

Zentralabitur 2021	Physik	Material für Prüflinge
Aufgabe II b	gA	Prüfungszeit*: 250 min

\*Die Prüfungszeit setzt sich zusammen aus 220 min Bearbeitungszeit und 30 min Auswahlzeit.

## Thema: Interferenz von Licht und Magnetfeldmessungen am geraden Leiter

In Aufgabe 1 werden Interferenzbilder am Gitter und am Doppelspalt untersucht und es soll der Wellenlängenbereich des Lichtes einer LED 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 einer grün leuchtenden LED und einem Laser werden Interferenzbilder am Gitter und am Doppelspalt erzeugt sowie der Wellenlängenbereich des Lichtes der LED bestimmt.

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;  $\lambda$ : Wellenlänge;  $g$ : Gitterkonstante bzw. Spaltabstand;

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

- 1.1** Ein möglicher Versuchsaufbau ist im Material 1a (M1a) dargestellt. Als Lichtquelle wird zunächst eine grün leuchtende LED und danach ein grün leuchtender Laser benutzt. Die Beobachtungen zeigt M1b.

Vergleichen Sie die beiden Interferenzbilder in M1b.

Erklären Sie die Unterschiede in den Interferenzbildern, indem Sie auf die Eigenschaften der verwendeten Lichtquellen Bezug nehmen.

Hinweis: Die unterschiedliche Helligkeit der Fotos kann für die Erklärung vernachlässigt werden. **[6 BE]**

- 1.2** Mit der Beobachtung aus M1b(i) lässt sich das von der grün leuchtenden LED emittierte Licht näher untersuchen.

Ermitteln Sie den Wellenlängenbereich des Lichts der LED.

**[4 BE]**

- 1.3** M1c zeigt das Interferenzbild bei Beleuchtung eines Doppelspalts mit dem Licht eines grün leuchtenden Lasers.

Erläutern Sie unter Verwendung eines geeigneten Modells die Entstehung von Interferenzmustern bei Beleuchtung eines Doppelspalts mit Licht.

Hinweis: Die Herleitung einer Formel ist nicht erforderlich.

Stellen Sie eine Hypothese über die Interferenz am Ort (A) auf, wenn der Doppelspalt links und rechts jeweils durch je einen weiteren Spalt mit gleicher Spaltbreite im gleichen Spaltabstand ergänzt wird, wie im M1d gezeigt ist.

**[8 BE]**

Zentralabitur 2021	Physik	Material für Prüflinge
Aufgabe II b	gA	Prüfungszeit*: 250 min

## Aufgabe 2

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

- 2.1** M2a zeigt den Aufbau eines Michelson-Interferometers. Der Strahlteiler reflektiert und transmittiert jeweils 50 % des auftreffenden Lichts.

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 dargestellten Intensitätsänderung in Bezug auf das Experiment, wobei Sie auch die Wellenlänge des verwendeten Lichts bestimmen. **[9 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. Tritt das Licht in die Kunststoffschicht der CD ein, so ändern sich Ausbreitungsgeschwindigkeit und Wellenlänge, die Frequenz bleibt jedoch konstant. Für die Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c_K = \lambda_K \cdot f$  innerhalb der Kunststoffschicht gilt:  $c_K = 0,65 \cdot c$  ( $c$ : Vakuumlichtgeschwindigkeit).

Berechnen Sie die Wellenlänge  $\lambda_K$  des Lichts innerhalb der Kunststoffschicht.

Die Höhendifferenz  $\Delta s$  zwischen den Erhebungen und Vertiefungen in der Kunststoffschicht ist so gewählt, dass das reflektierte Licht durch destruktive Interferenz ausgelöscht wird, 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 des reflektierten Lichts hingegen maximal.

Ermitteln Sie die kleinstmögliche Höhendifferenz  $\Delta s$ .

Begründen Sie, dass ein Laser, dessen Licht in der Kunststoffschicht die Wellenlänge  $\frac{\lambda_K}{2}$  besitzt, nicht geeignet ist, um diese CD auszulesen. **[10 BE]**

- 2.3** Vergleichen Sie die Aufbauten aus M2a und M2c hinsichtlich der Anordnung und der Funktionsweise. **[4 BE]**

Zentralabitur 2021	Physik	Material für Prüflinge
Aufgabe II b	gA	Prüfungszeit*: 250 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.

