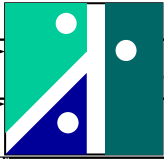


Diese Prüfung besteht aus einem Fragenteil und einem Rechenteil. Zur Bewertung der Aufgaben muss der gesamte Lösungsweg ersichtlich sein.

- Bearbeitungszeit : 90 min
- Erlaubte Hilfsmittel :
  - Schreib- und Zeichengerät
  - Taschenrechner

Note : \_\_\_\_\_

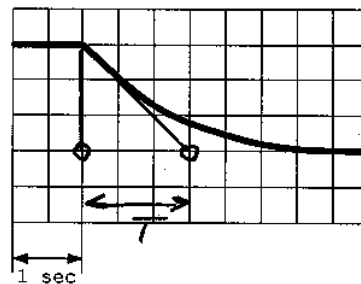
Aufgabe	erreichte Punkte
Fragenteil	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
Summe	

HS Koblenz  
 FB Ingenieurwesen  
 FR Maschinenbau  
 © Prof. Dr. Kröber  
 Messtechnik  
 Prüfung 11.07.2016

KURZFRAGEN :

1. Die Abbildung zeigt den Temperaturverlauf nach dem Eintauchen des Temperatursensors in eine neue Umgebung. Ermitteln Sie die Zeitkonstante [in sec] ( 3P )

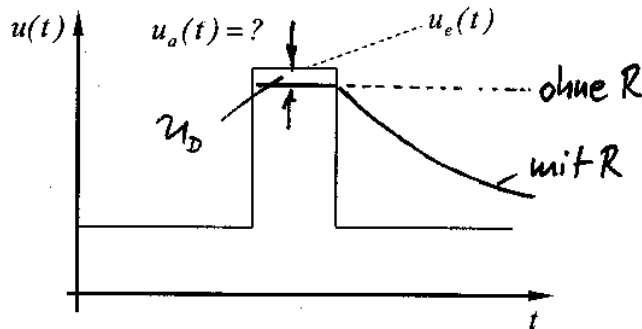
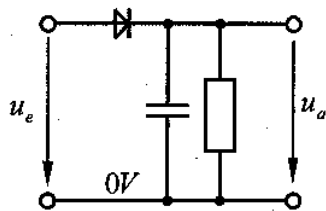
T = 1,5 s



2. Mit welcher Versorgungsspannung werden analoge Verstärker üblicherweise gespeist? ( 2P )

± 15 V

3. Skizzieren Sie die Signalverläufe des Ausgangssignals für die Fälle mit R (wie in Skizze dargestellt) und ohne R! ( 4P )



4. Wobei spielen "Fensterfunktionen" eine Rolle? ( 2P )

Zeitfensterbewertung bei Fouriertransformation

5. Temperatursensoren zeigen "im Schatten" oder "in der Sonne" unterschiedliche Temperaturwerte an. Weshalb ist das so? Verwenden Sie zur Argumentation den Begriff "Wärmestrom" bzw. "Wärmeströme"! ( 3P )

Wärmestrom infolge absorbiertes Strahlung = Wärmestrom infolge Konvektion  $\alpha \cdot A \cdot \Delta T$ ;  $\Delta T$  ist der system. Messfehler

6. Weshalb entsteht bei der Messung der Oberflächentemperatur mit einem Berührungsmessverfahren ein systematischer Messfehler?

( 2P )

Sensor kühlt lokal die Oberfläche → system. Messfehler

7. Eine Welle hat eine (einzige) Markierung und dreht mit 50 Hz. Welche (stehenden) Bilder entstehen, wenn die Blitzfrequenzen alternativ 25 Hz, 50 Hz und 100 Hz betragen? ( 3P )

einfach stehendes Bild → Markierung 2x zu sehen (stehendes Bild)

8. Ein Temperaturfühler misst aufgrund der zu niedrigen Eintauchlänge stets eine zu niedrige Temperatur. Handelt es sich bei dem entstehenden Messfehler um einen zufälligen Fehler, systematischen Fehler oder groben Fehler? ( 2P )

system. Fehler

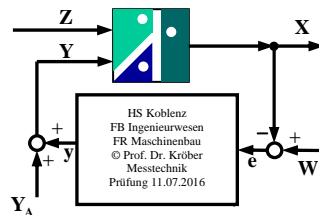
9. Welches Signal wird bei der Kalibrierung von DMS-Aufnehmern häufig verwendet?

