

Institut für Experimentalphysik der Technischen Universität Graz

&

Institut für Physik der Universität Graz

LABORÜBUNGEN 2: ELEKTRIZITÄT, MAGNETISMUS, OPTIK

Übungsnummer: 10

Übungstitel: Gitter/Prisma (TU)

Betreuer: Valentin Weis

Gruppennummer: 42

Name: Nico Eisner

Name: Philip Waldl

Mat. Nr.: 12214121

Mat. Nr.: 12214120

Datum der Übung: 13.10.2023

WS 2021/2022

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung	3
2 Voraussetzungen & Grundlagen	3
2.1 Auflösungsvermögen und numerische Apertur	3
2.2 Variation der numerischen Apertur	4
2.3 Abbesche Abbildungstheorie	4
2.4 Wichtige Zusammenhänge	5
3 Versuchsanordnung	5
4 Geräteliste	7
5 Versuchsdurchführung & Messergebnisse	7
6 Auswertung und Unsicherheitsanalyse	7
7 Diskussion	8
8 Zusammenfassung	8
Literatur	8

1 Aufgabenstellung

Der Versuch Abbe-Theorie behandelt, wie aus dem Namen bereits hervorgeht, die gleichnamige Idee von Ernst Abbe, die in erster Linie die von allen Objekten hervorgehenden Beugungseffekte und deren Zusammenhang mit dem Auflösungsverhalten beinhaltet. Mittels Experiment der Abbe-Theorie soll dies- und einige weitere Eigenschaften dieses Verhaltens nun gezeigt werden. Die genauen Arbeitsaufträge sehen dabei wie folgt aus:

- Vertrautmachen mit dem experimentellen Aufbau
- Bestimmung des Auflösungsvermögens einer Linse in Abhängigkeit ihrer numerischen Apertur für
 - blaues Licht
 - rotes Licht
- Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Bildauflösung von einem Spaltgitter und der Zahl der transmittierten Beugungsordnungen
- Freies Experimentieren
 - Beugungsbild horizontaler Balken
 - Änderung des Beugungsbild mit dem Abstand der Balken
 - Grund für Beugungerscheinungen in der Richtung normal zu den Hauptordnungen
 - Dunkelfeldmikroskopie
 - Verbindung zu Fourieroptik

2 Voraussetzungen & Grundlagen

Das Kapitel Voraussetzungen und Grundlagen wurde basierend auf den literarischen Werken Demröder [1] und dem Script Abbe-Theorie [3] verfasst.

2.1 Auflösungsvermögen und numerische Apertur

Bei optischen Instrumenten wird das Auflösungsvermögen Δx_{min} als der Minimalabstand zwischen zwei Punkten definiert, bei dem das Gerät diese noch als zwei punktförmige Objekte unterscheiden kann. Dieser Versuch kann mit in dieser Hinsicht mit einem Mikroskop verglichen werden, dessen Auflösungsvermögen wie folgt definiert ist:

$$\Delta x_{min} = 0.61 \frac{\lambda}{NA} \quad (1)$$

Dabei stellt λ die Wellenlänge des verwendeten Lichtes und NA die numerische Apertur des optischen Instrumentes, also grob gesagt dem Öffnungswinkel, durch den das Licht eintreten kann, dar. Letzteres ist wiederum definiert als:

$$NA = n \sin(\alpha) \quad (2)$$

mit n als Brechzahl des Mediums und α dem halben Öffnungswinkel des Lichtkegels. Da n in der Regel (sofern Luft als Medium dient) einen Wert von ziemlich genau 1 annimmt und α als $\tan^{-1}(\frac{R}{g})$ (R ... Linsenradius, g ... Gegenstandsweite) angesehen werden kann (veranschaulicht in Abbildung 1), lässt sich die Formel für die numerische Apertur auch folgendermaßen umschreiben:

$$NA = \sin(\tan^{-1}(\frac{R}{g})) \quad (3)$$

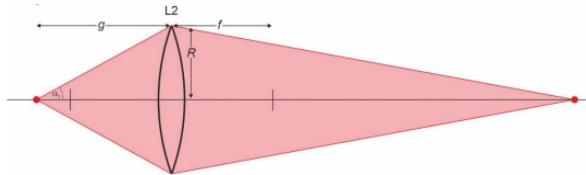


Abb. 1: Schematische Darstellung Bestimmung NA [3]

2.2 Variation der numerischen Apertur

Der Einfluss des numerischen Apertur kann nur experimentell gezeigt werden, indem man sie variiert. Hierfür bietet es sich an, Linsen mit verschiedenen Durchmessern (Veränderung von R in 3) zu verwenden, oder der Einsatz einer Lochblende in der hinteren Brennebene der Linse. Wie genau die numerische Apertur das Auflösungsverhalten beeinflusst wird im folgenden Experiment gezeigt.

