

Gemeinsame Aufgabenpools der Länder

Pool für das Jahr 2025

Aufgaben für das Fach Physik

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	Kapazitive Beschleunigungssensoren
Anforderungsniveau	grundlegend
Inhaltsbereiche	<ul style="list-style-type: none">◆ Elektrische und magnetische Felder◆ Das Feldkonzept zur Beschreibung von Wechselwirkungen◆ Kondensator als Energiespeicher; Kapazität
Materialien	<ul style="list-style-type: none">◆ M 1 Kapazitives Messen von Beschleunigungen◆ M 2 Erste Messreihe mit einem kapazitiven Sensor◆ M 3 Weitere Untersuchung an einem kapazitiven Sensor◆ M 4 Zeitlicher Verlauf der Kapazität während einer Aufzugfahrt
Quellenangaben	
Hilfsmittel	<ul style="list-style-type: none">◆ digitales Hilfsmittel, das mindestens die Funktionalität eines WTR hat¹◆ mathematisch-naturwissenschaftliche Formelsammlung
fachpraktischer Anteil	nein
Hinweise:	

¹ siehe „Hinweise zur Verwendung von Hilfsmitteln“

1 Aufgabe

Kapazitive Beschleunigungssensoren

In vielen technischen Anwendungen messen Sensoren Beschleunigungen. Häufig funktionieren diese Sensoren mithilfe von Kondensatoren.

- | | BE |
|--|-----------|
| 1 Kapazitive Beschleunigungssensoren können modellhaft wie in Material 1 beschrieben aufgefasst werden. | |
| a Berechnen Sie die Kapazität eines luftgefüllten Plattenkondensators mit quadratischen Platten der Seitenlänge $\ell = 400 \mu\text{m}$ und dem Plattenabstand $d = 0,100 \mu\text{m}$. | 3 |
| b Erklären Sie, dass beim Beschleunigungsvorgang die Feder gestaucht wird und sich dadurch die Kapazität des Kondensators ändert. | 4 |
| 2 a Begründen Sie mithilfe der in Material 2 gegebenen Messwerte, dass der Zusammenhang $C = \frac{k}{a}$ erfüllt wird und zeigen Sie unter Berücksichtigung aller Messwerte, dass sich für die Konstante k der Wert $k = 16,7 \frac{\text{pF} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$ ergibt. | 4 |
| b Berechnen Sie die Beschleunigungen, die sich nach der Gleichung $C = \frac{k}{a}$ für die Kapazitäten $C_1 = 3,50 \text{ pF}$ und $C_2 = 14,0 \text{ pF}$ ergeben. | 2 |
| c Ergänzen Sie in der Abbildung 2 (M 3) die Messwerte aus Material 2 sowie die Wertepaare aus Aufgabe 2b und verbinden Sie diese Datenpunkte auf eine geeignete Weise. | 3 |
| d Beurteilen Sie mithilfe des in Aufgabe 2c vervollständigten Diagramms, ob die Annahme des Zusammenhangs $C = \frac{k}{a}$ zur Beschreibung der Messwerte der zweiten Messreihe geeignet ist. | 4 |
| Berücksichtigen Sie dabei die folgenden Fälle: | |
| ♦ den Bereich von Beschleunigungen $a > 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ | |
| ♦ den Bereich von Beschleunigungen $0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} < a < 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ | |
| ♦ Beschleunigung $a = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ | |
| 3 Für die Verwendung in einem Aufzug wird der Sensor wie Material 4 beschrieben, verwendet. | |
| a Erläutern Sie, dass sich bei Stillstand des Aufzugs durch die Drehung die gemessene Kapazität verändert. Begründen Sie, dass der gemessene Wert in diesem Fall $C = 1,69 \text{ pF}$ beträgt. | 3 |
| b Typische Beschleunigungswerte von Aufzügen liegen in der Größenordnung von $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. | 4 |

Begründen Sie, dass die in Aufgabe 2 erwähnte Modellierung $a = \frac{k}{C}$ zur Bestimmung der Beschleunigung eines Aufzugs genutzt werden kann.

