O09 Physikalisches Praktikum	Newtonsche Ringe	b-tu Brandenburgische Technische Universität Cottbus · Senftenberg

*Durch **„Interferenz“** des Lichtes zwischen einer ebenen Glasplatte und einer Plankonvexlinse entsteht ein System von Interferenzringen **(„Newtonsche Ringe“)**.*
In Auswertung dieser Ringe wird der Krümmungsradius der Plankonvexlinse bestimmt und die Wellenlängen einiger Linien des Quecksilber-Spektrums.

1. Theoretische Grundlagen

Zum Nachweis der Wellennatur des Lichtes dienen die Interferenzerscheinungen. Diese treten auf, wenn sich zwei kohärente Lichtbündel im gleichen Raumpunkt überlagern. Die wahrnehmbare Erscheinung in diesem Punkt hängt von den Phasenbeziehungen zwischen den beiden Lichtbündeln ab. Bei Phasengleichheit verstärken sie sich gegenseitig, bei einem Gangunterschied von $\frac{1}{2}\lambda$ und gleicher Intensität löschen sie sich gegenseitig vollkommen aus. Interferenzerscheinungen werden in zunehmendem Maße messtechnisch ausgenutzt. Newtonsche Ringe entstehen durch ***Reflexion*** und ***Brechung*** von Licht an zwei eng benachbarten brechenden Flächen.

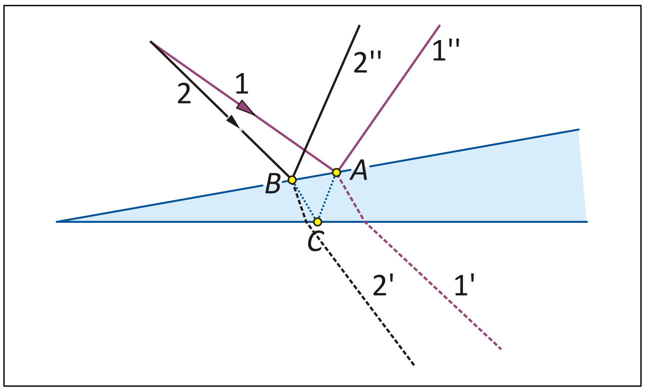

Bild 1: Entstehung von Interferenzen an einem Keil aus Glas

Im vorliegenden Experiment wird das Licht zwischen einer ebenen Glasoberfläche und der sehr schwach konvex gekrümmten Seite einer Plankonvexlinse hin- und herreflektiert (*Luftkeil, dessen Vorderseite gekrümmt ist*).
Bei jeder Reflexion am optisch dichteren Medium erfährt das Licht einen Phasensprung von 180° (*Analogie: Reflexion von Seilwellen am festen Ende*). Der jeweils nicht reflektierte Anteil dringt in das dichtere Medium ein. Die im Luftkeil mehrfach hin- und herreflektierten Wellen interferieren direkt mit den durchdringenden Wellen (***Bild 1** für einen Keil aus Glas*).

Bestrahlen wir die Anordnung (***Bild 2***) von oben mit monochromatischem, nahezu parallelem Licht der Wellenlänge λ (*Einfallswinkel* $\approx 0°$) beobachten wir im reflektierten Licht des Halbraumes über der Anordnung ein System konzentrischer Kreisringe, denen im durchgehenden Licht helle Ringe entsprechen. Da die Plankonvexlinse eine extrem schwache Krümmung aufweist, stehen sich die zwei Glasoberflächen im Abstand $d(r) + d_0$ nahezu parallel gegenüber, dabei hängt die Dicke d vom Abstand r zum Berührungspunkt zwischen Konvexlinse und Glasplatte sowie vom Krümmungsradius R_L der Konvexlinse ab (***Bild 2***). Der Abstand d_0 kann z. B. durch Staubkörner verursacht werden. Bei völlig staubfreier Fläche sowie sich berührender Linse und Glasplatte entspricht d_0 dem Betrag, um den die Plankonvexlinse im Berührpunkt komprimiert

