Gemeinsame Aufgabenpools der Länder

Pool für das Jahr 2026

Aufgaben für das Fach Physik

Aufgabentitel	**Leuchtende Lebewesen**
Anforderungsniveau	erhöht
Inhaltsbereiche	♦ Quantenphysik und Materie ♦ Atomvorstellungen ♦ qualitative Betrachtung eines quantenmechanischen Atommodells ♦ Emission und Absorption, Zusammenhang zwischen diskretem Spektrum und Energieniveauschema ♦ Modell des eindimensionalen Potenzialtopfs und seine Grenzen
Materialien	♦ M 1 Verschiedene Emissionsspektren ♦ M 2 Fluoreszenz, Chemilumineszenz und Phosphoreszenz ♦ M 3 Emission und Absorption von Firefly-Luciferin ♦ M 4 Gemessenes Emissions- und Absorptionsspektrum von Firefly-Luciferin ♦ M 5 Modell des linearen Potenzialtopfes ♦ M 6 Leuchtende Bäume
Quellenangaben	♦ M 1 in Anlehnung an: Anich, P. et al. (2021). Biofluorescence in the platypus (*Ornithorhynchus anatinus*). *Mammalia*, 85 (2). S. 179-181. https://doi.org/10.1515/mammalia-2020-0027 (Zugriff am: 02.12.24) ♦ M 6 in Anlehnung an: ♦ strassenlicht.de (Hg.) (2024). *Energiebedarf von Straßenbeleuchtungen.* https://strassenbeleuchtung.de/index.php/technik/grundlagen/zahlen-und-fakten#:~:text=Der%20j%C3%A4hrliche%20Energieverbrauch%20dieser%20Stra%C3%9Fenbeleuchtungsanlagen%20betr%C3%A4gt%20rund%202,j%C3%A4hrlich%20ca.%20600TWh%20%282022%29%20an%20elektrischer%20Energie%20verbraucht. (Zugriff am: 01.06.2024) ♦ Meyer, G. (2020, 29. September). *Leuchtende Bäume als Straßenlaternen*. https://www.swr.de/wissen/leuchtende-baeume-100.html (Zugriff am: 01.08.2023)
Hilfsmittel	♦ digitales Hilfsmittel, das mindestens die Funktionalität eines WTR hat ♦ mathematisch-naturwissenschaftliche Formelsammlung

fachpraktischer Anteil	ja ☐ nein ☒ Zeitzuschlag: —
Hinweise	

1 Aufgabe

Leuchtende Lebewesen

Es gibt Lebewesen, wie zum Beispiel Leuchtkäfer (Glühwürmchen), die sichtbares Licht aussenden können.

	BE
1 Leuchtkäfer senden Licht aus, das wir als grün wahrnehmen.	
a Begründen Sie, dass nur eines der drei Spektren in Abbildung 1 (M 1) zum Leuchten des Leuchtkäfers passen kann.	3
b Berechnen Sie für das in Aufgabenteil 1a gewählte Spektrum die Frequenz und die Energie in eV der Photonen mit maximaler Intensität (M 1).	4
2 Der Leuchtkäfer kann auch im Dunkeln leuchten.	
a Begründen Sie: Einer der in Material 2 geschilderten Prozesse liefert keinen möglichen Erklärungsansatz für das Leuchten im Dunkeln.	2
b Beschreiben Sie den Vorgang der Phosphoreszenz unter Nutzung von Abbildung 2 (M 2).	3
c Skizzieren Sie beispielhaft ein mit passenden Energiewerten beschriftetes Energieniveauschema in Anlehnung an Material 2 für einen Stoff, dessen Fluoreszenz in zwei verschiedenen Wellenlängen im sichtbaren Bereich auftreten könnte. Gehen Sie dabei von 0 eV im Grundniveau aus.	5
3 Das grünliche Licht eines Leuchtkäfers wird durch den Stoff Firefly-Luciferin erzeugt. Die Abbildungen 3 und 4 (M 4) zeigen das Emissions- bzw. das Absorptionsspektrum von Firefly-Luciferin.	
a Planen Sie mit Hilfe der Materialliste (M 3) jeweils ein geeignetes Experiment, mit dem sich das Emissionsspektrum (Abb. 3, M 4) und das Absorptionsspektrum (Abb. 4, M 4) aufnehmen ließen. **Hinweise:** Zu Ihrer Planung gehören eine beschriftete Skizze für den Aufbau und die Beschreibung der Durchführung des Experiments. Wählen Sie dazu aus der Materialliste (M 3) geeignete Versuchsmaterialien aus.	5
b Stellen Sie anhand von Material 4 eine Hypothese auf, welche der Prozesse aus Material 2 als Ursache dafür in Frage kommen könnten, dass Firefly-Luciferin im Dunkeln leuchtet.	4
4 Für eine weitergehende Untersuchung soll ein Modell für das Firefly-Luciferin theoretisch überprüft werden (M 5).	
a Begründen Sie anhand einer Rechnung, dass das Modell des linearen Potenzialtopfes keine exakte Vorhersage der grünen Farbe liefert.	6
b Geben Sie einen möglichen Grund an, warum das Firefly-Luciferin-Molekül nicht durch das Modell des linearen Potenzialtopfes beschrieben werden kann (M 5).	3