( 2P )

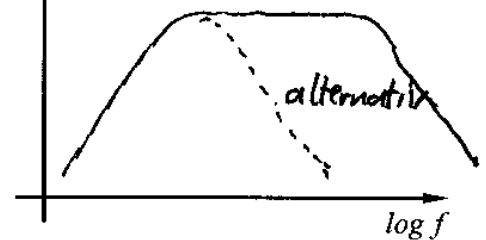
1 mV/V

10. Tragen Sie den Frequenzgang eines Bandpassfilters in das nebenstehende Diagramm ein!

( 3P )



$$\log |G| = \log \frac{\hat{u}_a}{\hat{u}_e}$$



11. Wozu werden Temperaturfarbstifte verwendet?

( 2P )

Temp.-messung, beim Überschreiten → Farbumschlag

12. Eine Messgröße wird z.B. 10 mal gemessen und unterliegt statistischen Schwankungen. Durch welche Größe werden die Schwankungen/Streuungen beschrieben?

( 2P )

Standardabweichung

13. Ein "nicht so gutes" Fieberthermometer zeigt eine Abweichung von 0,3°C an. Wenn man die Abweichung in relativer Form angeben möchte, könnte man dies auf den absoluten Nullpunkt beziehen. Dann wäre der Zahlenwert für die relative Abweichung recht klein. Welcher Bereich wäre als Bezugsgröße sinnvoll?

( 2P )

auf die Messbereichsspanne, z.B. 35°C bis 42°C

14. Eine APP zur Frequenzanalyse hat eine Messzeit von 0,1s. Wie groß ist dann die erzielbare Frequenzauflösung?

( 2P )

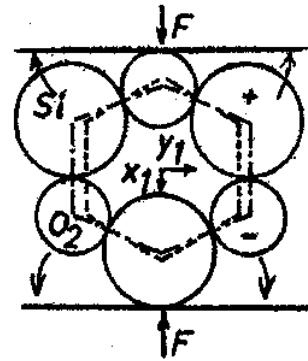
$$\Delta f = 10 \text{ Hz } (= 1/t_{\text{mess}})$$

15. Der Zusammenhang zwischen einer Eingangsgröße x und einer Ausgangsgröße y wird durch eine lineare Funktion beschrieben (z.B.:  $y = m \cdot x + b$ ). Die Ermittlung von b wird auch mit den Begriffen Justieren oder Nullpunktgleich beschrieben. Wie lautet der Begriff zur Ermittlung der Steigung m?

( 2P )

Kalibrieren

16. Erläutern Sie anhand der Abbildung wie bei piezoelektrischen Sensoren infolge der Gitterverformung eine an der Oberfläche "abgreifbare" Ladung entsteht!  
( 3P )



Si<sup>+</sup> kommen näher an Oberfl.  
O<sub>2</sub><sup>-</sup> kommen näher an Oberfl. (unten); ± Ladung wird abgegriffen

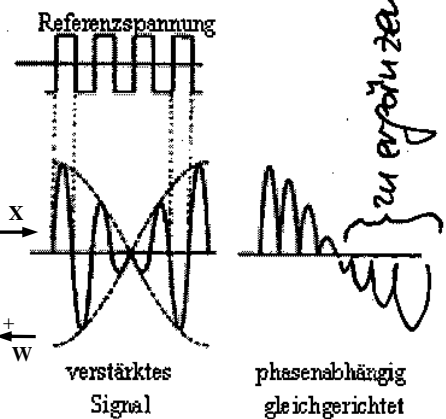
17. Nennen Sie zwei Vorteile und einen Nachteil bei einer piezoelektrischen Kraftmessung im Vergleich zu einer Kraftmessung nach einem DMS-Prinzip!  
( 3P )

