

Die Anordnung der Kriterien folgt einer plausiblen logischen Abfolge von Lösungsschritten, die aber keineswegs allgemein vorausgesetzt werden kann und soll.

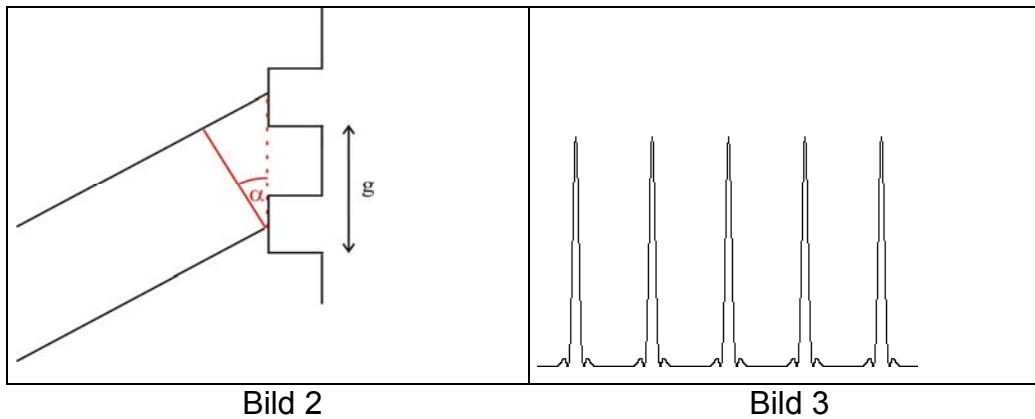
Die Teilleistungen werden den in den Lehrplänen definierten Anforderungsbereichen I bis III zugeordnet, die Klassen von unterschiedlich komplexen kognitiven Operationen definieren, aber noch keine eindeutige Hierarchie der Aufgabenschwierigkeiten begründen. Dazu dienen Punktwerte, die die Lösungsqualität der erwarteten Teilleistung bezogen auf den jeweiligen Anforderungsbereich gewichten. Die Punktwerte qualifizieren Schwierigkeitsgrade von Teilleistungen im Verhältnis zueinander. Die Zuordnungen zu Anforderungsbereichen und Punktwertungen sind Setzungen, die von typischen Annahmen über Voraussetzungen und Schwierigkeitsgrade der Teilleistungen ausgehen. Die für jede Teilleistung angegebenen Punktwerte entsprechen einer maximal zu erwartenden Lösungsqualität.

Inhaltliche Leistungen und Darstellungsleistungen werden in der Regel gesondert ausgewiesen und gehen mit fachspezifischer Gewichtung in die Gesamtwertung ein. Dabei schließt die inhaltliche Leistung eine sachgerechte Verwendung der Fachterminologie ein. Ausnahmen bilden die Fächer Mathematik, Physik, Informatik und Technik sowie Griechisch und Latein im Übersetzungsteil, die die Bewertung der Darstellungsleistung insgesamt in die Bewertung der inhaltlichen Teilleistungen integrieren. Die Entscheidung über eine Absenkung der Bewertung aufgrund von gehäuften Verstößen gegen die sprachliche Richtigkeit (§ 13 Abs. 6 APO-GOST) wird wie bisher im Anschluss an die Bewertung der inhaltlichen Leistungen und der Darstellungsleistungen getroffen.

Die folgenden Bewertungskriterien werden in einen für jede Klausur gesondert auszufüllenden 'Bewertungsbogen' aufgenommen, der den Fachlehrerinnen und Fachlehrern zur Verfügung gestellt wird. In diesen trägt die erstkorrigierende Lehrkraft den entsprechend der Lösungsqualität jeweils tatsächlich erreichten Punktwert für die Teilleistung in der Bandbreite von 0 bis zur vorgegebenen Höchstpunktzahl ein. Sie ordnet der erreichten Gesamtpunktzahl ein Notenumrteil zu, das ggf. gem. § 13 Abs. 6 APO-GOST abschließend abzusenken ist.