5 Verschiedene Forschungsgruppen arbeiten an der Entwicklung von selbstleuchtenden Bäumen (M 6).

Bewerten Sie einen möglichen Einsatz solcher Bäume als Straßenbeleuchtung auf Basis dreier möglicher Folgen dieser Entscheidung. 5

2 Material

Material 1: Verschiedene Emissionsspektren

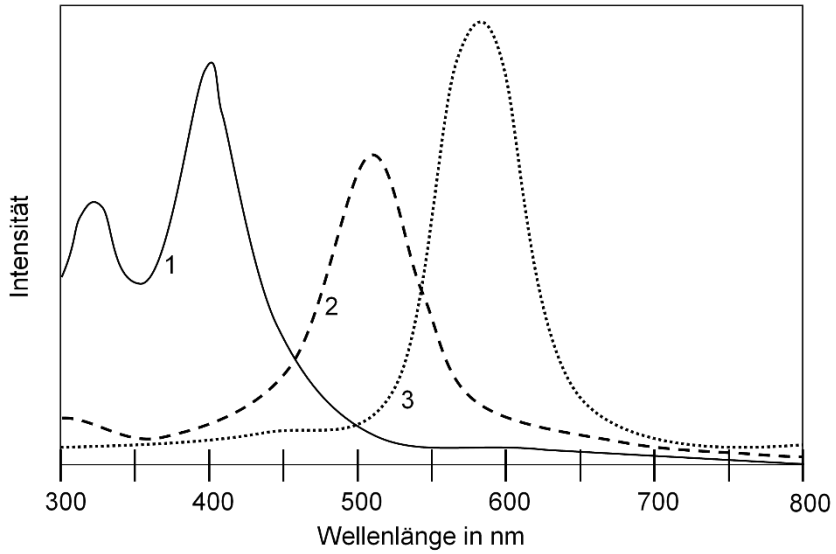


Abb. 1: kontinuierliche Emissionsspektren unterschiedlicher Lichtquellen

1. *Spektrum durchgezogene Linie*
2. *Spektrum gestrichelte Linie*
3. *Spektrum gepunktete Linie*

Material 2: Fluoreszenz, Chemilumineszenz und Phosphoreszenz

Es gibt drei unterschiedliche Prozesse, bei denen Licht emittiert wird.

Fluoreszenz:	**Chemilumineszenz**:
Bei der Fluoreszenz findet eine optische Anregung statt. Nahezu unmittelbar nach der Anregung kommt es zu einem oder mehreren Übergängen auf einen Zustand niedrigerer Energie, wobei die freiwerdende Energie in Form von Licht abgegeben wird.	Bei der Chemilumineszenz findet eine Anregung durch chemische Reaktionen statt. Nahezu unmittelbar nach der Anregung wird beim Übergang in einen energetisch niedrigeren Zustand die freiwerdende Energie in Form vom Licht abgegeben.

