

Newtonsche Ringe in durchgehendem und reflektiertem weißem Licht

Versuchsziele

- Beobachtung der Newtonschen Farbringe in durchgehendem und reflektiertem weißem Licht.
- Vergleich der hellen Ringe bei durchgehendem Licht mit den dunklen Ringen bei reflektiertem Licht.
- Erklärung der Komplementarität der Interferenzbilder mit Hilfe des Phasensprungs bei Reflexion am optisch dichteren Medium.
- Vergleich des Kontrastes der beiden Interferenzbilder.

Grundlagen

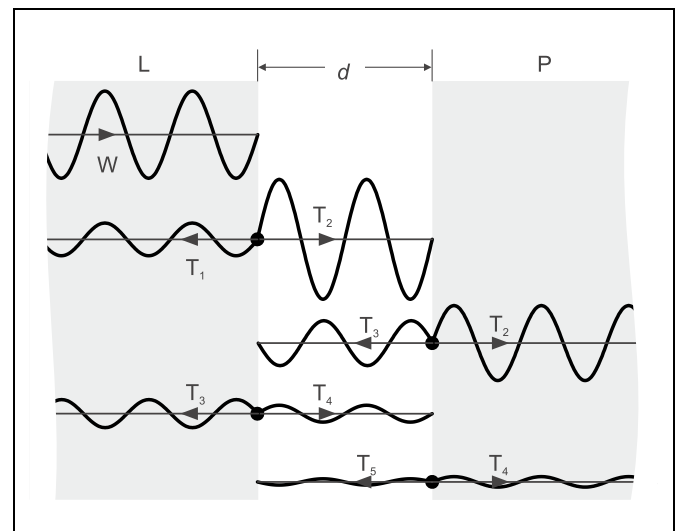
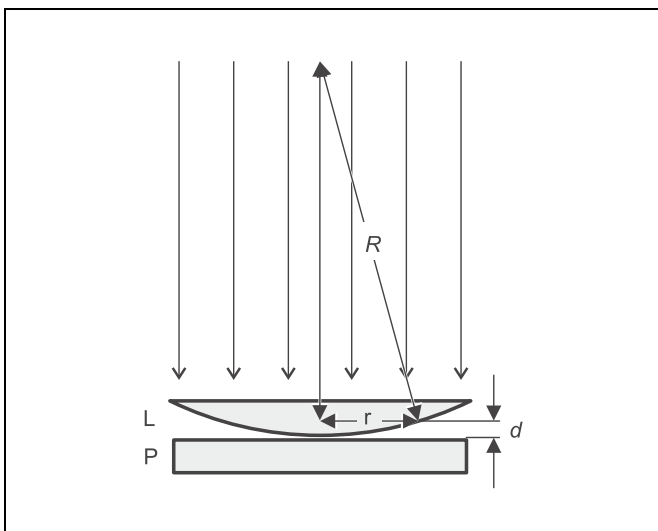
Farberscheinungen an dünnen Ölschichten auf Wasser, an sehr dünnen Seifenlamellen und an dünnen Luftschichten zwischen aufeinanderliegenden Glasplatten entstehen durch Interferenz von Lichtwellen. Interferenzerscheinungen des Lichtes an dünnen Schichten werden heute zur Herstellung reflexmindernder Schichten auf Glasflächen genutzt (Vergütung von Glasoberflächen, z. B. Brillengläser).

Newtonsche Ringe entstehen durch Reflexion und Brechung von Licht an zwei eng benachbarten brechenden Flächen. Zur Erzeugung Newtonscher Ringe wird im vorliegenden Experiment eine plankonvexe Linse mit großem Krümmungsradius verwendet, die mit ihrer sehr schwach konvexen Seite eine ebene Glasplatte berührt (siehe Fig. 1). Beleuchtet man diese Anordnung mit senkrecht einfallendem, parallelem weißem Licht, so entstehen konzentrische Ringe mit farbigen Säumen um den Berührungspunkt beider Flächen. Die Interferenzringe sind sowohl in Reflexion als auch in Durchsicht zu beobachten. Die Abstände der farbigen Interferenzringe sind nicht konstant, da eine Begrenzungsfläche gekrümmt ist.

