

Heterodyn-Speckle-Interferometrie zur Schwingungsmessung

G. Jahn, H.J. Tiziani

Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart

Pfaffenwaldring 9, D 7000 Stuttgart 80

Einleitung

Die gebräuchlichsten Messverfahren auf dem Gebiet der optischen Schwingungs- und Verformungsmesstechnik sind die holographische Interferometrie, die (elektronische) Speckle-Interferometrie und die Laser-Doppler-Velocimetrie /1/,/2/. Mit den beiden erstgenannten Verfahren können Schwingungsamplituden oder Verformungen an Flächen gemessen werden, mit dem letztgenannten Verfahren der zeitliche Verlauf der Geschwindigkeit an einem Punkt des Messobjekts. Eine Kombination aus Speckle-Interferometrie und Doppler-Velocimetrie ermöglicht die Messung von Schwingungen bzw. Geschwindigkeiten an rauen Oberflächen an mehreren Punkten gleichzeitig. Wir nennen dieses Verfahren Heterodyn-Speckle-Interferometrie.

Das Messprinzip ist das der Laser-Speckle-Interferometrie, die durch Einführung einer Lichtfrequenzverschiebung im Referenzstrahl dynamisiert wird. Dem Speckle-Bild des Messobjekts wird die Referenzwelle überlagert, gemessen wird die Frequenz der Intensitätsänderung an bestimmten Punkten des Bildes. Diese Frequenz $f(t)$ ist die Summe aus der konstanten Frequenzverschiebung f_r im Referenzstrahl und der Dopplerverschiebung des Lichts aus dem zugehörigen bewegten Oberflächenelement. Die Geschwindigkeit ist dann $v(t) = f(t) \cdot \lambda / 2 = (f(t) - f_r) \cdot \lambda / 2$, man erhält die Geschwindigkeitskomponente in Beobachtungsrichtung an den Stellen des Objekts, an denen im Bild die Frequenz gemessen wird. Die Verformung ergibt sich durch Integration der Geschwindigkeit, ausgehend vom Zustand bei Beginn der Frequenzmessung.

Messaufbau

Der Aufbau des Heterodyn-Speckle-Interferometers ist in Abb. 1 schematisch dargestellt. Das Licht eines 15 mW He-Ne-Lasers wird durch ein rotierendes Radialphasengitter /3/,/4/ in Beleuchtungs- und Referenz-

