



Hamburg

Behörde für Schule,
Familie und Berufsbildung

Schriftliche Abiturprüfung Schuljahr 2025/2026

Physik auf grundlegendem Anforderungsniveau an allgemeinbildenden und beruflichen gymnasialen Oberstufen

Haupttermin
Donnerstag, 23. April 2026, 09:00 Uhr

Unterlagen für die Lehrkräfte

Diese Unterlagen sind nicht für die Prüflinge bestimmt.

Diese Unterlagen enthalten:

1. Allgemeines
 2. Rückmeldebogen für die Zweidurchsicht
 3. Hinweise zu den Aufgaben
 4. Hinweise zum Korrekturverfahren
 5. Bewertung und Erwartungshorizont
-

1. Allgemeines¹

- Weisen Sie bitte die Prüflinge auf die allgemeinen Arbeitshinweise hin.
- Die Arbeitszeit beträgt **255 Minuten**.
- Eine gesonderte Lese- oder Auswahlzeit wird nicht gewährt.
- Hilfsmittel: Taschenrechner (nicht programmierbar, nicht grafikfähig), zugelassene Formelsammlung, Zeichenhilfsmittel, Rechtschreibwörterbuch

¹ Entsprechend der „Richtlinie über die Gewährung von Erleichterungen für neu zugewanderte Schülerinnen, Schüler und Prüflinge bei Sprachschwierigkeiten in der deutschen Sprache“ (MBISchul Nr. 08, 7. Oktober 2016, S. 60) werden für die betroffenen Prüflinge die folgenden Erleichterungen gewährt:

- Die Bearbeitungszeit wird um 30 Minuten auf **285 Minuten** erhöht.
- Ein nicht-elektronisches Wörterbuch Deutsch – Herkunftssprache / Herkunftssprache – Deutsch wird bereitgestellt.

2. Rückmeldebogen für die Zweiddurchsicht

Bitte umgehend ausfüllen und

- a) an die Schule senden, die die externe Zweiddurchsicht übernimmt,
oder ggf.
- b) an die Kollegin/den Kollegen geben, die/der die interne Zweiddurchsicht übernimmt.

Information für die Zweiddurchsicht

Fach:

Physik

auf grundlegendem Anforderungsniveau

Kurs-Nummer: _____

Bearbeitet wurden die folgenden Aufgaben:

Aufgaben-Nr.		Anzahl	
I	von		Prüflingen
II	von		Prüflingen
III	von		Prüflingen
IV	von		Prüflingen

3. Hinweise zu den Aufgaben

- Die Lehrkraft erhält **vier** Aufgaben und reicht diese an die Prüflinge weiter.
- Die Prüflinge wählen **drei** Aufgaben aus und bearbeiten diese.
- Sie vermerken auf dem Deckblatt und der Reinschrift, welche Aufgaben sie bearbeitet haben.

4. Hinweise zum Korrekturverfahren

- Die Korrekturen werden gemäß der „Richtlinie für die Aufgabenstellung und Bewertung der Leistungen in der Abiturprüfung“ (Abiturrichtlinie) in der geltenden Fassung vorgenommen.
- Die für das Fach zuständige Lehrkraft begutachtet die Arbeiten unter Beachtung zentraler Bewertungsvorgaben und unter Kennzeichnung ihrer Vorzüge und Mängel, der richtigen Lösungen und der Fehler und bewertet jede Arbeit mit einer Punktzahl (siehe Erstkorrekturbogen). Entwürfe können ergänzend zur Bewertung herangezogen werden.
- Jede Arbeit wird sodann von der zweiten Fachlehrkraft durchgesehen, die sich entweder (auf dem Erstkorrekturbogen) der Bewertung durch die für das Fach zuständige Lehrkraft anschließt oder (auf dem Zweidurchsichtbogen) ein ergänzendes Gutachten mit Bewertung anfertigt.
- Die oder der Vorsitzende des Fachprüfungsausschusses legt die endgültige Punktzahl fest. Beträgt die Differenz der im Erstgutachten und im ergänzenden Gutachten erteilten Punktzahlen nicht mehr als drei Punkte, bildet sie oder er den Mittelwert beider Punktzahlen; eine gebrochene Zahl wird zur nächsten vollen Punktzahl aufgerundet. Beträgt die Differenz der im Erstgutachten und im ergänzenden Gutachten erteilten Punktzahlen mehr als drei Punkte, legt die oder der Vorsitzende des Fachprüfungsausschusses die endgültige Punktzahl in Auseinandersetzung mit den erstellten Gutachten entsprechend dem Erfordernis der Einheitlichkeit und Vergleichbarkeit der Bewertung der Prüfungsleistungen fest und begründet die Entscheidung auf dem Formular „Festlegung der Note bei einer Differenz der im Erstgutachten und im ergänzenden Gutachten erteilten Punktzahlen von mehr als drei Notenpunkten“.
- Die Bewertungsbögen sind als Download zu finden auf der Plattform Prüfungen (vormals HERA) in LMS.

5. Bewertung und Erwartungshorizont

I. Bewertung

Jeder Aufgabe sind 30 Bewertungseinheiten (BE) zugeordnet. In allen Teilaufgaben werden nur ganze oder halbe BE vergeben. Die erbrachte Gesamtleistung ergibt sich aus der Summe der Bewertungseinheiten in den drei Aufgaben. Insgesamt sind somit 90 BE erreichbar. Bei der Festlegung von Notenpunkten gilt die folgende Tabelle.

Notenpunkte	mindestens zu erreichender Anteil an den insgesamt zu erreichenden Bewertungseinheiten	erreichte Bewertungseinheiten
15	95 %	85,5 – 90
14	90 %	81 – 85
13	85 %	76,5 – 80,5
12	80 %	72 – 76
11	75 %	67,5 – 71,5
10	70 %	63 – 67
9	65 %	58,5 – 62,5
8	60 %	54 – 58
7	55 %	49,5 – 53,5
6	50 %	45 – 49
5	45 %	40,5 – 44,5
4	40 %	36 – 40
3	33 %	30 – 35,5
2	27 %	24,5 – 29,5
1	20 %	18 – 24
0	0 %	0 – 17,5

Schwerwiegende und gehäufte Verstöße gegen die sprachliche Richtigkeit oder gegen die äußere Form führen zu einem Abzug von bis zu zwei Notenpunkten in einfacher Wertung. Mangelhafte Gliederung, Fehler in der Fachsprache, Ungenauigkeiten in Zeichnungen oder unzureichende oder falsche Bezüge zwischen Zeichnungen und Text sind als fachliche Fehler zu werten. Ein Abzug für Verstöße gegen die sprachliche Richtigkeit soll nicht erfolgen, wenn diese bereits Gegenstand der fachspezifischen Bewertungsvorgaben sind.

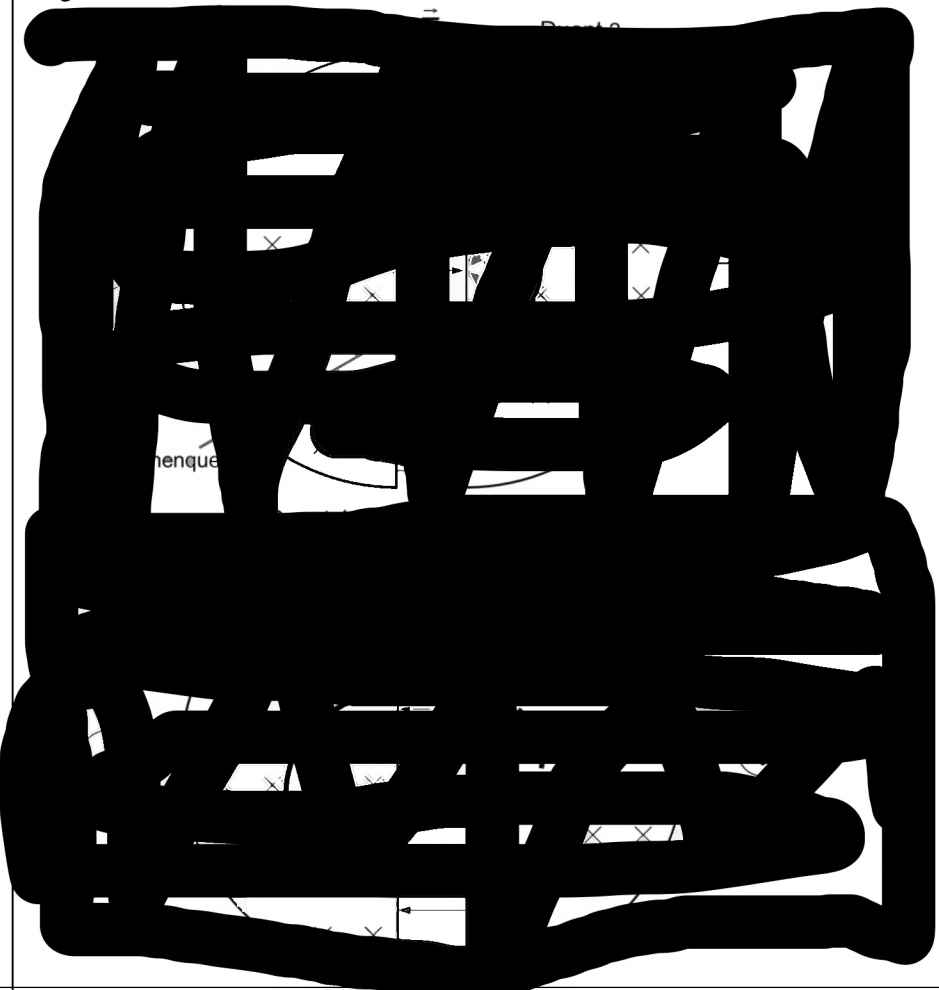
II. Erwartungshorizont

Bei den auf den folgenden Seiten dargestellten erwarteten Schülerleistungen handelt es sich um Lösungsskizzen. Oft sind aber Lösungsvarianten möglich, die in der Skizze nur zum Teil beschrieben werden konnten. Grundsätzlich gilt deshalb, dass alle Varianten, die zu richtigen Lösungen führen, mit voller Punktzahl bewertet werden, unabhängig davon, ob die gewählte Variante in der Lösungsskizze aufgeführt ist oder nicht. Kursiv gedruckte Passagen sind Hinweise an die korrigierenden Lehrkräfte. Sie sind nicht Bestandteile der erwarteten Schülerleistung.

