

HEIDENHAIN VM-101 : inkrementeel vergelijkingsmeetsysteem

Citation for published version (APA):

Helvoirt, van, R. P., & Spaan, H. A. M. (1992). *HEIDENHAIN VM-101 : inkrementeel vergelijkingsmeetsysteem*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPA1241). Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1992

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.

HEIDENHAIN VM-101
inkrementeel vergelijkingsmeetsysteem

testrapport

R.P. van Helvoirt
Ir. H.A.M. Spaan

WPA-rapportnr. : 1241

Technische Universiteit Eindhoven

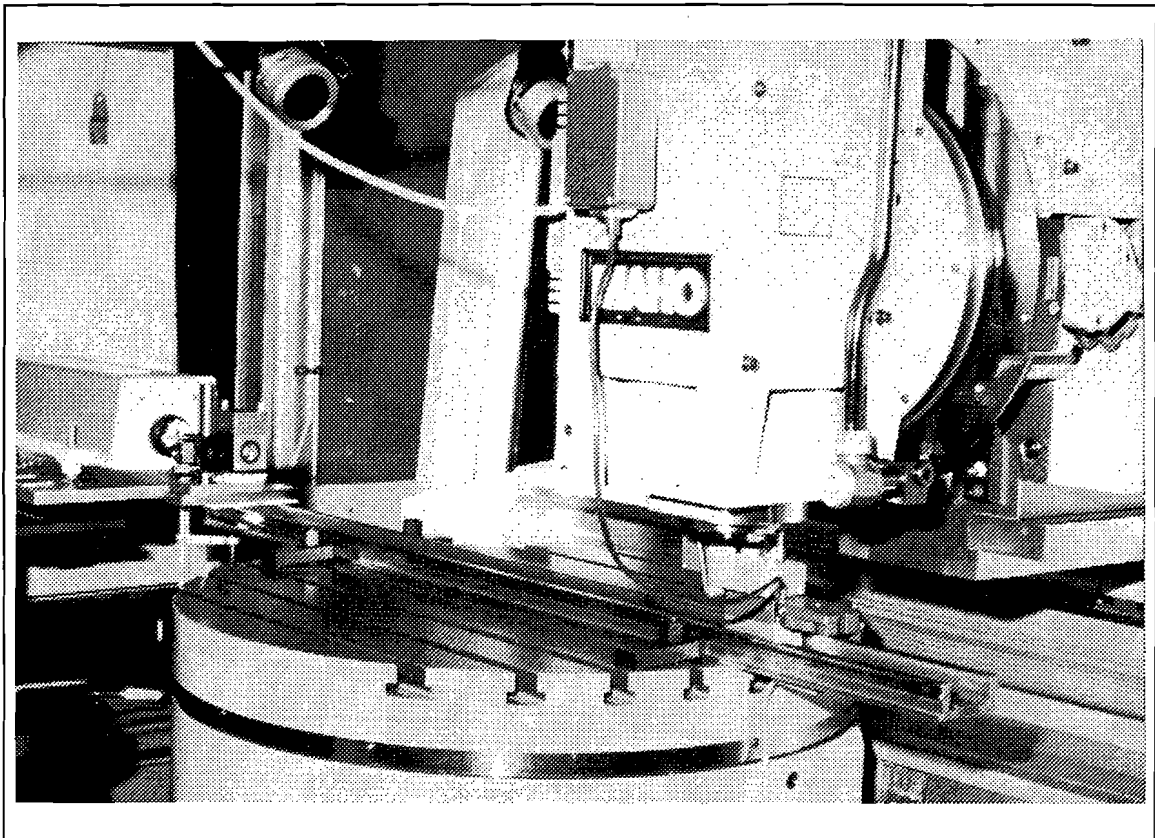
Datum : Januari 1992
Groep : Precision Engineering

