

Gemeinsame Aufgabenpools der Länder

Pool für das Jahr 2026

Aufgaben für das Fach Physik

Aufgabentitel	Blitzdetektor
Anforderungsniveau	erhöht
Inhaltsbereiche	♦ Mechanische und elektromagnetische Schwingungen und Wellen ♦ Schwingungen ♦ Mechanische und elektromagnetische harmonische Schwingungen: charakteristische Größen und ihre Zusammenhänge ♦ gedämpfte Schwingungen ♦ Resonanz bei erzwungenen Schwingungen
Materialien	♦ M 1 Der elektromagnetische Schwingkreis ♦ M 2 Messdaten eines Blitzdetektors ♦ M 3 Formeln für den gedämpften harmonischen Schwingkreis ♦ M 4 Mitschrift aus dem Unterricht ♦ M 5 Vorschlag von Anna zur Entfernungsbestimmung von Blitzen
Quellenangaben	♦ M 2 in Anlehnung an: <i>Blitzbeobachtung und Messergebnisse</i>. https://www.elektronik-labor.de/Projekte/Blitzwarner9.html (Zugriff am: 29.11.2024)
Hilfsmittel	♦ digitales Hilfsmittel, das mindestens die Funktionalität eines WTR hat ♦ mathematisch-naturwissenschaftliche Formelsammlung
fachpraktischer Anteil	ja ☐ nein ☒ Zeitzuschlag: —
Hinweise	

1 Aufgabe

Blitzdetektor

Blitze sind gefährliche Naturereignisse. Um Blitze zu detektieren, kann man Blitzdetektoren verwenden. Manche besitzen als zentrales Bauelement einen elektromagnetischen Schwingkreis.

	BE
1 Da die Energie des Blitzes einen Schwingkreis anregen kann, werden zunächst die Energieumwandlungen in einem idealisierten ungedämpften Schwingkreis betrachtet (siehe M 1). a Beschreiben Sie die während der ersten Viertel-Periodendauer stattfindenden Energieumwandlungen. b Skizzieren Sie in Material 1 Abbildung 1 zu den dargestellten Zeitpunkten passende Feldlinien sowohl für die elektrischen als auch für die magnetischen Felder. Begründen Sie jeweils die Orientierung der von Ihnen eingezeichneten Feldlinien. c Erläutern Sie qualitativ die Veränderung der maximalen Stromstärke im Schwingkreis, falls die anfängliche Aufladung zum Zeitpunkt $t = t_0$ des Kondensators gleich zu der in Material 1 Abbildung 1 ist, sich jedoch ein Eisenkern in der Spule befindet.	4 5 5
2 In einem Forum, in dem Blitzdetektoren diskutiert werden, findet man das in Material 2 dargestellte Diagramm. a Bestimmen Sie anhand der Abbildung 2 möglichst genau die Periodendauer T der gedämpften Schwingung im Schwingkreis. [Kontrollwert: $T = 3,6 \mu\text{s}$]. b Zeigen Sie, dass die theoretisch zu erwartende Periodendauer eines ungedämpften Schwingkreises mit den Daten von Material 2 kaum vom Ergebnis in Teilaufgabe a abweicht. c Begründen Sie mit den Beziehungen aus Material 3, ob der Wert aus Teilaufgabe b größer oder kleiner als der Wert von Teilaufgabe a ist. Erklären Sie, dass man mit dieser Veränderung der Periodendauer den Widerstand dieses Schwingkreises nur sehr ungenau bestimmen könnte. d Erläutern Sie einem Schüler, der am Tag der Mitschrift (M 4) krank war, die Schritte (i) und (ii) unter Verwendung von Material 3. Bestimmen Sie auf diesem Weg den Widerstand des Schwingkreises.	3 3 8 8
3 Anna unterbreitet in Material 5 einen Vorschlag zur Entfernungsbestimmung von Blitzen und einen Vorschlag zu einer Sicherheitsmaßnahme. Beurteilen Sie die Vorschläge von Anna hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Entfernungsbestimmung und der getroffenen Sicherheitsmaßnahme.	4

2 Material

Material 1: Der elektromagnetische Schwingkreis

Anregung eines Schwingkreises durch einen Blitz

Bei jedem Blitz wird elektromagnetische Strahlung emittiert. Zur Detektion dieser elektromagnetischen Strahlung kann man einen Schwingkreis verwenden, dessen Kondensator als Folge der elektromagnetischen Strahlung geladen wird.

