Gemeinsame Aufgabenpools der Länder

Pool für das Jahr 2026

Aufgaben für das Fach Physik

Aufgabentitel	**Fassadenbeleuchtung der Allianz Arena**
Anforderungsniveau	grundlegend
Inhaltsbereiche	♦ Mechanische und elektromagnetische Schwingungen und Wellen ♦ Eigenschaften und Ausbreitung von Wellen ♦ Spektrum elektromagnetischer Wellen ♦ Quantenphysik und Materie ♦ Quantenobjekte ♦ Zusammenhänge der Größen Energie, Impuls, Frequenz und Wellenlänge zur Beschreibung von Quantenobjekten ♦ Atomvorstellungen ♦ Emission und Absorption, Zusammenhang zwischen diskretem Spektrum und Energieniveauschema
Materialien	♦ M 1 Bilder und Spektren von Leuchtstofflampen und RGB-LEDs ♦ M 2 Vereinfachtes Energieniveauschema von Quecksilber ♦ M 3 Aspekte zur Bewertung der Fassadenbeleuchtung
Quellenangaben	♦ M 3 in Anlehnung an: ♦ Allianz Arena (2015). *Dynamische Philips LED-Beleuchtung für die Allianz Arena - FC Bayern München startet mit Lichtspielen in die Saison.* https://allianz-arena.com/de/news/2015/08/dynamische-philips-led-beleuchtung-fur-die-allianz-arena (Zugriff am: 19.08.2024) ♦ Erhard, C. (2010, 03.November). *Wie viel kostet das Leuchten der Allianz-Arena?* tz. https://www.tz.de/sport/fc-bayern/viel-kostet-leuchten-allianz-arena-989031.html#:~:text=Beleuchtungskosten%20von%20lediglich%2050%20bis,drei%20Stunden%20Stadionbeleuchtung%20180%20Euro (Zugriff am: 19.08.2024) ♦ Beleuchtung direkt (o. J.). *Warum sollten Sie keine Leuchtstoffröhren mehr verwenden?* https://www.beleuchtungdirekt.de/blog/gruende-gegen-leuchstoffroehren#:~:text=Die%20Lebensdauer%20von%20Leuchtstoffr%C3%B6hren%20liegt,allem%20mit%20billig%20gebauten%20Vorschaltger%C3%A4ten (Zugriff am: 19.08.2024) ♦ Buchholz. C. (2015, 14. August). *Mehr als 300.000 LEDs: Philips beleuchtet Münchner Allianz Arena*. https://prediger.de/lichtjournal/mehr-als-300-000-leds-philips-beleuchtet-muenchner-allianz-arena (Zugriff am: 19.08.2024)

	♦ Lichtverschmutzung (2024, 19. August). Wikipedia. https://de.wikipedia.org/wiki/Lichtverschmutzung (Zugriff am: 19.08.2024)
Hilfsmittel	♦ digitales Hilfsmittel, das mindestens die Funktionalität eines WTR hat ♦ mathematisch-naturwissenschaftliche Formelsammlung
fachpraktischer Anteil	ja ☐ nein ☒ Zeitzuschlag: —
Hinweise	

1 Aufgabe

Fassadenbeleuchtung der Allianz Arena

Im Jahr 2015 wurde die Fassadenbeleuchtung der Allianz Arena in München auf LED-Technologie umgestellt. Zuvor wurden herkömmliche Leuchtstofflampen genutzt.

		BE
1	Im Material 1 finden sich Abbildungen zu den bis 2015 in der Allianz Arena genutzten Leuchtmitteln und den danach verwendeten LEDs sowie die Spektren des Lichts dieser beiden Lampen.	
	a Beschreiben Sie die beiden Spektren in den Abbildungen 3 und 4 hinsichtlich Form, Lage und Höhe der Intensitätsmaxima. Gehen Sie hierbei auch auf die jeweiligen Farben und Wellenlängen ein.	5
	b Die Maxima in Abbildung 3 (M 1) sind auf die angeregte Gasfüllung zurückzuführen. Erläutern Sie auf atomarer Ebene, wie es zu diesen kommt.	5
	c Prüfen Sie auf Basis der Abbildung 3 (M 1) und von Material 2, ob in der Leuchtstofflampe Quecksilberdampf zur Lichtemission beitragen könnte, indem Sie die Wellenlängen des Lichts berechnen, das bei zwei geeigneten Übergängen emittiert wird.	4
2	Im Gegensatz zu den Leuchtstoffröhren können die drei LEDs, aus denen eine RGB-LED besteht, mit relativ geringer Spannung betrieben werden. Um dies zu untersuchen, werden die LEDs parallel an eine regelbare Spannungsquelle angeschlossen. Die Spannung wird langsam von 0 V beginnend erhöht. Man beobachtet, dass das Leuchten der drei Farb-LEDs nacheinander bei verschiedenen Spannungen einsetzt.	
	a Berechnen Sie die Energie eines Photons der jeweiligen LED mithilfe der Wellenlänge, bei welcher die jeweils höchste Lichtintensität auftritt (M 1). Modellhaft kann davon ausgegangen werden, dass ein Elektron bei der Lichterzeugung seine Energie an die LED abgibt und dabei ein Photon emittiert wird.	4
	b Erläutern Sie, warum und in welcher Reihenfolge die LEDs zu leuchten beginnen.	4
	c Berechnen Sie eine mögliche Spannung, bei der die rote LED leuchtet (M 1).	4
3	Im Jahr 2015 wurde die Fassadenbeleuchtung der Allianz Arena in München komplett neu gestaltet. Bewerten Sie anhand von drei Aspekten aus Material M 3, ob eine Fassadenbeleuchtung wie die der Allianz Arena sinnvoll ist.	4

