

# Versuch O6 - 624568

Date: 2023-04-24  
Tags: O6  
Created by: Samuel Brinkmann

## Versuchsprotokoll O6 Newtonsche Ringe

	Matrikelnummer
Person 1:	624568
Person 2:	626758

### 0. Rohdaten und Auswertung

Tab.1: Messergebnisse der grüne Hg-Linie

Unsicherheit der Positionsbestimmung:  $u_{pL} = u_{pR} = 0,05$  (mm, größter dunkler Ring halbe Dicke)

k	$P_{L,k}$ (mm)	$P_{R,k}$ (mm)	$r_k$ (mm)	$u_{rk}$ (mm)	$y = r_k^2$ (mm <sup>2</sup> )	$u_y$ (mm <sup>2</sup> )
1	27,43	26,31	0,56	0,035355339	0,3136	0,03959798
2	27,69	26,02	0,835	0,035355339	0,697225	0,059043416
3	27,87	25,84	1,015	0,035355339	1,030225	0,071771338
4	28,02	25,64	1,19	0,035355339	1,4161	0,084145707
5	28,18	25,50	1,34	0,035355339	1,7956	0,094752309
6	28,29	25,37	1,46	0,035355339	2,1316	0,10323759
7	28,40	25,25	1,575	0,035355339	2,480625	0,111369318
8	28,51	25,14	1,685	0,035355339	2,839225	0,119147493
9	28,61	25,04	1,785	0,035355339	3,186225	0,12621856
10	28,69	24,94	1,875	0,035355339	3,515625	0,132582521

11	28,79	24,85		1,97	0,035355339	3,8809	0,139300036
12	28,87	24,77		2,05	0,035355339	4,2025	0,14495689
13	29,00	24,68		2,16	0,035355339	4,6656	0,152735065
14	29,02	24,61		2,205	0,035355339	4,862025	0,155917045
15	29,09	24,54		2,275	0,035355339	5,175625	0,160866793
16	29,16	24,45		2,355	0,035355339	5,546025	0,166523647
17	29,23	24,38		2,425	0,035355339	5,880625	0,171473394
18	29,30	24,31		2,495	0,035355339	6,225025	0,176423142

**Tab.2: Messergebnisse der blaue Hg-Linie**

Unsicherheit der Positionsbestimmung:  $u_{pL} = u_{pR} = 0,06$  (mm, größter dunkler Ring halbe Dicke)

k	$P_{L,k}$ (mm)	$P_{R,k}$ (mm)		$r_k$ (mm)	$u_{rk}$ (mm)	$y = r_k^2$ (mm <sup>2</sup> )	$u_y$ (mm <sup>2</sup> )
1	27,44	26,27		0,585	0,042426407	0,342225	0,049638896
2	27,66	26,04		0,81	0,042426407	0,6561	0,068730779
3	27,82	25,87		0,975	0,042426407	0,950625	0,082731493
4	28,00	25,72		1,14	0,042426407	1,2996	0,096732208
5	28,08	25,59		1,245	0,042426407	1,550025	0,105641753
6	28,18	25,47		1,355	0,042426407	1,836025	0,114975563
7	28,28	25,38		1,45	0,042426407	2,1025	0,12303658
8	28,37	25,28		1,545	0,042426407	2,387025	0,131097597
9	28,47	25,18		1,645	0,042426407	2,706025	0,139582879
10	28,54	25,10		1,72	0,042426407	2,9584	0,14594684
11	28,61	25,01		1,8	0,042426407	3,24	0,152735065

12	28,69	24,94	1,875	0,042426407	3,515625	0,159099026
13	28,75	24,87	1,94	0,042426407	3,7636	0,164614459
14	28,83	24,79	2,02	0,042426407	4,0804	0,171402684

**Tab.3: Messergebnisse der Na-Linie**

Unsicherheit der Positionsbestimmung:  $u_{pL} = u_{pR} = 0,06$  (mm, größter dunkler Ring halbe Dicke)

