

# Optische meetmethoden voor ruwheids- en vormcontrole. Deel 1

**Citation for published version (APA):**

Struik, K. G. (1988). Optische meetmethoden voor ruwheids- en vormcontrole. Deel 1. *Mikroniek*, 28(2), 31-35.

**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](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

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

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

# Optische meetmethoden voor ruwheids- en vormcontrole \*

Deel I

Ing. K.G. Struik

Faculteit de Werktuigbouwkunde, Laboratorium voor Geometrische Meettechniek, Technische Universiteit Eindhoven

## Inleiding

Het fabriceren van ideale oppervlakken, volkomen zuiver van geometrische vorm en zonder oppervlakteruwheid, is nog steeds niet mogelijk. Om de oppervlakteruwheid te meten staat ons een aantal meetmethoden ter beschikking. Door steeds betere produktiemethoden zijn wij in staat steeds betere oppervlakken te produceren die met de aloude tastermeetmiddelen moeilijk of nauwelijks te meten zijn. Dit vanwege eventuele beschadigingen van het oppervlak door de taster, of door de te lage snelheid van het meten.

Op het ogenblik zijn instrumenten verkrijgbaar die met behulp van optische meetmethoden de structuur van een oppervlak in een getal vast kunnen leggen. In het hierna volgende worden een aantal van deze meetinstrumenten en het principe waarop zij zijn gebaseerd besproken.

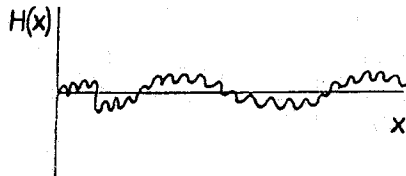
## Begripsomschrijvingen

In dit artikel komt een aantal begrippen ter sprake die we hier als eerste zullen behandelen.

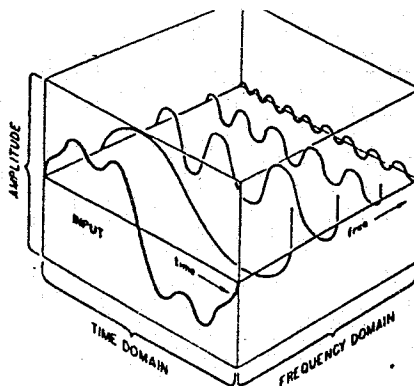
In figuur 1 is een tekening van een mogelijk ruwheidsprofiel weergegeven. Opgemerkt wordt dat het profiel is weergegeven als functie van de plaats  $x$ . Deze oppervlaktestructuur  $H(x)$  is werkelijk in het oppervlakaanwezig. We kunnen ons afvragen of dit profiel  $H(x)$  ook op een andere wijze is te beschrijven, wat ons meer inzicht geeft bij de verdere analyse. Uiteraard is dit zo, anders was deze vraag hier niet gesteld. Een andere manier om het oppervlaktestructuurprofiel te beschrijven is met behulp van sinusvormige signalen. Elk willekeurig signaal kan opgebouwd worden gedacht uit sinusvormige signalen van verschillende golflengten. Een andere manier is dus door een signaal te beschrijven als functie van de golflengte of als functie van de frequentie, omdat de frequentie gelijk is aan  $1/\text{golflengte}$ . Een voorbeeld hiervan is gegeven in figuur 2, waarin het signaal in een richting is gegeven als functie van de plaats  $x$  en in de andere richting als functie van de frequentie. De beschrijving van een signaal als functie van de frequentie wordt het frequentiespectrum genoemd. Nu we dit weten is het vaak eenvoudiger te begrijpen en te beschrijven wat er gebeurt als een profiel met behulp van een meetapparaat wordt gemeten.

\* Voordracht gehouden op 26 mei 1987 bij het Mikrocentrum West op de themadag "Meten van vorm- en oppervlakteruwheid".

