



Versuchsanleitung

Beugung

Nummer: 18
Kompiliert am: 29. März 2023
Letzte Änderung: 29.03.2023
Beschreibung: Justieren eines optischen Aufbaus. Bestimmung der Wellenlänge eines Lasers durch Ausmessen des Beugungsmusters eines Gitter. Ausmessen der Fraunhofer'schen und Fresnel'schen Beugungsmuster eines Spaltes bzw. einer Blende. Bestimmung des Wellenlängenbereiches des sichtbaren Spektrums.
Webseite: <https://www.uni-ulm.de/nawi/institut-fuer-quantenoptik/ag-prof-jelezko/lehre/grundpraktikum-physik-physwiphys-la-phys/>

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	2
2 Stichpunkte zur Versuchsvorbereitung	2
2.1 Theorie	2
2.2 Beispiele aus Natur und Alltag	3
3 Versuchsdurchführung	3
3.1 Fraunhofer'sche Beugung am Gitter	3
3.2 Fraunhofer'sche Beugung am Spalt	4
3.3 Beugung mit thermischer Lichtquelle	4
3.4 Fresnel'sche Beugung an einer Lochblende	4
3.5 Häufige Fehler	4
4 Versuchszubehör	5
5 Hinweise zur Ausarbeitung	5
5.1 Versuchsspezifisch	5
5.2 Allgemein	6
Literatur	7

1 Einführung

James Clark Maxwell (1831-1879) gelang es, Licht als elektromagnetische Welle zu deuten. Ein Phänomen, das auf die Wellennatur des Lichts zurückgeht, ist die Beugung: Demnach kann ein Teil des Lichts in den geometrischen Schattenraum hinter einem Hindernis mit Abmessungen in der Größenordnung der Lichtwellenlänge gelangen und dort Interferenzmuster hervorrufen. Mithilfe des Huygens'schen Prinzips kann die Beugung beschrieben werden und führt zum Fresnel-Kirchhoff'schen Beugungsintegral. Dieses ist kompliziert und verlangt nach Näherungen. Die erste ist die Fresnel'sche Näherung (Abb. 1 links), die kleine Neigungen der Strahlen gegen die optische Achse voraussetzt, aber endlichen Abstand des Schirms vom beugenden Objekt (*Nahfeld-Näherung*). Die zweite ist die Fraunhofer'sche Näherung (Abb. 1 rechts), die für eine homogene bzw. phasengleiche Beleuchtung über das gesamte Objekt und parallele Strahlen hinter dem Objekt gilt (*Fernfeld-Näherung*). Will man hier die Intensitätsverteilung in einem endlichen Abstand betrachten, so ist dies mit einer Sammellinse hinter dem beugenden Objekt möglich. Die Beugungsstrukturen lassen sich dann in der Brennebene der Linse beobachten.