Material 1: Bilder und Spektren von Leuchtstofflampen und RGB-LEDs



Abb. 1: Leuchtstofflampe

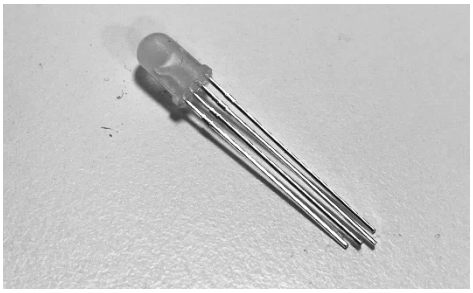


Abb. 2: RGB-LED

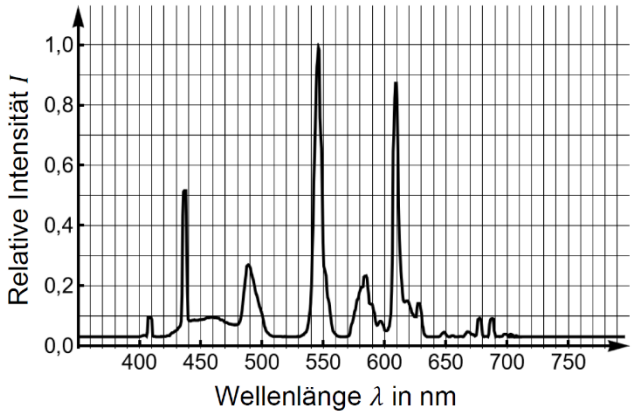


Abb. 3: gemessenes Spektrum einer weißen Leuchtstofflampe

Hinweis:
Das Licht dieser Lampe setzt sich im Wesentlichen aus zwei Bestandteilen zusammen: einerseits aus dem Licht eines leuchtenden Gases im Inneren der Lampe und andererseits aus dem Licht eines Leuchtstoffs, der sich auf den Innenwänden der Glasröhre befindet.

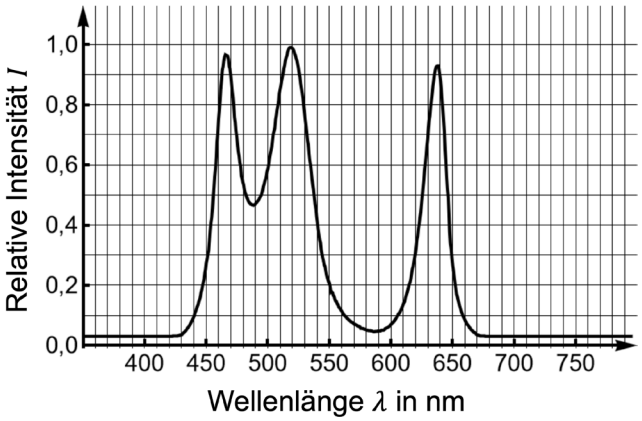
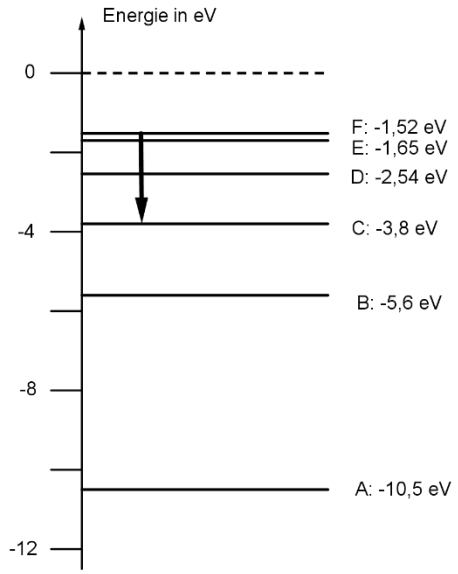


Abb. 4: gemessenes Spektrum einer RGB-LED

Hinweis:
Eine RGB-LED besteht aus einer roten, einer grünen und einer blauen LED, welche separat angesteuert werden können. Entsprechend setzt sich das Spektrum aus den Spektren der drei einzelnen LEDs zusammen.