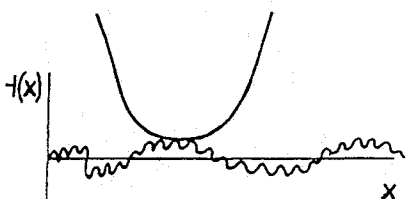
Gaan we het profiel van figuur 1 aftasten met een mechanische taster, dan zal de invloed van de taster op de meting van het profiel duidelijk merkbaar zijn. Dit is in figuur 3 weergegeven, waarin duidelijk te zien is dat de kleinste structuren



Figuur 1 Zie tekst



Figuur 2 Zie tekst



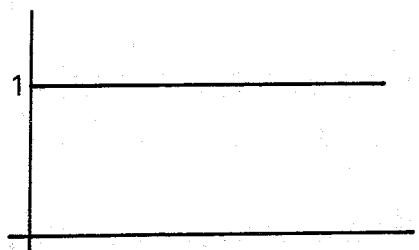
Figuur 3 Zie tekst

niet goed meer te meten zijn. Het door het ruwheidsmeetapparaat gemeten signaal (uitgangssignaal) zal nu niet gelijk zijn aan het oppervlaktestructuurprofiel (ingangssignaal).

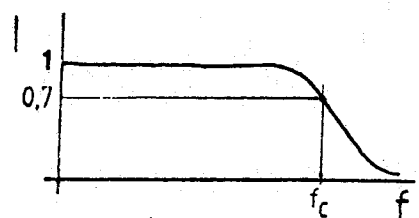
Belangrijk is dus dat de overdracht van het profiel naar een meetsignaal voldoende nauwkeurig plaatsvindt. Deze overdrachtsfunctie van het instrument wordt altijd gegeven als functie van de frequentie en wordt dan vaak transferfunctie genoemd. In figuur 4a is een transferfunctie van een ideaal meetinstrument weergegeven. We zien dat het meetinstrument alle frequenties kan meten. In figuur 4b is een overdrachtsfunctie van een meetapparaat weergegeven zoals dit in de praktijk meestal voorkomt. We zien dat dit instrument vanaf frequentie nul (gelijkspanning) tot een bepaalde frequentie (afsnijfrequentie) kan meten. Dit gebied wordt de frequentieband genoemd.

Voor een sinusvormig signaal (amplitude  $A$ ) dat met een taster (radius  $r$ ) wordt gemeten, zie figuur 4c, is de minimaal te meten golflengte  $\lambda_{\min} = 2Ar$  of  $f_{\max} = 1/2Ar$ .

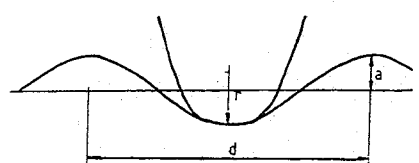
$\lambda_{\min}$  wordt ruimtelijke grensgolflengte genoemd; (Engels: lateral resolution).



Figuur 4a Zie tekst



Figuur 4b Zie tekst



Figuur 4c Zie tekst

We zien dus dat hoe spitser de taster is, hoe hoger de frequentie die gemeten kan worden.

Het zal nu duidelijk zijn dat alleen meetsignalen van een oppervlak met elkaar vergeleken kunnen worden indien de meetinstrumenten, die gebruikt worden om de signalen te meten, een gelijke overdrachtsfunctie hebben. Vooral bij het gebruik van optische meetmethoden kan het ruimtelijke oplossend vermogen sterk afwijken.

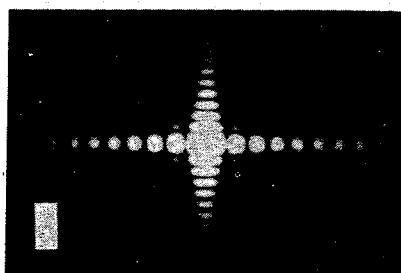
De verticale resolutie is veel groter dan de horizontale en kan voor sommige meetinstrumenten vaak enkele nanometers bedragen.

Bij tastermeetinstrumenten is de tasterpunt zeer kwetsbaar, en moet het instrument trillingsvrij opgesteld staan in verband met de relatief lange meettijden.

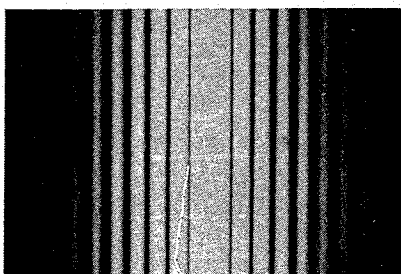
### Oplossend vermogen van een microscoop

Daar bij optische meetapparaten veel gebruik gemaakt wordt van een microscoop, iets over het oplossend vermogen van deze apparaten.