k	$P_{L,k}$ (mm)	$P_{R,k}$ (mm)	$r_k$ (mm)	$u_{rk}$ (mm)	$y = r_k^2$ (mm <sup>2</sup> )	$u_y$ (mm <sup>2</sup> )
1	27,46	26,25	0,605	0,042426407	0,366025	0,051335952
2	27,72	25,97	0,875	0,042426407	0,765625	0,074246212
3	27,91	25,74	1,085	0,042426407	1,177225	0,092065303
4	28,07	25,58	1,245	0,042426407	1,550025	0,105641753
5	28,22	25,43	1,395	0,042426407	1,946025	0,118369675
6	28,34	25,29	1,525	0,042426407	2,325625	0,129400541
7	28,45	25,17	1,64	0,042426407	2,6896	0,139158615
8	28,57	25,05	1,76	0,042426407	3,0976	0,149340952
9	28,68	24,99	1,845	0,042426407	3,404025	0,156553441
10	28,79	24,85	1,97	0,042426407	3,8809	0,167160043
11	28,87	24,76	2,055	0,042426407	4,223025	0,174372532
12	29,02	24,66	2,18	0,042426407	4,7524	0,184979134
13	29,20	24,58	2,31	0,042426407	5,3361	0,19601

# Auswertung

## 1. Was sind die Ziele des Versuchs?

1	Nachweis der Welleneigenschaften von Licht
2	Wellenlängenberechnung von Natrium und Quecksilber unter Verwendung von Farbfiltern (ohne bzw. blau)
3	Bestimmung des Krümmungsradius einer Plankonvexlinse aus Newton'schen Ringen

## 2. Theorie

Licht hat Wellen- und Teilcheneigenschaften, was mit Wellen-Teilchen-Dualismus bezeichnet wird.

Unter monochromatischem Licht versteht man sichtbares Licht mit genau einer konstanten Wellenlänge.

In diesem Versuch wird dies erzeugt durch Hg- bzw. Na-Spektrallampen.

Hierbei wird das diskrete Energiespektrum von Natrium- bzw. Quecksilberatomen zur Emission entsprechend

$$\Delta E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad \text{Gl.(1)}$$

genutzt um monochromatisches Licht zu emittieren. In einer Spektrallampe werden die Atome energetische durch Stöße mit Elektronen angeregt; die darauffolgende Abregung geschieht unter Emission eines Photons.

Eine Welle ist mathematisch beschreibbar durch

$$y(\vec{r}, t) = y_0 e^{i(\vec{k}\vec{r} - \omega t + \phi)} \quad \text{Gl.(2)}$$

wobei  $\vec{r}$  den Ort,  $t$  die Zeit,  $k$  der Wellenvektor (bzw. Wellenzahl),  $\omega$  die Kreisfrequenz und  $\phi$  die Phasenverschiebung ist.

Mittels  $\phi$  kann ein Phasenunterschied zwischen zwei kohärenter Wellenpaketen eingestellt werden.

Abbildung 1 zeigt den Strahlenverlauf

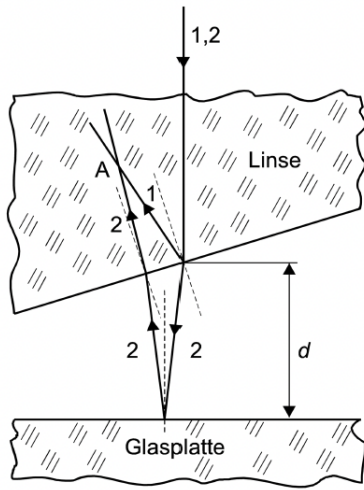


Abb.1: Strahlenverlauf (Quelle: Versuchsanleitung O6)

aus dem sich eine Phasenverschiebung von

$$\phi = 2\pi \frac{2d}{\lambda} + \pi \quad \text{Gl.(3)}$$

ableiten lässt. Hierbei ist  $d$  der Abstand zwischen der Linse und der Glasplatte an der betrachteten Stelle und  $\lambda$  ist die Wellenlänge des Lichtes. Der Phasensprung von  $\pi$  ergibt sich aus der Reflexion am optisch dichteren Medium (Glasplatte).

Bei Betrachtung des Systems von oben ergeben sich ringförmig Interferenzeffekte.

Mit der Näherung  $d \ll R$  ergibt sich hieraus der Radius  $r_k$  des  $k$ -ten ringförmigen Minimums

$$r_k = \sqrt{R\lambda k} \quad \text{Gl.(4)}$$

wobei  $R$  der Krümmungsradius und  $\lambda$  die Wellenlänge ist.

## 2. Versuchsaufbau

Ausgehend von Gl.(4) wurden in diesem Versuch mittel des in Abb. 2 dargestellten Versuchsaufbaus die Radien  $r_k$  experimentell bestimmt.

