

MOIRÉ-METHODEN BEI DER MESSUNG UND UNTERSUCHUNG DER OBERFLÄCHENGESTALTEN, GESTALTFEHLER UND GESTALTVERÄNDERUNGEN

Z. TURI und K. WENZEL

Institut für Feinmechanik und Optik
Technische Universität, H-1521 Budapest
Eingegangen am 28. Juni 1988

Abstract

This article summarises the moirè-methods for measurement of figures with incoherent light. A patented measuring instrument developed at the Institute of Precision Mechanics and Optics is reported on. Some new methods for the measuring of figure errors are described.

Einleitung

Die Größen von regelmäßigen und einwandfreien Oberflächen zu bestimmen, ist eine relativ einfache Aufgabe. Bei einer regelmäßigen Kugel genügt ein einziger Durchmesser, beim geraden Kreiszyylinder muß man jedoch den Durchmesser und die Länge der Hülle abmessen.

Das Messen von Gestaltfehlern bei den regelmäßigen Oberflächen oder der Gestalt und Gestaltfehler bei den unregelmäßigen Oberflächen ist nicht so einfach. Die Hauptschwierigkeit liegt darin, daß man von allen Punkten der Oberfläche Informationen braucht.

Abhängig von der Größe, von der Gestalt und vom Material der Oberfläche bzw. von der gewünschten Meßgenauigkeit werden mehrere Meßmethoden verwendet. Diese können in zwei Gruppen unterteilt werden. *Die mechanischen Meßmethoden* sind schwerfällig. Man bekommt von der untersuchten Oberfläche nur aus relativ wenigen Punkten Informationen. Bei ihrer Verwendung kann das Berühren der Oberfläche nicht vermieden werden; ihr Vorteil ist jedoch, daß sie einen relativ einfachen technischen Apparat benötigen. Deswegen sind sie in breitem Kreis verbreitet. *Die optischen Methoden* können ohne Berührung verwendet werden. So wird das Meßergebnis nicht durch die Gestaltveränderung, die sich aus dem Meßdruck ergibt, beeinträchtigt. Es werden Informationen von allen Punkten der Oberfläche gewonnen. Diese Methode kann sowohl bei sehr kleinen als auch bei sehr großen Massen

angewendet werden. Die relative Genauigkeit ist groß. Es werden dazu komplizierte und teure Instrumente benötigt. Die meisten optischen Methoden können mit Photographieren ergänzt werden. Die optischen Informationen können schnell aufgenommen, gelagert werden, und die Bewertung kann auch später erfolgen.

Im weiteren fassen wir nun die am meisten verwendeten Moiré-Methoden zusammen. Dann stellen wir ein neues, zusammengesetztes Moiré-Gerät und dessen Verwendungsmöglichkeiten vor. Am Ende berichten wir über unsere Anfangserfolge und zeigen einige Moiré-Aufnahmen, die mit diesem Gerät aufgenommen wurden.

Die mechanischen Meßmethoden

Die weiteste verbreitete mechanische Meßmethode ist das *Messen an mehreren Punkten der Oberfläche mit Meßtastern*. Es werden bestimmte Punkte der Oberfläche durch entsprechende Meßtaster, die verstellbar sind und festgemacht werden können, mit den x, y, z oder r, φ Koordinaten bestimmt. Obwohl die Methode langwierig und schwerfällig ist, besteht ihr Vorteil darin, daß durch das stabile Gestell und durch die Verwendung der genauen Meßtaster eine relativ große Genauigkeit erzielt werden kann. Der Meßwert erscheint gleich zahlenmäßig. Es kann auch die automatisierte, computerisierte Datenverarbeitung verwirklicht werden. Dadurch kann eine μm Genauigkeit erzielt werden.

