Gemeinsame Abituraufgabenpools der Länder

Beispielaufgaben

Aufgabe für das Fach Physik

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	**Verringerung von Fluglärm durch Interferenz**
Anforderungsniveau	grundlegend
Inhaltsbereiche	♦ Mechanische und elektromagnetische Schwingungen und Wellen ♦ Eigenschaften und Ausbreitung von Wellen ♦ harmonische Wellen: charakteristische Größen und ihre Zusammenhänge ♦ Überlagerung von Wellen
Materialien	♦ M 1 Interferenz zwischen einem Flugzeug als Schallquelle und einer Gegenschallquelle am Boden ♦ M 2 Skizze der Grundidee einer Möglichkeit zur Erzeugung von Gegenschall innerhalb des Triebwerks
Quellenangaben	♦ Kempkens, Wolfgang (2015). Gegenschall soll nervtötenden Fluglärm auslöschen. Verfügbar unter: https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/luftfahrt/gegenschall-nervtoetenden-fluglaerm-ausloeschen/ (Zugriff am: 23.11.2020) ♦ DLR: Aktive Lärmkontrolle. Lärm mit Lärm bekämpfen. Verfügbar unter: https://dlr.de/schoollab/Portaldata/24/Resources/dokumente/kp/Experimentbeschreibung_Aktive_Laermkontrolle.pdf (Zugriff am: 02.06.2021) ♦ Alle weiteren Materialien und Abbildungen wurden im Auftrag des IQB erstellt.
Hilfsmittel	♦ Wissenschaftlicher Taschenrechner ♦ Formelsammlung
zusätzliche inhaltliche und methodische Voraussetzungen	♦ Schall als Wellenphänomen ♦ Zweistrahlinterferenz bei veränderlichem Abstand der Quellen einschließlich qualitativer Betrachtungen zu Einflussfaktoren auf das Interferenzmuster, gegenphasige Erreger ♦ Nutzwertanalyse als Methode im Kompetenzbereich Bewerten (→ siehe z. B. die Lernaufgabe „Röntgendiagnostik und MRT im Vergleich“)
fachpraktischer Anteil	ja ☐ nein ☒ Zeitzuschlag: -
Hinweise	♦ Hinweise für die Lehrkraft

1 Aufgabe

Verringerung von Fluglärm durch Interferenz

Die Lärmbelastung durch Flugzeuge ist insbesondere in der Umgebung von Flughäfen ein erhebliches Problem für die Bevölkerung. Verschiedene Möglichkeiten zur Minderung werden gesellschaftlich und wissenschaftlich diskutiert.
Eine technische Option wird umgangssprachlich als Gegenschall bezeichnet.

		BE
1	Ein Düsentriebwerk erzeugt ein breites Spektrum von Schallfrequenzen in unterschiedlicher Lautstärke. Eine dominante Frequenz liegt bei 1,2 kHz. Berechnen Sie die zugehörige Wellenlänge.	3
2	Ein denkbarer Ansatz zur Schallminderung könnte es sein, am Boden in der Nähe des Flughafens eine Schallquelle zu installieren, die geeigneten Gegenschall aussendet (siehe M 1, Abb. 1).	
	Erklären Sie mit Hilfe einer geeigneten Theorie qualitativ den Verlauf der in Abbildung 2 von M 1 dargestellten Kurve. Gehen Sie dabei davon aus, dass nur Schall einer einzigen Frequenz erzeugt wird.	6
	Erläutern Sie, dass der Ansatz der Reduzierung der Lärmbelastung für Anwohner in der Umgebung eines Flughafens durch eine solche Gegenschallquelle am Boden prinzipiell nicht zielführend sein kann.	2
3	Betrachten Sie zunächst allgemein zwei gleichphasig schwingende punktförmige Wellenerreger im Abstand *d*. Geben Sie die Größe des maximal auftretenden Gangunterschieds an. Leiten Sie daraus eine Bedingung für den Wert des Abstands *d* her, unterhalb welchem an keinem Ort Interferenzminima auftreten.	3
	Eine technische Lösung zur Minderung der Lärmbelastung durch Flugzeuge, die sich aktuell im Entwicklungsstadium befindet, basiert auf der Erzeugung des Gegenschalls direkt an jedem Triebwerk des Flugzeugs. *„Besonders wichtig war es, den Gegenschall so zu regeln, dass der lärmende Ton nicht nur in einer Richtung, sondern ringsum in allen Abstrahlrichtungen leiser wird; und das ist uns gelungen“*, äußert sich dazu ein Ingenieur. *Quelle: Kempkens, 2015.*	
	Mithilfe einer Gegenschallquelle soll die Lärmbelastung, die ein Triebwerk verursacht, durch Interferenz verringert werden. Formulieren Sie ausgehend von den obigen Überlegungen ♦ eine Bedingung für den zulässigen Abstand zwischen der Schallquelle und der Quelle des Gegenschalls am Triebwerk sowie ♦ eine Aussage über die erforderliche Phasenbeziehung zwischen diesen beiden Schallquellen, um die vom Ingenieur formulierte Anforderung dahingehend erfüllen zu können, dass keine Interferenzmaxima auftreten.	3