In M3b ist zusätzlich zum ersten Leiter  $L_1$  noch ein zweiter stromdurchflossener Leiter  $L_2$  dargestellt, der parallel zu  $L_1$  verläuft.

Erläutern Sie die Wirkung des Magnetfeldes des Leiters  $L_1$  auf den Leiter  $L_2$ . **[5 BE]**

**3.2** In M3c ist der schematische Aufbau einer Hallsonde dargestellt.

Erläutern Sie anhand der Skizze in M3c die Entstehung der Hallspannung  $U_H$  in einer Hallsonde.

Hinweis: Die Herleitung einer Gleichung ist nicht erforderlich.

In einem Experiment wird mit einer Hallsonde die magnetische Flussdichte  $B$  in verschiedenen Abständen  $r$  von einem geraden Leiter gemessen (M3d). Die Stromstärke durch den Leiter ist bei dieser Messung konstant und beträgt  $I = 17,0 \text{ A}$ .

Bestätigen Sie anhand der Messdaten in M3e den funktionalen Zusammenhang  $B = k \cdot \frac{1}{r}$ , wobei Sie Ihr Vorgehen in der im Unterricht vereinbarten Form dokumentieren und die Konstante  $k$  angeben.

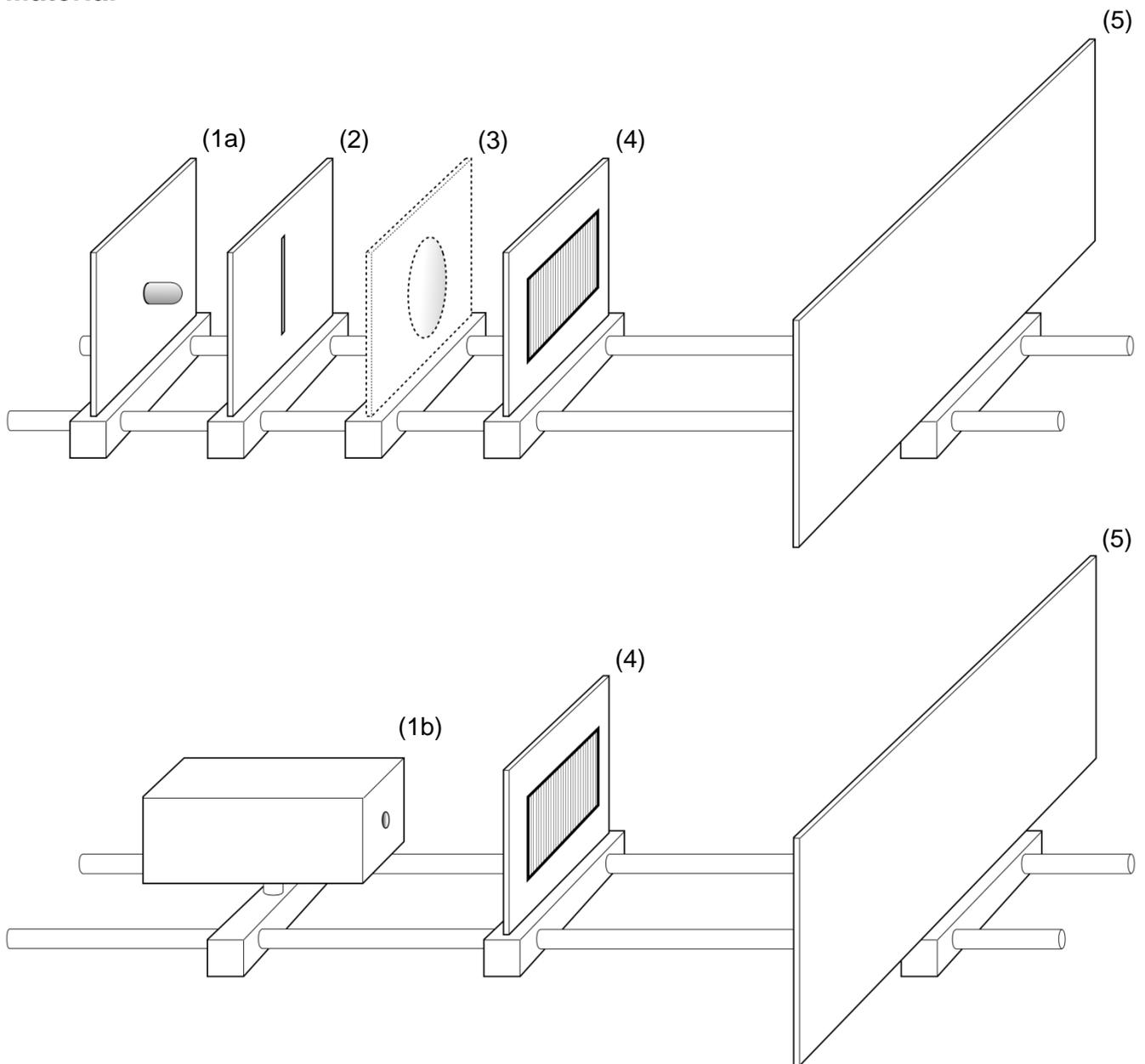
Berechnen Sie anhand eines Wertepaares und der Gleichung  $B = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{I}{r}$  einen Wert für die magnetische Feldkonstante  $\mu_0$ . **[11 BE]**

