

Subjektive LED-Beugung am Gitter

NILS WÜCHNER

Johannes-Kepler-Gymnasium Stuttgart
Stadtmedienzentrum Stuttgart

nils.wuechner@jkg-stuttgart.de, wuechner@lmz-bw.de

13. Juli 2023

Zusammenfassung

Diese Arbeit stellt einen innovativen und kosteneffizienten Ansatz zur Durchführung von Experimenten in der Wellenoptik und Spektralanalyse vor. Durch den Einsatz von 3D-Drucktechnologie ermöglichen wir die Umsetzung optischer Gitterexperimente auf anschauliche und praktische Weise. Die Konstruktion einer speziell angepassten optischen Bank ermöglicht es Schülerinnen und Schülern, durch die gezielte Auswahl von LED und optischem Gitter, relevante Eigenschaften optischer Komponenten hands-on zu erkunden. Unser Ansatz ersetzt traditionelle Demonstrationsversuche und fördert ein aktives und erfahrungsorientiertes Lernen in der Schulbildung.

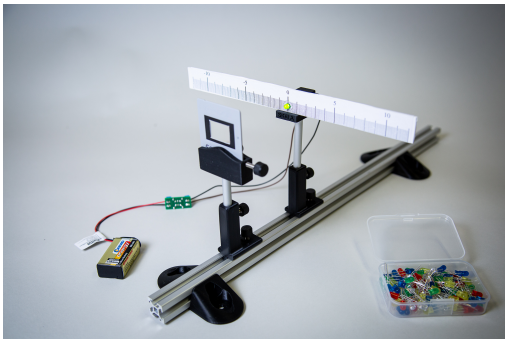


Abbildung 1: Aufbau Beugung am Gitter

Die Aluminiumprofile entsprechen den klassischen Nutprofilen (20x20, Nut 6, B-Typ), welche sich bei vielen Herstellern für einen geringen Preis pro Meter beziehen lassen. Für den Aufbau wird ein 40cm langes Stück benötigt auf dem die beiden Komponenten befestigt werden. Das Profil wird mittels Standfüßen auf dem Tisch platziert, welche in einer breiteren oder schmaleren Version vorliegen. In die Nuten werden speziell angepasste Reiter eingebracht, sodass jeweils durch eine Schraube eine Bauteil bzw. der Reiter selbst auf der Bank fixiert werden kann. Dafür sind M4-Schrauben in 12mm bzw. in 16mm vorgesehen. Rundkopfschrauben können zusätzlich mit einem Rändeldeckel versehen werden.

I. EINFÜHRUNG

Versuche zur Wellenoptik, Spektralanalyse und die Untersuchung von Quantenobjekten basieren auf der Beugung am Gitter. Vor allem Beugungsversuche am optischen Gitter sind in klassischen Unterrichtsgängen der gymnasialen Oberstufe Demonstrationsversuche der Lehrkraft. Durch einfache 3D-gedruckte Bauteile lassen sich alle Aspekte optischer Gitter kostengünstig im Schülerversuch realisieren und so für die Lernenden erfahrbar machen. In dieser Anleitung wird ein einfacher Aufbau zur subjektiven Betrachtung des Interferenzmusters beschrieben sowie eine Anleitung und Hinweise zur Umsetzung gegeben.

II. AUFBAU

Die optische Bank besteht aus einem Aluminiumprofil mit dazu passenden Füßen und Reitern, welche als Aufnahme für die einzelnen optischen Komponenten dienen. Eine Übersicht über die Druckdateien und benötigten Materialien ist tabellarisch angehängt.



Abbildung 2: Skala, LED-Halter und Diahalter

Die Basisausstattung besteht aus einem LED-Halter mit Skalenerweiterung und einem Diahalter für ein Beugungsdia mit einem optischen Gitter. Alle Komponenten werden mit einem Aluminiumrundrohr (8mm) in den Reitern befestigt und sind auf eine optische Achse ausgerichtet, welche durch eine Rohrlänge von standardmäßig 80mm ausgelegt ist. In den LED-Halter wird eine zweipolige Buchsenleiste durch Entgraten und Einschlagen eingesetzt und der Skalahalter von unten aufgeschoben. Steckt man eine LED auf, kann die auf einem Plastikflachprofil aufgeklebte Skala mit Loch angebracht werden. Für den Diahalter muss ein M4-Gewinde geschnitten und eine



Abbildung 3: Benötigte Komponenten

M4-Schraube eingebracht werden. Für das Beugungsgitter wird Beugungsfolie verschiedener Gitterkonstanten in einen leeren Diarahmen eingepasst. Die LED-Konstantstromquelle (ca. 20 mA) kann bei gängigen Elektronikversandhändlern bestellt und von Hand in kurzer Zeit gelötet werden. 9 V Druckknopfanschluss und die 2-polige Buchsenleiste werden per Schraubbuchse verbunden. Bei Bedarf kann ein Schrumpfschlauch die Stromversorgung abdecken. Die Skala wird auf selbstklebende A4-Etiketten ausgedruckt (auf 100% Skalierung achten) und auf das Plastikflachprofil aufgeklebt. Ein 5 mm-Loch in der Mitte muss gebohrt werden.

