

Ein neuer optischer Sensor zur vergleichenden Form- und Verformungsprüfung

W. Osten, T. Baumbach, W. Jüptner

Der in diesem Beitrag vorgestellte Sensor ermöglicht den Vergleich in Form und Verformung zweier nominell identischer aber physisch unterschiedlicher Objekte. Der Sensor beruht auf einer neuartigen kohärenten Technik, die beim Nachweis von Form- und Formänderungsabweichungen an technischen Objekten mit unterschiedlicher Mikrostruktur interferometrische Auflösung gewährleistet. Durch die Kombination von Prinzipien bereits bekannter Messverfahren [1-3] entsteht mit der *Vergleichenden Digitalen Holografie* (CDH) [4,5] ein flexibles Prüfverfahren, das die Grundlage bildet für den kohärenten Vergleich nominell identischer Objekte, deren gleichzeitige physische Präsenz am Ort des Vergleichs nicht erforderlich ist. Diese wichtige Besonderheit des Verfahrens resultiert aus der Tatsache, dass sich die mittels digitaler Holografie aufgezeichnete vollständige 3-dimensionale optische Information eines beliebigen Objekts präzise und schnell über digitale Datennetzwerke transportieren lässt. Damit können digital gespeicherte Wellenfronten eines realen Objekts an beliebigen Orten sowohl rekonstruiert als auch für den messtechnischen Vergleich zur Verfügung gestellt werden (*remote metrology*). Hervorzuheben ist, dass es sich nicht um numerisch erzeugte synthetische Hologramme, sondern um Hologramme realer technischer Objekte handelt.

Ein zentrales Moment dieser neuartigen Sensorlösung ist die Verbindung von moderner Messmethodik mit Prinzipien und Technologien der aktiven Optik. Die Vergleichende Digitale Holografie macht sich die Technologie moderner räumlicher Lichtmodulatoren (LCD, DMD) und Mikrodisplays (LCOS) zunutze. Das zuvor aufgezeichnete digitale Hologramm des Musterobjekts (s. Bild 1a) wird in einen geeigneten Lichtmodulator eingeschrieben und durch dessen kohärente Beleuchtung auf dem Testobjekt rekonstruiert. Von dem so beleuchteten Testobjekt wird erneut ein Hologramm aufgezeichnet (s. Bild 1b). Die Interferenzphase zweier Zustände der schließlich rekonstruierten digitalen Hologramme des Testobjekts stellt dann lediglich die Form- bzw. Verformungsdifferenz zwischen Muster- und Testobjekt dar. Auf diese Weise lassen sich in Prozess-Echtzeit Inspektionsergebnisse und Qualitätsaussagen auch an komplexen Prüfobjekten erzielen.

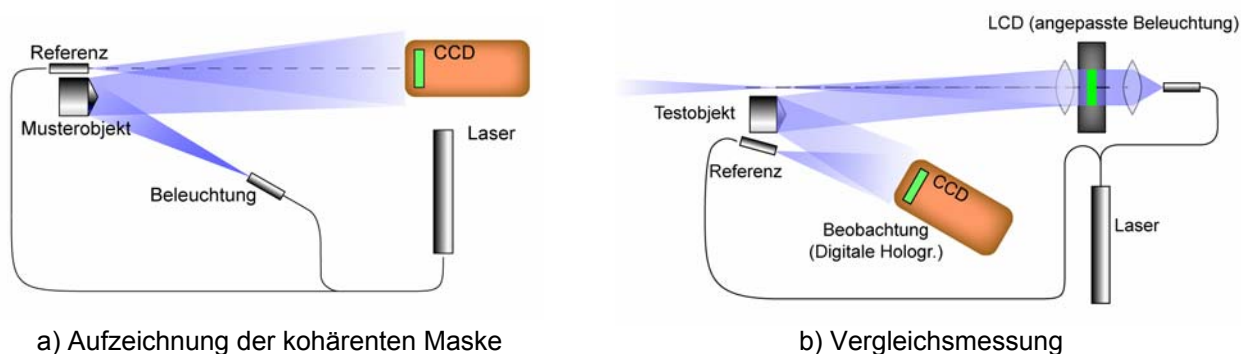


Bild 1: Prinzipdarstellung der Vergleichenden Digitalen Holografie

Der Vorteil bei der Beleuchtung des Testobjektes mit den jeweilig rekonstruierten Hologrammen des Musterobjekts besteht darin, dass die statistischen Phasenterme, welche durch die Mikrostruktur eines Objektes entstehen, eliminiert werden. Die aufgrund der unterschiedlichen Mikrostruktur der Vergleichsobjekte ansonsten bildstörenden Dekorrelationserscheinungen entfallen somit und lediglich die „makroskopischen“ Unterschiede zwischen den Objekten gelangen zur Anzeige. Der Messbereich dieser Methode liegt bei den angezeigten Formdifferenzen je nach verwendeter synthetischer Wellenlänge zwischen $1\mu\text{m}$ und einigen hundert μm und bei Verformungsdifferenzen zwischen 50nm und $10\mu\text{m}$.