Vorteile: hohe Steifigkeit, höhere Temp. Nachteil: Drift

18. Wobei wird der Gray-Code eingesetzt?  
( 2P )

digitale absolute Wegaussung

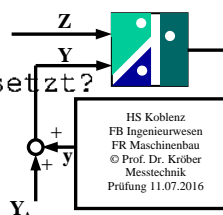
19. Beim Trägerfrequenzmessverstärker liegt zunächst ein positives Signal vor, welches dann im zeitlichen Verlauf negativ wird. Ergänzen Sie den Verlauf des phasenabhängig gleichgerichteten Signals!  
( 3P )



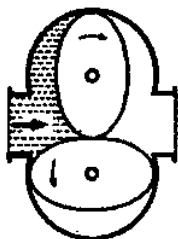
20. Wozu werden diese DMS eingesetzt?  
( 2P )



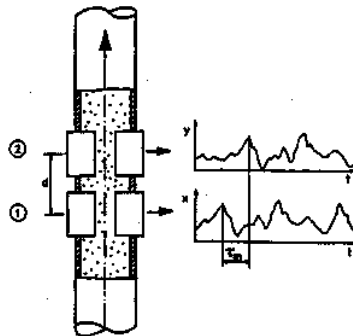
Membrandruckaufnehmer



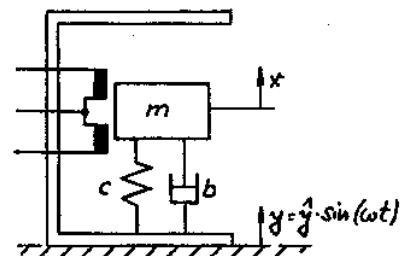
21. Um welche Messverfahren handelt es sich (jeweils 2 Merkmale nennen)?  
( 6P )



Ovalradzähler  
Durchfluss  
volumetrisch



Durchflussmessung  
Korrelationsprinzip



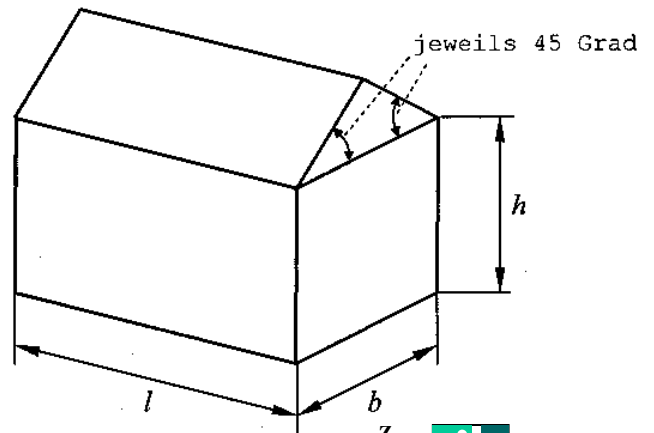
Seismischer Aufnehmer  
Beschl. oder Schwingweg  
ind. Abtastung Relativweg

RECHENTEIL

Aufgabe 1 ( 10P )

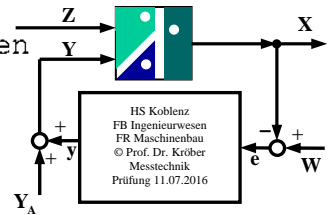
Das Volumen des abgebildeten Hauses kann mit der angegebenen Formel berechnet werden. Es soll untersucht werden, wie sich mögliche Fehler der einzelnen Maße auf den Fehler des Volumens auswirken.

$$V = b \cdot h \cdot l + \frac{1}{4} \cdot b^2 \cdot l = b \cdot l \cdot \left( h + \frac{b}{4} \right)$$



