

VERSUCHSPROTOKOLL O8
FRAUENHOFERSCHE BEUGUNG

JOHANN FÖRSTER 519519
VERSUCHSPARTNER MEIKEL SOBANSKI

VERSUCHSORT: NEW14'210 PLATZ 1

VERSUCHSDATUM: 11.11.2008

VERSUCHSBETREUER: DR. JOACHIM PULS

HUMBOLDT UNIVERSITÄT ZU BERLIN
INSTITUT FÜR PHYSIK

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1) Physikalische Grundlagen und Aufgabenstellung	3
2.1) Bestimmung der Wellenlänge des Laserlichtes aus Lage der Beugungsmaxima beim Gitter	3
2.2) Bestimmung der Spaltbreite aus der Lage der Beugungsminima	4
2.3) Überprüfung der Abbeschen Formel für das Auflösungsvermögen des Mikroskops	5
2.4) Theoretische und experimentell bestimmte Intensitätsverteilung hinter einer Lochblende	5
3) Fehleranalyse und kritische Ergebniseinschätzung	6
4) Quellenangabe	6
Anhang: Messprotokoll	7-8

1) Physikalische Grundlagen und Aufgabenstellung

Ziel des Versuches war es, Fraunhofersche Beugungserscheinungen an einem Spalt, Gitter und einer Lochblende zu untersuchen.

Insbesondere sollte mit Hilfe des Gitters die Wellenlänge des Laserlichtes sowie die Breite des Spaltes durch Abstandsmessungen von Beugungsmaxima bzw. Minima bestimmt und die Abbesche Theorie für das Auflösungsvermögen des Mikroskops bestätigt werden. Zusätzlich wurde die relative Intensitätsverteilung des Beugungsbildes hinter einer Lochblende gemessen und mit der Theorie verglichen. Die physikalischen Grundlagen und die genaue Aufgabenstellung sind in Quelle [1], Seite 65-69 zu finden.

2.1) Bestimmung der Wellenlänge des Laserlichtes aus Lage der Beugungsmaxima beim Gitter

Zur Bestimmung der Wellenlänge des Laserlichtes wurde ein Strichgitter mit Gitterkonstante $g = 10^{-5}m$ ([1], Seite 68) verwendet. Der Abstand Gitter-Schirm wurde mit einem Zollstock zu $l=150\text{cm}$ gemessen, die Unsicherheit wird dabei zu 5 Skalenteilen ($=0,5\text{cm}$) abgeschätzt, da neben der Ableseungenauigkeit auch nicht gewährleistet ist, dass der Zollstock perfekt gerade lag $\Rightarrow l = (150, 0 \pm 0, 5)\text{cm}$. Die Abstände d zwischen dem Maximum 0. und 2. Ordnung auf der linken und der rechten Seite wurden mit einem Lineal zu $d_{links} = 19, 2\text{cm}$ und $d_{rechts} = 19, 1\text{cm}$ gemessen, die Unsicherheit des Mittelwertes wird zu einem Skalenteil ($=0,1\text{cm}$) abgeschätzt $\Rightarrow d = (19, 15 \pm 0, 10)\text{cm}$. Da der Abstand zwischen Gitter und Schirm deutlich größer ist als der Abstand zwischen Maximum 0. und 2. Ordnung gilt für den Winkel α , unter dem das Maximum 2. Ordnung gemessen wurde: $\tan \alpha = \frac{d}{l}$. Die Wellenlänge des verwendeten Lichtes lässt sich nun nach Quelle [1], Seite 66, Gleichung 4 berechnen zu $\lambda = \frac{g}{2} \sin \alpha = \frac{g}{2} \sin \arctan \left(\frac{d}{l} \right) = 633, 2\text{nm}$. Zur Berechnung der Unsicherheit wird die Näherung $\sin \alpha \approx \tan \alpha$ gemacht und diese ergibt sich dann aus der Unsicherheit von d und l nach der Fehlerfortpflanzung zu $u(\lambda) = \sqrt{\left(\frac{\partial \lambda}{\partial d} u(d) \right)^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial l} u(l) \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{g \cdot u(d)}{2l} \right)^2 + \left(\frac{g \cdot d \cdot u(l)}{2l^2} \right)^2} = 4\text{nm}$.

\Rightarrow Ergebnis: $\lambda = (633 \pm 4)\text{nm}$

Dieser Wert stimmt innerhalb seiner Messunsicherheit gut mit dem Referenzwert $\lambda = 632, 8\text{nm}$ (Quelle [2]) überein.

