

# Holographische Interferometrie zeitlich stationärer und instationärer Zustände

G. M. Neumann, U. Müller und E. Schmidt

OSRAM-Forschung, München

(Z. Naturforsch. 30 a, 1164–1165 [1975]; eingegangen am 24. Juni 1975)

## *Holographic Interferometry of Stationary and Instationary Processes*

The influence of instationary processes such as turbulences on the interference pattern of the well-known double-exposure technique for holography is shown. A new single-exposure technique is described which enables more detailed and direct information on instationarities in gas-flow. Examples are shown in which turbulences in gas-filled incandescent lamps can be detected by failure of the typical interference pattern when using the double-exposure technique or far better by direct appearance of black striations when using the single-exposure technique.

### 1. Einleitung

Die stationäre Dichte- resp. Temperaturverteilung in Gasen, speziell innerhalb von Glühlampen<sup>1,2</sup>, kann mit Hilfe von Laserstrahlen durch holographische Interferometrie sichtbar gemacht werden. Dabei findet eine Doppelbelichtungstechnik Anwendung, bei der eine Photoplatte zweimal belichtet wird: zunächst wird das Hologramm der Lampe im kalten Zustand und anschließend das der gleichen Lampe im Betriebszustand auf ein und derselben Photoplatte aufgenommen. Es entstehen zwei Hologramme zu verschiedenen Zeiten, die sich bei der Reproduktion überlagern, so daß Zustandsänderungen der aufgenommenen Lampe zwischen erster und zweiter Belichtung als Interferenzmuster sichtbar werden. Die Anwendung dieses Verfahrens auf eine „end-on“-Modellanordnung mit einem Glühdraht in der Achse eines horizontalen Zylinders ist unlängst von Fischer und Fitzgerald<sup>3</sup> beschrieben worden. Die Schwierigkeiten der Interpretation der „side-on“-Interferenzmuster von realen Lampen sind kürzlich von Neumann u. Mitarb.<sup>4</sup> diskutiert worden.

Im folgenden wird über den Einfluß von Instationaritäten in der Gasphase auf die nach der Doppelbelichtungstechnik erhaltenen Interferenzmuster berichtet und ein neues holographisches Verfahren – die Einfachbelichtungstechnik – zur Sichtbarmachung derartiger Instationaritäten beschrieben.

Sonderdruckanforderungen an Dr. G. M. Neumann, OSRAM-GmbH, D-8000 München 90, Postfach 900 620.

\* Abb. 1 bis 4 auf Tafel S. 1164 a, b.

### 2. Einfluß von Instationaritäten auf das Interferenzmuster der Doppelbelichtungstechnik

Voraussetzung für die Ausbildung eines scharfen Interferenzstreifenmusters bei der Doppelbelichtungstechnik der holographischen Interferometrie ist die Stationarität bei beiden Belichtungen. Insbesondere muß der in der brennenden Glühlampe entstehende Dichtegradient des Füllgases während der Belichtungszeit (im vorliegenden Fall eines He/Cd-Lasers mit 30 mW im Nullmodenbetrieb: 1–2 s) konstant sein. Im allgemeinen weisen die erhaltenen Hologramme von Glühlampen darauf hin, daß diese Voraussetzung erfüllt ist (s. a. Abb. 1 a\* und 3 a). Bei extremen Bedingungen, wie z. B. bei Inertgasen hohen Molekulargewichts (Xenon) bei hohem Fülldruck, kann man feststellen, daß die scharfen Interferenzlinien innerhalb der Lampe gebietsweise unscharf werden (Abb. 2 a und 3 a). Das Unschärfwerden bedeutet, daß die optischen Wege einzelner Teilstrahlen bei der zweiten Aufnahme nicht mehr stationär sind, daß also die Gasströmung innerhalb der betreffenden Bereiche turbulent geworden ist. Das Einsetzen von Turbulenz läßt sich aber allein aus der zunehmenden Unschärfe von Interferenzlinien nur schwer bemessen. Weitaus mehr Information liefert die holographische Einfachbelichtungstechnik.

### 3. Einfachbelichtungstechnik zur direkten Sichtbarmachung von Turbulenzen und instationären Vorgängen

Nimmt man das Hologramm einer Glühlampe, die im Betrieb einen stationären Dichtegradienten auf-



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitalized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

