O 5 NEWTON'sche Ringe

1. Aufgabenstellung

1.1 Bestimmen Sie den Krümmungsradius einer konvexen Linsenfläche sowie deren Abstand von einer ebenen Glasplatte mit der NEWTON'schen Interferenzanordnung.

1.2 Bestimmen Sie die Wellenlänge von zwei Hg-Linien.

2. Theoretische Grundlagen

Stichworte zur Vorbereitung:
Kohärenz, Reflexion, ebene Welle, Interferenz an Keilen, geometrische Weglänge, optische Weglänge, Phasensprünge an Grenzflächen

Literatur:

W. Ilberg, M. Krötzsch	Physikalisches Praktikum, 9. Auflage, Kap. O 2, Teubner Verlag 1992
Bergmann-Schäfer	Lehrbuch der Experimentalphysik, Band 3, 9. Auflage, Kap. 3.1., 3.3., W. de Gruyter 1993
E. Grimsehl	Lehrbuch der Physik, Band 3, Optik, 16. Auflage, Kap. 3.1., Teubner Verlag 1978

Eine plankonvexe Linse von sehr großem Krümmungsradius berührt eine ebene Glasplatte. Auf diese Anordnung fällt senkrecht von oben paralleles Licht der Wellenlänge λ. Beim Durchtritt eines Lichtstrahles durch das System Linse-Glasplatte wird ein Bruchteil an der gekrümmten Linsenfläche, ein anderer an der Glasplatte reflektiert. Die beiden reflektierten Anteile sind gegeneinander phasenverschoben. Die Phasenverschiebung hat ihre Ursache darin, dass einerseits beide Anteile bis zum Auge des Beobachters bzw. bis zum Bildschirm verschieden lange Wege zurückzulegen haben und dass andererseits der an der Glasplatte reflektierte Anteil bei der Reflexion einen Phasensprung π (entspricht einer Wellenlängendifferenz von $\lambda/2$) erleidet. Ist d die Dicke der Luftschicht an der betrachteten Stelle, so besteht also ein Gangunterschied s von

$$s = 2d + \frac{\lambda}{2} \quad . \tag{1}$$

Die beiden reflektierten Anteile gelangen zur Interferenz. Man beobachtet ein System konzentrischer heller und dunkler Kreise, die NEWTON'schen Ringe. Im hier vorliegenden Fall ist die geometrische Weglängendifferenz $\Delta g = 2d$ gleich der optischen Weglängendifferenz $(\Delta o = \Delta g)$, da der Zusatzweg des längeren Lichtstrahls in Luft $(n = 1)$ zurückgelegt wird. Wird der Zusatzweg dagegen in einem Medium mit $n \neq 1$ zurückgelegt, so gilt $\Delta o = n \cdot \Delta g$. Statt (1) ist der gesamte Gangunterschied s dann als Summe von Δo und der gesamten Phasensprungdifferenz anzusetzen!

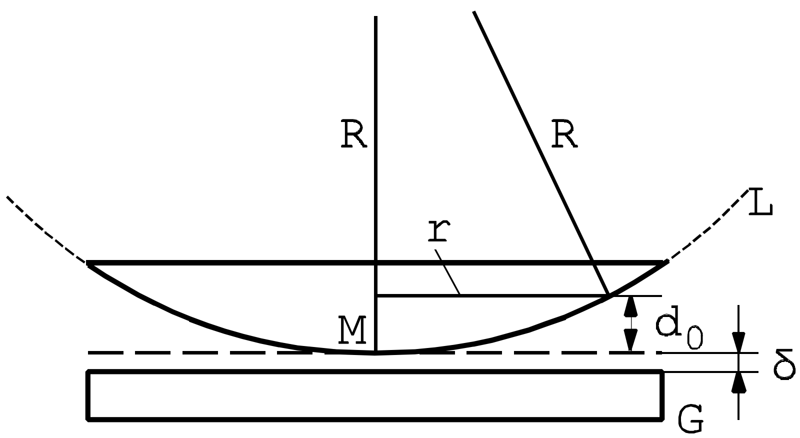

Abb. 1 : NEWTON'sche Interferenzanordnung

Im Zentrum der Anordnung findet i. d. Regel keine ideale Berührung statt. Schon der immer vorhandene Staub genügt, um einen kleinen Abstand δ zwischen Linse L und Glasplatte G zu erzeugen (Abb. 1).