2.3 Abbesche Abbildungstheorie

Wie im Kapitel Aufgabenstellung bereits einleitend erwähnt, besagt die Abbe Theorie, dass von jedem Objekt Beugungsmaxima hervorgehen und die Auflösung einen Zusammenhang zur Zahl der Beugungsmaxima besitzt. Wichtig hierbei ist außerdem die Verwendung eines Gitters, dessen Spaltbreite dem halben Spaltabstand entspricht. Somit fehlen fehlen dem Gitter die gradzahligen Beugungsmaxima und am Bild hinter dem Vielfachspalt sind nur die ungradzahligen Maxima erkennbar (wird im Verlauf des Experiments noch gezeigt). Mit Hilfe des Tools für die grafische Darstellung solcher Muster von Leifi-Physik [2] kann dieses Scenario theoretisch simuliert werden:

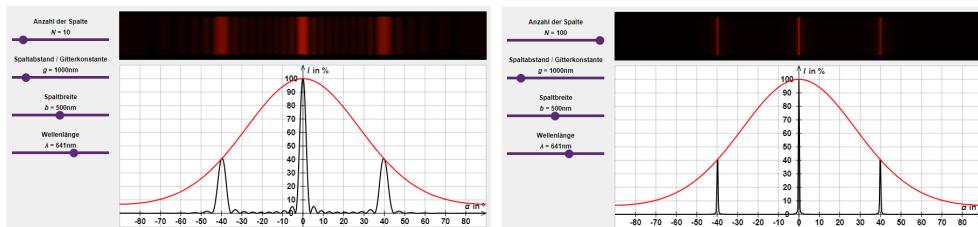


Abb. 2: Simulation der Maxima einer Gitterbeugung von rotem Licht mit 10/100 Spaltöffnungen

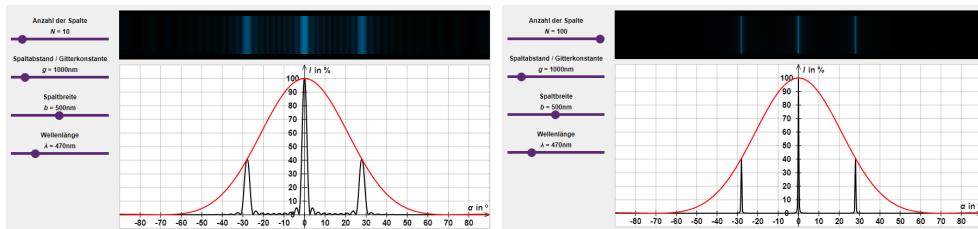


Abb. 3: Simulation der Maxima einer Gitterbeugung von blauem Licht mit 10/100 Spaltöffnungen

2.4 Wichtige Zusammenhänge

Für eine erfolgreiche Auswertung der Daten werden außerdem folgende Zusammenhänge benötigt:

$$\text{Numerische Apertur } NA = \frac{D_{Blende}}{2f_2} \quad \Delta NA = \left| \frac{\partial NA}{\partial D_{Blende}} * \Delta D_{Blende} \right| + \left| \frac{\partial NA}{\partial f_2} * \Delta f_2 \right| \quad (4)$$

$$\text{Auflösungsvermögen theoretisch } d_{theoretisch} = 0.61 \frac{\lambda}{NA} \Delta d_{theoretisch} = \left| \frac{\partial d_{theoretisch}}{\partial \lambda} * \Delta \lambda \right| + \left| \frac{\partial d_{theoretisch}}{\partial NA} * \Delta NA \right| \quad (5)$$

$$\text{Räumliche Frequenz } f_R = 2^{n_g^{\frac{n_E-1}{6}}} \quad \Delta f_R = \left| \frac{\partial f_R}{\partial n_g} * \Delta n_g \right| + \left| \frac{\partial f_R}{\partial n_E} * \Delta n_E \right| \quad (6)$$

$$\text{Auflösungsvermögen experimentell } d_{experimentell} = \frac{1}{f_R} \Delta d_{experimentell} = \left| \frac{\partial d_{experimentell}}{\partial f_R} * \Delta f_R \right| \quad (7)$$

3 Versuchsanordnung

Der Aufbau des Experiments ist im Grunde sehr simpel. Es besteht aus einer Aluschiene, auf der acht verschiedene Module in einem bestimmten Abstand angebracht sind.

