

Zentralabitur 2021	Physik	Material für Prüflinge
Aufgabe II b	eA	Prüfungszeit*: 300 min

*Die Prüfungszeit setzt sich zusammen aus 270 min Bearbeitungszeit und 30 min Auswahlzeit.

Thema: Interferenz von Licht und Magnetfeldmessungen am geraden Leiter

In Aufgabe 1 soll der Wellenlängenbereich des Lichtes einer LED mit der subjektiven Methode bestimmt werden. Interferenzeffekte am Michelson-Interferometer und beim Auslesen einer CD werden in Aufgabe 2 behandelt. Die Untersuchung des Magnetfelds um einen stromdurchflossenen Leiter steht im Mittelpunkt von Aufgabe 3.

Aufgabenstellung

Aufgabe 1

Mit einem Gitter soll der Wellenlängenbereich des Lichtes einer LED bestimmt werden. Danach werden Unterschiede in den Interferenzbildern eines Doppelspaltes und eines Vierfachspaltes thematisiert.

In diesem Zusammenhang gilt die Gleichung $n \cdot \lambda = g \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{a_n}{e}\right)\right)$.

n : Ordnung des Maximums; λ : Wellenlänge; g : Gitterkonstante bzw. Spaltabstand;

a_n : Abstand Maximum 0. Ordnung – Maximum n -ter Ordnung; e : Abstand Gitter – Bildebene

- 1.1** Material 1a (M1a) zeigt den Aufbau eines Experiments zur Bestimmung des Wellenlängenbereichs des Spektrums einer grün leuchtenden LED mit der subjektiven Methode.

Erklären Sie das Zustandekommen der seitlich von der Blendenöffnung wahrnehmbaren Maxima bei der subjektiven Methode anhand des dargestellten Versuchsaufbaus.

Leiten Sie die gegebene Gleichung her, wobei Sie die Skizze in M1b ergänzen.

Hinweis: Sie können die Herleitung auf zwei benachbarte Spalte beschränken.

[10 BE]

- 1.2** Im Folgenden wird das Licht einer grün leuchtenden LED untersucht. Informationen zum Aufbau, zur Durchführung und die Beobachtung finden sich in M1c.

Ermitteln Sie auf Grundlage der Daten und der Abbildungen in M1c den Wellenlängenbereich des Lichtes dieser LED.

Ermitteln Sie auf der Basis einer Abschätzung für die Messunsicherheit von a_n die absolute Messunsicherheit der kurzwelligen Grenze des Wellenlängenbereichs. Nehmen Sie dabei die Gitterkonstante g als einzige Größe ohne Messunsicherheit an.

[7 BE]

- 1.3** M1d zeigt Interferenzbilder bei Beleuchtung eines Doppelspaltes und eines Vierfachspaltes mit dem Licht eines grün leuchtenden Lasers. Alle Spalte haben die gleiche Spaltbreite und den gleichen Abstand. Für den Doppelspalt zeigt das Material die Lage des Maximums 0. Ordnung sowie der beiden Maxima erster Ordnung und der dazwischenliegenden Minima.

Vergleichen Sie die Lage der Minima in den Interferenzbildern in M1d.

Erklären Sie für den Vierfachspalt die Entstehung der Minima (A) und (B) mit einem geeigneten Modell aus dem Unterricht.

[7 BE]

Zentralabitur 2021	Physik	Material für Prüflinge
Aufgabe II b	eA	Prüfungszeit*: 300 min

Aufgabe 2

Die Interferenz von monochromatischem Licht wird mithilfe eines Interferometers untersucht und beim Auslesen einer CD technisch genutzt.

Der in dieser Aufgabe verwendete Strahlteiler reflektiert und transmittiert jeweils 50 % des auftreffenden Lichts.

2.1 M2a zeigt den Aufbau eines Michelson-Interferometers.

Skizzieren Sie in M2a alle auftretenden Lichtwege, wobei Sie die Richtungen jeweils durch Pfeilspitzen markieren.

M2b zeigt ein Diagramm der Messwerte für die Lichtintensität, welche der Lichtsensor registriert, wenn der Spiegel SP_1 längs des Lichtweges verschoben wird.