Aufgabe I: Schonende Krebsbehandlung mit Protonentherapie

Schwerpunkt: Elektrische und magnetische Felder

	Lösungsskizze	Zuordnung Bewertung		
		I	II	III
I.1	a Zu nennen sind je zwei Gemeinsamkeiten und Unterschiede Gemeinsamkeiten: ♦ Transport von Energie ♦ Geradlinige Ausbreitung (bei Abwesenheit von Feldern) ♦ Energie kann an Material übertragen werden ♦ Können ionisierend wirken bei ausreichender Energie ♦ Interferenzfähigkeit ♦ Beschreibbar als Strom von Quantenteilchen Unterschiede: ♦ Protonen haben eine Masse, Röntgenstrahlung nicht ♦ Bewegte Protonen werden in elektrischen und magnetischen Feldern ggf. abgelenkt, Röntgenstrahlung hingegen nicht ♦ Protonen haben eine Ladung, Röntgenstrahlung nicht ♦ Die Energieabgabe der Strahlung an ein Material ist wie in M 1 gezeigt unterschiedlich	4		
	b $E_{\text{kin}} = 4,5 \text{ MeV}$ $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m_p v^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_{\text{kin}}}{m_p}}$ $v = \sqrt{\frac{2 \cdot 4,5 \cdot 10^6 \text{ eV}}{m_p}} = 2,9 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,098 \cdot c$	4		
	c Die Krebszellen müssen hinreichend viel Energie aufnehmen, um dadurch zerstört zu werden. In der Abbildung 1 erkennt man, dass die Energieabgabe der Protonen im Inneren des Körpers am Ort der Krebszellen maximal wird und davor und dahinter deutlich geringer ist. Bei der Röntgenstrahlung hingegen liegt das Maximum der Energieabgabe dicht unter der Haut und nimmt mit der Tiefe langsam ab. Um mit Röntgenstrahlung am Ort der Krebszellen genügend Energieabgabe für die Zerstörung zu erreichen, muss also in geringeren Tiefen noch mehr Energie abgegeben werden. Bei der Protonentherapie ist also zu erwarten, dass das gesunde Gewebe vor und hinter dem Tumor weniger Energie absorbiert und dadurch weniger geschädigt wird.		4	
I.2	a Die elektrische Kraft innerhalb des Spaltes wirkt immer in Bewegungsrichtung des Protons. Dadurch wird es geradlinig und gleichmäßig beschleunigt und damit schneller. Die Lorentz-Kraft in den Düanten ist immer senkrecht zur Bewegungsrichtung gerichtet und wirkt als Radialkraft, die das Proton bei konstantem Geschwindigkeitsbetrag auf eine Halbkreisbahn lenkt. Der Radius wird nach jedem Spaltdurchlauf größer.		4	

	b Die Lorentz-Kraft F_L ist stets zum Halbkreismittelpunkt hin gerichtet. In Abbildung 3b ist der Betrag aufgrund der größeren Geschwindigkeit größer. 		3	
I.3	a Pro Umlauf zwei Beschleunigungsstrecken à 50 keV: $\frac{4,5 \text{ MeV}}{0,1 \text{ MeV}} = 45 \text{ Umläufe}$	2		
	b Mit der Gleichung aus M 4 ergibt sich mit der gewünschten Endgeschwindigkeit aus Aufgabenteil 1b und dem angegebenen Austrittsradius eine benötigte Flussdichte von $B = \frac{m_p \cdot v}{e \cdot r} = \frac{m_p \cdot 0,098c}{e \cdot 1,5\text{m}} = 0,20 \text{ T}$		3	
	c Änderung der Bahn: ◆ Der Geschwindigkeitszuwachs im Spalt ist kleiner. ◆ Die Radien der Halbkreise nehmen pro Umlauf weniger stark zu. ◆ Die spiralähnliche Bahn wird länger und ihre einzelnen Windungen liegen enger zusammen. ◆ Das Proton braucht mehr Umläufe, um 4,5 MeV zu erreichen. Endgeschwindigkeit:			3

	♦ Trotzdem ist die Endgeschwindigkeit $v = \frac{Bqr}{m}$ gleich, weil erst bei dem Radius von 1,5 m ausgekoppelt wird und alle weiteren Größen konstant sind.			
I.4	<i>Die Lösung kann zu unterschiedlichen Ergebnissen führen, soll aber in sich schlüssig argumentiert und begründet werden. Eine mögliche Schülerlösung lautet:</i> Die Strahlung zerstört die Krebszellen und ist daher strenggenommen schädigend statt heilend. Dadurch wird jedoch der Mensch geheilt, somit ist der Begriff fachlich zutreffend. Der Titel ist sinnvoll, weil die Bevölkerung in der Regel Strahlung mit Schaden verbindet. Hier soll aber über eine Methode mit verbesserten Heilungschancen aufgeklärt werden. Die Behandlungsmethode bekommt durch den Zusatz „Heilung“ mehr Akzeptanz.			3
	Insgesamt 30 BE	10	14	6

Aufgabe II: Das Licht von Bildschirmen

Schwerpunkt: Mechanische und elektromagnetische Schwingungen und Wellen

	Lösungsskizze	BE/AFB		
		I	II	III
II.1	a Die von der Lichtquelle ausgehende Welle trifft auf beide Spalte, die als punktförmige Erregerzentren von Elementarwellen interpretiert werden können. Diese Elementarwellen interferieren hinter dem Doppelspalt. Bis zur Mitte des Schirms legen sie genau die gleiche Weglänge zurück. Wegen des Gangunterschiedes Null überlagern sie sich konstruktiv und ein Intensitätsmaximum entsteht, sichtbar als heller Leuchtstreifen.	4		
	b Ablesen in Abbildung 1 liefert für a_3 den Wert 11,0 cm, aus $\tan(\alpha) = \frac{a_n}{e}$ folgt $\alpha = 42,5^\circ$, mit $n \cdot \lambda = g \cdot \sin(\alpha)$ schließlich $\lambda = 0,45 \mu\text{m}$. Das passt zum blauen Wellenlängenbereich.	4		
	c Da das Maximum 1. Ordnung für jede Wellenlänge an einem etwas anderen Ort auftritt, wie man an der Beziehung $n \cdot \lambda = g \cdot \sin(\alpha)$ sehen kann, wird jedes Maximum einen breiteren Bereich überdecken. <i>Hinweis: Die Vermutung farbiger Ränder oder einer kompletten Überlappung der Maxima ist nicht gefordert.</i>		3	
II.2	a Für das Maximum 3. Ordnung gilt $\frac{3\lambda}{g} = \sin \alpha_3$, es tritt also unter dem Winkel $\alpha_3 = 69,6^\circ$ auf. Auf dem Bildschirm bedeutet das wegen $\tan \alpha_3 = \frac{a_3}{e}$ den Abstand $a_3 = 32,3 \text{ cm}$ zum Maximum 0. Ordnung. Das ist deutlich außerhalb des in Abb. 1 gezeigten Bereichs.	4		
	b Da in der Mitte alle Maxima 0. Ordnung, unabhängig von der Wellenlänge, zusammenfallen, genügen offenbar die drei gegebenen Farben, um diesen weißen Farbeindruck zu erhalten.		2	
II.3	a Die Teilaussage für das rote Licht ist offenkundig richtig, hier sind praktisch keine Veränderungen im Spektrum zu erkennen. Die Reduktion der Intensität des blauen bzw. grünen Lichts lässt sich über die Intensitätsangaben der Diagramme abschätzen. Beim Maximalwert für blaues Licht (Wellenlänge 450 nm) beträgt der durchgelassene Anteil etwa $\frac{5 \text{ Skt.}}{17 \text{ Skt.}} = 29 \%$, herausgefiltert werden also gut 70 %. Die Filterwirkung bei grünem Licht (530 nm) ist deutlich geringer, nur ca. 40 % ($\frac{15 \text{ Skt.}}{26 \text{ Skt.}} = 58 \%$). Daher kann man nicht sagen, dass der Augenschutzmodus hier den gleichen Prozentsatz herausfiltert.		4	
	b Für den absorbierenden Typ: Wenn das blaue Licht bei seinem Weg durch das Brillenglas teilweise absorbiert wird, dann wird auch das Licht von den Augen zur anderen Person entsprechend gefiltert. Im Gegensatz zu einem			3

	durchsichtigen Brillenglas wird der Farbeindruck entsprechend verfälscht bzw. farbig sein. <i>Hinweis: Die Benennung der resultierenden Tönung als gelblich ist nicht verlangt.</i> Für den reflektierenden Typ: Wenn von vorne Licht auf das Brillenglas trifft, dann wird bei diesem Brillentyp wegen der Beschichtung das reflektierte Licht einen deutlich höheren Anteil an blauem Licht haben. Für die außenstehende Person, die die brillentragende Person ansieht, kann es daher sein, dass das von der Augenpartie kommende Licht von diesem Spiegeln des Brillenglases überlagert ist. Im Vergleich zu einer normalen Brille ist das Spiegeln dann deutlich bläulich. <i>Es können auch andere Lichtwege betrachtet werden.</i>			
c	Beispiele für Schwächen der Argumentation: ♦ Ohne die „Gefahr“ tatsächlich zu begründen, wird sie immer wieder als Faktum dargestellt, z. B. im letzten Satz. ♦ Trotz der genannten Studie von 2021 wird die Verbesserung der Schlafqualität als Tatsache dargestellt. Die Studie wird nur unzureichend zitiert. ♦ Warum Blauschutzbrillen „besonders bei langer Nutzung“ einen „effektiveren“ Schutz bieten, bleibt völlig unklar. ♦ Eine effektheisende Abbildung wird ohne inhaltliche Begründung eingebaut. ♦ Mögliche Veränderungen der Farbwahrnehmung werden nicht thematisiert. Beispiele für Stärken der Argumentation: ♦ Logisch nachvollziehbare Gliederung der Darstellung, übersichtliche Darstellung. ♦ Die abschließende Empfehlung stützt sich primär auf kostenlose Maßnahmen und beinhaltet auch praktische Gesichtspunkte wie den Tragekomfort. Beispiele für fachliche Unsauberkeiten: ♦ Jedes Photon des blauen Lichts ist energiereicher als ein Photon grünen oder roten Lichts. Aber „das blaue Licht liefert im Vergleich zu den anderen Farben die meiste Energie“ kann man so nicht sagen, es kommt auf die Intensität der jeweiligen Farbe im Spektrum an. ♦ Wenn tatsächlich auch an trüben Wintertagen 10^2 bis 10^5-fach so viel blaues Licht im Umgebungslicht vorkommt, dann müsste dargestellt werden, warum das Bildschirmlicht eine Gefahr darstellt, das Umgebungslicht aber nicht. ♦ Die vorgenommene Unterscheidung von „natürlichem“ (guten) und „künstlichem“ (gefährlichen) blauen Licht ist nicht begründet. Die Photonen wissen nichts davon, wie sie erzeugt wurden – wie können sie dann unterschiedlich wirken? ♦ Warum ist der Augenschon-Modus „weniger effektiv“? – das passt nicht zu Abb. 4 im Vergleich zu Abb. 3. Beurteilung: Die Empfehlung ist nicht überzeugend, da immer wieder die sprachliche Abgrenzung von der „blauen Gefahr“ fehlt, unbegründete Zuschreibungen übernommen und beispielsweise das reißerische und nicht weiter begründete Bild distanzlos in die Argumentation aufgenommen wird.		5	1
	Insgesamt 30 BE	12	14	4