### **6.2.1 Modelllösungen I. Aufgabe**

- a) Die Versuchsbeschreibung erfolgt gemäß Bild 1. Dabei sollte deutlich werden, dass der Laserstrahl senkrecht auf die CD fällt. Bild 3 veranschaulicht die Intensitätsverteilung: Es zeigen sich scharf ausgeprägte Intensitätsmaxima (Hauptmaxima). Die Intensitätsverteilung entspricht der Intensitätsverteilung der Gitterbeugung mit kleiner Gitterkonstante.



- b)** Die spiralförmig und sehr dicht angeordneten Rillen und die dazwischen liegenden Stege der CD bilden ein Reflexionsgitter. Das Interferenzmuster kommt dadurch zustande, dass gemäß Bild 2 an benachbarten Stegen reflektierte Wellenzüge gegeneinander phasenverschoben auf dem Schirm zur Interferenz kommen, wobei die Phasenverschiebung winkelabhängig ist. Die intensiven Maxima treten genau dann auf, wenn der Gangunterschied benachbarter Wellenzüge ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge ist. Wenn diese Bedingung nicht genau erfüllt ist, ist der 2. Wellenzug gegenüber dem ersten um einen Winkel  $\delta$  phasenverschoben, der dritte gegenüber dem ersten um  $2\delta$  usw. Weil wegen der Dichte der Stege die Anzahl der miteinander interferierenden Wellenzüge sehr groß ist, findet man bei nicht zu kleinem  $\delta$  zu jedem Wellenzug einen zweiten, mit dem er einen Gangunterschied von einer halben Wellenlänge hat und sich praktisch auslöscht.
- c)** Die Maxima kommen genau dann zustande, wenn der Gangunterschied benachbarter Wellenzüge ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge ist, d.h. wenn  $g \cdot \sin \alpha = n \cdot \lambda$  bzw.  $g = n \cdot \lambda / \sin \alpha$  ist. Der Winkel  $\alpha$  wiederum kann aus b) und  $a_n$  berechnet werden:  $\tan \alpha = a_n / b$ . Auflösen nach  $\alpha$  und Einsetzen in die Berechnungsvorschrift für  $g$  liefert die in b) verlangte Beziehung. Einsetzen der Messwerte  $b = 29,5 \text{ cm}$  und  $a_1 = 12,5 \text{ cm}$  in die unter b) entwickelte Berechnungsvorschrift liefert den Stegabstand  $1,62 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ .
- d)** Beschreibung der Farberscheinungen: Die Farben ergeben sich aus der Spektralzerlegung des „weißen“ Lichtes der Leuchtstoffröhren im Physikraum. (Wenn möglich, sollte das Tageslicht abgeschirmt werden, da das Sonnenspektrum sich sonst überlagert.) Man erkennt ein einigermaßen kontinuierliches Spektrum, in dem allerdings die Übergänge zwischen einzelnen Farben bzw. Spektralbereichen deutlich schärfer aussehen als beim Licht einer Glühlampe bzw. beim Sonnenspektrum. Am Spektrum ist erkennbar, dass Blau weniger abgelenkt wird als Rot. Begründungen für das Zustandekommen der beobachtbaren Farbbereiche: Die Aufspaltung beruht auf der unterschiedlichen Wellenlänge und der dadurch bedingten unterschiedlichen Beugung. Der mathematische Zusammenhang ergibt sich ähnlich wie in Teilaufgabe b). Längerwelliges (z. B. rotes) Licht wird stärker abgelenkt als kurzwelliges.