Phosphoreszenz:

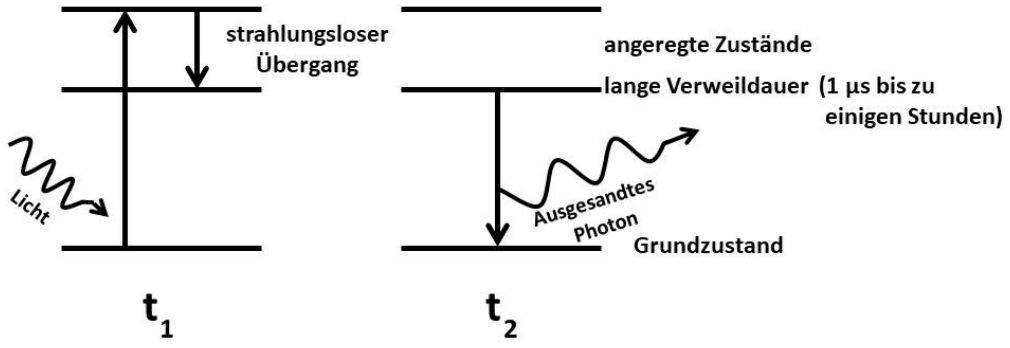


Abb. 2: schematische Darstellung der Phosphoreszenz
t_1: Zeitpunkt der Absorption
t_2: Zeitpunkt der Emission

Material 3: Emission und Absorption von Firefly-Luciferin

Materialliste:

- Spektrometer (Messgerät, das ein Diagramm wie Abbildung 3 oder 4 entsprechend dem in das Spektrometer eindringenden Licht liefert)
- Gelöstes Firefly-Luciferin, das sich in einer zum Leuchten anregenden Lösung befindet.
- Lichtquelle mit einer einstellbaren Wellenlänge im Bereich von 350 nm bis 800 nm
- Farbfilter im Wellenlängenbereich von 350 nm bis 800 nm
- Polychromatische Lichtquelle mit kontinuierlichem Spektrum von 350 nm bis 800 nm

Material 4: Gemessenes Emissions- und Absorptionsspektrum von Firefly-Luciferin

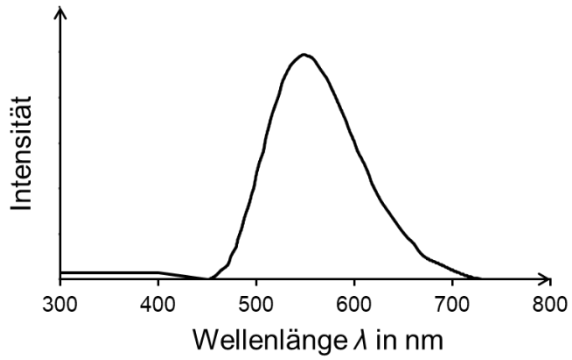


Abb. 3: gemessenes Emissionsspektrum von Firefly-Luciferin ohne unmittelbare optische Anregung

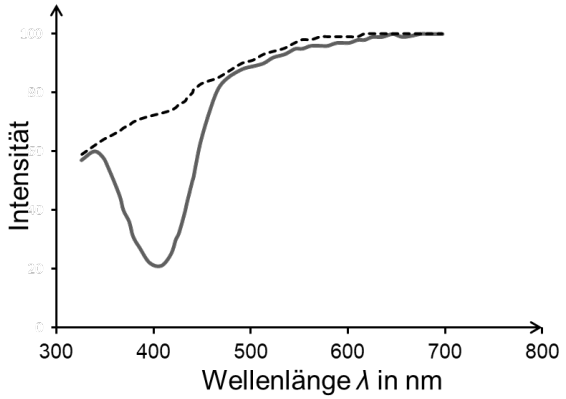


Abb. 4: gemessenes Absorptionsspektrum von Firefly-Luciferin (durchgezogene Linie)
Die gestrichelte Linie stellt das Spektrum der Lichtquelle dar, mit der die Firefly-Luciferin-Lösung bestrahlt wurde.