In de microscoop kunnen we details waarnemen die we met het blote oog niet kunnen waarnemen. We kunnen ons nu afvragen of we met een lichtmicroscoop tot in het oneindige details kunnen waarnemen door een steeds grotere vergroting toe te passen. Waarschijnlijk weet u al dat de natuurlijke grens van het oplossend vermogen in de buurt van een paar tiende micrometers ligt. Dit verschijnsel is te verklaren met de theorie van het buigingsprincipe. Met behulp van een klein experiment is dit eenvoudig aan te tonen. Als u door een strak gespannen zakdoek naar een enkele, ver verwijderde lichtbron kijkt, ziet u niet alleen die lichtbron maar daaromheen ook verschillende zwakkere afbeeldingen, zie figuur 5, wat als volgt te verklaren is. De lichtstralen die vanuit de lichtbron op het netvlies vallen door het "rooster" van de draden van de zakdoek worden afgebogen. Deze methode van lichtverspreiding wordt buiging genoemd. Buiging speelt vooral bij fijne structuren een rol. In figuur 6a is een buigingspatroon van een kleine



Figuur 6a Zie tekst



Figuur 6b Zie tekst

rechthoekige opening weergegeven, terwijl figuur 6b het buigingspatroon van een smalle spleet laat zien.

Voor het oplossend vermogen van een microscoop heeft Abbe al in 1866 de volgende formule afgeleid:

- $d_{min} = \lambda/2 NA$  waarin
  - $d_{min}$  = de kleinste zichtbare afstand tussen twee lijnen in het object;
  - $\lambda$  = de golflengte van het gebruikte licht;
  - $NA$  = de numerieke apertuur, zie figuur 7.
- Deze is te berekenen volgens  $NA = n \times \sin(\varnothing/2)$ ;  $n$  is de brekingsindex, van lucht ongeveer 1, en  $\varnothing/2$  is de halve openingshoek.

Op microscoopobjectieven wordt de numerieke apertuur veelal aangegeven.

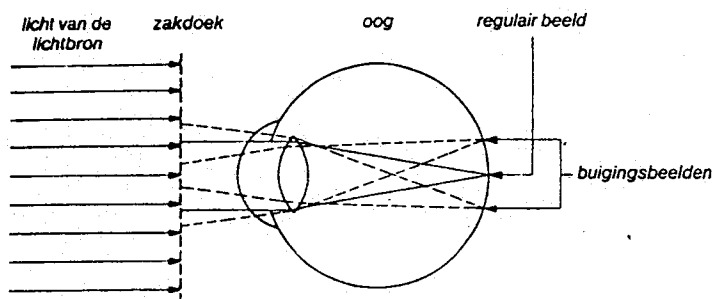
Rekenvoorbeeld: indien  $\varnothing/2 = 72$  graden en  $n=1$ , dan vinden we voor de rode laserlijn  $NA = 0,95$  en  $d_{min} = 630 / 2 \times 0,95 = 330 \text{ nm}$ . In de praktijk komen vaak waarden voor van 1 à  $2 \mu\text{m}$ . Wil men een nog groter oplossend vermogen heb-

ben dan zit er niets anders op dan een lichtbron te gebruiken met een kleinere golflengte, b.v. röntgenstraling.

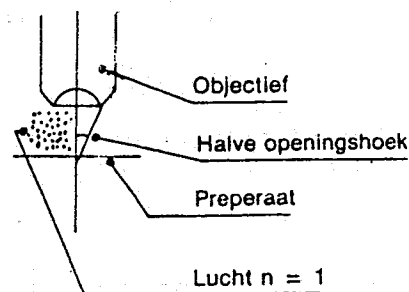
### Optische ruwheidsmeettechnieken

Er bestaat een groot aantal optische meetinstrumenten voor het meten van de oppervlakteruwheid, zowel in laboratoriumopstellingen als wel in commercieel verkrijgbare apparaten. Deze meetapparaten berusten op optische principes die over het algemeen al geruime tijd bekend zijn. De hernieuwde belangstelling voor deze apparaten is vooral te danken aan de moderne sensortechnieken en gegevensverwerking, we denken hierbij bijvoorbeeld aan diode-arrays en -matrices, ccd-camera's en tafelcomputers. Dit wil niet zeggen dat alle hierna genoemde apparaten hiermee zijn uitgerust. De meetprincipes van enkele commercieel voorkomende meetinstrumenten worden hierna behandeld, met aansluitend enkele instrumenten met hun meettechnische specificaties. De optische meetinstrumenten vallen in twee groepen uiteen, namelijk instrumenten die een parameter bepalen die kenmerkend is voor het oppervlak en instrumenten die het profiel bepalen. De laatste groep is weer onder te verdelen in oppervlakte interferometers en meetinstrumenten die het oppervlak aftasten met een zogenaamde optische taster.