**3.3** In einem abgeänderten Aufbau des Experiments wird die Hallsonde in der in M3f gezeigten Ausrichtung verwendet.

Begründen Sie, dass mit der in M3f gezeigten Ausrichtung eine Untersuchung der Abstandsabhängigkeit der magnetischen Flussdichte  $B$  nicht möglich ist. **[3 BE]**

Zentralabitur 2021	Physik	Material für Prüflinge
Aufgabe II b	gA	Prüfungszeit*: 250 min

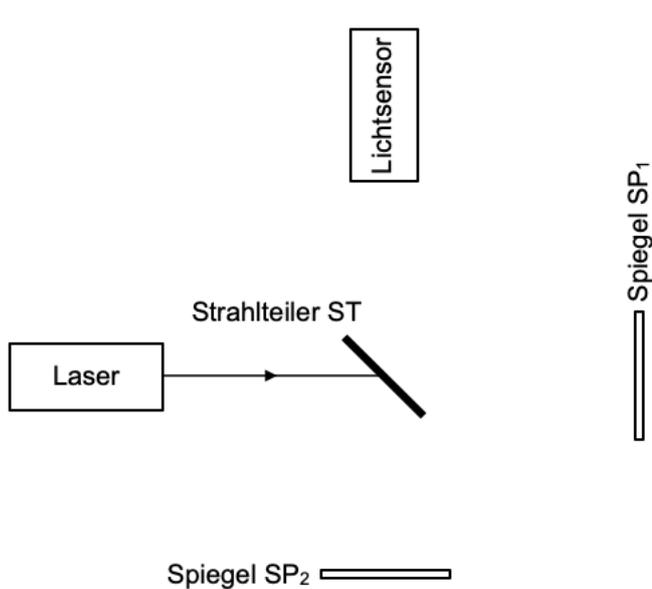
## Material



- (1) Lichtquelle (a: LED; b: Laser); (2) Spaltblende; (3) Linse (Funktion wird nicht betrachtet);  
 (4) Gitter (Gitterkonstante  $g = \frac{1}{500}$  mm), (5) Schirm

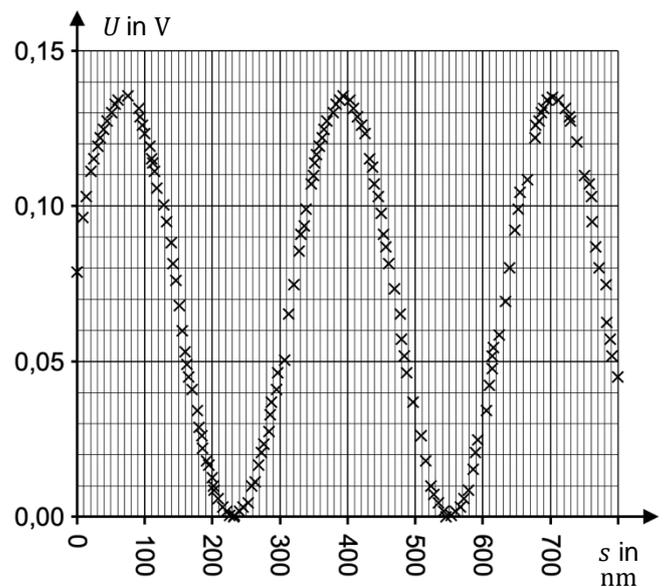
**M1a:** Vereinfachter Aufbau des Experiments