2.2) Bestimmung der Spaltbreite aus der Lage der Beugungsminima

Der Abstand zwischen Spalt und Schirm wurde mit einem Zollstock (Unsicherheit 0,5cm) zu $l = (140,0 \pm 0,5) \text{cm}$ gemessen. Nun wurde jeweils 6x der Abstand d zwischen den beiden Minima 3. Ordnung und den beiden Minima 5. Ordnung gemessen:

Messung	d_{-3zu3} in cm	d_{-5zu5} in cm
1	2,60	4,30
2	2,60	4,30
3	2,65	4,30
4	2,60	4,25
5	2,55	4,35
6	2,60	4,30
Mittelwert $\bar{d} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 d_i$	2,60	4,30
Standardabweichung $s = \sqrt{\frac{1}{5} \sum_{i=1}^6 (\bar{d} - d_i)^2}$	0,032	0,032
Vertrauensbereich $\bar{s} = \sqrt{\frac{1}{6}} s$	0,013	0,013
systematische Unsicherheit $u_{sys} \approx \frac{1}{2}$ Skalenteil	0,050	0,050
Gesamtunsicherheit $u(d) = \sqrt{\bar{s}^2 + u_{sys}^2}$	0,052	0,052
Ergebnis: $\underline{d} = \bar{d} \pm u(d)$	$2,60 \pm 0,05$	$4,30 \pm 0,05$

Für den Winkel, unter dem das Minimum k -ter Ordnung auftrat, gilt $\tan \alpha_k = \frac{d}{2l}$ und da hier $\frac{d}{2} \ll l$ gilt (noch deutlich stärker als in 2.1) wird im Weiteren die Näherung $\sin \alpha_k \approx \tan \alpha_k$ verwendet. Nach [1], Seite 66, Gleichung 2 lässt sich damit die Spaltbreite zu $b = \frac{k \cdot \lambda}{\sin \alpha_k} = \frac{k \cdot \lambda \cdot 2l}{d}$ mit der Unsicherheit

$$u(b) = \sqrt{\left(\frac{\partial b}{\partial d} u(d)\right)^2 + \left(\frac{\partial b}{\partial \lambda} u(\lambda)\right)^2 + \left(\frac{\partial b}{\partial l} u(l)\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{2k\lambda u(d)}{d^2}\right)^2 + \left(\frac{2kl u(\lambda)}{d}\right)^2 + \left(\frac{2k\lambda u(l)}{d}\right)^2}$$

bestimmen. Für die Messung vom -3. zum 3. Minimum ergibt sich damit:

$$b_1 = 204,57 \mu\text{m} \text{ mit } u(b_1) = 4,32 \mu\text{m} \Rightarrow b_1 = (205 \pm 5) \mu\text{m}.$$

Analog ergibt sich für die Messung vom -5. zum 5. Minimum:

$$b_2 = 206,16 \mu\text{m} \text{ mit } u(b_2) = 2,89 \mu\text{m} \Rightarrow b_2 = (206 \pm 3) \mu\text{m}.$$

Da beide Werte innerhalb ihrer Messunsicherheit übereinstimmen, kann gemäß Quelle [3], Seite 47 ein nach Messunsicherheiten gewichtetes Mittel gebildet

werden. Der Mittelwert ergibt sich dann zu $\bar{b} = \frac{\frac{b_1}{u(b_1)^2} + \frac{b_2}{u(b_2)^2}}{\frac{1}{u(b_1)^2} + \frac{1}{u(b_2)^2}} = 205,67 \mu\text{m}$ mit der

$$\text{Unsicherheit } u(\bar{b}) = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{u(b_1)^2} + \frac{1}{u(b_2)^2}}} = 2,40 \mu\text{m}.$$

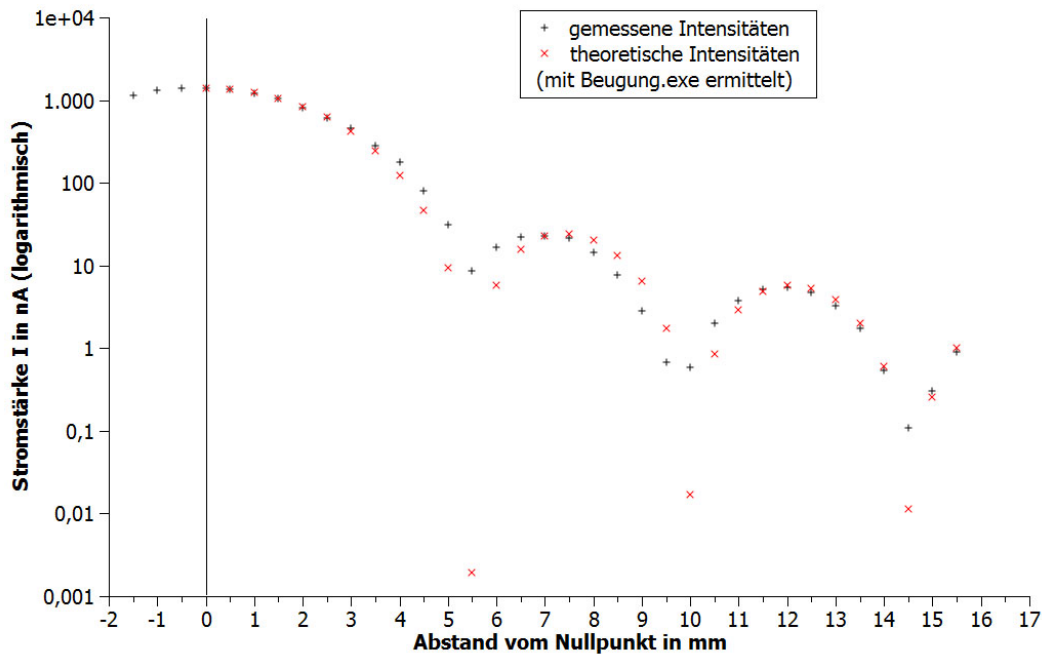
$$\Rightarrow \text{Ergebnis: } b = (205,7 \pm 2,4) \mu\text{m}$$