De hoogte-informatie die met een profiel bepalende methode wordt verkregen kan met behulp van een computersysteem tot elke willekeurige ruwheidsparameter worden verwerkt. Een parametermeetmethode geeft daarentegen direct een grootte, die een bepaalde eigenschap van het oppervlak weergeeft. Deze parametertechnieken zijn vaak erg snel maar de resultaten zijn vaak moeilijk te koppelen aan de bekende ruwheidsparameters als  $R_a$  of  $R_z$ . Deze koppeling zult u doorgaans zelf experimenteel moeten uitvoeren. Wel zijn de parametermeetmethoden geschikt voor het bewaken van een productieproces.



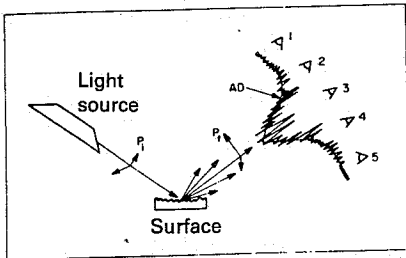
Figuur 5 Zie tekst



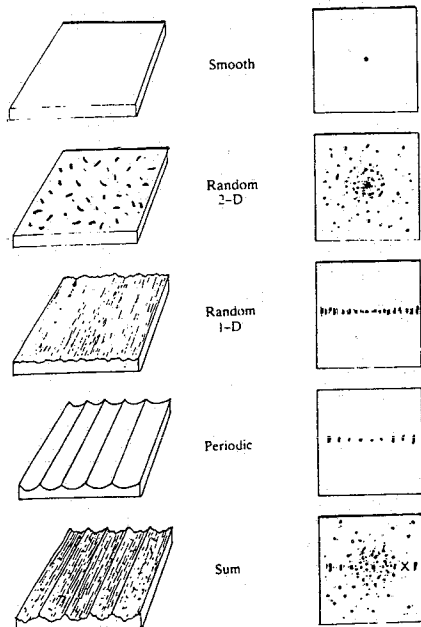
Figuur 7 Zie tekst

**Parametermeettechnieken**

Als een evenwijdige bundel laserlicht gereflecteerd wordt door een ruw oppervlak, wordt de straling volgens de wetten van de fysische optica verstrooid, zie figuur 8. De intensiteit en het patroon van de verstrooide straling hangt af van de  $R_q$ -waarde, de ruimtelijke golflengte van het ruwheidpatroon, en de golflengte van de gebruikte lichtbron. In het algemeen zullen korte ruimtelijke golflengten het licht over



Figuur 8 Zie tekst



Figuur 9 Zie tekst

grote hoeken t.o.v. de gespiegelde bundel verstrooien, terwijl grote ruimtelijke golflengtecomponenten het licht over kleinere hoeken verstrooien. Voor de meeste oppervlakken heeft de powerspectrale dichtheidsfunctie (psd), dit is de amplitude in het kwadraat als functie van de golflengte, een breed spectrum ruimtelijke componenten (zie figuur 8), en het licht wordt dienovereenkomstig over een grote hoek verdeeld. Voor zeer gladde oppervlakken ( $R_a \ll \lambda$ ), wordt de invallende bundel gespiegeld volgens hoek van inval is gelijk aan hoek van uittrede. Als  $R_q$  toeneemt, neemt de hoeveelheid spiegelend gereflecteerd licht af, terwijl de verstrooide straling in intensiteit toeneemt en meer diffuus wordt. De hoekverdeling van de diffuse straling bestaat uit een fijn korrelige structuur, spikkel genaamd (Engels speckle), wat zich uit in een intensiteitsverschil tussen aangrenzende punten in het gereflecteerde beeld. Uiteindelijk ondergaat het licht een verandering in haar polarisatietoestand door reflectie aan het oppervlak. Enkele meetmethoden die op de boven beschreven fenome-

nen berusten zijn in twee groepen te onderscheiden: spiegelende en niet-spiegelende methoden.