Gehen Sie dabei weiterhin von punktförmigen Schallquellen aus, die nur eine einzige Schallfrequenz erzeugen.

4 Eine vorstellbare technische Umsetzung einer solchen Gegenschallquelle wird wie folgt beschrieben: 2

„(…) versucht man, durch geschickte Umlenkung des Schallweges im Triebwerk selbst einen Gegenschalleffekt zu erreichen.“

Quelle: DLR School Lab.

Sehr vereinfacht besteht die Grundidee (vgl. M 2) darin, einen Teil des entstehenden Schalls so umzuleiten, dass dadurch eine virtuelle zweite Schallquelle entsteht, die als Gegenschallquelle dient.

Nennen Sie eine Bedingung für die erforderlichen Weglängen in einer solchen Anordnung. Begründen Sie, dass diese Anordnung nicht für das gesamte Spektrum von erzeugten Schallfrequenzen geeignet ist.

5 Im Folgenden sollen Sie zwei Möglichkeiten zur Verminderung der Lärmbelastung der Bevölkerung in der Umgebung von Flughäfen betrachten: Einerseits die Verpflichtung der Fluggesellschaften, ihre Flugzeuge mit Einrichtungen zur Erzeugung von Gegenschall aufzurüsten, andererseits die Einführung von Nachtflugverboten, d. h. die Einschränkung der Zeiten, in denen auf den Flughäfen Flugzeuge starten und landen dürfen.

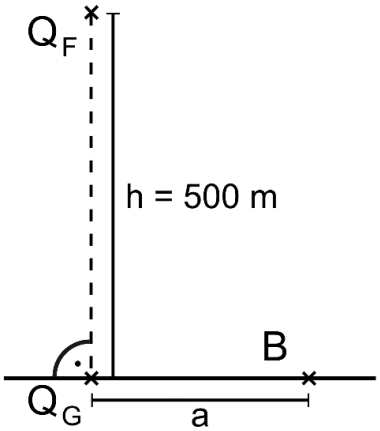
Vergleichen Sie diese beiden Alternativen im Hinblick auf die Kriterienbereiche Lärmschutz, Ökonomie sowie einen selbstgewählten, weiteren, relevanten Bereich. 6

Entscheiden Sie sich auf der Grundlage dieser Argumente reflektiert und rational für eine der beiden Alternativen. Begründen Sie Ihre Entscheidung. 5

2 Material

Material 1

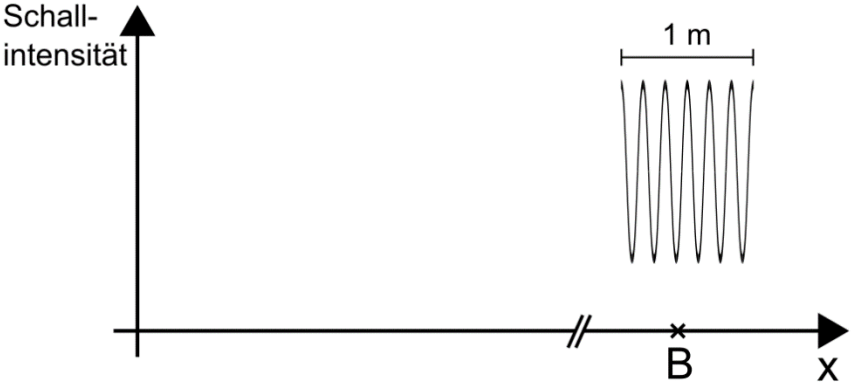
Interferenz zwischen einem Flugzeug als Schallquelle und einer Gegenschallquelle am Boden



Positionen Q_F des Flugzeugs, Q_G der Gegenschallquelle und B des Beobachters zum betrachteten Zeitpunkt.