**M1b** bis **M1d:** Die farbigen Materialien folgen auf der letzten Seite.



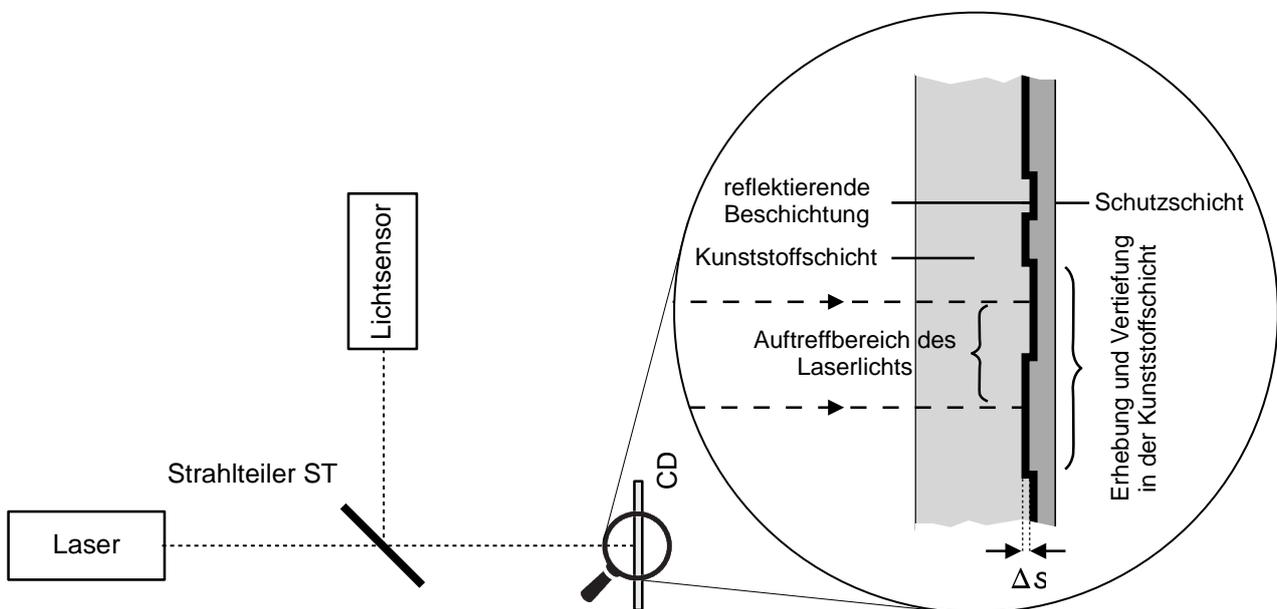
**M2a:** Aufbau eines Michelson-Interferometers

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  $SP_1$

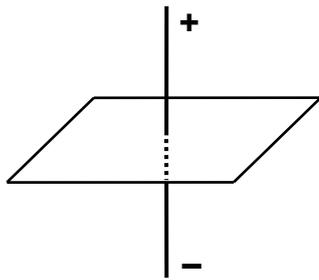
$U$ : Spannung am Lichtsensor als Maß für die Lichtintensität  
 $s$ : Verschiebung des Spiegels  $SP_1$  längs des Lichtweges



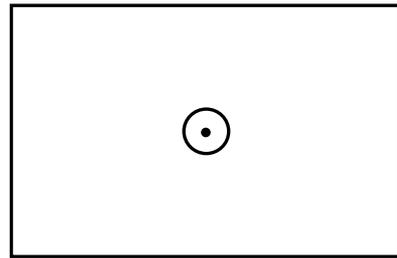
**M2c:** *links:* Stark vereinfachter Aufbau zum Auslesen einer CD mit ausgewählten Lichtwegen  
*rechts:* Detailansicht der CD (nicht maßstabsgetreu) und Auftreffbereich des Laserlichts