Der Vergleich mit dem Gegenstück ist auch eine verbreitete Methode im Maschinenbau. Die Oberfläche eines Gegenstückes von großer Genauigkeit wird mit Kreide beschmiert oder mit Farbe bestrichen und dann mit der analysierten Oberfläche gekoppelt. Die mit Farbe bedeckten Punkte zeigen, wo sich die nicht erwünschten Ausragungen befinden. Diese ist eine seit langer Zeit benutzte, einfache und genaue Untersuchungsmethode. Ihr Nachteil besteht darin, daß keine zahlenmäßige Ergebnisse gewonnen werden können. Sie kann beim Messen von weichen Oberflächen (menschlicher Körper) nicht verwendet werden. Die Genauigkeit liegt um $10\ \mu\text{m}$, auch bei Oberflächen mit einer Ausdehnung von einigen Metern.

Die optischen Meßmethoden

Unter den optischen Methoden kann *das Stereo-Photographieren* vielseitig verwendet werden. Die untersuchte Oberfläche wird aus zwei unterschiedlichen Positionen photographiert. Die beiden Stereo-Aufnahmen werden durch ein optisches Auswertungsinstrument bearbeitet und die Daten zahlenmäßig angegeben. Diese Methode wird vor allem in der Geographie verwendet; in diesem Falle können die Tiefenmaße auch bei Oberflächen von mehreren Km Ausdehnung mit Metergenauigkeit angegeben werden. Die Methode kann sowohl beim Maschinenbau als auch in der Arztpraxis verwendet werden. So werden die Bilder in unmittelbarer Nähe aufgenommen,

und bei dieser weniger ausgedehnten Oberfläche wird der Meßfehler auch proportional kleiner sein.

Die *Interferenz-Meßmethoden* werden vor allem in der optischen Fertigung verwendet. Die analysierte Oberfläche wird blankpoliert. Zwischen jenen Lichtwellen, die von dieser Oberfläche reflektiert werden, und zwischen jenen, die von der polierten Oberfläche des Etalonstückes (Plan, Gegenstück, oder „Meisterstück“) reflektiert werden, kann die Interferenz-Erscheinung ausgelöst werden. Die Interferenz-Streifen sind charakteristisch für die untersuchte Gestalt.

Durch das Abzählen der Interferenz-Streifen kann das Ergebnis zahlenmäßig angegeben werden. Die erreichbare Genauigkeit fällt in die Größenordnung der Lichtwellenlänge, also sie kann einige Zehntel μm betragen, während die Größe der untersuchten Oberfläche mehrere 10 mm sein kann. Die Methode kann nur bei blankpolierten Oberflächen verwendet werden. Als moderne Meßmethoden sind die *holographischen Methoden* bekannt. In der Holographie wird durch die Rekonstruktion der Objektwelle im Bildraum das reale dreidimensionale Bild des Objektes gewonnen. Zum Messen der Oberflächen wurden mehrere, sehr genaue und empfindliche Methoden ausgearbeitet. Diese sind aber nicht in breitem Rahmen verbreitet, da dazu teure und komplizierte Instrumente benötigt werden.

Die Moiré-Meßmethode

Dem Bedeutungswörterbuch nach ist das Wort „Moiré“ französischer Abkunft und dient zur Charakterisierung „einer Stoffart (Seide) mit unterschiedlicher Lichtwirkung und Wellenmuster“. Im Druckereiwesen bedeutet es „beim Mehrfarbendruck jene geometrische Elemente, die vom Bild fremd sind“.

Der Moiré-Effekt tritt dann auf, wenn wir zwei durchsichtige und fast mit den gleichen Teilungslinien versehene Oberflächen aufeinander legen und bei diesem Raster kleinere-größere Einteilungs- und Winkelunterschiedene bestehen (Abb. 1.)

Die Erscheinung selbst ist schon seit Jahrzehnten bekannt, aber in der Meßtechnik begann sie sich nur im letzten Jahrzehnt zu verbreiten. In den ersten Literaturangaben aus den Jahren 1953, 54, 55 wird das Verfahren von R. Lehmann, K. Mütze, H. Voight und A. Wiener als „Doppelraster-Methode“ beschrieben, die auf dem Moiré-Effekt basiert. [1., 2., 3.]. Sie hatten dabei nicht die Oberflächen, sondern die Bewegung gemessen. Wir können im Referat von E. Lau und Ch. Hiller auch die Moiré-Methode vorfinden: sie verwendeten die Methode unter dem Namen „Dupligravimetrie“ bei der Interferenzmessung von sphärischen Oberflächen [4., 5.].