Sowohl das Flugzeug F als auch der Gegenschallgenerator G werden näherungsweise als punktförmige Schallquellen betrachtet.

Abb. 1: Schallquelle und Gegenschallquelle am Boden, IQB



Wahrgenommene Schallintensität in der nahen Umgebung des Betrachters B.
x-Achse: Entfernung von der Gegenschallquelle am Boden.

Abb. 2: Ausschnitt aus der wahrgenommenen Schallintensität, IQB

Material 2

Skizze der Grundidee einer Möglichkeit zur Erzeugung von Gegenschall innerhalb des Triebwerks

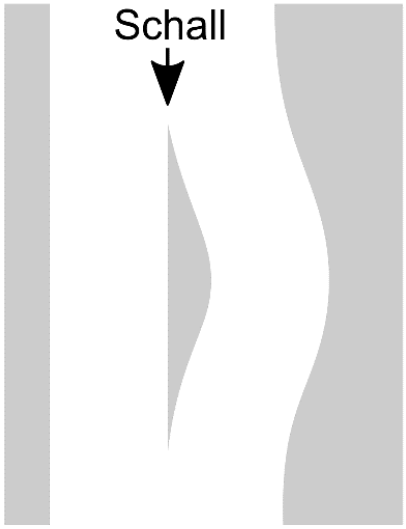


Abb. 3: Gegenschallerzeugung im Triebwerk, IQB

3 Erwartungshorizont

Der Erwartungshorizont stellt für jede Teilaufgabe eine mögliche Lösung dar. Nicht dargestellte korrekte Lösungen sind als gleichwertig zu akzeptieren.

		BE/AFB		
		I	II	III
1	*Ein Düsentriebwerk erzeugt ein breites Spektrum von Schallfrequenzen in unterschiedlicher Lautstärke. Eine dominante Frequenz liegt bei 1,2 kHz.* *Berechnen Sie die zugehörige Wellenlänge.* Die Lernenden … S 7 wenden bekannte mathematische Verfahren auf physikalische Sachverhalte an. Formelsammlung: $c = 343\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ $c = \lambda \cdot f \;\Rightarrow\; \lambda = \frac{c}{f} = 0{,}29$ m	1 2		
2	*Ein denkbarer Ansatz zur Schallminderung könnte es sein, am Boden in der Nähe des Flughafens eine Schallquelle zu installieren, die geeigneten Gegenschall aussendet (siehe M 1, Abb. 1).* *Erklären Sie mit Hilfe einer geeigneten Theorie qualitativ den Verlauf der in Abbildung 2 von M 1 dargestellten Kurve. Gehen Sie dabei davon aus, dass nur Schall einer einzigen Frequenz erzeugt wird.* Die Lernenden … E 6 erklären mithilfe bekannter Modelle und Theorien die in erhobenen oder recherchierten Daten gefundenen Strukturen und Beziehungen. Schall ist ein Wellenphänomen, die wahrgenommene Lautstärke wird durch die Amplitude der Schallwelle bestimmt. Im Kurvenverlauf zeigt sich das Ergebnis der Interferenz der von den beiden Schallquellen ausgesendeten Wellensysteme. Da der Abstand zwischen den beiden Quellen groß ist im Vergleich zur Wellenlänge, müssen die Interferenzmaxima und -minima nahe beieinander liegen. Die Amplituden der von den beiden Quellen ausgehenden Wellen sind am Ort von B unterschiedlich groß. Daher führt die destruktive Interferenz nicht zu einer Auslöschung, sondern lediglich zu einer Abschwächung. *Erläutern Sie, dass der Ansatz der Reduzierung der Lärmbelastung für Anwohner in der Umgebung eines Flughafens durch eine solche Gegenschallquelle am Boden prinzipiell nicht zielführend sein kann.*	2	2	2