- a. Bestimmen Sie eine Formel zur Bestimmung des absoluten Fehlers  $\Delta V$ ! Ziel:  $\Delta V = \dots \cdot \Delta b + \dots \cdot \Delta h + \dots \cdot \Delta l$

Hilfestellung:  $\Delta y = \left| \frac{\partial f}{\partial x_1} \cdot \Delta x_1 \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial x_2} \cdot \Delta x_2 \right| + \dots + \left| \frac{\partial f}{\partial x_n} \cdot \Delta x_n \right|$



- b. Durch Einsetzen von  $b = 8 \text{ m}$ ,  $l = 10 \text{ m}$  und  $h = 5 \text{ m}$  ergibt sich ein Volumen von

$$V = V_{\text{Nenn}} = \left( 8 \cdot 5 \cdot 10 + \frac{1}{4} \cdot 8^2 \cdot 10 \right) \text{m}^3 = 560 \text{m}^3$$

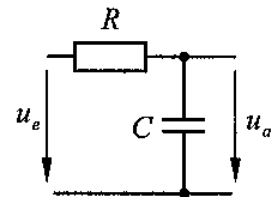
Wie groß ist das Volumen, wenn  $b$  und  $l$  unverändert bleiben und nur die Höhe  $h$  sich um 1% erhöht (zahlenmäßige Lösung durch Einsetzen geeigneter Werte)?

- c. Die Lösungen von Fragestellung a. und b. kann man miteinander vergleichen, bzw. sie führen zum gleichen Ergebnis. Versuchen Sie diesen Vergleich herbeizuführen!

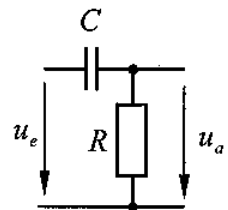
Aufgabe 2 ( 10P )

Auf beide RC-Glieder wirkt der gleiche sinusförmige Eingangsspannungsverlauf mit  $\hat{u}_e = 2V$  und  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi \cdot 30 \text{Hz} \approx 188,5 \text{s}^{-1}$ . Im Fall A beträgt die Ausgangsspannung  $\hat{u}_a = 1,414 V$ .

Fall A:



Fall B:



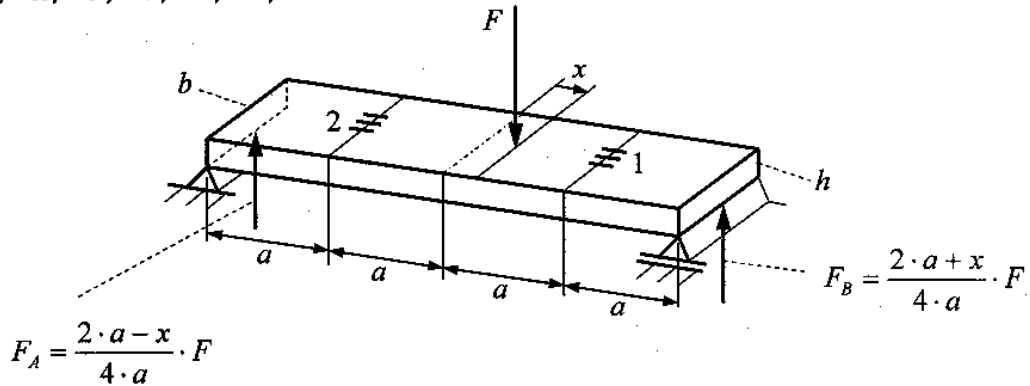
- a. Wie groß ist das Produkt  $R \cdot C$ ?
- b. Wie groß ist die Ausgangsspannung im Fall B ( $\hat{u}_a = ?$ )?
- c. Fällt Ihnen am Ergebnis etwas auf? Können Sie eine Begründung angeben?