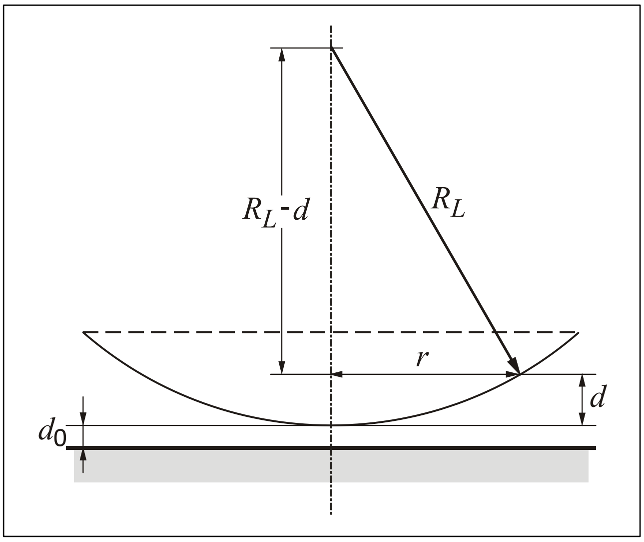

Bild 2: Entstehung von Newtonschen Ringen

wird. In diesem Fall ist d_0 negativ. Gemäß ***Bild 2*** hängen $d(r)$ und r mit dem Krümmungsradius R_L der Plankonvexlinse zusammen:

$$r^2 = d \cdot (2R_L - d).$$

Wegen der schwachen Krümmung ist immer $2R_L > d$ und daher in guter Näherung

$$r^2 = 2R_L \cdot d. \tag{1}$$

In ***Bild 3a*** ist die Interferenzbedingung für Glasplatten im Abstand $d + d_0$ ***im reflektierten Licht*** veranschaulicht. Die von links einfallende Lichtwelle wird reflektiert, und zwar an der Fläche 1 ohne Phasensprung, an der Fläche 2 jedoch mit einem Phasensprung von 180°. Die beiden reflektierten Wellenzüge überlagern sich gegenphasig, wenn ihr Gangunterschied δ

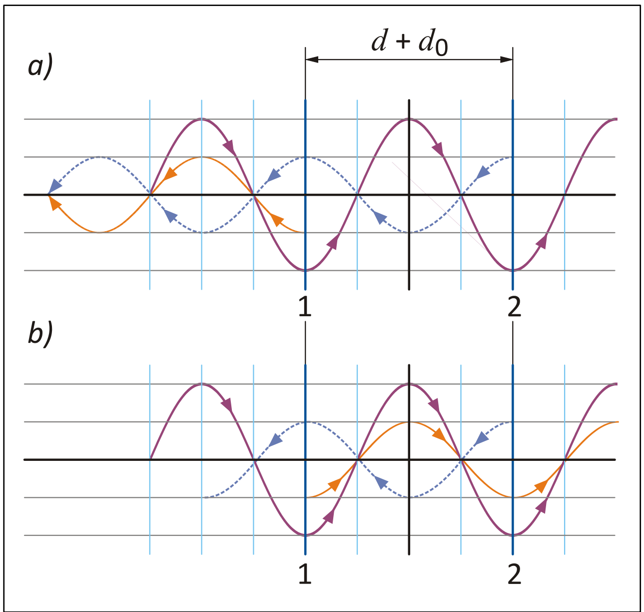

Bild 3: Gangunterschied der interferierenden Wellen

$$\delta = \lambda \cdot (n + ½) \qquad n=0, 1, 2, ...$$

beträgt. Da der Phasensprung bei Reflexion an der Fläche 2 einem Gangunterschied von $½\lambda$ entspricht, ergibt sich als Bedingung für maximale Auslöschung

$$\delta = 2(d + d_o) + ½\lambda\,.$$

Ineinander eingesetzt ergibt das:

$$2(d + d_0) = n \cdot \lambda\,. \tag{2}$$

Wird aus den Gleichungen (1) und (2) das unbekannte d eliminiert, ergibt sich für den Radius r_n des *n*-ten Dunkelringes schließlich

$$r_n{}^2 = n \cdot R_L \cdot \lambda - 2d_0 \cdot R_L \tag{3}$$

Diese Berechnung ermöglicht bei experimenteller Bestimmung der Ringradien r_n die Bestimmung des Krümmungsradius R_L, wenn mit Licht definierter Wellenlänge (*z. B. Natrium-D-Linie*) gearbeitet wird:

$$R_L = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{r_n{}^2}{n - 2 \cdot d_0/\lambda} \tag{3a}$$

