is het meetgedeelte omhuld door een aluminium kap, die als stralingsafscherming fungeert en zo als het ware een thermisch laagdoorlaatfilter vormt, zie afbeelding 12. Afbeelding 13 bewijst de effectiviteit ervan. Door de thermische afscherming volstaat een thermostatering van de omgevingslucht van  $20 \pm 0,5$  °C.

Meetframe en werkstuktafel zijn enigszins flexibel op de granieten basisplaat gemonteerd, zodat de – uiterst geringe – thermische vervorming geen ongewenste spanningen veroorzaakt. De basisplaat met een massa van 500 kg is afgesteund op luchtbuffers, zie afbeelding 5, zodat een massa-veer-systeem met een eigenfrequentie van 5 Hz is verkregen. Dat betekent dat trillingen van buiten de opstelling met een frequentie hoger dan  $5\sqrt{2}$  Hz alleen verzwakt worden door-

gegeven. Het geheel is te beschouwen als een mechanisch laagdoorlaatfilter.



Afbeelding 12. Een aluminium kap schermt straling af en fungeert zo als thermisch laagdoorlaatfilter.



Afbeelding 13 De afname van buiten naar binnen van de amplitude van temperatuurwisselingen bewijst de effectiviteit van de stralingsafscherming.

### De tasters

Bij de ISARA kunnen twee typen tasters worden geleverd. Een daarvan is een capacitieve opnamer van het Engelse NPL, zie afbeelding 14. De kogeldiameter bedraagt 150  $\mu\text{m}$ , de massa 370 mg, de resolutie 3 nm en de stijfheid 10 N/m.

De andere taster is een ontwerp van de TU Eindhoven. Het is een taster die werkt met piëzo-elektrische rekstrookjes, zie afbeelding 15. De kogeldiameter bedraagt 250  $\mu\text{m}$ , de massa 20 mg en de stijfheid 100 N/m. De resolutie is 1 nm.



Afbeelding 14. De capacitieve taster van NPL met een kogeldiameter van 150  $\mu\text{m}$ .

De uiterst geringe stijfheid van de tasters betekent dat werkstukvervorming nauwelijks een rol speelt. Desondanks is er een extrapolatie-algoritme ontwikkeld voor het elimineren van de indrukking van het werkstuk door een boltaster.

### Kalibratie

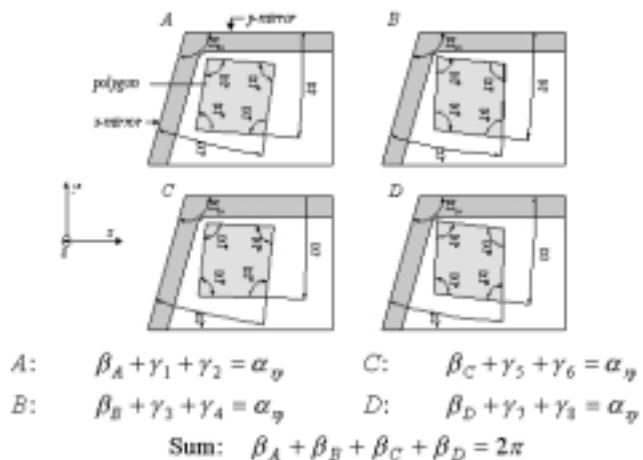
Het bijzondere van de ISARA is dat alleen eventuele fouten van het spiegelblok een eerste-orde-effect hebben. Die fouten zijn de vlakheidsafwijkingen van de drie spiegels afzonderlijk en de afwijkingen in de onderlinge haaksheid ervan. Henny Spaan is specialist in softwarecompensatie van meetfouten. Dus is – behalve het meettechnisch fundamenteel zuivere ontwerp – compensatie van de spiegel fouten de “crux” van ISARA.

De hoekafwijkingen van het spiegelblok kunnen eenmalig worden bepaald door in de meetmachine zelf een nauwkeurig bewerkt vierkant kalibratiepolygoon te meten. Afbeelding 16 laat het principe zien. Het in vier verschillende standen meten van de hoeken tussen spiegel en polygoon levert uitkomsten waaruit de polygoonhoeken zijn te elimineren. De berekende afwijkingen van het spiegelblok kunnen zo worden geïntegreerd in de programmatuur van de meetmachine.



Afbeelding 15. De door de TU Eindhoven ontworpen 1 nm-taster met piëzo-elektrische rekstrookjes en een kogeldiameter van 250  $\mu\text{m}$ .

## MEETMACHINE ISARA



Afbeelding 16. Hoekkalibratie met een vierkant polygoon. Door de hoekverschillen  $\gamma_1$  t/m  $\gamma_8$  in vier verschillende standen van het polygoon te meten kan de hoek  $\alpha_\gamma$  tussen x- en y-spiegel worden berekend zonder dat de hoeken  $\beta_A$  t/m  $\beta_D$  van het polygoon bekend zijn.