- c) Abbildung 3 (M 4) zeigt eine aus der Ruhe heraus beginnende Aufzugsfahrt. Entscheiden Sie mit Blick auf den Abschnitt zwischen 8,1 s und 11,0 s ob der Aufzug im Gebäude auf- oder abwärts fährt. Begründen Sie Ihre Entscheidung.

3

2 Material

Material 1: Kapazitives Messen von Beschleunigungen

Der hier betrachtete kapazitive Beschleunigungssensor basiert auf einem Plattenkondensator. Zur Messung der Beschleunigung ist eine Masse (schraffierter Bereich) an einer Feder beweglich und reibungsfrei aufgehängt. Die Feder kann als ideale Feder aufgefasst werden, die Dehnung bzw. Stauchung der Feder erfolgt also proportional zur Krafteinwirkung. Die rechte Kondensatorplatte ist fest mit dem Gehäuse verbunden, die linke Platte ist mit der Masse verbunden, welche über eine Feder am Gehäuse hängt.

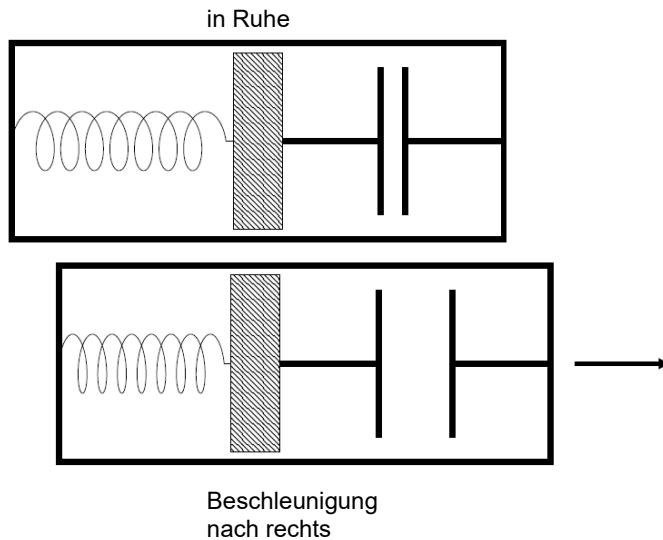


Abb. 1: prinzipieller Aufbau eines kapazitiven Beschleunigungssensors

Material 2: Erste Messreihe mit einem kapazitiven Sensor

Bei einem Versuch wird die Kapazität eines Beschleunigungssensors für verschiedene Beschleunigungen gemessen (siehe Tab. 1).

Vereinfacht soll für den Zusammenhang zwischen der Kapazität und der Beschleunigung zunächst der Zusammenhang $C = \frac{k}{a}$ angenommen werden, wobei k eine Konstante ist.

Tab. 1: Messwerte von Kapazitäten im Beschleunigungssensor bei unterschiedlichen Beschleunigungen.

Beschleunigung a in $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	9,0	12,0	15,0	18,0
Kapazität C in pF	1,88	1,39	1,10	0,93

Material 3: Weitere Untersuchung an einem kapazitiven Sensor

Zur Überprüfung des angenommenen Zusammenhangs zwischen Kapazität und Beschleunigung werden weitere Werte für einen größeren Bereich der Beschleunigung aufgenommen. Die Ergebnisse sind im Kurvenverlauf in Abbildung 2 dargestellt.