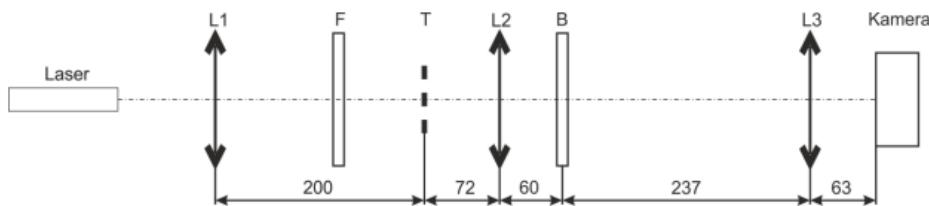


Abb. 4: Optischer Aufbau des Experiments; L1: $f_1 = 200\text{mm}$, F: Filtrerrad mit roter/blauer LED, Graufilter und freiem Durchgang, T: Testobjekt; L2: $f_2 = 60\text{mm}$; B: Filtrerrad mit 2/3/6 mm Lochblenden, einer Irisblende und einer Drahtblende, L3(einklappbar): $f_3 = 50\text{mm}$. [3]

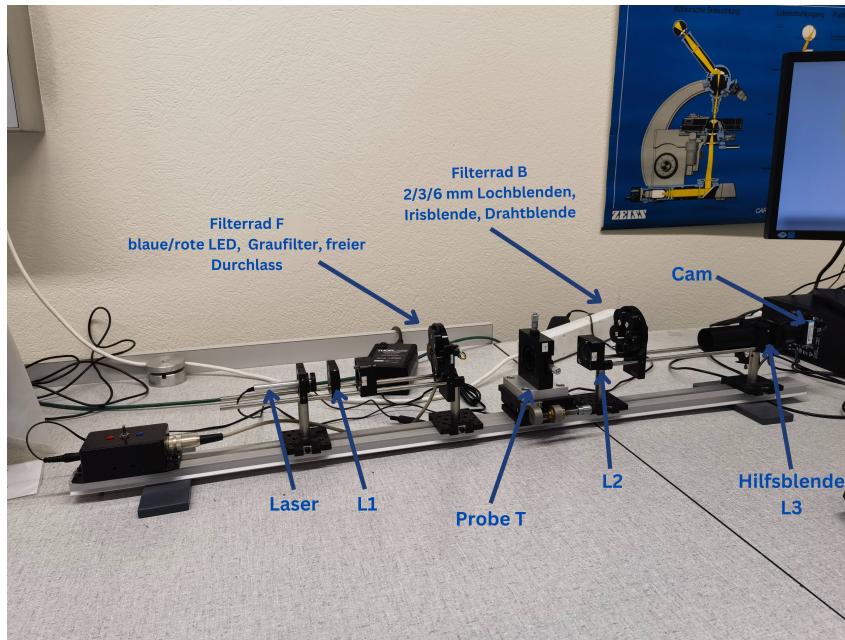


Abb. 5: Versuchsaufbau laut Abbildung 4

Die Einzelteile mit Beschreibung sind in folgender Tabelle ersichtlich:

Tab. 1: Aufbau: Module

Nr.	Modul	Bezeichnung	Eigenschaft
1	Laser	Laser	$\lambda = 531,9 \text{ nm}$
2	Sammellinse 1	L1	$f_1 = 200 \text{ mm}$
3	Filterrad	F	rote/blauer LED, Graufilter und freier Durchgang
4	Testobjekt bzw. Probe	T	
5	Sammellinse 2	L2	$f_1 = 60 \text{ mm}$
6	Filterrad	B	2/3/6 mm Lochblenden, Irisblende und Drahtblende
7	Sammellinse 3	L3	$f_1 = 50 \text{ mm}$
8	Kamera	Kamera	Fotosensor mit PC/IC Capture Verbindung

Teil der Vorbereitung war es auch, mögliche Strahlengänge durch diesen Aufbau theoretisch zu zeichnen. Diese sind in nachfolgenden Abbildungen zu sehen.

