

# PRÜFUNG DER EBENHEITSABWEICHUNG MITTELS MOIRÉ-VERFAHREN

A. HOLFELD

Technische Universität Dresden  
Sektion Biomedizinische Technik und Gerättechnik, DDR

Eingegangen am 28. Juni 1988  
Vorgelegt von Prof. Dr. O. Petrik

## Abstract

The measuring device described in the paper is working by the Moiré techniques using a lined grid, which serves simultaneously as a plane surface standard, resulting measurement pictures through Moiré lines. These lines, similar to the level lines of a map, give promptly the relief of the investigated surface. The sensibility depends from the division of the grid. The device build up as a compact table unit.

## 1. Einleitung

Die Ebenheit der Bauteile oder der bei einem technologischen Prozeß entstehenden Flächen ist in vielen Fällen funktions- und qualitätsbestimmend. Deshalb gewinnt die Prüfung der Ebenheit in der Fertigungsmeßtechnik zunehmend an Bedeutung. Wesentlich rationeller als die Punktmeßverfahren durch Abtasten einzelner Punkte mit einem Meßtaster arbeiten die Feldmeßverfahren, die sofort Auskunft über die ganze Meßfläche geben. Zu diesen Feldmeßverfahren zählen die Moiré-Verfahren.

## 2. Der Moiré-Effekt

Tritt Licht durch zwei Rasterstrukturen, die sich in der Teilung oder in ihrer gegenseitigen Lage unterscheiden, entsteht ein Streifenmuster, aus dem auf die Beziehung zwischen beiden Rasterstrukturen geschlossen werden kann. Allgemein werden Linierraster mit konstanter Teilung verwendet. Je nach Versuchsanordnung sind die entstehenden Moirélinien Linien gleicher Neigung der Prüflingsoberfläche und können zur Spannungsanalyse herangezogen werden [1], oder sie sind Linien gleicher Höhe und geben wie die Höhenlinien einer Landkarte Auskunft über die Oberflächen-gestalt (2), (3).

### 3. Das Höhenlinienverfahren

Ordnet man einen ebenen Linienraster mit konstanter Teilung (Bezugsraster) vor der Prüflingsoberfläche an und beleuchtet ihn mit schräg einfallendem parallelen Licht, so werfen die undurchsichtigen Linien des Rasters ihren Schatten auf die Prüflingsoberfläche und bilden dort die Objektrasterstruktur. Wird diese nun senkrecht zur Bezugsrasterebene betrachtet, ergeben sich aus beiden Rasterstrukturen Moirélinien, die der geometrische Ort aller Punkte gleichen Abstands von der Bezugsrasterebene, also Höhenschichtlinien sind. Es gilt dabei der in Bild 1 angegebene

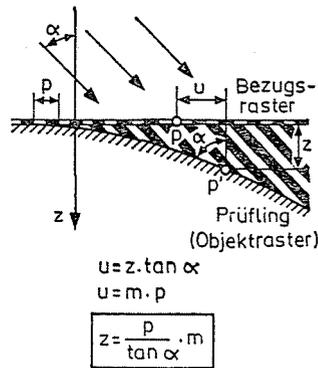


Bild. 1. Schattenprojektion zum Höhenlinienverfahren

Zusammenhang zwischen dem Rasterabstand  $z$ , der Rasterteilung  $p$ , dem Einfallswinkel  $\alpha$  der Beleuchtungsstrahlen und der Ordnungszahl  $m$  der Moirélinien. Die Höhendifferenz zwischen zwei benachbarten Linien, das ist gleichsam die Meßempfindlichkeit, beträgt  $\Delta z = p / \tan \alpha$ . Da die Objektrasterstruktur durch Schattenprojektion erzeugt wird, ist dieses Verfahren auch unter dem Namen Schattenmoiréverfahren bekannt.

Die Objektrasterstruktur kann aber auch durch Bildprojektion auf die Prüflingsoberfläche aufgebracht werden. TURI und WENZEL [4] erwähnen als Vorteile gegenüber der Schattenprojektion die größere Schärfe und den größeren freien Abstand zur Prüflingsoberfläche, und FETHKE [5] weist darauf hin, daß auch größere Objekte, wie z. B. Schiffsmodelle, damit vermessen werden können.