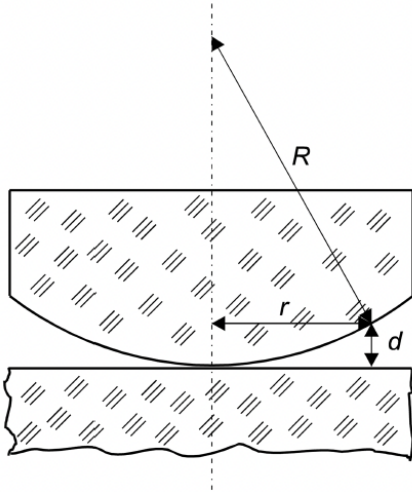


Abb.2: Versuchsaufbau (Quelle: Versuchsanleitung O6)

Mit einer Messunsicherheit von jeweils 0,05mm (grüne Hg-Linie) bzw. 0,06mm (blaue Hg-Linie und Na-Linie) wurden die Positionen  $P_{L,k}$  und  $P_{R,k}$  mittels des Fadenkreuzes im Mikroskop gemessen. Die Messunsicherheit wurde abgeschätzt durch die halbe Dicke des dicksten dunklen Rings. Die Geräteunsicherheit, welche durch die Skalengenauigkeit (ein Digit 0,005mm) gegeben ist, kann gegenüber der Ungenauigkeit zum Finden der Mitte eines dunklen Rings vernachlässigt werden.

### 3. Auswertung

Aus den Positionen  $P_{L,k}$  und  $P_{R,k}$  ergeben sich mit

$$r_k = \frac{P_{L,k} - P_{R,k}}{2} \quad \text{Gl.(5)}$$

die Radien  $r_k$  der ringförmigen Minima, die Tab. (1) bis (3) aufgeführt sind.

Quadrieren von Gl. (4) ergibt eine theoretisch vorhergesagte lineare Abhängigkeit

$$r_k^2 = R\lambda k \quad \text{Gl.(6)}$$

Entsprechend werden die  $r_k$ -Messergebnisse quadriert; das Ergebnis ist Tab. (1) bis (3) zu entnehmen. Alle Fits wurden mit der Pythonbibliothek kafe2 erstellt und die Plots mit den Pythonbibliotheken matplotlib und seaborn. Die Residuen wurden als Differenz von dem beobachteten Wert und dem durch den Fit vorhergesagten Wert berechnet.

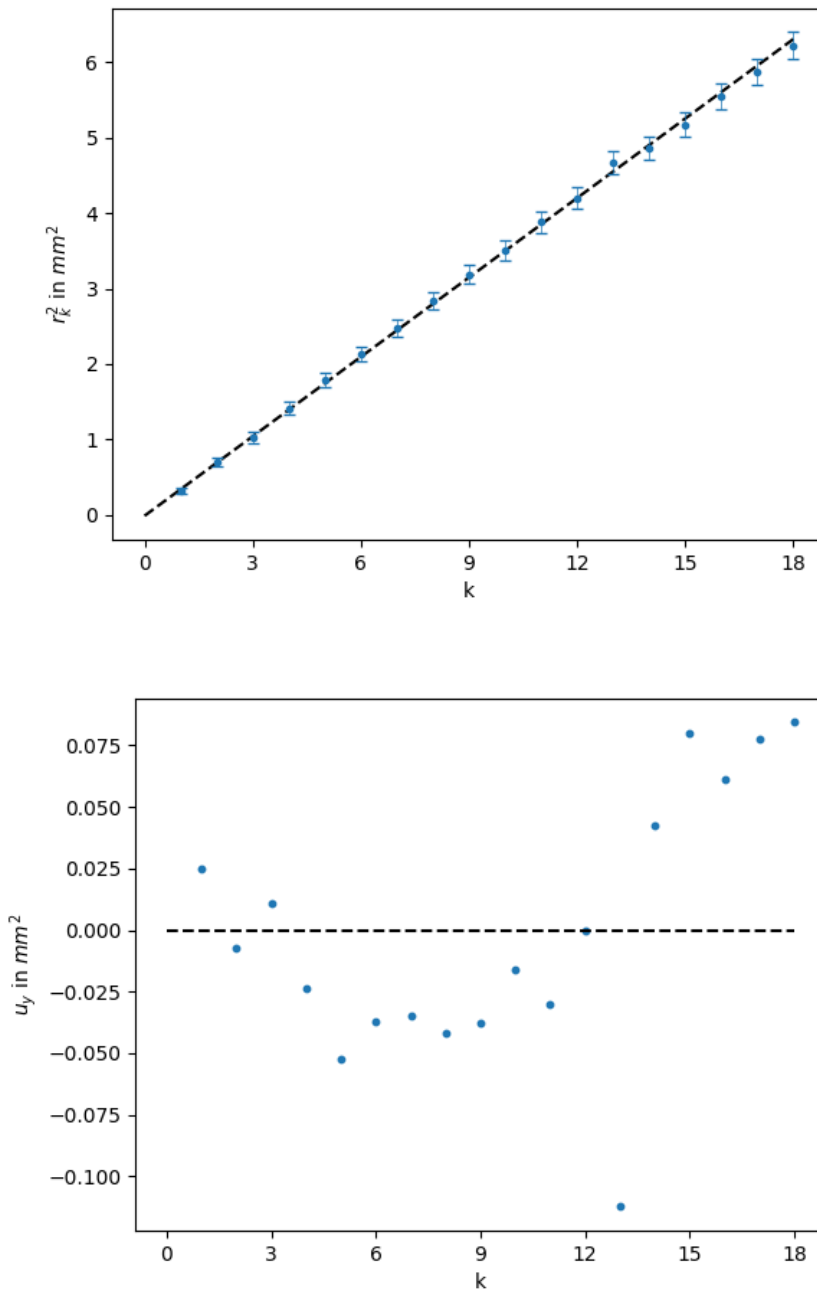
Die Berechnung von  $u_{rk}$  sowie  $u_y$  in den Tabellen wurde wie folgt mit der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung vorgenommen:

$$u_{rk} = \sqrt{(u_{Pl} \cdot 0.5)^2 + (u_{Pr} \cdot 0.5)^2} \text{ Gl.(7)}$$

$$u_y = 2 \cdot r_k \cdot u_{rk} \text{ Gl.(8)}$$

### 3.1. Bestimmung des Linsenradius $R$

Abbildung 3 zeigt die  $r_k^2$ -Messergebnisse (inklusive der Residuen) in Abhängigkeit von  $k$  der grünen Hg-Spektrallinien



*Abb.3a (links):*  $r_k^2$  Messergebnisse der grünen Hg-Spektrallinie mit linearem Fit (gestrichelte Linie) und Unsicherheiten  $u_y$  (Errorbars)

*Abb.3b (rechts):* Residuen der  $r_k^2$  Messergebnisse

Der lineare Fit in Abb.3a kann verwendet werden zur Bestimmung des Krümmungsradius der Plankonvexlinse. Für den Fit gilt:

$$r_k^2 = m \cdot k + n \text{ Gl.(9),}$$

wobei mit dem Wissen aus Gl.(6) die Gleichung umgeschrieben werden kann zu

$$r_k^2 = R\lambda \cdot k + n \text{ Gl.(10).}$$

Das  $n$  repräsentiert die Korrektur für die systematischen Unsicherheiten, die während des Experimentes entstanden sind. Es gilt also der Zusammenhang:

$$m = R\lambda \text{ Gl.(11),}$$

bzw. umgestellt nach  $R$

$$R = \frac{m}{\lambda} \text{ Gl.(12).}$$

Die Werte für den linearen Fit (Abb.3a) sind:

$$m \approx (0.35123356109787235 \pm 0.004662648328279915) \text{ mm}^2 \text{ (Steigung)}$$

$$n \approx (-0.012795221441165294 \pm 0.03211916172086729) \text{ mm}^2 \text{ (y-Achsenchnitt)}$$

Zudem ist aus der Versuchsanleitung der Wert  $\lambda$  für die grünen Hg-Spektrallinien gegeben

$$\lambda = 546.074 \text{ nm.}$$

Die Unsicherheit von  $R$  aus Gl.(12) lässt sich durch die Gauß'sche Fehlerfortpflanzung wie folgt bestimmen

$$u_R = \frac{u_m}{\lambda} \text{ Gl.(13).}$$

Somit ergibt sich aus Gl.(12) und Gl.(13)

$$R = (643.2 \pm 8.6) \text{ mm.}$$

Das Ergebnis für  $R$  scheint aus meiner Sicht vertrauenswürdig, da sowohl die statistischen Unsicherheiten  $u_R$  als auch die systematischen  $n$  ein bis zwei 10-Potenzen kleiner sind als das eigentliche Ergebnis. Zudem kann man im Residuenplot (Abb.4b) gut sehen, dass die meisten Werte eine Abweichung von ca.  $0.050 \text{ mm}^2$  (klein gegenüber  $r_k^2$ ) um die Null haben und nur die Randwerte weiter aber immer noch in einem gewissen Rahmen abweichen.

