Gemeinsame Aufgabenpools der Länder

Pool für das Jahr 2026

Aufgaben für das Fach Physik

Aufgabentitel	**Erdbebenwellen**
Anforderungsniveau	grundlegend
Inhaltsbereiche	♦ Mechanische und elektromagnetische Schwingungen und Wellen ♦ Schwingungen ♦ mechanische und elektromagnetische harmonische Schwingungen: charakteristische Größen und ihre Zusammenhänge
Materialien	♦ M 1 Vereinfachtes Modell der Ausbreitung von Erdbebenwellen ♦ M 2 Seismogramm eines Erdbebens ♦ M 3 Modellhafte Betrachtung der Schwingung eines Gebäudes nach einmaliger Anregung ♦ M 4 Zugabbremsung bei Erdbeben in Japan
Quellenangaben	♦ M 1 in Anlehnung an: *Seismische Wellen* (o. D.), https://www.geophysik.uni-muenchen.de/~igel/Lectures/AG-I_new/5_apl_seismischewellen.pdf (Zugriff am: 06.07.2026) ♦ M 2 in Anlehnung an: GFZ Helmholtz-Zentrum Potsdam (Hg.). https://media.gfz-pots-dam.de/gfz/wv/pm/20/11374_gfz2020vimx.png (Zugriff am: 19.11.2024) ♦ M 4 Muschner, A. (2024, 4. Januar). *East Japan Railway Co. verbessert System zur Erdbebenerkennung*. Sumika - Magazin rund um Japan. https://sumikai.com/nachrichten-aus-japan/east-japan-railway-co-verbessert-system-zur-erdbebenerkennung-337654/ (Zugriff am: 19.11.2024)
Hilfsmittel	♦ digitales Hilfsmittel, das mindestens die Funktionalität eines WTR hat ♦ mathematisch-naturwissenschaftliche Formelsammlung
fachpraktischer Anteil	ja ☐ nein ☒ Zeitzuschlag: —
Hinweise	Die Aufgabe 4 bezieht sich gegenüber dem o. g. Schwerpunkt auf das Thema „Veränderliche elektromagnetische Felder“ im Inhaltsbereich „Elektrische und magnetische Felder“.

1 Aufgabe

Erdbebenwellen

Erdbeben fordern immer wieder Menschenleben und zerstören Infrastruktur. Mithilfe von Seismometern können Daten über Erdbebenwellen gewonnen werden, mit denen sich Schlussfolgerungen über den Entstehungsort und die Stärke des Erdbebens ziehen lassen.
Mithilfe von Sensoren lassen sich auch die Schwingungen von Bauwerken nachweisen, die sie infolge von Erdbebenstößen ausführen.

