

Protokoll: Grundpraktikum II O6 - Newtonsche Ringe

Sebastian Pfitzner

4. März 2014

Durchführung: Anna Andrle (550727), Sebastian Pfitzner (553983)

Arbeitsplatz: Platz 2

Betreuer: Natalya Sheremetyeva

Versuchsdatum: 03.03.2014

Abstract

In diesem Versuch wird das als Newton'sche Ringe bekannte Phänomen untersucht. Anhand des Abstandes dieser konzentrischen Interferenzerscheinung lässt sich die Wellenlänge des einstrahlenden kohärenten Lichts oder aber der Radius der verwendeten konvexen, sphärischen Linse bestimmen. Im Versuch wird dieses Vorgehen anhand von zwei Quecksilber- und einer Natrium-Spektrallinie auf seine Praktikabilität geprüft - die Bestimmung des Linsenradius kann mit guter Genauigkeit erfolgen, aber die der Wellenlänge des eingestrahltten Lichts nicht.

Inhaltsverzeichnis

1	Messwerte und Auswertung	2
1.1	Bestimmung des Linsenradius	2
1.2	Bestimmung der Wellenlänge der blauen Quecksilber-Spektrallinie .	4
1.3	Bestimmung der Wellenlänge der gelben Natrium-Spektrallinie . . .	5
2	Ergebnisdiskussion	6
3	Messdatenprotokoll	8

1 Messwerte und Auswertung

1.1 Bestimmung des Linsenradius

Zur Bestimmung des Radius der Linse wird die Versuchsanordnung mit Licht bekannter Wellenlänge ($\lambda_g = 546,074 \text{ nm}$ [2], grüne Spektrallinie einer Quecksilberdampfampe) beleuchtet. Mittels eines beweglich gelagerten Mikroskops lässt sich der Abstand der konzentrischen dunklen Ringe vom Mittelpunkt bestimmen.

Anhand der im Skript [2] angegebenen Formel lässt sich folgender Zusammenhang finden:

$$(x_k - x_0)^2 = R \cdot \lambda \cdot k \quad (1)$$

wobei k die Beugungsordnung, λ die Wellenlänge und R der Radius der Linse ist.

$\lambda = \lambda_g$ ist bekannt, genauso wie die Beugungsordnung k und die x_k . Deshalb lässt sich das Produkt aus Radius und Wellenlänge nun als freier Parameter a_1 für einen linearen Fit behandeln. Ein zweiter Parameter a_2 kennzeichnet den Offset des Radius, so dass sich folgende Fitfunktion ergibt:

$$y = a'_1 \cdot x + a_2 \quad (2)$$

Die Unsicherheit der y -Werte ergibt sich aus gaußscher Fehlerfortpflanzung [1] wie folgt:

$$y = (x_k - x_0)^2 \quad (3)$$

$$\Delta y = \sqrt{(2 \cdot (x_k - x_0) \cdot \Delta x_k)^2 + (2 \cdot (x_k - x_0) \cdot \Delta x_0)^2} \quad (4)$$

Die Unsicherheit für die x_k wird wie folgt abgeschätzt: Aus der Unsicherheit der Mikrometerschraube ergibt sich ein Messgerätefehler von $\Delta x_{k,mg} = 0,005 \text{ mm}$, dazu kommt eine Ableseungenauigkeit von $\Delta x_{k,ab} = 0,02 \text{ mm}$ für die ersten beiden Ringe (also $k = 1, 2$) und $\Delta x_{k,ab} = 0,01 \text{ mm}$ für die schmaleren folgenden Ringe. Die Unsicherheit der Bestimmung des Mittelpunkts wird mit $\Delta x_{0,ab} = 0,05 \text{ mm}$ abgeschätzt, zuzüglich dem Messgerätefehler. Die Wellenlänge λ_g wird als fehlerfrei angenommen.

Für die beiden aufgenommenen Messreihen (links und rechts) wird jeweils ein Fit angefertigt; der Parameter a_1 ist dann jeweils der Linsenradius (links bzw. rechts) R_l und R_r .

