

0-B

**EINIGE ANWENDUNGEN DER HOLOGRAFISCHEN INTERFERO-  
METRIE IN DER VERFORMUNGSANALYSE**

**Dr.-Ing. Günther Wernicke, Akademie der Wissen-  
schaften der DDR, Zentralinstitut für Mathematik  
und Mechanik Berlin**

Einige Anwendungen der holografischen  
Interferometrie in der Verformungsanalyse

G. Wernicke (Berlin, DDR)

Zusammenfassung

Die holografische Interferometrie wird in der heutigen Zeit bereits in vielen Gebieten der Spannungsanalyse eingesetzt. Im vorliegenden Beitrag werden einige Anwendungsbeispiele beschrieben. An einsatzgehärteten Kreisscheiben wird der Einfluß der Einsatzhärtetiefe auf den Beginn des plastischen Fließens untersucht. An einer inhomogenen Platte wird untersucht, wie sich die Inhomogenitäten auf die Schwingungsformen auswirken. Für piezoelektrische Aufnehmer werden Eichwerte aus den hologramminterferometrisch gemessenen Schwingungsamplituden gewonnen. Schließlich wird beschrieben, wie sich die holografische Interferometrie zur Bestimmung von Eigenspannungen anwenden läßt.

Summary

At present holographic interferometry has got wide use in many areas of stress and strain analysis. In the submitted paper some examples of applications are described. For casehardened circular disks the dependence of the casehardening on the beginning of the plastic deformations is examined. The vibrations of an inhomogeneous plate are investigated and the influence of the inhomogenities on the vibration modes is measured. Calibration values for piezoelectric transducers were evaluated by holographic measured vibration amplitudes. Finally a method for measuring residual stresses is described.

## Einige Anwendungen der holografischen Interferometrie in der Verformungsanalyse

G. Wernicke (Berlin, DDR)

### 1. Einleitung

Die holografische Interferometrie hat als moderne Methode der Spannungs- und Verformungsanalyse ihre Anwendbarkeit in verschiedenen Gebieten bewiesen. Mit ihr ist es möglich, Informationen über den Verformungszustand an der Oberfläche eines Körpers zu erhalten. Derartige Untersuchungen können an Flächen beliebiger Form und Beschaffenheit, berührungslos und mit großer Empfindlichkeit durchgeführt werden. Im vorliegenden Beitrag werden einige Beispiele für Anwendungen gegeben, bei denen mechanische Probleme mit Hilfe der holografischen Interferometrie entweder einfacher oder genauer als mit anderen Methoden gelöst werden konnten.

### 2. Ermittlung plastischer Deformationen

Zur Verbesserung der Eigenschaften von Konstruktionselementen bei Beanspruchung durch Wälz-Gleit-Verschleiß werden diese in vielen Fällen einsatzgehärtet. Als Beitrag zur Ermittlung der optimalen Einsatzhärtetiefe an Stahlproben wurden Kreisscheiben, die am Umfang einsatzgehärtet waren, auf diametralen Druck belastet und die Verformungen ermittelt [1]. Der Beginn des plastischen Fließens konnte mit der real-time-Methode der holografischen Interferometrie bestimmt werden.

Von jedem Probekörper wurde bei einer geringen Vorlast ein Hologramm aufgenommen. Anschließend wurde der Probekörper belastet. Bild 1 zeigt einen Überblick über den Versuchsaufbau. Unter der Belastung deformierte sich der Probekörper und es wurden Interferenzstreifen beobachtet. Diese verschwanden jedoch wieder, wenn die Belastung bis zur Vorlast zurückgenommen wurde, solange nur elastische Deformationen auftraten. Gesamt-

verschiebungen des Versuchsaufbaus konnten zwar zu bleibenden Interferenzstreifen führen, diese ließen sich jedoch durch Justierung des Hologramms (Drehung um seine Achse und Verschieben in seiner Ebene) zum Verschwinden bringen.