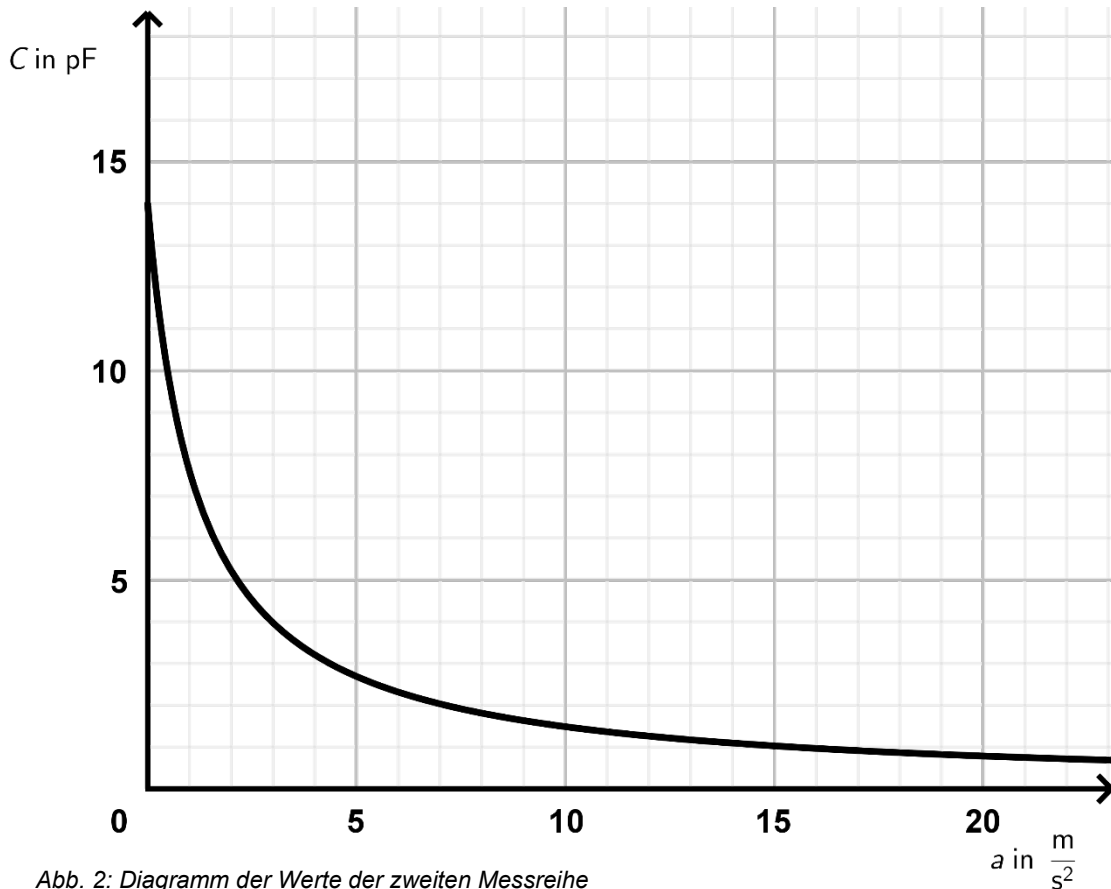


Abb. 2: Diagramm der Werte der zweiten Messreihe

Material 4: Zeitlicher Verlauf der Kapazität während einer Aufzugsfahrt

Um die vertikale Bewegung eines Aufzugs zu messen, wird der Sensor aus Material 1 bei stillstehendem Aufzug um 90° in der Zeichenebene gegen den Uhrzeigersinn gedreht und an der Decke der Aufzugskabine befestigt. Die in Abbildung 1 rechte Gehäusesseite befindet sich nun an der Decke. Die Werte des Diagramms der Abbildung 3 wurden bei einer aus der Ruhe heraus beginnenden Aufzugsfahrt aufgenommen.