Verschiedene Hilfestellungen:

$$G = \frac{u_a}{u_e} = \frac{1}{1 + j\omega RC} \quad |G| = \frac{\hat{u}_a}{\hat{u}_e} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} \quad G = \frac{u_a}{u_e} = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC} \quad |G| = \frac{\hat{u}_a}{\hat{u}_e} = \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}$$

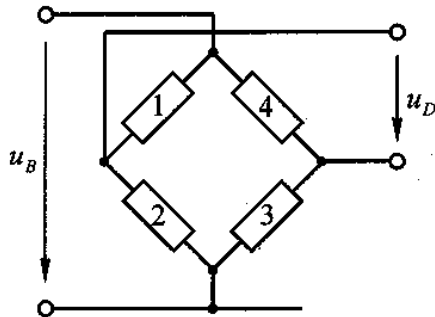
Aufgabe 3 ( 10P )

Auf dem abgebildeten Biegebalken sind 2 DMS längs appliziert.  
 Geg.:  $F, x, a, b, h, E, k$



- Ermitteln Sie zunächst die Dehnungen  $\varepsilon_1$  und  $\varepsilon_2$  in Abhängigkeit der gegebenen Größen!
- Wie groß ist die Brückenverstimmung  $u_D/u_B$  in Abhängigkeit der gegebenen Größen!
- Falls  $-a \leq x \leq +a$  kann man bei konstanter Kraft aus der Brückenverstimmung auf die Position  $x$  schließen. Wie kann man dies anhand der Formel von  $u_D/u_B$  begründen?

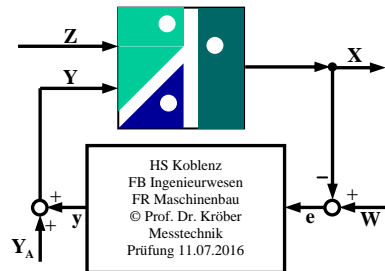
Hilfestellungen:



$$\frac{u_D}{u_B} = \frac{1}{4} \left( \frac{\Delta R_2}{R} + \frac{\Delta R_4}{R} - \frac{\Delta R_1}{R} - \frac{\Delta R_3}{R} \right)$$

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \varepsilon$$

$$W_b = \frac{b \cdot h^2}{6}$$



Aufgabe 4 ( 9P )

Bei einem Laborversuch im Messtechnik-Praktikum wird die Torsionsbeanspruchung in einer Welle untersucht. Das Drehmoment wird durch eine außermittig angreifende Kraft von 50 N erzeugt. Der Hebelarm zur Erzeugung des Torsionsmomentes beträgt 300 mm. Die Welle hat einen Durchmesser von 12 mm. Die DMS sind unter  $\pm 45^\circ$  zur Längsachse appliziert. Es wird eine Halbbrücke verwendet. Wie groß ist die gemessene Brückenverstimmung  $u_D/u_B$  in [mV/V]?

Weitere gegebene Zahlenwerte:  $k = 1,99$ ;  $G = 80000 \text{ N/mm}^2$

Weitere Hilfestellungen:

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$$

$$\varepsilon_{DMS} = \frac{\tau}{2 \cdot G}$$

$$\frac{\Delta R}{R_0} = k \cdot \varepsilon_{DMS}$$

Aufgabe 5 ( 6P )

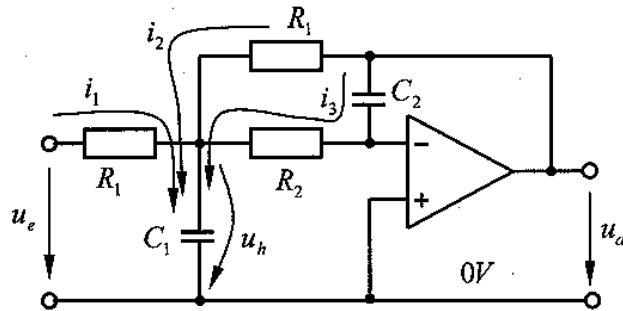
In der Vorlesung Messtechnik wurde folgende Tiefpassfilterschaltung untersucht. Zur Berechnung wurden für die fünf Bauelemente fünf Gleichungen aufgestellt:

Drei Gleichungen (ohne Zeigerstriche) lauten:

$$i_1 = \frac{u_e - u_h}{R_1}$$

$$i_2 = \frac{u_a - u_h}{R_1}$$

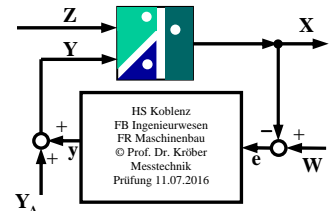
$$i_1 + i_2 + i_3 = \frac{u_h}{j\omega C_1}$$



Wie lauten die beiden Gleichungen für  $R_2$  und  $C_2$ ?

