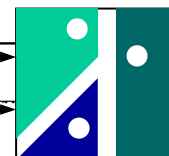


Diese Prüfung besteht aus einem Fragenteil und einem Rechenteil. Zur Bewertung der Aufgaben muss der gesamte Lösungsweg ersichtlich sein.

- 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 02.02.2018

K U R Z F R A G E N :

- An einem DMS-Zugstab aus Stahl hängt eine Masse. Durch eine geeignete Kalibrierung kann die Anzeige unmittelbar in [kg] erfolgen. Die Anzeige beträgt 200 kg. Bei dem Messelement aus Stahl nimmt der E-Modul bei einer Temperaturerhöhung um 25°C um 1 % ab. Welchen Wert zeigt die Anzeige [in kg], wenn die Temperatur sich tatsächlich um 25°C erhöht? (2P)

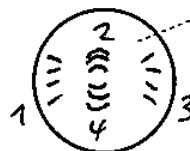
202 kg

- Aktuelle Messwerterfassungssysteme haben eine Auflösung von 16 bit. Der Wandlerbereich sei $\pm 10V$. Wie groß ist die Auflösung? (2P)

$20V/2^{16} = 0,305mV$

- Skizzieren Sie die Anordnung der DMS bei einem Membrandruckaufnehmer! (2P)

2+4 tangential
 1+3 radial



Dies ist die Stirnfläche, die sogenannte Druckmembran

- Wobei spielt die Flankensteilheit eine Rolle (kurze Erläuterung)? (2P)

Digitaltechnik $\frac{dI}{dt} \leq 5 \mu sec$, sonst wird Änderung nicht erkannt

- Wie erhält man aus dem Mittelwert und der Messunsicherheit die untere und obere Vertrauensgrenze? (2P)

untere: $\bar{x} - u$ obere: $\bar{x} + u$

- Welcher Wert ergibt sich für die Standardabweichung, wenn nur die zwei Messwerte $x_1 = 19$ und $x_2 = 21$ vorliegen? (2P)

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{2-1} [(-1)^2 + 1^2]} = \sqrt{2}$$

7. Für welche Anwendungen werden induktive Druckaufnehmer eingesetzt?
(2P)

Kleinere Drücke, Differenzdruckaufnehmer

8. Wie groß ist die übliche Speisespannung für Operationsverstärker?
(2P)

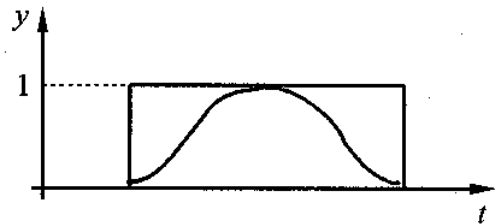
$\pm 15V$

Welcher Signalbereich ist dann nutzbar? (2P) $\approx \pm 13V$

9. Bei welchem Bauelement tritt eine Durchlassspannung auf? (1P)

Diode

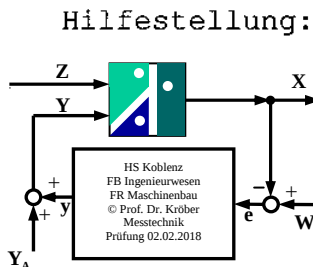
10. Die Abbildung zeigt die Rechteck-Fensterfunktion. Ergänzen Sie in der Abbildung die Hanning-Fensterfunktion! (3P)



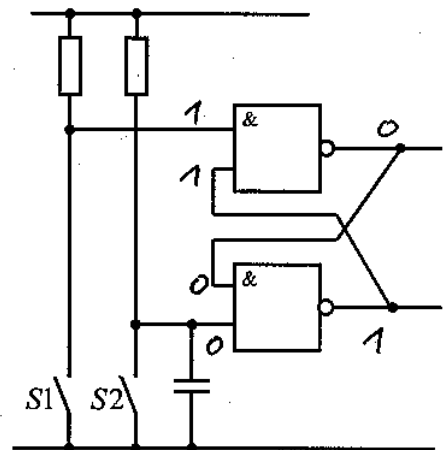
11. Welche Messinformation liefert ein induktiver Näherungsschalter?
(2P)