Erläutern Sie das Zustandekommen der in M2b gemessenen Intensitätsänderung in Bezug auf das Experiment, wobei Sie auch die Wellenlänge des verwendeten Lichts bestimmen.

Skizzieren Sie in M2b einen möglichen Verlauf für die Intensität, wenn man die Wellenlänge des verwendeten Lichts verdoppelt. **[11 BE]**

2.2 Der in M2c stark vereinfacht dargestellte Aufbau wird verwendet, um die Datenspur einer CD auszulesen. Dabei verhält sich die CD wie ein Spiegel. Der Laser emittiert Licht der Frequenz $f = 3,843 \cdot 10^{14}$ Hz, welche unabhängig vom Medium ist. Für die Ausbreitungsgeschwindigkeit c_K innerhalb der Kunststoffschicht der CD gilt $\frac{c}{c_K} = 1,55$ (c : Vakuumlichtgeschwindigkeit).

Berechnen Sie die Wellenlänge λ_K des Lichts innerhalb der Kunststoffschicht.

Die Höhendifferenz Δs zwischen den Erhebungen und Vertiefungen in der Kunststoffschicht ist so gewählt, dass die Intensität des reflektierten Lichts am Sensor Null beträgt, wenn der Auftreffbereich zu gleichen Teilen auf einer Erhebung und einer Vertiefung liegt (siehe M2c Detailansicht). Wenn er nur auf einer Erhebung liegt, ist die Intensität hingegen maximal.

Ermitteln Sie die kleinstmögliche Höhendifferenz Δs . **[6 BE]**

2.3 Vergleichen Sie die Aufbauten aus M2a und M2c hinsichtlich der Anordnung, der Funktionsweise und der maximalen Lichtintensität am Sensor relativ zur Intensität des jeweiligen Lasers. **[5 BE]**

Zentralabitur 2021	Physik	Material für Prüflinge
Aufgabe II b	eA	Prüfungszeit*: 300 min

Aufgabe 3

Das Magnetfeld eines langen, geraden und stromdurchflossenen Leiters wie in M3a wird durch Messung der magnetischen Flussdichte B mit einer Hallsonde untersucht.

Hinweis: Die magnetische Flussdichte wird auch als magnetische Feldstärke bezeichnet.

3.1 Zeichnen Sie das Magnetfeldlinienbild des geraden Leiters in M3a(ii) ein. **[2 BE]**

3.2 In M3b ist der schematische Aufbau einer Hallsonde dargestellt.

Erläutern Sie anhand der Skizze in M3b die Entstehung der Hallspannung U_H in einer Hallsonde.

Für die Hallspannung U_H gilt die folgende Gleichung:

$$U_H = v \cdot B \cdot h$$

(v : Driftgeschwindigkeit der Elektronen, B : magnetische Flussdichte, h : Höhe der Hallsonde)

Leiten Sie diese Gleichung für U_H her. **[8 BE]**

3.3 In einem Experiment wird mit einer Hallsonde die magnetische Flussdichte B in verschiedenen Abständen r von einem geraden Leiter gemessen (M3c). Die Stromstärke durch den Leiter ist bei dieser Messung konstant und beträgt $I = 17,0 \text{ A}$.

Stellen Sie die Messdaten aus M3d in einem r - B -Diagramm dar.

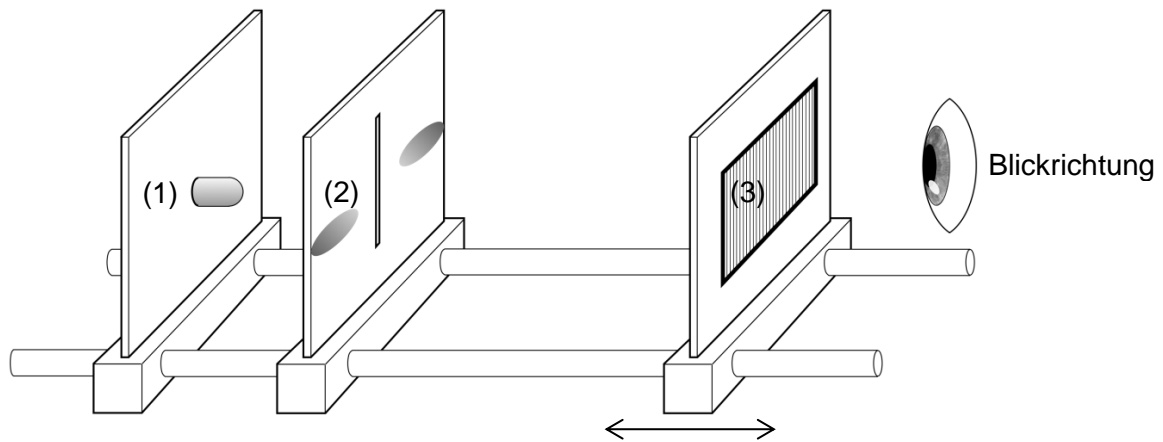
Ermitteln Sie anhand der Messdaten in M3d den funktionalen Zusammenhang $B = f(r)$, wobei Sie Ihr Vorgehen in der im Unterricht vereinbarten Form dokumentieren.