		BE
1	Bei Erdbebenwellen werden unter anderem Longitudinalwellen und Transversalwellen unterschieden.	
	a Beschreiben Sie den Unterschied dieser beiden Wellenarten.	2
	b Erdbebenwellen können auch in großer Entfernung von ihrem Entstehungsort nachgewiesen werden. Erläutern Sie unter Berücksichtigung der Modellvorstellungen in Material 1 die Ausbreitung einer Erdbebenwelle in die in Abbildung 1 dargestellte Richtung.	5
2	**a** Ermitteln Sie mithilfe der im Material 2 angegeben Gleichung die Entfernung s zwischen dem Entstehungsort des Erdbebens und dem Seismometer.	3
	b Leiten Sie diese Gleichung her.	4
3	P- und S-Wellen können Gebäude, z. B. Hochhäuser, zum Schwingen anregen. Um Gefahren für Mensch und Bauwerk zu vermeiden, müssen diese Schwingungen sorgfältig überwacht werden. In Material 3 ist ein vereinfachtes Messprinzip vorgestellt, mit dem die Schwingungen eines Gebäudes erfasst werden können.	
	a Der Schwingungsvorgang in Material 3 Abb. 4 kann mit der Gleichung $s(t) = s_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$ beschrieben werden. Ermitteln Sie aus der Abbildung die Werte für s_{max} und ω.	5
	b Ermitteln Sie die Geschwindigkeit, die das Massestück zum Zeitpunkt $t = 0$ s besitzt.	4
4	Bei den meisten modernen Seismometern werden die Schwingungen des Massestücks in elektrische Schwingungen umgewandelt. In dieser Form lassen sich die gemessenen Signale besser weiterverarbeiten. Planen Sie eine Erweiterung des Modellexperiments in Abbildung 3 im Material 3, mit der es möglich ist, die mechanischen Schwingungen des Massestücks in elektrische Schwingungen umzuwandeln. Erläutern Sie hierzu den Versuchsaufbau und die Umwandlung der Größen.	4
5	Die japanische Eisenbahngesellschaft East Japan Railway Co. bremst ihre Züge automatisch ab, wenn im betreffenden Gebiet Erdbeben ab einer bestimmten Intensität auftreten. Durch zwei Maßnahmen soll das System verbessert werden, siehe Material 4. Beurteilen Sie qualitativ die Konsequenzen der beiden Maßnahmen für die Fahrgäste. Gehen Sie dabei auch auf den Zweck der Maßnahmen und den Abstand zwischen dem Entstehungsort des Erdbebens und der Bahnstrecke ein.	3

2 Material

Material 1: Vereinfachtes Modell der Ausbreitung von Erdbebenwellen

Ein Bereich über dem Punkt P der äußeren Schicht der Erde wird durch einen Erdbebenstoß nach oben bewegt, siehe Abb. 1.

Für eine vereinfachte Erklärung der Ausbreitung einer bestimmten Wellenart lässt sich folgendes Modell nutzen:

Man stellt sich vor, dass die äußere Schicht der Erde aus vielen nebeneinander liegenden Masseelementen besteht, in der Abb. 1 dargestellt durch kleine Würfel. Diese können als gekoppelte schwingungsfähige Körper aufgefasst werden.

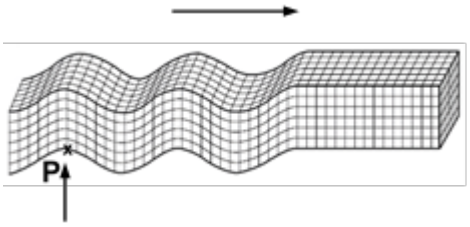


Abb. 1: Erdbebenwellenausbreitung am Beispiel einer Wellenart

Material 2: Seismogramm eines Erdbebens

Tritt ein Erdbeben auf, breiten sich von seinem Entstehungsort verschiedene Erdbebenwellen aus. Mit Seismometern können die durch ein Erdbeben ausgelösten Bodenschwingungen an Orten erfasst werden, die sich bis zu mehrere Tausend Kilometer vom Entstehungsort des Erdbebens entfernt befinden. Dabei werden Seismogramme erzeugt, in denen die Elongation in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt werden, siehe Abbildung 2.

In Seismogrammen werden unter anderen P-Wellen (Primärwellen) und S-Wellen (Sekundärwellen) unterschieden. Während P-Wellen Longitudinalwellen darstellen, handelt es sich bei S-Wellen um Transversalwellen. Die zerstörende Wirkung von Erdbeben geht von den S-Wellen aus. Da sich P- und S-Wellen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten v_P und v_S ausbreiten, treffen sie nach unterschiedlichen Zeiten am Ort der Messung ein. Erreicht eine P-Welle zu der Zeit t_P das Seismometer, dann trifft die S-Welle erst zum Zeitpunkt $t_P + \Delta t$ dort ein.

Die Entfernung s zwischen dem Entstehungsort des Erdbebens und dem Seismometer kann mithilfe der Gleichung $s = \frac{v_P \cdot v_S \cdot \Delta t}{v_P - v_S}$ bestimmt werden. In Abbildung 2 sind die Zeitpunkte markiert, in denen die P- und S-Wellen am Seismometer eingetroffen sind.