Modell des ungedämpften elektromagnetischen Schwingkreises

In einem ungedämpften elektromagnetischen Schwingkreis können sowohl der Ohm'sche Widerstand als auch die Abstrahlung von Energie vernachlässigt werden.

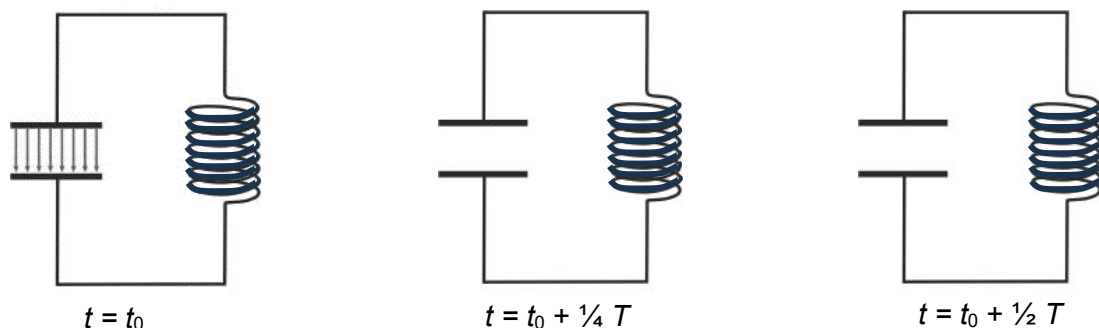


Abb. 1: ungedämpfter Schwingkreis zu drei Zeitpunkten

Material 2: Messdaten eines Blitzdetektors

Ein einfacher Blitzdetektor besteht nur aus einem Schwingkreis. Dieser wird durch die Energie eines Blitzes zu einer Schwingung angeregt. Abbildung 2 zeigt den zeitlichen Verlauf der Spannung am Kondensator dieses Schwingkreises.

Daten des Schwingkreises:

$$C = 69 \text{ pF}$$

$$L = 4,7 \text{ mH}$$

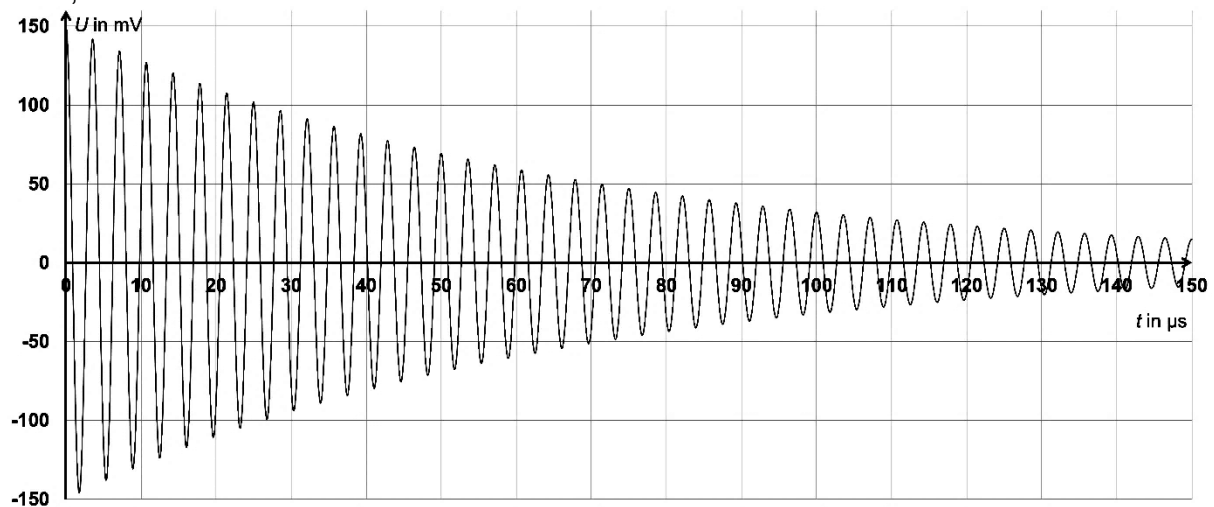


Abb. 2: Spannung am Kondensator des Schwingkreises in Abhängigkeit von der Zeit

Material 3: Formeln für den gedämpften harmonischen Schwingkreis

$$U(t) = U_{\max} \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \cos(\omega_D \cdot t)$$