Ist R_L bekannt, so kann die Wellenlänge λ bestimmt werden:

$$\lambda = \frac{1}{R_L} \cdot \frac{r_n{}^2 + 2d_0 \cdot R_L}{n} \tag{3b}$$

Bei Betrachtung der Newtonschen Ringe im ***durchgehenden Licht*** ist die Erscheinung ***komplementär*** zu der im reflektierten Licht. Im durchgehenden Licht ist die Mitte der Kreisschar hell. Es werden daher anstelle der Lage von dunklen Ringen die von hellen Ringen ausgemessen. Zur Erläuterung dient ***Bild 3b***. Die Situation ist die gleiche wie in ***Bild 3a***, nur sind diesmal diejenigen Wellenzüge herausgezeichnet, aus denen sich das durchgehende Licht zusammensetzt. Da in diesem Fall Wellenzüge völlig verschiedener Intensität miteinander interferieren, ist der Kontrast der Ringe im durchfallenden Licht sehr schwach. Wegen des einfacheren Aufbaus wird der Versuch für diese Beobachtungsform durchgeführt.

2.Versuch

2.1 Vorbetrachtung

Aufgabe: Warum wird bei einer Natrium-Dampflampe kein Farbfilter (*z.B. blau*) verwendet?

2.2 Versuchsdurchführung

2.2.1 Verwendete Geräte

Na- und Hg-Spektrallampen, Glashalter für Newtonsche Farbringe, Universaldrossel, Farbglasfilter ($\boldsymbol{\lambda_{gelb}}$=$(575\pm30)\mathrm{nm}$; $\boldsymbol{\lambda_{grün}}$=$(535\pm25)\mathrm{nm}$; $\boldsymbol{\lambda_{blau}}$=$(445\pm30)\mathrm{nm}$), Irisblende, Linsen $\boldsymbol{f}=50\ \mathrm{mm}$, $\boldsymbol{f}=100\ \mathrm{mm}$, senkrecht gestellte Optische Bank mit Klemmreitern

2.2.2 Versuchshinweise

An einer Stativstange sind über einer Grundplatte zur Positionierung des Zeichenpapiers nacheinander eine Natrium- bzw. Quecksilber-Spektrallampe, eine Kondensorlinse ($\boldsymbol{f}=50\ \mathrm{mm}$), die Newton-Gläser, eine Objektivlinse ($\boldsymbol{f}=100\ \mathrm{mm}$) sowie eine Irisblende angebracht.

Versuchsvorbereitung in Abstimmung mit dem Laborpersonal:

- Überprüfen Sie die Lage der Ringe.
- Bei Dezentralisierung dieser Ringe schrauben Sie die Justierschrauben der Gläser locker.
- Ziehen Sie die Justierschrauben soweit an,
  - dass das Ringsystem genau in die Mitte wandert (*Die Ringe wandern immer in Richtung der Schraube, die gerade angezogen wird.*) und
  - die Gläser nicht zu fest aufeinandergedrückt werden (*Der Anpressdruck ist genügend groß, wenn beim Anziehen der Justierschrauben keine weiteren Ringe aus dem Zentrum herausquellen. Zusätzliche Erhöhung des Anpressdrucks bewirkt danach nur noch eine Aufweitung der Ringe und im Extremfall eine Deformation der Gläser*).
- Verändern Sie während des gesamten Versuches ***nicht*** mehr die einmal eingestellte Justierung der Newton-Gläser und vermeiden Sie eine Berührung der Justierschrauben.
- Führen Sie die folgenden Messungen im abgedunkelten Raum durch.