Schrittweise wurde nun die Belastung um je 50 N erhöht und wieder bis zur Vorlast zurückgenommen, bis bei Erreichen einer plastischen Verformung auch nach der Entlastung bleibende Interferenzstreifen beobachtet werden konnten. In Bild 2a bis d sind die einzelnen Schritte eines solchen Versuchs dargestellt. Bild 2a zeigt die "real-time"-Interferenzen bei einer Belastung im elastischen Bereich. Im Bild 2b ist die Belastung gegenüber der im Bild 2a erhöht. Bild 2c zeigt die Interferenzstreifen, die nach der Entlastung bis zur Vorlast verblieben. Sie sind zum größeren Teil auf Verschiebungen der Scheibe als starrer Körper zurückzuführen. Im Bild 2d sind schließlich die nach dem Justieren des Hologramms verbliebenen Interferenzstreifen zu erkennen, die infolge der plastischen Verformung auftraten.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigt Bild 3. Hier ist die Abhängigkeit des Fließbeginns von den Härtingsbedingungen deutlich erkennbar. In Abhängigkeit von der Härtetiefe wächst die Grenzbelastung. Dabei strebt sie einer oberen Grenze zu, oberhalb derer eine weitere Erhöhung der Einsatzhärtetiefe keinen Einfluß mehr hat.

### 3. Schwingungsanalyse einer inhomogenen Platte

Mit einer Verbindung der time-average- und der real-time-Methode der holografischen Interferometrie wurde das Schwingungsverhalten einer zweiseitig eingespannten Rechteckplatte untersucht [2]. Das Material der Platte war reines Eisen, das durch mehrmaliges Walzen und Rekristallisationsglühen relativ große Kristallite mit unterschiedlicher Orientierung gebildet hatte. Diese Platte wurde durch einen magnetischen Erreger in Schwin-

gungen versetzt. Die Erregerschwingungen lieferte ein Sinusgenerator, dessen Ausgangssignal mit einem Leistungsverstärker verstärkt wurde. Die Erregerfrequenz wurde mit einem Universalzähler gemessen. Ein Hologramm der ruhenden Platte wurde aufgenommen und eine real-time-Beobachtung durchgeführt. Die Interferenzstreifen bei Schwingung in einer Resonanzfrequenz hatten jedoch nur einen geringen Kontrast und es war nicht möglich, die Frequenz, bei der die Maximalamplitude auftrat, exakt zu bestimmen. Deshalb wurde das Hologramm der real-time-Beobachtung um einen kleinen Winkel verdreht und so ein Feld paralleler Interferenzstreifen im Bild erzeugt. War die Erregerfrequenz in der Nähe einer Resonanzfrequenz, begannen sich diese Streifen zu bewegen und wurden bei größeren Amplituden völlig verwischt. Mit dieser Methode wurden 45 Resonanzfrequenzen bis über 20 kHz auf ca. 1 Hz reproduzierbar ermittelt. Die Schwingungsformen wurden nach der Bestimmung der Resonanzfrequenzen jeweils durch ein time-average-Hologramm aufgezeichnet.

Bild 4 zeigt den Einfluß der Kristallite auf die Schwingungsformen. Wenn die Abstände zwischen den Knotenlinien in der Größenordnung der Kristallite waren, wurden die Schwingungsformen deutlich unsymmetrisch. In diesem Bild ist außerdem zu erkennen, daß bei höheren Frequenzen die Knotenlinien unterbrochen sind und die Schwingungsbäuche ineinander übergehen. Diese Beobachtung stimmt überein mit der Tatsache, daß Bleche mit Textur eine Deformation der Chladnischen Klangfiguren, die den Knotenlinien einer schwingenden Platte entsprechen, zeigen. Eine vollständige Information über die Textur ist daraus allerdings noch nicht ableitbar.

#### 4. Anwendung der time-average-Methode zur Eichung von piezoelektrischen Schwingungsaufnehmern

Zur Auswertung von Schwingungsuntersuchungen war es notwendig, die mit piezoelektrischen Aufnehmern gemessenen mechanischen Schwingungsamplituden möglichst genau zu kennen. Da bei Messungen mit elektronischen Meßgeräten Einflüsse von Kabelkapazitäten und Eingangswiderständen möglich sind, wurden die elektronischen Eichkonstanten mit der holografischen Interferometrie überprüft [3].

Eine Stahlplatte wurde an einer Seite eingespannt und an ihrer freien Seite wurde ein piezoelektrischer Aufnehmer angeklebt. Dann wurden mit der time-average-Methode die Resonanzfrequenzen der Platte ermittelt und jeweils für eine Frequenz bei verschiedener Schwingungsamplitude sowohl die Aufnehmerspannung gemessen als auch ein time-average-Hologramm aufgenommen. Aus dem rekonstruierten Bild wurde die mechanische Schwingungsamplitude am piezoelektrischen Aufnehmer ermittelt, indem die Interferenzordnung am Ort des Aufnehmers bestimmt wurde.