Kreisfrequenz der gedämpften Schwingung: $\omega_D = \sqrt{\omega^2 - \delta^2}$ mit $\omega = \frac{1}{\sqrt{C \cdot L}}$

Für die Dämpfungskonstante δ gilt: $\delta = \frac{R}{2 \cdot L}$

Material 4: Mitschrift aus dem Unterricht

Auswertung von Abbildung 2 (M 2):

$$(i) \quad \frac{1}{3} U_{\max} = U_{\max} \cdot e^{-\delta \cdot 72 \mu s}$$

$$(ii) \quad \delta = 1,53 \cdot 10^4 \frac{1}{s}$$

Material 5: Vorschlag von Anna zur Entfernungsbestimmung von Blitzen

Ein Blitzdetektor wie in M 2, wird um eine Elektronik erweitert. Diese zählt die Schwingungen bis zur dauerhaften Unterschreitung eines fest vorgegeben Schwellenwertes der Spannung am Kondensator. Diese Anzahl N wird von der Elektronik angegeben.

Anna formuliert folgende Vorschläge:

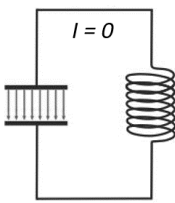
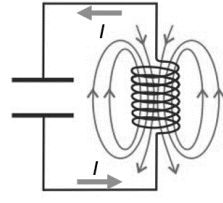
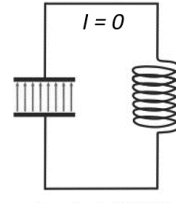
Befindet sich der Blitzdetektor nahe des Hauses, so liefert der Zählwert N die Entfernung des Blitzes zum Haus.

Überschreitet man einen gewissen Zählwert N , so werden automatisiert zum Schutz des Hauses vor Unwetter alle Fenster geschlossen.

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 einem ungedämpften elektromagnetischen Schwingkreis liegt die Energie in Form von elektrischer Feldenergie im Kondensator und magnetischer Feldenergie in der Spule vor. Der Kondensator ist zum Zeitpunkt $t = t_0$ maximal geladen, wodurch die gesamte Energie in Form von elektrischer Feldenergie vorliegt. Der Kondensator entlädt sich, die elektrische Feldenergie des Kondensators wird in magnetische Feldenergie der Spule umgewandelt. Zum Zeitpunkt $t = t_0 + \frac{T}{4}$ ist der Kondensator vollständig entladen und besitzt keine elektrische Feldenergie mehr. Der Entladestrom durch die Spule hat seine größte Stärke erreicht, die magnetische Feldenergie ist maximal. b  $t = t_0$  $t = t_0 + 1/4 T$  $t = t_0 + 1/2 T$ Die Feldrichtung des magnetischen Feldes im mittleren Bild ergibt sich mit der linken-Faust-Regel aus der eingezeichneten Elektronenstromrichtung I. Die Feldrichtung des elektrischen Feldes im rechten Bild ist von unten nach oben gerichtet, da der Kondensator nun unten positiv und oben negativ geladen ist. c Es gilt der Energieerhaltungssatz: $\frac{1}{2} \cdot C \cdot U_{\max}^2 = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I_{\max}^2$ Hieraus folgt: $I_{\max} = \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot U_{\max}$ Durch das Einbringen eines Eisenkernes vergrößert man L. Da $U_{\max}$ am Kondensator und die Kapazität C gleich bleiben, verkleinert sich die maximale Stromstärke im Schwingkreis.	2		
		2		
			3	
			1	
		1		
			5	
2	a In $50 \mu\text{s}$ erreicht die Spannung am Kondensator 14-mal ihren Maximalwert. Hieraus erhält man für die Periodendauer $T = \frac{50 \mu\text{s}}{14} = 3,6 \mu\text{s}$	3		