Inhoudsopgave

| | |
|---|----|
| 1 Inleiding | 2 |
| 2 Testresultaten | 4 |
| 2.1 Afwijking in de verdeling van de liniaal | 4 |
| 2.2 Uitzetting ten gevolge van temperatuursvariatie | 4 |
| 2.3 Doorbuiging van het u-profiel met de optische liniaal | 5 |
| 2.4 Hoogtevariatie | 6 |
| 2.5 Tangentiale rotatie van de meetkop (horizontale as) | 7 |
| 2.6 Tangentiale rotatie van de meetkop (verticale as) | 8 |
| 2.7 Vervuiling van de liniaal | 8 |
| 2.8 Onvolledige dataverwerking | 8 |
| 3 Conclusies | 9 |
| Bijlage I Driehoek-methode | 10 |

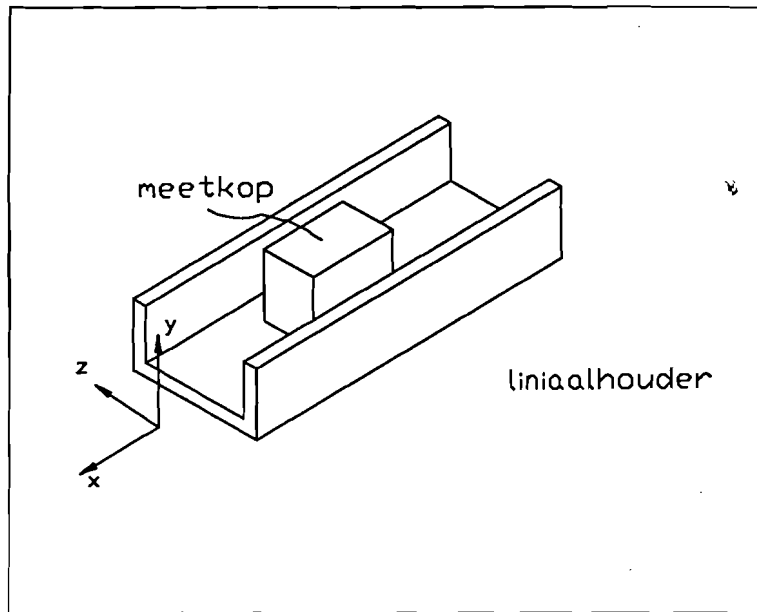
1 Inleiding

In dit rapport wordt verslag gedaan van de testen die uitgevoerd zijn met de Heidenhain VM-101, een inkrementeel vergelijkingsmeetsysteem (zie figuur 1). Deze liniaal, die speciaal ontwikkeld is voor machinekalibraties, werkt op een principe van diffractie. Naast lineariteitsmetingen, welke uitgevoerd kunnen worden volgens de richtlijnen : VDI/DGQ 3441 of VDI/VDE 2617, kan de liniaal ook gebruikt worden voor het bepalen van rotatieafwijkingen en haaksheidafwijkingen (volgens de kruismethode, zie bijlage I). Bij deze tests is met name gekeken naar de bruikbaarheid van de liniaal en het bijbehorende softwarepakket (VMCALC) bij de kalibratie van meerassige freesmachines. Ten behoeve hiervan is een foutenanalyse opgesteld, die hierna verder zal worden behandeld.



Figuur 1 : Test opstelling Heidenhain VM-101 met laserinterferometer en Maho 700s freesmachine

Bij de notatie van translatie- (T) en rotatieafwijkingen (R) worden 2 indices gebruikt. De eerste index geeft de richting respectievelijk de rotatie-as van de afwijking weer, terwijl de tweede index de asrichting van de verplaatsing aanduidt. De definitie van de asrichtingen ten opzichte van de liniaal is weergegeven in figuur 2.



Figuur 2 : Definitie van het assenstelsel

Foutenanalyse

- 1) Afwijking in de verdeling van de liniaal : T_{xx}
- 2) Uitzetting tengevolge van temperatuursvariatie
- 3) Doorbuiging van het u-profiel met de optische liniaal
- 4) Hoogtevariatie : T_{yx}
- 5) Tangentiale rotatie van de meetkop (horizontale as) : R_{zx}
- 6) Tangentiale rotatie van de meetkop (verticale as) : R_{yx}
- 7) Vervuiling van de liniaal
- 8) Bij grote snelheidsschommelingen te langzame en onvolledige dataverwerking

Van al deze foutenbronnen, die op kunnen treden tijdens een meetprocedure, is gekeken wat de invloed is op de uitgelezen meetwaarde.