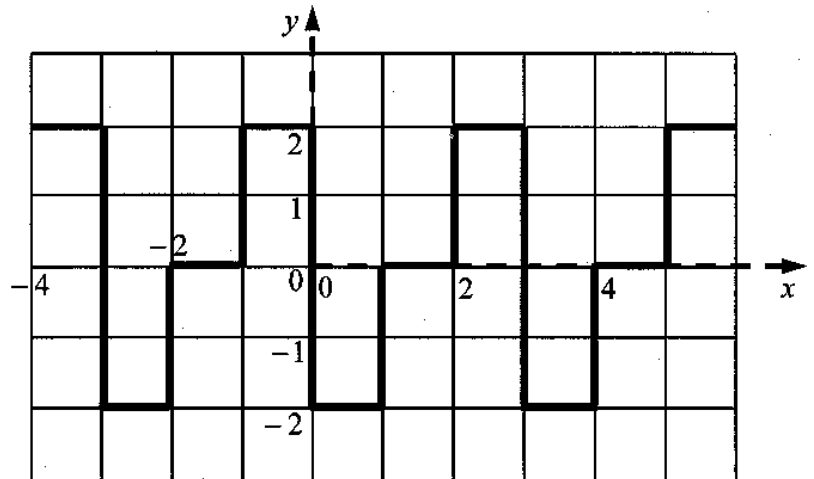
Aufgabe 6 ( 10P )

Von dem abgebildeten Signalverlauf sind der Konstantanteil  $a_0/2$ ,  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $A_1$  sowie  $\varphi_{01}$  zu ermitteln bzw. anzugeben.



Bemerkungen:

Der gesamte Lösungsweg muss ersichtlich sein. Keine Integration "nur im Taschenrechner"! Gesucht ist die exakte Lösung.



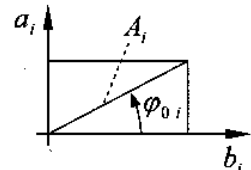
Hilfestellungen:

$$\int \sin(ax) dx = -\frac{1}{a} \cos(ax) + C$$

$$\int \cos(ax) dx = +\frac{1}{a} \sin(ax) + C$$

$$A_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2}$$

$$\tan \varphi_{0i} = \frac{a_i}{b_i}$$



Hinweis:

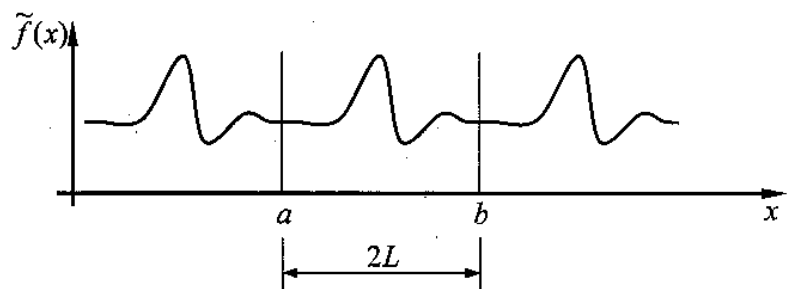
Sei  $\tilde{f}(x)$  eine periodische Funktion der Periode  $2L$ , dann lässt sich  $\tilde{f}(x)$  durch folgende Reihenentwicklung approximieren:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^n a_i \cos\left(i \frac{\pi}{L} x\right) + \sum_{i=1}^n b_i \sin\left(i \frac{\pi}{L} x\right)$$

wobei:

$$a_i = \frac{1}{L} \int_a^b \tilde{f}(x) \cos\left(i \frac{\pi}{L} x\right) dx$$

$$b_i = \frac{1}{L} \int_a^b \tilde{f}(x) \sin\left(i \frac{\pi}{L} x\right) dx$$



