Versuchsprotokoll *Martin Opitz, Frank Pilhofer*

Dienstag, 22. Juni 1993 Physikalisches Anfängerpraktikum

Newton'sche Interferenzringe

Versuch 13/1

Inhaltsverzeichnis

Einleitung 2

Problemstellung des Versuchs 2

Beschreibung der Meßmethode 2

Beschreibung der physikalischen Grundlagen 3

Meßwerte 5

Fehlerrechnung 6

Einleitung

Problemstellung des Versuchs

Bei diesem Versuch soll mittels Interferenz der Krümmungsradius einer Linse bestimmt werden. Die Interferenzmethode, die auf den sogenannten Newton'schen Interferenzringen arbeitet besonders bei großen Radien sehr genau, da aufgrund der Wellennatur des Lichts Gangunterschiede im Submikrometerbereich gemessen werden können. Interferometrische Messungen werden heutzutage bei den meisten Längenmessungen verwandt. Spektakuläre Anwendungen sind z.B. die Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit oder der Nachweis für die Nichtexistenz des Äthers.

Beschreibung der Meßmethode

Die zu untersuchende Linse wird auf einen Glastisch gelegt und mit monochromatischem Licht aus einer Natriumlampe bestrahlt. Die Interferenzringe können mit einem schwach vergrößernden Mikroskop betrachtet werden. Um die auftretenden Platzprobleme zu lösen, muß mit einem kleinen Trick gearbeitet werden; schließlich muß die Linse von oben mit dem Licht beleuchtet werden, ebenso muß die Betrachtung von oben erfolgen. Deshalb ist am unteren Ende des Mikroskop eine Glasplatte angebracht, die das im Versuchsaufbau seitlich einfallende, mit einer Linse parallel gebündelte Licht auf die Linse umlenken, gleichzeitig auch das zurückgestrahlte Licht zum Mikroskop durchlassen kann. Da das Glas natürlich nicht alles mit dem Licht anstellen kann, was wir wollen, treten natürlich Lichtverluste auf, weil nicht alles Licht der Lichtquelle umgelenkt wird und ebenfalls von der Linse einfallendes Licht abgelenkt wird. Dieser Effekt ist jedoch schwach genug, so daß eine Messung trotzdem erfolgen kann.

Mit dem Mikroskop ist stets nur ein Teil der Linse zu überblicken. Um die gesamte Linse und damit auch alle Ringe betrachten zu können, befindet sich die Linse auf einem Tisch, der mittels Handkurbeln in zwei Richtungen verschiebbar ist. Für die Messungen wird nur eine Achse benötigt, die andere wird auf den gemeinsamen Mittelpunkt der konzentrischen Ringe eingestellt. Beide Achsen besitzen eine sehr hohe Meßgenauigkeit, sofern sie nur in eine Richtung gedreht werden. In diesem Fall sind Bewegungen auf ein Mikrometer genau meßbar.

Bei den Newton'schen Interferenzringen entsteht analog zu einer Schwebung ein kontinuierlicher Übergang zwischen Knoten und Bäuchen. Im Mikroskop sind daher zwei eng aneinanderliegende Fäden angebracht, zwischen denen das Intensitätsmaximum des Ringes ins Zentrum gerückt wird.

Es werden insgesamt 30 Ringdurchmesser ausgemessen; die Ergebnisse werden in einer linearen Regressionsanalyse verwendet, um mittels einer Ausgleichsgerade den eigentlichen Linsendurchmesser zu bestimmen.

Bei den Ringen müßte eigentlich der Radius gemessen werden, dies setzt allerdings die Kenntnis der Lage des Mittelpunktes voraus. Genau dieser ist jedoch nur schwer zu bestimmen. Aus diesem Grunde werden die Positionen der Ringe auf beiden Seiten des Mittelpunktes gemessen, woraus der Durchmesser bestimmt wird. Die Berechnungen werden dann so umgeschrieben, daß sie für Durchmesser anstatt der Radien greifen.

Weiterhin ist es auch problematisch, daß die Ringe nahe des Mittelpunktes (also des Auflagepunktes der Linse) immer breiter werden, was aus der hier nahezu unmerklichen Krümmung der Linse folgt. Das Intensitätsmaximum eines Ringes ist in dieser Gegend immer schwerer zu bestimmen. Insbesondere also hier sind Ungenauigkeit zu erwarten. Um um sie herumzuarbeiten, werden von den ohnehin zahlreichen Meßwerten die Durchmesser der inneren Ringe nicht beachtet.