2 Testresultaten

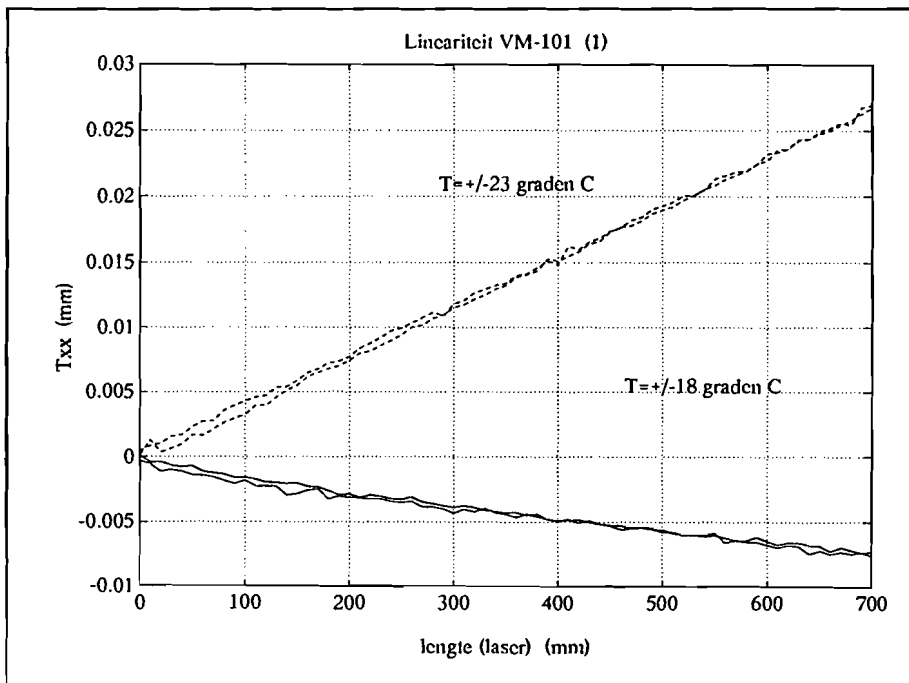
2.1 Afwijking in de verdeling van de liniaal

Deze afwijking in de lineariteit van de liniaal is nagemeten met behulp van een laserinterferometer. Tegelijkertijd zijn zowel de machinecoördinaten, waarmee de leeskop verplaatst is, als de temperaturen van de liniaal en de laseropstelling gemeten. Nadat de meetwaarden van de liniaal voor het temperatuurverloop waren gecorrigeerd werd een lineariteitsfout geconstateerd van $5 \mu\text{m}$ over 700 mm . Nader onderzoek wees uit dat deze werd veroorzaakt door een rotatieafwijking van de tafel ten opzichte van de spindel, wat overeenkomt met een rotatieafwijking tussen de liniaal en de leeskop. Dit effect wordt nader beschreven in § 2.5.

De lineaire nauwkeurigheid van $\pm 1 \mu\text{m}$ bij 20°C is theoretisch gezien haalbaar. De mogelijkheid tot lineaire compensatie, welke ingebouwd is in het softwarepakket, draagt hiertoe bij. De gevoeligheid echter van dit soort metingen voor externe invloeden is hoog.