Material 2: Vereinfachtes Energieniveauschema von Quecksilber



Hinweis:
Es sind nicht alle vorhandenen Energieniveaus dargestellt.
Nicht alle Übergänge tragen zum Spektrum aus Abb. 3 bei.
Der eingezeichnete Pfeil kennzeichnet einen geeigneten Übergang im Energieniveauschema.

Abb. 5: Energieniveauschema Quecksilber (vereinfacht)

Material 3: Aspekte zur Bewertung der Fassadenbeleuchtung

- In den Leuchtstoffröhren wurde Quecksilberdampf verarbeitet.
- Laut dem FC Bayern konnte durch die Umrüstung von den 8 000 Leuchtstoffröhren auf mehr als 300 000 LEDs eine Energieersparnis von 60 Prozent erreicht werden.
- Statt bislang drei Farben (Rot, Blau, Weiß) kann die neue Beleuchtung 16 Millionen Farben erzeugen.
- Beleuchtungskosten von lediglich 50 bis 60 Euro pro Stunde reichen aus, um eine so große Leuchtkraft zu erzeugen, dass die Arena in klaren Nächten auch noch von österreichischen Berggipfeln zu sehen ist.
- Die Lebensdauer der eingesetzten LEDs beläuft sich auf durchschnittlich 80 000 Stunden. Die Lebensdauer von Leuchtstoffröhren liegt bei 7 000 bis 20 000 Stunden, was etwa einer Zeitspanne von 2 bis 6 Jahren entspricht. Außerdem kann sie sich durch häufiges Ein- und Ausschalten verkürzen.
- Der Mangel an Dunkelheit ohne künstliche Lichtquellen hat zahlreiche störende Einflüsse auf Organismen.
- LEDs verändern das Farbspektrum der nächtlichen Beleuchtung. Anhand von Fotos, die von der Internationalen Raumstation ISS aus aufgenommen wurden, haben Forschende festgestellt, dass durch die weißeren LEDs insbesondere der Anteil der Emissionen im blauen Bereich des Spektrums zugenommen hat. Weil blaues Licht die Ausschüttung von Melatonin hemmt, kann der Biorhythmus bei Tieren, aber auch beim Menschen durcheinandergeraten.
- Die Nutzung von LEDs bewirkt zudem, dass in Städten noch weniger Sterne sichtbar sind.
- Die Bewegung von Insekten, die sich Lichtquellen nähern oder sie vermeiden, wird verändert.

2 Erwartungshorizont

Der Erwartungshorizont stellt für jede Teilaufgabe eine mögliche Lösung dar. Nicht dargestellte korrekte Lösungen sind als gleichwertig zu akzeptieren.
Werden im Erwartungshorizont in Rechnungen Werte verwendet, die Resultat einer vorangegangenen Berechnung sind, so gehen sie in Taschenrechner-Genauigkeit in die jeweilige Berechnung ein, sind aber mit einer sinnvollen Genauigkeit angegeben.