Prüfen Sie mit dem funktionalen Zusammenhang und der Gleichung $B = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot I$, ob im Rahmen einer für das Experiment gegebenen Messunsicherheit von 8,0 % der Literaturwert der magnetischen Feldkonstante μ_0 bestätigt werden kann. **[12 BE]**

3.4 In einem abgeänderten Aufbau des Experiments wird die Hallsonde in der in M3e gezeigten Ausrichtung verwendet.

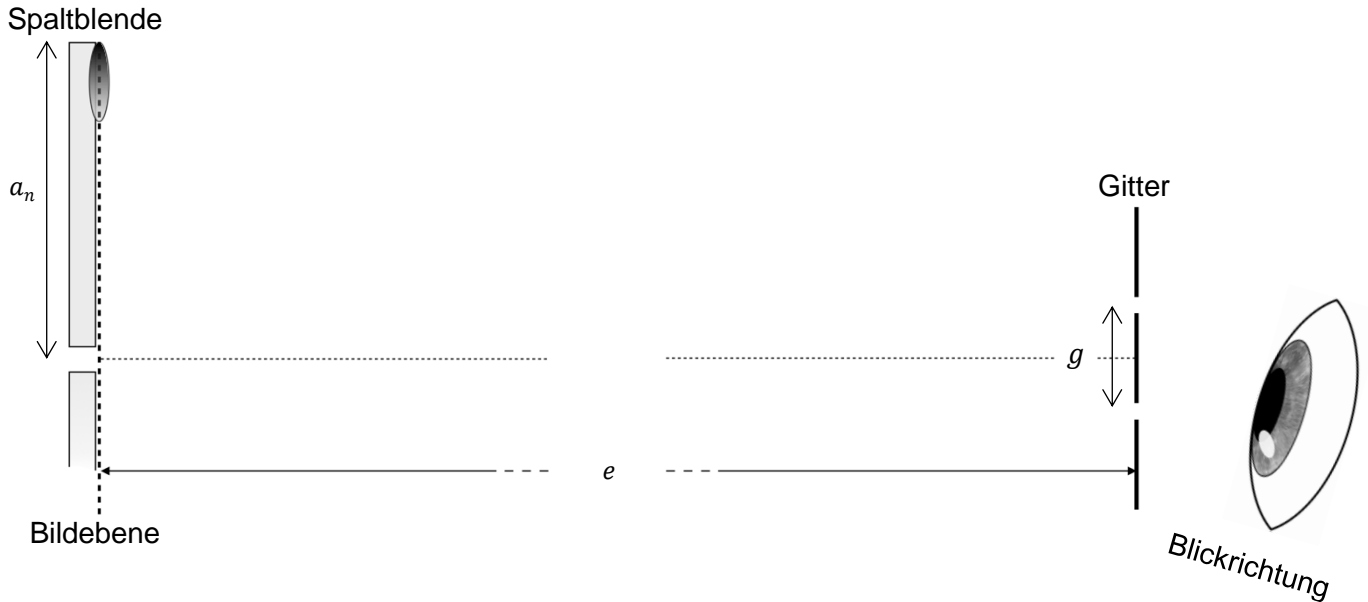
Beurteilen Sie, ob mit der in M3e gezeigten Ausrichtung der Hallsonde eine Untersuchung der Abstandsabhängigkeit der magnetischen Flussdichte B möglich ist. **[4 BE]**

Material



(1) grün leuchtende LED; (2) Spaltblende mit subjektivem Bild; (3) Gitter (verschiebbar)

M1a: Vereinfacht dargestellter Aufbau des Experiments zur subjektiven Beobachtungsmethode
Die Beobachtungen sind farbig in M1c dargestellt.