Material 5: Modell des linearen Potenzialtopfes

Für manche Farbstoffe ist eine Berechnung der Farbe mit Hilfe der Modellierung als linearer Potenzialtopf bei bekannter Molekülstruktur möglich. Dazu wird das Molekül als linearer Potenzialtopf betrachtet, in dem sich eine gewisse Anzahl von frei beweglichen Elektronen befindet. Ein Molekül des Firefly-Luciferins wird auf Grund des Molekülaufbaus als Potenzialtopf der Länge L = 1,6 nm mit 10 freien Elektronen modelliert.
Bei der Modellierung ist zu beachten, dass dabei die Energiestufen nacheinander mit Elektronen aufgefüllt werden. Nach dem Pauli-Prinzip werden sich nicht mehr als zwei Elektronen auf der gleichen Energiestufe befinden.
Weiterhin ist zu beachten, dass in diesem Modell die Emission von Licht im Wesentlichen beim Übergang vom ersten angeregten Energieniveau in den energetischen Grundzustand des Moleküls erfolgt.

Material 6: Leuchtende Bäume

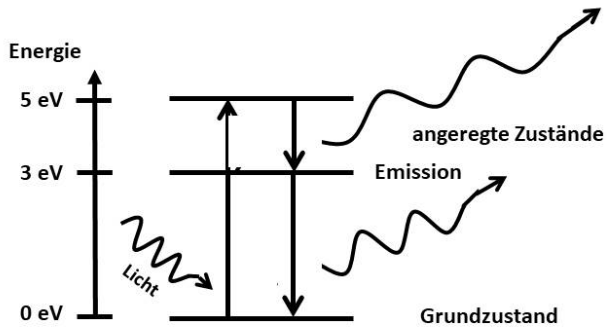
Leuchtende Bäume als Straßenlaternen

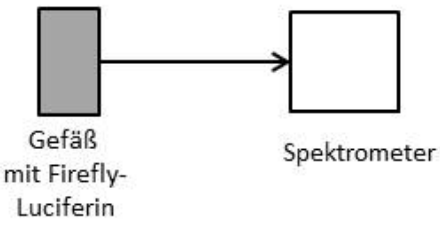
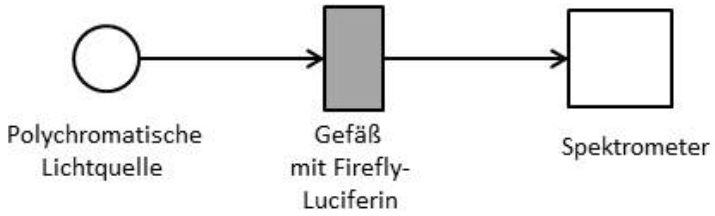
Leuchtende Bäume könnten Straßenlaternen ersetzen und so den Stromkonsum verringern. Mit Chemilumineszenz wollen Forschende dafür sorgen, dass Bäume in Zukunft nachts unsere Straßen, Gehwege und Plätze beleuchten. Die jährliche elektrische Energie, die Städte und Gemeinden weltweit für ihre Beleuchtung aufwenden, beträgt 2 TWh.

Dazu sagt der Biologe Robin Axt von der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg: „Theoretisch möglich, ja – praktisch auch. In den letzten Jahrzehnten haben einige Forscherteams das Thema angegangen: Können wir Pflanzen zum Leuchten bringen? Und das ist tatsächlich möglich." Das Ziel seines Forschungsprojekts ist eine „sehende" Pflanze, die weiß, wann es dunkel wird und wann sie zu leuchten hat. Diese Fähigkeit verleihen ihr die Gene der Glühwürmchen. „Ein Gen ist ja eine Bedienungsanleitung. Und diese Glühwürmchen-Gene schneiden wir heraus, bringen sie in einen anderen Organismus und schauen, ob das funktioniert."