Metall vor Sensor „vorhanden“ oder „nicht vorhanden“

12. Tragen Sie an beiden NAND-Bauelementen alle Zustände an allen Ein- und Ausgängen ein, die sich unmittelbar nach dem Einschalten einstellen (durch Kondensator)! S1 und S2 sind unbetätigt.
(4P)



NAND		
A	B	Q
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



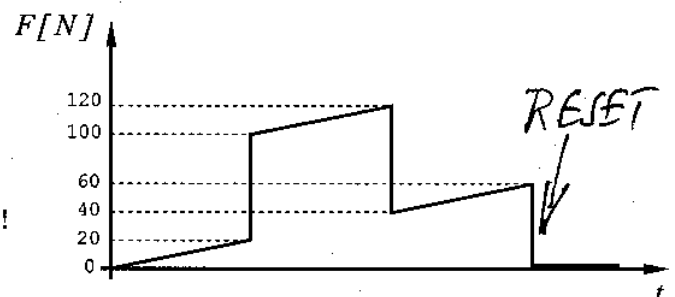
13. Die APP "FrequeSee" zeigt einen Frequenzbereich, der etwas über 20000 Hz hinaus geht. Die möglichen Abtastfrequenzen (Sample Rate) bei einer Audioaufnahme sind 8000 Hz, 11025 Hz, 16000 Hz, 22050 Hz und 44100 Hz. Welche Abtastfrequenz wird verwendet? (2P)

↪ 44100 Hz

14. Die Abbildung zeigt den angezeigten Kraftverlauf (es wird z.B. für eine gewisse Zeit ein Gewicht aufgelegt) eines piezoelektrischen Sensors. Überlagert ist eine gewisse Drift. Wie groß ist die (maximale) Kraft?
(2P)

80 N

Markieren Sie den Zeitpunkt, an dem RESET "eingegeben" wurde!
(2P)



15. In einer Messkette sind zwei Umformer in Reihe geschaltet. Der erste hat einen Verstärkungsfaktor von -20 dB, der zweite ebenfalls -20 dB. Das Eingangssignal hat eine Amplitude von 5 Volt. Wie groß ist die Amplitude [in V] nach dem ersten und nach dem zweiten Umformer [in V]?

Mögliche Hilfestellung $|G|_{dB} = 20 \cdot \lg |G|$
(2 P)

$\downarrow$
 $0,5V$

$\downarrow$
 $0,05V$

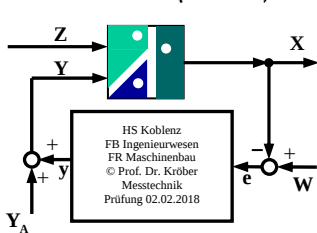
16. Bei welchem Verstärker spielt die phasenabhängige Gleichrichtung eine Rolle?
(2 P)

Trägerfrequenzmessverstärker

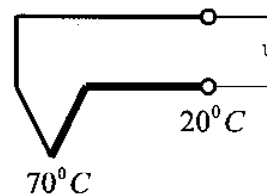
17. Bei einer Strommessung wird über einem bekannten Widerstand R der Spannungsabfall gemessen. Wird dieser Widerstand R dazu in Reihe, parallel oder in einer Wheatstoneschen Messbrücke verschaltet?
(2 P)

in Reihe

18. Die Thermoempfindlichkeit sei $40 \mu V/K$. Welche Spannung u wird bei der linken und rechten Anordnung gemessen?
(3 P)