	b Für den idealen ungedämpften Schwingkreis gilt: $T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{C \cdot L}$ Somit $T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{69 \text{ pF} \cdot 4,7 \text{ mH}} = 3,6 \mu\text{s}$, im Rahmen der möglichen Genauigkeit also wie in Teilaufgabe a. c Aus $\omega_D = \sqrt{\omega^2 - \delta^2}$ folgt, dass $\omega_D < \omega$ gilt. Aus $\omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{T}$ folgt, dass $T_D > T_{\text{ideal}}$ gilt. Die Periodendauer des gedämpften Schwingkreises ist somit größer als die des ungedämpften Schwingkreises. Zur Berechnung des Widerstandwertes müsste man die Gleichung $\omega_D = \sqrt{\omega^2 - \delta^2}$ nach δ auflösen und dann mit $\delta = \frac{R}{2 \cdot L}$ den Widerstandswert R berechnen. Um $\sqrt{\omega^2 - \omega_D^2} = \delta$ zu bestimmen, müsste - da ω_D sehr nahe an ω liegt - eine sehr hohe Genauigkeit vorliegen. Dies ist hier nicht gegeben, sodass die Differenz $\omega_D^2 - \omega^2$ einen sehr ungenauen Wert liefert. Folglich wird die Bestimmung von δ und damit die von R sehr ungenau. d (i) Im M 2 Abb. 2 ist $U_{\text{max}} = 150 \text{ V}$. Nach etwa $72 \mu\text{s}$ erhält man maximalen Wert von $50 \text{ V} = \frac{1}{3} \cdot U_{\text{max}}$. Der Wert für $\cos(\omega_D \cdot t)$ ist zu diesem Zeitpunkt des Maximums 1. Einsetzen in die Beziehung für die Spannung am Kondensator in M 3 liefert: $\frac{1}{3} \cdot U_{\text{max}} = U_{\text{max}} \cdot e^{-\delta \cdot 72 \mu\text{s}}$ <i>Bem.: Eine Argumentation über die Einhüllende ist ebenso möglich.</i> (ii) Aus $\frac{1}{3} \cdot U_{\text{max}} = U_{\text{max}} \cdot e^{-\delta \cdot 72 \mu\text{s}}$ folgt $\frac{1}{3} = e^{-\delta \cdot 72 \mu\text{s}}$ Hieraus ergibt sich $-\delta \cdot 72 \mu\text{s} = \ln\left(\frac{1}{3}\right)$ und $\delta = -\frac{\ln\left(\frac{1}{3}\right)}{72 \mu\text{s}} = 1,53 \cdot 10^4 \frac{1}{\text{s}}$ Hieraus folgt aus $\delta = \frac{R}{2 \cdot L}$: $R = \delta \cdot 2 \cdot L = 1,53 \cdot 10^4 \frac{1}{\text{s}} \cdot 2 \cdot 4,7 \text{ mH} = 0,14 \text{ k}\Omega$	3 4 4 4 2 2		
3	Der Zählwert N der Schwingungen bis zum Unterschreiten des Schwellenwertes liefert keinen verlässlichen Wert für die Entfernung eines Blit-		4	

	zes. Ein ferner Blitz kann sehr stark sein und somit mehr Energie aus- senden als ein naher Blitz, der nur schwach ist. Der ferne Blitz würde somit evtl. einen höheren Zählwert liefern als der schon nahe Blitz. Ein naher, jedoch schwacher Blitz würde umgekehrt evtl. zu weit weg angezeigt werden. Eine verlässliche Aussage zur Entfernungsbestimmung ist mithilfe des Schwingkreises nicht möglich. Sich mit der fehlerhaften Entfernungsbestimmung bei dieser Methode auf das automatische Schließen der Fenster zu verlassen, wäre sicher- lich falsch, zumal diese Methode nur als Folge eines Blitzes Werte liefert. Unwetter können schon vor einem oder ohne einen Blitz auftreten.			
	Summe¹	13	19	8

4 Standardbezug

Teilauf- gabe	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1 a	1			
b	3			
c	3			
2 a	3			
b	3			
c	3	7		
d			3	
3				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 Bewertungsraster² vorgesehen, das angibt, wie die in den drei Prüfungsteilen insgesamt erreichten Bewertungseinheiten in Notenpunkte umgesetzt werden.

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

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