

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

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

Thema: Versuche und Anwendungen mit LEDs und Lasern

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 Bestimmung der planckschen Konstanten h mit LEDs 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; λ : 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 a	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 λ_K des Lichts innerhalb der Kunststoffschicht.

Die Höhendifferenz Δs 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 Δs .

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 a	gA	Prüfungszeit*: 250 min

Aufgabe 3

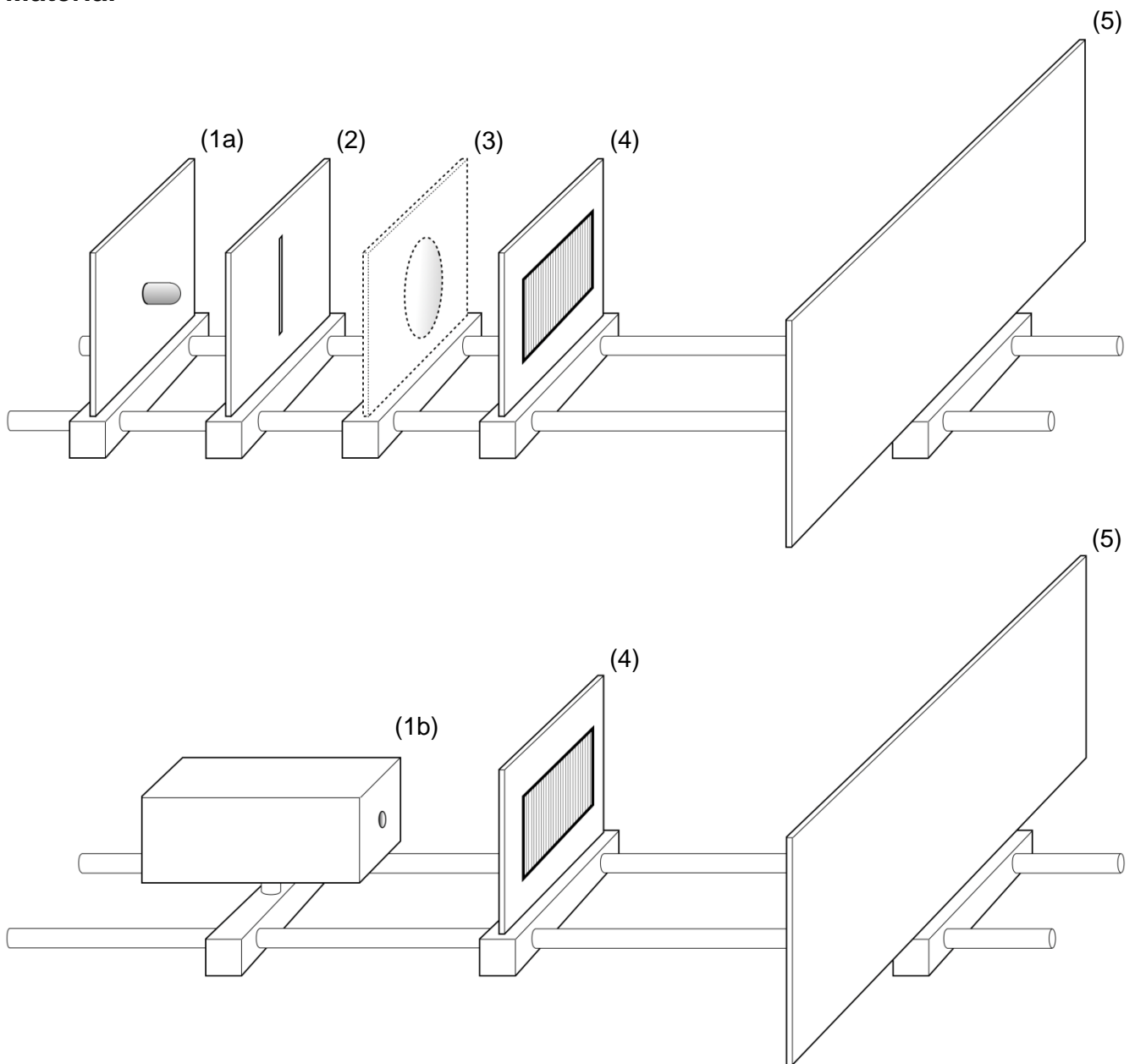
Die plancksche Konstante h soll mithilfe verschiedener LEDs und der in M3a dargestellten Schaltung bestimmt werden. M3b zeigt für die verwendeten LEDs jeweils die charakteristische Frequenz f sowie die an der LED anliegende charakteristische Spannung U_c , bei welcher der Stromfluss deutlich messbar einsetzt.

Hinweis: Das Licht einer LED ist nicht monochromatisch, sondern besitzt ein Intensitätsmaximum bei der charakteristischen Frequenz f .