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

$\Delta s$ : Höhendifferenz zwischen Erhebung und Vertiefung



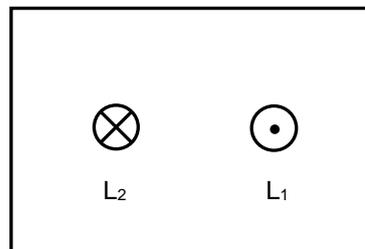
(i) Schrägbild



(ii) Draufsicht

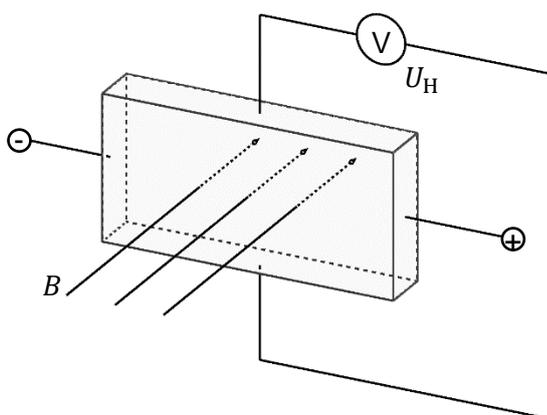
**M3a:** Schematische Skizzen eines langen, geraden und stromdurchflossenen Leiters

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



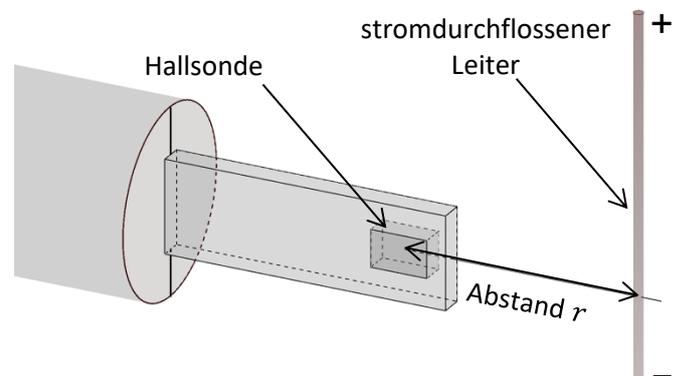
**M3b:** Zwei lange, gerade und stromdurchflossene Leiter in der Draufsicht

Das Symbol  $\otimes$  kennzeichnet die Elektronenflussrichtung in die Zeichenebene hinein.



**M3c:** Aufbau einer Hallsonde mit der nötigen Beschaltung

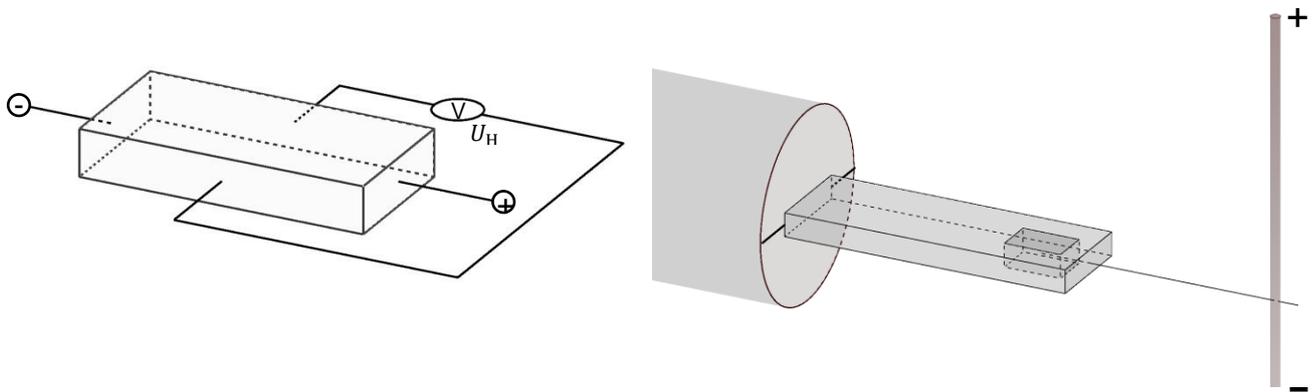
$U_H$  Hallspannung



**M3d:** 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

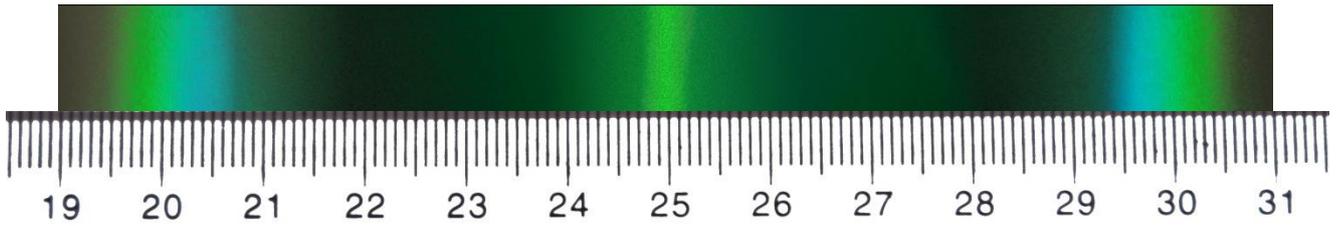
**M3e:** Messwerte für die magnetische Flussdichte  $B$  in Abhängigkeit vom Abstand  $r$  zum Leiter  
Die Stromstärke  $I$  ist bei der Messung konstant und beträgt  $I = 17,0$  A.