Die Dicke der Luftschicht an der betrachteten Stelle beträgt dann

$$d = d_0 + \delta \quad , \tag{2}$$

wobei d_0 die Dicke im Falle idealer Berührung ist.

Der Gangunterschied s der beiden reflektierten Strahlen beträgt im Abstand r vom Mittelpunkt

$$s = 2\,(d_0 + \delta) + \frac{\lambda}{2} \quad . \tag{3}$$

Maximale Helligkeit erhält man für

$$s = k\,\lambda \qquad (k = 1, 2, \ldots) \;, \tag{4}$$

maximale Dunkelheit für

$$s = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2} \quad mit \quad k = 0, 1, 2 \ldots \quad . \tag{5}$$

Bei idealer Berührung ($\delta = 0$) ist das Zentrum des Ringsystems dunkel. Zur Beobachtung bzw. Vermessung bevorzugt man die Kreise maximaler Dunkelheit.

Ausgehend vom Lehrsatz des Pythagoras erhält man

$$r^2 = d_0\,(2\,R - d_0) \quad . \tag{6}$$

Dabei ist r der Abstand der betrachteten Stelle vom Zentrum (Radius des Ringes) und R der Krümmungsradius der Linse (Abb. 1).

Wegen $d_0 \ll R$ ist $r^2 = 2\,R\,d_0$ bzw. $d_0 = \frac{r^2}{2\,R}$.

Einsetzen in Gl. (3) ergibt unter Berücksichtigung der Phasenbeziehung Gl. (5)

$$2\left(\frac{r^2}{2\,R} + \delta \right) = k\,\lambda \qquad \text{bzw.} \qquad r^2 = k\,R\,\lambda - 2\,R\,\delta \quad . \tag{7}$$

Die Bestimmung von R geschieht nun auf folgende Weise:

Man misst die Durchmesser D der Ringe maximaler Dunkelheit der Ordnung $k = 2$

bis 10 für eine Wellenlänge λ_0 und stellt

$$D^2 = 4r^2 = f(k) = 4R\lambda_0 k - 8R\delta \qquad (7a)$$

grafisch dar. Es ergibt sich eine Gerade, deren Anstieg $4R\lambda_0$ ist und die die k-Achse bei $k = \frac{2\delta}{\lambda_0}$ sowie die D^2- Achse bei $D^2 = -8R\delta$ schneidet. Bei bekanntem λ_0 läßt sich R aus dem experimentell bestimmten Anstieg berechnen und δ folgt aus den Achsenschnittpunkten. Zur Wellenlängenbestimmung werden zu der bereits aufgezeichneten Geraden $D^2 = f(k)$ für die Wellenlänge λ_0 in gleicher Weise die Geraden für die zu bestimmenden Wellenlängen λ_i dargestellt. Beachten Sie beim Zeichnen der zusätzlichen Geraden, dass es nach (Gl. 7a) einen gemeinsamen Punkt gibt.

Die gesuchten Wellenlängen λ_i folgen aus den Anstiegen m_i der zugehörigen Geraden und dem Anstieg m_0 für die gegebene Wellenlänge λ_0 :

$$\lambda_i = \frac{m_i}{m_0}\lambda_0 \quad . \qquad (8)$$

3. Versuchsaufbau

Paralleles Licht fällt nach Reflexion an einem halbdurchlässigen Spiegel auf die Interferenzanordnung, die sich auf dem Objekttisch eines Mikroskops befindet, und erzeugt die Interferenzfiguren, die durch das Mikroskop beobachtet werden. Der Objekttisch ist beweglich, so dass mit Hilfe eines Fadenkreuzes die Durchmesser der Ringe gemessen werden können. Die Interferenzringe sind nicht scharf sichtbar. Das Fadenkreuz wird jeweils auf die Schwärzungsmitte eingestellt.

Die Durchmesser werden jeweils für die Ordnungen $k = 2$ bis 10 ausgemessen.

