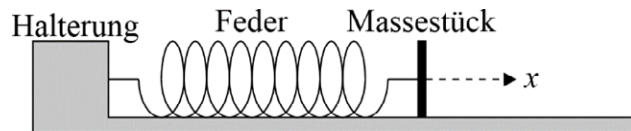
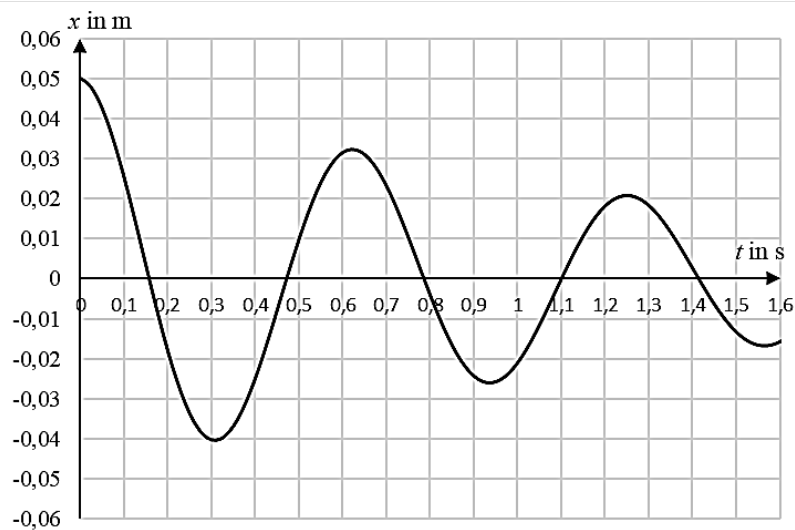


**Mechanische Schwingungen und Schallwellen: horizontaler Federschwinger und Glocke****Aufgaben**

- 1 Material 1 zeigt einen horizontalen Federschwinger mit der Masse  $m = 10 \text{ g}$  und der Federkonstanten  $D = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ . Die Masse der Feder ist zu vernachlässigen. Zum Zeitpunkt  $t = 0 \text{ s}$  ist das Massstück um die Strecke  $x_0 = 5 \text{ cm}$  aus der Ruhelage ausgelenkt und wird losgelassen.
- 1.1 Die Bewegung des Massstücks kann bei Vernachlässigung von Reibung mithilfe der Differenzialgleichung  $m \cdot \ddot{x}(t) = -D \cdot x(t)$  beschrieben werden. Erläutern Sie beide Seiten dieser Gleichung unter Berücksichtigung des negativen Vorzeichens auf der rechten Seite der Gleichung. **(3 BE)**
- 1.2 Leiten Sie mithilfe eines geeigneten Lösungsansatzes für die Differenzialgleichung in Aufgabe 1.1 eine Formel zur Berechnung der Frequenz  $f$  eines horizontalen Federschwingers her. Berechnen Sie die Frequenz der Schwingung und die maximale Beschleunigung des Massstücks.  
[zur Kontrolle:  $f = 1,59 \text{ Hz}$ ] **(9 BE)**
- 1.3 Aufgrund von Reibung ist die Schwingung des Massstücks exponentiell gedämpft. Die gedämpfte Schwingung ist in Material 2 dargestellt. Geben Sie die allgemeine Form einer Schwingungsgleichung für die gedämpfte Schwingung an und bestimmen Sie die Dämpfungskonstante. **(5 BE)**
- 2 Mithilfe der Eigenschaften einer harmonischen Schwingung soll nun das Verhalten einer großen Glocke näher betrachtet werden. Durch das Anschlagen einer Glocke wird diese kurzzeitig deformiert. Stark vereinfacht kann man annehmen, dass die Oberfläche an einigen Stellen mit der Frequenz  $f = 550 \text{ Hz}$  harmonisch nach innen und nach außen schwingt, wie der Federschwinger nach links und rechts schwingt. Die Dämpfung soll vernachlässigt werden. Die Schallgeschwindigkeit beträgt  $c = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .
- 2.1 Erläutern Sie, wie die Schwingung der Oberfläche auf die Luft übertragen wird und wie das menschliche Trommelfell zu Schwingungen angeregt wird. Geben Sie an, ob es sich bei Schallwellen in Luft um longitudinale oder transversale Wellen handelt, und berechnen Sie die Wellenlänge  $\lambda$  der Schallwelle der Glocke.  
[zur Kontrolle:  $\lambda = 0,62 \text{ m}$ ] **(5 BE)**
- 2.2 Ein Beobachter, der sich mit der Geschwindigkeit  $v = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  auf die Glocke zubewegt, hört eine andere Frequenz als  $f = 550 \text{ Hz}$ . Leiten Sie eine Formel zur Berechnung der vom Beobachter wahrgenommenen Frequenz her und berechnen Sie diese. **(5 BE)**