Beschreibung der physikalischen Grundlagen

Wird Licht auf die auf einer Glasplatte liegende Linse gerichtet, so wird das Licht teils von der Linse, teils erst von der Glasplatte reflektiert. Das Licht der Glasplatte, welches sich jenseits der Linse wieder mit dem von der Linse reflektierten Licht überlagert, hat einen weiteren Weg zurückgelegt und befindet sich dementsprechend in einer anderen Phase. Aufgrund der Krümmung der Linsenoberfläche ist der Gangunterschied nur auf konzentrischen Ringen um das Zentrum konstant. Vom diesem Zentrum senkrecht fortlaufend, ändert sich der Gangunterschied ständig. Entsprechend dem Gangunterschied ändert sich natürlich auch der Phasenunterschied des Lichts. An einigen Stellen findet man konstruktive Interferenz, an anderen destruktive.

Führt man das Experiment mit dem gesamten sichtbaren Lichtspektrum durch, ergibt sich ein schöner Effekt; an jeder Stelle der Linse liegt destruktive Interferenz einer bestimmten Wellenlänge vor, andere (unterscheidbare) Farben werden nur schwach sichtbar geschwächt oder verstärkt. Daher wird an jeder Stelle eine andere Farbe aus dem Spektrum subtrahiert, das Interferenzbild ähnelt einem farblich umgedrehten Spektrum. Beim Spektrum findet man an jeder Stelle eine Grundfarbe, hier findet man an jeder Stelle eine Komplementärfarbe.

Bei der Verwendung monochromatischen Lichtes entfällt das schillernde Farbenspiel. Hier sieht man nur die Interferenz einer Wellenlänge. Es entstehen helle Ringe, in denen konstruktive Interferenz vorliegt und dunkle Zwischenräume, in denen sich die Lichtwellen desktruktiv überlagern.

In diesem Versuch werden die Lichtwellen von der Linse und von der Glasplatte reflektiert. Bei der Reflexion erfährt das Licht einen Phasensprung um π. Da jedoch *alle* Lichtstrahlen reflektiert werden, rechnet sich dieser Effekt heraus.

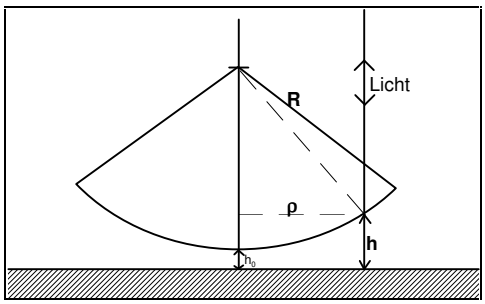

Abb. 1 - Messungen an der Linse

Liegt konstruktive Interferenz vor, so ist die Phasendifferenz der Lichtwellen genau 0, es liegt also ein Gangunterschied von $n\lambda$ vor. Ein Maximum weiter außen hat sich die Phase des von der Glasplatte zurückgeworfenen Lichts gegenüber des von der Linse reflektierten Lichts um 2π verschoben, hier ist der Gangunterschied also $(n+1)\lambda$. Zwischen zwei auf der Linse beobachteten Ringen herrscht also auf der Linse eine Höhendifferenz von $\frac{1}{2}\lambda$ (die von dem Licht natürlich aufgrund der Reflexion zweimal durchlaufen wird, siehe auch Abb. 1). Folglich gilt für zwei benachbarte Ringe die Beziehung

$$2(h_{n+1} - h_n) = \lambda \ . \qquad (1)$$

Wie in Abb. 1 ebenfalls ersichtlich, muß evtl. aufgrund von Staubkörnern noch mit einem konstanten Abstand h_0 zwischen der Linse und der Glasplatte gerechnet werden. Dieser Abstand fällt jedoch bei der Differenzbildung der Formel 1 heraus.

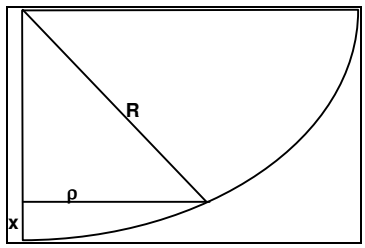

Abb. 2 - Berechnungen am Kreis

In Abb. 2 erkennt man aufgrund des Satzes von Pythagoras die Beziehung $\rho^2 + (R-x)^2 = R^2$, die sich durch Ausquadrieren und Umstellen zu $\rho^2 = (2R-x)x$ umformen läßt. Da bei diesem Versuch mit sehr großen Linsendurchmessern gearbeitet wird, fällt die Differenz innerhalb der Klammer kaum ins Gewicht, der Einfachheit halber wird die Subtraktion des x unterschlagen, womit sich die Formel zu

$$\rho^2 = 2Rx \qquad (2)$$

vereinfacht.