### 6.2.2 Teilleistungen – Kriterien I. Aufgabe

Teil- auf- gaben	Anforderung		Lösungsqualität		
			Anforderungs- bereich		
		<b>Der Prüfling</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
<b>I.a)</b>	1	beschreibt das vorgeführte Experiment.	3		
	2	zeichnet die Intensitätsverteilung.	2		
	3	stellt ein Experiment mit analogem Interferenzbild dar.		3	
		<b>Summe Teilaufgabe I.a)</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>0</b>
		<b>Der Prüfling</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
<b>I.b)</b>	1	zeichnet die Wellenzüge am „Reflexionsgitter“ der CD.	2		
	2	deutet das Interferenzmuster.		2	
	3	erklärt das Zustandekommen der Maxima.		2	
	4	begründet die destruktive Interferenz zwischen den Maxima.		3	
		<b>Summe Teilaufgabe I.b)</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>0</b>
		<b>Der Prüfling</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
<b>I.c)</b>	1	leitet die Beziehung für den Stegabstand begründet her.		4	
	2	berechnet den Stegabstand.	2		
		<b>Summe Teilaufgabe I.c)</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>0</b>
		<b>Der Prüfling</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
<b>I.d)</b>	1	beschreibt seine Beobachtungen an der CD.	3		
	2	begründet die beobachteten Farbbereiche.		3	
	3	stellt qualitative Ergänzungen dar.			2
		<b>Summe Teilaufgabe I.d)</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
		<b>Summe Teilaufgabe I.a) – I.d)</b>	<b>12</b>	<b>17</b>	<b>2</b>

Zwischensumme aus 6.2.2

31 Punkte

lehrern zur Verfügung gestellt wird. In diesen trägt die erstkorrigierende Lehrkraft den entsprechend der Lösungsqualität jeweils tatsächlich erreichten Punktwert für die Teilleistung in der Bandbreite von 0 bis zur vorgegebenen Höchstpunktzahl ein. Sie ordnet der erreichten Gesamtpunktzahl ein Notenortheil zu, das ggf. gem. § 13 Abs. 6 APO-GOST abschließend abzusenken ist.

### 6.2.1 Modelllösungen II. Aufgabe

- a) In einem evakuierten Glaskolben (Franck-Hertz-Rohr) befindet sich ein Tropfen Quecksilber (Hg). Durch Erwärmen in einem Ofen auf ca. 200°C wird in der Röhre Quecksilberdampf erzeugt. Aus der Glühkathode werden Elektronen emittiert, die mittels einer regelbaren Beschleunigungsspannung  $U_b$  in Richtung Gitter beschleunigt werden. Hinter dem Gitter laufen sie gegen ein Gegenfeld zwischen Anode und Gitter an.

Das charakteristische Diagramm lässt sich folgendermaßen erklären:

Die durch das Feld zwischen Kathode und Gitter beschleunigten Elektronen erreichen zunächst trotz vielfacher elastischer Zusammenstöße mit Hg-Atomen teilweise die Anode; daher steigt mit wachsender Spannung  $U_b$  auch die Stromstärke  $I_a$ . (Genauer: Nicht alle von der Glühkathode emittierten Elektronen erreichen die Anode. Es kommt vielmehr in der Umgebung der Kathode zur Überlagerung zweier Felder, die einerseits durch die Elektronenwolke und andererseits durch die Anodenspannung zustande kommen. Die Felder schwächen sich gegenseitig. In unmittelbarer Nähe der Kathode überwiegt das durch die negative Raumladung verursachte Feld, so dass ein Teil der emittierten Ladungen zurück gedrängt wird. Erst mit hoher Anodenspannung erreichen „alle“ emittierten Elektronen die Anode.) Nach Erreichen des ersten im Diagramm sichtbaren Stromstärkemaximums besitzen die Elektronen hinreichend Energie, um die Hg-Atome anregen zu können. Sie geben durch unelastische Stöße ihre Energie an die Hg-Atome ab und können daher das Gegenfeld nicht mehr überwinden. Erhöht man die Spannung, so können die Elektronen bereits vor dem Gitter unelastisch stoßen und danach erneut beschleunigt werden, d. h. ihre Energie reicht aus, um das Gegenfeld zu überwinden, und die Stromstärke steigt wieder an. Schließlich ist die Beschleunigungsspannung groß genug, dass die Elektronen durch zwei unelastische Stöße ihre Energie an die Hg-Atome abgeben können, daher fällt die Stromstärke wieder ab, denn weniger Elektronen überwinden das Gegenfeld. Dieser Prozess wiederholt sich periodisch nach jeweils  $\Delta U_b = 4,9 \text{ V}$  Spannungserhöhung.