### 3.2. Bestimmung von $\lambda$ der blauen Hg-Spektrallinie von Linsenradius $R$

Abbildung 3 zeigt die  $r_k^2$ -Messergebnisse (inklusive der Residuen) in Abhängigkeit von  $k$  der blauen Hg-Spektrallinie



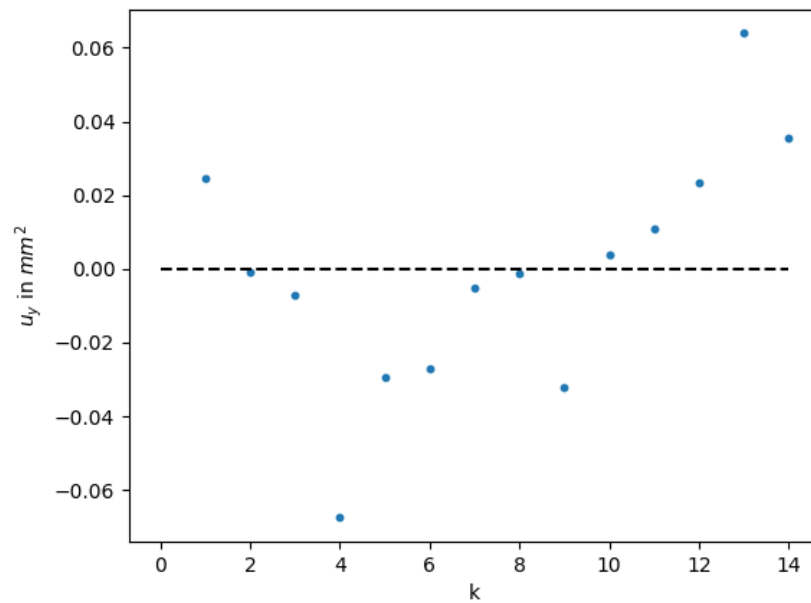
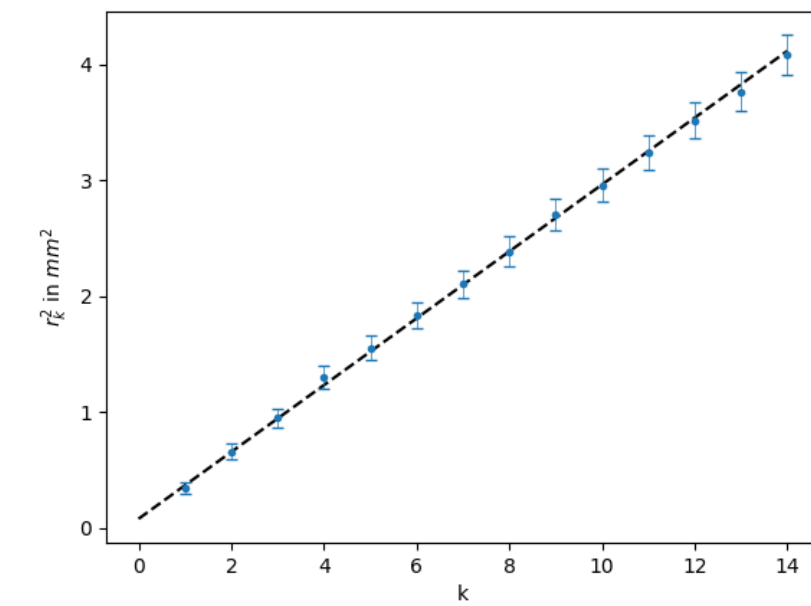


Abb. 4a (links):  $r_k^2$  Messergebnisse der blauen Hg-Spektrallinie mit linearem Fit (gestrichelte Linie) und Unsicherheiten  $u_y$  (Errorbars)  
 Abb. 4b (rechts): Residuen der  $r_k^2$  Messergebnisse

Der lineare Fit in Abb.4a kann verwendet werden zur Bestimmung der Wellenlänge  $\lambda$  der blauen Hg-Spektrallampe. Durch Umstellen von Gl.(11) erhält man

$$\lambda = \frac{m}{R} \text{ Gl.(14)}$$

Die Werte für den linearen Fit (Abb.4a) sind:

$$m \approx (0.2883823370752468 \pm 0.007036095281053876) \text{ mm}^2 \text{ (Steigung)}$$

$$n \approx (0.0785524298435123 \pm 0.041386167286931806) \text{ mm}^2 \text{ (y-Achsenabschnitt)}$$