Danach wird die Moiré-Technik jahrelang nicht erwähnt.

In den 70-er Jahren wurde sie „wiederentdeckt“, und seitdem nimmt die Zahl der Berichte steil zu, neben den deutschen und amerikanischen Forschern können wir von sehr vielen japanischen Autoren interessante Berichte über Moiré-Versuche lesen. In diesen aber können wir auch heute noch kaum über Untersuchungs-Anord-

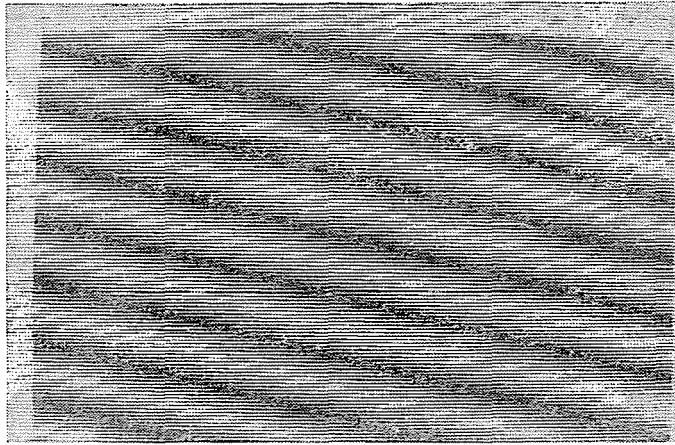


Abb. 1. Zwei aufeinandergelegte durchsichtige Raster. Die Streifen der gestreiften Abbildungen sind ein wenig krumm und sind nicht parallel miteinander. Die entstandenen Moiré-Streifen sind auch krumm und so heben sie den Unterschied der beiden gestreiften Abbildungen hervor

nungen und über die daraus ableitbaren Erfahrungen lesen. Ein einfaches und im reit en Rahmen verwendbares Moiré-Gerät wird nicht beschrieben.

Die Moiré-Methode ist eine relativ einfache, wenig Technik beanspruchende Methode. Sie kann schnell, ohne Berührung der Oberfläche und ohne Strahlenbelastung durchgeführt werden. Ihre Verwendung ist nicht nur im Maschinenbau, sondern in der Arztpraxis vorteilhaft [6].

Die Moiré-Erscheinung wird sowohl bei Interferenzmessungen (so entstehen die Moiré-Streifen durch Interferenz-Streifen) als auch beim inkohärenten Licht verwendet (die Linien werden jetzt durch durchsichtige schwarz-weiß Raster erzielt. Die Meßgenauigkeit geht vom Zehntel μm bis zu einigen mm.

Zur Zeit sind die folgenden Moiré-Meßzusammenstellungen bekannt:

Reflexions-Zusammenstellung: die Skizze ist in Abb. 2. zu sehen. Der Betrachter (oder der Photoapparat (1)) sieht das Bild eines gleichmäßig beleuchteten, durchsichtigen Rasters (2) durch die Verwendung eines semipermeablen Spiegels (3) gleichzeitig durch zwei Spiegelungen. Die eine Spiegelung ist auf der untersuchten (blankpolierten) Fläche (4), die andere auf einem Planspiegel (5). Der Moiré-Effekt wird durch die Spiegelbildverzerrungen hervorgerufen, die durch die Gestalt der Oberfläche bedingt sind. [7].

Die Moiré-Streifenzahl ist in Verbindung mit der Schrägheit der Oberfläche. Durch die Krümmung der Oberfläche (4'') kommt auf Abb. 2. das A (das Bild des Punktes A) dorthin, wohin das B (das Bild des Punktes B) fallen würde, wenn die Oberfläche (4) eine einwandfreie Planoberfläche wäre (4). Wenn wir die Bezeichnungen der Abb. 2. benutzen:

$$\text{tg } 2\theta = \frac{np}{L_1 + L_2}$$

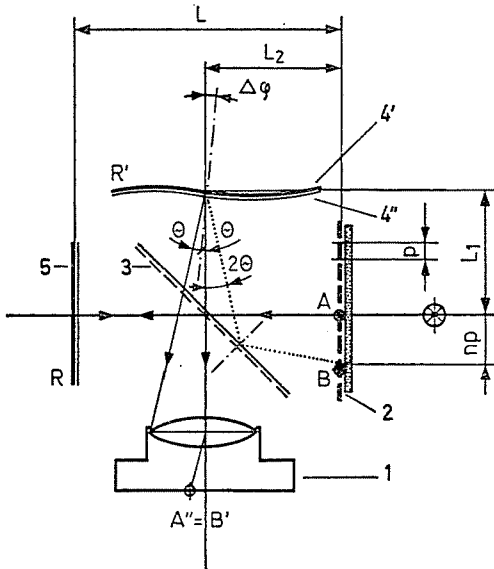


Abb. 2. Die Reflexions-Moiré Anordnung

wo p , mm — die Unterteilung der Folie (2) ist
 n , — die scheinbare Verschiebung der Einheiten, wegen der Krümmung der Oberfläche (4) — also die Zahl der Moiré-Streifen,
 L_1 , mm — die Entfernung der untersuchten Oberfläche (4) vom Spiegel (3),
 L_2 , mm — Entfernung des Rasters (2) vom Spiegel (3).
 Da $\operatorname{tg} 2\theta \cong 2\theta$ wenn $\theta < 5^\circ$ und

$$L_1 + L_2 = L$$

$$\theta = \Delta\varphi$$

Deswegen besteht

$$\Delta\varphi \cong \frac{P}{2L} n \quad (1)$$

Die Zahl der Moiré-Streifen ist gleich mit n , also mit der scheinbaren Verschiebung der Rasterstreifen. Durch die Gleichung (1) kann aus der Zahl der Moiré-Streifen auf die Schrägheit der untersuchten Oberfläche (4) gefolgert werden. Diese Methode kann folglich nicht unmittelbar zur Bestimmung der Tiefenwerte benützt werden. Die Methode ist eine hochempfindliche, schnelle Untersuchungsmethode. Werden die Moiré-Bilder nacheinander immer auf das gleiche Filmquadrat aufgenommen, so können die Gestaltänderungen der Oberfläche detektiert werden (z. B. die Schwingungen der akustischen Membrane). Bei der Analyse einer Oberfläche von der Ausdehnung von 100 mm können Tiefenwerte von 0,01 mm und Winkelbewegungen von 0,005 Rad bestimmt werden. Die Methode ist nur für Spiegel-Oberflächen geeignet.

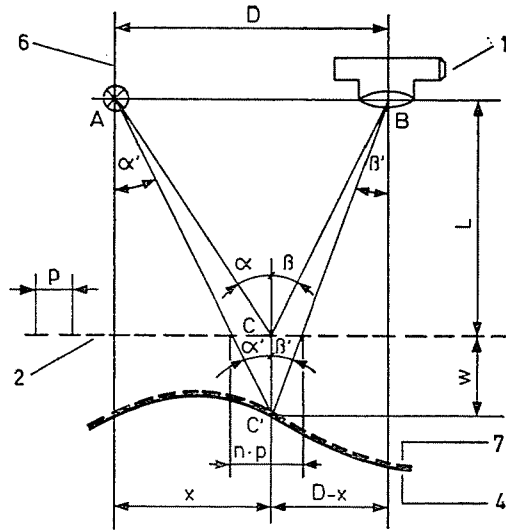


Abb. 3. Die Shadow-Moiré Anordnung

Die *Shadow-Moiré-Methode* kann mit den einfachsten Mitteln verwirklicht werden. Auf Abb. 3. ist zu sehen, wie die untersuchte Oberfläche (4) hinter dem gleichgeteilten Planraster (2) angebracht wird (dieses kann ein Liniensystem auf einer Glasplatte sein, oder es können auch straffgezogene Drähte sein). Die Belichtung (6) der Oberfläche geschieht unter einem Winkel durch den Raster (2), so entsteht auf der Oberfläche eine gestreifte Schattenzeichnung (7). Das wird unter einem Winkel β durch den Raster betrachtet (oder mit dem Photoapparat (1) photographiert). Der Moiré-Effekt entsteht durch den Unterschied der Streifen bei der Schattenzeichnung (7) und beim Raster (2). Diese Methode wird in der Orthopädie zur Bestimmung der menschlichen Gestaltfehlern benutzt [8], [9], [10].