Im Bild 5 ist die Abhängigkeit der mechanischen Schwingungsamplitude von der Frequenz bei konstanter Spannung des Ausgangssignals dargestellt.

#### 5. Messungen von Eigenspannungen

Bei der Bestimmung von Eigenspannungen werden häufig die zu untersuchenden Körper auf einer Seite abgefräst oder abgeätzt, und die durch die ausgelösten Eigenspannungen aufgetretenen Deformationen gemessen. Auch zur Ermittlung dieser Deformationen konnte die holografische Interferometrie herangezogen werden [4].

An einem quaderförmigen Probekörper aus Stahl, der an einer Seitenfläche auf 1 mm Tiefe einsatzgehärtet war, wurde mit Hilfe der real-time-Methode die Eigenspannungsverteilung bestimmt. Die Abmessungen des Probekörpers waren 20 x 19 x 5,4 mm, die der einsatzgehärteten

Seitenfläche 20 x 19 mm. Die dieser Schicht gegenüberliegende Seite wurde schrittweise abgefräst. Von der unbearbeiteten Probe wurde ein real-time-Hologramm hergestellt. Danach wurde der Probekörper aus seiner Halterung genommen und eine Schicht von ca. 0,1 mm abgefräst. Zur Beobachtung der Deformationen in real-time war es notwendig, den Körper wieder möglichst genau zu repositionieren. Aus den Interferenzstreifen wurden die Krümmungsänderungen des Probekörpers und aus diesen dann die Eigenspannungen ermittelt. Den gesamten Versuchsaufbau zeigt Bild 6. Eine typische Interferenzstreifenaufnahme nach Abfräsen von 0,62 mm zeigt Bild 7. Im Bild 8 sind die Ergebnisse dieser Untersuchung dargestellt.

Das Abfräsen konnte nur bis in die Nähe der einsatzgehärteten Schicht erfolgen, ein Eindringen in diese Schicht war nicht möglich.

Ein Vorteil dieses Verfahrens ist die Möglichkeit, einen Überblick über die gesamte untersuchte Fläche zu erhalten. Es ist keine Bearbeitung der Oberfläche notwendig und kein Aufkleben von Dehnungsmeßstreifen. Außerdem erfolgt die Messung berührunglos.

## 6. Zusammenfassung

Abschließend kann festgestellt werden, daß die bisherigen Anwendungen der holografischen Interferometrie in der experimentellen Festkörpermechanik bewiesen haben, welche große Bedeutung dieses Verfahren neben den klassischen optischen Verfahren Spannungsoptik und Moiré-Verfahren erlangt hat.

## Literatur:

- [1] Wernicke, G.: Ermittlung von Verformungszuständen mit der holografischen Interferometrie. Feingerätetechnik 26 (1977) S. 79-82
- [2] Wernicke, G.: Untersuchung von Schwingungen einer inhomogenen Platte mit Hilfe der holografischen Interferometrie. Feingerätetechnik (erscheint 1977)
- [3] Wernicke, G., Meschkat, W.: Eichung von piezoelektrischen Schwingungsaufnehmern mit einer hologramminterferometrischen Methode. radio fernsehen elektronik (erscheint 1977)
- [4] Wernicke, G., Träger, J.: Ermittlung von Eigenspannungen mit Hilfe der holografischen Interferometrie. Maschinenbautechnik (erscheint 1977)