Offensichtlich liefern alle Fits einen nicht verschwindenden Offset a_2 , der sich durch einen gewissen, kleinen Abstand der Linse von der Glasplatte erklären lässt, denn dadurch verschieben sich alle Abstände der Newtonschen Ringe nach außen.

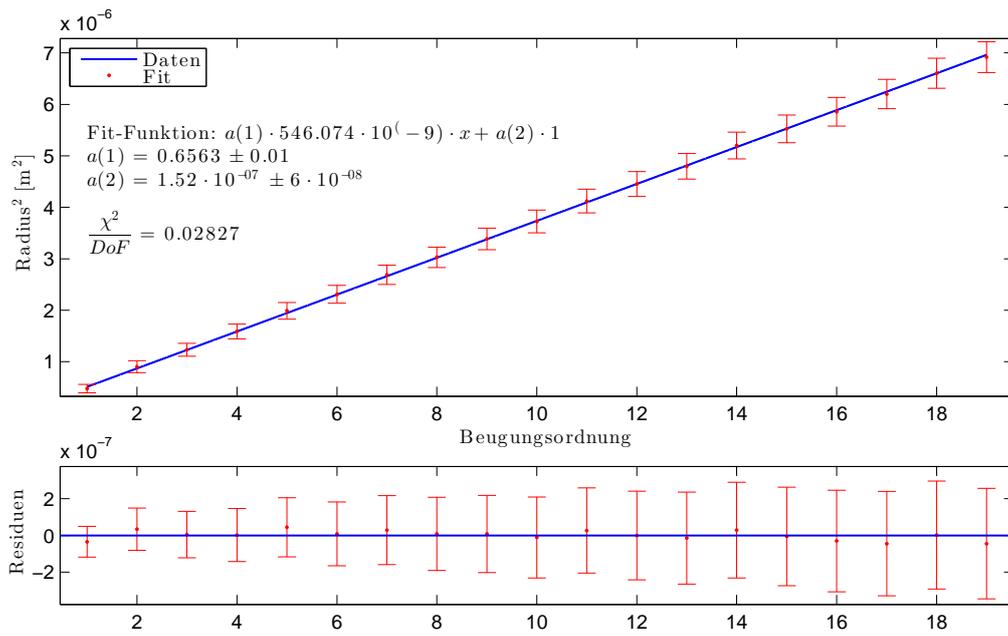


Abb. 1: Fit der nach rechts gemessenen Radien bei Bestrahlung mit grünem Licht

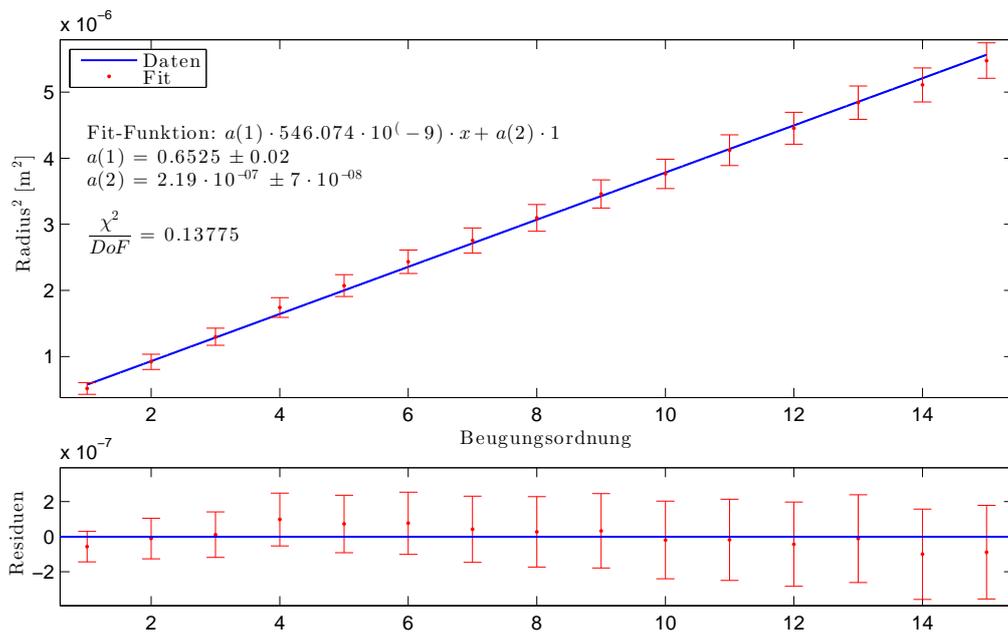


Abb. 2: Fit der nach links gemessenen Radien bei Bestrahlung mit grünem Licht

Aus den Fits für die nach links und rechts gemessenen Radien ergeben sich folgende Linsenradien und ihr gewichtetes Mittel (das sich aufgrund der überlappenden Fehlerintervalle bilden lässt):

$$R_l = (65 \pm 2) \text{ cm}$$

$$R_r = (66 \pm 1) \text{ cm}$$

$$\bar{R} = (65,5 \pm 1,1) \text{ cm}$$

Die aus den nicht konsistenten, nach rechts gemessenen Daten folgenden Ergebnisse werden im Folgenden nicht berücksichtigt (ebenso die aus dem Fit der gemittelten Daten gewonnene Linsenradius), einzig das gewichtete Mittel \bar{R} .

1.2 Bestimmung der Wellenlänge der blauen Quecksilber-Spektrallinie