Durch die Verwendung der Shadow-Moiré-Methode kann aus der Zahl der Moiré-Streifen das w Tiefenmaß der untersuchten Oberfläche (4) bestimmt werden. Mit den Bezeichnungen der Abb. 3:

$$w = \frac{np}{\operatorname{tg} \alpha' + \operatorname{tg} \beta'}$$

- wo n , — die Verschiebung der Schattenzeichnung (7) ist, die auf die untersuchte Oberfläche (4) projiziert wurde, verglichen mit dem Raster (2) — also die Zahl der Moiré-Streifen
- p , mm Unterteilung des Rasters (2)
- α , ° Belichtungswinkel
- β , ° Beobachtungswinkel und

$$\operatorname{tg} \alpha' + \operatorname{tg} \beta' = \frac{D}{L+w}$$

- wo D , mm die Entfernung zwischen dem Belichtungsgerät (6) und dem Beobachter (1)
 L , mm Entfernung des Rasters (2) vom Belichtungsgerät (6) und vom Beobachtungsgerät
 w , mm Entfernung der untersuchten Oberfläche vom Raster (2) — also das Tiefenmaß bedeutet

Da $w \ll L$, so besteht, daß

$$L + w \cong L$$

$$\operatorname{tg} \alpha' + \operatorname{tg} \beta' = \operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta = \frac{D}{L}$$

so

$$w \cong \frac{PL}{D} n \quad (2)$$

Aus der Zahl der Moiré-Streifen, n , kann also, wenn die geometrischen Maßen bekannt sind, das Tiefenmaß bestimmt werden.

Dieses Verfahren kann nur bei diffus reflektierten Oberflächen benutzt werden. Bei einer Oberfläche von 1 m^2 kann man bis $+100 \text{ mm}$ Tiefe die Tiefenmaße durch das Abzählen der Streifen und durch eine einfache Umrechnung mit einiger mm Länge bestimmen. Die Zahl der Streifen steht in Verbindung mit den Tiefendaten, entsprechend einer Umrechnung (Abb. 3)

Meßanordnung mit Projektion

Auf Abb. 4. sehen wir, wie das Projektorobjektiv (3) das Bild eines gleichgeteilten Planrasters (2) auf die untersuchte Oberfläche (7) abbildet. Das Projektionsobjektiv (4) überträgt die entstandene Schattenzeichnung der Oberfläche auf gleichgeteilte Planraster (5), wo der Moiré-Effekt erscheint. [11], [12].

Auf Abb. 4. sieht man, daß in der Ebene (9) oder auf der untersuchten Oberfläche (7) das vergrößerte Bild des Rasters (2) erscheint.

Mit den Bezeichnungen der Abbildung:

$$w = \frac{N_A np}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta'}$$

- wo N_A , — Die Vergrößerung des Bildes ist, das durch das Projektionsobjektiv (3) entsteht
 n , — die Verschiebung der projizierten Streifen, die dadurch entsteht, daß die Oberfläche (7) von der Ebene (9) abweicht
 p , mm die Unterteilung der projizierten Streifen
 α , ° Projektionswinkel
 $\beta \cong \beta'$, ° Beobachtungswinkel