Aus 3.1 ist bereits der Linsenradius  $R = (643.2 \pm 8.6) \text{ mm}$  bekannt. Es lässt sich mit der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung für Gl.(14) die Unsicherheit von  $\lambda$  bestimmen

$$u_\lambda = \sqrt{\left(\frac{u_m}{R}\right)^2 + \left(-\frac{m}{R^2} \cdot u_R\right)^2} \text{ Gl.(15)}$$

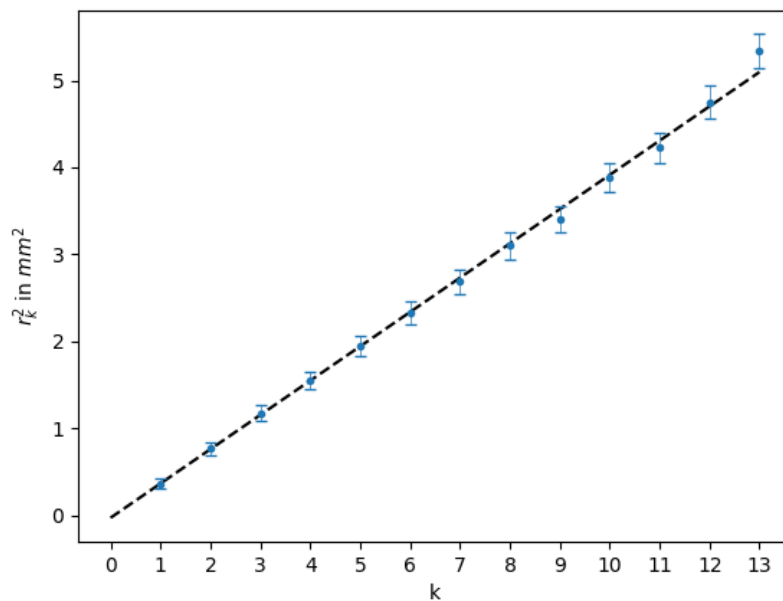
$$\text{Somit ergibt sich aus Gl.(14) und Gl.(15) } \lambda = (448.4 \pm 12.5) \text{ nm}$$

Der Wert für  $\lambda$  liegt mit der Unsicherheit fast im Rahmen des Literaturwertes  $435.83 \text{ nm}^{[1]}$  für eine blaue Hg-Spektrallinie. Der Unterschied befindet sich im Bereich von  $0.07 \text{ nm}$ , was sehr klein ist und somit durch statistische Unsicherheiten bzw. die Unsicherheit in der Korrektur  $n$  der systematischen Unsicherheiten liegt. Des Weiteren kann dem Residuenplot (Abb.4b) entnommen werden, dass die Abweichungen des Fits zu den Messwerten wie auch schon in Abschnitt 3.1 minimal sind, mit  $0.05 \text{ mm}^2$  Abweichung von der Null für alle Werte bis auf die Randwerte. Weshalb ich das Ergebnis trotz der geringen Abweichung vom Literaturwert als zuverlässig einstufe.

<sup>[1]</sup> ([https://physics.nist.gov/cgi-bin/ASD/lines1.pl?spectra=HG+I&limits\\_type=0&low\\_w=&upp\\_w=&unit=1&submit=Retrieve+Data&de=0&format=0&line\\_out=0&en\\_unit=0&output=0&bibrefs=1&page\\_size=15&show\\_obs\\_wl=1&show\\_calc\\_wl=1&unc\\_out=1&order\\_out=0&max\\_low\\_enrg=&show\\_av=2&max\\_upp\\_enrg=&tsb\\_value=0&min\\_str=&A\\_out=0&intens\\_out=on&max\\_str=&allowed\\_out=1&forbid\\_out=1&min\\_accu=&min\\_intens=&conf\\_out=on&term\\_out=on&enrg\\_out=on&J\\_out=on](https://physics.nist.gov/cgi-bin/ASD/lines1.pl?spectra=HG+I&limits_type=0&low_w=&upp_w=&unit=1&submit=Retrieve+Data&de=0&format=0&line_out=0&en_unit=0&output=0&bibrefs=1&page_size=15&show_obs_wl=1&show_calc_wl=1&unc_out=1&order_out=0&max_low_enrg=&show_av=2&max_upp_enrg=&tsb_value=0&min_str=&A_out=0&intens_out=on&max_str=&allowed_out=1&forbid_out=1&min_accu=&min_intens=&conf_out=on&term_out=on&enrg_out=on&J_out=on))