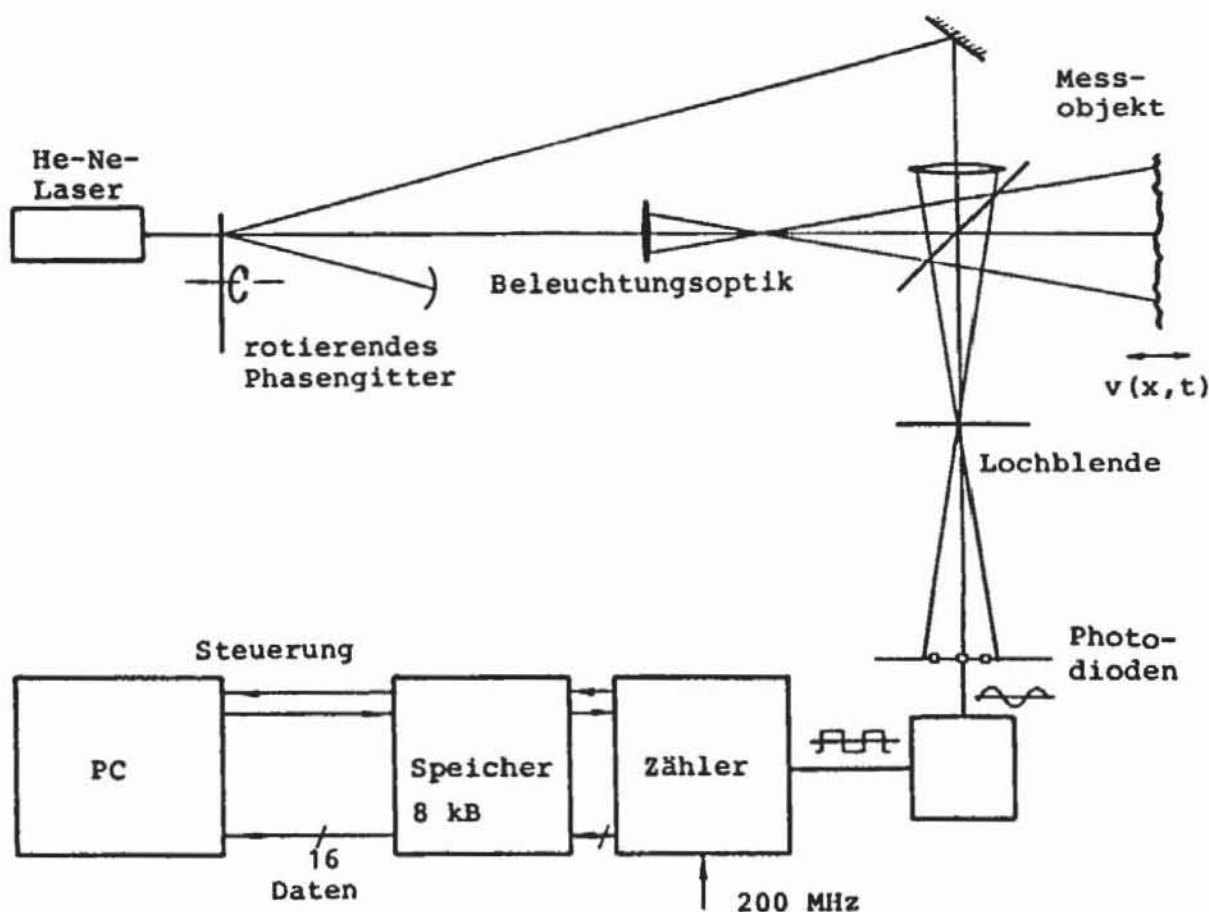


Abb. 1. Schematischer Aufbau des Heterodyn-Speckle-Interferometers

renzstrahl geteilt. Die Rotation des Gitters hat im gebeugten Licht eine Frequenzverschiebung zur Folge, deren Grösse gegeben ist durch Liniendichte des Gitters \times Umfangsgeschwindigkeit \times Beugungsordnung. Das verwendete Gitter ermöglicht eine Frequenzverschiebung zwischen 80 kHz und 4 MHz, der Geschwindigkeitsmessbereich ist somit ± 1.44 m/sec. Das ungebeugte Licht beleuchtet das Messobjekt, das mit einer Lochkamera abgebildet wird. In der Bildebene sind an den interessierenden Stellen PIN-Photodioden angebracht (lichtempfindliche Fläche $\approx 1 \text{ mm}^2$).

Es ist ein sehr kleines Öffnungsverhältnis nötig, damit die Speckles so gross werden, dass die mittlere Specklegrösse etwa gleich der Diodenfläche ist. Lügen mehrere Speckles in der Diodenfläche, so würde sich durch Mittelung das Nutzsinal verkleinern. Unter diesen Gegebenheiten erweist sich eine Lochkamera als ausreichend, weitere Abbildungsoptik ist nicht erforderlich.

Die Referenzwelle wird auf die Lochblende fokussiert, sie überdeckt

das ganze Bild des Objekts in der Ebene, in der sich die Photodioden befinden. Die Ausdehnung der Messfläche hängt von der zur Verfügung stehenden Laserleistung ab. Ein Laser mit 15 mW reicht für Flächenbeleuchtung nicht aus (bei Abstand Interferometer - Messobjekt etwa 20 cm, Objekt mit Reflexfolie), möglich ist linienförmige Beleuchtung (etwa 5 mW / cm) oder Aufspaltung des Strahls und Punktbeleuchtung nur der Messpunkte (etwa 7 mW pro Punkt).

Zur Signalauswertung, d.h. Frequenzmessung, dient ein Zählprozessor. Das Photodiodensignal wird verstärkt, bandpassgefiltert und in ein Rechtecksignal umgewandelt, dann misst der Zähler die Dauer einer Einzelperiode. Er ist in der Lage, die Dauer unmittelbar aufeinanderfolgender Perioden zu messen und zu speichern. Bei einer Taktfrequenz des Zählers von 200 MHz ist die Periodendauermessung bei 1 MHz Messfrequenz auf $\pm 0.5\%$ genau.

