

Newton'sche Ringe



ABSTRACT. In diesem Experiment wurde der Welle-Teilchen-Dualismus des Lichtes näher untersucht. Dazu wurde das Phänomen der Newton'schen Ringe bei einer simplen optischen Anordnung aus Linse und Glasscheibe mittels einer Spektrallampe sichtbar gemacht. Dabei konnten die verwendeten physikalischen Modelle, genauer die Strahlenoptik sowie die Interferenzfähigkeit des Lichts, bestätigt werden. Aus der Analyse der Beugungsmaxima konnten repräsentative Werte für die Wellenlänge des einfallenden Lichtes sowie für den Linsenradius bestimmt werden.

Messwerte und Unsicherheiten sind im Anhang zu finden. Die Propagation von Messunsicherheiten wurde stets gemäß der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung berechnet.

I. PHYSIKALISCHER HINTERGRUND

1. Interferenz

Im Rahmen der Wellenoptik wird die Überlagerung zweier kohärenter Wellenzüge als **Interferenz** bezeichnet. Kohärent bedeutet hier, dass die Wellenzüge die gleiche Wellenlänge aufweisen, sich also nur in Intensität und einer konstanten Phasendifferenz unterscheiden. Je nach Phasenunterschied kommt es zu destruktiver oder konstruktiver Interferenz. Die Intensität an einem Ort kann gemäß

$$I_{1+2} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \varphi \quad (1)$$

berechnet werden, wobei φ den Phasenunterschied bezeichnet.

2. Newton'sche Ringe

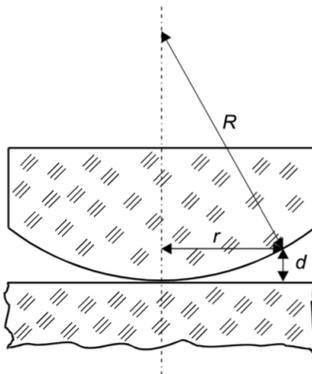


Abb. 1: Anordnung einer Plankonvexlinse auf einer Glasplatte [1]

Relevant für dieses Experiment ist folgende Anordnung: Auf einer Glasplatte ist eine plankonvexe Linse mit Krümmungsradius R fixiert. Zwischen den beiden Objekten befindet sich aufgrund der Form der Linse ein Luftspalt, dessen Höhe d abhängig vom Abstand zum Mittelpunkt der Anordnung r ist.

Geometrisch kann anhand von Abb. 1 folgende Beziehung zwischen d und r hergeleitet werden:

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

Wird der Aufbau von oben mit monochromatischem, parallelem Licht bestrahlt, so lässt sich der Strahlengang wie in Abb. 2 dargestellt nachvollziehen: An der unteren Linsenwand wird ein Teil des Lichtes (1) reflektiert und ein Teil (2) transmittiert.

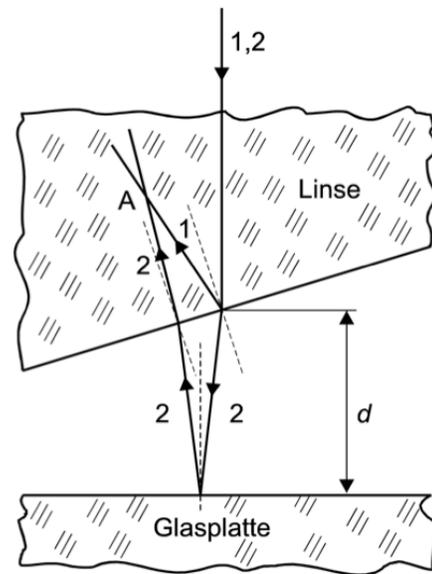


Abb. 2: Strahlengang zwischen Linse und Glasplatte [1]

Der transmittierte Strahl wird an der Glasplatte wiederum reflektiert und tritt wieder in die Linse ein.