	Die Lernenden … E 10 beziehen theoretische Überlegungen und Modelle zurück auf Alltagssituationen und reflektieren ihre Generalisierbarkeit. Interferenz kann sowohl – wie im Kontext dieser Anwendung intendiert – destruktiv sein, die Amplitude der Schallwelle und damit die Lärmbelastung also verringern, als auch konstruktiv sein, also die Lärmbelastung sogar vergrößern. (oder differenziertere Betrachtung: ♦ Die Interferenzmaxima und -minima liegen so nahe beieinander, dass es nicht möglich ist, die Lärmbelastung innerhalb eines größeren Bereichs auf diese Weise zu reduzieren ♦ Die Lage der Interferenzmaxima und -minima ändert sich mit der Position des Flugzeugs relativ zur Gegenschallquelle.)	2		
3	*Betrachten Sie zunächst allgemein zwei gleichphasig schwingende punktförmige Wellenerreger im Abstand d.* *Geben Sie die Größe des maximal auftretenden Gangunterschieds an.* *Leiten Sie daraus eine Bedingung für den Wert des Abstands d her, unterhalb welchem an keinem Ort Interferenzminima auftreten.* Die Lernenden … S 7 wenden bekannte mathematische Verfahren auf physikalische Sachverhalte an. Maximal möglicher Gangunterschied: $\Delta s_{max} = d$ Interferenzminima in der beschriebenen Standardsituation: $\Delta s = k \cdot \lambda - \frac{\lambda}{2}\,; k = 1, 2, 3, \ldots$ Interferenzminima treten nicht auf, wenn $\Delta s_{max} < \frac{\lambda}{2}$ ist. ⇒ Bedingung: $d < \frac{\lambda}{2}$ *Mithilfe einer Gegenschallquelle soll die Lärmbelastung, die ein Triebwerk verursacht, durch Interferenz verringert werden. Formulieren Sie ausgehend von den obigen Überlegungen* ♦ *eine Bedingung für den zulässigen Abstand zwischen der Schallquelle und der Quelle des Gegenschalls am Triebwerk sowie* ♦ *eine Aussage über die erforderliche Phasenbeziehung zwischen diesen beiden Schallquellen,* *um die vom Ingenieur formulierte Anforderung dahingehend erfüllen zu können, dass keine Interferenzmaxima auftreten.* *Gehen Sie dabei weiterhin von punktförmigen Schallquellen aus, die nur eine einzige Schallfrequenz erzeugen.* Die Lernenden … E 10 beziehen theoretische Überlegungen und Modelle zurück auf Alltagssituationen und reflektieren ihre Generalisierbarkeit.	1 1	1	

	Damit keine Interferenzmaxima auftreten, darf es in keiner Richtung zu konstruktiver Interferenz kommen. Es darf also nur ein Interferenzminimum nullter Ordnung geben. Damit dies der Fall ist, müssen die beiden Schallquellen gegenphasig schwingen und ihr Abstand darf nicht größer sein als die Hälfte der Wellenlänge des Schalls.		1	2
4	*Sehr vereinfacht besteht die Grundidee (vgl. M 2) darin, einen Teil des entstehenden Schalls so umzuleiten, dass dadurch eine virtuelle zweite Schallquelle entsteht, die als Gegenschallquelle dient.* *Nennen Sie eine Bedingung für die erforderlichen Weglängen in einer solchen Anordnung. Begründen Sie, dass diese Anordnung nicht für das gesamte Spektrum von erzeugten Schallfrequenzen geeignet ist.* Die Lernenden … S 7 wenden bekannte mathematische Verfahren auf physikalische Sachverhalte an. Die Anordnung muss so gestaltet werden, dass der Unterschied der beiden Weglängen die Bedingung $\Delta s = k \cdot \lambda - \frac{\lambda}{2}\,; k = 1, 2, 3, \ldots$ für destruktive Interferenz erfüllt. Diese Bedingung kann bei einer festen geometrischen Anordnung nur für bestimmte Wellenlängen erfüllt werden.	1	1	
5	*Im Folgenden sollen Sie zwei Möglichkeiten zur Verminderung der Lärmbelastung der Bevölkerung in der Umgebung von Flughäfen betrachten: Einerseits die Verpflichtung der Fluggesellschaften, ihre Flugzeuge mit Einrichtungen zur Erzeugung von Gegenschall aufzurüsten, andererseits die Einführung von Nachtflugverboten, d. h. die Einschränkung der Zeiten, in denen auf den Flughäfen Flugzeuge starten und landen dürfen.* *Vergleichen Sie diese beiden Alternativen im Hinblick auf die Kriterienbereiche Lärmschutz, Ökonomie sowie einen selbstgewählten, weiteren, relevanten Bereich.* *Entscheiden Sie sich auf der Grundlage dieser Argumente reflektiert und rational für eine der beiden Alternativen. Begründen Sie Ihre Entscheidung.* Die Lernenden … B 4 bilden sich reflektiert und rational in außerfachlichen Kontexten ein eigenes Urteil. (A1): Verpflichtung zu Aufrüstung; (A2): Nachtflugverbot Beispiele möglicher Argumentationen: <u>Vergleiche:</u> *Lärmschutz:* (A1): Die Lärmbelastung wird lediglich reduziert.		2	

(A2): Die Lärmbelastung entfällt vollständig, aber nur zu bestimmten Zeiten. In der übrigen Zeit ist die Lärmbelastung unverändert. Möglicherweise wird der Flugbetrieb in diesen Zeiten sogar ausgeweitet.