Für diese Aufgabe kann angenommen werden, dass sich die P-Wellen mit der Geschwindigkeit $v_P = 5{,}7\,\frac{\text{km}}{\text{s}}$ ausbreiten und die S-Wellen mit der Geschwindigkeit $v_S = 3{,}3\,\frac{\text{km}}{\text{s}}$.

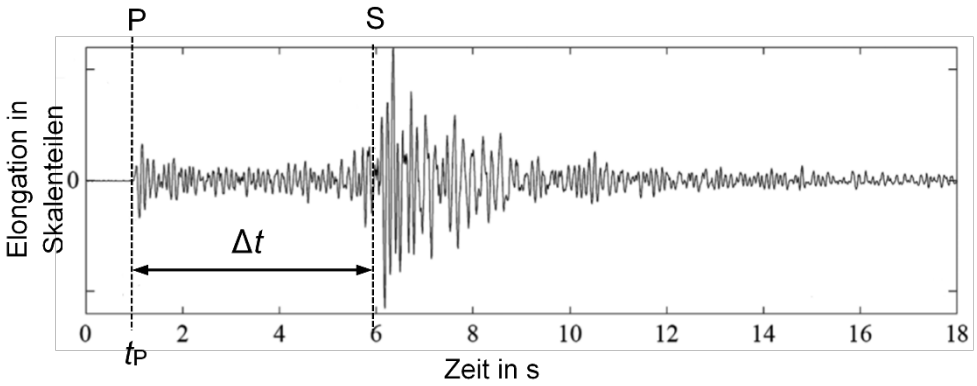


Abb. 2: Elongation in Abhängigkeit von der Zeit

Material 3: Modellhafte Betrachtung der Schwingung eines Gebäudes nach einmaliger Anregung

Die Abbildung 3 veranschaulicht ein einfaches Modellexperiment, mit dem die Schwingungen eines Gebäudes erfasst werden können.

Das Gebäude wird im Modell durch eine Blattfeder repräsentiert, an deren oberem Ende ein Massestück befestigt ist. Der Untergrund, auf dem das Gebäude steht, wird durch einen Holzquader dargestellt. Mit einem Hammer wird der Holzquader in Höhe des Pfeils kurz angeschlagen. Hierdurch wird ein Erdbeben simuliert. Daraufhin beginnt die Blattfeder zu schwingen.

Die Elongationen werden in Abhängigkeit von der Zeit erfasst. Abbildung 4 zeigt ein idealisiertes Beispiel hierfür.