Da nun der Radius \bar{R} der Linse bekannt ist, lässt sich mit Formel (1) die Wellenlänge von unbekanntem kohärenten Licht berechnen, wenn der Abstand x_k der Beugungsmuster bekannt ist.

Die beiden folgenden Fits mit Funktion (2) liefern die Parameter a_1 , aus denen sich mittels der Beziehung

$$\lambda = \frac{a_1}{R} \tag{5}$$

$$\Delta\lambda = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 \cdot \Delta a_1^2 + \left(-\frac{a_1}{R^2}\right)^2 \cdot \Delta R^2} \tag{6}$$

die Wellenlänge und deren Unsicherheit berechnen lässt.

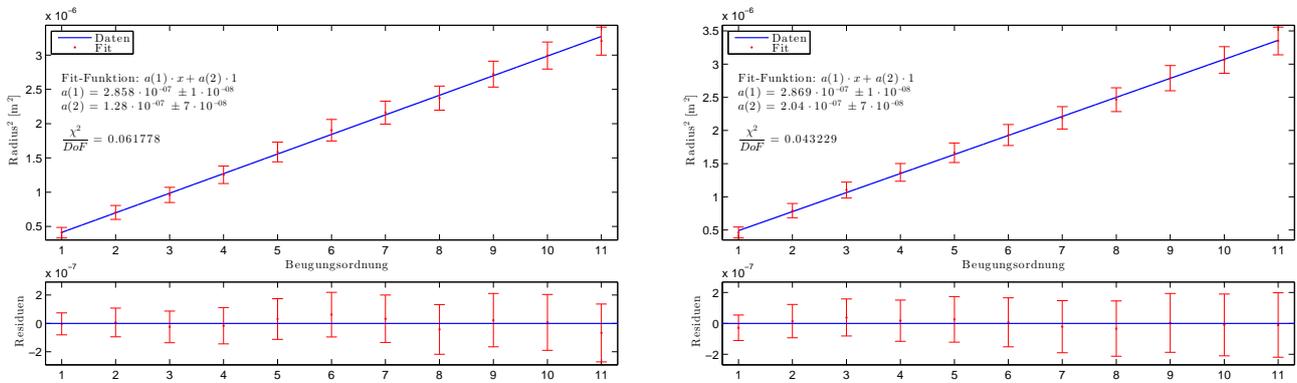


Abb. 3: Fit der nach links bzw. rechts gemessenen Radien der dunklen Newtonringe bei Bestrahlung mit Licht aus der blauen Spektrallinie von Quecksilber

Die so gewonnenen Fitparameter liefern folgende Wellenlängen:

$$\lambda_{b,l} = (436 \pm 21) \text{ nm}$$

$$\lambda_{b,r} = (438 \pm 22) \text{ nm}$$

woraus sich folgenden gewichtetes Mittel ergibt:

$$\bar{\lambda}_b = (436 \pm 15) \text{ nm}$$

Als Literaturwert [3] findet sich für diese Spektrallinie ein $\lambda_{b,v} = 435 \text{ nm}$. Dieser Wert im Rahmen der Unsicherheit sehr gut mit dem hier gewonnenen Ergebnis überein, auch wenn die Unsicherheit keine genaue Aussage über den tatsächlichen Wert der Wellenlänge erlaubt.

