Gemeinsame Abituraufgabenpools der Länder

Beispielaufgaben

Aufgabe für das Fach Physik

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	**Verringerung von Fluglärm durch Interferenz**
Anforderungsniveau	erhöht
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 ♦ M 3 Modellexperiment zur Interferenz durch Überlagerung zweier Wege
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 denkbarer Ansatz zur Schallminderung könnte es sein, am Boden in der Nähe des Flughafens eine Schallquelle zu installieren, die geeigneten Gegenschall aussendet.

Betrachten Sie die in M 1 modellhaft abgebildete Situation. Dargestellt sind zwei punktförmige Quellen Q_F und Q_G, die gleichphasig schwingen und Schall der Wellenlänge 30 cm aussenden. Untersuchen Sie rechnerisch das Resultat der Überlagerung dieser beiden Wellensysteme am Ort B für die beiden Fälle $a_1 = 9{,}90$ m und $a_2 = 10{,}05$ m. **4**

Erklären Sie anhand zweier Aspekte, dass dieser Ansatz zur Minderung der Lärmbelastung durch Interferenz unter Verwendung einer ortsfesten Gegenschallquelle am Boden in der Praxis nicht geeignet ist. Beziehen Sie dabei auch die Ergebnisse für die zwei oben betrachteten Positionen B mit ein. **2**

Nehmen Sie anhand eines Aspekts begründet Stellung zur Eignung der in dieser Teilaufgabe verwendeten Modellierung. **2**

2 Eine technische Lösung, 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.

Gehen Sie von punktförmigen Schallquellen aus, die nur eine einzige Schallfrequenz mit einer Wellenlänge von 30 cm erzeugen. Diese Wellenlänge entspricht näherungsweise einer Frequenz von 1,2 kHz, einer der dominanten Frequenzen im Schallspektrum eines Triebwerks.

Erläutern Sie, dass das Triebwerk als Schallquelle und die Quelle des Gegenschalls am Triebwerk gegenphasig schwingen müssen und weniger als eine halbe Wellenlänge voneinander entfernt sein müssen, um durch Interferenz die vom Ingenieur formulierte Anforderung dahingehend erfüllen zu können, dass keine Interferenzmaxima auftreten. **4**

Berechnen Sie die Größe des maximalen Abstands zwischen dem Triebwerk und der Gegenschallquelle, wenn der gesamte von einem durchschnittlichen menschlichen Ohr wahrnehmbare Frequenzbereich (20 Hz bis 20 kHz) betrachtet wird. **2**

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

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

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

Geben Sie zwei mögliche Werte für den Längenunterschied der beiden Wege, die der Schall durch diese Anordnung gehen kann, damit Schall mit einer Wellenlänge von 30 cm durch destruktive Interferenz abgeschwächt wird. 2

Die Abschwächung des Schalls durch einen solchen zweiten Weg im Triebwerk wird mithilfe eines Modells entsprechend der Abbildung 2 in M 2 experimentell untersucht. Betrachtet wird dabei der Frequenzbereich von 500 Hz bis 10 kHz, die Amplitude des Schalls ist dabei im gesamten Frequenzbereich gleich. 4

Abbildung 3 in M 2 zeigt in idealisierter Form qualitativ die nach dieser Anordnung gemessene Schallamplitude in Abhängigkeit von der Frequenz. Erklären Sie das Zustandekommen dieses Frequenzspektrums.

4 Die in Teilaufgabe 3 beschriebene Methode zur Abschwächung einer Welle durch Interferenz soll in einem Versuch unter Verwendung eines Lasers modellhaft nachgebildet werden. Die Abbildung in M 3 zeigt die Versuchsanordnung.

Erläutern Sie, welchen Elementen des Realsystems aus Teilaufgabe c die einzelnen Komponenten dieses experimentellen Aufbaus entsprechen. 3

Beurteilen Sie, ob dieses Modellexperiment das Realsystem angemessen abbildet. 2

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 drei relevante Kriterienbereiche. 6

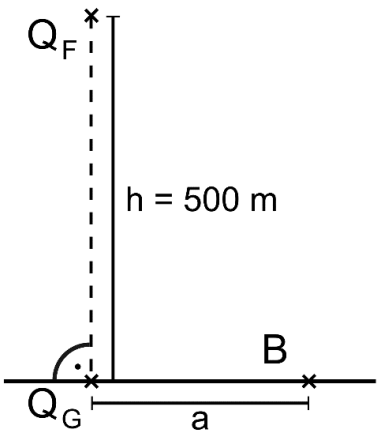
Entscheiden Sie sich auf der Grundlage dieser Argumente reflektiert und rational für eine der beiden Alternativen. Begründen Sie Ihre Entscheidung. 5