2.2 Uitzetting ten gevolge van temperatuursvariatie

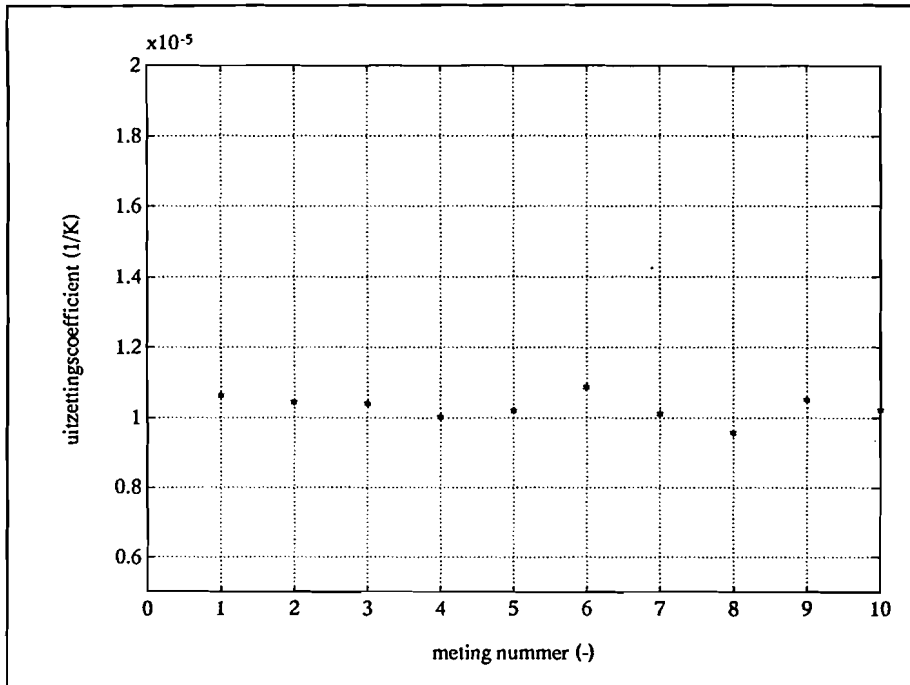
De bovenstaande lineariteitsafwijking is twee keer bepaald. De eerste maal bij een gemiddelde temperatuur van 23°C en daarna bij een gemiddelde temperatuur van 18°C (zie figuur 3).



Figuur 3 : Lineariteit VM-101 (Laser-liniaal)

Uit het verloop van beide metingen is een lineaire uitzettingscoëfficiënt berekend. Deze was $10.3 (\pm 0.4) * 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (zie figuur 4).

Voor deze uitzetting van de liniaal moet gecorrigeerd worden en dus moeten de temperatuur van de liniaal bekend zijn en grote temperatuurschommelingen voorkomen worden. In het bijbehorende softwarepakket (VMCALC) is de mogelijkheid aanwezig te corrigeren voor het temperatuurverschil tussen machine en liniaal. Dit is een handige optie, waardoor de lineariteit van de machineliniaal met grotere nauwkeurigheid bepaald kan worden. Er moeten dan wel sensoren beschikbaar zijn voor het meten van de verschillende temperaturen. Het zou tevens gemakkelijk zijn de uitlezing van deze sensoren te implementeren in het softwarepakket en zodoende per meetpunt te corrigeren voor temperatuurseffecten.



Figuur 4 : Uitzettingscoëfficiënt VM-101

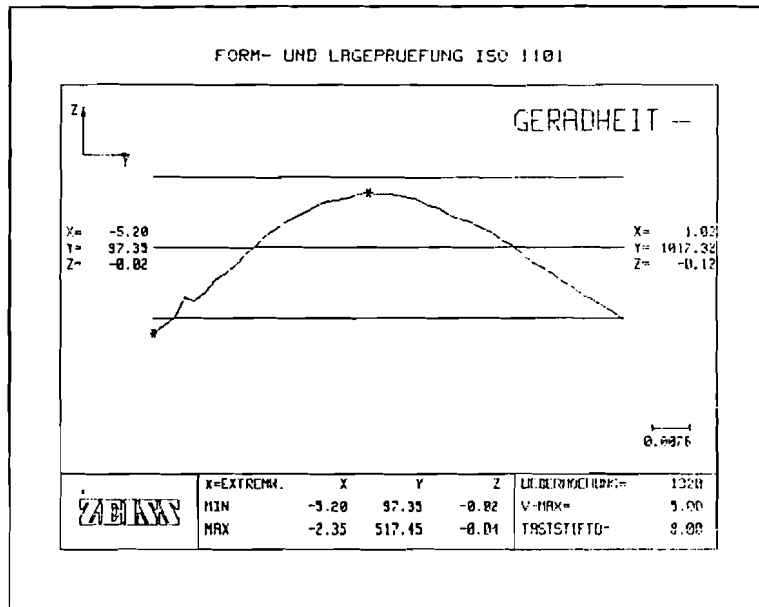
2.3 Doorbuiging van het u-profiel met de optische liniaal