De spiegelende methoden zijn:

- spiegelende reflectie,
- totaal geïntegreerde verstrooiing,
- hoekverdeling van het strooilight.

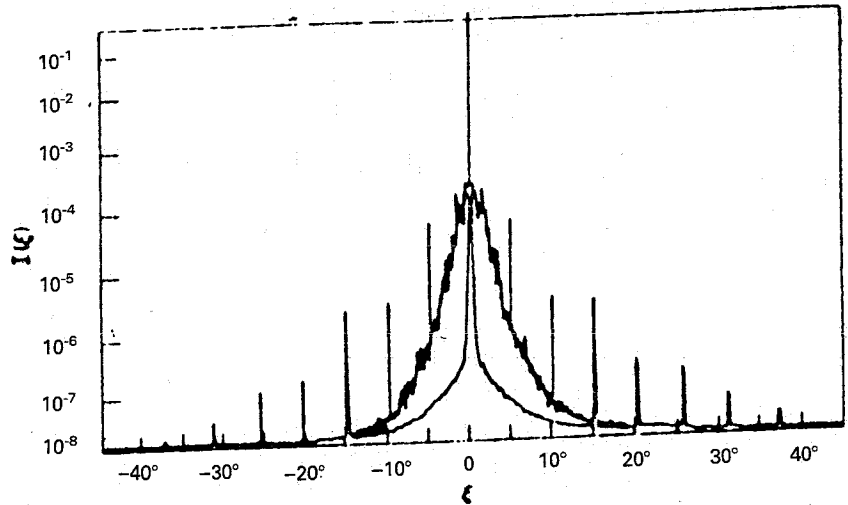
De niet-spiegelende methoden zijn o.a.:

- spikkelcontrast,
- ellipsometrie.

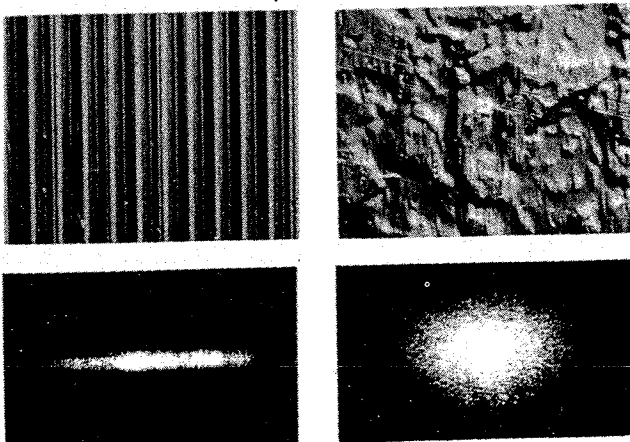
Het principe van de hoekverdeling van het strooilight volgens de spiegelende methode wordt hierna behandeld.

**Lichtverstrooiing**

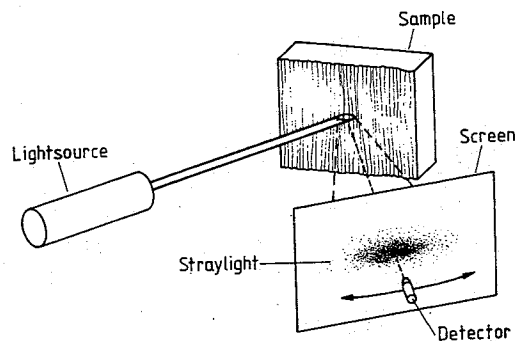
Als een lichtbundel op een oppervlak valt wordt deze verstrooid door de onregelmatigheden in het oppervlak. Figuur 9 toont een aantal verdelingsfuncties als functie van de oppervlaktestructuur. De totale hoekverdelingsfunctie van de verstrooide straling bevat in principe informatie over het oppervlak. Met deze methode is het in principe mogelijk om naast een ruwheidsparameter ook de gemiddelde golflengte of de gemiddelde helling te bepalen. De hoek van lichtinval is