Aufgabe III: Licht und Pflanzenwachstum

Schwerpunkt: Quantenphysik und Materie

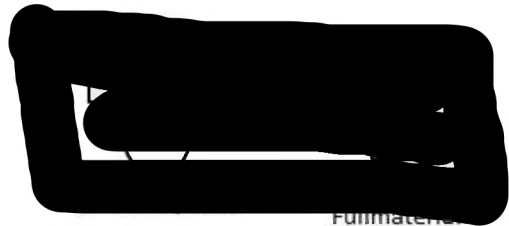
	Lösungsskizze	Zuordnung Bewertung		
		I	II	III
III.1	a Die Wellenlänge des Lichts, das von den Pflanzenblättern am besten absorbiert wird, liegt bei etwa 420 nm. Dies entspricht der Wellenlänge mit der höchsten Absorption in Abbildung 1.	2		
	b Das Sonnenlicht enthält alle Wellenlängen des sichtbaren Spektrums. Das Spektrum in Abbildung 1 zeigt, dass in dem Wellenlängenbereich zwischen 480 nm und 620 nm besonders wenig absorbiert wird. Das Licht aus diesem Wellenlängenbereich wird von den Blättern reflektiert und trägt daher zur Farbe bei, in der das Blatt erscheint. In diesen Wellenlängenbereich fällt unter anderem die Spektralfarbe Grün.		3	
III.2	a Anhand von Abbildung 2 erhält man den einen Übergang, der mit der Emission von Photonen innerhalb des Intervalls von 1,77 eV bis 3,26 eV verbunden ist: $\Delta E = 5,12 \text{ eV} - 3,02 \text{ eV} = 2,10 \text{ eV}$ Die entsprechende Wellenlänge ist: $\lambda = \frac{h \cdot c}{\Delta E} = \frac{h \cdot c}{2,10 \text{ eV}} = 590 \text{ nm}$	5		
	b Damit die Natriumdampflampe als Pflanzenlampe geeignet ist, sollte sie Licht emittieren, das von den Pflanzenblättern stark absorbiert wird. Die mithilfe des vereinfachten Energieniveauschemas bestimmte Wellenlänge aus Teilaufgabe 2a liegt in dem Bereich niedriger Absorption in dem Spektrum aus Abbildung 1. Die niedrigere Absorption führt demnach zu einem langsameren Pflanzenwachstum.		4	
	c Die Anzahl der pro Sekunde emittierten Photonen ist: $n = \frac{E_{\text{Licht}}}{\frac{c}{\lambda} \cdot h} = \frac{180 \text{ J}}{\frac{c}{420 \cdot 10^{-9} \text{ m}} \cdot h} = 3,81 \cdot 10^{20}$ Die Effizienzklasse kann wie folgt bestimmt werden: $\frac{3,81 \cdot 10^{20}}{300 \text{ J}} = 1,27 \cdot 10^{18} \frac{1}{\text{J}} = 2,11 \frac{\mu\text{mol}}{\text{J}}$ Die Effizienzklasse ist damit „hoch“.			5
III.3	a Das Zitat vermittelt die Fehlvorstellung, dass Lichtteilchen mittels einer Welle transportiert werden. Licht bewegt sich nicht wellenförmig, sondern Licht kann mit dem Wellenmodell beschrieben werden. Licht transportiert zudem keine Lichtteilchen, sondern kann mit dem Photonenmodell beschrieben werden.	3		
	b Bestrahlt man den Doppelspalt mit Licht geringer Intensität und stellt hinter dem Doppelspalt einen ortsauflösenden Detektor auf, so registriert man das Auftreffen von Licht an nahezu punktförmigen Orten und weist damit den Teilchencharakter von Licht nach. Führt man dieses Experiment genügend lange durch, so baut sich nach und nach ein Häufigkeitsmuster auf, welches sich dem klassisch bekannten		4	

	Interferenzmuster des Doppelspalts immer weiter annähert. Damit weist man den Wellencharakter nach.			
c	Eine schwache Pflanzenlampe strahlt pro Sekunde eine geringe Energie E_{Licht} ab. Folglich ist wegen $E_{\text{Licht}} = n \cdot E_{\text{Photon}}$ die Anzahl n der pro Sekunde emittierten Photonen geringer als bei einer starken Pflanzenlampe. Damit beide Pflanzenlampen die gleiche Anzahl an Photonen emittieren, muss die Zeitspanne Δt der Beleuchtung bei der schwächeren Pflanzenlampe länger gewählt werden.		4	
	Insgesamt 30 BE	10	15	5

Aufgabe IV: Photonen in der Zahnmedizin

Schwerpunkt: Quantenphysik und Materie

	Lösungsskizze	Zuordnung Bewertung		
		I	II	III
IV.1	a Licht gibt Energie an Atome nur in Portionen ab, die von der Frequenz abhängen. Die Anregung von Atomen ist nur möglich, wenn diese Portion einer Energiedifferenz von zwei Energieniveaus des Atoms entspricht. Abstrahlung von Energie in Form von Licht durch ein Atom beim Übergang von einem Energieniveau in ein niedrigeres geht nur mit Licht derjenigen Frequenz, die der Energienivaudifferenz der beiden Niveaus entspricht.	4		
	b $N = \frac{E_{\text{ges}}}{E} = \frac{P \cdot t}{E}; \text{ mit } E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda} \text{ folgt:}$ $N = \frac{P \cdot t}{h \cdot f} = \frac{P \cdot t \cdot \lambda}{h \cdot c}$ $N = \frac{1,4 \text{ W} \cdot 20 \text{ s} \cdot 450 \cdot 10^{-9} \text{ m}}{h \cdot c} = 6,34 \cdot 10^{19}$ In 20 Sekunden strahlt die Lampe $6,34 \cdot 10^{19}$ Photonen pro Quadratzentimeter ab.	3	3	
IV.2	a Sichtbares Licht unterhalb von ca. 520 nm kommt nicht in Frage, weil es für eine zu frühe Aushärtung der Füllung sorgen könnte. Aus der Abbildung 1 im Material 2 erkennt man, dass die Photonen mit diesen Wellenlängen in diesem Bereich das Campherchinon für die Aushärtung aktivieren. Dies möchte man während der Anpassung vermeiden.			4
	b Der Wellenlänge von 385 nm entspricht die Photonenenergie. $E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$ $E = h \cdot \frac{c}{385 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 3,2 \text{ eV}$  and für die Aushärtung eV and vor der Aushärtung	1	2	

IV.3	a Die Photonen des UV-Lichts werden durch das Zahnmaterial absorbiert. Anschließend wird ein Teil der Energie durch Photonen im sichtbaren Bereich emittiert. Es müssen entweder vorher (siehe Skizze) oder nachher weitere Übergänge stattfinden. Ein mögliches Energieniveauschema ist wie folgt dargestellt 		4	
	b Für die Aufnahme des Emissionsspektrums werden eine UV-Lichtquelle, ein Spektrometer und ein Gefäß mit dem jeweiligen Füllmaterial benötigt. Das Gefäß mit dem Füllmaterial wird mit der UV-Lichtquelle bestrahlt. Das Licht, das durch das Füllmaterial emittiert wird, fällt direkt in das Spektrometer, das sich auf der gleichen Seite des Gefäßes wie die Lichtquelle befindet. 	2		
	c Das Fluoreszenzspektrum von Füllmaterial 2 ist bzgl. der Lage des Maximums der Intensität, des Verlaufs und der Intensität des Fluoreszenzspektrums am besten geeignet, da sich dieses Spektrum am wenigsten von dem der natürlichen Zähne unterscheidet.		2	
IV.4	Hallo, du musst dir keine Sorgen bzgl. der Gefahr des blauen Lichts für deinen Sohn machen, da bzgl. des negativen Einflusses von blauem Licht sowohl die Intensität als auch die Dauer eine Rolle spielen, in der man dem blauen Licht ausgesetzt ist. Es handelt sich bei euch ja nur um einen einzigen Arztbesuch. Dadurch ist die Dauer der Anwendung des blauen Lichts begrenzt. Auch die Lampen sollten bzgl. der geeigneten Intensität ausgewählt werden (gerade hoch genug, um ein gutes Aushärten zu gewährleisten, aber nicht grundlos hoch). Beim medizinischen Personal verhält es sich anders, da es täglich mehrmals dieser Belastung ausgesetzt ist. Hier sollte man auf jeden Fall wegen der längeren Zeitdauer mithilfe von Schutzbrillen die Intensität verringern. Bei deinem Sohn ist dies wegen der kurzen Zeitdauer der Behandlung und der auf den Einsatz an Patienten abgestimmten Intensität der Lampen nicht unbedingt notwendig. Weiterhin fällt das reflektierte Licht in die Augen des Personals, aber nicht in die Augen des Patienten. Also, bitte keine Sorgen wegen des aktuellen Arztbesuchs machen.		5	
	Insgesamt 30 BE	10	16	4



Hamburg

Behörde für Schule,
Familie und Berufsbildung

Name / Kurs-Nr.

Schriftliche Abiturprüfung Schuljahr 2025/2026

Physik auf grundlegendem Anforderungsniveau an allgemeinbildenden und beruflichen gymnasialen Oberstufen

Haupttermin
Donnerstag, 23. April 2026, 09:00 Uhr

Unterlagen für die Prüflinge

Allgemeine Arbeitshinweise

- Überprüfen Sie diese Unterlagen auf Vollständigkeit.
- Schreiben Sie auf alle Prüfungsunterlagen Ihren Namen und zusätzlich auf dieses Deckblatt Ihre Kursnummer.
- Kennzeichnen Sie Ihre Entwurfsblätter (Kladde) und Ihre Reinschrift.