Formulieren Sie einen denkbaren Kritikpunkt gegen Ihre Entscheidung und entgegnen Sie dieser Kritik argumentativ. 4

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

Material 2

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

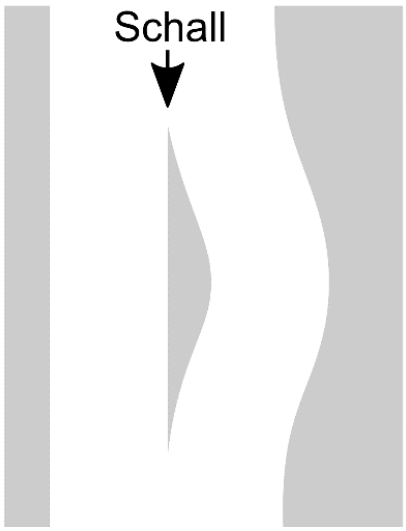


Abb. 2: Skizze der Grundidee, IQB

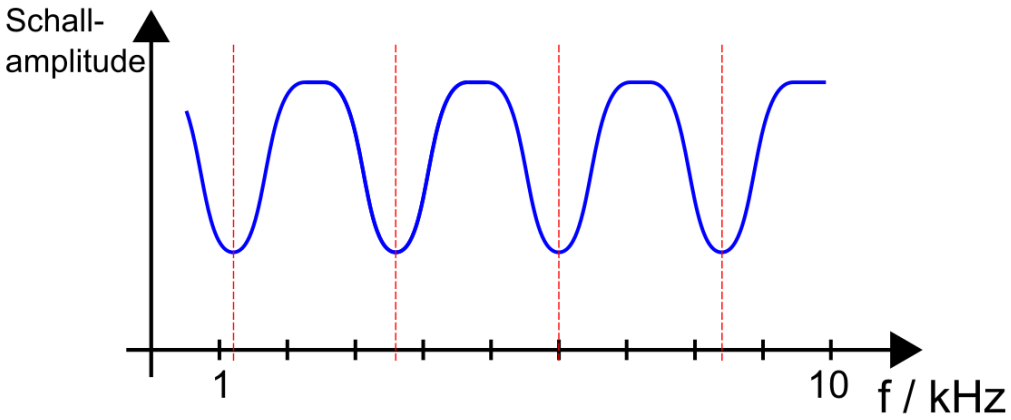


Abb. 3: Amplitude in Abhängigkeit der Frequenz, IQB

Material 3

Modellexperiment zur Interferenz durch Überlagerung zweier Wege

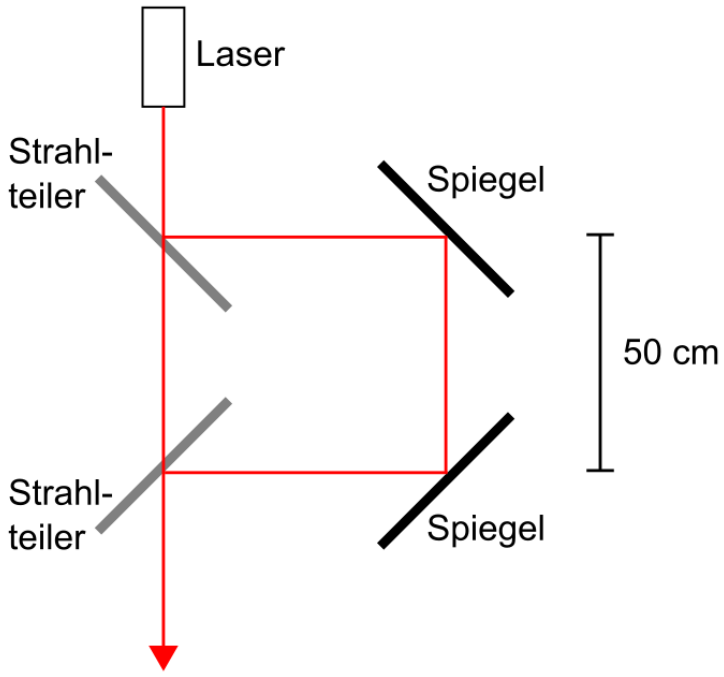


Abb. 4: Modellexperiment, IQB

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 denkbarer Ansatz zur Schallminderung könnte es sein, am Boden in der Nähe des Flughafens eine Schallquelle zu installieren, die geeigneten Gegenschall aussendet.* *Betrachten Sie die in M 1 modellhaft abgebildete Situation. Dargestellt sind zwei punktförmige Quellen Q_F und Q_G, die gleichphasig schwingen und Schall der Wellenlänge 30 cm aussenden. Untersuchen Sie rechnerisch das Resultat der Überlagerung dieser beiden Wellensysteme am Ort B für die beiden Fälle a_1 = 9,90 m und a_2 = 10,05 m.* Die Lernenden … S 7 wenden bekannte mathematische Verfahren auf physikalische Sachverhalte an. $\Delta s = \sqrt{h^2 + a^2} - a$; a_1: $\Delta s = 490{,}20\ \text{m} = 1634 \cdot \lambda$ ⇒ konstruktive Interferenz a_2: $\Delta s = 490{,}05\ \text{m} = 1633{,}5 \cdot \lambda$ ⇒ destruktive Interferenz *Erklären Sie anhand zweier Aspekte, dass dieser Ansatz zur Minderung der Lärmbelastung durch Interferenz unter Verwendung einer ortsfesten Gegenschallquelle am Boden in der Praxis nicht geeignet ist. Beziehen Sie dabei auch die Ergebnisse für die zwei oben betrachteten Positionen B mit ein.* Die Lernenden … E 10 beziehen theoretische Überlegungen und Modelle zurück auf Alltagssituationen und reflektieren ihre Generalisierbarkeit. Beispiele möglicher Antworten: ♦ Die Interferenzmaxima und -minima liegen aufgrund des im Vergleich zur Wellenlänge sehr großen Abstands der Schallquellen 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.)	1 3	2	