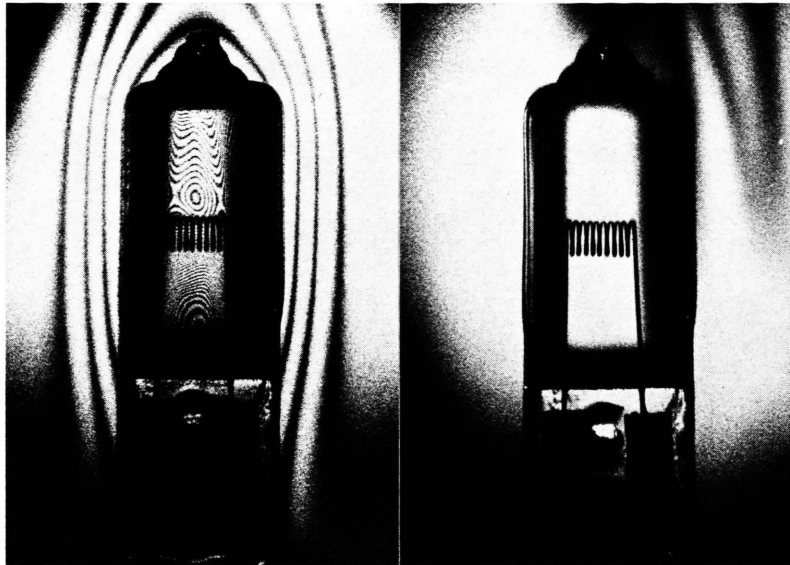


Abb. 1. Halogenglühlampe, 12 V/100 W, Fülldruck 7 bar, Xenon.  
a) Doppelbelichtungstechnik, b) Einfachbelichtungstechnik.

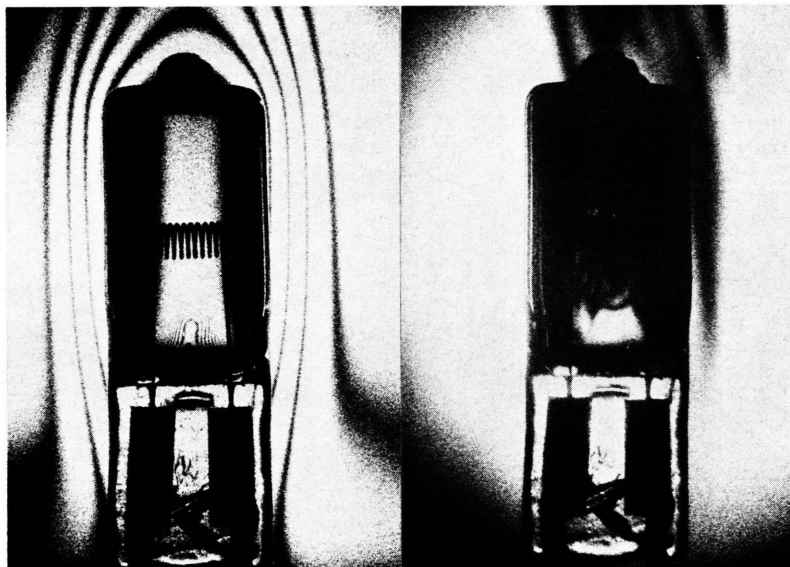


Abb. 2. Halogenglühlampe, 12 V/100 W, Fülldruck 9 bar, Xenon.  
a) Doppelbelichtungstechnik, b) Einfachbelichtungstechnik.

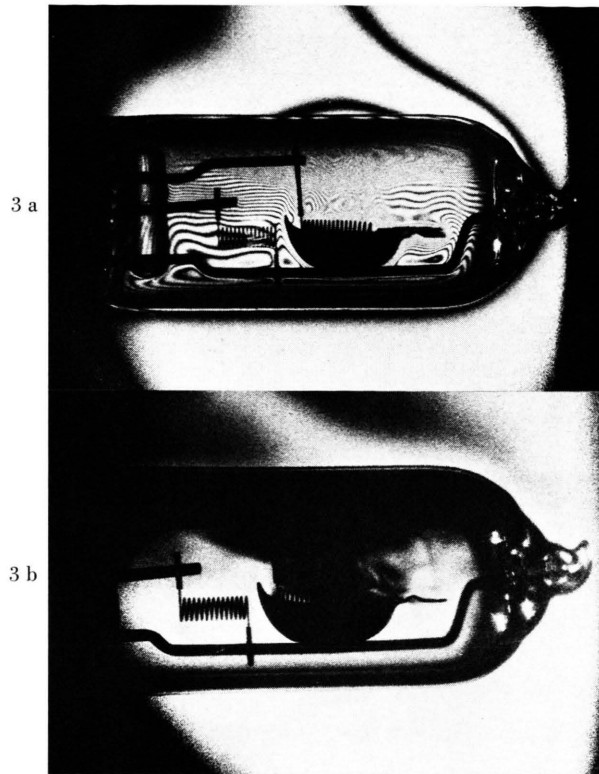


Abb. 3. H4-Autolampe, Fülldruck 8 bar, Xenon, Nebenwendel in Betrieb.  
a) Doppelbelichtungstechnik, b) Einfachbelichtungstechnik.