M1b: Nicht maßstabsgerechte Skizze zur Herleitung der gegebenen Gleichung

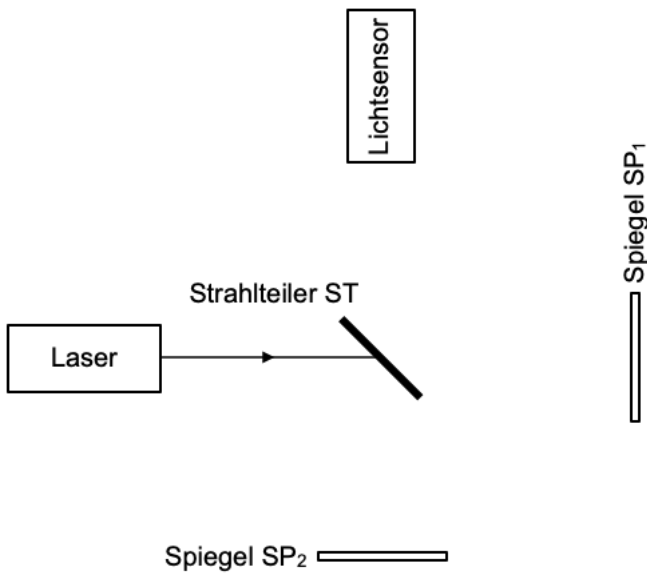
a_n : Abstand zwischen Maximum 0. Ordnung und Maximum n -ter Ordnung

e : Abstand vom Gitter zur Bildebene (bzw. zur Ebene der Messung)

g : Spaltabstand

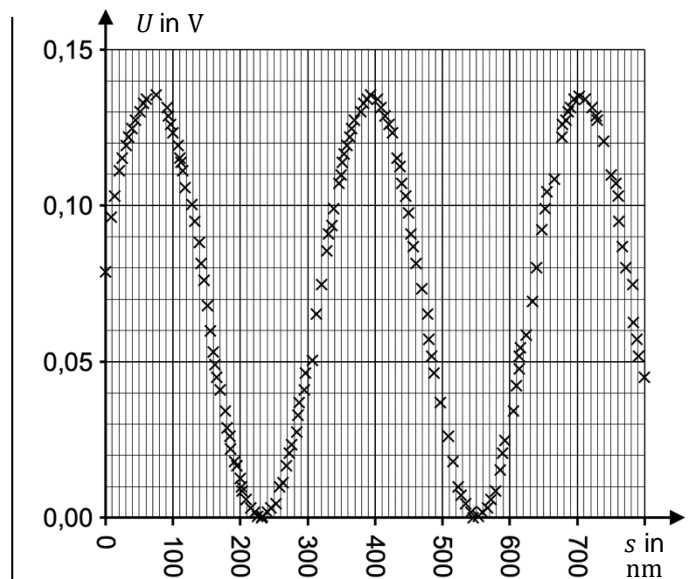
Der Abstand e ist viel größer als der Spaltabstand g .

M1c und **M1d:** Die Materialien folgen als Farbausdrucke auf der letzten Seite.