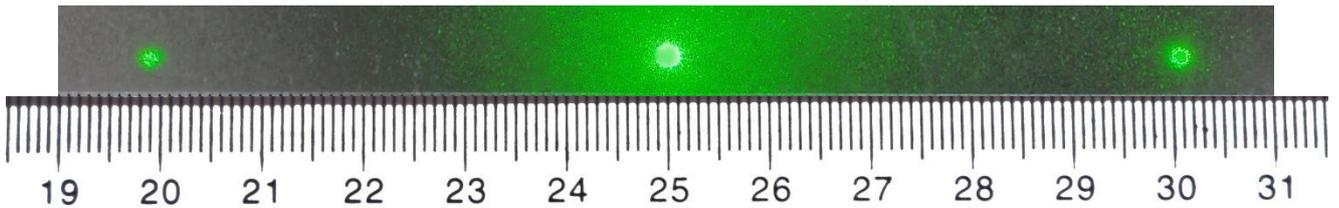
**M3f:** Skizze des abgeänderten Versuchsaufbaus mit einer um  $90^\circ$  gedrehten, liegenden Ausrichtung der Hallsonde

Das nächste Material folgt auf Seite 8.

Zentralabitur 2021	Physik	Material für Prüflinge
Aufgabe II	gA	Prüfungszeit*: 250 min



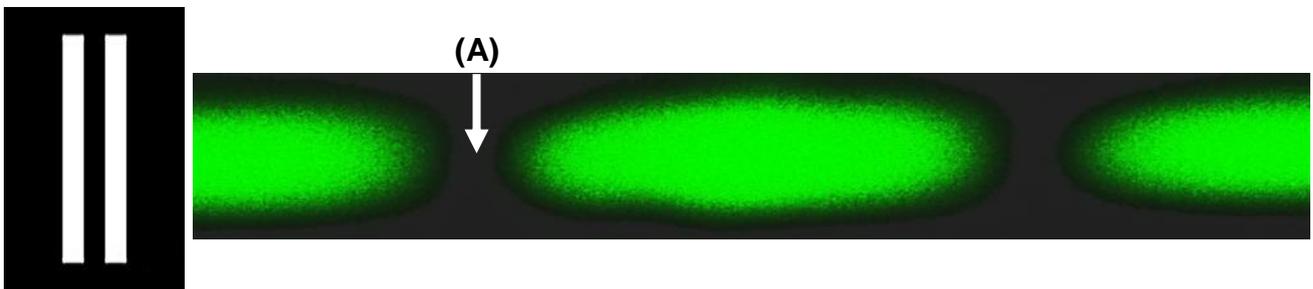
(i) Interferenzbild der grün leuchtenden LED auf dem Schirm mit Lineal



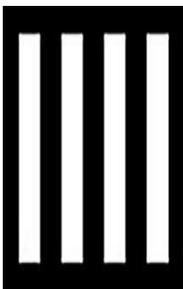
(ii) Interferenzbild des grünen Lasers auf dem Schirm mit Lineal

**M1b:** Interferenzbilder bei Beleuchtung des Gitters mit einer LED (i) und einem Laser (ii)

Der Abstand vom Gitter (Gitterkonstante  $g = \frac{1}{500}$  mm) zum Schirm beträgt 18,0 cm; das Lineal zeigt eine Einteilung in cm.



**M1c:** Doppelspalt und Interferenzbild mit dem Maximum 0. Ordnung, den beiden Maxima 1. Ordnung und den dazwischenliegenden Minima



**M1d:** Neues Beugungsobjekt

Der Doppelspalt wurde links und rechts jeweils durch je einen weiteren Spalt mit gleicher Spaltbreite im gleichen Spaltabstand ergänzt.

### Hilfsmittel

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