Aufgabe 1: Natrium-Dampflampe

- Ermitteln Sie den Krümmungsradius R_L einer Plankonvexlinse durch Ausmessen der Newtonschen Ringe durch Beleuchtung mit einer Natrium-Dampflampe ($\boldsymbol{\lambda_{Na}}=589\ \mathrm{nm}$).
- Schalten Sie die Natrium-Lampe ein (*nach* ***ca.*** $10\ \mathrm{min}$ *ist max. Lichtstärke erreicht*).
- Verschieben Sie die untere Objektivlinse soweit, bis sich das Ringsystem auf der Bodenplatte scharf abbildet.
- Optimieren Sie danach durch Verschieben der Lampenblende bzw. durch Abblenden mit der Irisblende den Kontrast des Ringsystems.
- Am Versuchsplatz befindet sich ein Arbeitsblatt mit einem Achsenkreuz und einem zentralen Kreis ($\varnothing\sim\mathbf{14\ cm}$) auf weißem Papier.
- Legen Sie das Blatt symmetrisch zum Ringsystem auf die Grundplatte.
- Markieren Sie die Schnittpunkte der Ringe auf der Na-Achse ($\boldsymbol{n}=2\times10$ *Übergänge von hell zu dunkel*).
- Bestimmen Sie den Abbildungsmaßstab (*siehe* ***Abschnitt 3.2***).
- Messen Sie die Ringradien R_n aus.

Aufgabe 2: Quecksilber-Lampe

- Tauschen Sie die Natrium-Lampe gegen die Quecksilber-Lampe aus.
- Schalten Sie die Quecksilber-Lampe ein (*nach **ca.** $10\ \mathrm{min}$ ist max. Lichtstärke erreicht*)
- Messen Sie die Ringpositionen analog der ***Aufgabe 1*** für die drei Farben aus.
- Legen Sie zur Messung die Farbglasfilter auf den Rahmen in den Strahlengang.
- Bestimmen Sie den Abbildungsmaßstab.

2.3 Versuchsauswertung

Aufgabe 1: Natrium-Dampflampe

- Berechnen Sie r_n unter Verwendung des Abbildungsmaßstabes.
- Stellen Sie die Funktion $\boldsymbol{r_n}^{\mathbf{2}} = \boldsymbol{f(n)}$ graphisch dar.
- Ermitteln Sie den Anstieg b durch eine Berechnung der linearen Regression und berechnen Sie die Abweichung dieses Anstieges.
- Berechnen Sie den Krümmungsradius R_L (*aus der Gleichung (3) folgt* $\frac{\Delta r_n{}^2}{\Delta n} = R_L \cdot \lambda$) durch Verwendung des ermittelten Anstieges.
- Bestimmen Sie die Messunsicherheit durch eine Fehlerrechnung für R_L unter Verwendung der Abweichung des Anstieges.

Aufgabe 2: Quecksilber-Lampe

- Berechnen Sie r_n unter Verwendung des Abbildungsmaßstabes.
- Stellen Sie die Funktion $\boldsymbol{r_n}^{\mathbf{2}} = \boldsymbol{f(n)}$ in je einem Diagramm graphisch dar.
- Zeichnen Sie die Regressionsgraden ein und bestimmen Sie über das Anstiegsdreieck die Anstiege der Graphen. Ermitteln Sie durch einzeichnen der Fehlerbalken die relativen Messunsicherheiten.
- Berechnen Sie die Wellenlänge λ für die jeweilige Farbe unter Verwendung des in ***Aufgabe 1*** bestimmten Krümmungsradius R_L.
- Ermitteln Sie durch eine Fehlerrechnung die Messunsicherheiten der Wellenlängen.
- Bestimmen Sie aus dem Fraunhoferschen Linienspektrum die Spektrallinien für Quecksilber und vergleichen Sie diese mit ihren Ergebnissen. Zu welchem Schluss kommen Sie?

3 Ergänzungen

3.1 Vertiefende Fragen

Begründen Sie, weshalb bei der Berechnung des Krümmungsradius nach ***Aufgabe 1*** der in Gleichung (3) auftretende Abstand d_0 nicht bekannt zu sein braucht!

3.2 Bestimmung des Abbildungsmaßstabes A

Nur durch das Verschieben der Newton-Gläser (*nicht der Objektiv-Linse!*) bilden Sie den eingeätzten ***Millimeter-Maßstab*** auf dem Arbeitsblatt scharf ab. Messen Sie nun den Maßstab aus.

Die Krümmungsradien ergeben sich zu:

$$r_n = \frac{R_n}{A} \qquad A = \frac{B}{G}$$

B: Bildgröße
G: Gegenstandsgröße