	Nehmen Sie anhand eines Aspekts begründet Stellung zur Eignung der in dieser Teilaufgabe verwendeten Modellierung. Die Lernenden … S 2 erläutern Gültigkeitsbereiche von Modellen und Theorien und beschreiben deren Aussage- und Vorhersagemöglichkeiten. Beispiele möglicher Antworten (die Nennung eines Aspekts genügt): Die Modellierung hat erhebliche Schwächen. ♦ Die Annahme punktförmiger Schallquellen ist eine zu starke Näherung. Die Abmessungen (der Querschnitt) eines Triebwerks ist deutlich größer als die betrachtete Wellenlänge. ♦ Die Betrachtung nur einer Schallfrequenz ist eine nicht angemessene Vereinfachung. Beide genannten Aspekte führen dazu, dass keine scharf lokalisierten Interferenzminima und -maxima auftreten.		2	
2	*Gehen Sie von punktförmigen Schallquellen aus, die nur eine einzige Schallfrequenz mit einer Wellenlänge von 30 cm erzeugen. Diese Wellenlänge entspricht näherungsweise einer Frequenz von 1,2 kHz, einer der dominanten Frequenzen im Schallspektrum eines Triebwerks.* *Erläutern Sie, dass das Triebwerk als Schallquelle und die Quelle des Gegenschalls am Triebwerk gegenphasig schwingen müssen und weniger als eine halbe Wellenlänge voneinander entfernt sein müssen, um durch Interferenz die vom Ingenieur formulierte Anforderung dahingehend erfüllen zu können, dass keine Interferenzmaxima auftreten.* Die Lernenden … S 1 erklären Phänomene unter Nutzung bekannter physikalischer Modelle und Theorien. Wenn die beiden Schallquellen gegenphasig schwingen, dann entsteht beim Gangunterschied Null das Interferenzminimum nullter Ordnung. Das erste Interferenzmaximum würde für den Gangunterschied $\Delta s = \frac{1}{2}\,\lambda$ auftreten. Dieser Gangunterschied soll also in der betrachteten Anordnung nicht möglich sein. Der maximal mögliche Gangunterschied ist gleich dem Abstand d der beiden Quellen: $\Delta s_{max} = d$. Dieser soll kleiner sein als $\frac{1}{2}\,\lambda$. Also muss gelten: $d < \frac{1}{2}\,\lambda$. *Berechnen Sie die Größe des maximalen Abstands zwischen dem Triebwerk und der Gegenschallquelle, wenn der gesamte von einem durchschnittlichen menschlichen Ohr wahrnehmbare Frequenzbereich (20 Hz bis 20 kHz) betrachtet wird.*		4	