- 3.1** Zeichnen Sie in M3a die Messgeräte zur Ermittlung der Stromstärke I und der Spannung U_c ein. **[2 BE]**
- 3.2** Anhand der Daten in M3b lässt sich der Zusammenhang zwischen der Frequenz f des von den LEDs emittierten Lichts und der jeweils zugeführten elektrischen Energie E untersuchen. Ermitteln Sie den funktionalen Zusammenhang $E = f(f)$, wobei Sie Ihr Vorgehen in der im Unterricht vereinbarten Form dokumentieren und den sich daraus ergebenden Wert für die plancksche Konstante h angeben. **[6 BE]**
- 3.3** Für eine weitere LED sind Messwerte in M3c angegeben. Die grafische Darstellung in einem U - I -Diagramm (Kennlinie) ist für Stromstärken ab 10 mA in guter Näherung linear. Der Schnittpunkt der entsprechenden Ausgleichsgeraden mit der Spannungsachse liefert einen guten Schätzwert für die Spannung U_c der LED. Ermitteln Sie zeichnerisch einen Wert für die Spannung U_c dieser LED, indem Sie das oben beschriebene Verfahren anwenden und dafür alle geeigneten Messwerte aus M3c nutzen. Berechnen Sie mithilfe dieses Wertes für U_c die Wellenlänge λ des Lichts dieser LED. Erklären Sie anhand des Spektrums dieser LED (M3d), warum der von Ihnen ermittelte Wert von λ nicht mit dem in M3d angegebenen Wert für das Intensitätsmaximum übereinstimmt. **[11 BE]**

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

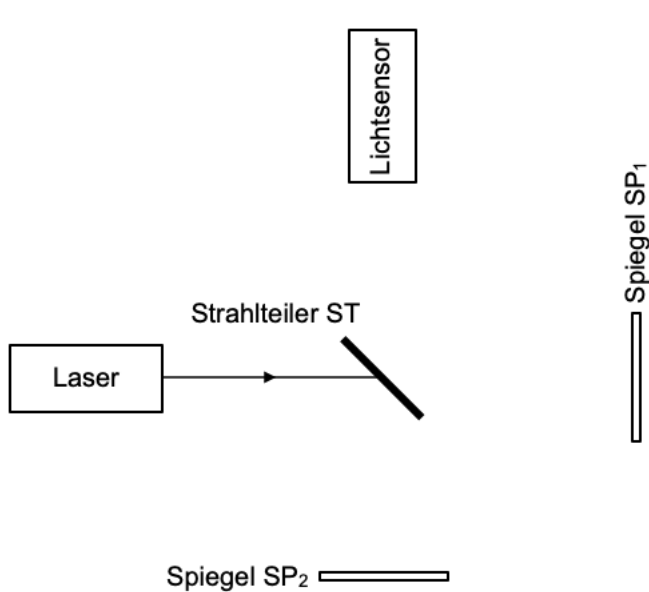
Material



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

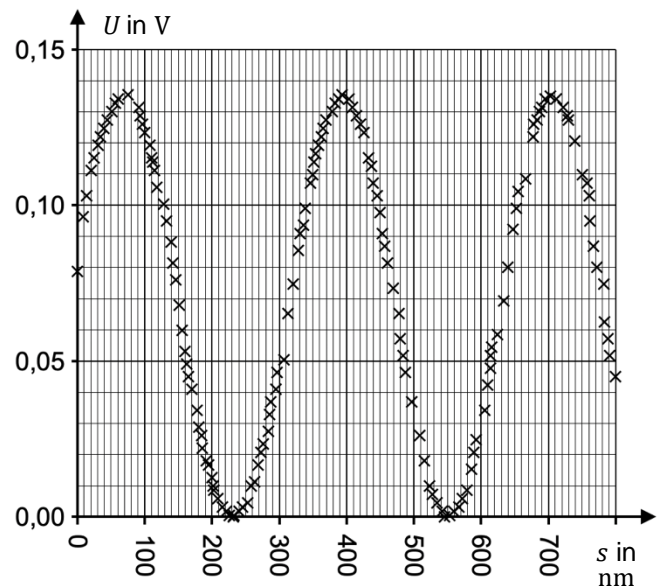
M1a: Vereinfachter Aufbau des Experiments