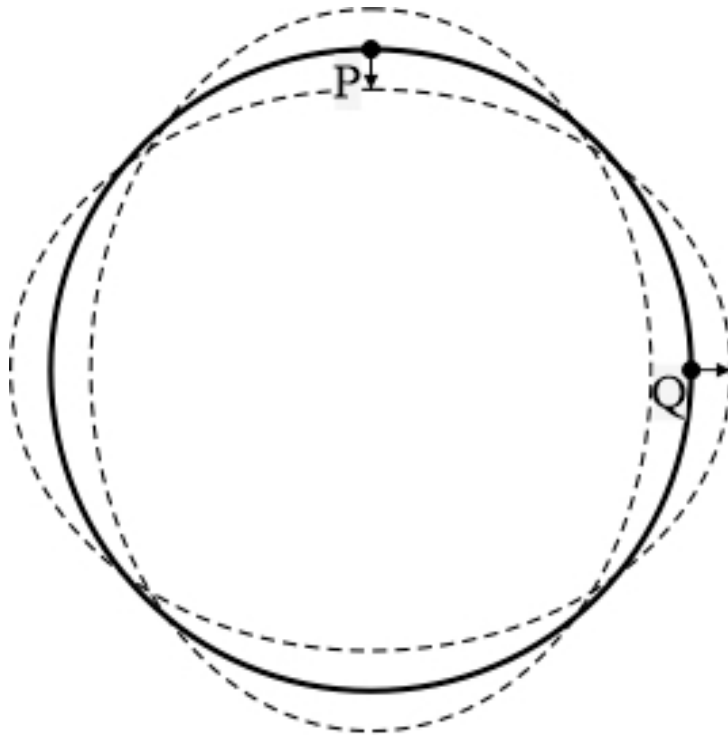
- 3 Eine genauere Betrachtung der Glocke zeigt, dass die Schwingungen an verschiedenen Stellen der Oberfläche phasenverschoben sind. In Material 3 ist eine Glocke dargestellt, auf deren unteren Rand ein Finger zeigt. Material 4 zeigt die Deformation dieses kreisförmigen Rands der Glocke von oben. Durch Anschlagen wird dieser kurzzeitig zur Ellipse verformt, dabei im Punkt Q nach außen und im Punkt P nach innen ausgelenkt. Danach schwingt der Rand der Glocke in beiden Punkten harmonisch weiter. Zur Vereinfachung nehmen wir an, dass der Rand der Glocke nur an den Punkten P und Q schwingt und dass der Schall von dort gleichmäßig in alle Richtungen abgestrahlt wird. Die Abnahme der Schallintensität mit der Entfernung soll vernachlässigt werden.
- 3.1 Berechnen Sie die Schwingungsdauer  $T$  einer Schwingung der Frequenz  $f = 550$  Hz. Stellen Sie – unter Berücksichtigung der Phasenverschiebung – den zeitlichen Verlauf der Schwingungen in den Punkten P und Q für diese Frequenz gemeinsam in einem Diagramm grafisch dar. Dabei soll jeweils eine Periode zu sehen sein. Wählen Sie als Amplitude für beide Schwingungen eine Längeneinheit.
- (5 BE)
- 3.2 Geht man entlang eines Kreisbogens mit dem Radius  $r = 5$  m um das Zentrum der Glocke herum, registriert man Minima und Maxima der Schallintensität, die in Material 5 durch „min“ und „max“ gekennzeichnet sind. Kreisbogen und Rand der Glocke befinden sich in einer Ebene.
- 3.2.1 Erklären Sie, wodurch die Minima und Maxima der Schallintensität entlang des Kreisbogens entstehen. Erläutern Sie, dass unter dem in Material 5 angezeigten Winkel von  $45^\circ$  ein Minimum in der Schallintensität registriert wird.
- (5 BE)
- 3.2.2 Berechnen Sie die Koordinaten des mit „max“ gekennzeichneten Punkts in Material 5. Bestätigen Sie, dass sich dort ein Maximum der Schallintensität befindet. Geben Sie einen anderen Winkel an, unter dem ein weiteres Maximum der Schallintensität zu finden ist.
- [zur Kontrolle:  $x_{\max} = 1,792$  m;  $y_{\max} = 4,668$  m]
- (9 BE)
- 4 Von den Punkten P und Q werden Schallwellen mit unterschiedlichen Frequenzen ausgesandt, da die Oberfläche der Glocke leicht deformiert und nicht exakt gleichmäßig ausgebildet ist. An der Stelle P schwingt die Glocke mit der Frequenz  $f_1 = 551$  Hz, an der Stelle Q mit der Frequenz  $f_2 = 549$  Hz. An verschiedenen Positionen ist eine Schwebung hörbar. Erläutern Sie das Zustandekommen der Schwebung. Berechnen Sie die für den Beobachter wahrnehmbare Schwebungsfrequenz.
- (4 BE)

**Material 1****Horizontaler Federschwinger****Material 2****Gedämpfte Schwingung****Material 3****Glocke mit Fingerzeig auf einen Teil des unteren Randes**

URL: <https://www.fnp.de/lokales/hochtaunus/oberursel-ort69327/grosse-glocke-ausgedient-10470269.html> (abgerufen am 06.06.2023).

## Material 4

## Deformation des unteren Glockenrands von oben betrachtet



## Material 5

## Schallemission von den Punkten P und Q auf dem Glockenrand