Fachspezifische Arbeitshinweise¹

- Die Arbeitszeit beträgt **255 Minuten**.
- Eine gesonderte Lese- oder Auswahlzeit wird nicht gewährt.
- Hilfsmittel: Taschenrechner (nicht-programmierbar, nicht-grafikfähig), Zeichenhilfsmittel, zugelassene Formelsammlung, Rechtschreibwörterbuch

Aufgabenauswahl

- Sie erhalten **vier** Aufgaben zu unterschiedlichen Schwerpunkten.
- Wählen Sie **drei** Aufgaben aus und bearbeiten Sie diese.
- Vermerken Sie auch auf der Reinschrift, welche Aufgaben Sie bearbeitet haben.

Bearbeitet wurden die folgenden Aufgaben (Bitte kreuzen Sie an):

I	Schonende Krebsbehandlung mit Protonentherapie	
II	Das Licht von Bildschirmen	
III	Licht und Pflanzenwachstum	
IV	Photonen in der Zahnmedizin	

¹ Entsprechend der „Richtlinie über die Gewährung von Erleichterungen für neu zugewanderte Schülerinnen, Schüler und Prüflinge bei Sprachschwierigkeiten in der deutschen Sprache“ (MBISchul Nr. 08, 7. Oktober 2016, S. 60) werden für die betroffenen Prüflinge die folgenden Erleichterungen gewährt:

- Die Bearbeitungszeit wird um 30 Minuten auf **285 Minuten** erhöht.
- Ein nicht-elektronisches Wörterbuch Deutsch – Herkunftssprache / Herkunftssprache – Deutsch wird bereitgestellt.

Bewertung

Jeder Aufgabe sind 30 Bewertungseinheiten (BE) zugeordnet. In allen Teilaufgaben werden nur ganze oder halbe BE vergeben. Die erbrachte Gesamtleistung ergibt sich aus der Summe der Bewertungseinheiten in den drei Aufgaben. Insgesamt sind somit 90 BE erreichbar. Bei der Festlegung von Notenpunkten gilt die folgende Tabelle.

Notenpunkte	mindestens zu erreichender Anteil an den insgesamt zu erreichenden Bewertungseinheiten	erreichte Bewertungseinheiten
15	95 %	85,5 – 90
14	90 %	81 – 85
13	85 %	76,5 – 80,5
12	80 %	72 – 76
11	75 %	67,5 – 71,5
10	70 %	63 – 67
9	65 %	58,5 – 62,5
8	60 %	54 – 58
7	55 %	49,5 – 53,5
6	50 %	45 – 49
5	45 %	40,5 – 44,5
4	40 %	36 – 40
3	33 %	30 – 35,5
2	27 %	24,5 – 29,5
1	20 %	18 – 24
0	0 %	0 – 17,5

Schwerwiegende und gehäufte Verstöße gegen die sprachliche Richtigkeit oder gegen die äußere Form führen zu einem Abzug von bis zu zwei Notenpunkten in einfacher Wertung. Mangelhafte Gliederung, Fehler in der Fachsprache, Ungenauigkeiten in Zeichnungen oder unzureichende oder falsche Bezüge zwischen Zeichnungen und Text sind als fachliche Fehler zu werten. Ein Abzug für Verstöße gegen die sprachliche Richtigkeit soll nicht erfolgen, wenn diese bereits Gegenstand der fachspezifischen Bewertungsvorgaben sind.

Aufgabe I: Schonende Krebsbehandlung mit Protonentherapie

30 BE

Schwerpunkt: Elektrische und magnetische Felder

Seit 2014 werden am Universitätsklinikum Dresden Krebspatienten mit der Protonentherapie behandelt (M 1).

Damit relativistische Effekte in dieser Aufgabe vernachlässigt werden können, wird hier mit niedrigeren Energien gearbeitet, als am Klinikum verwendet werden.

Teilaufgaben

- I.1 a** Nennen Sie je zwei Unterschiede und Gemeinsamkeiten von Röntgenstrahlung und Protonenstrahlung. 4 BE
- b** Berechnen Sie die Geschwindigkeit, bei der die Protonen eine kinetische Energie von 4,5 MeV haben, als Anteil der Lichtgeschwindigkeit.
[Kontrollwert: $v=0,098c$] 4 BE
- c** Erläutern Sie, dass die Protonentherapie im Vergleich zur Behandlung von im Körperinneren liegenden Krebszellen mit Röntgenstrahlung deutlich schonender für den Patienten ist (M 1). 4 BE
- I.2** Am Klinikum in Dresden werden die Protonen in einem Zyklotron beschleunigt. Der prinzipielle Aufbau und die Funktionsweise eines Zyklotrons sind in den Materialien 2 und 3 beschrieben.
- a** Nennen Sie die Richtung der elektrischen Kraft innerhalb des Spalts sowie die der magnetischen Kraft innerhalb des Duanten. Beschreiben Sie jeweils ihre Wirkung auf die Bewegung des Protons. Gehen Sie dabei auf die Änderung der Geschwindigkeit und der Bewegungsrichtung sowie auf den Radius der Halbkreisbahnen ein. 4 BE
- b** Skizzieren Sie in den beiden Abbildungen in Material 3 die Lorentz-Kräfte, die an den markierten Positionen 1, 2 und 3 auf der Bahnkurve auf das Proton wirken, als Pfeile. Veranschaulichen Sie die Größe der jeweiligen Kraft qualitativ durch die Länge des zugehörigen Pfeils. 3 BE
- I.3** Das elektrische Feld zwischen den Duanten wird durch eine Spannung von 50 kV erzeugt.
- a** Berechnen Sie die Anzahl der Umläufe, die ein Proton zurücklegen muss, bis es die benötigte kinetische Energie von 4,5 MeV erreicht hat. 2 BE
- b** Ermitteln Sie die benötigte magnetische Flussdichte B in den Duanten, damit die Protonen das Zyklotron mit einer kinetischen Energie von 4,5 MeV verlassen (M 4). 3 BE
- c** Erläutern Sie ohne Rechnung, wie sich eine Verringerung der Spannung zwischen den Duanten auf die Bahn des Protons und auf seine Endgeschwindigkeit auswirkt. Gehen Sie vereinfachend davon aus, dass sich der Bahnradius am Austrittsfenster nicht ändert. 3 BE
- I.4** Beurteilen Sie den Titel des Zeitungsartikels (M 5) im Hinblick auf die fachliche Korrektheit und bewerten Sie die mögliche Wirkung der Aussage auf die Leser der Zeitung. 3 BE

Anlage zur Aufgabe I: Schonende Krebsbehandlung mit Protonentherapie

Material 1 Protonenstrahltherapie

Um krankhaftes Krebsgewebe im Inneren eines Körpers zu zerstören, welches nicht operativ entfernt werden kann, müssen die Zellen dieses Gewebes hinreichend viel Energie aufnehmen. Dies geschieht seit über einem Jahrhundert meist durch die Behandlung mit Röntgenstrahlung. Die Technik ist etabliert und wird an vielen Krankenhäusern in ganz Deutschland angewendet.

Am Universitätsklinikum in Dresden werden seit 2014 Patientinnen und Patienten mit hochenergetischen Protonen bestrahlt. Die Gewebetiefe im Körper, bei der es zur maximalen Energieabgabe kommt (Abb. 1), kann durch die Energie der Protonen variiert werden. Die maximale Energieabgabe von Röntgenstrahlung liegt immer dicht unter der Haut.

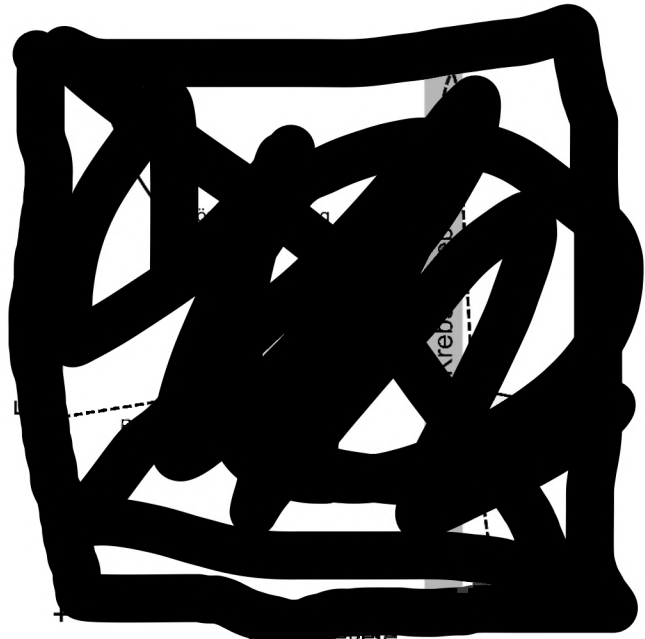


Abb. 1: Energieabgabe verschiedener Strahlungsarten in unterschiedlichen Gewebetiefen

Material 2 Aufbau und Funktionsweise eines Zyklotrons

In einem Zyklotron werden Protonen aus der Ruhe heraus beschleunigt. Sie bewegen sich dabei auf spiralähnlichen Bahnen (siehe Abb. 2). Zwischen den beiden Duanten liegt eine Spannung an, die ein näherungsweise homogenes elektrisches Feld im Spalt zwischen ihnen erzeugt. Innerhalb der Duanten gibt es kein elektrisches Feld, dafür aber ein homogenes Magnetfeld, welches für die Richtungsänderung der Protonen sorgt. Die Auswirkungen des Magnetfelds im Spalt sollen hier vernachlässigt werden.

Immer dann, wenn ein Proton den Spalt wieder erreicht, wird die Spannung zwischen den Duanten umgepolt, so dass die Richtung des elektrischen Feldes jeweils mit der Bewegungsrichtung übereinstimmt. Die gesamte Apparatur befindet sich im Vakuum.