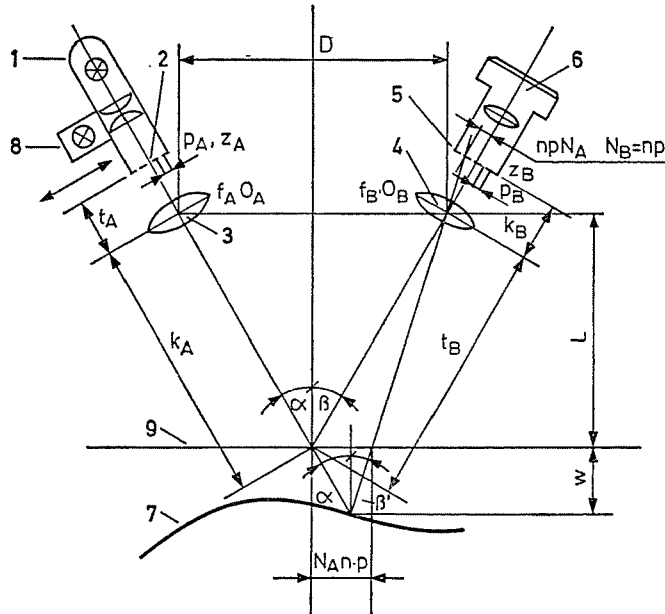


Abb. 4. Die Projektions-Moiré Anordnung

und

$$\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta' = \frac{D}{L + w}$$

wo D , mm die Entfernung des Projektionsobjektives (3) und des Beobachters (4)

L , mm Projektionsentfernung

Da $w \ll L$, so besteht, daß $L + w \cong L$, so

$$w = \frac{np LN}{D} \quad (3)$$

Um die Bildgestaltungsfehler zu kompensieren, sind das Objektiv (4) und das Objektiv (3) gleich. So ist auch die P_B Unterteilung des Rasters (5) gleich mit der P_A Unterteilung des Rasters (2).

Mit der Projektionsmethode kann eine größere Tiefenschärfe erreicht werden als mit der Shadow-Moiré-Methode. Wenn die Winkel des Planrasters (5) und (2) entsprechend gewählt werden, können die linearen Meßfehler herabgesetzt werden. Durch die Veränderung der Bild- und Objektweite der Projektionsobjektive verändern sich die Unterteilung der projizierten Streifen und die Meßempfindlichkeit im breiten Rahmen (von 0,1 mm bis 10 mm). Mit zwei Planrastern kann untersucht werden, wie die Oberfläche von der Ebene abweicht. Wenn Planraster (5) nicht benutzt wird, aber auf demselben Bildquadrat 2 Bilder gemacht werden, kann man die Bewegungen und Gestaltveränderungen der Oberfläche verdeutlichen und meßbar machen.

Die Methode ist nur für diffus widerspiegelnden Oberflächen geeignet.

Moiré-Interferometrie

Eine sehr empfindliche, genaue Meßmethode, die auf der Interferenz- und der Moiré-Methode gemeinsam beruht. Mit dieser Methode kann registriert werden, wenn sich die Tiefenwerte μm die Bruchstücke der μm Größe verändern. Die Grundidee der Messung beruht darin, daß die Veränderungen der Interferenzstreifen (Bewegung der Oberfläche, Gestaltveränderungen durch Deformation) durch Moiré-Streifen untersucht werden können, mit Bildern, die nacheinander auf ein Bildquadrat aufgenommen werden [13].

Moiré-Gerät zu orthopädischen Zwecken

Orthopädi-Ärzte wandten sich an uns mit dem Wunsch, wir sollen ihnen ein Gerät konstruieren, mit dessen Hilfe eine Schuluntersuchung bei Kindern nach Wirbelsäulenkrümmung unternommen werden kann. Bei der Herausbildung des Knochensystems der Kinder sind die Jahre zwischen dem 10.—12. Lebensjahr kritisch. Durch die mangelhafte Bewegung leiden immer mehr Kinder an Wirbelsäulenkrümmung (scolyosis), und diese Krankheit kann nur dann erfolgreich behandelt werden, wenn sie rechtzeitig entdeckt wird.

Das Untersuchungsinstrument soll leicht bedienbar und transportierbar sein. Das Untersuchungsergebnis soll als Photographie dokumentiert werden, um die weitere Entwicklung beobachten zu können.