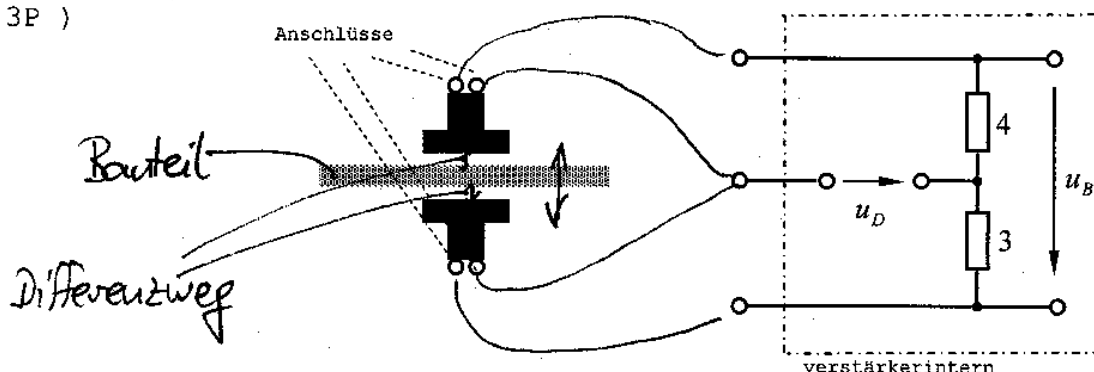


$40 \cdot 70 \mu V = 2,8 mV$



$40 \cdot 50 \mu V = 2,0 mV$

19. Die zwei Induktivitäten sollen zur Wegmessung verwendet werden. Ergänzen Sie die Anschlüsse zur Halbbrücke (an Verstärker anschließen)!
(3 P)



20. Kennzeichnen Sie in der vorigen Fragestellung das Bauteil, den Weg und die Richtung des Weges, der gemessen wird!
Bemerkung: Richtung des Weges z.B. mit $\leftrightarrow$ oder $\updownarrow$ kennzeichnen
(2 P)

21. Ein Würfel hat die Kantenlänge a . Die Kantenlänge a wird um 1% vergrößert. Um wie viel Prozent ändert sich dann die Oberfläche und um wie viel Prozent ändert sich das Volumen des Würfels?
(2 P)

Oberfläche 2%

Volumen 3%

RECHENTEIL

Aufgabe 1 (8P)

Bei der Angabe des Luftdruckes im Fernsehen/Internet/etc. sind die Zahlenangaben stets auf Normal-Null (NN) bezogen. Dies ist der Luftdruck auf Meeresniveau. Dieser betrage im vorliegenden Beispiel $p_0 = 10^5$ Pa. Mit der Höhe nimmt der Luftdruck ab. Formelmäßig kann dies für isotherme Verhältnisse mit der sogenannten barometrischen Höhenformel beschrieben werden:

$$p = p_0 \cdot e^{-\frac{g}{RT}h}$$

Gegebene Zahlenwerte:

$$R = 287 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}; T = (273+20) \text{ K} = 293 \text{ K}; g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

- Bestimmen Sie durch Verwendung der Barometrischen Höhenformel die Abnahme des Luftdruckes in einer Höhe von 20 Metern!
- Verwenden Sie den Ansatz der Fehlerformel zur Bestimmung der Abnahme des Luftdruckes in einer Höhenänderung von 20 Metern!
Hilfestellung hierzu:

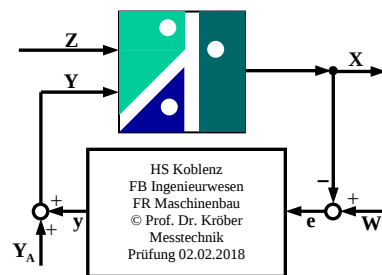
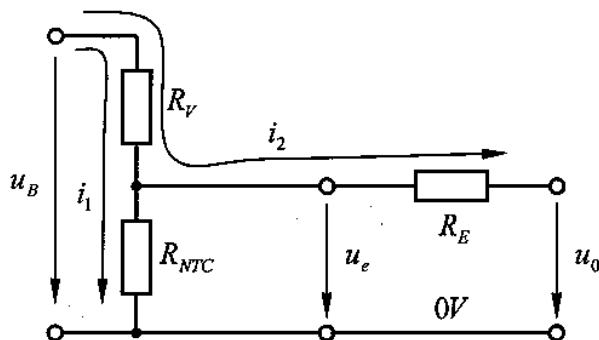
$$\Delta p = \left. \frac{\partial p}{\partial h} \right|_{h=0} \cdot \Delta h$$

Aufgabe 2 (6P)

In der Vorlesung Messtechnik wurde bei einem Spannungseingang eines USB6008 ein vorgeschalteter Spannungsteiler zur Temperaturmessung verwendet. Zur Berechnung wurden für die drei Widerstände drei Gleichungen aufgestellt.

Für den Widerstand R_E lautet die Gleichung: $i_2 = \frac{u_e - u_0}{R_E}$

Wie lauten die beiden Gleichungen für die Widerstände R_V und R_{NTC} ?