In Fig. 2 ist die Interferenz an einem Luftkeil der Dicke d zwischen zwei Glasoberflächen veranschaulicht: Die von links einfallende Lichtwelle W trifft auf die Grenzfläche der Linse L und wird als Teilwelle T_1 reflektiert. Der nicht reflektierte Anteil geht als Teilwelle T_2 durch den Luftkeil hindurch und wird an der Oberfläche der Glasplatte P reflektiert. Da es sich an dieser

Fig. 1 Schematische Darstellung der ebenen Glasplatte und der plankonvexen Linse mit großem Krümmungsradius.
L: plankonvexe Linse
P: Glasplatte
R: Krümmungsradius
r: Abstand vom Berührungspunkt Linse-Glasplatte
d: Dicke der Luftschicht im Abstand r

Fig. 2 Schema zur Erläuterung der Interferenz an einem Luftkeil L: plankonvexe Linse, P: Glasplatte
 $T_1 \dots T_5$ Teilwellen, die durch Reflexion und Transmission der Lichtwelle W an den Grenzflächen L und P entstehen
d: Abstand der Glasoberflächen von Linse und Glasplatte



Geräte		
1 Gläser für Newtonsche Farbringe		471 111
2 Strahlteiler		471 88
2 Linsen f = +200 mm		460 04
1 Optische Bank, Normalprofil 1 m		460 32
5 Optikreiter, H = 60 mm/B = 36 mm		460 353
1 Optikreiter, H = 60 mm/B = 50 mm		460 351
1 Verlängerungsarm 100		460 356
1 Halogenleuchte 12 V, 50/90 W		450 64
1 Halogenlampe 12 V, 90 W		450 63
1 Transformator 2 ... 12 V		521 25
2 Experimentierkabel, 100 cm schwarz		501 33

Grenzfläche P jedoch um eine Reflexion am optisch dichteren Medium handelt, erfährt die reflektierte Teilwelle T₃ im Gegensatz zur Teilwelle T₁ einen Phasensprung von π (analog der Reflexion einer Seilwelle am festen Ende).

Der nicht reflektierte Anteil dringt als Teilwelle T₂ in die optisch dichtere Glasplatte ein. Die Teilwelle T₃ trifft wieder auf die Linse L und wird dort wieder mit einem Phasensprung von π als Teilwelle T₄ reflektiert. Der nicht reflektierte Anteil dringt wiederum ohne Phasensprung in die optisch dichtere Glasplatte ein. Weitere Teilwellen, hier angedeutet durch T₅, entstehen durch Mehrfachreflexion.

Unter Reflexion betrachtet man nun die Interferenz der Teilwellen T₁ und T₃. Der Gangunterschied Δ_R zwischen T₁ und T₃ beträgt

$$\Delta_R = 2 \cdot d + \frac{\lambda}{2} \tag{I}$$

Im reflektierten Licht besteht das durch Reflexion und Brechung entstehende Interferenzbild aus konzentrischen dunklen Ringen um ein dunkles Zentrum. Die Bedingung für Auslöschung (destruktive Interferenz) liegt vor, wenn der Gangunterschied Δ_R ein ungeradzahliges Vielfaches der halben Wellenlänge λ ist

$$(2 \cdot k - 1) \cdot \frac{\lambda}{2} = 2 \cdot d + \frac{\lambda}{2} \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

oder

$$d = (k - 1) \cdot \frac{\lambda}{2} \tag{II}$$

In Durchsicht betrachtet man nun die Interferenz der Teilwellen T₂ und T₄. Der Gangunterschied Δ_T zwischen T₂ und T₄ beträgt

$$\Delta_T = 2 \cdot d + 2 \cdot \frac{\lambda}{2} \tag{III}$$

Bei Betrachtung der Newtonschen Ringe im durchgehenden Licht ist die Interferenzerscheinung komplementär zu der im reflektierten Licht. Die Mitte der Kreisschar ist im durchgehenden Licht hell. Es werden daher an Stelle der dunklen Ringe die hellen ausgemessen. Durch die zweimalige Reflexion am optisch dichteren Medium erfährt die Teilwelle T₄ jedesmal einen Phasensprung von π und überlagert sich mit dem ursprünglichen Wellenzug T₂ phasengleich.

Die Bedingung für konstruktive Interferenz liegt vor, wenn der Gangunterschied Δ_T ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge λ ist

$$k \cdot \lambda = 2 \cdot d + 2 \cdot \frac{\lambda}{2} \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

oder

$$d = (k - 1) \cdot \frac{\lambda}{2} \tag{IV}$$

Diese Bedingung entspricht genau der Bedingung (II) für destruktive Interferenz bei reflektiertem Licht. Daher sind die beobachteten Interferenzbilder komplementär.