- b) Wenn die Temperatur zu niedrig ist, ist der Dampfdruck des Quecksilbers so niedrig, dass den Elektronen nur sehr wenige Hg-Atome als Stoßpartner angeboten werden; die Wahrscheinlichkeit einer Energieabgabe durch unelastische Stöße ist zu gering. Es würden in dem charakteristischen Diagramm ggf. gar keine Maxima und Minima auftreten. – Bei zu hoher Temperatur wird die Zahl der verdampften Hg-Atome sehr groß, d. h. die Teilchendichte wächst stark an; daher wird die freie Weglänge der Elektronen zwischen zwei Stößen zu klein, um noch hinreichend kinetische Energie im elektrischen Feld zwischen Kathode und Gitter aufzunehmen. Daher können sich lokalisierbare Anregungszonen kaum ausbil-

den. Die Energieabgabe durch unelastische Stöße findet ungeordnet im Raum zwischen Kathode und Gitter statt. Trotz steigender Spannung  $U_b$  wird es dann keine ausgeprägten Maxima und Minima geben.

- c) Der Franck-Hertz-Versuch lässt sich mit dem bohrschen Atommodell erklären: Jedes Atom besitzt diskrete stationäre Zustände, die durch bestimmte Werte der inneren Energie des Atoms bestimmt sind und in denen das Atom existieren kann, ohne Strahlung zu emittieren. – Das Hg-Atom besitzt nach dem Franck-Hertz-Experiment mindestens zwei diskrete Energiezustände, die einen Abstand von 4,9 eV haben.

Emission und Absorption von Strahlung sind stets mit dem Übergang des Atoms aus einem der stationären Zustände in einen anderen verbunden, und zwar Emission mit einem Übergang aus einem Zustand größerer Energie in einen solchen von kleinerer Energie, Absorption mit einem Übergang in umgekehrter Richtung. Bei den Hg-Atomen erfolgt die Anregung durch Absorption der Energie von Elektronen, die Emission erfolgt durch Abstrahlung von UV-Quanten, die die gleiche Energie haben sollten.

Die Frequenz der bei einem solchen Übergang emittierten bzw. absorbierten Strahlung ist gegeben durch die Gleichung  $h \cdot f = E_2 - E_1$ , wobei  $h \cdot f$  die Energie eines Strahlungsquants und  $E_1$  bzw.  $E_2$  die Energien des Atoms in den beiden stationären Zuständen bedeuten.

Für das Hg-Atom gilt  $h \cdot f = e \cdot \Delta U_b$ . Mit  $h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$  folgt dann  $\Delta U_b = h \cdot \frac{c}{e \cdot \lambda}$

$$\text{Numerisch: } \Delta U_b = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 254 \cdot 10^{-9} \text{ m}} \quad \text{bzw. } \Delta U_b = 4,9 \text{ eV.}$$

Die Übereinstimmung der Energieabsorption von 4,9 eV und der Emission der UV-Linie mit der Wellenlänge 254 nm bestätigen die Brauchbarkeit des bohrschen Atommodells zur Erklärung der Beobachtungen.

- d) Im Neongas erfolgt die Anregung der Ne-Atome ebenfalls durch Elektronenstoß. Die unelastischen Stöße mit Energieabgabe treten hier nach dem experimentellen Befund in einen Abstand von  $\Delta U_b \approx 20 \text{ V}$  auf. Nach der oben hergeleiteten

Formel  $\Delta U_b = h \cdot \frac{c}{e \cdot \lambda}$  ergibt sich damit für die Wellenlänge  $\lambda$ :  $\lambda = h \cdot \frac{c}{e \cdot \Delta U_b}$

$$\text{Numerisch: } \lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 20 \text{ V}} \quad \text{bzw. } \lambda = 62 \text{ nm (d. i. sehr kurzwelliges}$$

UV-Licht).