Durch Vergrößerung des Linsenradius kann erreicht werden, dass die beiden Strahlen oberhalb des Luftspalts aufeinandertreffen. Der Gangunterschied der beiden Strahlen ist dann näherungsweise $2d$. Zusätzlich muss beachtet werden, dass der transmittierte Strahl (2) bei der Reflexion an der Glasplatte, einem optisch dichteren Medium, einen Phasensprung von π erfährt. Somit ist die Phasendifferenz am Punkt der Interferenz

$$\varphi = 2\pi \frac{2d}{\lambda} + \pi = (2k + 1)\pi \quad \text{mit } k := \frac{2d}{\lambda} \quad (3)$$

Die Interferenzminima treten bei $\varphi = (2n + 1)\pi$ mit $n \in \mathbb{N}$ auf, die Bedingung an die Spaltdicke ist also

$$d = \frac{\lambda}{2}k \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

Diese Formel kann nun in (2) eingesetzt werden, um eine Beziehung zwischen dem Quadrat des Radius r und der Wellenlänge λ zu erhalten. Aufgrund von $d \ll r$ kann dabei der d^2 -Term vernachlässigt werden.

$$r^2 = R\lambda k \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

Bei diesen Radien werden Intensitätsminima beobachtet. Gleichermaßen kann berechnet werden, dass zwischen den Minima jeweils ein Intensitätsmaximum (bei $\varphi = 2n\pi$) liegt. Bei Betrachtung der Anordnung von oben kann dann ein Ringmuster beobachtet werden, welches als **Newton'sche Ringe** bezeichnet wird. Gl. (5) kann verwendet werden, um aus den beobachteten Intensitätsminima die Wellenlänge des verwendeten Lichtes bzw. den Krümmungsradius der verwendeten Linse bei Kenntnis des jeweils anderen Wertes zu bestimmen.

II. VERSUCHSAUFBAU UND DURCHFÜHRUNG

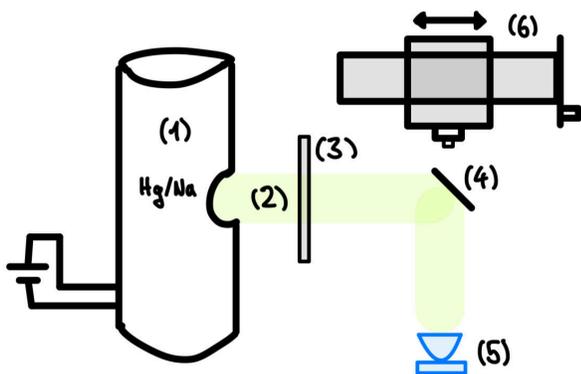


Abb. 3: Versuchsaufbau

Wie in Abb. 3 zu erkennen, ist die Lichtquelle in diesem Experiment eine **Spektrallampe** (1). Der Lichtstrahl (2) verläuft zunächst seitwärts durch einen Farbfilter (3) und wird dann von einem lichtdurchlässigen Spiegel (4)

auf die in Abschnitt 1 beschriebene optische Anordnung (5), bestehend aus der plankonvexen Linse und einer Glasplatte, gelenkt. Zur Beobachtung dient ein lateral verschiebbares Mikroskop (6), welches mit einem Fadenkreuz und einem Millimetermaß ausgestattet ist. Mit diesem werden die Positionen der Intensitätsminima von links nach rechts bestimmt. Die Differenz der so bestimmten Positionen zweier Antipoden eines Rings ergibt seinen Durchmesser. Für jede Messreihe werden etwa 15 Ringe vermessen. Aufgrund der Totbewegung des Mikroskops wird die Unsicherheit mit einem Größtfehler von $u_P = 0,15$ mm abgeschätzt.

Es werden drei Messreihen aufgenommen: Zunächst werden die grüne und die blaue Spektrallinie von Quecksilber verwendet, dann wird eine Natrium-Spektrallampe verwendet, um die Na-D-Linie zu betrachten. Aus der bekannten grünen Hg-Linie wird der Krümmungsradius bestimmt, für die blaue Hg- und die Na-D-Linie soll jeweils die Wellenlänge bestimmt werden.

III. AUSWERTUNG

Für alle drei Messreihen wird hier jeweils das Quadrat des Radius r^2 in Abhängigkeit des Zählindex k aufgetragen und gemäß der Gl. (5) eine lineare Regression der Form $r^2(k) = a \cdot k$ durchgeführt.