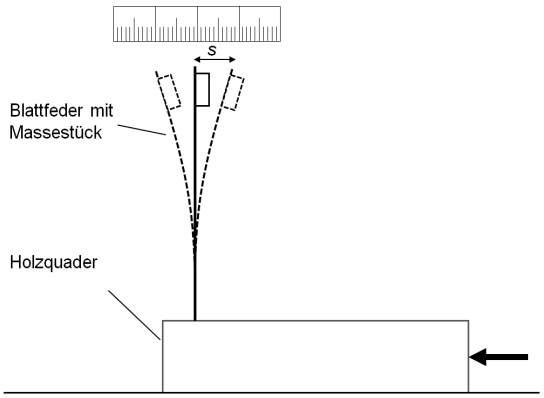


Abb. 3: Modellexperiment zur Erfassung einer Gebäudeschwingung

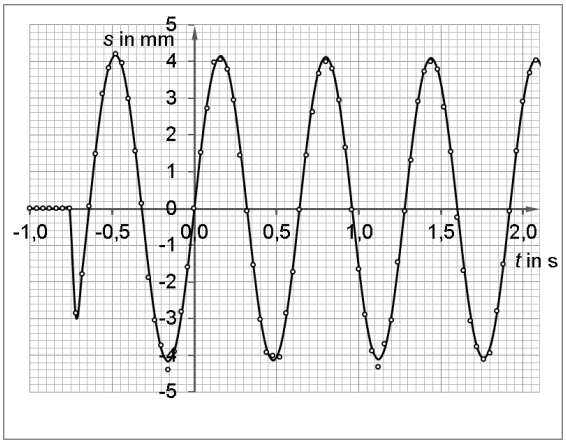


Abb. 4: Elongation in Abhängigkeit von der Zeit

Material 4: Zugabbremsung bei Erdbeben in Japan

Die japanische Eisenbahngesellschaft East Japan Railway Co. plante Anfang 2024 die Zugabbremsung ihrer Hochgeschwindigkeitszüge bei Erdbeben durch folgende Maßnahmen zu verändern:

- Die Zeit zwischen der Erfassung des Erdbebens und dem Betätigen der Notbremse soll von durchschnittlich 3,9 Sekunden auf 1,3 Sekunden verkürzt werden.
- Der Bremsweg und damit die Bremszeit werden verringert. Beispielsweise soll der Bremsweg eines Shinkansen-Hochgeschwindigkeitszugs, der mit einer Geschwindigkeit von 320 Kilometer pro Stunde unterwegs ist, um etwa 230 Meter verkürzt werden.

Bei der automatischen Zugabbremsung wird ausgenutzt, dass an einem Ort, der sich in einiger Entfernung zum Entstehungsort des Erdbebens befindet, die P-Wellen vor den zerstörerischen S-Wellen eintreffen.

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	Bei einer Transversalwelle schwingen die Oszillatoren quer zur Ausbreitungsrichtung. Bei Longitudinalwellen schwingen die Oszillatoren in Richtung der Ausbreitungsrichtung.	2		
	b	Für das Entstehen einer Welle ist ein System aus gekoppelten schwingungsfähigen Körpern erforderlich, die um ihre Ruhelage schwingen können. Die Masseelemente der äußeren Schicht der Erde kann man sich gemäß Material 1 als ein solches System vorstellen. Die zweite Voraussetzung, die erfüllt sein muss, besteht darin, dass diesem System beispielsweise im Punkt P (Abb. 1. in M 1) einmalig Energie zugeführt wird, z. B. durch einen Erdbebenstoß. Dadurch wirkt auf die Masseelemente über dem Punkt P kurzzeitig eine Kraft und sie bewegen sich nach oben. Durch Rückstellkräfte bewegen sie sich wieder nach unten. Diese Bewegung wird auf benachbarte Masseelemente auch in horizontaler Richtung übertragen. Die Schwingungen breiten sich deshalb mit der Zeit in horizontaler Richtung aus.		5	
2	a	Aus dem Diagramm wird abgelesen: $\Delta t = 5\ \text{s}$ $s = \dfrac{5{,}7\ \frac{\text{km}}{\text{s}} \cdot 3{,}3\ \frac{\text{km}}{\text{s}} \cdot 5\ \text{s}}{5{,}7\ \frac{\text{km}}{\text{s}} - 3{,}3\ \frac{\text{km}}{\text{s}}} = 39\ \text{km}$	3		
	b	Aus $s = v_\text{P} \cdot t_\text{P}$ und $s = v_\text{S} \cdot (t_\text{P} + \Delta t)$ folgt durch Gleichsetzen von *s*: $v_\text{P} \cdot t_\text{P} = v_\text{S} \cdot (t_\text{P} + \Delta t)$ Löst man diese Gleichung nach t auf, erhält man: $t_\text{P} = \dfrac{v_\text{S} \cdot \Delta t}{v_\text{P} - v_\text{S}}$ Die erhaltene Größe t wird in die Gleichung $s = v_\text{P} \cdot t_\text{P}$ eingesetzt und es ergibt sich: $s = \dfrac{v_\text{P} \cdot v_\text{S} \cdot \Delta t}{v_\text{P} - v_\text{S}}$		4	
3	a	Aus dem Diagramm lässt sich die maximale Elongation der Schwingung ablesen: $s_\text{max} = 4{,}1\,\text{mm}$.	5		