De doorbuiging van het u-profiel is op een drie dimensionale meetbank nagemeten. Wanneer de liniaal vlak op de tafel wordt gelegd heeft deze een bolling waarvan het hoogste punt in het midden ligt. Het verschil tussen het hoogste en het laagste punt bedraagt 20 μm (zie figuur 5). Indien nu de liniaal op de 2 uiterste punten (worst-case) opgelegd wordt is deze bolling teruggelopen tot 10 μm (zie figuur 6). Deze waarden vallen beide ruim binnen de in de handleiding gegeven marge van de paralleliteit en vlakheid, waarbinnen de liniaal opgespannen moet worden.

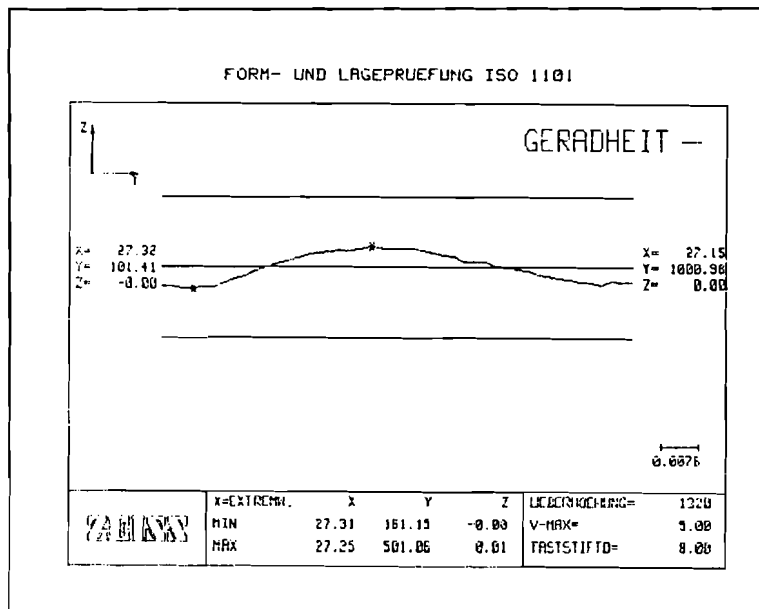
Paralleliteit : 0.1 mm
 Vlakheid : 0.05 mm

Totaal : 0.15 mm

Hieruit volgt dat de meetafwijkingen ten gevolge van de doorbuiging verwaarloosbaar klein zijn.



Figuur 5 : Rechtheidsmeting vlakke oplegging



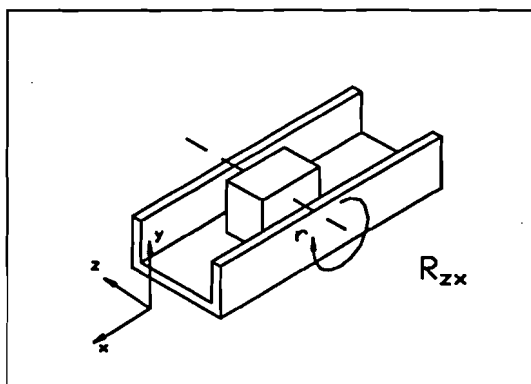
Figuur 6 : Rechtheidsmeting 2-puntsoplegging

2.4 Hoogtevariatie

Hier wordt gekeken naar de verandering van de meetwaarde (x-waarde) bij een verplaatsing van de meetkop loodrecht op de liniaal (y-richting). Deze verplaatsing is afhankelijk van de geometrische nauwkeurigheid van de machine die volgens de normen binnen de 50 $\mu\text{m}/\text{m}$ moet liggen. De in de handleiding vermelde marges betreffende paralleliteit en vlakheid geven een tolerantie van 0.15 mm (zie §2.3). De meetmethode van interferentiële aftasting heeft tot gevolg dat afwijkingen ten gevolge van hoogtevariaties verwaarloosbaar zijn.