Dies (2) läßt sich auch auf benachbarte Ringe anwenden, es gilt $\rho_{n+1}^2 - \rho_n^2 = 2R(x_{n+1} - x_n)$. Da natürlich $\Delta h = \Delta x$ gilt, folgt heraus zusammen mit Formel 1 die fast endgültige Formel

$$\rho_{n+1}^2 - \rho_n^2 = 2R\tfrac{\lambda}{2} = R\lambda \ . \qquad (3)$$

Der letzte Haken an der Formel ist, daß sie mit den Radien der Ringe arbeitet. Wie jedoch bereits auf Seite 3 beschrieben, ist das Rechnen mit Radien hier ungünstig. Die Formel wird daher unter Verwendung von $\rho = \frac{1}{2} d$ zu

$$d_{n+1}^2 - d_n^2 = 4R\lambda \ . \qquad (4)$$

Die Formel wird nun noch weiterverwendet. Wir wissen nun, daß diese Beziehung für jeweils zwei benachbarte Ringe gilt. Durch Umstellen der Formel ergibt sich eine Teleskopsumme, die schließlich bei

$$d_{n+1}^2 = 4R\lambda \cdot n + d_1^2 \qquad (5)$$

endet.

Hierbei ist eine linear von n abhängige Formel für den Durchmesser entstanden. Durch mehrfaches Messen von Durchmesser und Ringnummer lassen sich mittels einer linearen Regressionsanalyse die Parameter der Geradengleichung $y = \alpha x + \beta$, $\alpha = 4R\lambda$, $\beta = d_1^2$ bestimmen.

Meßwerte

In der folgenden Tabelle sind die Ringdurchmesser der einzelnen Interferenzringe (Intensitätsmaxima) angegeben. Die Zählung beginnt innen.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d\left[10^{-5} m\right]$	168	255	300	339	374,5	405,5	436	463	491	514,5
n	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$d\left[10^{-5} m\right]$	539	561,5	582,5	603	623	645,5	665	681,5	700,5	719
n	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$d\left[10^{-5} m\right]$	737,5	753	770	788,5	803	817,5	832,5	849,5	863,5	877,5

In Abb. 3 ist das Quadrat der Ringdurchmesser gegen die Ordnungsnummer des Rings aufgetragen. Die lineare Abhängigkeit ist deutlich zu erkennen. Mit diesen Werten wird jetzt wie beschrieben eine lineare Regressionsanalyse durchgeführt. Dabei werden, wie ebenfalls beschrieben, die Werte der inneren 5 Ringe ignoriert, weil hier mit den größten Abweichungen zu rechnen ist. Auch dies ist in der Grafik erkennbar.

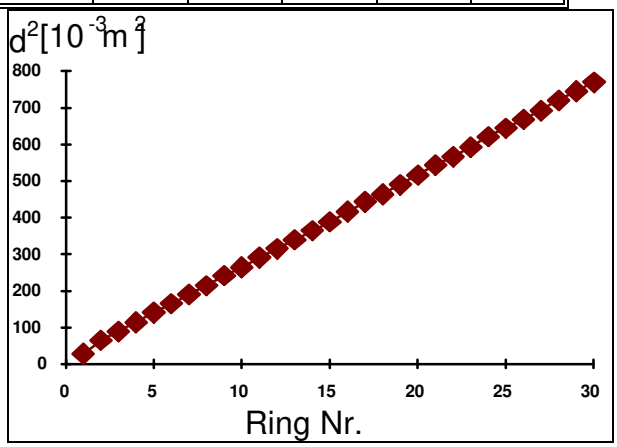

Abb. 3 - Auftragen der Ringdurchmesser

Es ergeben sich die Werte $\alpha = 2,53 \cdot 10^{-6} m^2$ und $\beta = 1,38 \cdot 10^{-5} m^2$. Mit der bekannten Wellenlänge des verwendeten Lichts aus Natriumdampflampen mit $\lambda = 589,2nm$ wird aus (5) der gesuchte Krümmungsradius der Linse bestimmt: $R = \frac{\alpha}{4\lambda} = 1,073m$.

Fehlerrechnung

Bei der linearen Regression lauten die mit Fehlerangaben versehenen Werte für Steigung und y- Achsenabschnitt wie folgt: $\alpha = 2,528 \cdot 10^{-6} m^2 \pm 0,2\%$ und $\beta = 1,38 \cdot 10^{-6} m^2 \pm 0,5\%$. Da die Werte für 4 und die Wellenlänge als konstant angenommen werden könne, ergibt sich für den Krümmungsradius ebenfalls eine Abweichung von $\pm 0,2\%$.

Übrigens erkennt man an dem Graphen der Funktion ebenfalls die Notwendigkeit, die inneren Ringe nicht mit in die Rechnungen einzubeziehen. Im Bereich der ersten Meßwerte fällt die Kurve ab.

Die starke Abweichung vom tatsächlichen Durchmesser der Linse läßt sich eventuell durch die Labilität der Versuchsapparatur begründen. Die Linse war auf dem Versuchstisch weder festgeschraubt noch anderweitig befestigt. Während der gesamten Dauer des Versuchs war die Apparatur den nicht unerheblichen Einflüssen der Umwelt ausgesetzt. So kann unbeabsichtigt am Tisch gewackelt worden sein; selbst stärkere Luftströme hätten die Linse von ihrem gewünschten Platz fortbewegen können.