Nach Fig. 2 sind die Amplituden der Teilwellen T₁ und T₃ ungefähr gleich groß, da beide Teilwellen durch einmalige Reflexion erzeugt werden. Die Teilwelle T₄ wird durch zweimalige Reflexion erzeugt und ist daher wesentlich schwächer als die ohne Reflexion erzeugte Teilwelle T₂. Daher ist der Kontrast, also der relative Intensitätsunterschied zwischen hellen und dunklen Ringen, im durchgehenden Licht sehr viel schwächer als im reflektierten Fall.

Nach Fig. 1 hängt die Dicke d in (II) und (IV) vom Abstand r zum Berührungspunkt zwischen Konvexlinse und Glasplatte sowie vom Krümmungsradius R der Konvexlinse ab. Für kleine Dicken d gilt:

$$d = \frac{r^2}{2R} \tag{V}$$

Für die Durchmesser

$$D_k = 2 \cdot r_k$$

benachbarter Newtonscher Ringe erhält man aus (II) bzw. (IV) und (V) die Beziehung

$$D_{k+1}^2 - D_k^2 = 4 \cdot R \cdot \lambda \tag{VI}$$

Durch Messung der Durchmesser kann somit bei bekanntem Krümmungsradius R der Linse eine mittlere Wellenlänge λ des weißen Lichtes bestimmt werden.

Aufbau

Hinweis:

Die Gläser für Newtonsche Ringe können bei zu starkem oder asymmetrischem Anpressdruck dauerhaft verformt und beschädigt werden.

Rändelschrauben zur Justierung der Gläser für Newtonsche Ringe nur mit Feingefühl drehen.

Der Versuchsaufbau ist in Fig. 3 dargestellt. Mit Hilfe der beiden Strahlteiler S₁ und S₂ werden die Newtonschen Farbringe im durchgehenden und reflektierten Licht nebeneinander auf die Wand projiziert. Dadurch können die Interferenzerscheinungen gleichzeitig beobachtet und damit miteinander verglichen werden.

- Optische Bank in ca. 2,0 m Abstand parallel zur Wand aufstellen.
- Halogenlampe H entsprechend Fig. 3 auf der Optischen Bank befestigen.
- Strahlteiler S₁ in 30 cm Entfernung zur Halogenlampe auf der Optischen Bank stellen und im Winkel von 45° ausrichten.
- Halogenlampe H einschalten und auf den Strahlteiler ausrichten.