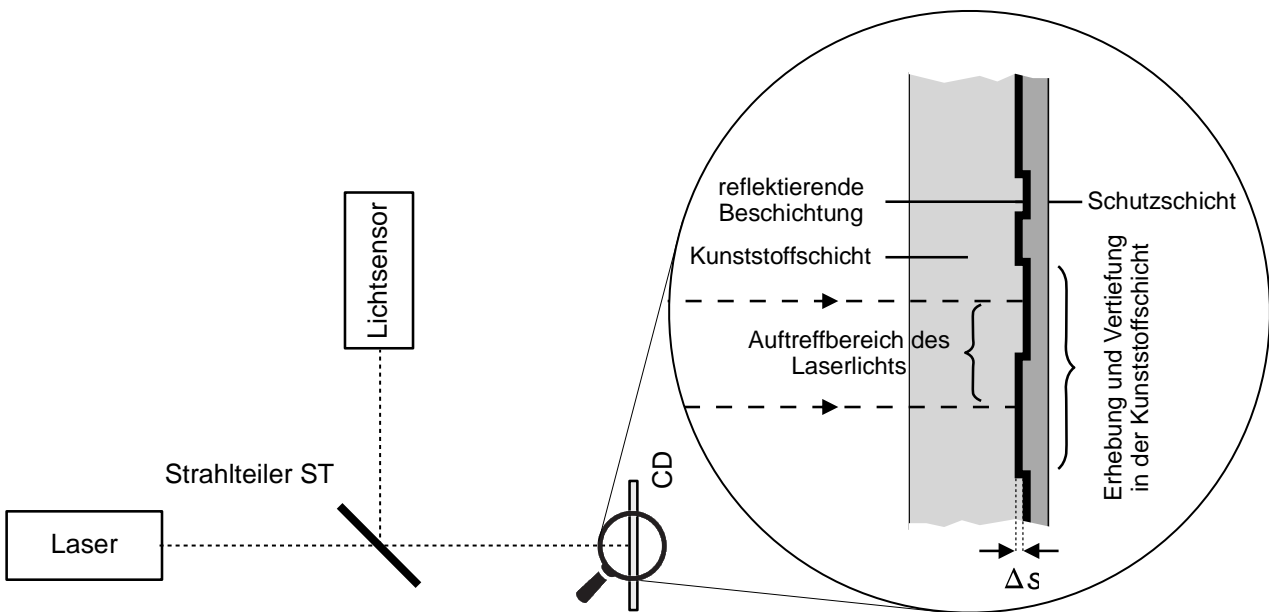
M2a: Aufbau eines Michelson-Interferometers

Nach Durchlaufen des Interferometers wird die Intensität des Lichts mit einem Lichtsensor untersucht, der als Maß für die Lichtintensität eine Spannung ausgibt.



M2b: Messwerte zur Lichtintensität im Zentrum des Interferenzbildes beim Verschieben von SP₁

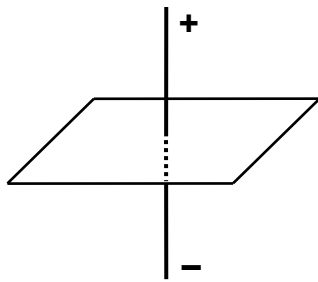
U: Spannung am Lichtsensor als Maß für die Lichtintensität
s: Verschiebung des Spiegels SP₁ längs des Lichtweges



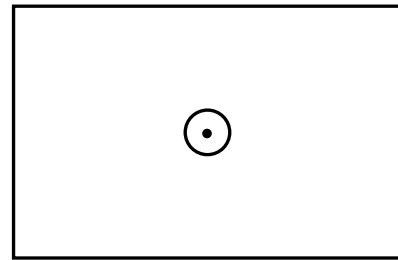
M2c: *links:* Stark vereinfachter Aufbau zum Auslesen einer CD mit ausgewählten Lichtwegen
rechts: Detailansicht der CD (nicht maßstabsgetreu) und Auftreffbereich des Laserlichts

Die Datenspur einer CD besteht aus Erhebungen und Vertiefungen in einer transparenten Kunststoffsicht, welche mit einer reflektierenden Beschichtung versehen ist.