2.5 Tangentiale rotatie van de meetkop (horizontale as)

Bij beweging van de machine langs een as kunnen rotatiefouten optreden. Rotatie om een horizontale as loodrecht op de bewegingsrichting zorgt voor een verdraaiing van de meetkop (zie figuur 7).

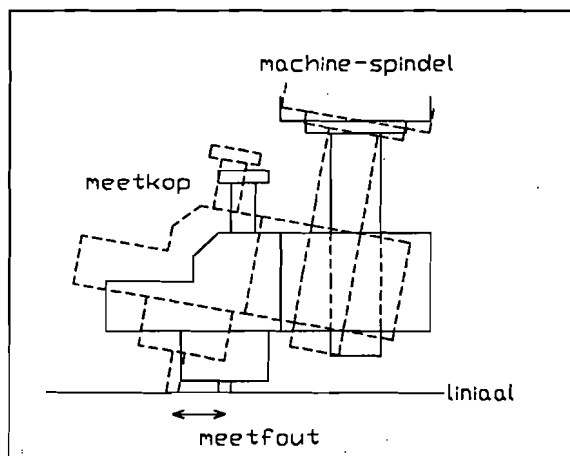


Figuur 7 : Tangentiale rotatie (R_{zx})

De liniaal wordt hierdoor onder een hoek afgelezen, wat een afwijking geeft ten opzichte van de juiste meetwaarde (zie figuur 8).

Het meten van deze afwijking is onmogelijk aangezien het rotatiepunt niet exact bekend is. Met deze rotatieafwijking moet rekening worden gehouden bij eventueel gebruik van de VM-101, met name omdat de plaats van de meetkop niet voldoet aan het Abbe-principe.

Als definitie van het meetpunt voor de lineariteitsafwijking nemen we het uiteinde van de machine spindel. Ten gevolge van de lengte van de staaf waaraan de meetkop bevestigd is, wat overeen kan komen met de gemiddelde gereedschapslengte, wordt hiermee een extreme situatie gedefiniëerd (worst-case).

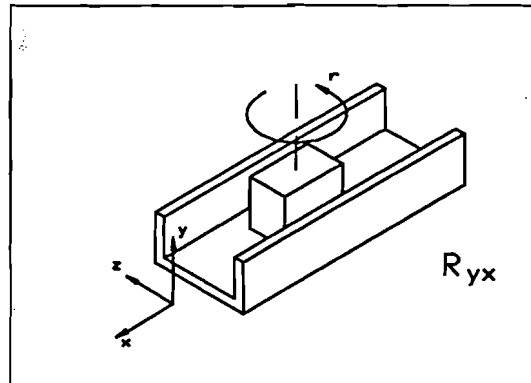


Figuur 8 : Meetfout ten gevolge van rotatie van de meetkop

2.6 Tangentiale rotatie van de meetkop (verticale as)

Deze afwijking (zie figuur 9) zorgt niet voor noemenswaardige afwijkingen. De limietwaarde ligt vast doordat, bij te grote verdraaiing, de meetkop naast de liniaal loopt en geen reflecterend signaal meer krijgt. Uitlezing van de liniaal wordt hierdoor dus onmogelijk. De grens ligt ongeveer bij 500 bgsec.

Een afwijking in de uitlezing van de liniaal ten gevolge van deze rotatie is niet waargenomen.



Figuur 9 : Tangentiale rotatie (R_{yx})

2.7 Vervuiling van de liniaal

De liniaal is niet gevoelig voor vuil. Vervuiling op de liniaal tot een korrelgrootte van ± 5 mm, met een niet al te dichte verdeling, had geen invloed op de meetwaarde. Er moet wel voorkomen worden dat de liniaal in aanraking komt met een stof die het oppervlak aantast, bijvoorbeeld koelvloeistof.