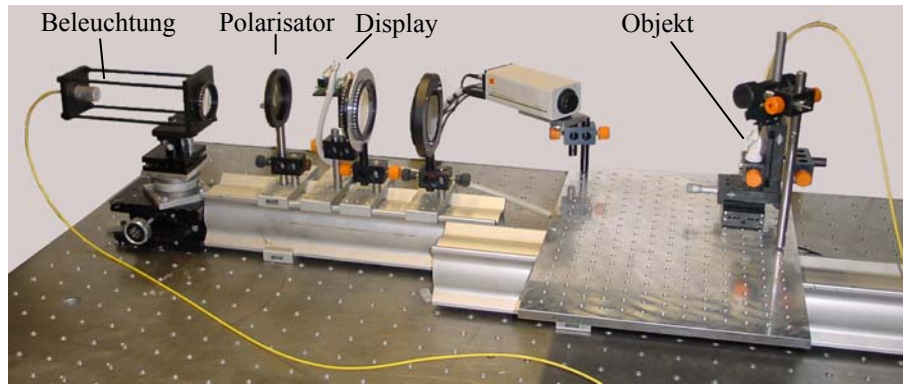


Bild 2: Versuchsaufbau zur Vergleichenden Digitalen Holografie

Das Ergebnis einer konventionellen kohärent-optischen Formvermessung und eines mittels des in Bild 2 dargestellten Versuchsaufbaus durchgeführten Formvergleichs von Muster- und Testobjekt mittels Vergleichender Digitaler Holografie zeigt beispielhaft Bild 3. Es handelt sich bei den Objekten um einen zylindrischen Kegel als Musterobjekt (3a) und einen zylindrischen Kegel mit Fehlern als Testobjekt (3b). Im Ergebnis der konventionellen Formvermessung (3c) lassen sich die Fehler nur sehr undeutlich anhand der Konturlinien erkennen. Bild 3d, das durch die kohärente Beleuchtung des Vergleichsobjekts mit der entsprechenden konjugierten Wellenfront des Musterobjekts zustande kommt, zeigt hingegen deutlich die Abweichungen zwischen den beiden Vergleichsobjekten.

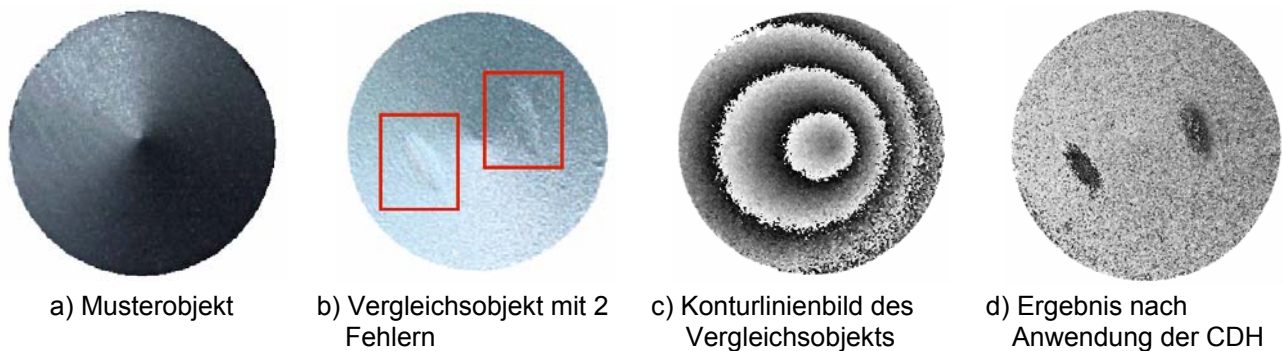


Bild 3a-d: Vergleich zwischen konventioneller kohärent-optischer Formvermessung und Vergleichender Digitaler Holografie

Für den praktischen Einsatz der CDH-Technik ist neben der diskutierten Robustheit des Verfahrens gegen Repositionierfehler vor allem deren Empfindlichkeit ausschlaggebend, mit der Unterschiede zwischen Muster- und Testobjekt nachgewiesen werden können. Die Flexibilität des aktiven Messprinzips erlaubt es hier, sowohl die synthetische Wellenlänge im Fall des Formvergleichs als auch die Objektbelastung im Fall des Verformungsvergleichs dynamisch und rückgekoppelt anzupassen.

Der Sensor zur vergleichenden Form- und Verformungsprüfung weist ein sehr breites Spektrum möglicher Einsatzgebiete auf, die insbesondere auf eine weltweit verteilte Produktion Bezug nehmen. Anwendungsmöglichkeiten des Verfahrens lassen sich in der Keramik- und Feinmechanikindustrie, der Optikfertigung und in der Biologie erkennen.

- [1] D.B. Neumann: *Comparative holography*. Tech. Digest, Topical Meeting on Hologram Interferometry and Speckle Metrology, Paper MB2-1, Opt. Soc. Am. (1980)
- [2] U. Schnars, W. Jüptner: Digitale Holografie - ein neues Verfahren der Lasermesstechnik. *Laser und Optoelektronik* 5 (1994) 26, AT-Fachverlag, Stuttgart, S. 40-45
- [3] C. Wagner, W. Osten, S. Seebacher: Direct Shape Measurement by Digital Wavefront Reconstruction and Multi-Wavelength Contouring. *Opt. Eng.* 39 (2000) 1, 79-85
- [4] W. Osten, Th. Baumbach, W. Jüptner: Comparative Digital Holography. *Optics Letters*, 27(2002)20, 1764-1766
- [5] W. Osten, Th. Baumbach, W. Jüptner: A new sensor for remote interferometry. *Proc. SPIE Vol.* 4596(2001)158-168