Δs : Höhendifferenz zwischen Erhebung und Vertiefung



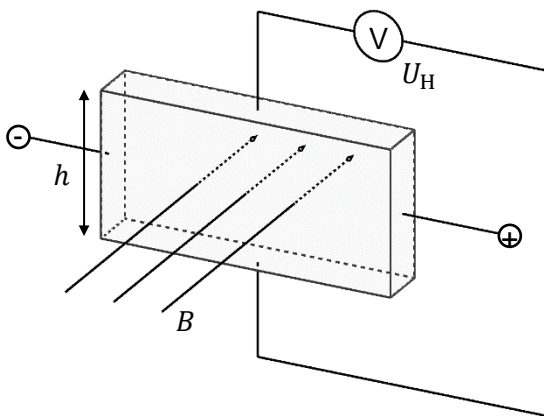
(i) Schrägbild



(ii) Draufsicht

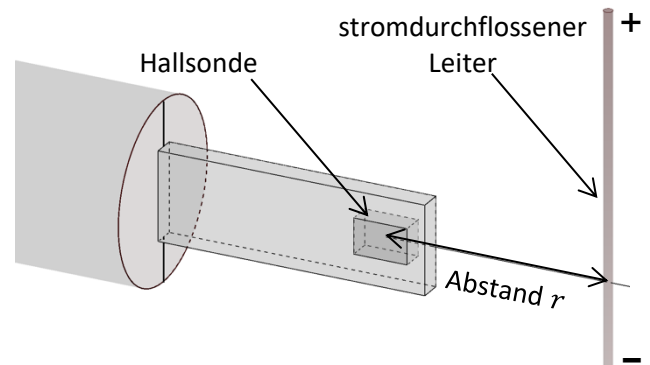
M3a: Schematische Skizzen eines langen, geraden und stromdurchflossenen Leiters

Das Rechteck stellt eine Ebene senkrecht zum Leiter dar. Das Symbol \odot kennzeichnet die Elektronenflussrichtung aus der Zeichenebene heraus.



M3b: Aufbau einer Hallsonde mit der nötigen Beschaltung

h : Höhe der Hallsonde, U_H : Hallspannung

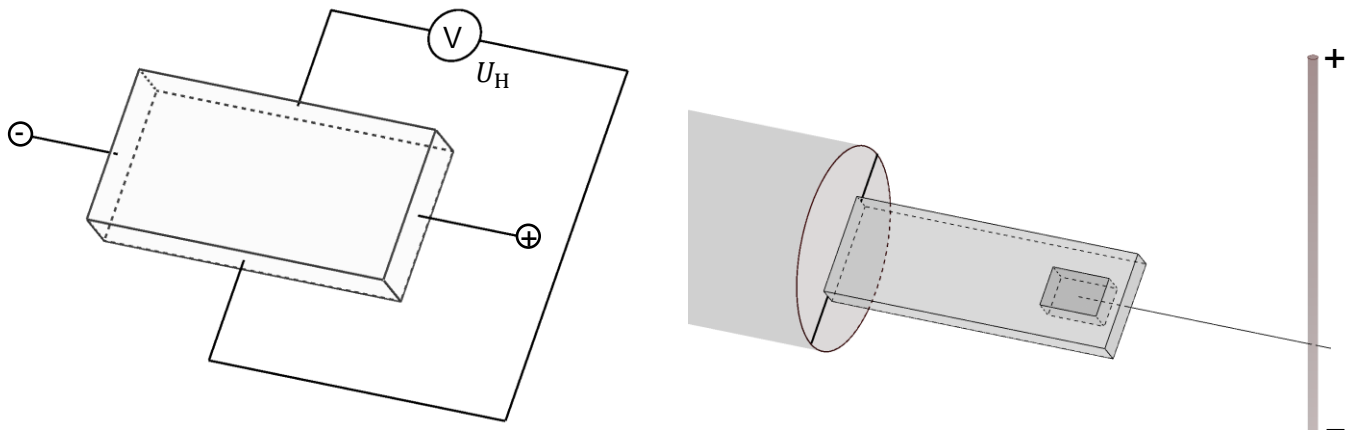


M3c: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Abhängigkeit der magnetischen Flussdichte B vom Abstand r mit einer Hallsonde

r in cm	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
B in mT	0,344	0,172	0,110	0,082	0,064	0,050	0,042	0,038

M3d: Messwerte für die magnetische Flussdichte B in Abhängigkeit vom Abstand r zum Leiter

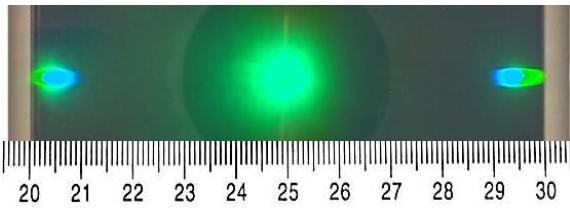
Die Stromstärke I ist bei der Messung konstant und beträgt $I = 17,0$ A.