1. Grüne Hg-Linie

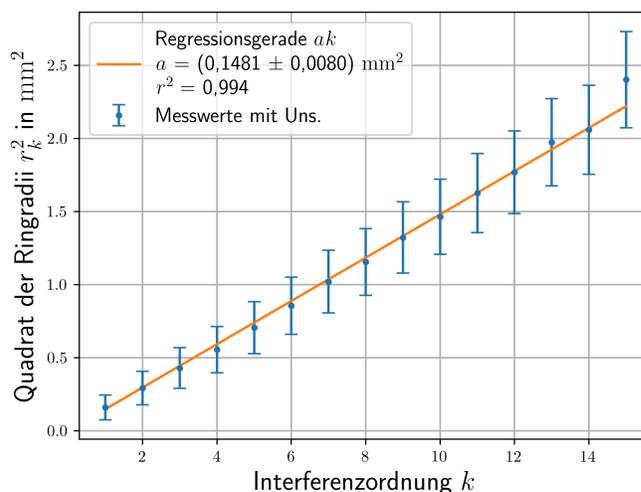


Abb. 4: Graphische Darstellung der ersten Messreihe. Quadrierte Messwerte des Radius mit Unsicherheiten in Abhängigkeit der Interferenzordnung in blau, Regressionsgerade gemäß $r^2 = a \cdot k$ in orange.

Wie in Abb. 4 zu erkennen, genügen die Messwerte innerhalb der Unsicherheiten dem Modell eines linearen Zusammenhangs zwischen r^2 und k . Der r^2 -Wert der Regression liegt nahe an 1, somit ist diese als gelungen

zu betrachten. Der Fitparameter a kann aus der Legende entnommen werden.

Gemäß Gl. (5) kann mit der bekannten Wellenlänge von $\lambda_{\text{Hg, grün}} = 546,074 \text{ nm}$ ein Wert für den Krümmungsradius der Linse bestimmt werden:

$$R = \frac{a}{\lambda}, \quad u_R = \frac{u_a}{\lambda} \quad (6)$$

Daraus ergibt sich

$$R = (271 \pm 14) \text{ mm} \quad (7)$$

2. Blaue Hg-Linie

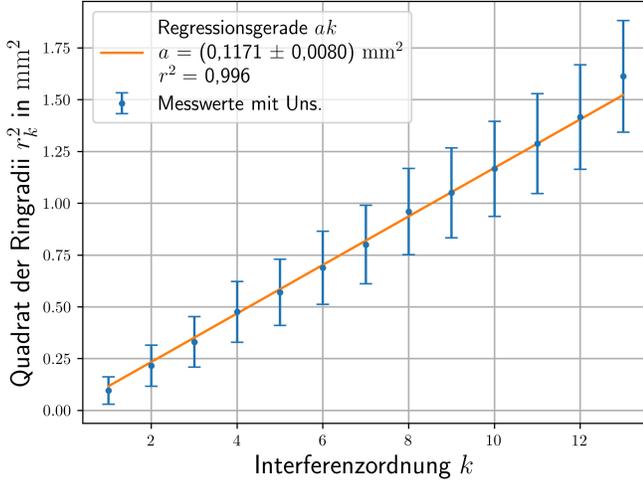


Abb. 5: Graphische Darstellung der zweiten Messreihe. Quadrierte Messwerte des Radius mit Unsicherheiten in Abhängigkeit der Interferenzordnung in blau, Regressionsgerade gemäß $r^2 = a \cdot k$ in orange.

Wie in Abb. 5 zu erkennen, sind auch hier die Messwerte innerhalb der Unsicherheiten im Einklang mit dem Modell eines linearen Zusammenhangs zwischen r^2 und k . Der r^2 -Wert der Regression liegt nahe an 1, somit ist diese als gelungen zu betrachten. Der Fitparameter a kann aus der Legende entnommen werden.

Mit dem oben bestimmten Krümmungsradius kann nun gemäß folgender Beziehung ein Wert für die verwendete Wellenlänge bestimmt werden:

$$\lambda = \frac{a}{R}, \quad u_\lambda = \sqrt{\left(\frac{u_a}{R}\right)^2 + \left(\frac{u_R \cdot a}{R^2}\right)^2} \quad (8)$$