Rotes Licht hat Wellenlängen im Bereich von 600 bis 800 nm. Eine Übergangsenergie von 20 eV würde aber zur Emission von kurzwelligem UV-Licht führen (s.o.). Ein solcher Übergang führt also nicht zu dem beobachteten Effekt.

Man muss vermuten, dass die Atome von den Elektronen vom Grundzustand auf ein Niveau von ca. 20 eV gebracht werden, dass der Übergang von diesem Energieniveau zum Grundzustand jedoch nicht in einem einzelnen Prozess erfolgt, sondern über Zwischenzustände, bei denen auch sichtbares Licht von ca. 650 nm abgestrahlt wird.

### 6.2.2 Teilleistungen – Kriterien II. Aufgabe

Teil- auf- gaben	Anforderung		Lösungsqualität		
			Anforderungs- bereich		
		<b>Der Prüfling</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
<b>II.a)</b>	1	beschreibt die Versuchsdurchführung.	2		
	2	erörtert die elastische Wechselwirkung.	2		
	3	erklärt die Anregung der Hg-Atome.		3	
	4	deutet das U-I-Diagramm.		5	
		<b>Summe Teilaufgabe I.a)</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>0</b>
		<b>Der Prüfling</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
<b>II.b)</b>	1	erörtert den Fall für niedrige Temperatur.	2		
	2	erläutert eine Hypothesen für hohe Temperaturen.			3
		<b>Summe Teilaufgabe I.b)</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>3</b>
		<b>Der Prüfling</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
<b>II.c)</b>	1	deutet qualitativ die Entstehung UV-Strahlung (Atommodell).	3		
	2	erklärt das Auftreten der Spektrallinie.		4	
	3	berechnet die Spannungsdifferenz aus der Wellenlänge.		4	
		<b>Summe Teilaufgabe I.c)</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>0</b>
		<b>Der Prüfling</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
<b>II.d)</b>	1	vergleicht die Wellenlänge für 20 eV Übergangsenergie mit der der Leuchterscheinung.		4	
	2	erörtert eine Hypothese zur Entstehung der Leuchterscheinung.			4
		<b>Summe Teilaufgabe I.d)</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
		<b>Summe Teilaufgabe I.a) – I.d)</b>	<b>9</b>	<b>20</b>	<b>7</b>

Zwischensumme aus 6.2.2

36 Punkte

### III. Prüfungsaufgabe insgesamt:

1. Gesamtsumme der Punkte aus I. und II.:

67 Punkte

#### 2. Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)

Die Zuordnung der Noten (einschließlich der jeweiligen Tendenzen) geht davon aus,

- dass die Note ausreichend (5 Punkte) erteilt wird, wenn annähernd die Hälfte (mindestens 45 %) der Gesamtleistung erbracht worden ist.
- dass die Note gut (11 Punkte) erteilt wird, wenn annähernd vier Fünftel (mindestens 75 %) der Gesamtleistung erbracht worden ist.
- dass die Noten oberhalb und unterhalb dieser Schwellen den Notenstufen annähernd linear zugeordnet werden.

Daraus resultiert die folgende Zuordnung der Notenstufen zu den Punktzahlen:

Note	Punkte	Erreichte Punktzahl
sehr gut plus	15	64 – 67
sehr gut	14	61 – 63
sehr gut minus	13	57 – 60
gut plus	12	54 – 56
gut	11	51 – 53
gut minus	10	47 – 50
befriedigend plus	9	44 – 46
befriedigend	8	41 – 43
befriedigend minus	7	37 – 40
ausreichend plus	6	34 – 36
ausreichend	5	31 – 33
ausreichend minus	4	26 – 30
mangelhaft plus	3	22 – 25
mangelhaft	2	18 – 21
mangelhaft minus	1	14 - 17
ungenügend	0	0 - 13