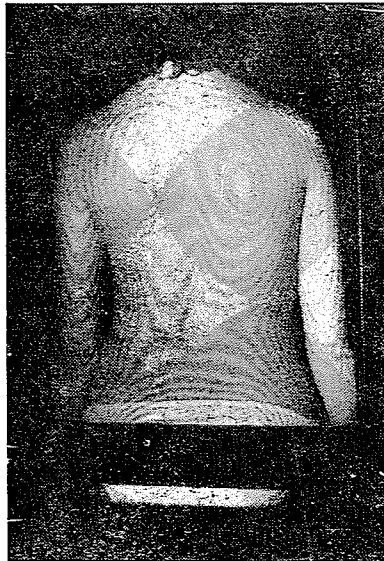


Abb. 5. Moiré-Aufnahme vom Rücken eines Kindes, das an Scolyosis leidet

Das Instrument, das an unserem Lehrstuhl konstruiert wurde, funktioniert anhand des schon beschriebenen Projektionsverfahrens. Ein Projektor projiziert ein diapositives Bild der 10 Linienpaare/mm Streifeneinteilung auf den Rücken des Patienten. Das Bild seines Rückens wird mit den Streifen zusammen durch ein Photoobjektiv auf ein anderes gestreiftes diapositives Bild abgebildet, wo der Moiré-Effekt erscheint. Die Moiré-Streifen können im Sucher des Photoapparates beobachtet und photographiert werden. Beim Photographieren kann — um eine kurze Belichtungszeit zu erreichen — der Projektor aus dem Weg geräumt werden und an seine Stelle, in den Lichtweg, ein Blitz-Licht eingesetzt werden.

Auf Abb. 5. sehen wir das Bild des Rückens eines an Scolyosis erkrankten Kindes.

Abb. 6. zeigt das Bild einer Opalgaskugel das senkrecht zur Optischen Achse steht.

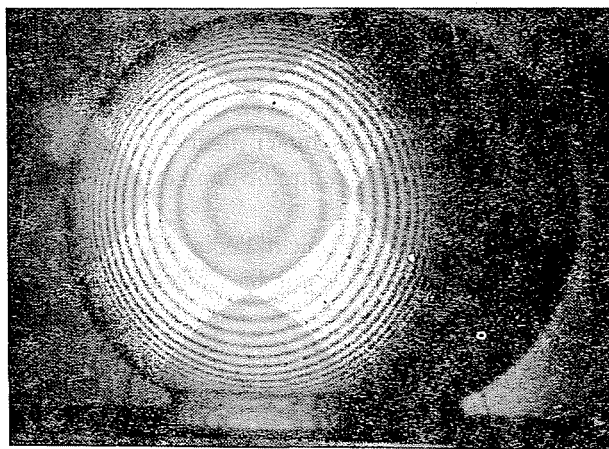


Abb. 6. Moiré-Aufnahme von Kugeln

Meßfehler

Es wurde mit einer bedeutend größeren Sehweite aufgenommen als die Bilder bei der Untersuchung der Kinder. So werden jene Moiré-Streifen sichtbar, die sich aus den Bildarstellungsfehlern des Objektivs ergeben. Wenn wir anspruchsvollere Objektive benutzen als diejenigen im Projektor, werden diese Fehler geringer. Die Ovalität der Streifen wird durch das schiefe Projizieren verursacht. Dieser Fehler kann durch die Verwendung eines unterschiedlich eingeteilten Rasters behoben werden.

Mit der Weiterentwicklung des Gerätes war unser Anliegen die Reduzierung der Meßfehler und die Ausbreitung der technischen Anwendungsmöglichkeiten.

Eine weiterentwickelte Variante des Instruments scheint in der Automobilherstellung und -reparatur gut verwendbar zu sein, nämlich beim Messen der Gestalt-

fehler der Aufbauelemente. Es können damit auch Oberflächen von m^2 Größenordnung gemessen werden.

Es kann eine sehr vorteilhafte Benutzung erzielt werden, wenn an Stelle des zweiten Diapositives ein Diapositiv vom „Meisterstück“ des untersuchten Stückes gesetzt wird. Dieses Bild muß mit dem Moiré-Instrument aufgenommen werden, so daß wir während der Aufnahme die Streifen mit dem Projektor auf das Meisterstück projizieren und das zweite Diapositiv entfernen. Mit dieser Methode kann festgestellt werden, wie sich das untersuchte Objekt vom Meisterstück unterscheidet. Die BildDarstellungsfehler der Objektive sind jetzt völlig behoben.