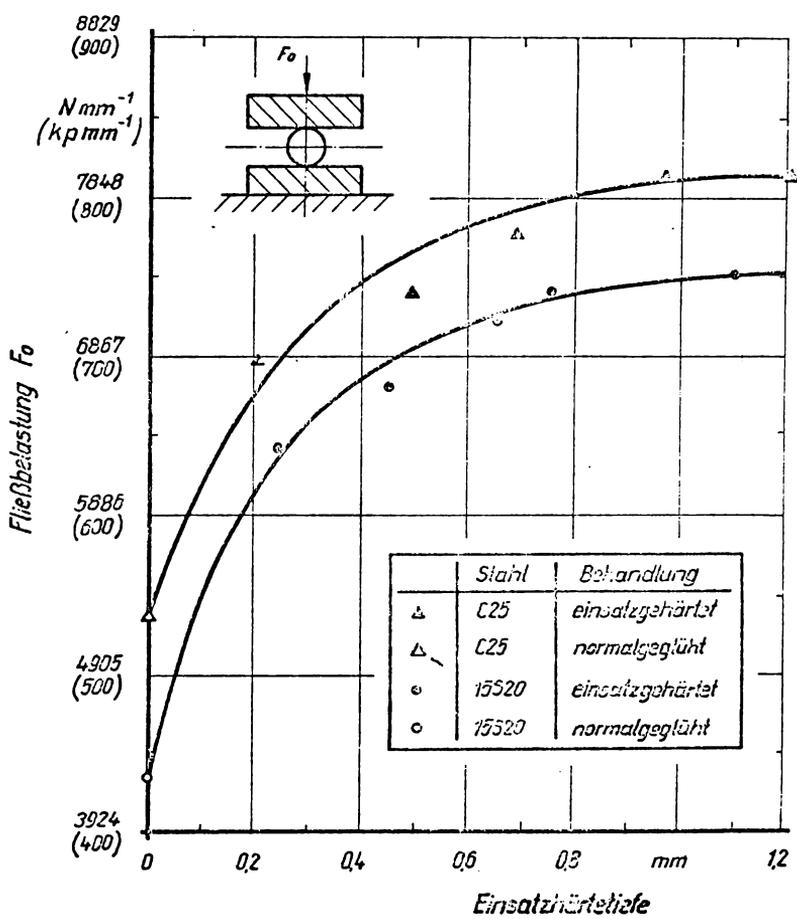
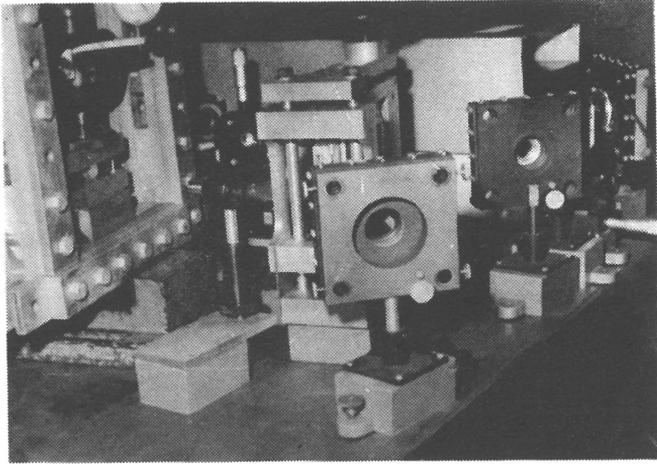
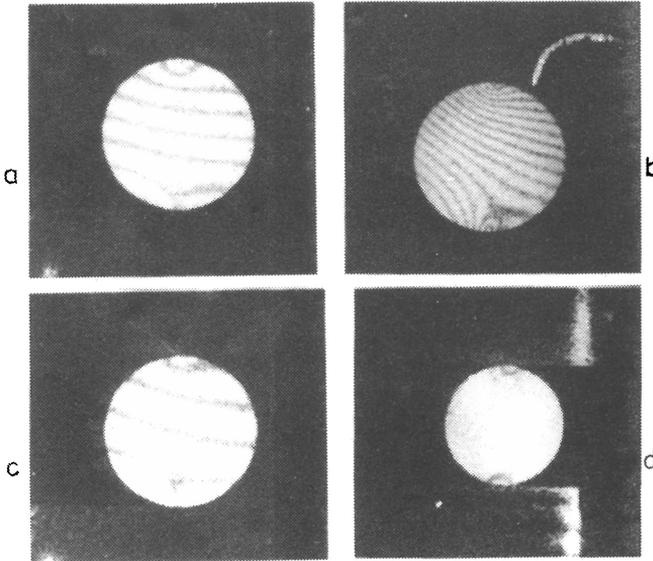


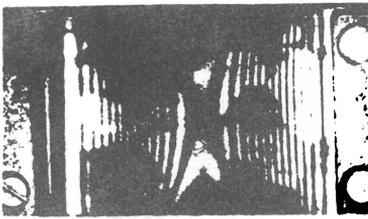
Bild 3: Abhängigkeit des Fließbeginns von der Einsatzhärtetiefe



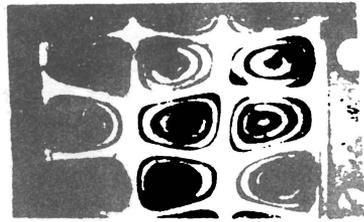
**Bild 1:** Versuchsaufbau zur Messung des Einflusses  
Einsatzhärtetiefe auf den Beginn des  
statischen Fließens