De bedieningssoftware die bij de machine wordt geleverd, is heel gebruiksvriendelijk. Papier en potlood zijn overbodig dankzij het basisprogramma van het Franse softwarebedrijf Metrolog. IBS heeft wel het programma aangepast aan de extreme nauwkeurigheid van de ISARA.

### Ten slotte

Alle inspanningen leveren ten slotte een machine met een meetonzekerheid van 15 nm in de x- en y-richting en van 25 nm in de z-richting. Dat resulteert in een volumetrische meetonzekerheid van 30 nm. Dat is in de wereld van de geometrische meettechniek ongeëvenaard voor een niet-laboratoriumproduct. Een resultaat waarop IBS Engineering en Philips CFT best trots mogen zijn.

### Informatie

Hans Ott, sales engineer  
 IBS Precision Engineering  
 Industrieterrein Esp 201  
 5633 AD Eindhoven  
 Tel/fax 040-290 1270/1279  
[www.ibspe.com](http://www.ibspe.com)  
[info@ibspe.com](mailto:info@ibspe.com)



# ApplicatieCentrum Productie-technologie schakelt voor MKB tussen praktijk en kennis

**Industriële ondernemers uit het MKB die tegen praktische problemen aanlopen bij hun productieproces kunnen sinds november vorig jaar met hun vragen terecht bij het ApplicatieCentrum Productietechnologie (ACP) in Eindhoven. Deskundigen bij dit onafhankelijk adviescentrum helpen ondernemers om te beginnen gratis hun vraag duidelijk te krijgen en het probleem te specificeren.**

**N**a de formulering van de *case* waarvoor een oplossing wordt gezocht, gaat het ACP op zoek naar bedrijven of kennisinstellingen waarvan het weet dat die de juiste kennis in huis hebben. Het neemt hiermee een last van de schouders van de ondernemer die niet meer zelf op zoek hoeft in de kennisdoolhof. In de afgelopen vier maanden zijn door het ACP al zeker vijftig vragen geformuleerd. Die variëren van: waar vind ik apparatuur om het proces van waterstraal snijden te bewaken tot bestaat er een nieuwe methode om zit-systemen voor rolstoelen te fabriceren?

De vragende ondernemer komt weer in beeld als een kennisdrager is gevonden. Samen met de deskundige van het ACP en de kennisdrager wordt beschreven hoe de kennisdrager het probleem gaat oplossen. Voor deze laatste fase van advies moet worden betaald. Omdat het ACP is ingeschakeld, wordt de helft van dat bedrag gesubsidieerd, tot een maximum van 4000 euro subsidie per project. De ondernemer betaalt 50% van het totaalbedrag aan het ACP dat de afwikkeling van de subsidie regelt. Voor de ondernemer is de administratieve rompslomp in het gehele proces dus beperkt.

De schakelrol van het ACP tussen praktijk en kennis is één van de actiepunten die genoemd worden in de Industriebrief die het kabinet eind vorig jaar naar de Tweede Kamer heeft gestuurd. Doel is te helpen de concurrentiekracht van het MKB te vergroten. Dat kan onder meer door de ontwikkeling van innovatieve productiemethoden en productietechnologie te bevorderen. Het centrum biedt ook ondersteuning bij de introductie van de geavanceerde productietechnieken en -methoden.

Economische en technologische ontwikkelingen dwingen de ondernemer voortdurend zijn strategie aan te passen om op de markt de concurrentie de baas te blijven. Een koerswijziging heeft vaak niet alleen gevolgen voor de productiefaciliteiten maar ook voor de organisatie op zich. Ook om de knelpunten op dit scheidsvlak van technologie en organisatie op te sporen en aan te pakken, biedt ACP een helpende hand. Het legt verbindingen tussen bedrijven en kennisinstellingen of tussen bedrijven onderling zodat kennis in de praktijk wordt toegepast.

Doel is dat het centrum een spilfunctie krijgt bij een betere benutting van kennis in het MKB. In het verlengde daarvan zal het bijdragen aan de versterking van de wisselwerking tussen het MKB en de kennisinstellingen. Dat is ook de reden dat het ministerie van Economische Zaken het ACP voor de komende vijf jaar subsidie heeft toegekend. In totaal heeft het ACP ruim 10 miljoen euro voor deze periode beschikbaar.

Het ApplicatieCentrum Productietechnologie is een samenwerkingsverband tussen partijen uit de maakindustrie. Het is een uniek gezamenlijk initiatief van ondernemingen (CMF-Group, Mecon, Philips AT) brancheverenigingen (Vereniging FME-CWM, Koninklijke Metaalunie, NEVAT), het Mikrocentrum en TNO Industrie. Naast de individuele dienstverlening, verzorgt het ACP ook workshops en opleidingen. Bovendien belegt het centrum bijeenkomsten waarbij de uitwisseling van onderlinge kennis centraal staat.

Meer informatie staat op [www.acp4mkb.nl](http://www.acp4mkb.nl)

Frank Kramer  
Directeur ACP