Daraus ergibt sich

$$\lambda = (432 \pm 36) \text{ nm} \quad (9)$$

3. Na-D-Linie

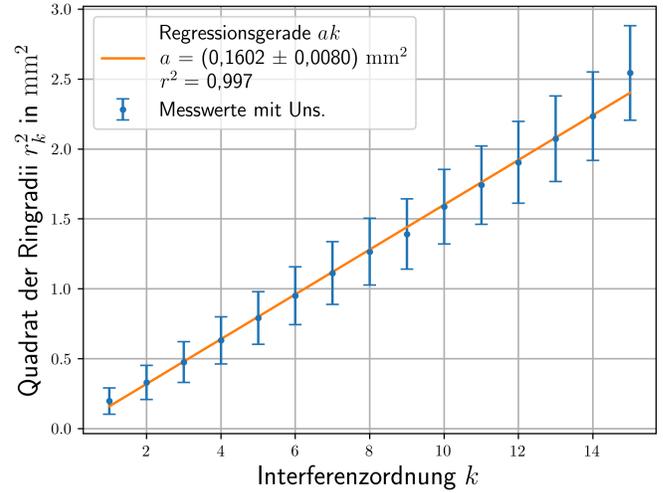


Abb. 6: Graphische Darstellung der dritten Messreihe. Quadrierte Messwerte des Radius mit Unsicherheiten in Abhängigkeit der Interferenzordnung in blau, Regressionsgerade gemäß $r^2 = a \cdot k$ in orange.

Wie in Abb. 6 zu erkennen, sind auch bei der dritten Messreihe die Messwerte innerhalb der Unsicherheiten gut vereinbar mit dem Modell eines linearen Zusammenhangs zwischen r^2 und k . Der r^2 -Wert der Regression liegt nahe an 1, somit ist diese als gelungen zu betrachten. Der Fitparameter a kann aus der Legende entnommen werden. Auch hier kann ein Wert für die Wellenlänge der Na-D-Linie nach Gl. (8) berechnet werden:

$$\lambda = (591 \pm 41) \text{ nm} \quad (10)$$

IV. DISKUSSION

In allen drei Messreihen konnte der im Rahmen der getroffenen Näherungen lineare Zusammenhang zwischen r^2 und k durch die Regression bestätigt werden. Damit wurde auch das verwendete Modell des Welle-Teilchen-Dualismus und der Interferenzfähigkeit von Licht validiert.

Die guten Regressionen geben Vertrauen in die drei bestimmten Werte für Krümmungsradius und Wellenlänge. Der Literaturwert für die blaue Linie des Hg-Spektrums liegt bei $\lambda = 435,8 \text{ nm}$ [2] und ist damit sehr gut mit unserem Wert vereinbar. Der Referenzwert für die Na-D-Linie ist $\lambda = 588,9 \text{ nm}$ [3] und somit ebenfalls innerhalb der Unsicherheit mit unserem Wert konsistent.

Verbesserungswürdig an der Versuchsdurchführung ist folgendes: Das verwendete Mikroskop bewegte sich leider nicht nur lateral, sondern dabei auch sinusförmig auf und ab. Dadurch war es schwerer, die genauen Positionen der Ringe festzustellen. Eine Messung mithilfe eines präziseren Mikroskops oder die Verwendung eines digitalen

Photosensors könnte die großen Unsicherheiten drastisch reduzieren.

1. Messreihen

Tab. 1: Messreihen der drei verschiedenen Wellenlängen

	Hg Grün		Hg Blau		Na	
	PL (mm)	PR (mm)	PL (mm)	PR (mm)	PL (mm)	PR (mm)
Mitte	29.18		29.13		29.08	
1	28.76	29.56	28.84	29.46	28.61	29.50
2	28.63	29.71	28.69	29.62	28.51	29.66
3	28.51	29.82	28.58	29.73	28.39	29.77
4	28.43	29.92	28.43	29.81	28.28	29.87
5	28.33	30.01	28.38	29.89	28.19	29.97
6	28.24	30.09	28.31	29.97	28.10	30.05
7	28.11	30.13	28.24	30.03	28.02	30.13
8	28.08	30.23	28.13	30.09	27.95	30.20
9	28.00	30.30	28.11	30.16	27.88	30.24
10	27.94	30.36	28.06	30.22	27.81	30.33
11	27.88	30.43	28.00	30.27	27.75	30.39
12	27.82	30.48	27.93	30.31	27.68	30.44
13	27.77	30.53	27.82	30.36	27.62	30.50
14	27.71	30.58			27.56	30.55
15	27.53	30.63			27.41	30.65

QUELLENVERZEICHNIS

- [1] D. Kohlberger *et al.*, "Versuchsanleitung "O6 Newtonsche Ringe"," *Humboldt-Universität zu Berlin*, 2024.
- [2] Y. Ralchenko, A. Kramida, and J. Reader, "Handbook of basic atomic spectroscopic data, Strong lines of mercury," *National Institute of Standards and Technology*, 2023.
- [3] Y. Ralchenko, A. Kramida, and J. Reader, "Handbook of basic atomic spectroscopic data, Strong lines of mercury," *National Institute of Standards and Technology*, 2023.