2.8 Onvolledige dataverwerking

De snelheid van de dataverwerking in het bijbehorende computerprogramma, waarmee de liniaal uitgelezen wordt, is afhankelijk van de interpolatie van de ingangsfrequentie. Deze kan worden ingesteld op 25-voudig of 50-voudig. De toelaatbare bewegingssnelheid is 12 m/min respectievelijk 7.2 m/min. De ijlgang van de door ons gebruikte machine (MAHO 700S) is 12 m/min.

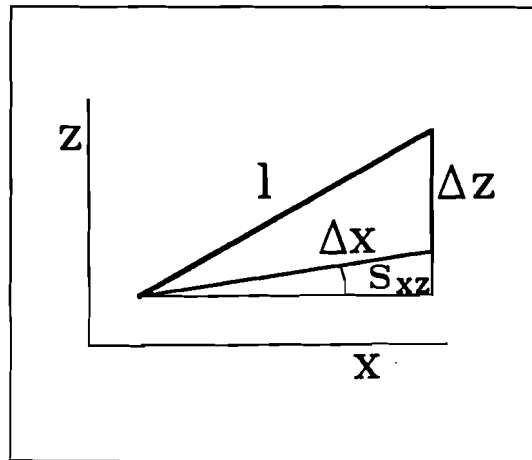
3 Conclusies

- De VM-101 van de firma Heidenhain is een goed alternatief voor lineariteitsmetingen met behulp van de laser. Een goede nauwkeurigheid wordt gecombineerd met een snelle en eenvoudige meetmethode.
- Door middel van temperatuurcorrecties kan een hoge nauwkeurigheid gerealiseerd worden.
- De hoge nauwkeurigheid wordt gedeeltelijk teniet gedaan door het feit dat de meetkop ten opzichte van de spindel niet volgens het van Abbe-principe opgespannen kan worden. Deze excentrische opspanning tesamen met rotatie- en translatieafwijkingen in de machine introduceren extra afwijkingen.
- Naast lineariteits afwijkingen in 3 richtingen kunnen ook rotatie- en haaksheid afwijkingen bepaald worden. De haaksheid metingen worden uitgevoerd met behulp van de driehoek-methode. (zie bijlage I)
- De in de handleiding gegeven toleranties ten aanzien van opspanning mogen wat ruimer geïnterpreteerd worden. De nauwkeurigheid wordt hierdoor niet of nauwelijks beïnvloed.
- Met behulp van het geleidingswagentje kan de liniaal eenvoudig en snel uitgericht worden. Hiervoor is wel wat handigheid vereist en het staat niet in de handleiding vermeld.
- Het programma VMCALC zorgt voor een snelle en overzichtelijke verwerking van de meetgegevens. Het biedt ruime mogelijkheden voor het uitvoeren van de metingen (lineair en quasi-pelgrimspas) en statistische verwerking van de meetgegevens (volgens DIN/ISO 230, VDI/DGQ 3441, VDI/VDE 2617 en NMTBA).
- Toevoeging van temperatuursensoren en implementatie hiervan in het software pakket zou een nuttige aanvulling zijn.
- Het zou handig zijn wanneer de meetkop via een in te pluggen kabel aan de interface (APE 101) gekoppeld kan worden. Dit vereenvoudigt het monteren van de meetopstelling, Tevens is een vaste bevestiging van het magneetblokje aan het huis (APE 101) gewenst.

Bijlage I Driehoek-methode

Met behulp van de liniaal kan de haaksheid afwijking tussen 2 machineassen bepaald worden. Dit kan gebeuren volgens de driehoek-methode :

De liniaal wordt onder een (willekeurige) hoek gelegd met de assen, waarna de meetkop over de liniaal bewogen wordt. De machinecoördinaten Δx en Δz moeten gecorrigeerd worden voor de lineariteitsafwijkingen van de assen, die bij voorgaande metingen bepaald zijn. Doordat de lengte van de schuine zijde (l) uitgelezen kan worden, zijn de 3 zijden van de driehoek bekend en kan de haaksheidafwijking berekend worden (zie figuur B1).



Figuur B1 : Driehoek-methode

$$\sin(S_{xz}) = \frac{l^2 - (\Delta x)^2 - (\Delta z)^2}{2 * \Delta x * \Delta z}$$