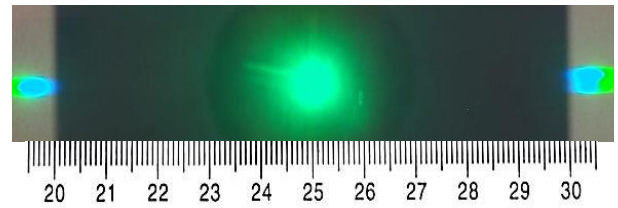
M3e: Skizze des abgeänderten Versuchsaufbaus mit einer gedrehten Ausrichtung der Hallsonde

Das nächste Material folgt auf Seite 8.

Zentralabitur 2021	Physik	Material für Prüflinge
Aufgabe II b	eA	Prüfungszeit*: 300 min



(i): Interferenzbild in Position 1
 $e = 16,5 \text{ cm} \pm 3 \text{ mm}$



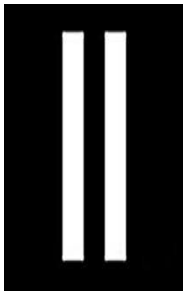
(ii): Interferenzbild in Position 2
 $e = 20,1 \text{ cm} \pm 3 \text{ mm}$

Die grün leuchtende LED zeigt kein monochromatisches Spektrum, sondern ein ausgedehntes Spektrum verschiedener Wellenlängenanteile.

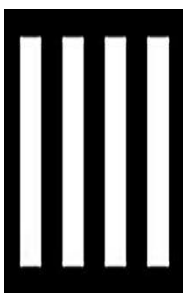
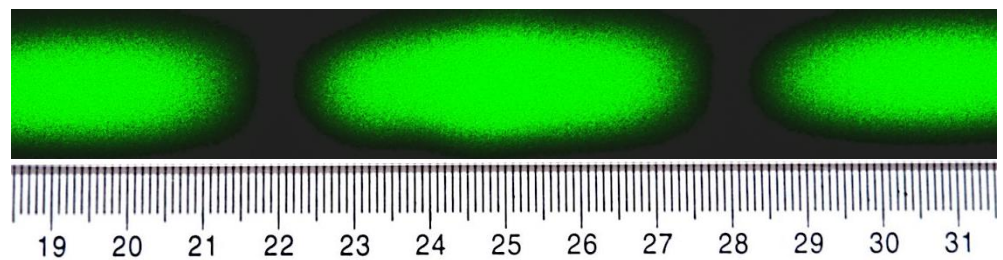
Durchführung: Der Abstand e vom Gitter zur Spaltblende wird durch Verschieben so eingestellt, dass einmal die grünen Grenzen (Position 1) und einmal die blauen Grenzen (Position 2) der beiden Maxima 1. Ordnung möglichst genau auf den Rändern der Spaltblende liegen.

Das Lineal zeigt eine Einteilung in der Einheit cm, der Spaltabstand ist $g = \frac{1}{500} \text{ mm}$.

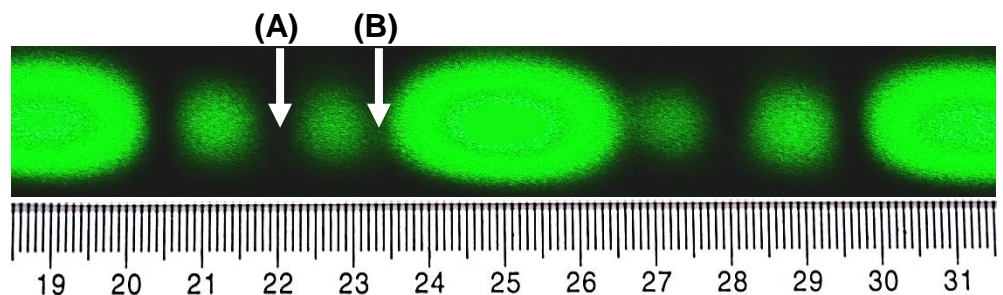
M1c: Informationen zur Durchführung und Beobachtungen zum Experiment



Doppelspalt



Vierfachspalt



M1d: Interferenzbilder für Doppelspalt und Vierfachspalt

Das Lineal zeigt eine Einteilung in der Einheit cm.

Hilfsmittel

- Taschenrechner
- Eine von der Schule eingeführte für das Abitur zugelassene physikalische Formelsammlung
- Eine von der Schule eingeführte für das Abitur zugelassene mathematische Formelsammlung