### 3.3. Bestimmung von $\lambda$ der Na-Spektrallinie von Linsenradius R

Abbildung 3 zeigt die  $r_k^2$ -Messergebnisse (inklusive der Residuen) in Abhängigkeit von k der Na-Spektrallinie



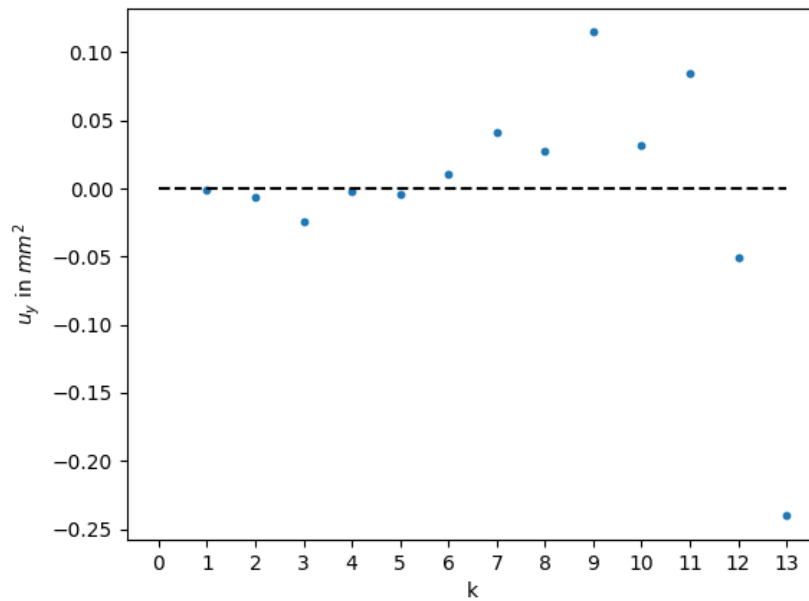


Abb.5a (links):  $r_k^2$  Messergebnisse der Na-Spektrallinie mit linearem Fit (gestrichelte Linie) und Unsicherheiten  $u_y$  (Errorbars)

Abb.5b (rechts): Residuen der  $r_k^2$  Messergebnisse

Der lineare Fit in Abb.5a kann auch hier verwendet werden zur Bestimmung der Wellenlänge  $\lambda$  unter Verwendung von Gl.(14) und Gl.(15). Die Werte für den linearen Fit (Abb.5a) sind:  
 $m \approx (0.394233203628653 \pm 0.00855944844132887) mm^2$  (Steigung)  
 $n \approx (-0.029204753535726047 \pm 0.04522562303883717) mm^2$  (y-Achsenabschnitt)  
 Mit dem bekannten  $R = (643.2 \pm 8.6) mm$  folgt für  $\lambda$  dann  
 $\lambda = (612.9 \pm 15.7) nm$ .

Das Ergebnis für  $\lambda$  liegt fast im Rahmen der Literaturwerte für die Natrium-D-Linie 588.9951 nm (D2) bzw. 589.5924 nm (D1)<sup>21</sup>. Die Abweichung ist mit 10nm nicht winzig, aber immer noch sehr dicht. Die Residuen liegen bis auf drei Ausreißer wieder im Bereich von 0.05  $mm^2$  um die Null wie auch schon in den vorherigen Plots, insofern scheint der lineare Fit eine gute Näherung zu sein. Mögliche Ursachen für die Abweichung von unserem Ergebnis vom Literaturwert könnten sein

1. Messungengenauigkeiten beim Vermessen der Radien, da bei diesen teilweise es sehr schwierig war die Mitte der dunklen Ringe abzuschätzen. Diese Ungenauigkeiten gehen sowohl bei der Bestimmung der Radien für die Na-Spektrallinien (welche jedoch meistens gut zu sehen waren) sowie der grünen Hg-Spektrallinien zur Bestimmung des Krümmungsradius ein, wobei letzteres am ehestens davon beeinflusst ist.
2. Vereinfachungen im Modell. Wir haben zum Beispiel angenommen, dass die Linse sowie die Glasplatte perfekt eben und parallel zueinander sind.