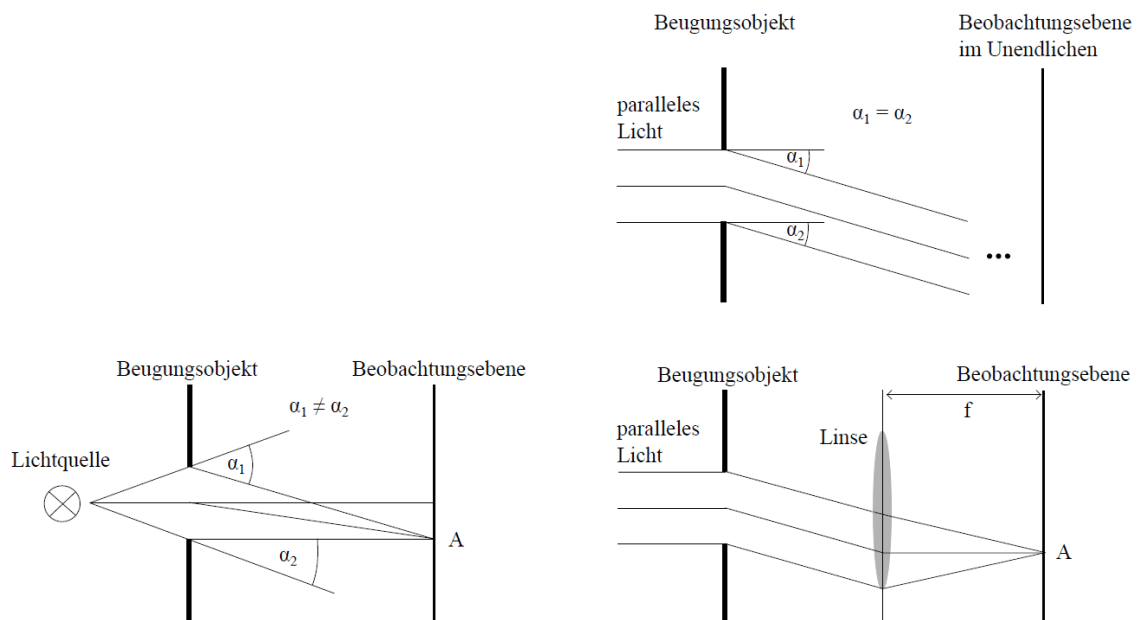


Abbildung 1: *Links:* Fresnel'sche Beugung. *Rechts:* Fraunhofer'sche Beugung. Die Beobachtungsebene lässt sich mit Hilfe einer Linse aus dem Unendlichen auf einen endlichen Abstand verlegen.

2 Stichpunkte zur Versuchsvorbereitung

2.1 Theorie

- Maxwell-Gleichungen (differentielle und integrale Form) und deren Interpretation [Dem13]
- Herleitung der Wellengleichung aus den Maxwell-Gleichungen (skizzieren)
- Lösung der Wellengleichung: Kugelwelle, ebene Welle (skizzieren)

- Kohärenzbedingungen (zeitl. und räuml.), Interferenz von Wellen
- Einführung in die Beugungstheorie [Dem13]
- Erklärung der Beugung mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips und des Fresnel-Kirchhoff'sches Beugungsintegrals [Dem13]
- Näherungslösungen: Fresnel- und Fraunhofer-Näherung (Taylor-Entwicklung skizzieren und Zusammenhang zwischen Fraunhofer-Beugung und Fourier-Trafo darstellen)
- Fresnel'sche Beugung an einer Lochblende [Dem13]
- Fraunhofer'sche Beugung am Einzelspalt [Dem13]
- Fraunhofer'sche Beugung am Strichgitter, Vergleich ideales vs. reales Gitter [Dem13]
- Fourier-Transformation, Faltungssatz
- Babinet'sches Theorem [Dem13]
- Was sind die wichtigsten Auswerteformeln?
- Weitere Literatur: [BS04, BS08, LLT97, Wal06, ZZ09]

2.2 Beispiele aus Natur und Alltag

- Beugung von Materiewellen: De-Broglie-Wellenlänge
 - Allgemein festkörperphysikalische Analytik, z.B. für Elektronen: TEM (transmission electron microscopy), LEED (low-energy electron diffraction), RHEED (Reflection high-energy electron diffraction)
 - NEXAFS (Near-edge x-ray-absorption fine structure)
- Röntgen-Beugung (XRD)
- Schallwellen (Akustik im Konzertsaal)
- Atmosphärenphysik (Zero-order-glow, Glorie/ Heiligenschein/ Brockengespenst, Höfe/Aureolen/Kränze, siehe auch www.lightsearcher.de)

3 Versuchsdurchführung

ACHTUNG: Nicht in den Laser-Strahl sehen (Laserschutzverordnung!) - Laserschutzbrille verwenden!

Hinweis: Richten Sie zuerst die optische Achse der optischen Bank mithilfe einer Lochblende aus. Beim Verschieben dieser Blende entlang der Achse soll der Strahl immer zentriert sein. Achten Sie zudem darauf, dass die optische Achse senkrecht zur Wand als Projektionsfläche ausgerichtet ist um spätere Messfehler zu minimieren.

3.1 Fraunhofer'sche Beugung am Gitter

Bauen Sie den Versuch gemäß Abbildung 2(a) auf. Messen Sie die Beugungsmaxima bis zur 7. Ordnung für drei verschiedene Gitter-Wand-Abstände. Bestimmen Sie daraus die Wellenlänge

des Lasers.

3.2 Fraunhofer'sche Beugung am Spalt

Bestimmen Sie die Spaltbreite mit folgenden Methoden:

1. Messen Sie für drei verschiedene Spalt-Wand-Abstände (Aufbau nach Abbildung 2(b)) die Abstände der Beugungsminima zueinander bis zur 5. Ordnung.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß Abbildung 2(c) auf. Nehmen Sie das Intensitätsprofil bis zum 3. Beugungsminimum auf. Für die Auswertung soll das zentrale Maximum ausgelassen werden. Den Abstand-Spalt-Photodiode dokumentieren. Darauf achten, dass der Spalt möglichst vertikal genau orientiert ist.
3. Zum Vergleich mit den zwei bisherigen Methoden soll die Spaltbreite über eine vergrößernde optische Abbildung ermittelt werden. Bauen Sie dafür den Versuch nach Abbildung 2(d) auf. Messen Sie die Bildgröße, die Bildweite sowie die Gegenstandsweite.