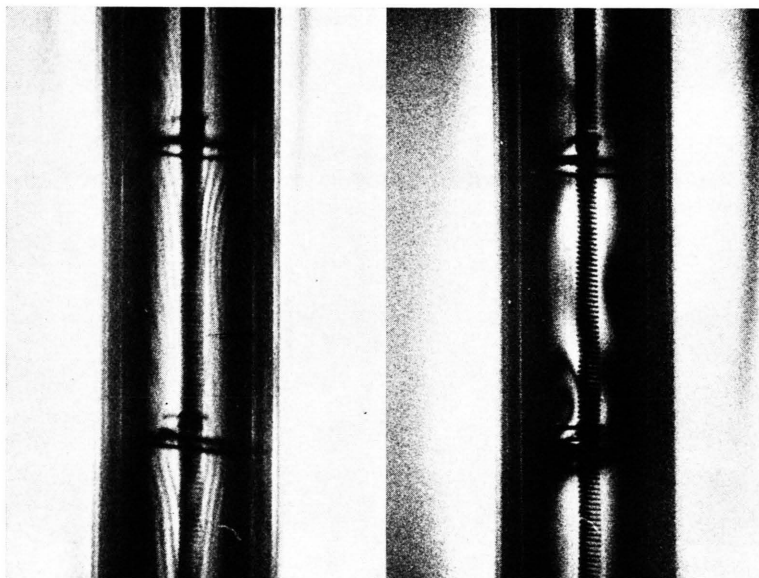


Abb. 4. Halogenglühlampe, 220 V/1000 W, Soffittenform in vertikaler Brennlage,  
Fülldruck 4,5 bar, Krypton.  
a) Doppelbelichtungstechnik, b) Einfachbelichtungstechnik.

weist, mit einer nur einmaligen Belichtung auf, so erscheint der Gasraum völlig homogen und durchsichtig, da das System keine zeitlichen Veränderungen aufweist (s. Abbildung 1b). Liegt jedoch Turbulenz vor, so ändert sich während der Belichtungszeit in unregelmäßiger Weise dauernd der Brechungsindex des Gases und somit auch die Phase der abbildenden Laserstrahlen, die auf der Photoplatte aufgezeichnet werden. Beim Reproduktionsvorgang gelangen daher gleichzeitig Teilstrahlen aller möglichen Phasen zur Abbildung, die nun miteinander interferieren und zu einer gegenseitigen Auslöschung führen. Als Ergebnis erhält man ein Bild der Lampe, in dem turbulente Gebiete als dunkle Bereiche zu erkennen sind (Abb. 2b und 3b).

Wie die Abbildungen zeigen, lassen sich die Turbulenzen in Glühlampen mit der Einfachbelichtungstechnik weitaus empfindlicher nachweisen als mit der Doppelbelichtungstechnik. Sehr interessant ist die Ausbildung der Schwärzung in Form von dunklen Streifenzügen. Offenbar erhält man hier direkt ein Abbild von Strömungslinien der ursprünglich laminaren Gasströmung. Dabei liegt in solchen Stromröhren Turbulenz vor. Bei Abb. 4 handelt es sich um Soffittenlampen in senkrechter Brennlage, bei denen früher schon aus der Schwärzung der Lampen unter Zuhilfenahme des Reynold-Kriteriums auf das Einsetzen von Turbulenz bei sehr hohen Einfüll-dichten des Grundgases geschlossen wurde<sup>5</sup>. Die früheren Befunde konnten durch die neue Technik eindeutig bestätigt werden.

#### 4. Schlußbetrachtung

Der Stofftransport in Halogen-glühlampen geschieht im Normalfall durch Diffusion — in Soffittenlampen auch durch Thermodiffusion —, während Strömungsvorgänge nur einen geringen Anteil am Reaktionsgeschehen in der Lampe haben. Doch ist bekannt, daß unter dem Einfluß von stationären Gasströmungen ein bevorzugter Transport von Wolfram in bestimmte Teilbereiche von Lampenkolben und Wendel erfolgen kann, wobei die Transportrate u. U. merklich erhöht wird. Beim Auftreten von instationären Strömungen kann einerseits durch Verwirbelung ein gerichteter Materietransport verhindert werden, andererseits ist es jedoch möglich, daß die Wolfram-Transportrate noch erheblich gesteigert wird.

In der sog. „Turbulenzaufnahme“ nach der Einfachbelichtungstechnik steht nun ein Mittel zur Verfügung, instationäre Gaszustände in einer Glühlampe sichtbar zu machen. Durch Erhöhung des Betriebsdruckes können Strömungslinien sichtbar gemacht werden und Aussagen erhalten werden, bei welchen Betriebsbedingungen Turbulenzen, die für den Wolframtransport in Halogen-glühlampen von größtem Interesse sind, auftreten.

Die neue Untersuchungstechnik ist indessen nicht auf die Anwendung an Glühlampen beschränkt, sondern läßt sich generell bei der Untersuchung von Strömungsvorgängen in transparenten Medien verwenden.

<sup>1</sup> J. Fitzgerald u. H. Hörster, Philips techn. Rdsch. **32**, 220 [1971/72].

<sup>2</sup> N. J. Phillips u. J. R. Coaton, Lighting Res. Technol. **5**, 156 [1973].

<sup>3</sup> E. Fischer u. J. Fitzgerald, J. Appl. Phys. **45**, 2895 [1974].

<sup>4</sup> G. M. Neumann, U. Müller u. E. Schmidt, Lichttechnik **27**, 214 [1975].

<sup>5</sup> G. M. Neumann, Z. Naturforsch. **29 a**, 1471 [1974].