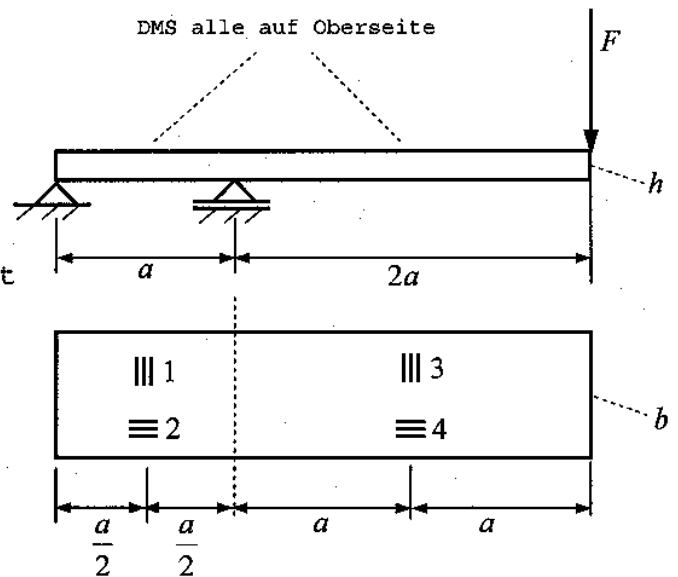
Gesucht sind also: $\dots = \frac{\dots}{R_{NTC}}$ $\dots = \frac{\dots}{R_V}$

Aufgabe 3 (9P)

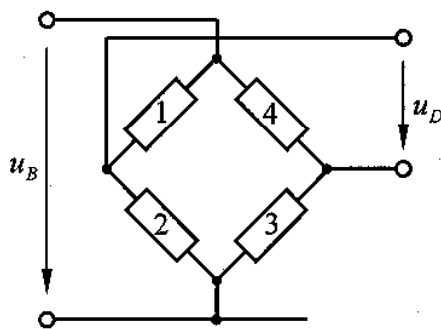
Auf dem abgebildeten Biegebalken sind 4 DMS appliziert.

- Ermitteln Sie zunächst alle vier Dehnungen in Abhängigkeit der gegebenen Größen!
- Wie groß ist die Brückenverstimmung u_D/u_B in Abhängigkeit der gegebenen Größen!

Geg.: F, a, b, h, E, k, ν .



Verschiedene Hilfestellungen:

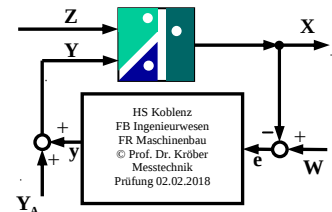


$$\frac{u_D}{u_B} = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_2}{R} + \frac{\Delta R_4}{R} - \frac{\Delta R_1}{R} - \frac{\Delta R_3}{R} \right)$$

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

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

$$\varepsilon_{\text{quer}} = -\nu \cdot \varepsilon_{\text{längs}}$$



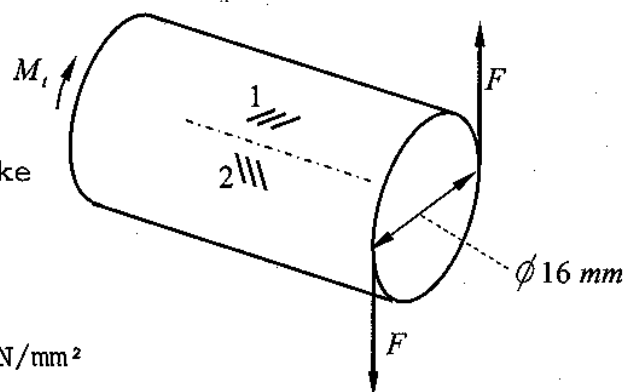
Aufgabe 4 (8P)

An einer Welle greift ein Kräftepaar an. Die an den DMS vorhandenen Dehnungen betragen $\varepsilon_2 = -\varepsilon_1 = 500 \mu\text{m}/\text{m}$.

- Wie groß ist die bei einer Halbbrücke gemessene Brückenverstimmung u_D/u_B [in mV/V]?

- Wie groß ist die Kraft F ?

