

### Versuch D 13: Newtonsche Ringe

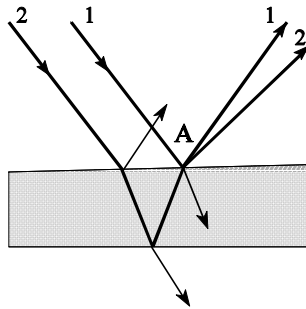
**1. Literatur:** Walcher, Praktikum der Physik  
Westphal, Physikalisches Praktikum  
Bergmann-Schaefer, Experimentalphysik, Bd. III, Optik

**Stichworte:** Reflexion und Brechung an optisch dichten und dünnen Medien, optischer Gangunterschied, Interferenz an dünnen planparallelen und keilförmigen Schichten, monochromatisches, kohärentes Licht

#### 2. Grundlagen

##### 2.1 Interferenz an Keilschichten

Auf eine schwach keilförmige, durch zwei ebene Flächen begrenzte dünne Schicht eines brechenden Stoffes fällt paralleles, kohärentes Licht ( s. Abb. 1):



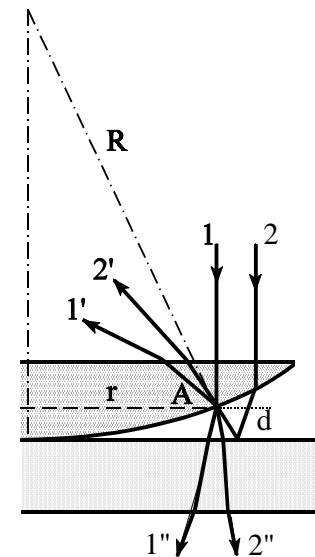
**Abb.1:** Zur Interferenz an einer keilförmigen Schicht

Betrachtet werden die beiden Strahlen 1 und 2, die im Punkt A der Schichtoberfläche zusammentreffen. Ein Anteil von Strahl 1 wird unmittelbar an der Oberfläche bei A reflektiert, während ein Anteil von Strahl 2 nach Brechung und Reflexion in der Schicht bei A erneut gebrochen wird. Das von A ausgehende, divergente Licht enthält Anteile der Strahlen 1 und 2. Diese Strahlen haben jedoch verschiedene lange optische Wege durchlaufen, d.h. zwischen ihnen tritt ein optischer Gangunterschied auf, der in A zu Interferenzen führt. Akkomodiert man das Auge auf den Punkt A, so registriert man als Folge dieser Interferenzen ein helles oder dunkles Bild von A. Da sich die Dicke der keilförmigen Schicht

ändert, ändert sich auch entsprechend der Gangunterschied der miteinander interferierenden Strahlen und man erblickt ein System heller und dunkler Streifen, die umso weiter voneinander entfernt sind, je kleiner der Keilwinkel ist. Jeder Streifen gehört zu den Stellen gleicher Dicke des Keils. Man nennt diese Erscheinung deshalb *Interferenzen gleicher Dicke*.

##### 2.2 Newtonsche Ringe

Die Newtonschen Ringe stellen einen besonderen Fall der Interferenzen gleicher Dicke dar. Sie entstehen z.B., wenn Licht auf eine Luftschicht fällt, die sich zwischen einer ebenen Glasplatte und einer auf diese gedrückten, schwach konvex gekrümmten Linse befindet. Dabei kann man die einzelnen Kreissegmente der Luftschicht als nahezu keilförmig ansehen. Bei Verwendung monochromatischen Lichts sieht man sowohl bei Beobachtung in Reflexion als auch in Transmission konzentrische helle und dunkle Kreise, deren Mittelpunkt im Berührungspunkt von Platte und Linse liegt. Die Breite der hellen und dunklen Kreise nimmt wegen der Linsenkrümmung von innen nach außen hin ab.



**Abb.2:**

Entstehung Newtonscher Ringe:  
Interferenz der Strahlen 1 und 2  
bei A:

1', 2' : Strahlen bei Beobachtung  
in Reflexion,

1'', 2'': Strahlen bei Beobachtung  
in Transmission

Zur Berechnung der Radien der Newtonschen Interferenzringe zeigt Abb. 2 schematisch den Strahlengang zweier kohärenter Strahlen 1 und 2 durch eine

Plankonvexlinse (geringer Krümmung) mit Krümmungsradius  $R$ , sowie durch eine planparallele Glasplatte, welche die Linse im Zentrum der gekrümmten Fläche berührt. Betrachtet wird die Interferenz der beiden Strahlen im Punkt A. Bei Beobachtung in Reflexion wird der Teilstrahl 1' des Strahls 1 innerhalb der Linse bei A reflektiert, während vom Strahl 2 nach Brechung durch die Linse, Durchlaufen der Luftschicht mit Dicke  $d$ , Reflexion an der Glasplatte und abermaligen Durchlaufen der Luftschicht der Teilstrahl 2' bei A gebrochen wird. Bei Beobachtung in Transmission wird der Teilstrahl 1'' des Strahls 1 bei A gebrochen während der Teilstrahl 2'' des Strahls 2 nach zweimaligem Durchlaufen der Schicht mit Dicke  $d$  und Reflexion an der Glasplatte bei A erneut reflektiert wird.