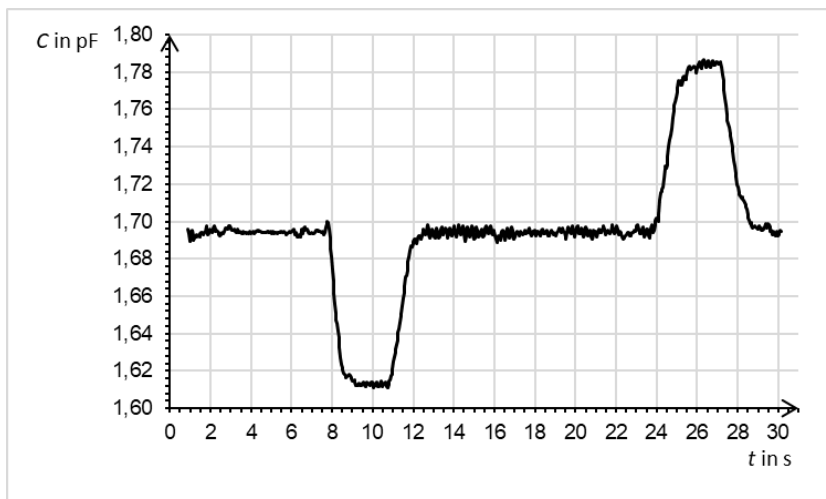
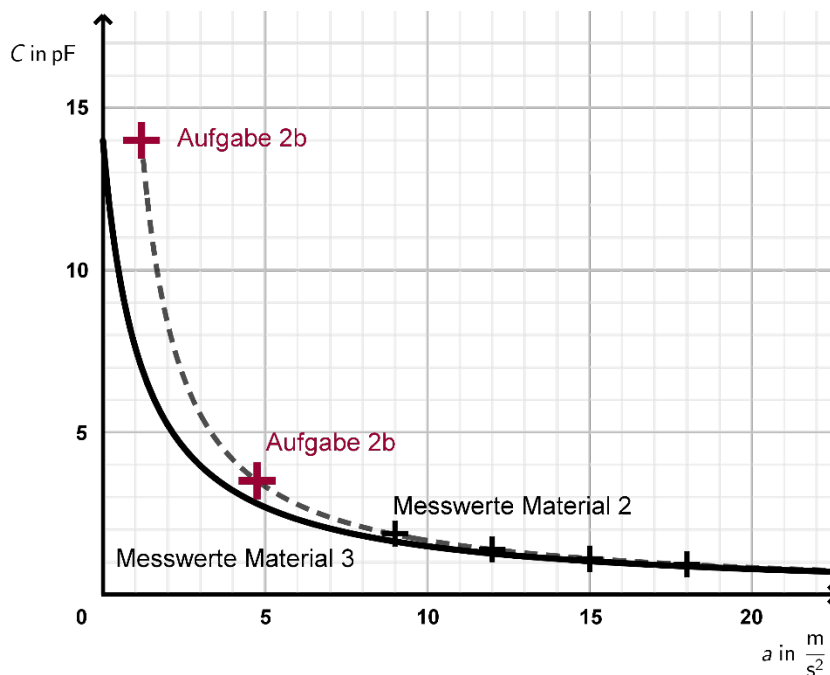


Abb. 3: Messung der Kapazität des Sensors bei einer Aufzugsfahrt

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	a $C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{1,60 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2}{0,100 \cdot 10^{-6} \text{ m}} = 1,42 \cdot 10^{-11} \text{ F}$	3																	
	b <ul style="list-style-type: none"> ◆ Wird der Sensor beschleunigt, so wirkt die beschleunigende Kraft auf das Gehäuse und die damit verbundene rechte Platte. Diese verändert ihre Lage relativ zur Masse und der damit verbundenen linken Platte so, dass der Abstand beider Platten zueinander zunimmt. Dadurch wird die Feder zunehmend gestaucht. ◆ Das Gehäuse verschiebt die rechte Kondensatorplatte, wodurch sich der Plattenabstand verändert, was gemäß dem Zusammenhang $C \sim \frac{1}{d}$ die Kondensatorkapazität ändert. 	2	2																
2	a Nachweis beispielsweise durch Prüfung der Produktgleichheit. <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>Beschleunigung a in $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$</td> <td>9,0</td> <td>12,0</td> <td>15,0</td> <td>18,0</td> </tr> <tr> <td>Kapazität C in pF</td> <td>1,88</td> <td>1,39</td> <td>1,10</td> <td>0,93</td> </tr> <tr> <td>Konstante $k = C \cdot a$ in $\frac{\text{pF} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$</td> <td>16,9</td> <td>16,7</td> <td>16,5</td> <td>16,7</td> </tr> </table> <p>Mittelwertbildung: Der Mittelwert beträgt $k = 16,7 \frac{\text{pF} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$.</p>	Beschleunigung a in $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	9,0	12,0	15,0	18,0	Kapazität C in pF	1,88	1,39	1,10	0,93	Konstante $k = C \cdot a$ in $\frac{\text{pF} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$	16,9	16,7	16,5	16,7	2	2	
	Beschleunigung a in $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	9,0	12,0	15,0	18,0														
Kapazität C in pF	1,88	1,39	1,10	0,93															
Konstante $k = C \cdot a$ in $\frac{\text{pF} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$	16,9	16,7	16,5	16,7															
b $a = \frac{k}{C}$ $a_1 = \frac{16,7 \frac{\text{pF} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}}{3,50 \text{ pF}} = 4,77 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ $a_2 = \frac{16,7 \frac{\text{pF} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}}{14,0 \text{ pF}} = 1,19 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$		2																	