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



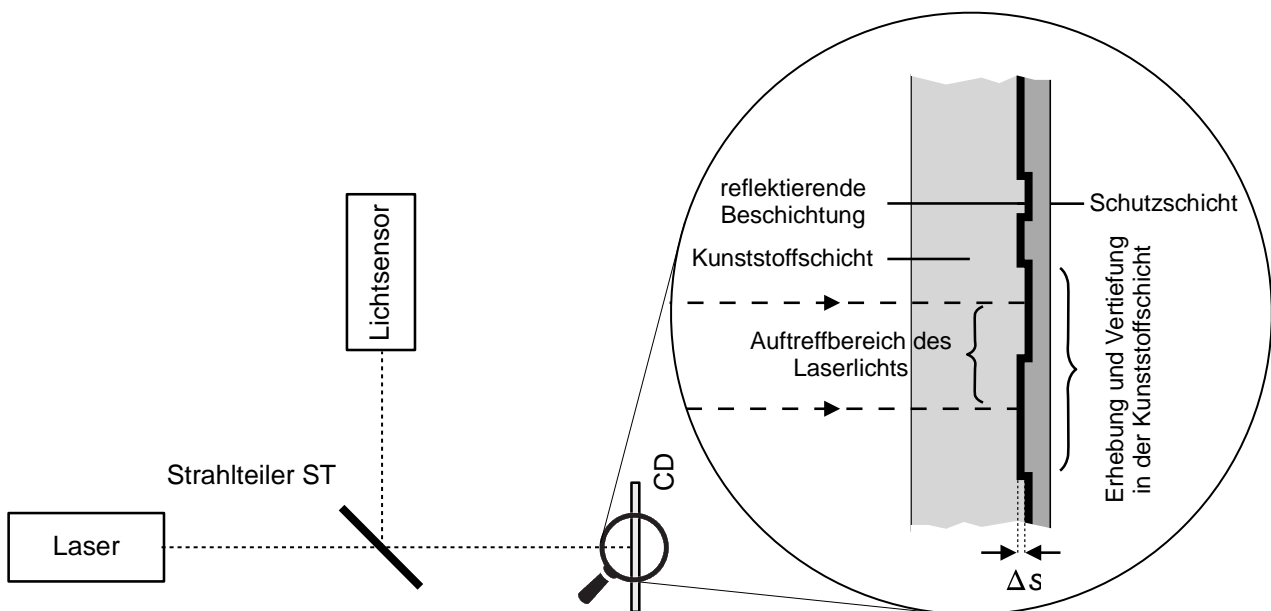
M2a: Aufbau eines Michelson-Interferometers

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

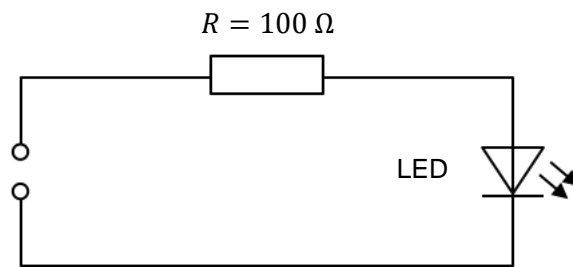
U : Spannung am Lichtsensor als Maß für die Lichtintensität
 s : Verschiebung des Spiegels SP_1 längs des Lichtweges



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.

Δs : Höhendifferenz zwischen Erhebung und Vertiefung



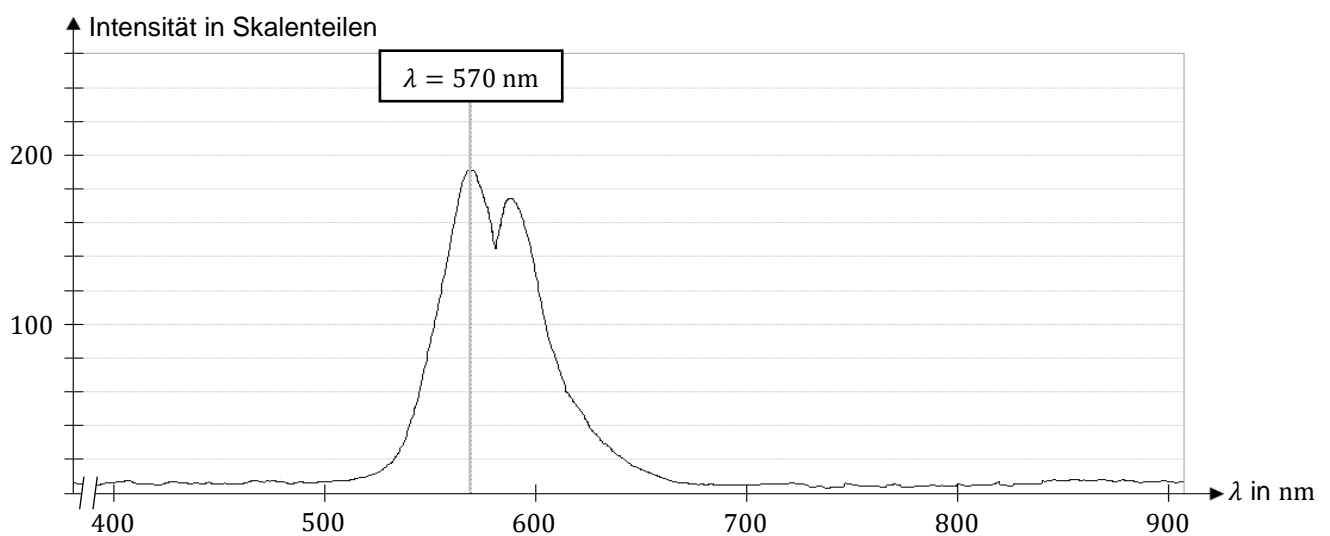
M3a Unvollständige Schaltskizze zur Bestimmung von U_c einer LED sowie von I