2.3) Überprüfung der Abbeschen Formel für das Auflösungsvermögen des Mikroskops

Experimentell konnten beide in Quelle [1], Seite 69 genannten Effekte bestätigt werden, zu einer scharfen Abbildung des Gitters waren also mindestens zwei Beugungsordnungen notwendig, die 0. Beugungsordnung jedoch nicht.

2.4) Theoretische und experimentell bestimmte Intensitätsverteilung hinter einer Lochblende

Der Blendendurchmesser wurde mittels Mikroskop zu $d=85 * 2,48\mu\text{m}=210,8\mu\text{m}$ bestimmt (Vergrößerung 40x) und der Abstand Lochblende-Schirm wurde auf $l=150\text{cm}$ eingestellt. Außerdem wurde die Nulllage zu $x=7,35\text{mm}$ bestimmt. Mit Hilfe dieser Werte wurde die relative Intensitätsverteilung mit dem Programm Beugung.exe [4] bestimmt und diese zusammen mit den experimentell gemessenen Werten mit QtiPlot dargestellt:



Theoretische und experimentell bestimmte Intensitätsverteilung

Offensichtlich stimmen die experimentelle und theoretische Intensitätsverteilung recht gut überein. Die Abweichungen bei den Intensitätsminima sind durch die Resthelligkeit im Raum und die endliche Größe des Eintrittspaltes des Fotodetektors zu erklären.

3) Fehleranalyse und kritische Ergebniseinschätzung

Die erzielten Resultate entsprechen den Erwartungen, die in 2.1) ermittelte Wellenlänge stimmt mit dem Literaturwert überein und die Ergebnisse für die Spaltbreite in 2.2) bei der Ausmessung der Minima von der -3. zur 3. Ordnung und -5. zur 5. Ordnung überschneiden sich innerhalb ihrer Messunsicherheit. Auch die Abbesche Theorie für das Auflösungsvermögen des Mikroskops konnte in 2.3) nachgewiesen werden und die theoretische und experimentelle Intensitätsverteilung in 2.4) stimmen relativ gut überein. Abweichungen von der Theorie in 2.4) sind neben den bereits genannten Ursachen auch mit Unsicherheiten bei der Ausmessung des Blendendurchmessers, beim Auffinden des Intensitätsmaximums, beim Einstellen des Abstandes Spalt-Schirm sowie bei der Strommessung mit Picoamperemeter und Fotodetektor zu erklären. Unsicherheiten der Abstandswerte sind jedoch aufgrund der verhältnismäßig genauen Mikrometerschraube zu vernachlässigen. Die relativ großen Unsicherheiten bei den Abstandsmessungen mit Zollstock könnten deutlich verringert werden, wenn auf der Bank eine feste Längenskala angebracht werden würde, zusätzlich könnte an das Gitter, den Spalt und die Lochblende eine passende Reiterkante angebracht werden, um das ablesen zu erleichtern. Weiterhin scheint das auf der Praktikumsseite vorhandene Programm Beugung.exe nicht in der Lage zu sein, USB-Drucker zu erkennen, eine alternative Ausgabe der theoretischen Werte in Form einer Textdatei wäre hier sinnvoll (auch eine Vista 64 Bit Kompatibilität wäre hilfreich).

4) Quellenangabe (Stand: 15.11.2008)

- [1] Skript "Phys. Grundpraktikum: Elektrodynamik und Optik", 2005, online verfügbar unter [http://gpr.physik.hu-berlin.de/Skripten/Elektrodynamik und Optik/PDF-Dateien/Elektrodynamik und Optik.pdf](http://gpr.physik.hu-berlin.de/Skripten/Elektrodynamik%20und%20Optik/PDF-Dateien/Elektrodynamik%20und%20Optik.pdf)
- [2] <http://de.wikipedia.org/wiki/Helium-Neon-Laser>
- [3] Skript "Phys. Grundpraktikum: Einführung in die Messung, Auswertung und Darstellung experimenteller Ergebnisse in der Physik", 2007, online verfügbar unter <http://gpr.physik.hu-berlin.de/Skripten/Einfuehrung/PDF-Datei/Einfuehrung.pdf>
- [4] <http://gpr.physik.hu-berlin.de/Downloads/BEUGUNG.EXE>