c


3

d

- ◆ Beschleunigungen $a > 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$: Die Messwerte der ersten Messreihe passen im Rahmen der Zeichengenauigkeit zu denen der zweiten Messreihe.
- ◆ Beschleunigungen $0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} < a < 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$: Die in Aufgabe 2b berechneten Kapazitätswerte weichen von den korrespondierenden der zweiten Messreihe ab. In Richtung kleinerer Beschleunigungswerte wächst die Abweichung zur zweiten Messreihe.
- ◆ Beschleunigung $a = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$: Die Gleichung liefert keinen Wert für die Kapazität. Die zweite Messreihe zeigt dagegen einen Wert von ca. 14 pF für die Kapazität bei der Beschleunigung Null an.

Folgerung: Für Beschleunigungswerte, die größer als $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ sind, passen die sich aus der Gleichung ergebenden Werte und die zweite Messreihe gut zusammen. Je kleiner die Beschleunigung ist, desto weniger gut passen die Werte aus der Gleichung und die zweite Messreihe zusammen. Entgegen dem Modell lässt sich auch für die Beschleunigung Null eine Kapazität bestimmen.

3

1

3

a Durch die Drehung des Sensors aus M 1 um 90° (gegen den Uhrzeigersinn), bewirkt die Gewichtskraft auf das Massestück eine Vergrößerung des Plattenabstands, welche zu einer messbaren Kapazitätsänderung führt.

Begründung durch Rechnung:

Für die genannte Kapazität ergibt sich eine Beschleunigung von

$$a = \frac{k}{C} = \frac{16,7 \frac{\text{pF} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}}{1,69 \text{pF}} = 9,88 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}, \text{ welche auf die Gewichtskraft zurückzuführen ist.}$$

3

b Durch die Drehung und die damit verbundene Kapazitätsänderung (siehe 3a) ergibt sich auch bei Stillstand des Aufzugs ein

4

<p>Kapazitätswert von $C = 1,69 \text{ pF}$. Durch diese Nullpunktverschiebung ist man im Bereich, bei dem eine gute Übereinstimmung der gemessenen Werte und dem Modell vorliegt. Obwohl nur Beschleunigungsänderungen im Bereich von $\pm 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ vorliegen, kann die Modellierung zur Beschreibung genutzt werden.</p> <p>c Der Sensor ist so orientiert, dass er im stehenden Aufzug die Fallbeschleunigung $9,81 \text{ m/s}^2$ misst, was sich in einem Kapazitätswert von ca. $1,69 \text{ pF}$ zeigt. Im Zeitraum zwischen ca. $8,1 \text{ s}$ und $11,0 \text{ s}$ liegt ein mit ca. $1,61 \text{ pF}$ geringerer Kapazitätswert vor. Eine kleinere Kapazität bedeutet einen größeren Plattenabstand. Bei einer Orientierung des Sensors wie in Aufgabe 3 folgt, dass die Beschleunigung nach oben erfolgt, der Aufzug also aufwärtsfährt.</p>			3
Summe²	10	16	4

² 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

4 Standardbezug

Teilaufgabe	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1 a	3			
b	1		3	
2 a	3	4		
b	3			
c	7			
d	2			
3 a	1			
b		8		
c			3	

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 Bewertungsraster³ vorgesehen, das angibt, wie die in den drei Prüfungsteilen insgesamt erreichten Bewertungseinheiten in Notenpunkte umgesetzt werden.

³ Das Bewertungsraster ist Teil des Dokuments „Beschreibung der Struktur“, das auf den Internetseiten des IQB zum Download bereitsteht.