	Aus dem Diagramm lässt sich ermitteln, dass in der Zeit $t = 1{,}9\ \text{s}$ $n = 3$ Schwingungen ausgeführt werden. Somit gilt: $T = \frac{t}{n} = \frac{1{,}9\ \text{s}}{3} = 0{,}63\ \text{s}$ Hieraus lässt sich die Kreisfrequenz ermitteln: $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0{,}63\ \text{s}} = 9{,}9\frac{1}{\text{s}}$ **b** Die Geschwindigkeit v entspricht der Steigung des Graphen von $s(t)$ in Abb. 4 im M 3 im Diagramm zum Zeitpunkt $t = 0$ s. $v(0\ \text{s}) = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} = \frac{2\ \text{mm} - (-2\ \text{mm})}{0{,}05\ \text{s} - (-0{,}05\ \text{s})} = 40\ \frac{\text{mm}}{\text{s}}$ Oder: Für die Geschwindigkeit einer harmonischen Schwingung gilt: $v(t) = s_{\max} \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t)$ mit $\omega = \frac{2\pi}{T}$ Somit gilt: $v(0\ \text{s}) = 4{,}1\ \text{mm} \cdot \frac{2\pi}{0{,}63\ \text{s}} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{0{,}63\ \text{s}} \cdot 0\text{s}\right) = 41\ \frac{\text{mm}}{\text{s}}$		4	
4	Die an der Blattfeder in Abb. 3 in M 3 befestigte Masse wird durch einen Dauermagneten ersetzt. In unmittelbarer Nähe des Dauermagneten wird eine Spule angeordnet, wobei der schwingende Dauermagnet die Spule nicht berührt. An die beiden Spulenanschlüsse wird ein Spannungsmesser angeschlossen, mit dem die Spannung in Abhängigkeit von der Zeit erfasst werden kann. Die Spule bewegt sich zusammen mit dem Holzquader nach links, wenn er durch einen Stoß angeregt wird (gemäß Pfeilrichtung in Abb. 3). Der Dauermagnet ist über die Blattfeder elastisch mit dem Holzquader verbunden. Deshalb ist seine Bewegung aufgrund seiner Trägheit verzögert. Dadurch wird die Blattfeder aus ihrer Ruhelage ausgelenkt und kann anschließend frei schwingen. Durch die relative Bewegung von Dauermagnet und Spule ändert sich das Magnetfeld, das die Spule durchsetzt. Nach dem Induktionsgesetz wird dadurch in der Spule eine Spannung induziert. Die sich ändernde Induktionsspannung stellt eine elektrische Schwingung dar, die die Schwingung des Gebäudes charakterisiert.			4
5	Zweck ist der Schutz der Fahrgäste. Diese sind in großer Gefahr, wenn ein Hochgeschwindigkeitszug auf durch Erdbeben zerstörte Gleisanlagen fährt. Der Zug muss so schnell wie möglich abgebremst werden. Durch die verkürzte Zeit zwischen Erfassen der P-Wellen und dem Einleiten der Zugabbremsung und durch die verkürzte Bremszeit verringert sich auch die Zeit zwischen der Erfassung des Erdbebens und dem Halt des Zuges. Das bedeutet, dass die Zugabbremsung nun auch bei geringeren Abständen zwischen dem Entstehungsort des Erdbebens und der Bahnstrecke funktioniert. Dadurch wird die Sicherheit der Fahrgäste erhöht.		3	
	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

4 Standardbezug

Teilaufgabe	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1 a	1			
b			3	
2 a			3	
b	7			
3 a	6			
b	7			
4		5		
5				6

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.

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

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