[2]([https://physics.nist.gov/cgi-bin/ASD/lines1.pl?spectra=Na&limits\\_type=0&low\\_w=&upp\\_w=&unit=1&submit=Retrieve+Data&de=0&l\\_scale\\_type=1&format=0&line\\_out=0&en\\_unit=0&output=0&bibrefs=1&page\\_size=15&show\\_obs\\_wl=1&show\\_calc\\_wl=1&unc\\_out=1&order\\_out=0&max\\_low\\_enrg=&show\\_av=2&max\\_upp\\_enrg=&tsb\\_value=0&min\\_str=&A\\_out=0&intens\\_out=on&max\\_str=&allowed\\_out=1&forbid\\_out=1&min\\_accu=&min\\_intens=&conf\\_out=on&term\\_out=on&enrg\\_out=on&J\\_out=onse](https://physics.nist.gov/cgi-bin/ASD/lines1.pl?spectra=Na&limits_type=0&low_w=&upp_w=&unit=1&submit=Retrieve+Data&de=0&l_scale_type=1&format=0&line_out=0&en_unit=0&output=0&bibrefs=1&page_size=15&show_obs_wl=1&show_calc_wl=1&unc_out=1&order_out=0&max_low_enrg=&show_av=2&max_upp_enrg=&tsb_value=0&min_str=&A_out=0&intens_out=on&max_str=&allowed_out=1&forbid_out=1&min_accu=&min_intens=&conf_out=on&term_out=on&enrg_out=on&J_out=onse))

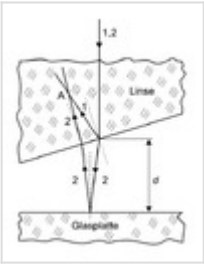
## 4. Fazit

Im Experiment konnte erfolgreich der Krümmungsradius der Plankonvexlinse sowie - mit geringen Abweichungen zu den Literaturwerten - die Wellenlänge von blauen Hg-Spektrallinien und Na-Spektrallinien aus den Newton'schen Ringen bestimmt werden. Somit folgt, dass die antizipierten Welleneigenschaften des Lichtes zutreffend sind.

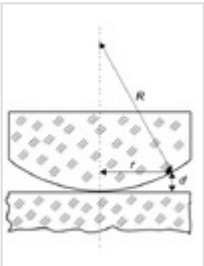
Attached files

20230424171705-timestamped.zip (Timestamp archive by Samuel Brinkmann)  
sha256: 61fa0c300738318a6037d1173251013eb23c5f6dea8db96861448ce60cda7387

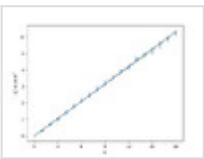
unknown.png  
sha256: 70e7589303c06eecb074fbdcd6f6d94503a9ce282fa8aa5fc8bd2167d33f8d7e



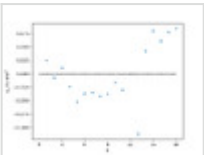
unknown.png  
sha256: 2a675e7f9c82930beec2d14625b26b812b7a49181d6e390d328e76a5dfc54012



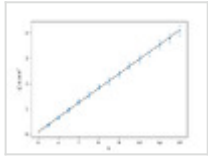
unknown.png  
sha256: c59c9eedbef836d5b3a17e368b403055b116d950c6266a01adc476ab23177a10



unknown.png  
sha256: b015a9af854dcd53ae2b069f00eb06c154f617465c3e2724fa868306a3c3425f

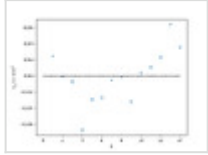


unknown.png  
sha256: 5ffd004b6b8faee5424e12d80530cdd0bf558df641a6cb214d7389661b7b735f



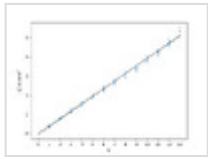
unknown.png

sha256: 7075c0e01b5bb7e5e2ea2a97a46ed0e3fc83e55a269d0dff8b6e1462ea2ec7db



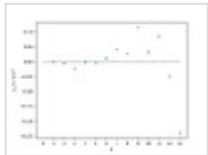
unknown.png

sha256: a4d1c9a73f6704b88588be564d9d7218c6c93ccc456de8593c72f298993cd9c9



unknown.png

sha256: c1fbb28f587178cd42f21f04895c592ffface7bb819207c66c864412f8a3929d



20230502202238-timestamped.zip (Timestamp archive by Samuel Brinkmann)

sha256: 15d7e58c4eea2593f4bc58add7666fadad26ef529f59cd94eb05bd5723f89f14



Unique eLabID: 20230424-63a9da624f10dcb52e2f677c740cf3ddf9d9eaea  
Link: <https://elabftw.physik.hu-berlin.de/experiments.php?mode=view&id=578>

## Changelog