### 4. Aufbau des Ebenheitsprüfgerätes

Das Gerät, welches nach dem Prinzip der Schattenprojektion arbeitet und dessen Schema Bild 2 zeigt, wurde als Tischgerät für die Ebenheitsprüfung an leichten Kleinteilen entwickelt. Diese werden lose auf den als Ebenheitsnormal dienenden und horizontal angeordneten Bezugsraster (4) gelegt und von unten betrachtet. Die

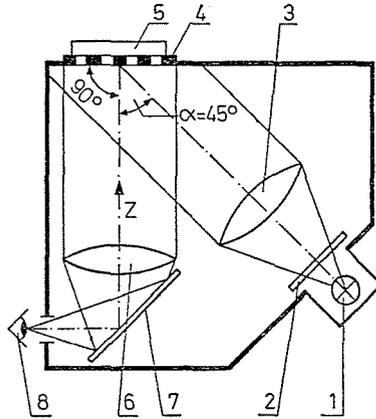


Bild. 2. Geräteschema

1 Lichtquelle, 2 Wärmeschutzfilter, 3 Beleuchtungslinse, 4 Bezugsraster, 5 Prüfling, 6 Betrachtungslupe, 7 Umlenkspiegel, 8 Kamera bzw. Auge

Lichtquelle (1) ist im Brennpunkt der Linse (3) angeordnet. Die parallelen Beleuchtungsstrahlen treffen unter dem Winkel  $\alpha=45^\circ$  auf den Bezugsraster. Damit ergibt sich wie in Bild 1 eine Höhendifferenz zwischen zwei benachbarten Moirélinien der Größe  $\Delta z=p$ . Die senkrechte Betrachtung des Moirébildes von unten ist durch den Umlenkspiegel (7) gewährleistet. Um eine für jeden Punkt des Meßfeldes senkrecht zur Bezugsrasterebene stehende Betrachtungsrichtung zu erreichen, wird durch die Lupe (4) das Bild ins Unendliche verlagert, denn der Bezugsraster befindet sich im Brennpunkt der Lupe. Für die Beleuchtung ist eine 50 W-Halogenlampe ausreichend. Eine stärkere Lampe ist über einen Stelltransformator zu betreiben, mit dem die Beleuchtungsstärke einstellbar ist. Bei der in den Bildern 3 und 4 gezeigten Ausführung

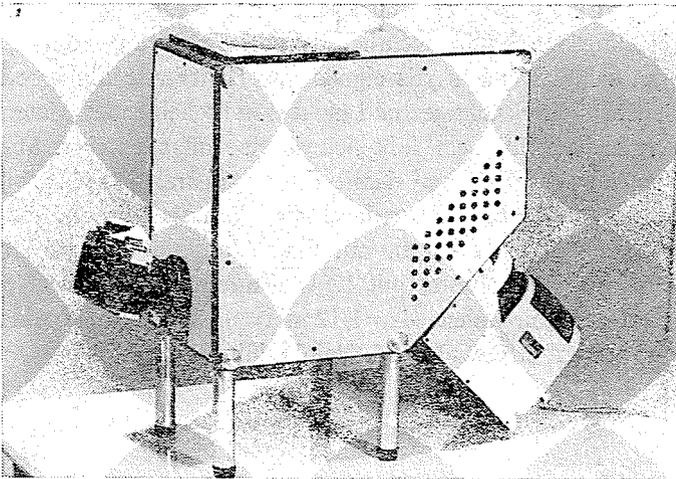
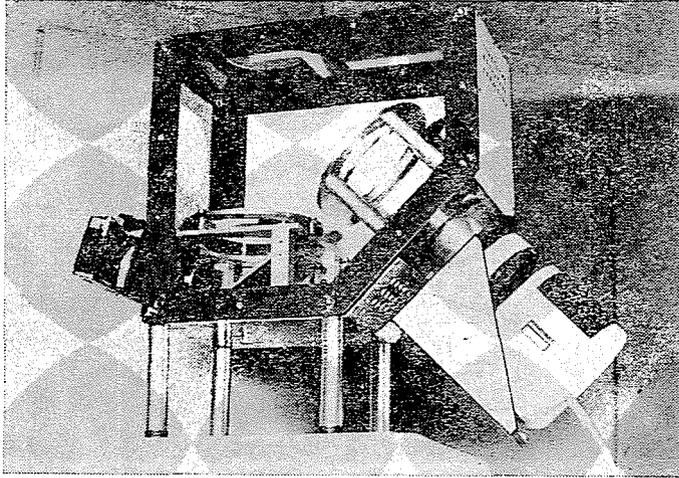


Bild. 3. Ebenheitsprüfgerät



*Bild. 4.* Einblick in das Prüfgerät

dient der kompakte Kleinbild-Diaprojektor H50 als Lichtquelle. Damit eine fotografische Registrierung ermöglicht wird, ist der Einblicktubus mit einem Gewinde (M 49×0,75) versehen zum Anschluß an das Filtergewinde des Fotoobjektivs einer Spiegelreflexkamera.