			BE/AFB		
			I	II	III
1	a	Beide Spektren erstrecken sich im Bereich des sichtbaren Lichts von ca. 400 nm bis ca. 700 nm. Das Spektrum in Abb. 3 verfügt über drei scharfe, intensitätsstarke Maxima bei 430 nm (violett), 545 nm (grün) und 610 nm (rot) sowie mehrere relativ scharfe, intensitätsschwächere Maxima, daneben mehrere intensitätsschwächere, breitere Bereiche. In Abb. 4 findet man hingegen drei breitere Maxima in den Farbbereichen Rot (Maximum bei 640 nm), Grün (Maximum bei 520 nm) und Blau (Maximum bei 465 nm) mit ähnlich hoher Intensität, wovon sich zwei überlagern.	5		
	b	Die Atome der Gasfüllung haben diskrete Energieniveaus. Beim Übergang von einem höheren auf ein tieferes Niveau werden Photonen emittiert, deren Energie gleich der Energiedifferenz der Niveaus ist. Das Gas emittiert viele Photonen gleicher Wellenlänge. Diese Wellenlängen entsprechen den Wellenlängen der Maxima im Spektrum.	5		
	c	Übergang von F nach C (mit dem Pfeil gekennzeichnet): $\Delta E = 2{,}28\ \text{eV}$, mit $E = \frac{hc}{\lambda}$ folgt $\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{hc}{2{,}28\ \text{eV}} = 544\ \text{nm}$. Ein anderer möglicher Übergang ist der von D nach B: $\Delta E = 3{,}06\ \text{eV}$, mit $E = \frac{hc}{\lambda}$ folgt $\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{hc}{3{,}06\ \text{eV}} = 405\ \text{nm}$. Bei den berechneten Wellenlängen befinden sich in Abb. 3 Intensitätsmaxima. Das legt nahe, dass Quecksilberdampf zur Lichtemission beitragen könnte.			4
2	a	Die Wellenlängen höchster Intensität liegen etwa bei 465 nm (blau), 520 nm (grün) und 640 nm (rot). Mit $E = \frac{hc}{\lambda}$ folgt: $E_{\text{blau}} = 4{,}27 \cdot 10^{-19}\ \text{J}$, $E_{\text{grün}} = 3{,}82 \cdot 10^{-19}\ \text{J}$, $E_{\text{rot}} = 3{,}10 \cdot 10^{-19}\ \text{J}$		4	
	b	Die LED wandelt die Energie eines Elektrons $E = eU$ in Photonenenergie um. Da die Photonen des blauen Lichts eine höhere Energie als die des grünen Lichts haben und die Photonen des grünen Lichts eine höhere Energie als die des roten Lichts, wird für das Leuchten der blauen LED am meisten und für das Leuchten der roten LED am wenigsten Energie benötigt. Es gilt also $E_{\text{rot}} < E_{\text{grün}} < E_{\text{blau}}$ und damit folgt für die Spannungen, bei der die LEDs zu leuchten beginnen,		4	

	da die Energie eines Elektrons von der jeweiligen Spannung abhängig ist: $U_{rot} < U_{grün} < U_{blau}$ **c** Für $\lambda = 640\,\text{nm}$ folgt wegen $eU = hf = h\frac{c}{\lambda}$ für die Spannung der roten LED: $U = \frac{hc}{e\lambda} = \frac{hc}{e \cdot 640 \cdot 10^{-9}\,\text{m}} = 1{,}9\,\text{V}$.		4	
3	Mögliche Aspekte zur LED: ♦ hohe Lebensdauer ♦ geringe Energiekosten im Betrieb ♦ geringer Wartungsaufwand ♦ 16 Millionen Farben möglich ♦ bewegte/dynamische Lichtmuster durch digitale Steuerung möglich. Mögliche Aspekte zu Leuchtstofflampen: ♦ Nur 3 Farben möglich ♦ keine digitale Steuerung ♦ enthält mit Quecksilber giftigen Stoff Möglicher Aspekt zu Problemen bei der Verwendung von LEDs: ♦ Tiere und Menschen können geschädigt werden, gerade durch die hohe Leuchtkraft (bis zu den Alpen sichtbar). Mögliches Urteil: Eine Fassadenbeleuchtung mit LEDs wie an der Allianz Arena ist auf jeden Fall Leuchtstofflampen vorzuziehen, sollte jedoch aufgrund der Umweltbelastung auch nur sparsam eingesetzt werden.		4	
	Summe[1]	**10**	**16**	**4**

[1] Bei jeder Aufgabe liegen die Anzahlen der Bewertungseinheiten – abhängig vom Anforderungsniveau – in den Bereichen, die der folgenden Tabelle zu entnehmen sind:

Anforderungsniveau	erhöht			grundlegend		
Anforderungsbereich	I	II	III	I	II	III
Anzahl der BE	11 - 13	17 - 21	8 - 10	10 - 12	13 - 16	4 - 6

3 Standardbezug

Teilaufgabe	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1 a			3	
b	1			
c	3			
2 a	3			
b		6		
c	3			
3				3

4 Bewertungshinweise

Die Bewertung der erbrachten Prüfungsleistungen hat sich für jede Teilaufgabe nach der am rechten Rand der Aufgabenstellung angegebenen Anzahl maximal erreichbarer Bewertungseinheiten (BE) zu richten.
Für die Bewertung der Gesamtleistung eines Prüflings ist ein Bewertungsraster[2] vorgesehen, das angibt, wie die in den drei Prüfungsteilen insgesamt erreichten Bewertungseinheiten in Notenpunkte umgesetzt werden.

[2] Das Bewertungsraster ist Teil des Dokuments „Beschreibung der Struktur“, das auf den Internetseiten des IQB zum Download bereitsteht.