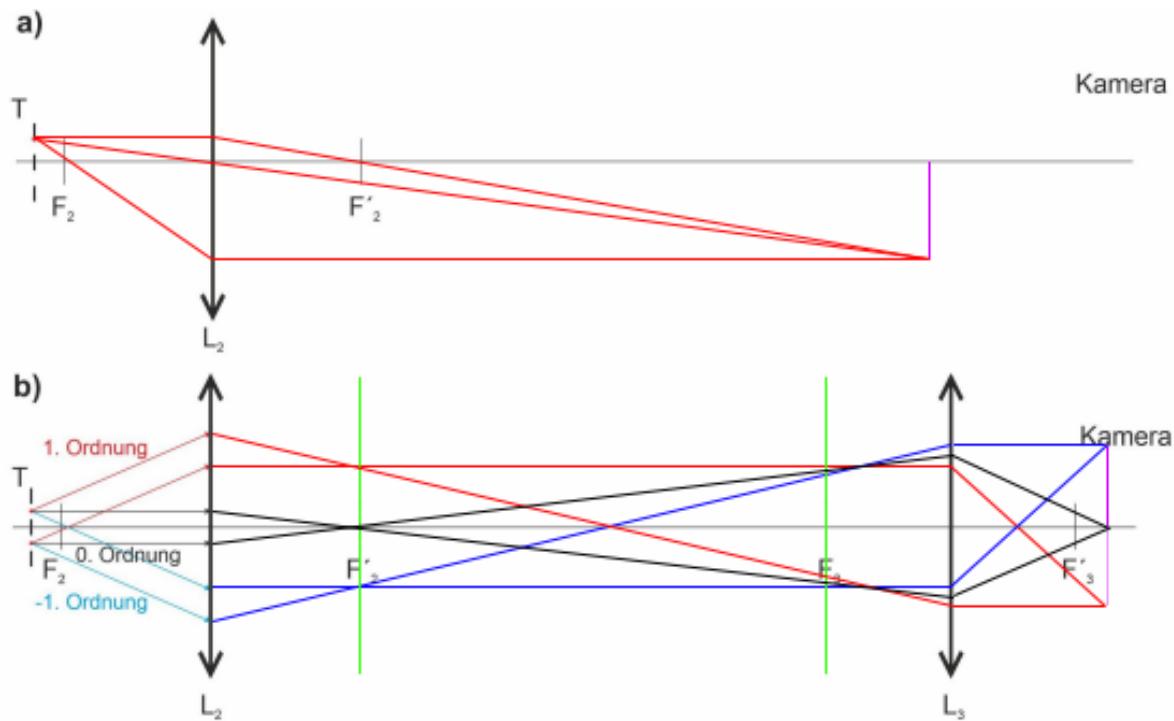


Abb. 6: Simulation der Maxima einer Gitterbeugung von blauem Licht mit 10/100 Spaltöffnungen

4 Geräteliste

Tab. 2: Im Versuch verwendete Geräte und Utensilien.

Gerät	Bezeichnung	Hersteller	Eigenschaften	Unsicherheit
Sammellinse	L1	n.a	$f_1 = 200 \text{ mm}$	1 mm
Sammellinse	L2	n.a	$f_1 = 60 \text{ mm}$	1 mm
Sammellinse	L3	n.a	$f_1 = 50 \text{ mm}$	1 mm
Laser	Laser	Thorlabs	$\lambda = 531,9 \text{ nm}$	n.a.
LED blau	LEDb	Cxxx	$\lambda = 470 \text{ nm}$	5 nm
LED rot	LEDr	Cxxx	$\lambda = 635 \text{ nm}$	5 nm
Kamera	Kamera	The Imaging Source	n.a.	n.a.
Kamera	n.a.	The Imaging Source	n.a.	n.a.
SciDAVis	n.a.	Cxxx	n.a.	n.a.

5 Versuchsdurchführung & Messergebnisse

6 Auswertung und Unsicherheitsanalyse

In der Auswertung werden zur erhöhten Genauigkeit durchgehend ungerundete Werte bis zu den Endergebnissen verwendet und nur zur Darstellung gerundet.

Zur Berechnung der Unsicherheiten wird, wenn nicht anders angegeben, die Größtunsicherheitsmethode verwendet.

7 Diskussion

8 Zusammenfassung

Literatur

- [1] Wolfgang Demtröder. *Experimentalphysik 2. Elektrizität und Optik*. 6. Aufl. Springer Berlin Heidelberg, 2013. ISBN: 978-3-642-29944-5. DOI: [10.1007/978-3-642-29944-5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-29944-5).
- [2] leifi physik. *Vielfachspalt und Gitter*. (besucht am 01.12.2023). URL: <https://www.leifiphysik.de/optik/beugung-und-interferenz/grundwissen/vielfachspalt-und-gitter>.
- [3] TU Graz TeachCenter. "Laborübungen 2: Elektrizität, Magnetismus, Optik". Kurs: *PHYD30UF*. (besucht am 01.12.2023). URL: <https://tc.tugraz.at/main/course/view.php?id=796>.