### 5. Erfahrungen

Mit dem vorgestellten Gerät ist es möglich, sowohl bleibende Abweichungen von der Ebenheit, wie sie entweder bei der Fertigung der Oberfläche oder durch plastische Verformung entstanden sein könnten, zu messen, als auch elastische Deformationen, wie sie unter Einwirkung äußerer Kräfte entstehen. Wegen der Schattenprojektion wird an die Prüflingsoberfläche eigentlich nur die Forderung gestellt, daß sie das Schattenbild gut sichtbar macht. Es eignen sich daher alle diffus reflektierenden, matte Oberflächen undurchsichtiger und nicht durchscheinender Materialien. Sollte diese Bedingung nicht erfüllt sein, läßt sich durch Auftragen einer Mattschicht die erforderliche optische Qualität und damit ein kontrastreiches Moirébild erreichen. Bild 5 zeigt die Moirélinien auf einer durch eine Punktlast deformierte Platte. Zur Erhöhung des Linienkontrasts war sie mit einer Aluminiumfarbe besprüht worden. Bei dem verwendeten Bezugsraster mit 12 Linien/mm beträgt die Höhendifferenz zweier benachbarter Moirélinien  $\Delta z = 1/12 \text{ mm} = 0,083 \text{ mm}$ . Die Aufnahmen von Bild 5 und 6 wurden auf ORWO NP 15 Kleinbildfilm gemacht.

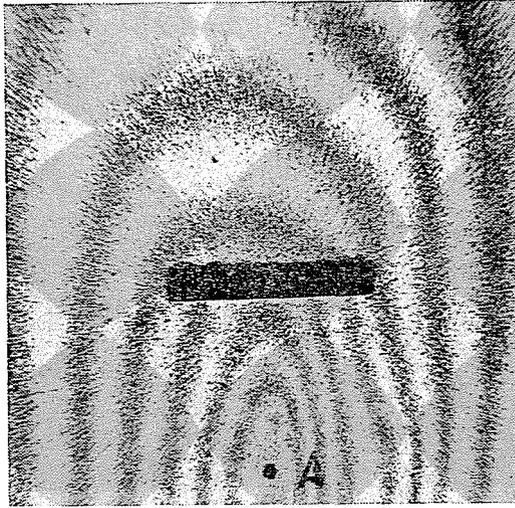


Bild. 5. Meßaufnahme einer durch Punktlast plastisch verformten Platte  
(Raster:  $p=1/12$  mm)

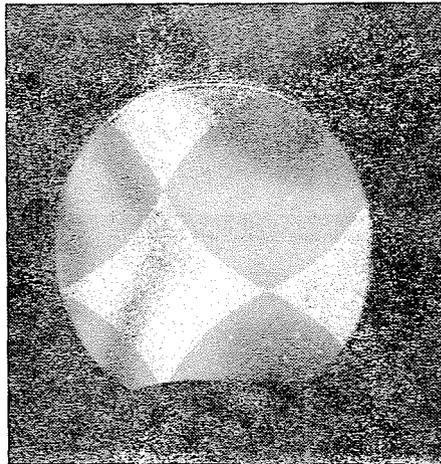
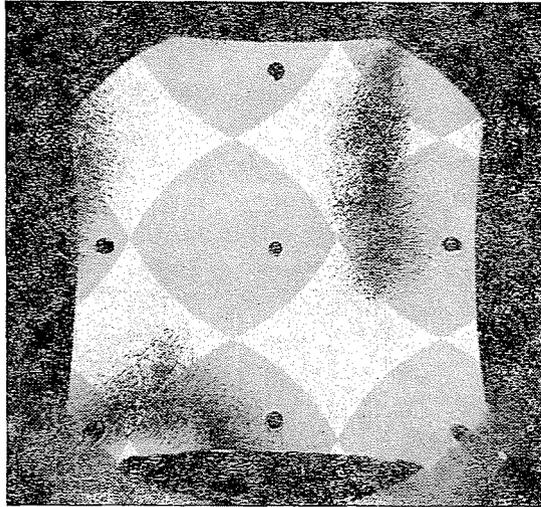


Bild. 6. Meßaufnahme einer  $1\frac{1}{2}$ ," Si-Scheibe (Raster:  $p=1/50$  mm)