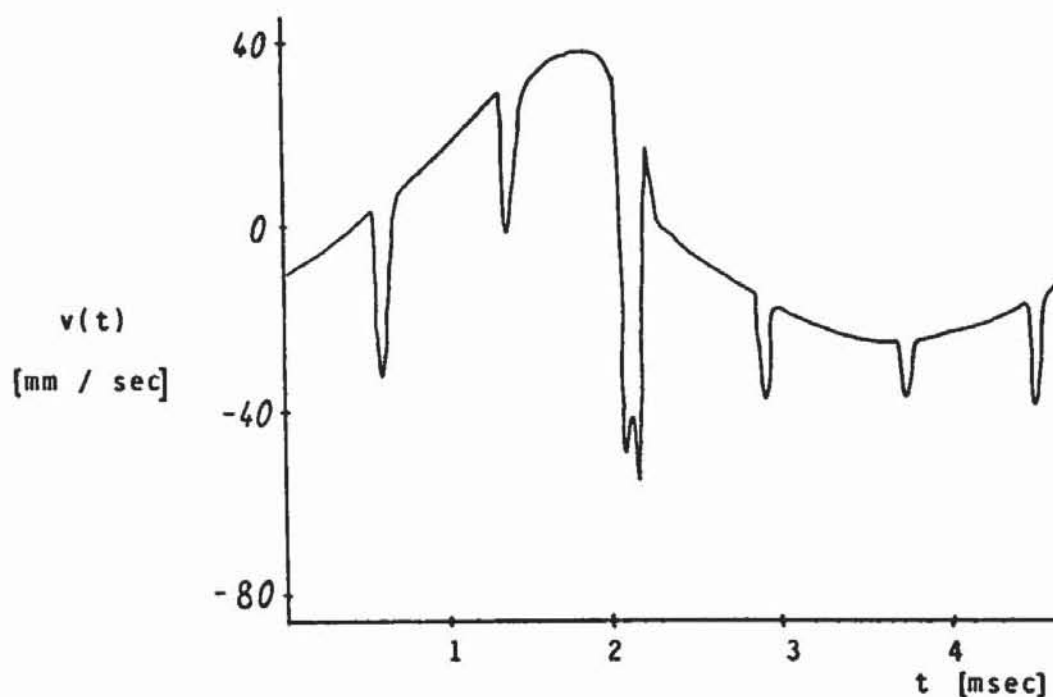
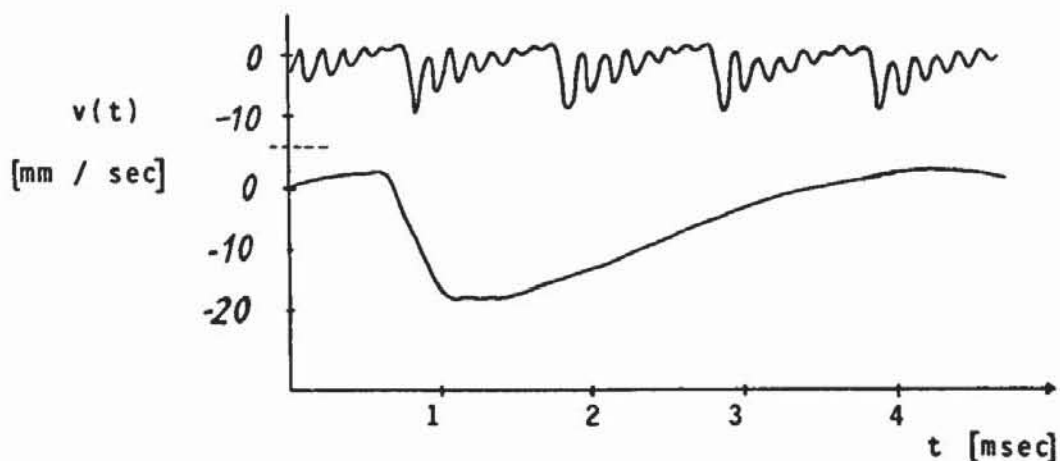
Ein Befehl des Rechners startet den Zählprozessor, die Messung endet nach 4000 Zählvorgängen, wenn der Speicher gefüllt ist. Die Zwischenspeicherung ist nötig, da der Zähler sehr viel schneller Daten liefert, als sie der Rechner einlesen kann. Aufgrund dieser Arbeitsweise des Zählprozessors lässt sich die Gesamtmesszeit T durch Wahl der Frequenzverschiebung variieren, es ist $T = 4000 / f$. Nach der Messung übernimmt der Rechner die gespeicherten Daten zur weiteren Bearbeitung.

Ein Anwendungsbeispiel

Ein typischer Anwendungsfall für die Heterodyn-Speckle-Interferometrie ist die Vermessung von Schwingungen von Lautsprechermembranen, Beispiele dafür sind in den Abbildungen 2 und 3 dargestellt (nächste Seite). Aufgetragen ist die Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit, die Messrate betrug 400 kHz, jeder Kurvenpunkt ist der Mittelwert aus 6 Messwerten.

Abb. 2 zeigt das Verhalten eines Lautsprechers bei unterschiedlichen Anregungen, bei der oberen Kurve mit Pulsen von 0.1 msec Dauer und 1 kHz Frequenz, bei der unteren mit Pulsen von 0.5 msec Dauer und 200 Hz Frequenz.

In Abb. 3 sieht man eine Sinusgrundschiwingung von 200 Hz, dabei schlägt die Membran gegen ein metallisches Hindernis, das zu Resonanzschwingungen angeregt wird und seinerseits die Membranbewegung stört.



Literatur

- /1/ R. Jones, C. Wykes : Holographic and Speckle Interferometry
Cambridge University Press 1983
- /2/ L.E. Drain : The Laser Doppler Technique
Wiley & sons, New York 1980
- /3/ W.H. Stevenson : Optical Frequency Shifting by Means of a Rotating
Diffraction Grating. Applied Optics 9 (1970), p. 649 - 52
- /4/ I. Peczei, P. Richter, F. Engard : Frequency Shifted Local
Oscillator Produced by a Rotating Radial Grating for a
Heterodyne Detector. Optica Acta 32 (1985), p. 463 - 68