Bei der Interferenz findet Verstärkung der Strahlen statt, wenn die Teilwellen 1' und 2' bzw. 1'' und 2'' gleichphasig schwingen, d.h. der optische Gangunterschied  $\Delta x$  der Strahlen ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge  $\lambda$  ist, Auslöschung, falls sie gegenphasig schwingen, also:

$$\Delta x = \left( n - \frac{1}{2} \right) \lambda, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

Zur Bestimmung von  $\Delta x$  lässt sich die Dicke der Luftschicht  $d$ , wie in Abb. 2 zu erkennen, durch den Radius  $r$ , den Abstand des Punktes A von der optischen Achse und den Krümmungsradius  $R$  der Linse ausdrücken. Mit

$$r^2 = R^2 - (R - d)^2 = 2Rd - d^2 \quad (2)$$

gilt näherungsweise, da  $d \ll R$ :

$$d = \frac{r^2}{2R} \quad (3)$$

Wird wie im vorliegenden Versuch die Interferenz in Transmission betrachtet, so tritt infolge der zweifachen Reflexion des Strahls 2 bzw. 2'' an der Glasplatte und an der Linse, dem jeweils optisch dichteren Medium, jeweils ein Phasensprung um  $\pi$  entsprechend einem zusätzlichen Gangunterschied von insgesamt  $\lambda$  auf, der sich bei der Interferenz nicht auswirkt. Berücksichtigt man ferner, dass die Dicke  $d$  der Luftschicht z.B. durch ein Staubkorn im Berührungspunkt von Linse und Glasplatte um die Strecke  $d_0$  vergrößert sein kann, ergibt sich mit Gl. (1) u. (3) als Bedingung für die Auslöschung der Teilstrahlen 1'' und 2'':

$$\Delta x = 2 \left( \frac{r_n^2}{2R} + d_0 \right) = \left( n - \frac{1}{2} \right) \lambda \quad (4)$$

bzw. für den Radius  $r_n$  des  $n$ -ten Kreisrings, bei dem Auslöschung beobachtet wird:

$$r_n^2 = R \left[ \left( n - \frac{1}{2} \right) \lambda - 2d_0 \right] \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

Für zwei benachbarte (dunkle) Kreisringe gilt insbesondere:

$$r_{n+1}^2 - r_n^2 = R \lambda \quad (6)$$

Diese Beziehung gilt, da helle und dunkle Interferenzringe abwechselnd nebeneinander liegen, ebenso für die Verstärkung der Teilstrahlen, also die hellen Interferenzringe. Betrachtet man nicht die Interferenz in Transmission sondern in Reflexion, so ergibt sich ein komplementäres Interferenzbild, für das Gl. (6) ebenfalls gültig ist. Es lässt sich also - unabhängig von der jeweils gewählten Versuchsanordnung - mit Gl. (6) durch Ausmessen der Radien benachbarter Interferenzringe bei bekannter Wellenlänge  $\lambda$  der Krümmungsradius  $R$  der Linse bestimmen oder umgekehrt bei bekanntem  $R$  die Wellenlänge  $\lambda$  des verwendeten Lichts. Beides wird im vorliegenden Versuch durchgeführt.

### 3. Aufgabenstellung

- 1. Aufgabe:** Ermitteln Sie den Krümmungsradius einer dünnen Linse durch Ausmessen der Radien von etwa 20 inneren dunklen Newtonschen Ringen im Licht einer Na-Dampfampe.
- 2. Aufgabe:** Bestimmen Sie den Durchlassbereich eines Filters mit Hilfe der Newtonschen Ringe im Licht einer Hg-Dampfampe.

### 4. Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

#### 4.1 Bestimmung des Krümmungsradius

Das von einer Natriumdampfampe ( $\lambda_{\text{Na}} = 589,3 \pm 0,3 \text{ nm}$ ) ausgehende und durch

eine Lochblende begrenzte nur schwach divergente Licht fällt nach Brechung in einer Kollimatorlinse ( $f = 30 \text{ cm}$ ) als paralleles Lichtbündel auf ein sog. *Newton-Glas*, die Kombination einer Plankonvexlinse schwacher Krümmung und einer planparallelen Platte mit aufgebrachtem Millimetermaßstab. Die Newtonschen Ringe werden zusammen mit dem Maßstab unter Verwendung einer Objektivlinse ( $f = 15 \text{ cm}$ ) auf einem Schirm vergrößert abgebildet.