## 6. Meßbereich

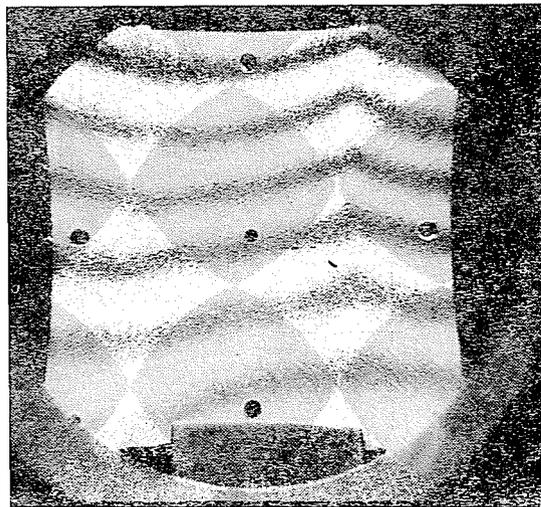
Der ausnutzbare Meßbereich hängt vom verwendeten Raster ab. Die kleinste auswertbare Ebenheitsabweichung entspricht im allgemeinen der Rasterteilung. Bei sehr geringen Ebenheitsabweichungen, wie sie die Platte im Bild 7 aufweist, kann durch geringfügiges Ankippen des Prüflings die Empfindlichkeit auf etwa  $1/4$  der



*Bild 7.* Platte mit geringer Ebenheitsabweichung

Rasterteilung gesteigert werden. Bei einer geneigten, aber ideal ebenen Prüflingsfläche sind die Moirélinien parallele Geraden. Eine Abweichung von der Geraden (Bild 8) entspricht einer Abweichung von der Ebenheit der Prüffläche.

Als größte auswertbare Ebenheitsabweichung kann mindestens das 10-fache der Rasterteilung angesehen werden, dieser Wert hängt u.a. von der Neigung der Prüflingsoberfläche ab. Je steiler die Neigung, desto mehr verschmelzen die Moirélinien miteinander und sind nicht mehr auswertbar.



*Bild 8.* Verdeutlichung der Ebenheitsabweichung gegenüber Bild 7 durch leichte Plattenneigung

## 7. Bezugsraster

Das wichtigste Element des Ebenheitsprüfgerätes ist der Bezugsraster. Einerseits stellt er mit seiner Teilung die Maßverkörperung für die Ebenheitsabweichung dar und andererseits dient er mit seiner Oberfläche als Ebenheitsnormal. Aus diesem Grund werden an die Ebenheit des Teilungsträgers entsprechend der Meßempfindlichkeit (Rasterteilung) hohe Anforderungen gestellt. Bei der Ebenheitsprüfung nach dem Schattenmoiréverfahren wird der Bezugsraster mit dem Prüfling direkt in Kontakt gebracht. Durchbiegung des Rasters aufgrund der Auflage- oder Andrückkraft gehen als Meßfehler ein. Um die Durchbiegung dünner Rasterplatten zu verhindern, hat das Ebenheitsprüfgerät eine 4 mm starke planparallele Glasplatte als Unterlage für die Rasterplatten. Praktisch verwendbar sind Raster ab 1 Linie/mm bis zu 50 Linien/mm (bei Bild 6 verwendet), was eine Höhendifferenz zwischen zwei benachbarten Moirélinien von  $\Delta z = 20 \mu\text{m}$  bedeutet. Dieser Raster wurde wie eine Chromschablone für die Schaltkreistechnologie hergestellt. Weitere Methoden der Rasterherstellung werden in (3) beschrieben.

## 8. Zusammenfassung

Das beschriebene Prüfgerät arbeitet nach dem Schattenmoiréverfahren und liefert unter Verwendung eines Linienrasters, dessen Oberfläche gleichzeitig als Ebenheitsnormal dient, Meßbilder mit Moirélinien. Diese sind Höhenschichtlinien und können wie die Höhenlinien einer Landkarte sofort Auskunft über das „Geländeprofil“ der Prüflingsoberfläche geben. Die Meßempfindlichkeit hängt nur von der Rasterteilung ab. Das Gerät ist als kompaktes Tischgerät aufgebaut.

## Literatur

1. A. HOLFELD: Untersuchung der Biegespannungen an dünnwandigen Bauteilen. Feingerätetechnik 31 (1982) 2, S. 61—62.
2. A. HOLFELD: Messung der Verformung von Bauteilen mit Hilfe des Moiré-Effekts. Feingerätetechnik 27 (1978) 5, S. 211.
3. W. VOCKE, K. ULLMANN: Experimentelle Dehnungsanalyse, Leipzig (1974), VEB Fachbuchverlag.
4. Z. TURI, K. WENZEL: Anwendung der Moiré-Methode bei der Untersuchung und Messung der Oberflächengestalt, Gestaltfehler und Gestaltveränderungen. Techn. Univ. Budapest, Institut für Feinmechanik/Optik (1986), unveröffentlichter Vortrag.
5. K. FETHKE, u. a.: Moiré-Verfahren zur Vermessung von Oberflächen. Schiffbau Forschung 25 (1986) 4, S. 253—258.