# Lösungen Prüfung Messtechnik 11.07.2016

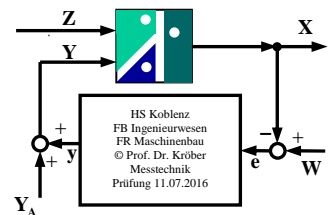
zu 1, a)  $\frac{\partial V}{\partial b} = h \cdot l + \frac{1}{4} \cdot 2b \cdot l = l \left( h + \frac{b}{2} \right)$ ;  $\frac{\partial V}{\partial h} = b \cdot l$

$\frac{\partial V}{\partial l} = b \cdot h + \frac{b^2}{4} = b \left( h + \frac{b}{4} \right)$

$\Delta V = l \left( h + \frac{b}{2} \right) \Delta b + b \cdot l \cdot \Delta h + b \left( h + \frac{b}{4} \right) \Delta l$

b)  $V = \left( 8 \cdot 5 \cdot 1,01 \cdot 10 + \frac{1}{4} 8^2 \cdot 10 \right) \text{m}^3 = 564 \text{m}^3$

c) Anteil  $\Delta l \neq 0$ ;  $\Delta V = b \cdot l \cdot \Delta h = 8 \text{m} \cdot 10 \text{m} \cdot 5 \text{m} \cdot 0,01 = 4 \text{m}^3$   
 $4 \text{m}^3 = 564 \text{m}^3 - 560 \text{m}^3$



zu 2, a)  $\frac{\hat{u}_a}{\hat{u}_e} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} \Rightarrow \left( \frac{\hat{u}_e}{\hat{u}_a} \right)^2 = 1 + (\omega RC)^2$

$RC = \frac{1}{\omega} \sqrt{\left( \frac{\hat{u}_e}{\hat{u}_a} \right)^2 - 1} = \frac{1}{188,5 \text{s}^{-1}} \sqrt{\left( \frac{2 \text{V}}{1,414 \text{V}} \right)^2 - 1} = 5,3066 \text{ms}$

b)  $\hat{u}_a = \hat{u}_e \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} = 2 \text{V} \frac{188,5 \cdot 0,0053066}{\sqrt{1 + (188,5 \cdot 0,0053066)^2}} = 1,414 \text{V}$

c)  $\omega = \omega_E = \frac{1}{RC} \rightarrow$  in beiden Fällen handelt es sich um die (identische) Eckkreisfrequenz;  $\hat{u}_a$  identisch

zu 3, a)  $E_1 = -\frac{G_1}{E} = -\frac{M_{B1}}{E W_b} = -\frac{F_B \cdot a}{E W_b} = -\frac{\frac{2ax}{4a} \cdot F \cdot a}{E \frac{b \cdot b^2}{6}} = -\frac{3(2a+x)}{2E b b^2} \cdot F$

$E_2 = -\frac{3(2a-x)}{2E b b^2} \cdot F$

b)  $\frac{z_D}{L_B} = \frac{k}{4} (E_2 - E_1) = \frac{k}{4} \left( -\frac{3(2a-x)}{2E b b^2} F - \left( -\frac{3(2a+x)}{2E b b^2} F \right) \right)$   
 $= \frac{k}{4} \left( \frac{3x}{2E b b^2} F + \frac{3x}{2E b b^2} F \right) = \frac{3 \cdot k \cdot x}{4E b b^2} \cdot F$

c)  $F = \text{konst}$ , dann  $\frac{z_D}{L_B} \propto x$ ;  $x$  geht linear ein  
 Auflösen nach  $x$