Das Newton-Glas hat drei Justierschrauben, mit denen die Linse gegen die Glasplatte gehalten wird. Durch *vorsichtiges* Drehen dieser Schrauben kann das Ringsystem zentriert werden, wobei zu beachten ist, dass Linse und Platte nicht zu fest aufeinander gedrückt werden, so dass sie sich verformen. Der Anpressdruck ist groß genug, wenn beim Anziehen der Schrauben keine weiteren dunklen Ringe im Zentrum entstehen.

Um die Radien dieser Ringe zu bestimmen, wird auf dem Schirm ein weißes Blatt Papier (DIN A 4), auf das vorher ein Achsenkreuz und ein konzentrischer Kreis mit ca.  $4 \text{ cm}$  Radius gezeichnet wurde, mit Klebstreifen so befestigt, dass die Interferenzringe und das Achsenkreuz zentrisch zueinander liegen (der gezeichnete Kreis erleichtert dabei das Zentrieren). Anschließend werden die 4 Schnittpunkte eines jeden dunklen Newtonschen Ringes mit dem Achsenkreuz durch einen kurzen Bleistiftstrich markiert, ebenso die  $5\text{mm}$ -Teilungsstriche des Maßstabs.

In der Auswertung (bei normalem Licht) wird zunächst durch Ausmessen der Abstände der gegenüberliegenden Maßstabsmarkierungen die mittlere Vergrößerung der Abbildung bestimmt. Danach wird von jedem Ring der Durchmesser vertikal und horizontal ausgemessen und aus dem Mittelwert der Messwerte sowie der Abbildungsvergrößerung jeweils das Quadrat des wahren Radius  $r_n$  bestimmt.

Die Quadrate der Radien  $r_n$  sind als Funktion der Ordnungszahl  $n$  in ein Diagramm einzutragen. Aus der Steigung einer durch die Punktfolge gelegten Ausgleichsgeraden ist mit Gl. (6) der Krümmungsradius  $R$  der Linse des Newton-Glases zu bestimmen. Aus dem Schnittpunkt der Geraden mit der Abszisse kann über Gl. (5)  $d_0$  ermittelt werden. Man beachte aber dabei, dass die Zahl  $n$  nur dann gleich der Ordnungszahl der Ringe ist, wenn  $d_0$  kleiner als  $\lambda/2$  ist. Was kann aus einem negativen Wert für  $d_0$  gefolgert werden?

#### 4.2 Durchlassbereich des Filters

Ohne den Aufbau sonst zu ändern ist lediglich die Na-Dampf Lampe durch die Hg-Dampf Lampe zu ersetzen und das Gelbfilter in den Strahlengang zu stellen. Wie im ersten Teil des Versuchs sind der Abbildungsmaßstab und die Radien der Newtonschen Ringe zu bestimmen, die Quadrate der Radien  $r_n$  aufzutragen und

durch eine Ausgleichsgerade zu verbinden. Mit dem Ergebnis für den Krümmungsradius  $R$  der Linse aus dem ersten Versuchsteil ist mit Gl. (6) die Wellenlänge  $\lambda$  des Lichts zu bestimmen, welches vom Filter durchgelassen wird.

#### 5. Fehlerrechnung

Man schätze entsprechend dem Maßstab und der Sorgfalt beim Zeichnen des Diagramms die Fehler in der Bestimmung der Geradensteigung ab.

Für die Natriumdampf Lampe ist  $\Delta\lambda = \pm 0,3 \text{ nm}$ . Man bestimme nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz den mittleren absoluten Fehler von  $R$  und den der unbekanntes Wellenlänge  $\lambda$ .

#### 6. Fragen zur Selbstkontrolle

- 1) Was bedeutet *Interferenz* von Licht und welche Eigenschaften müssen Lichtstrahlen haben um Interferenzerscheinungen zu zeigen?
- 2) Was versteht man unter *Kohärenz* zweier oder mehrerer Lichtwellen? Was wird mit *Kohärenzlänge* bezeichnet, wie groß ist diese Länge für natürliche Lichtquellen?
- 3) Welche Einschränkung gilt für den optischen Weglängenunterschied bei der Interferenz von weißem Licht?
- 4) Erklären Sie die Interferenz von monochromatischem (u. weißem) Licht an dünnen optisch durchlässigen Schichten mit parallelen oder schwach zueinander geneigten Oberflächen!
- 5) Beschreiben Sie die Entstehung der Newtonschen Ringe und leiten Sie eine Beziehung für die Radien der Intensitätsminima (dunkle Ringe) entsprechend Gl. (5) ab, welche in *reflektiertem* Licht beobachtet werden!
- 7) Wie ändern sich die Newtonschen Ringe, wenn zur Interferenz blaues anstatt rotes Licht verwendet wird?
- 8) Was passiert, wenn die Reflexion der Oberflächen der an der Interferenz beteiligten Schichten z.B. durch teilweise Verspiegelung erhöht wird? Wie ändern sich die Interferenzbilder, z.B. die von Newtonschen Ringen?