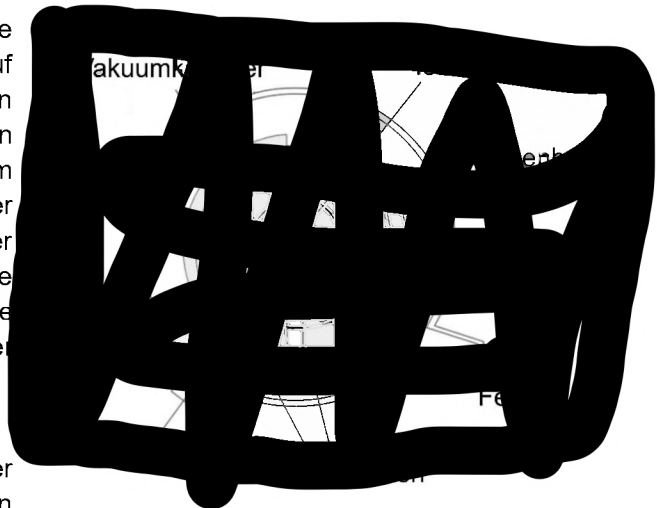
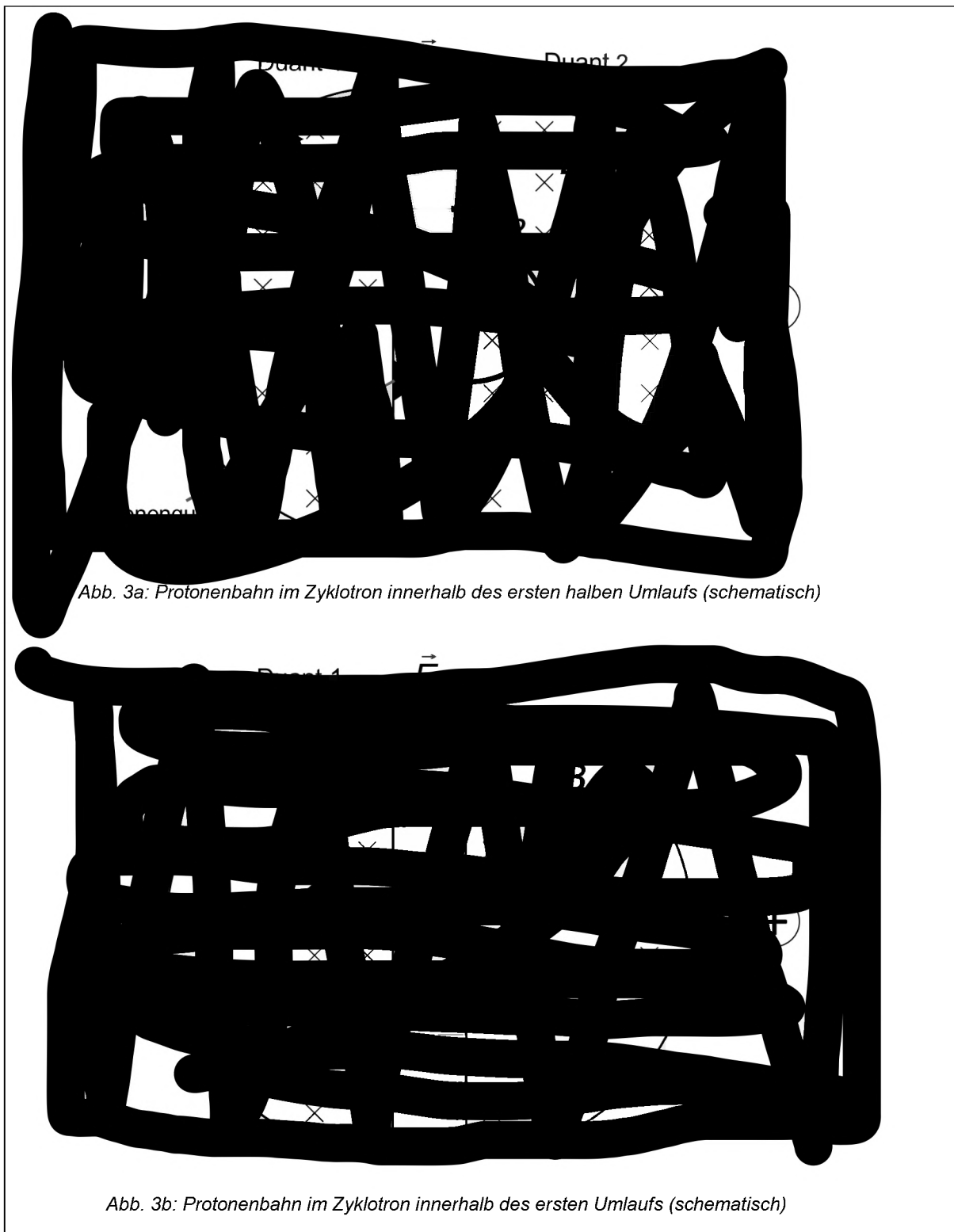


Abb. 2: prinzipieller Aufbau eines Zyklotrons

Material 3 Kräfte an der spiralähnlichen Bahn eines im Zyklotron beschleunigten Protons

In den beiden Abbildungen ist die Bahnkurve eines Protons für den ersten Umlauf gezeigt.



Material 4 Stärke der magnetischen Flussdichte im Zyklotron

Innerhalb der Duanten wirkt die Lorentz-Kraft als Radialkraft. Um bei einer Protonengeschwindigkeit v einen Kreisbahnradius r zu erreichen, ist folgende magnetische Flussdichte nötig:

$$B = \frac{mv}{qr}$$

Hierbei bezeichnet q die Ladung des Teilchens und m seine Masse.

Die Anlage ist so aufgebaut, dass die Protonen das Zyklotron am Austrittsfenster verlassen, sobald sie einen Bahnradius von mindestens 1,5 m erreicht haben (siehe Abb. 2).

Material 5 Zeitungsartikel „Heilende Strahlung“

In einem Artikel der österreichischen Wochenzeitung „Die Furche“ wurde am 18. März 2010 über die Planung für ein Zentrum zur Krebsbehandlung mittels Ionentherapie berichtet, in dem die Vorteile der neuen Therapieform dargelegt werden. Der Titel dieses Artikels lautet „Heilende Strahlung der Ionen“.

Literatur- und Quellenverzeichnis zu Aufgabe I

Material 1

In Anlehnung an

[MBq] (2007) Wikimedia. *Tiefendosiskurven verschiedener Strahlenqualitäten in der Strahlentherapie*. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tiefendosiskurven.svg> (Zugriff am: 07.01.2025)

Universitätsmedizin Essen. *Die Protonentherapie: Eigenschaften und Wirkung*. <https://www.wpe-uk.de/eigenschaften-und-wirkung/> (Zugriff am: 07.01.2025)

Material 2

In Anlehnung an Poljanc, K., Frank, B., Kaska, K., Kragl, G. & Richter, H. (2005).

Teilchenbeschleuniger. S. 27. https://tulectures.web.cern.ch/docs/Teilchenbeschleuniger_040901.pdf (Zugriff am: 23.01.2025)

Material 5

Lang, R. (2010). Heilende Strahlung der Ionen. *Die Furche*. <https://www.furche.at/feuilleton/heilende-strahlung-der-ionen-1267688> (Zugriff am: 07.01.2025)

Aufgabe II: Das Licht von Bildschirmen

30 BE

Schwerpunkt: Mechanische und elektromagnetische Schwingungen und Wellen

Heutzutage verbringen Menschen viel Zeit vor Bildschirmen. Gesundheitliche Risiken werden vor allem hinsichtlich des von ihnen abgestrahlten blauen Lichtanteils kontrovers diskutiert.

Eine Gruppe von Schülerinnen und Schülern will das Licht von Bildschirmen untersuchen und mögliche Schutzmaßnahmen besser einschätzen können.

Teilaufgaben

II.1 Die Gruppe will in einem Modellversuch (M 1) Licht mithilfe eines Doppelspalts untersuchen.

- a** Erklären Sie mithilfe einer Modellvorstellung, dass in der Mitte des Schirms ein heller Leuchstreifen entsteht (M 1 Abb. 1). 4 BE
- b** Bestätigen Sie rechnerisch, dass die Wellenlänge des verwendeten Lichtes zum blauen Spektralbereich (etwa $\lambda = 0,45 \cdot 10^{-6} \text{ m}$) passt. Verwenden Sie die in Material 1 angegebene Beziehung und Abbildung 1. 4 BE
- c** In einigen Bildschirmtypen sind als Lichtquellen Leuchtdioden (LEDs) verbaut, die rot, grün bzw. blau leuchten. Die Schülergruppe vermutet, dass die im Bildschirm eingesetzten blauen LEDs kein monochromatisches Licht aussenden. Angenommen wird, dass ihr Intensitätsspektrum dem Bereich zwischen 400 nm und 490 nm in Material 2 Abbildung 2 entspricht. 3 BE
Erklären Sie qualitativ eine mögliche Veränderung, die bei Verwendung einer solchen LED im Schirmbild des Maximums 1. Ordnung (M 1 Abb. 1) zu erwarten ist.

II.2 Um das Zusammenspiel verschiedenfarbiger LEDs besser zu verstehen, verändert die Gruppe ihren Versuch (M 1).

- a** Verwendet wird auch eine rote LED als Lichtquelle. Entscheiden Sie mithilfe einer geeigneten Rechnung für $\lambda = 625 \text{ nm}$, ob das Maximum 3. Ordnung auf dem in Material 1 Abbildung 1 dargestellten Bereich des Schirms zu sehen ist. 4 BE
- b** Wenn sich alle drei farbigen LEDs geeignet in der Doppelspalt-Anordnung befinden, dann ist in der Mitte des Schirms ein weißer Leuchstreifen zu sehen. Stellen Sie eine Hypothese zur Erklärung dieser Beobachtung auf. 2 BE

II.3 a Die Schülergruppe untersucht die Auswirkungen, wenn das Licht eines Bildschirms durch eine „Blauschutzbrille“ fällt oder der Monitor in einen „Augenschon-Modus“ versetzt wurde (M 2). 4 BE

Beurteilen Sie unter Verwendung der Abbildungen 2 und 4, ob die Aussage der Schülerin in Material 2 korrekt ist.

- b** Ein Schüler macht sich Gedanken, welche Konsequenzen das Tragen einer Blauschutzbrille für sein Aussehen hat (M 3). 3 BE
Stellen Sie für einen der Typen von Blauschutzbrillen eine Hypothese dazu auf, welche Beobachtung beim Blick in seine Augen wegen der Brille zu erwarten ist.

- c Die Schülergruppe hat in Material 4 eine Empfehlung abgegeben. 6 BE
Beurteilen Sie die Güte der Argumentation. Betrachten Sie hierfür eine fachlich ungenaue Formulierung und zwei weitere Aspekte, beispielsweise die Belastbarkeit einzelner Argumente oder die Schlüssigkeit der Argumentation.