3 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	Grünes Licht liegt im Bereich von 500 nm bis 560 nm. Betrachtet man die Spektren, so liegt nur für Spektrum 2 das Maximum in diesem Bereich.	3		
	b	Das Maximum von Spektrum 2 liegt bei einer Wellenlänge von ca. $5{,}1 \cdot 10^{-7}$ m. Für Photonen dieses Lichtes gilt: $f = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{5{,}1 \cdot 10^{-7}\,\text{m}} = 5{,}9 \cdot 10^{14}\,\text{Hz}$ $E = h \cdot f = h \cdot 5{,}9 \cdot 10^{14}\,\text{Hz} = 3{,}9 \cdot 10^{-19}\,\text{J} = 2{,}4\,\text{eV}$	4		
2	a	Es kommt nicht die Fluoreszenz infrage, weil die Fluoreszenzstrahlung laut Infotext nahezu unmittelbar mit der Erregerstrahlung erlischt. Im Dunklen gibt es keine Erregerstrahlung.		2	
	b	In Abbildung 2 ist dargestellt, dass Moleküle durch Absorption eines Photons vom Grundniveau in einen angeregten Zustand übergehen. Unter Abgabe von Energie geht das Molekül strahlungslos in einen angeregten Zustand niedrigerer Energie über. Nach der dargestellten zeitlichen Verzögerung geht das Teilchen aus diesem angeregten Zustand niedrigerer Energie in seinen Grundzustand zurück und sendet dabei ein Photon größerer Wellenlänge im Vergleich zu der Wellenlänge des absorbierten Photons aus.		3	
	c			2	3
3	a	Für das Emissionsspektrum werden das Spektrometer und das Gefäß mit dem Firefly-Luciferin benötigt. Das Licht, das durch die Firefly-Luciferin Lösung emittiert wird, fällt direkt in das Spektrometer.		2	

	Emissionsmessung  Für das Absorptionsspektrum werden benötigt: Polychromatische Lichtquelle mit kontinuierlichem Spektrum von 350 nm bis 800 nm, in geeigneter Lösung gelöstes Firefly-Luciferin, Spektrometer. Polychromatische Lichtquelle, Firefly-Luciferin und das Spektrometer werden hintereinander angeordnet. Mit dem Spektrometer misst man im ersten Schritt das Spektrum der Lichtquelle ohne das Gefäß (oder mit einem leeren Gefäß) und im zweiten Schritt das Spektrum, welches durch das in der Lösung des Gefäßes gelöste Firefly-Luciferin hindurchgeht. Absorptionsmessung  		3	
	b Mögliche Hypothesen: Anhand des Emissionsspektrums (Abb. 3, M 4) kann man erkennen, dass Firefly-Luciferin Licht im sichtbaren Bereich emittiert, und zwar ohne Absorption von Licht. Das zeigt, dass es sich hierbei um Chemilumineszenz oder Phosphoreszenz handeln könnte.		2	
	Das Absorptionsspektrum (Abb. 4, M 4) zeigt, dass die Lösung von Firefly-Luciferin Licht im UV-Bereich und im blauen Bereich absorbiert. Das könnte darauf hindeuten, dass es sich hierbei um Fluoreszenz oder Phosphoreszenz handelt. Es könnte sich daher um den Prozess der Phosphoreszenz handeln. Der Prozess der Chemilumineszenz wäre ebenfalls möglich, da der Prozess der Lichtemission unabhängig von der Absorption stattfinden kann. Auf Grundlage der beiden Spektren kann keine genauere Entscheidung getroffen werden.		2	
4	**a** Die Energieniveaus im linearen Potenzialtopf liegen bei: $E_n = \frac{h^2}{8m_e L^2} \cdot n^2$ Dabei sind m_e die Masse des Elektrons im Potenzialtopf und $L = 1{,}6\,\text{nm}$ die Länge des Topfes. Zur Bestimmung der Energie eines emittierten Photons muss die Energiedifferenz $\Delta E_{n,m}$ zwischen zwei Niveaus n und m berechnet		4	2