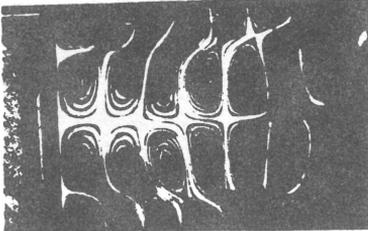
**Bild 2:** Real-time-Interferenzstreifen an  
der diametral gedrückten Kreisscheibe



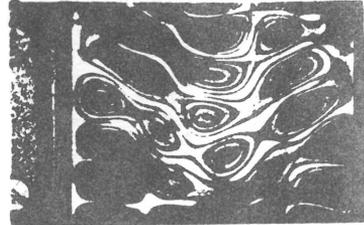
0,479 kHz



9,575 kHz



17,332 kHz



18,140 kHz

Bild 4: Einfluß der Kristallite auf die Schwingungsformen einer zweiseitig eingespannten Platte

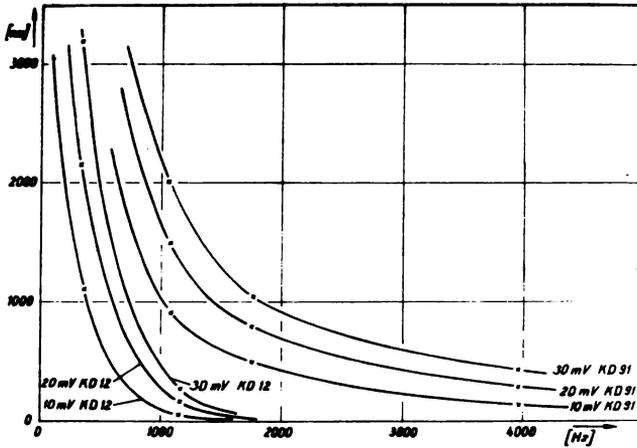


Bild 5: Abhängigkeit der mechanischen Schwingungsamplitude von piezoelektrischen Aufnehmern von der Frequenz

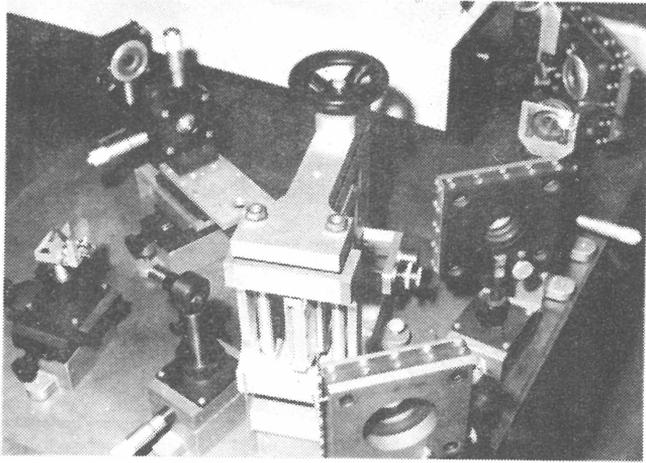


Bild 6: Versuchsaufbau zur Bestimmung von Eigenspannungen mit der holografischen Interferometrie

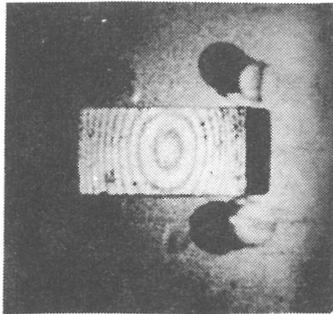


Bild 7: Interferenzstreifen am Probekörper nach dem Abfräsen einer Schicht von 0,62 mm Dicke

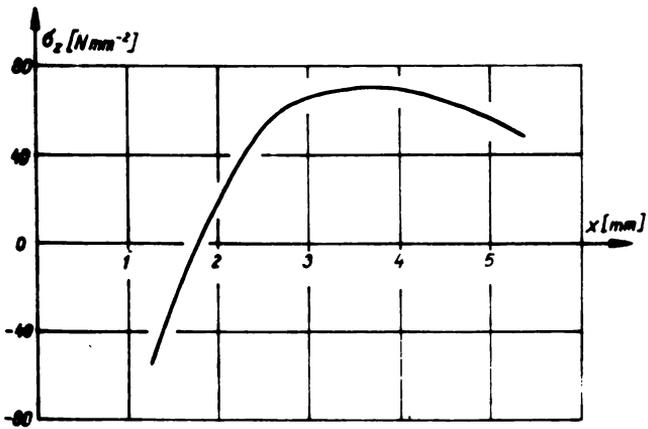


Bild 8: Eigenspannungsverteilung am untersuchten Probekörper