Figuur 10 Zie tekst



Figuur 11 Zie tekst



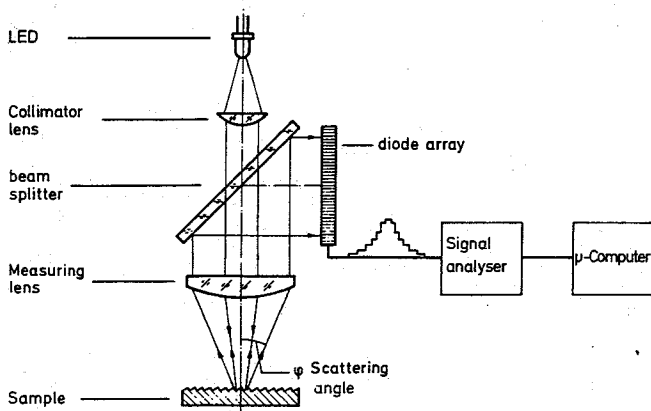
meestal constant en de hoekverdelingsfunctie wordt gemeten met behulp van een diode-array, of door een beweegbare detector en wordt opgeslagen als functie van de verstrooiingshoek  $\varphi$ . Het is ook mogelijk om de lichtbron en de detector vast te zetten en het werkstuk te roteren.

Figuur 10 geeft een voorbeeld van een meting aan een met diamant verspaand aluminium oppervlak, verlicht door een heliumneon laser. De bovenste kromme laat de hoekverdeling zien in een vlak loodrecht op de spanningsgroeven. Het bevat een sterke reflectie bij  $\varphi=0$  en een brede verstrooiingsverdeling door de random component van de ruwheid. Verder bevat de bovenste kromme een aantal discrete pieken veroorzaakt door de periodiciteit van de ruwheid, welke door de voeding veroorzaakt wordt. De onderste curve is evenwijdig aan de bewerkingsgroeven gemeten.

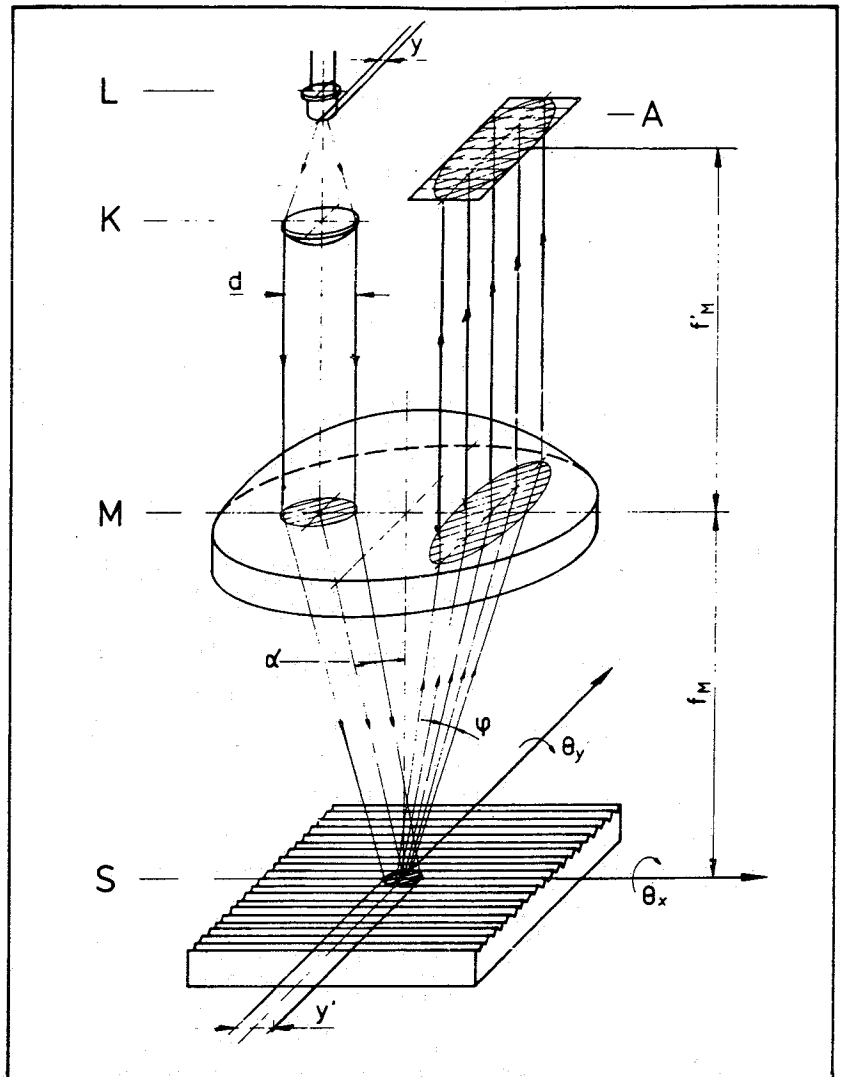
Verschillende fabricageprocessen kunnen tot verschillende lichtverstrooiingen leiden, zelfs als de ruwheid van beide bewerkingen nagenoeg dezelfde  $R_a$ -waarde heeft. In figuur 11 is de lichtverstrooiing van een met diamant gedraaid een van een koudgewalst oppervlak weergegeven. Hierin is duidelijk het verschil in lichtverstrooiing te zien. Om de lichtverstrooiing mathematisch te beschrijven staan een tweetal modellen ter beschikking, namelijk het buigingsmodel voor zeer gladde oppervlakken oppervlakken en het zogenaamde mirror faced model voor ruwere structuren. Op deze modellen gaan wij niet verder in, maar we bekijken nu eerst een praktische uitvoering van een verstrooiingsmeter.