	werden: $\Delta E_{n,m} = \frac{h^2}{8 m_e L^2} \cdot \left(n^2 - m^2\right)$ Daraus lässt sich die Wellenlänge $\lambda_{n,m}$ der ausgesandten Photonen bei solch einem Übergang berechnen: $\lambda_{n,m} = \frac{c}{f} = c \cdot \frac{h}{\Delta E_{n,m}} = \frac{8 \cdot c \cdot m_e \cdot L^2}{h \cdot \left(n^2 - m^2\right)}$ Gemäß dem Pauli-Prinzip und der Unterscheidung zweier Elektronen durch ihren Spin werden von den 10 Elektronen die 5 niedrigsten Energieniveaus im Grundzustand besetzt. Der erste angeregte Zustand liegt also bei $n = 6$ vor. Daher wird ausschließlich der Übergang vom sechsten auf das fünfte Energieniveau untersucht: $\lambda_{n,m} = \frac{8 \cdot c \cdot m_e \cdot (1{,}6\,\text{nm})^2}{h \cdot \left(6^2 - 5^2\right)}$ $\lambda_{6,5} = 7{,}7 \cdot 10^{-7}\,\text{m}$ Dies ist die Wellenlänge des roten Lichts. Somit liefert dieses Modell keine mit den Beobachtungen exakt übereinstimmenden Ergebnisse. **b** *Erwartet wird nur ein Grund.* Im Modell des linearen Potenzialtopfes wird davon ausgegangen, dass das modellierte Molekül eindimensional, linear und die potenzielle Energie an den Rändern unendlich groß ist. Diese Vereinfachungen könnten jedoch nicht für das Firefly-Luciferin-Molekül zulässig sein. Im Modell des linearen Potenzialtopfes wird außerdem davon ausgegangen, dass die 10 Elektronen sich darin völlig frei bewegen können. Im realen Luciferin-Molekül könnte aufgrund der komplexeren Ladungsverteilung im Molekül ein anderer Potenzialverlauf vorliegen.			3
5	Mögliche Folgen: ♦ Solange die Bäume noch nicht zur nötigen Größe gewachsen sind, sind die Kosten hoch, da zur ursprünglichen Straßenbeleuchtung auch die Anzucht der Bäume bezahlt werden muss. ♦ Sobald die Bäume „im Betrieb“ sind, könnte das Erscheinungsbild der Straße für einen Teil der Bevölkerung ästhetischer sein, jedoch für andere als Eingriff in die Natur empfunden werden. ♦ Der Einsatz der Bäume statt konventioneller Straßenlaternen kann den Energiebedarf senken. ♦ Die Auswirkungen der Einbringung von genveränderten Lebewesen in das vorhandene Ökosystem sind nur schwer abzuschätzen und könnten das Ökosystem beschädigen. Im Zusammenhang mit der Klimakrise steht für mich die Reduktion des Energiebedarfs an erster Stelle, daher gewichte ich dieses Argument sehr hoch. Die kurzfristigen Kosten könnten durch diese Reduktion wieder amortisiert werden, so dass dieses Argument für mich keine Rolle spielt. Die Gefahr durch die genetisch veränderten Organismen sehe ich im Vergleich dazu als vernachlässigbar an. Der ästhetische Aspekt	3		

	ist ein zusätzlicher Grund, dieses Vorhaben zu unterstützen, was für mich aber keine hohe Wichtigkeit hat. Insgesamt spreche ich mich daher für die Entwicklung und die Bepflanzung mit den leuchtenden Bäumen aus. *Eine andere Bewertung ist bei richtiger Argumentation ebenfalls zulässig.*		2	
	Summe[1]	**10**	**22**	**8**

[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

4 Standardbezug

Teilaufgabe	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1 a	3			
b	3			
2 a			3	
b			3	
c			3	
3 a		5		
b		2		
4 a	2			
b		8		
5				7

5 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.