3.3 Beugung mit thermischer Lichtquelle

Zur Bestimmung des sichtbaren Spektrums bauen Sie den Versuch gemäß Abbildung 2(e) auf. Messen Sie die Abstände zwischen den Grenzen Ihres sichtbaren Bereichs (nur 1. Beugungsmaxima) bei festem Gitter-Wand-Abstand. Berechnen Sie daraus analog zu Aufgabe 3.1 die entsprechenden Wellenlängen λ_i .

3.4 Fresnel'sche Beugung an einer Lochblende

Bestimmen Sie den Blendendurchmesser durch Ausmessen der Fresnel'schen Zonen (Versuchsaufbau nach Abbildung 2(f)). Verwenden Sie hierfür die Linse mit Brennweite $f = 25$ mm um hinter dem Fokus eine Kugelwelle zu generieren. Benutzen Sie eine Lochblende und variieren Sie den Abstand Brennpunkt-Blende bzw. Blende-Wand. Beachten Sie, dass die optische Achse genau justiert sein muss! Die Ordnung der Beugung kann durch Abzählen der Beugungsminima beim Verschieben der Blende entlang der optischen Achse oder im Beugungsbild selbst bestimmt werden!

Optional: Zur Kontrolle können Sie die Funktion $\frac{r^2}{2\lambda} \frac{1}{L} \frac{1}{x(1-x)}$ plotten und auf ganze Zahlen prüfen (Radius der Blende r , Wellenlänge λ , Abstand Fokus-Schirm L und $x = a/L$ mit Abstand Fokus-Blende a ; [Mes10] pp. 548/549).

3.5 Häufige Fehler

- schlechte Justage der optischen Achse
- in Versuch 3.4 Blende zu klein und/oder Abstand Fokus-Schirm zu groß.

4 Versuchszubehör

- 2 Optische Bänke mit Reitern
- 1 He-Ne-Laser $\lambda = 633 \text{ nm}$
- 1 Reuter-Lampe mit Transformator
- 1 Strichgitter $g = 1005 \text{ cm}^{-1}$
- 1 Präzisionsspalt mit Irisblende, 1 Lochblende
- 1 Reiter mit Photodiode
- 1 Messverstärker mit Multimeter
- 1 Kondensator
- 1 Linse $f = 125 \text{ mm}$, 1 Linse $f = 25 \text{ mm}$
- 1 Stahlbandmaß 150 cm, 1 Stahlbandmaß 50 cm

5 Hinweise zur Ausarbeitung

5.1 Versuchsspezifisch

- Benutzen Sie zur Auswertung von 3.2-1, 3.2-2 und 3.4 die ermittelte Wellenlänge des Lasers aus Aufgabe 3.1. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit der Herstellerangabe.
- Auswerteformel aus Theorieteil ableiten
- Messwerte mit Fehlerangaben in tabellarischer Form (Außer: Versuchsteil 3.2-2)
- Versuch 3.1 für 3 versch. Gitter-Wand-Abstände:
 - JEWEILS graphisch $\sin(\alpha)$ gegen Ordnung n auftragen
 - Steigung aus linearer Regression (Ursprungsgerade!) $\rightarrow 3 \text{ mal } \lambda \rightarrow \text{Mittelung}$
- Versuch 3.2:

Visuell: 3 versch. Spalt-Wand-Abstände (Minima verwenden)

 - Auswertung wie beim Gitter, aber mit Kleinwinkelnäherung $\sin(\alpha) \approx \tan(\alpha) \approx \alpha \approx \frac{a}{L}$

Photometrisch: Intensitätsprofil mit Photodiode (Messwerte um zentrales Maximum streichen! Am besten Verschiebung des Zentrums als Fitparameter berücksichtigen.)

 - Diagramm Spannung gegen Abstand vom 0. Maximum ohne Messwerte um zentrales Maximum
 - Regression eines sinc^2 (s. Kolloquium) und Bestimmung der Spaltbreite

Optische Abbildung: Vergrößerung des Spalts mit Linse gegen die Wand

 - Aus Bildgröße, Gegenstands- und Bildweite die Spaltbreite bestimmen

Zusammenfassung und Vergleich der drei Messmethoden. Welche ist die beste und warum?