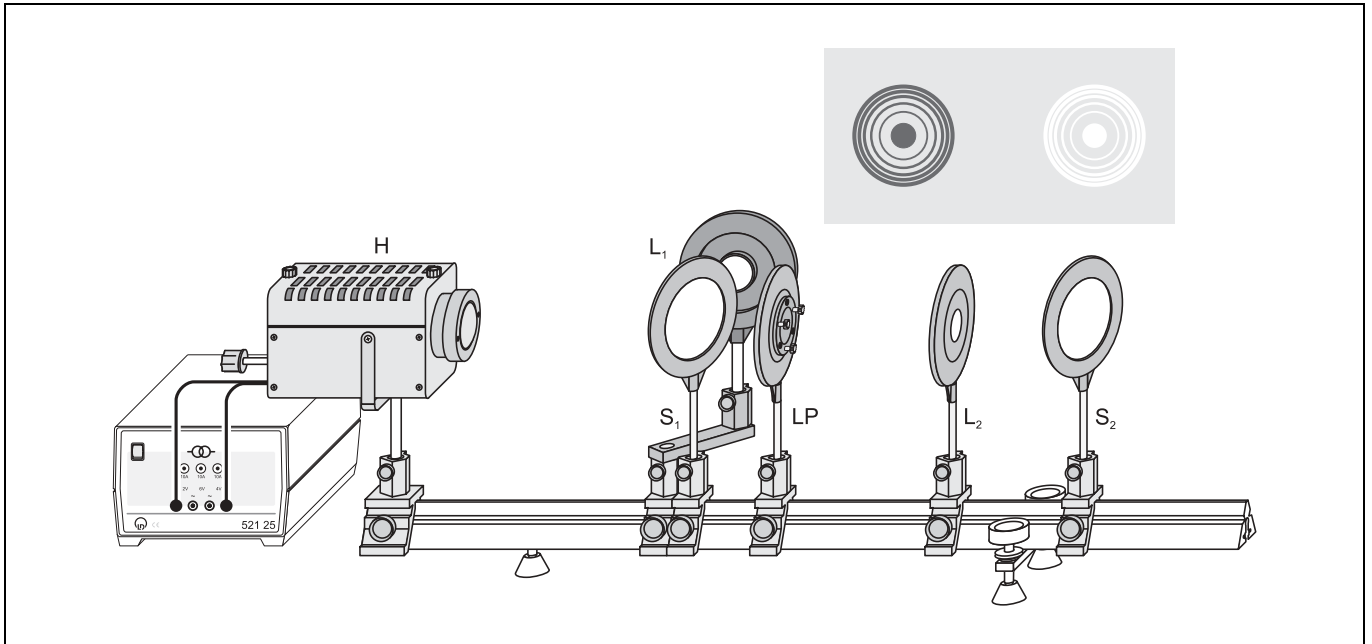


Fig. 3 Versuchsaufbau zur gleichzeitigen Beobachtung der Newtonschen Ringe in durchgehendem und reflektiertem Licht.

- H Halogenleuchte
- LP Plankonvexlinse und Glasplatte
- S₁, S₂ Strahlteiler
- L₁, L₂ Linsen zur Abbildung der Ringe

- Linse L₁ auf Optikreiter mit Verlängerungsarm auf der Optischen Bank entsprechend Fig. 3 direkt hinter dem Strahlteiler S₁ positionieren.
- Gläser für Newtonsche Farbringe in ca. 16 cm Entfernung zum Strahlteiler S₁ auf Optische Bank stellen (die aufgebrauchte Skala soll auf der Seite des Strahlteilers S₁ weisen).
- Optikreiter mit Gläser für Newtonsche Farbringe in Richtung Strahlteiler schieben, bis auf der Wand das Ringmuster mit Hilfe der Linse L₁ abbildet wird.
- Dazu die drei Rändelschrauben der Gläser für Newtonsche Ringe zunächst vollständig lösen und anschließend vorsichtig anziehen bis
 - a) sich die Glasplatten berühren (d.h. bis keine weiteren Interferenzringe aus dem Zentrum hervorquellen und der innerste Ring in Reflexion dunkel ist.)
 - b) das Ringsystem genau in der Skalenmitte liegt (das Ringsystem wandert immer in Richtung der Rändelschraube, die gerade bewegt wird.)
- Linse L₁ evtl. noch etwas verschieben, bis das Ringmuster auf der Wand scharf abbildet wird.
- Linse L₂ in ca. 20 cm Entfernung vom Optikreiter mit Gläser für Newtonsche Farbringe stellen.
- Strahlteiler S₂ in ca. 35 cm Entfernung von den Gläsern für Newtonsche Ringe auf Optische Bank setzen.
- Strahlteiler im Winkel zur optischen Achse ausrichten, so dass das Licht der Lampe neben dem Interferenzmuster des reflektierten Lichtes zu sehen ist.
- Linse L₂ in Richtung des Strahlteilers S₂ verschieben, bis das Ringmuster (und die Skala) in durchgehendem Licht scharf abgebildet wird.

Durchführung

- Interferenzerscheinung beobachten und das konzentrische Ringmuster des durchgehenden und reflektierten Lichtes bezüglich der Helligkeitsabfolge vergleichen.
- Durchmesser des dunklen bzw. hellen Zentrums mit Hilfe der projizierten Skala messen.
- Durchmesser der dunklen bzw. der hellen Ringe durch Ablesen mit Hilfe der projizierten Skala messen.
- Kontrast der beiden Interferenzmuster vergleichen.

Messbeispiel

Interferenzbild bei durchgehendem Licht: geringer Kontrast.
 Das Zentrum ist hell und von konzentrischen hellen Ringen umgeben. Die Ringe sind durch Farbsäume begrenzt.

Interferenzbild bei reflektiertem Licht: größerer Kontrast.
 Das Zentrum ist dunkel und von konzentrischen dunklen Ringen umgeben. Die Ringe sind durch Farbsäume begrenzt.

Tab. 1: Ringdurchmesser D der Intensitätsminima bei reflektiertem Licht bzw. Intensitätsmaxima bei durchgehendem Licht.