1.3 Bestimmung der Wellenlänge der gelben Natrium-Spektrallinie

Die gleiche Betrachtung wie im vorhergehenden Kapitel lässt sich auch mit gelbem Licht einer Natriumlampe durchführen, was folgende Fits ergibt:

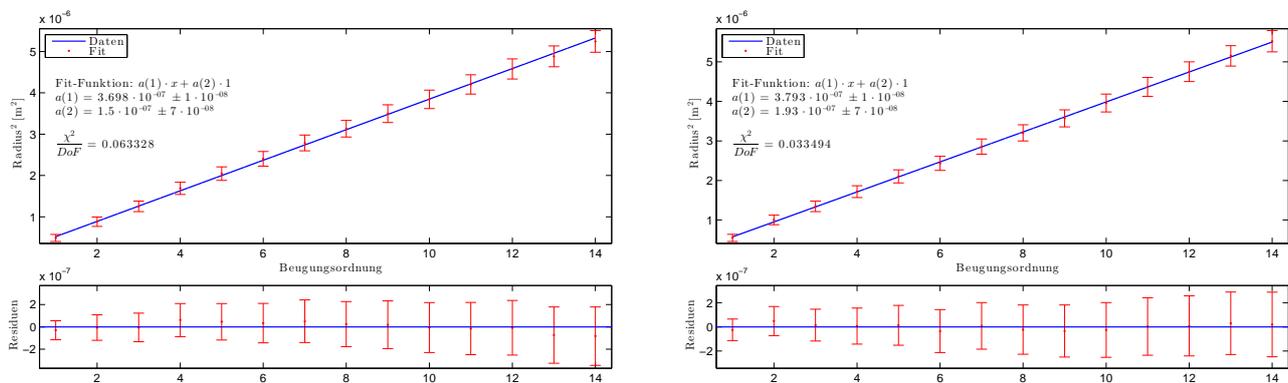


Abb. 4: Fit der nach links bzw. rechts gemessenen Radien der dunklen Newtonringe bei Bestrahlung mit Licht aus der gelben Spektrallinie von Natrium

Daraus ergeben sich folgende Wellenlängen für die gelb/orangene D-Linie des Natrium

$$\lambda_{g,l} = (565 \pm 20) \text{ nm}$$

$$\lambda_{g,r} = (579 \pm 20) \text{ nm}$$

und das gewichete Mittel, das aufgrund der überlappenden Fehlerintervalle berechnet werden kann

$$\bar{\lambda}_g = (571 \pm 14) \text{ nm}$$

Hier liegt der Literaturwert [3] von $\lambda_{g,v} = 589 \text{ nm}$ nicht mehr im Rahmen der Unsicherheit des gewonnenen Wertes.

2 Ergebnisdiskussion

Der in allen Fits zu beobachtende Offset a_2 lässt sich einerseits, wie bereits oben erwähnt, auf einen kleinen Abstand zwischen Linse und Glasplatte zurückführen; andererseits wäre aber auch eine asphärische, aber radialsymmetrische Form der Linse, die durchaus den beobachteten Effekt erzeugen könnte. Alle Fehlerintervalle der a_2 überlappen sich, so dass durchaus ein konsistenter Offset besteht - allerdings scheinen die Offsets für die nach rechts ausgeführten Messungen durchweg größer zu sein als die bei den nach links ausgeführten. Dies deutet auf eine nicht perfekte Radialsymmetrie oder auf einen unberücksichtigten systematischen Fehler hin, der die Ergebnisse aus der in eine Richtung gewonnenen Daten verzerrt.