Anlage zur Aufgabe II: Das Licht von Bildschirmen

Material 1 Versuch zur Erzeugung eines Spektrums mit einem Doppelspalt

Abb. 1 zeigt das Schirmbild, wenn monochromatisches Licht der Wellenlänge λ senkrecht auf einen Doppelspalt mit Spaltmittenabstand g trifft, der Maßstab ist in Zentimetern skaliert. Der Schirm ist im Abstand e vom Doppelspalt und parallel zu diesem platziert. Auf diesem werden die Abstände a_n der Maxima n -ter Ordnung vom Maximum 0. Ordnung gemessen. Für den Winkel α , unter dem das Maximum n -ter Ordnung gegenüber dem Maximum 0. Ordnung auftritt, gilt:

$$n \cdot \lambda = g \cdot \sin(\alpha) \text{ und } \tan(\alpha) = \frac{a_n}{e}.$$



Abb. 1: Schirmbild eines Doppelspalt-Experiments bei $e = 12,0 \text{ cm}$ und $g = 2,0 \text{ }\mu\text{m}$. Die Schirmmitte ist bei $0,0 \text{ cm}$.

Material 2 Bildschirm-Spektren

In den nachfolgenden Abbildungen ist jeweils die Intensität I des Lichts eines weißen Bildschirms in Abhängigkeit von der Wellenlänge aufgetragen. Als Einheit für die Intensität sind Skalenteile („Skt.“) verwendet. Die Messungen erfolgten so, dass die Intensität des untersuchten Lichts in gleicher Skalierung aufgetragen wurde, die drei abgebildeten Diagramme sind also quantitativ miteinander vergleichbar.

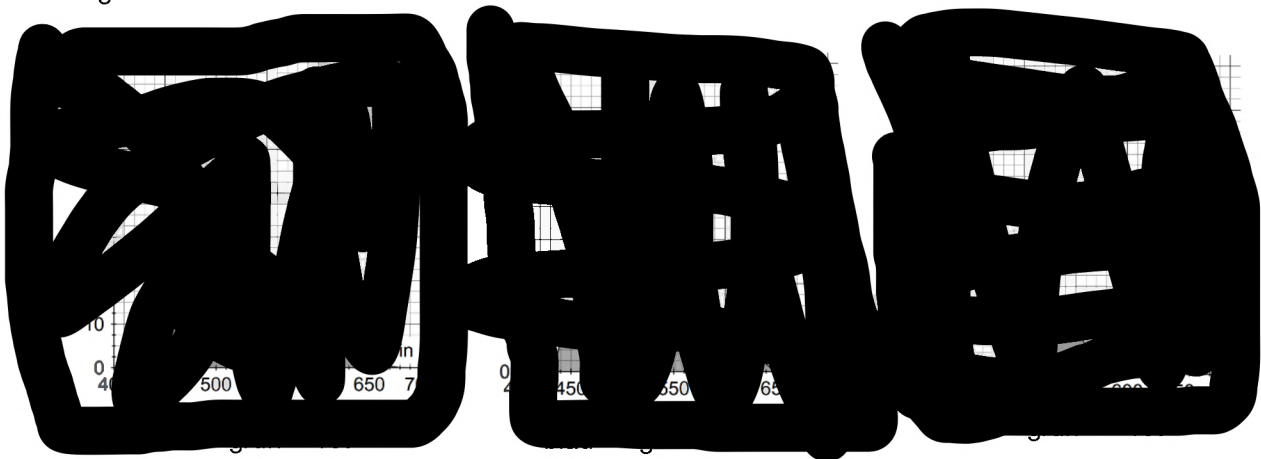


Abb. 2: Intensitätsspektrum des weiß leuchtenden Bildschirms

Abb. 3: Intensitätsspektrum des Bildschirms, betrachtet durch eine „Blauschutzbrille“

Abb. 4: Intensitätsspektrum des Bildschirms im „Augenschon-Modus“

Eine Schülerin sagt wegen Abbildung 4:

„Der Augenschon-Modus filtert doch bei der Maximalintensität von blau und grün den gleichen Prozentsatz heraus, nur bei rot nicht!“

Material 3 Varianten von Blauschutzbrillen

Blauschutzbrillen gibt es in zwei unterschiedliche Varianten: Entweder besitzen die Gläser eine Tönung, die dazu führt, dass beim Durchqueren des Glases der blaue Lichtanteil absorbiert wird. Oder die Gläser sind an ihrer dem Auge abgewandten Oberfläche mit einer speziellen spiegelnden Schicht versehen, die den blauen Lichtanteil reflektiert.

Ein Schüler sagt: „Egal, wie der Typ meiner Blauschutzbrille ist, ist es doch so: Wenn jemand anderes in meine Augen schauen will, dann sieht diese Person doch etwas anderes, als wenn ich eine normale Brille ohne Schutz aufhätte, oder?“

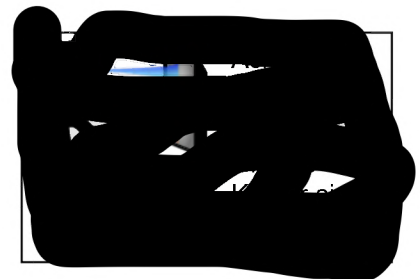
Material 4 Empfehlung der Schülergruppe

Unser Auftrag: Was ist dran an der „blauen Gefahr“? Ist eher eine Blauschutzbrille oder der Augenschon-Modus des Bildschirms sinnvoller?

Erstmal ein paar **physikalische Fakten**, wenn wir da richtig liegen: Das blaue Licht liefert im Vergleich zu den anderen Farben des sichtbaren Lichts die meiste Energie. Aus einem Bildschirm kommt blaues Licht zwar nur mit einer Intensität heraus, die um einen Faktor 100 bis 100.000 kleiner ist als die, die an trübten Wintertagen draußen ist. Aber während natürliches blaues Licht von der Sonne eine positive Rolle für unsere Gesundheit spielt, kann künstliches blaues Licht gesundheitliche Probleme verursachen, ist also eine Gefahr.

Als aktuellen Wissensstand zur blauen Gefahr durch Bildschirme haben wir herausgefunden:

- **Störung des Schlaf-Wach-Rhythmus:** Blaues Licht kann die Produktion des sogenannten „Schlafhormons“ Melatonin hemmen und Schlafstörungen verursachen, so sagen es manche Forschergruppen. In einer Studie vom August 2021 wurde allerdings bei 167 Leuten keine Veränderung des Schlafs gefunden, egal ob ein Smartphone mit bzw. ohne Augenschon-Modus verwendet wurde.
- **Langfristige Augenschäden:** Es gibt die Meinung, dass blaues Licht das Risiko für eine eigentlich erst im Alter häufiger auftretende Krankheit („AMD“) erhöhen könnte. Wir haben dazu auch ein Bild gefunden, das die Notwendigkeit von Schutz vor dem blauen Licht unterstreicht.



Wir ziehen zu den Schutzmaßnahmen folgende **Bilanz**:

	Blauschutzbrillen	Augenschon-Modus
Vorteile	Effektiver Schutz vor blauem Licht, besonders bei langer Nutzung.	Einfach zu aktivieren, keine zusätzlichen Kosten.
	Verbessert den Schlaf-Wach-Rhythmus.	Verbessert den Schlaf-Wach-Rhythmus.
	Zusätzliche Kosten.	Schlechtere Reduktion von Blaulicht.
Nachteile	Kann unbequem sein oder uncool aussehen.	Kann die Farbwiedergabe des Bildschirms störend verändern.

Empfehlung: Aktiviert den **Augenschon-Modus** auf euren Geräten, insbesondere abends. Dies ist eine einfache und kostengünstige Maßnahme, um den blauen Lichtanteil zu reduzieren und eure Schlafqualität zu verbessern. Wenn ihr viel Zeit vor dem Bildschirm verbringt, **kann die Anschaffung einer Bildschirmbrille** sinnvoll sein. Achtet auf Qualität und Tragekomfort.

Hoffentlich könnt ihr eure Augen nun vor der gefährlichen blauen Strahlung besser schützen!

Aufgabe III: Licht und Pflanzenwachstum

30 BE

Schwerpunkt: Quantenphysik und Materie

In der Regel wachsen Pflanzen sehr gut unter natürlichem Sonnenlicht. Dieses ist jedoch nicht immer in ausreichender Menge verfügbar. Eine künstliche Beleuchtung kann in einem solchen Fall aushelfen.

Teilaufgaben

III.1 Für das Pflanzenwachstum müssen die Blätter einer Pflanze Licht absorbieren.

- a** Ermitteln Sie anhand von Abbildung 1 (M 1) die Wellenlänge des Lichts, das von den Pflanzenblättern am besten absorbiert wird. 2 BE
- b** Die Blätter einer Pflanze erscheinen bei Bestrahlung mit Sonnenlicht grün und nicht zum Beispiel blau. 3 BE
Begründen Sie, dass das Spektrum in Abbildung 1 (M 1) zur Erklärung dieser Beobachtung beiträgt.

III.2 Künstliche Lichtquellen, die das Pflanzenwachstum anregen, werden als Pflanzenlampen bezeichnet. Als Pflanzenlampen kamen früher häufig Natriumdampflampen zum Einsatz.

- a** Gemäß Abbildung 2 (M 2) emittiert Natrium Licht, das nur eine einzige Wellenlänge im sichtbaren Bereich enthält. 5 BE
Ermitteln Sie diese Wellenlänge.
[Kontrollwert: $\lambda = 590 \text{ nm}$.]
- b** Erläutern Sie unter Zuhilfenahme von Abbildung 1 (M 1) einen wesentlichen Nachteil einer Natriumdampflampe als Pflanzenlampe. 4 BE
- c** Als Alternative zur Natriumdampflampe werden häufig LEDs genutzt. 5 BE
Ermitteln Sie mithilfe der Informationen aus Material 3 die Anzahl der pro Sekunde von der LED-Pflanzenlampe emittierten Photonen und damit die Effizienzklasse.

III.3 Auf einer Internetseite findet man bei den physikalischen Informationen zum Pflanzenwachstum die in Material 4 aufgeführten Informationen.