	Die Lernenden … S 7 wenden bekannte mathematische Verfahren auf physikalische Sachverhalte an. Der angegebene Frequenzbereich entspricht einem Wellenlängenbereich von $\lambda_{min} = \frac{c}{f_{max}} = 1{,}7\ \text{cm}$ bis $\lambda_{max} = \frac{c}{f_{min}} = 17\ \text{m}$. Der Abstand müsste weniger als $\frac{1}{2} \cdot 1{,}7\ cm = 0{,}85\ cm$ betragen.	2		
3	*Sehr vereinfacht besteht die Grundidee (vgl. Abb. 2 in M 2) darin, einen Teil des entstehenden Schalls so umzuleiten, dass dadurch eine virtuelle zweite Schallquelle entsteht, die als Gegenschallquelle dient.* *Geben Sie zwei mögliche Werte für den Längenunterschied der beiden Wege, die der Schall durch diese Anordnung gehen kann, damit Schall mit einer Wellenlänge von 30 cm durch destruktive Interferenz abgeschwächt wird.* Die Lernenden … S 7 wenden bekannte mathematische Verfahren auf physikalische Sachverhalte an. Zu einer Abschwächung durch destruktive Interferenz kommt es beispielsweise für einen Weglängenunterschied von $\Delta s = \frac{1}{2} \cdot \lambda = 15\ \text{cm}$ oder einen Weglängenunterschied von $\Delta s = \frac{3}{2} \cdot \lambda = 45\ \text{cm}$. *Die Abschwächung des Schalls durch einen solchen zweiten Weg im Triebwerk wird mithilfe eines Modells entsprechend der Abbildung 2 in M 2 experimentell untersucht. Betrachtet wird dabei der Frequenzbereich von 500 Hz bis 10 kHz, die Amplitude des Schalls ist dabei im gesamten Frequenzbereich gleich.* *Abbildung 3 in M 2 zeigt in idealisierter Form qualitativ die nach dieser Anordnung gemessene Schallamplitude in Abhängigkeit von der Frequenz. Erklären Sie das Zustandekommen dieses Frequenzspektrums.* Die Lernenden … E 6 erklären mithilfe bekannter Modelle und Theorien die in erhobenen oder recherchierten Daten gefundenen Strukturen und Beziehungen. Bedingung für die Verringerung der Amplitude durch destruktive Interferenz: $\lvert\Delta s\rvert = k \cdot \lambda - \frac{\lambda}{2} = \left(k - \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda = \left(k - \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{c}{f}$ mit $k = 1, 2, 3, \ldots$	2 2		

	Durch die Versuchsanordnung ist ein bestimmter Wert für den Weglängenunterschied Δs vorgegeben. $\Rightarrow f = \frac{c}{\lvert\Delta s\rvert} \cdot \left(k - \frac{1}{2}\right)$. ⇒ Destruktive Interferenz (d. h. maximale Abschwächung) für einzelne äquidistante Frequenzen im untersuchten Frequenzbereich.			2
4	*Die in Teilaufgabe 3 beschriebene Methode zur Abschwächung einer Welle durch Interferenz soll in einem Versuch unter Verwendung eines Lasers modellhaft nachgebildet werden. Die Abbildung in M 3 zeigt die Versuchsanordnung.* *Erläutern Sie, welchen Elementen des Realsystems aus Teilaufgabe c die einzelnen Komponenten dieses experimentellen Aufbaus entsprechen.* Die Lernenden … S 5 erklären bekannte Messverfahren sowie die Funktion einzelner Komponenten eines Versuchsaufbaus. Der Laser entspricht der Schallquelle. Die Strahlteiler erfüllen die Funktion der Verzweigungen der Schallwege im Realsystem (oberer Strahlteiler: Auftrennung des Schallwegs; unterer Strahlteiler: Zusammenführung der beiden Wege). Die Spiegel dienen der Realisierung des zweiten, längeren Weges. *Beurteilen Sie, ob dieses Modellexperiment das Realsystem angemessen abbildet.* Die Lernenden … E 8 beurteilen die Eignung physikalischer Modelle und Theorien für die Lösung von Problemen. Die entscheidende Schwäche des Modellexperiments liegt in den Größenordnungen: Das Realsystem in einem Triebwerk ist um einen Faktor geringer als 10 größer als das Modellexperiment, die Wellenlänge des Schalls ist dagegen um einen Faktor einer Größenordnung um 10^6 größer als die von Licht. Im Modellexperiment treten also erheblich höhere und enger zusammenliegende Interferenzordnungen auf als im Realsystem. *Es gibt andere denkbare Begründungen, z. B. dass ein Laser nur eine diskrete Wellenlänge emittiert, ein Triebwerk aber ein breites Spektrum von Schallfrequenzen erzeugt.* *Auch eine positive Antwort kann akzeptiert werden und auch zur Vergabe der vollen Anzahl von Bewertungseinheiten führen, sofern sie gut begründet wird.*		3	2

5	*Vergleichen Sie diese beiden Alternativen im Hinblick auf drei relevante Kriterienbereiche.* *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: Die sinnvolle Auswahl relevanter Kriterienbereiche ist eine prüfungsrelevante Leistung. Die hier ausgeführten drei Bereiche Lärmschutz, Ökonomie und technische Umsetzbarkeit sind hierfür beispielhaft. <u>Vergleiche:</u> *Lärmschutz:* (A1): Die Lärmbelastung wird lediglich reduziert. (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:* 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:* (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.		2 2 2	

Reflektierte, rationale Urteilsbildung: 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.