III. VERSUCHSTEILE UND ERGEBNISSE

Zur Betrachtung des Interferenzmusters schaut der Beobachter durch das Beugungsgitter vor seinem Auge. Da die Lichtstrahlen am Gitter abgelenkt werden, sieht er Maxima unter verschiedenen Winkeln gegenüber der Symmetrieachse als virtuelle Bilder der Lichtquelle. Dabei gilt ebenso mit Gitterabstand zum Schirm l für den Beugungswinkel α :

$$\tan \alpha = \frac{d_n}{l}.$$

Durch Auswahl der LED und des optischen Gitters lassen sich alle relevanten Eigenschaften solcher optischen Komponenten untersuchen. Neben Abhängigkeit des Beugungswinkels von der Wellenlänge nahezu monochromatischer LEDs, kann die spektrale Zusammensetzung der weißen LED und die Abhängigkeit des Beugungswinkels von der Gitterkonstanten erlebt werden. Ebenso kann die Überlappung von Spektren höherer Ordnungen beobachtet und somit erfahren werden.

Beispielhafte Versuchsergebnisse sind im Anhang in Abbildung 6 dargestellt.

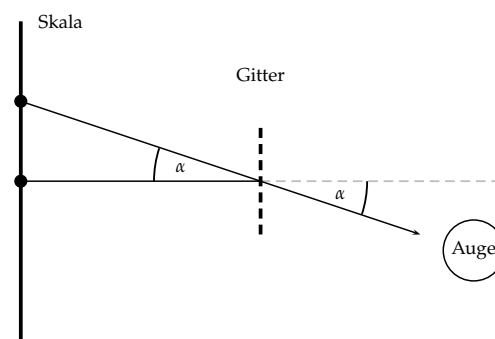


Abbildung 4: Geometrische Abhängigkeiten bei der subjektiven Betrachtung des Interferenzmusters

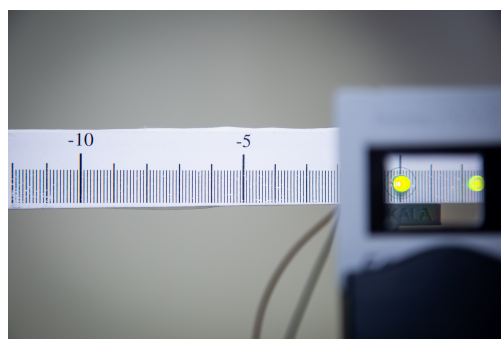


Abbildung 5: Vergleich der Durchsicht mit und ohne Gitter

IV. ZUSAMMENFASSUNG

Das Erleben und Auseinandersetzen mit den Eigenschaften der Beugung von Lichtwellen an einem optischen Gitter bringt große Chancen in der Vermittlung der Wellenoptik mit sich. Bisherige Demonstrationsversuche werden durch einen einfach reproduzierbaren und günstigen Aufbau ersetzt, der mit einem 3D-Drucker und durch Zukauf einfacher Bauteile selbst gefertigt werden kann.

DANKSAGUNG

Besonderer Dank gilt Prof. Bruno Rager vom Seminar Esslingen für Grundidee und Hilfe bei der Entwicklung und Perfektionierung der einzelnen Komponenten, sowie Harald Hochwald vom Stadtmedienzentrum Stuttgart für die Beratung bei der Umsetzung für die einfache Reproduktion.

ANHANG

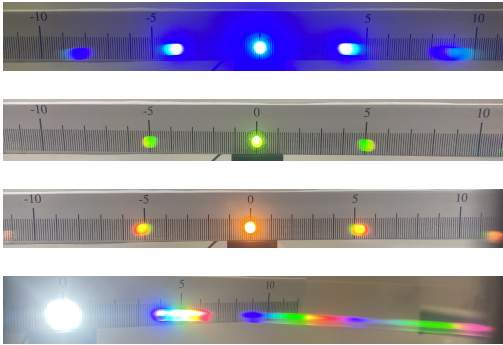


Abbildung 6: Interferenzbild verschiedener nahezu monochromatischer LEDs und das Spektrum einer weißen LED

Tabelle 1: Materialliste pro Aufbau

Anzahl	Materialien
40 cm	Alu-Nutprofil 20x20 B-Typ Nut 6
1	LED Satz (farbig und weiß)
1	Konstantstromquelle
1	Gitterfolie z.B. 500 und 1000 l/mm
1	Druckknopfanschluss 9V
1	9V Akku
1	Buchsenleiste 2-polig
1	A4 Etiketten Selbstklebend/bedruckbar
2m	weißes Plastikflachprofil 2mm
1 m	Aluminiumrundrohr 8mm
ca. 4	Zylinderkopfschraube M4 16mm
ca. 3	Zylinderkopfschraube M4 12mm

Tabelle 2: Druckdateien

Anzahl	Dateiname
5	m4_raendel_hex.stl
2	base_100.stl
1	dialhalter.stl
1	LED_Halter.stl
1	LED_Skala.stl
2	reiter_B-2020-8_innut.stl