- a** Das folgende Zitat aus Material 4 vermittelt eine falsche Vorstellung von Licht: „Licht bewegt sich wellenförmig und transportiert dabei Lichtteilchen.“ 3 BE
Erläutern Sie eine diesem Zitat zugrundeliegende Fehlvorstellung.
- b** In dem Zitat werden die Welleneigenschaft und die Teilcheneigenschaft von Licht umschrieben. 4 BE
Erläutern Sie den Nachweis dieser beiden Eigenschaften am Doppelspaltexperiment.
- c** Begründen Sie die in Material 4 getroffene Aussage zu unterschiedlichen Leuchtdauern verschiedener Pflanzenlampen aus physikalischer Sicht. Gehen Sie dabei davon aus, dass die verschiedenen Pflanzenlampen monochromatisches Licht derselben Wellenlänge emittieren. 4 BE

Anlage zur Aufgabe III: Licht und Pflanzenwachstum

Material 1 Absorptionsspektrum von Pflanzenblättern

Abbildung 1 zeigt ein gemessenes Absorptionsspektrum von Pflanzenblättern. Je höher die Absorption für eine bestimmte Wellenlänge ist, desto mehr regt Strahlung dieser Wellenlänge das Wachstum der Pflanze an. Das Licht, welches von den Blättern nicht gut absorbiert wird, wird reflektiert.



Abb. 1: Absorptionsspektrum von Pflanzenblättern

Material 2 Energieniveauschema von Natrium

Die folgende Abbildung 2 zeigt ein vereinfachtes Energieniveauschema von Natrium. Bei einer Natriumdampflampe werden Natriumatome aus dem Grundzustand in die Zustände E_1 oder E_2 angeregt. Der in Abbildung 1 (M 1) dargestellte sichtbare Bereich des elektromagnetischen Spektrums ist durch Photonenenergien von $E = 1,77 \text{ eV}$ bis $E = 3,26 \text{ eV}$ begrenzt.

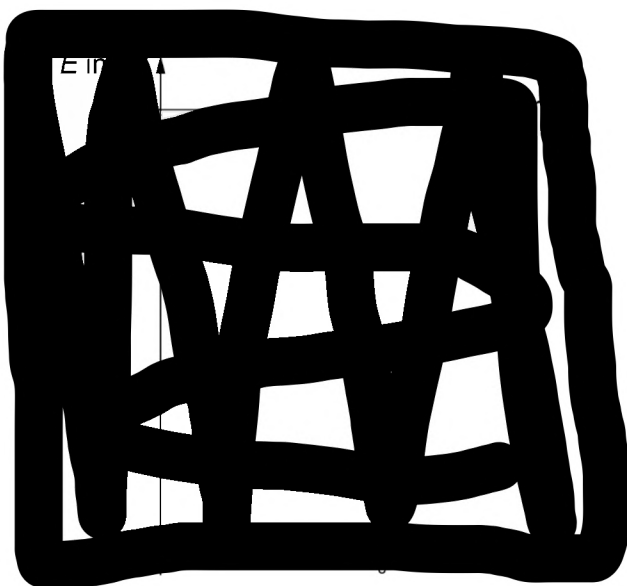


Abb. 2: vereinfachtes
Energieniveauschema von Natrium

Material 3 Informationen zur Effizienz einer Pflanzenlampe

Eine bestimmte LED-Pflanzenlampe weist die folgenden Merkmale auf:

Wellenlänge des emittierten Lichts:	$\lambda = 420 \text{ nm}$
Von der Lampe pro Sekunde aufgenommene elektrische Energie:	$E_{\text{el}} = 300 \text{ J}$
Von der Lampe pro Sekunde emittierte Lichtenergie:	$E_{\text{Licht}} = 180 \text{ J}$

Tab. 1: Merkmale einer LED-Pflanzenlampe

In den Datenblättern von LED-Pflanzenlampen findet man häufig die Angabe einer Effizienzklasse. Diese Effizienzklassen sind wie folgt ausgewiesen:

Effizienzklasse einer LED-Pflanzenlampe	$\frac{\text{Anzahl emittierter Photonen}}{\text{elektrische Energie}}$
sehr hoch	mehr als $2,5 \frac{\mu\text{mol}}{\text{J}}$
hoch	mehr als $2,0 \frac{\mu\text{mol}}{\text{J}}$
moderat	mehr als $1,5 \frac{\mu\text{mol}}{\text{J}}$
niedrig	weniger als $1,5 \frac{\mu\text{mol}}{\text{J}}$

Tab. 2: Effizienzklassen von LED-Pflanzenlampen

Die Effizienzklasse gibt das Verhältnis der Anzahl emittierter Photonen und der elektrischen Energie an, die für deren Erzeugung benötigt wird. Die Angabe $1,00 \mu\text{mol}$ steht dabei für eine Anzahl von $6,02 \cdot 10^{17}$ Photonen.

Material 4 Informationen zum Einsatz von Pflanzenlampen

Auf zwei Webseiten, die sich mit Pflanzenlampen befassen, findet man die folgenden Informationen:

Was ist Licht?

Licht bewegt sich wellenförmig und transportiert dabei Lichtteilchen, welche auch quantifizierbar sind. Dies ist gerade für die Einschätzung der Leistung einer Pflanzenlampe überaus wichtig, denn schließlich sind es die Lichtteilchen (Photonen), welche die Photosynthese der Pflanze auslösen.

Führt eine lange Beleuchtung zu mehr Ertrag?

Der Ertrag einer Pflanze ist von der Menge an Lichtenergie (Photonen) abhängig, die Deine Pflanzenlampe abgibt. Eine schwache Pflanzenlampe muss länger leuchten als eine starke, um die erforderliche Menge an Photonen zu generieren.

Literatur- und Quellenverzeichnis zu Aufgabe III

Material 3

Pflanzenfabrik (Hg.) (2023, 21. Dezember). *Pflanzenlampen: richtig auswählen und vergleichen!*
<https://pflanzenfabrik.de/pflanzenlampen-vergleich/> (Zugriff am 19.12.2024)

Material 4

Pflanzenlampen (Hg.) (2019). *Wellen und Teilchen*. <https://www.pflanzenlampen.org/was-ist-licht/>
(Zugriff am: 19.12.2024)

Pflanzenfabrik (Hg.) (2023, 20. Dezember). *Optimale Beleuchtungsdauer: Wie lange müssen Pflanzenlampen leuchten?* <https://pflanzenfabrik.de/pflanzenlampen-wie-lange-leuchten> (Zugriff am: 19.12.2024)

Aufgabe IV: Photonen in der Zahnmedizin

30 BE

Schwerpunkt: Quantenphysik und Materie

In der Zahnmedizin werden Lichtquellen für unterschiedliche Anwendungen eingesetzt, unter anderem zur Ausleuchtung des Mundraumes und bei der Aushärtung von Füllmaterialien.

Teilaufgaben

- IV.1** Die Aushärtung der Füllmaterialien wird durch Energie des Lichtes einer Polymerisationslampe ausgelöst (M 1).
- a** Erläutern Sie das Prinzip der Absorption und Emission von Licht durch Atome modellhaft anhand von Energieniveaus. 4 BE
- b** Berechnen Sie aus den Daten in Material 1 die Anzahl der Photonen pro „Quadratzentimeter Zahn“, die von der Polymerisationslampe ankommen. 6 BE
- IV.2** Für eine Zahnfüllung kommen unterschiedliche Füllmaterialien in Frage (M 2). Bevor die jeweilige Füllung aushärten kann, muss sie jedoch stets im Zahn angepasst werden. Bei der Beleuchtung des Mundraumes während der Anpassung der Füllung kommt es auf geeignetes Licht an, damit der Zahnarzt gut arbeiten kann.
- a** Begründen Sie mithilfe von Material 2, welcher Wellenlängenbereich bei Verwendung des Photoinitiators Campherchinon ausgeschlossen werden muss. 4 BE
- Nach der Anpassung erfolgt die Aushärtung der Füllung durch Beleuchtung mit einer Polymerisationslampe. Im Folgenden wird vereinfacht nur der Prozess betrachtet, bei dem der Photoinitiator Lucirin mit Licht der Wellenlänge für maximale relative Absorption (M 2, Abb.1) bestrahlt wird.
- b** Stellen Sie diesen Prozess der Absorption grafisch mithilfe eines vereinfachten Energieniveauschemas dar. 3 BE
Berechnen Sie dazu die Energiedifferenz zwischen Ausgangsniveau und angeregtem Niveau.
- IV.3** Das Aussehen eines unbehandelten Zahns bei Bestrahlung mit UV-Licht wird durch sein Fluoreszenzspektrum bestimmt (M 3).
- Damit der behandelte Zahn im Vergleich zu den unbehandelten Zähnen möglichst unauffällig erscheint, sucht man Füllmaterialien, die ähnliche Fluoreszenzeigenschaften haben wie der Zahn selbst.
- a** Beschreiben Sie mithilfe eines beschrifteten Energieniveauschemas die Entstehung des Lichtes einer Wellenlänge im Fluoreszenzspektrum in Material 3 (Abb. 2). 4 BE
- b** Planen Sie ein geeignetes Experiment, mit dem sich die Fluoreszenzspektren der Füllmaterialien (M 3, Abb. 3) mithilfe eines Spektrometers (Gerät zur Aufnahme eines Spektrums) aufnehmen lassen. 2 BE

Hinweise:

Zu Ihrer Planung gehören eine beschriftete Skizze des Aufbaus und die Beschreibung der Durchführung des Experiments.

Im Material 3 in Abbildung 3 sind die Fluoreszenzspektren dreier verschiedener Füllmaterialien abgebildet.

- c** Begründen Sie, welches der Füllmaterialien (M 3, Abb. 3) am besten geeignet ist, damit Zähne mit Füllungen unter UV-Licht (z. B. Schwarzlicht im Club) möglichst unauffällig erscheinen. 2 BE

- IV.4** Blaues Licht der Polymerisationslampe beim Zahnarzt löst bei einer Mutter, die mit ihrem Sohn einen Zahnarztbesuch absolviert hat, Sorgen bezüglich Gesundheitsschädigungen aus (M 4). 5 BE

Erläutern Sie in einer Antwort an die Mutter die Faktoren, die bei der Bestrahlung mit blauem Licht einen negativen Einfluss auf die Augen haben könnten und inwieweit ihre Bedenken im Hinblick auf ihren Sohn gerechtfertigt sind.

Gehen Sie in Ihrer Antwort auch darauf ein, ob die Maßnahme des Tragens einer Schutzbrille, wie beim medizinischen Personal, ebenfalls für den Sohn erforderlich ist.

Anlage zur Aufgabe IV: Photonen in der Zahnmedizin

Material 1 Polymerisationslampen

Polymerisationslampen sind in der heutigen Zeit Bestandteil der Ausstattung jeder Zahnarztpraxis. Sie müssen hinreichend energiereiche Photonen in genügend hoher Anzahl pro Sekunde liefern, damit die Kunststofffüllungen (M 2) von Zähnen aushärten. Ein Maß für die Intensität einer Lichtquelle ist die Gesamtenergie der Photonen pro Zeiteinheit und Fläche.