### Praktische uitvoering van een verstrooiingsmeter

Het meetsysteem zoals dat door de firma Rodenstock op de markt wordt gebracht bestaat uit een elektronische sen-



Figuur 12 Zie tekst

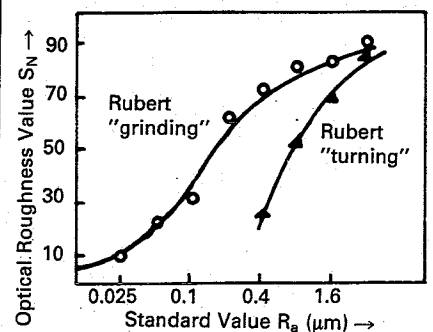


Figuur 13 Zie tekst

sor (diode-array), een analoge signaal processor en een microcomputer om het systeem te regelen en de karakteristieke meetwaarde te berekenen. Figuur 12 toont het prinsipeschema van het meetinstrument.

Het signaal van een infrarood-licht ge-

vende diode wordt op het te meten oppervlak geprojecteerd. Het gereflecteerde licht wordt op een fotodiode-array afgebeeld. Het signaal van deze fotodiode wordt gedigitaliseerd en door een computer verwerkt. De diameter van de lichtspot is in het algemeen 1,8 mm. Figuur 13 toont de uitvoering van



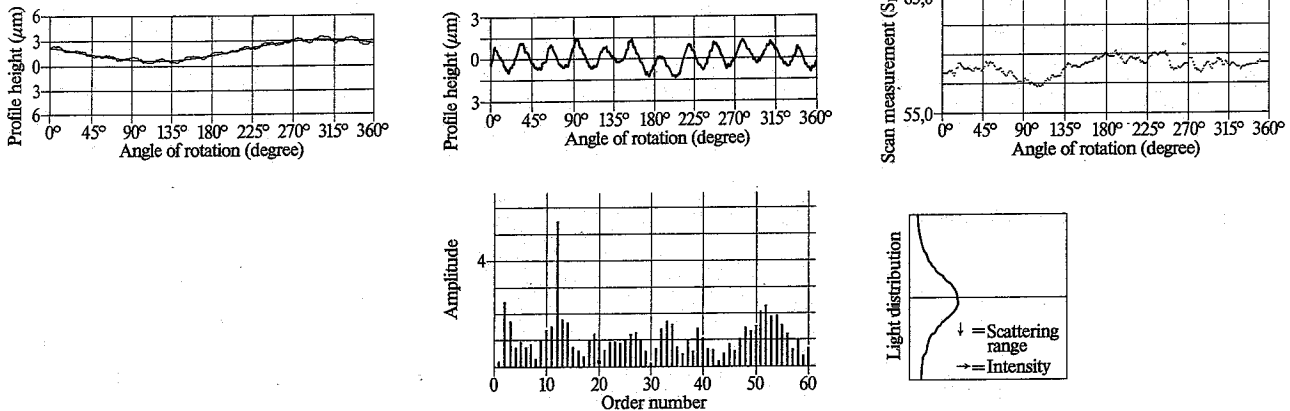
Figuur 14 Zie tekst

de RM 400 van de firma Rodenstock. De ruwheidswaarde die door dit instrument wordt uitgegeven is de zogenaamde  $S_N$ -waarde, die niet genormaliseerd is. De relatie tussen deze parameter en b.v.  $R_a$  dient voor verschillende oppervlakken experimenteel bepaald te worden. Figuur 14 toont de re-

latie tussen  $S_N$  en  $R_a$  voor een tweetal oppervlakken.