Außerdem kann aufgrund der Unsicherheit der Mittelpunktbestimmung nicht garantiert werden, dass die Messung tatsächlich radial erfolgte - falls die Messung auf einer Kreissehne erfolgt, entsteht ein systematischer Fehler, der die Radien bei kleinen Beugungsordnungen kleiner erscheinen lässt, als sie tatsächlich sind. Bei großen Radien macht sich dies aber schwächer bemerkbar, da die Krümmung der Kreise mit ihrem Radius abnimmt.

Die χ^2/DoF -Werte in den Fits liegen allesamt deutlich unter dem Erwartungswert von 1 - dies deutet auf zu groß abgeschätzte Unsicherheiten der Messwerte hin. Demzufolge sind auch die Unsicherheiten der Fitparameter recht groß, was zumindest im Falle der Wellenlängen zu nicht besonders aussagekräftigen Ergebnissen führt. Dank Unsicherheiten von ungefähr 15 nm decken die Werte fast den gesamten Wellenlängenbereich ab, in dem die Farbe als blau bzw. gelb/orange wahrgenommen wird.

Für die Bestimmung des Linsenradius dagegen liefert diese Methode gute Werte, der relative Fehler beträgt hier nur 2%.

Eine Verbesserung der Messmethode ließe sich erreichen, indem statt einem Mikroskop mit Fadenkreuz eines mit Skala verwendet würde. Alternativ wäre auch ein Aufbau mit einem Mikroskop mit bekannter, geringerer Vergrößerung und einer elektronischen Datenauswertung sinnvoll, denn damit ließe sich in viele Richtungen auf einmal prüfen, ob die Linse sphärisch ist und die Unsicherheiten der Ergebnisse würden durch die große Anzahl an Messwerten erheblich kleiner werden. Weiterhin wäre die Mittelpunktbestimmung erheblich einfacher und vor allem genauer; außerdem ließen sich auch weiter entfernte Ringe in die Messung mit einbeziehen, deren geringer Kontrast es unmöglich machte, das Mikroskop mit bloßem Auge präzise einzustellen.

Literatur

- [1] MÜLLER, U. : *Physikalisches Grundpraktikum - Einführung in die Messung, Auswertung und Darstellung experimenteller Ergebnisse in der Physik*. <http://gpr.physik.hu-berlin.de/Skripten/Elektrodynamik%20und%20Optik/PDF-Dateien/Elektrodynamik%20und%20Optik.pdf>. Version: 2007
- [2] MÜLLER, U. : *Physikalisches Grundpraktikum - Elektrodynamik und Optik*. <http://gpr.physik.hu-berlin.de/Skripten/Elektrodynamik%20und%20Optik/PDF-Dateien/Elektrodynamik%20und%20Optik.pdf>. Version: 2010
- [3] http://www.phyta.net/spektral_lines2.htm

3 Messdatenprotokoll

3.3.2019
18:46:02

06 Newton'sche ringe

Hg, $\lambda = 546,074 \text{ nm}$

A	Hg links [nm]	Hg rechts [nm]	rechts [nm]	rechts [nm]
0	24,04			24,04
1	24,26	0,82		23,33
2	25,00	0,82		23,09
3	25,18	0,01		22,93
4	25,36	.		22,78
5	25,48	.		22,63
6	25,60	.		22,52
7	25,70	.		22,40
8	25,80	.		22,30
9	25,90	.		22,20
10	25,88	.		22,11
11	26,02	.		22,01
12	26,15	.		21,93
13	26,24	.		21,85
14	26,30	.		21,76
15	26,38	.		21,69
				21,62
				21,55
				21,47
				21,41

2-	Hg blau links	Hg blau rechts	Na-D links	Na-D rechts
0	23,81	23,81	23,90	23,90
1	24,55	23,23	24,60	23,16
2	24,75	23,02	24,84	22,90
3	24,89	22,86	25,02	22,74
4	25,05	22,74	25,20	22,58
5	25,17	22,62	25,33	22,45
6	25,29	22,52	25,45	22,34
7	25,38	22,43	25,57	22,21
8	25,45	22,34	25,67	22,11
9	25,56	22,24	25,77	22,01
10	25,64	22,16	25,86	21,91
11	25,70	22,08	25,95	21,81
			26,04	21,72
			26,11	21,63
			26,19	21,55

03.03.19