	$\frac{D_k'}{\text{mm}}$	
	Reflexion	Transmission
Zentrum	3,2	3,3
Ring 1	6,2	6,3
Ring 2	8,4	8,6
Ring 3	10,2	10,4
Ring 4	11,5	11,6
Ring 5	12,8	13,0

Der Abstand benachbarter Ringe nimmt mit zunehmendem Durchmesser ab.

Auswertung

Entsprechend Tab. 1 sind die Durchmesser der Zentren und der Ringe für die Betrachtung in reflektiertem und durchgehendem Licht gleich.

Fig. 4 stellt den Zusammenhang zwischen den Quadraten der Durchmesser $D_{k'}$ und der laufenden Nummer k' der Ringe dar. Für die Steigung $a = 31,6 \text{ mm}^2$ der eingezeichneten Geraden gilt wegen (VI)

$$a = D_{k'+1}^2 - D_{k'}^2 = 4 \cdot R \cdot \lambda$$

Der Krümmungsradius R wird in der Gebrauchsanweisung für die Gläser für Newtonsche Farbringe mit $R = 12,144 \text{ m}$ angegeben.

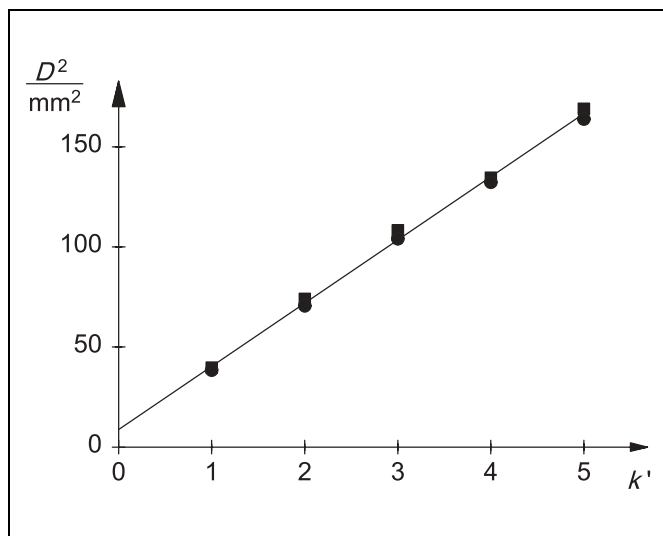


Fig. 4 Quadrat des Ringdurchmessers aufgetragen gegen die laufende Nummer des Interferenzringes
 ● reflektiertes Licht, ■ durchgehendes Licht

Daraus erhält man $\lambda = 650 \text{ nm}$ in Übereinstimmung mit der Tatsache, dass für Messung der Durchmesser die rötlichen Farbsäume herangezogen wurden.

Ergebnis

Die Newtonschen Ringe erscheinen in durchgehendem und reflektiertem Licht komplementär, da die Teilstrahlen im Luftkeil bei jeder Reflexion an den Glasflächen einen Phasensprung von π bzw. einen zusätzlichen Gangunterschied von $\lambda/2$ erfahren.

Der Kontrast zwischen Hell und Dunkel ist in durchgehendem Licht deutlich geringer als in reflektiertem Licht.

Zusatzinformation

Das Auftreten eines schwarzen Zentrums im Interferenzbild ist ein direkter Beweis dafür, dass das Licht bei der Reflexion am optisch dichteren Medium einen Phasensprung von π bzw. einen zusätzlichen Gangunterschied von $\lambda/2$ erfährt. Da bei einer Dicke $d \ll \lambda$ der Gangunterschied – ohne Phasensprung – gleich Null wäre, müsste die Interferenz maximale Helligkeit statt Dunkelheit ergeben. Erst die Hinzufügung von $\lambda/2$ kann das experimentelle Ergebnis erklären.

Benutzt man jedoch zur Erzeugung der Newtonschen Ringe eine Linse aus Kronglas und eine Platte aus Flintglas, so erhält man nach *T. Young* für die Beobachtung in Reflexion einen hellen Fleck in der Mitte, wenn der Raum zwischen der Glasplatte und der Plankonvexlinse statt mit Luft mit Cassiaöl gefüllt ist. Da der Brechungsindex des Öles zwischen dem des Kronglases und des Flintglases liegt, findet an der oberen und unteren Ölschicht stets Reflexion am optisch dichteren Medium statt, so dass bei einer sehr dünnen Schicht mit $d \ll \lambda$ im reflektierten Licht in der Mitte nun ein Helligkeitsmaximum auftritt.