Es gibt Polymerisationslampen mit unterschiedlichen Leistungen und Wellenlängen. Gehen Sie bei der Bearbeitung der Aufgabe davon aus, dass pro cm^2 Zahnfläche eine Leistung von 1400 mW von einer Polymerisationslampe mit einer Wellenlänge von 450 nm ankommt, wobei sie für 20 s auf einen Zahn gerichtet wird.

Material 2 Kunststofffüllungen

Kunststofffüllungen bestehen aus einer Kombination von Materialien. Die Aushärtung ist ein chemischer Prozess im Material. Zum Auslösen dieses Prozesses müssen lichtensitive Initiatoren (Photoinitiatoren) aktiviert werden, die sich in der Kunststofffüllung befinden. Dies geschieht durch Bestrahlung mit Photonen bestimmter Wellenlängen.

Es gibt unterschiedliche Photoinitiatoren, wobei in Abbildung 1 die Absorptionsspektren von zweien dieser Photoinitiatoren dargestellt sind

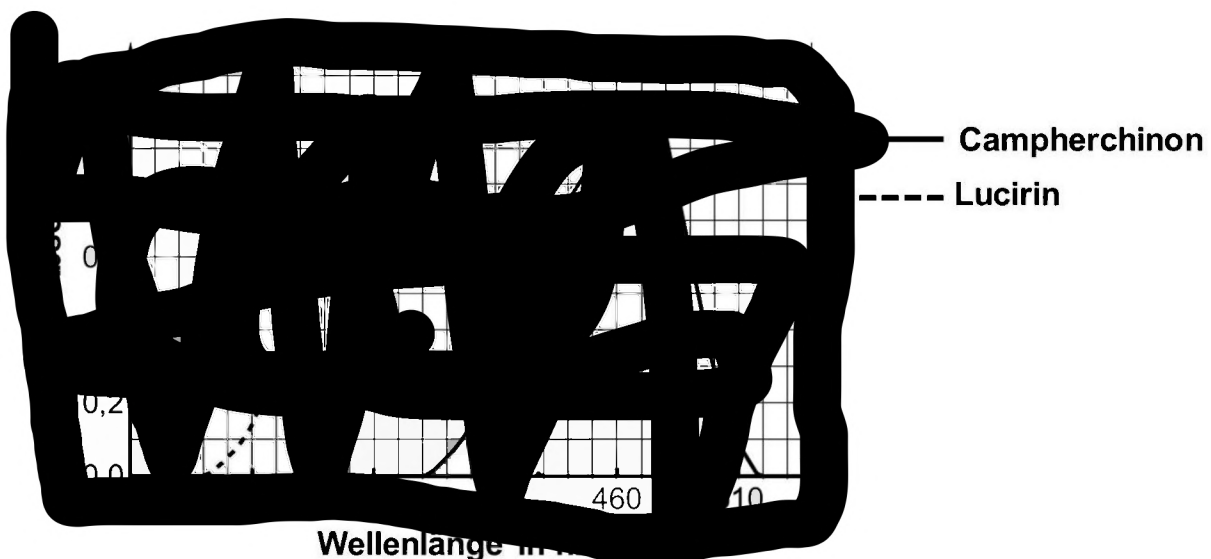


Abb. 1: Absorptionsspektren zweier unterschiedlicher Photoinitiatoren

Material 3 Fluoreszenzspektren

Fluoreszenz ist die spontane Emission von Licht kurz nach Anregung der Bestandteile eines Materials durch Absorption von Licht. Dabei kann das emittierte Licht eine geringere Photonenenergie als das absorbierte haben. Ein Fluoreszenzspektrum stellt die Intensitäten der verschiedenen Wellenlängen in der emittierten Fluoreszenzstrahlung dar, wobei die Anregung in diesem Fall mit einer festen Wellenlänge im UV-Bereich erfolgt. Die folgende Abbildung zeigt das Fluoreszenzspektrum eines unbehandelten Zahnes.

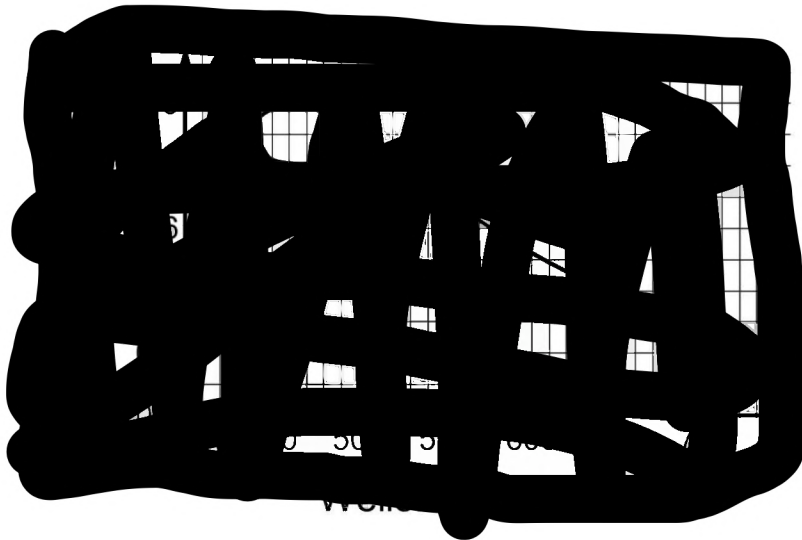


Abb. 2: Fluoreszenzspektrum eines Zahns

Um ein möglichst unauffälliges Füllmaterial im UV-Licht zu finden, wurden die Fluoreszenzspektren von drei verschiedenen Füllmaterialien untersucht.

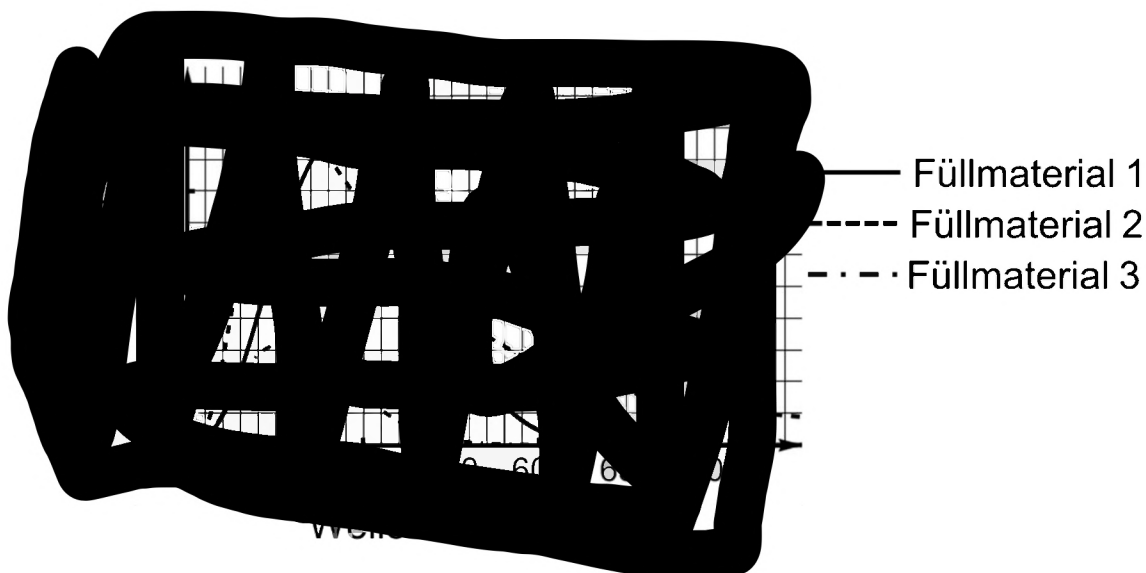


Abb. 3: Fluoreszenzspektren von Füllmaterialien

Material 4 Risiko des blauen Lichts beim Zahnarzt

Frage aus einem Internetforum:

Meine Frage ist vielleicht etwas seltsam, aber ich mache mir große Sorgen um meinen Sohn, da wir gestern beim Zahnarzt waren... Als die Helferin die blaue Polymerisationslampe eingeschaltet hat und er hineingeschaut hat... Ich dachte, dass sich hier vielleicht einige auch mit diesem Licht auskennen.

Ich habe im Internet gelesen, dass man dies auf jeden Fall nicht tun soll, weil es – wenn es im Übermaß angewandt wird - Reaktionen hervorruft, die Zellen in der Netzhaut schädigen und zu Augenerkrankungen führen können... Kann ein Hineinschauen das Auge bereits schädigen oder mache ich mir umsonst Sorgen? Ich kann mich wirklich kaum beruhigen, ich bin eh schon ein ängstlicher Mensch. Ich wusste nicht, dass dieses Licht angewandt wird, andererseits hätte ich dies gar nicht zugelassen ohne Schutz der Augen ...

Besonders komisch finde ich, dass das medizinische Personal Schutzbrillen getragen hat, mein Sohn aber nicht. Ich weiß nicht, ob jemand sich damit auskennt und meine Frage beantworten kann, aber mein Sohn ist erst 9 Jahre und wer will schon, dass die Augen der Kinder geschädigt werden... Vielleicht kann jemand mir helfen?

Literatur- und Quellenverzeichnis zu Aufgabe IV

Material 1

In Anlehnung an: Sparpraxis Dental. *Polymerisationslampen*. <https://www.sparpraxis-dental.de/produkte/dentalgeraete/polymerisationslampen/> (Zugriff am: 25.10.2024)

Material 1 und 2

In Anlehnung an: Blunck, U. (2019). Lichtpolymerisation. Die wichtigsten Parameter. *Dentista* 04.2019. S. 31-34. <https://www.quintessence-publishing.com/gbr/de/article-download/858448/dentista/2019/04/lichtpolymerisation> (Zugriff am: 20.11.2024)

Material 3

In Anlehnung an: Lutsкая, I. K., Novak, N. V. & Kavetsky, V. P. (2011). *Fluoreszenz von Zahnhartsubstanz und Füllungsmaterialien*. https://www.zmk-aktuell.de/fachgebiete/zahnerhaltung/story/fluoreszenz-von-zahnhartsubstanz-und-fuellungsmaterialien__604.html (Zugriff am: 18.02.2024)

Material 4

Blaues Licht beim Zahnarzt. <https://www.taschenlampen-forum.de/threads/blau-licht-beim-zahnarzt.62428/> (Zugriff am: 08.08.2024)