# Lösungen Prüfung Messtechnik 11.07.2016

$$\begin{aligned}
 \text{zu 4) } \frac{U_D}{U_B} &= \frac{1}{2} K \cdot E_{DMS} = \frac{K}{2} \frac{\tau}{2 \cdot G} = \frac{K}{4 \cdot G} \frac{M_t}{W_p} = \frac{K}{4 \cdot G} \cdot \frac{F \cdot l}{\frac{\pi d^3}{16}} \\
 &= \frac{4 \cdot K \cdot F \cdot l}{G \cdot \pi \cdot d^3} = \frac{4 \cdot 1,99 \cdot 50 \cdot 300}{80000 \cdot \pi \cdot 12^3} \cdot 10^3 \frac{\text{mV}}{\text{V}} = \underline{\underline{0,2749 \frac{\text{mV}}{\text{V}}}}
 \end{aligned}$$

Bem.:  $M_t = F \cdot l = 15 \text{ Nm}$ ;  $\tau = \dots = 44,21 \text{ N/mm}^2$ ;  $E_{DMS} = \dots = 276,31 \frac{\text{mm}}{\text{mm}}$

$$\text{zu 5) } G_2: \quad \underline{\underline{z_3}} = \frac{u_a}{1} \quad \text{bzw.} \quad \underline{\underline{z_3}} = \frac{u_a}{j\omega C_2}$$

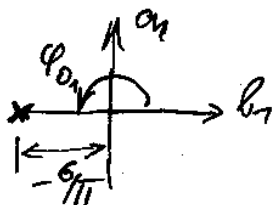
$$R_2: \quad \underline{\underline{z_3}} = -\frac{u_a}{R_2} \quad \text{bzw.} \quad \underline{\underline{z_3}} = \frac{-u_a}{R_2}$$

$$\text{zu 6) } \frac{a_0}{2} = \underline{\underline{0}} \quad a_1 = \underline{\underline{0}} \quad (\text{Funktion ungerade}) \quad 2L = \beta - \alpha = 3 - 0 = 3 \quad L = \frac{3}{2}$$

$$\begin{aligned}
 b_1 &= \frac{1}{3/2} \int_0^1 (-2) \sin\left(1 \cdot \frac{\pi}{3/2} x\right) dx + \frac{1}{3/2} \int_1^3 (+2) \sin\left(1 \cdot \frac{\pi}{3/2} x\right) dx \\
 &= -\frac{4}{3} \int_0^1 \sin\left(\frac{2\pi}{3} x\right) dx + \frac{4}{3} \int_1^3 \sin\left(\frac{2\pi}{3} x\right) dx \\
 &= -\frac{4}{3} \left[ -\frac{3}{2\pi} \cos\left(\frac{2\pi}{3} x\right) \right]_0^1 + \frac{4}{3} \left[ -\frac{3}{2\pi} \cos\left(\frac{2\pi}{3} x\right) \right]_1^3 \\
 &= +\frac{2}{\pi} \left[ \cos\left(\frac{2\pi}{3} x\right) \right]_0^1 - \frac{2}{\pi} \left[ \cos\left(\frac{2\pi}{3} x\right) \right]_1^3 \\
 &= \frac{2}{\pi} \left[ \underbrace{\cos\left(\frac{2\pi}{3}\right)}_{-1/2} - \underbrace{\cos 0}_1 \right] - \frac{2}{\pi} \left[ \underbrace{\cos(2\pi)}_1 - \underbrace{\cos\left(\frac{4\pi}{3}\right)}_{-1/2} \right]
 \end{aligned}$$

$$\underline{\underline{b_1}} = \frac{2}{\pi} \left[ -\frac{3}{2} \right] - \frac{2}{\pi} \left[ \frac{3}{2} \right] = -\frac{6}{\pi} \approx -1,910$$

$$\underline{\underline{A_1}} = |b_1| = \underline{\underline{\frac{6}{\pi} \approx +1,910}} \quad (a_1 = 0)$$



$$\Rightarrow \underline{\underline{\varphi_{01} = +180^\circ}}$$