LED	f in 10^{14} Hz	U_c in V
rot	4,76	2,02
orange	5,03	2,15
blau	6,48	2,75

M3b Charakteristische Frequenz f und ermittelte Spannung U_c der verwendeten LEDs

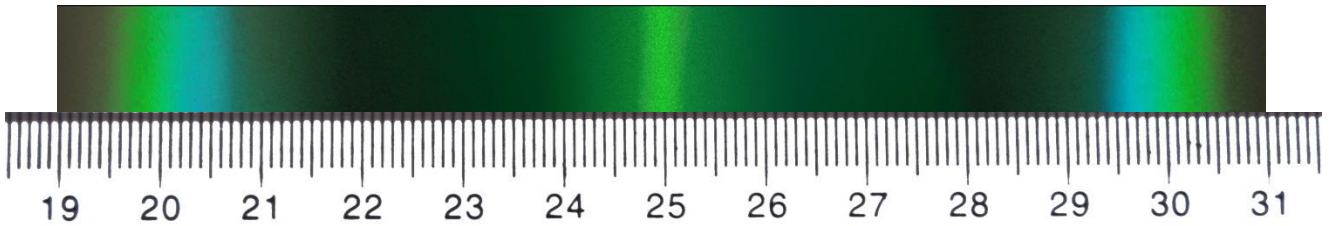
U in V	0,00	1,00	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00	2,10	2,20	2,30	2,40	2,50
I in mA	0	0	0	1	1	3	5	9	14	20	26	32

M3c Messwerte für die an der LED anliegende Spannung U und die Stromstärke I

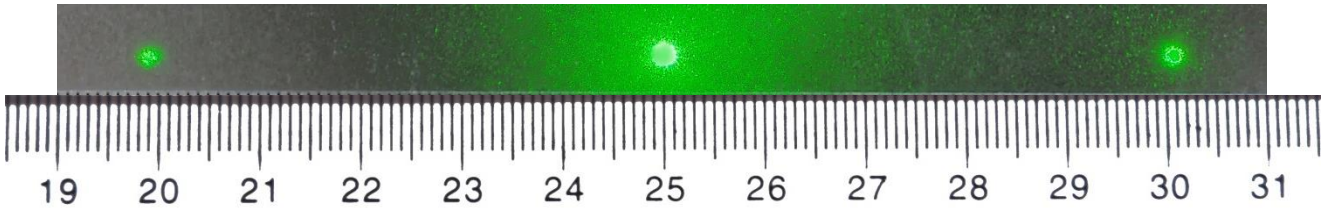


M3d Spektrum der LED, deren Messwerte in M3c angegeben sind

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



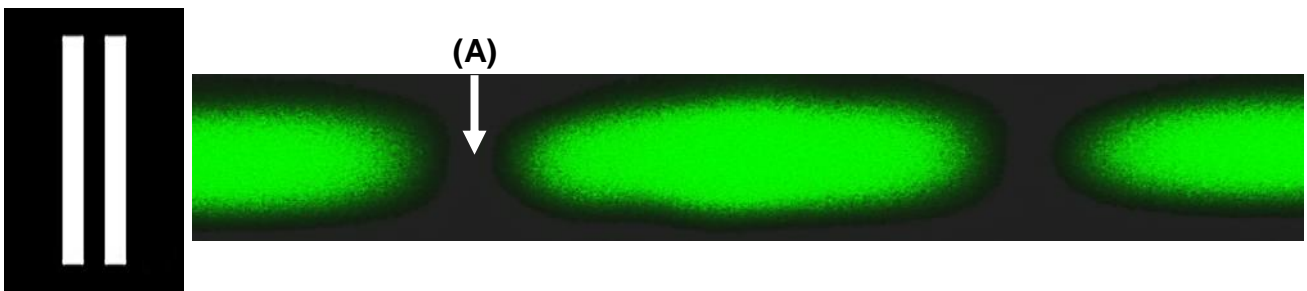
(i) Interferenzbild der grün leuchtenden LED auf dem Schirm mit Lineal



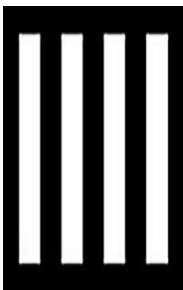
(ii) Interferenzbild des grünen Lasers auf dem Schirm mit Lineal

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