Ökonomie: 2
Hier betrachtet im Hinblick auf die Fluggesellschaften. Alternativ kann auch im Hinblick auf die Flughafenbetreiber argumentiert werden.
(A1): Die Umrüstung stellt einen hohen finanziellen Aufwand für die Fluggesellschaften dar. Dafür ist eine hohe Auslastung der Flugzeuge möglich.
(A2): Die Fluggesellschaften erleiden Umsatzeinbußen durch eine Einschränkung des Flugbetriebs.

Technologische Umsetzbarkeit: 2
(A1): Es ist die Entwicklung bzw. Weiterentwicklung geeigneter Technologien erforderlich. Die Aufrüstung ist technisch aufwändig und mit höherem zeitlichem Aufwand für die Umsetzung verbunden. Die prinzipielle Umsetzbarkeit ist gegeben.
(A2): Es ist keinerlei technischer Aufwand erforderlich, die Umsetzung kann (bis auf logistische Vorbereitungen) sofort erfolgen.

Auch ökologische Aspekte können als relevant angesehen werden. So kann ein Nachtflugverbot, sofern es zu einer Reduzierung der Flugbewegungen insgesamt führt, neben der Reduzierung der Lärmbelastung auch eine Minderung der CO_2-Emissionen mit sich bringen.

<u>Reflektierte, rationale Urteilsbildung:</u> 3

Bewertungsmaßstab: 5 Punkte für die optimale Erfüllung des Kriteriums, 0 Punkte für die schlechteste Erfüllung.

		Verpflichtung zu Aufrüstung		Nachtflugverbot	
Herangezogene Kriterien	Gewicht	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet
Lärmschutz	0,5	4	2,0	2	1,0
Ökonomie	0,2	1	0,2	3	0,6
Technologische Umsetzbarkeit	0,3	2	0,6	5	1,5
Gesamt	1		2,8		3,1

Trotz der Unterlegenheit im Hinblick auf den Lärmschutz überwiegt bei dieser Entscheidung knapp die Überlegenheit des Nachtflugverbots im Hinblick auf die Umsetzbarkeit.

Begründung der Gewichtungen: 2
Die ökonomischen Konsequenzen für die Fluggesellschaften spielen für mich nur eine nachgeordnete Rolle, da sie die breite Bevölkerung nicht

	unmittelbar betreffen und ich nicht befürchte, dass die Fluggesellschaften dadurch existenziell bedroht werden. Am wichtigsten ist mir Wirksamkeit, also die Effektivität des Lärmschutzes. Da es sich beim Fluglärm um ein Problem handelt, das für viele Menschen akut eine starke Beeinträchtigung darstellt, hat auch die Frage einer möglichst guten Umsetzbarkeit ein höheres Gewicht.			
	Summe	**10**	**16**	**4**
	Anteile der Bewertungseinheiten in Prozent	**33,3**	**43,3**	**13,3**

4 Standardbezug

Teilaufgabe	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1	7			
2		6, 10		
3	7	10		
4	7			
5				4

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[1] vorgesehen, das angibt, wie die in den drei Prüfungsteilen insgesamt erreichten Bewertungseinheiten in Notenpunkte umgesetzt werden.

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

6 Hinweise für die Lehrkraft

Zu Teilaufgabe 5

Das Ziel dieser Aufgabe ist es primär, zu zeigen, dass eine Vorgehensweise zur Generierung reflektierter rationaler Entscheidungen bekannt ist und (hier im Rahmen eines hier begrenzten Spektrums von Argumenten) durchgeführt werden kann. Angestrebt wird im Rahmen der Prüfung nicht die Generierung einer möglichst umfassenden Betrachtung mit dem Ziel einer bestmöglich fundierten Entscheidung, so wie sie im Rahmen einer Lernaufgabe angestrebt werden würde.

Die Argumentation in der stark vorstrukturierten Form der Nutzwertanalyse ist eine effiziente Möglichkeit der Darstellung, auch die Transparenz der Bewertung wird dadurch unterstützt.