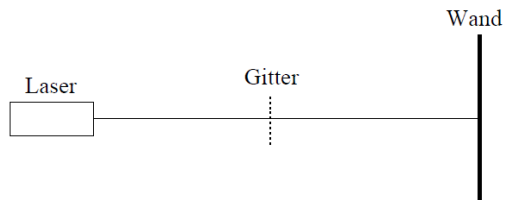
- Versuch 3.3:
 - Für Beugung des 1. Maximums (erstes Spektrum links und rechts vom Zentrum): Abstand zw. blauen und roten Grenzen auf beiden Seiten und durch 2 teilen → zugehörige Wellenlängen bestimmen
 - Wellenlängen (sichtbares Spektrum) mit Literaturwerten vergleichen (Originalquellen angeben, z.B. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*)
- Versuch 3.4:
 - $(\frac{1}{a} + \frac{1}{b})$ gegen Ordnung abtragen und lineare Regression (mit Achsenabschnitt! Steigung negativ → Betrag nehmen)
 - Aus Steigung Lochblendendurchmesser bestimmen

5.2 Allgemein

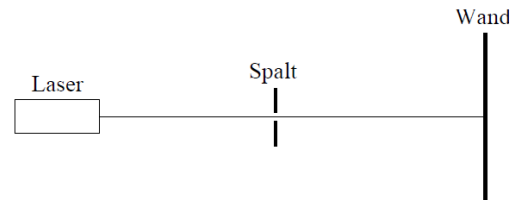
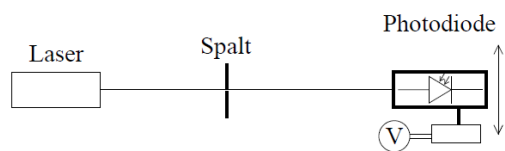
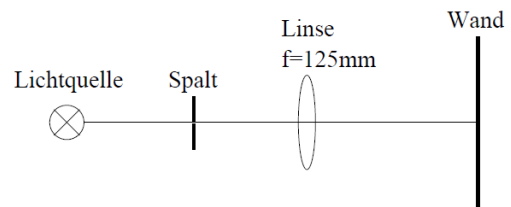
- Kopie des Laborbuchs anhängen
- Fehlerbalken in den Schaubildern
- Fehler des Mittelwerts richtig berechnen und Ergebnisse richtig runden (siehe Anleitung Limmer und/oder Folien zu unserem Statistik-Workshop)
- Gute Skizzen und Abbildungen verwendet (z.B. deutsche Beschriftung, Skizzen entsprechen den Erläuterungen, ...); Skizzen dürfen gerne selbst angefertigt werden
- Vergleich mit Literaturwerten
- Diskussion und/oder Wertung der Ergebnisse

Literatur

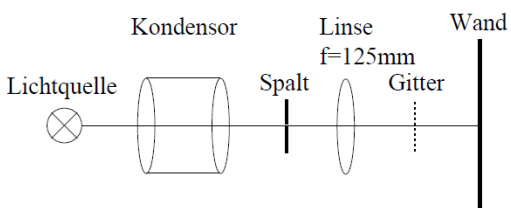
- [BS04] BERGMANN, Ludwig ; SCHAEFER, Clemens: *Lehrbuch der Experimentalphysik*. Bd. 3: *Optik: Wellen- und Teilchenoptik*. 10. Auflage. Berlin, New York : Walter de Gruyter Verlag, 2004
- [BS08] BERGMANN, Ludwig ; SCHAEFER, Clemens: *Lehrbuch der Experimentalphysik*. Bd. 1: *Mechanik - Akustik - Wärme*. 12. Auflage. Berlin, New York : Walter de Gruyter Verlag, 2008
- [Dem13] DEMTRÖDER, Wolfgang: *Experimentalphysik 2: Elektrizität und Optik*. 5. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2013
- [LLT97] LIPSON, Stephen G. ; LIPSON, Henry S. ; TANNHAUSER, David S.: *Optik*. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 1997
- [Mes10] MESCHÉDE, Dieter: *Gerthsen Physik*. 24. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2010
- [Wal06] WALCHER, Wilhelm: *Praktikum der Physik*. 9. Auflage. Wiesbaden : Teubner Verlag, 2006
- [ZZ09] ZINTH, Wolfgang ; ZINTH, Ursula: *Optik: Lichtstrahlen - Wellen - Photonen*. 2. Auflage. München : Oldenbourg Verlag, 2009



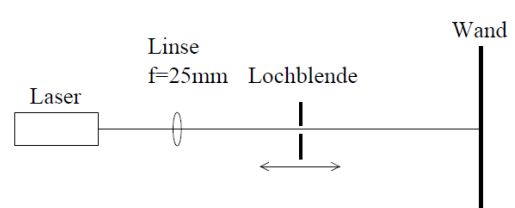
(a) Fraunhofer'sche Beugung am Gitter.

(b) Fraunhofer'sche Beugung am Spalt:
Messung der Beugungsminima.(c) Fraunhofer'sche Beugung am Spalt:
Messung des Intensitätsprofils.

(d) Optische Abbildung des Spalts.



(e) Bestimmung des sichtbaren Spektrums.



(f) Fresnel'sche Beugung an einer Lochblende.

Abbildung 2: Die Abbildung zeigt die schematischen Aufbauten für die verschiedenen Versuchsteile.