Formulieren Sie einen denkbaren Kritikpunkt gegen Ihre Entscheidung und entgegnen Sie dieser Kritik argumentativ.

Die Lernenden …

K 9 Die Lernenden tauschen sich mit anderen konstruktiv über physikalische Sachverhalte aus, vertreten, reflektieren und korrigieren gegebenenfalls den eigenen Standpunkt.

Individuelle Lösungen. 4

Mögliche Kritikpunkte:

- Auswahl der betrachteten Kriterienbereiche
- Berücksichtigte Argumente innerhalb eines Bereichs
- Bewertung innerhalb eines Bereichs
- Gewichtung der Bereiche bzw. Begründung dieser Gewichtung

	Für die Bewertung relevant ist sowohl im Hinblick auf die formulierte Kritik als auch im Hinblick auf die Entgegnung eine rationale Argumentationsweise.			
	Summe	**10**	**22**	**8**
	Anteile der Bewertungseinheiten in Prozent	**25**	**55**	**20**

4 Standardbezug

Teilaufgabe	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1	2, 7	10		
2	1, 7			
3	7	6		
4	5	8		
5			9	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 grundlegende Anforderungsniveau

Dieses Beispiel einer Aufgabe für das erhöhte Anforderungsniveau enthält einen etwas höheren Anteil an tradierten Rechenaufgaben als die Aufgabe zum gleichen Thema für das grundlegende Anforderungsniveau. Diese Aufgabenteile decken hier im Wesentlichen den Anforderungsbereich I ab. Auch bei dieser Aufgabe liegt der Schwerpunkt aber auf dem Verständnis und auf Erläuterungen zum Phänomen Interferenz.

Die Bestandteile, die dem Anforderungsbereich III zugeordnet sind, liegen in Teilaufgaben, die im grundlegenden Anforderungsniveau nicht enthalten sind.

- Teilaufgabe 1: Der erste Aufgabenteil soll rechnerisch einen Einstieg in die gesamte Aufgabe bieten (Anforderungsbereich I).
  Dem entsprechenden Zweck dient im grundlegenden Anforderungsniveau eine andere Einstiegsaufgabe. Dort zielt die dieser Aufgabe entsprechende Teilaufgabe 2 darauf ab, ein vorgegebenes Interferenzmuster zu erklären, überwiegend höheren Anforderungsbereichen zugeordnet.
  Die Eignung des betrachteten Verfahrens ist im erhöhten Anforderungsniveau anhand zweier Aspekte auch unter Bezugnahme auf die vorhergehenden Berechnungen konkret zu betrachten, auf dem grundlegenden Anforderungsniveau ist eine grundsätzliche Aussage zur Interferenz zur Beantwortung ausreichend.
  Zusätzlich ist im erhöhten Anforderungsniveau die Eignung der verwendeten Modellierung zu beurteilen.
- Teilaufgabe 2: Im erhöhten Anforderungsniveau müssen bei dieser Teilaufgabe nicht geführt zwei zu erfüllende Bedingungen erläutert werden, zugeordnet dem Anforderungsbereich II. In der entsprechenden Teilaufgabe 3 im grundlegenden Anforderungsniveau erfolgt 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.

- Teilaufgabe 3: Im erhöhten Anforderungsniveau sind zwei konkrete Werte, die zu destruktiver Interferenz führen, anzugeben.
  Im der entsprechenden Teilaufgabe 4 des grundlegenden Anforderungsniveaus ist hier die vertraute allgemeine Bedingung für destruktive Interferenz anzugeben.
  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 erhöhte Anforderungsniveau sind die geforderten drei relevanten Kriterienbereiche selbst zu identifizieren.
  In der entsprechenden Teilaufgabe 5 im grundlegenden Anforderungsniveau sind zwei dieser drei Kriterienbereiche vorgegeben.
  Im erhöhten Anforderungsniveau kommt als dritter Aufgabenteil die Formulierung einer Kritik an der eigenen Argumentation und eine Erwiderung zu dieser Kritik hinzu.
  Bei der Bearbeitung im erhöhten Anforderungsniveau können im Vergleich zum grundlegenden Anforderungsniveau differenziertere Begründungen und präzisere fachliche Formulierungen erwartet werden.