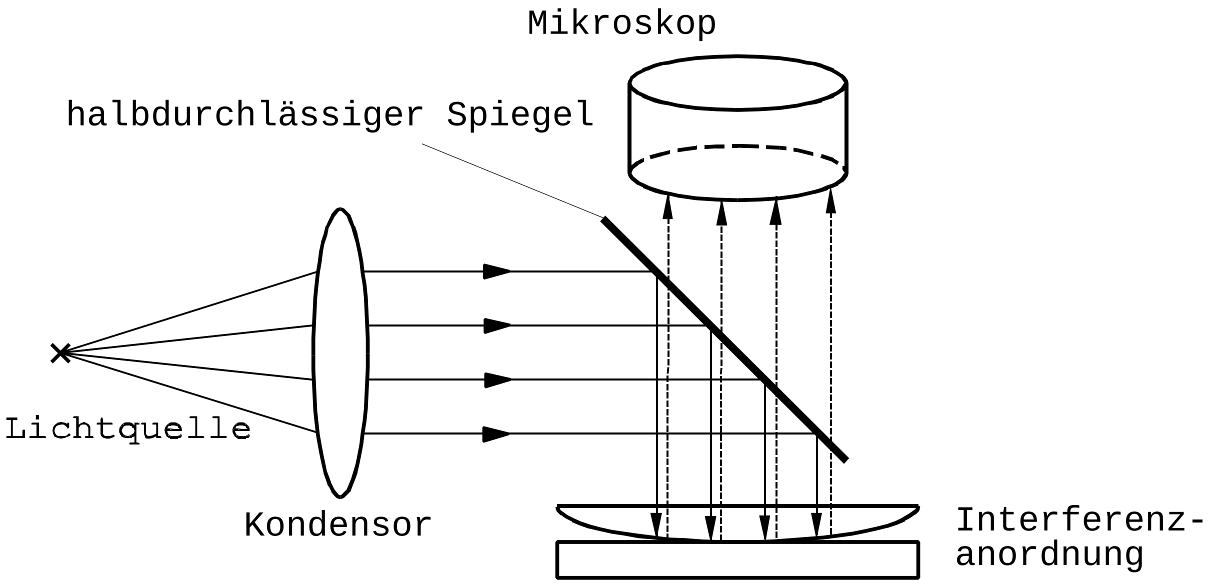

Abb. 2 : Versuchsaufbau NEWTON'sche Ringe (schematisch)

4. Versuchsdurchführung

Schalten Sie zunächst die Na-Lampe an und lassen Sie diese warmlaufen. Justieren Sie den Aufbau auf optimale Sichtbarkeit des Ringssystems und gleichmäßige Ausleuchtung im Mikroskop und stellen Sie die Ringstrukturen der Interferenzanordnung scharf. Messen Sie nun die Ringdurchmesser mit Hilfe des Messtisches zunächst für die Na-Lampe mehrmals aus. Ersetzen Sie die Na-Lampe durch eine Hg-Lampe mit einem vorgesetzten Filter. Vermessen Sie für jede der beiden Filterwellenlängen die Ringdurchmesser.

5. Auswertung

- Aus den gemessenen Werten wird für alle drei Wellenlängen eine grafische Darstellung $D^2=f(k)$ angefertigt.
- Ermitteln Sie daraus δ und R und geben Sie die zugehörigen Fehler an. Die Wellenlänge der Na-Lampe beträgt $\lambda_0 = 589$ nm.
- Ermitteln Sie entsprechend Gl. 8 die Wellenlängen der beiden Hg-Linien.

6. Kontrollfragen

6.1 Was verstehen Sie unter einer ebenen Welle?
Wie kann man eine harmonische Welle mathematisch beschreiben, die sich in positiver bzw. negativer Richtung der x-Achse ausbreitet?

6.2 Was verstehen Sie unter kohärentem Licht?

6.3 Wie groß ist der Gangunterschied, wenn die NEWTON'schen Ringe in durchgehendem Licht beobachtet werden?

6.4 Erläutern Sie das Entstehen der Farben an dünnen Schichten (z. B. Ölfleck auf Wasser).

6.5 Wie ändert sich der Radius eines NEWTON'schen Ringes, wenn sich zwischen Linse und Glasplatte ein Medium mit $n>n_L$ befindet ($n_{Glasplatte} = n_L$)?

6.6 Licht der Wellenlänge λ wird an einer freistehenden, keilförmigen dünnen Schicht mit dem Brechungsindex n reflektiert. Die an der Vorder- und Rückseite des Keils reflektierten Wellen interferieren. Für welche Dicken d ist die reflektierte Intensität minimal?