De meettijd van de RM 400 is vanaf 20 metingen/sec en het instrument is geschikt voor ruwheidsmetingen aan oppervlakken die een  $R_a$ -waarde hebben van 5 nm tot 2  $\mu$ m. Met behulp van het-

zelfde meetprincipe heeft deze firma een profielanalyse-apparaat ontwikkeld, de RM 500, dat vormafwijkingen, golvingen en ruwheden kan meten. Ook is het hiermee mogelijk het frequentiespectrum te meten. In figuur 15 zijn enkele meetresultaten weergegeven.



The RM 500 here measures:

- Peak to valley values
- Eccentricity and angular location

The RM 500 here measures:

- Peak to valley values
- Runs a profile scan
- Runs a Fourier analysis

The RM 500 here measures:

- Optical roughness value  $S_N$
- Plots  $S_N$  values
- Runs an  $S_N$  scan

Figuur 15 Zie tekst

Wordt vervolgd

## Prima start voor nieuwe vakbeurs Publi Fair '88

Het initiatief tot de organisatie van een vakbeurs voor uitgevers en opdrachtgevers van gedrukte media onder de naam Publi Fair '88, kan nu reeds een succes worden genoemd.

Deze nieuwe vakbeurs vindt plaats van 6-8 juni 1988 in de Jaarbeurs in Utrecht. Momenteel telt Publi Fair '88 reeds 135 exposanten op een gezamenlijke netto-oppervlakte van 2.750 m<sup>2</sup>. Daarmee is de beschikbare ruimte van 3.250 m<sup>2</sup> vier maanden voor aanvang van de beurs praktisch volgeboekt.

Publi Fair '88 is een co-productie van Welboom Bladen en de Koninklijke Nederlandse Jaarbeurs. De beurs is bestemd voor uitgevers in de traditionele zin, maar zeker ook voor al die bedrijven, organisaties en instellingen die gedrukte media laten vervaardigen voor inter-

ne of externe communicatie. Exposanten op Publi Fair '88 zijn alle bedrijven en disciplines, die zijn betrokken bij de ontwikkeling, totstandkoming en verspreiding van gedrukte media. Daarbij valt te denken aan:

- De technische schakels in het productieproces, zoals zettters, papierleveranciers, drukkers, binders, lithografen, leveranciers van computerapparatuur en computerprogrammatuur.
- De creatieven. Daartoe behoren ontwerp bureaus, persbureaus, journalisten, tekstschrijvers, vormgevers, vertalers, illustratoren, fotobureaus's, werktekenaars, reclameadviesbureau's.
- De leveranciers van aanvullende en ondersteunende diensten: marktonderzoekers, distributeurs, adressenleveranciers, advertentieacquisiteurs, bestandenbeheerders, directmarketing bureaus, verspreidorganisaties en dergelijke.

Uit al deze categorieën hebben zich inmiddels tal van deelnemers aange-

meld. Het initiatief voor Publi Fair '88 wordt ondersteund door een groot aantal belangrijke organisaties, te weten:

- Centraal Bureau voor Courantenpubliciteit (CEBUCO)
  - Direct-Marketing Instituut Nederland (DMIN)
  - Beroepsvereniging Grafisch Vormgevers Nederland (GVN)
  - Koninklijke Nederlandse Uitgeversbond (KNUB)
  - Koninklijk Verbond van Grafische Ondernemingen (KVGGO)
  - Nederlandse Illustratoren (NIC)
  - Nederlandse Organisatie van Tijdschriften-Uitgevers (NOTU)
  - Nederlandse Vereniging van Journalisten (NVJ)
  - Nederlandse Vereniging van Fotojournalisten (NVF)
  - Beroepsfotografen Nederland (BFN)
- In overleg met een aantal van deze organisaties is thans een programma van zeven seminars in voorbereiding ten bate van de bezoekers.