Mit doppel exponierten Aufnahmen kann man die Gestaltveränderungen und die Bewegungen darstellen und messen. In diesem Falle braucht man das zweite Diapositiv nicht, denn der Krümmungsunterschied entsteht bei den beiden Expositionen durch den Unterschied der Streifen.

Eine weitere vorteilhafte Benutzung ist das Messen von Gestaltfehlern bei CAD (Rechnergestütztes Konstruieren). Wenn die Oberflächengestalt der untersuchten Oberfläche durch computerisiertes Konstruieren bestimmt wird, können anhand der Datenbasis die Streifen der einwandfreien Oberfläche mit einer computergesteuerten Zeichenmaschine gezeichnet werden. Die beschriebene Operation ermöglicht, daß man die Abweichung von dieser idealen Oberfläche in Form von Moiré-Streifen verdeutlicht und meßbar macht, ohne dazu ein Meisterstück anfertigen zu müssen.

Man kann auch das negative Moiré-Streifensystem der untersuchten Oberfläche anfertigen. So kann man die Gestalt des Gußmusters oder Preßmusters kontrollieren mit der Moiré-Methode.

Zusammenfassung

Der Artikel faßt die Moirémethoden mit inkohärentem Licht zur Gestaltsmessung von Oberflächen zusammen. Es wird ein Meßgerät gezeigt, das zu orthopädischen Untersuchungen am Institut Feinmechanik- und Optik der TU. Budapest entwickelt und dann patentiert wurde. Es werden weiterhin einige neue Meßmethoden zur Feststellung von Gestaltfehlern behandelt.

References

1. LEHMANN, R., MÜTZE, K., VOIGHT, H., WIEMER, A.: Das Doppellasterprinzip als Grundlage für die Entwicklung von Meßgeräten mit sehr hoher Empfindlichkeit. Feingerätetechnik 2. Jg. Heft 4. April 1953. p. 153—160.
2. LEHMANN, R., WIEMER, A.: Untersuchungen zur Theorie der Doppellaster als Mittel zur Meßanzeige. Feingerätetechnik 2. Jg. Heft 5. Mai 1953. p. 199—205.
3. LEHMANN, R.: Grundlagen für neue Verfahren in der Feinmeßtechnik. Feingerätetechnik 3. Jg. Heft 12. Dezember 1954.

4. LAU E.: Über die Anwendung des Dupligrammverfahrens zur Prüfung und Messung sphärischer Flächen. Feingerätetechnik 3. Jg. Heft 10. Okt. 1954.
5. HILLER, C.: Beitrag zur Dupligrammetrie Feingerätetechnik 4. Jg. Heft 6. Juni 1955.
6. CHIANG, F. P.: Moiré-Methods for Contouring Displacement, Deflection, Slope and Curvature. SPIE Vol. 153 Advances in Optical Metrology (1978.)
7. HOLFELD, A.: Untersuchung der Biegespannungen an dünnwandigen Bauteilen. Feingerätetechnik 31. Jg. Heft 2. 1982.
8. WILLNER, S.: Moiré-Topography — A Method for School Screening of Scoliosis. Archives of Orthopaedic and Traumatic Surgery J. F. Bergmann Verlag 1973.
9. HIROSHI T.: Moiré Topography. Applied Optics, April 1973. 12 No. 4.
10. DRERUP, B.: Anwendungen der Moiré-Topographie zur Diagnose und Dokumentation von Fehlbildungen des Pumpfes — Z. Orthop. 116/1978 Stuttgart.
11. HARDING, K. G. and HARRIS, J. S.: Projection Moiré Interferometer for Vibration Analysis. Applied Optics, 22. No. 6/15. March 1983.
12. HALIOUA, M., KRISHNAMURTHY, R. S., LIN, H., CHIANG, F. P.: Projection Moiré with moving Gratings for Automated 3—D Topography. Applied Optics, 22. No. 6/15 March 1983.
13. ROTH, R. A., FRANKENA, J. H., GROEN, F. H.: Moiré Method to Determine Separate Frequency Contributions in Vibration Patterns (Applied Optics, 22. No 2/15. January 1983.)

Prof. Dr. Zoltán TURI }
Dr. Klára WENZEL } H-1521, Budapest