Andere, weniger stark quantifizierte, dafür stärker verbalisierte Bearbeitungen sind denkbar und können gleichwertig sein. Transparente Bewertungsmaßstäbe müssen auch hier zur Anwendung kommen.

Zur Bewertung:

Es muss gegeben sein, dass die Vergabe der 0 bis 5 Punkte in den einzelnen Kriterienbereichen durch den Vergleich der beiden Alternativen im jeweiligen Bereich getragen wird. Die Begründung der relativen Gewichtungen muss angemessen dargestellt sein.

Vergleich der vorliegenden Aufgabe mit der Aufgabe zum gleichen Themenbereich für das erhöhte Anforderungsniveau

Dieses Beispiel einer Aufgabe für das grundlegende Anforderungsniveau soll exemplarisch aufzeigen, wie eine Aufgabenstellung zum Thema Interferenz denkbar ist, die weitgehend auf tradierte Rechenaufgaben verzichtet und stattdessen einen Schwerpunkt auf das grundlegende Verständnis und Erläuterungen zu diesem Phänomen setzt. Auch solche Inhalte sind den niedrigeren Anforderungsbereichen zuordenbar.

Bei der Zusammenstellung einer Prüfungsaufgabe wären die hier im Hintergrund gehaltenen Aspekte angemessen zu ergänzen.

- Teilaufgabe 2: Nach einem rechnerischen Einstieg in die Aufgabe mit der Teilaufgabe 1 zielt diese Teilaufgabe darauf ab, ein vorgegebenes Interferenzmuster zu erklären, überwiegend höheren Anforderungsbereichen zugeordnet.
  Im erhöhten Anforderungsniveau dient die entsprechende Teilaufgabe 1 auch dem Zweck eines rechnerischen Einstiegs, dort dem Anforderungsbereich I zugeordnet.
  Zur Diskussion der Eignung des betrachteten Verfahrens ist im grundlegenden Anforderungsniveau eine grundsätzliche Aussage zur Interferenz zur Beantwortung ausreichend, während im erhöhten Anforderungsniveau die Eignung anhand zweier Aspekte auch unter Bezugnahme auf die vorhergehenden Berechnungen konkret zu betrachten ist. Zusätzlich ist im erhöhten Anforderungsniveau die Eignung der verwendeten Modellierung zu beurteilen.
- Teilaufgabe 3: Im grundlegenden Anforderungsniveau erfolgt bei dieser Teilaufgabe eine stärkere Führung dadurch, dass zunächst eine vertraute Standardsituation betrachtet wird. Der sich daran anschließende Transfer auf die konkret betrachtete Anwendungssituation mit der Aufgabe, die entsprechenden Bedingungen selbst zu entwickeln, ist überwiegend

dem Anforderungsbereich III zugeordnet. In der entsprechenden Teilaufgabe 2 im erhöhten Anforderungsniveau müssen nicht geführt zwei zu erfüllende Bedingungen erläutert werden, zugeordnet dem Anforderungsbereich II.

- Teilaufgabe 4: Im grundlegenden Anforderungsniveau ist zur Bearbeitung dieser Teilaufgabe die vertraute allgemeine Bedingung für destruktive Interferenz anzugeben, im erhöhten Anforderungsniveau wird dagegen die Angabe zweier konkreter Werte, die zu destruktiver Interferenz führen, erwartet.
  Beide Fragestellungen sind dem Anforderungsbereich I zugeordnet.
  Im weiteren Verlauf der Teilaufgabe ist im erhöhten Anforderungsniveau das Zustandekommen eines vorgegebenen Versuchsergebnisses zu erklären. Diese Erklärung ist in Teilen dem Anforderungsbereich III zugeordnet.
  Im grundlegenden Anforderungsniveau ist an dieser Stelle lediglich eine elementarere, kurze Argumentation gefordert.
- Teilaufgabe 5: Bei der Aufgabenstellung für das grundlegende Anforderungsniveau sind zwei der drei zu betrachtenden relevanten Kriterienbereiche vorgegeben. In der entsprechenden Teilaufgabe 5 für das erhöhte Anforderungsniveau sind drei relevante Kriterienbereiche selbst zu identifizieren.
  Im erhöhten Anforderungsniveau kommt als dritter Aufgabenteil die Formulierung einer Kritik an der eigenen Argumentation und eine Erwiderung zu dieser Kritik hinzu.