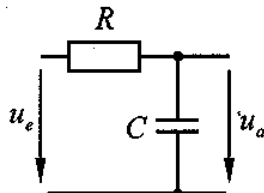
Weitere Zahlenwerte: $k = 2$; $G = 80000 \text{ N}/\text{mm}^2$



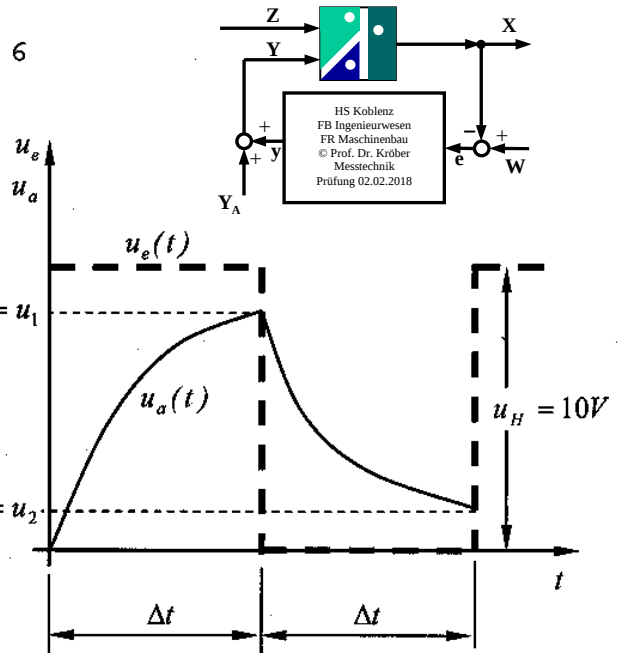
Weitere Hilfestellungen: $\varepsilon_{\text{DMS}} = \frac{\tau}{2 \cdot G}$ $W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$

Aufgabe 5 (8P)

Auf den abgebildeten Tiefpassfilter ($R = 62,5 \text{ k}\Omega$; $C = 0,1 \text{ }\mu\text{F}$) wirkt eine Rechteckspannung mit einer Frequenz von $f = 40 \text{ Hz}$. Zu Beginn der Betrachtung ist der Kondensator völlig entleert. Bestimmen Sie die Spannungen $u_{a1} = u_1$ und $u_{a2} = u_2$!



Hilfestellung: $\frac{\text{momentane Differenz}}{\text{Anfangsdifferenz}} = e^{-\frac{\text{Zeit}}{\text{Zeitkonstante}}}$

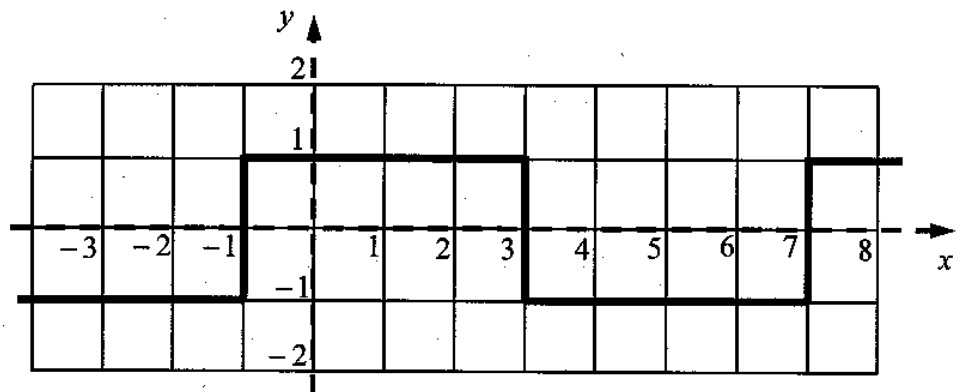


Aufgabe 6 (11P)

Von dem abgebildeten Signalverlauf wurde $a_1 = \frac{2 \cdot \sqrt{2}}{\pi}$ bereits bestimmt.

Bestimmen Sie b_1 , A_1 und φ_{01} ! Die Grundschiwingung kann man schreiben als $y = A_1 \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_{01})$. Im hier vorliegenden Fall ergibt sich (mit ein paar Fehlern): $y = \frac{2}{\pi} \cdot \sin(\frac{\pi}{2} \cdot (x+2))$. Wie muss diese Gleichung richtig lauten?

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



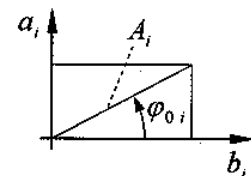
Hilfestellungen:

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

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

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

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



Hinweis:

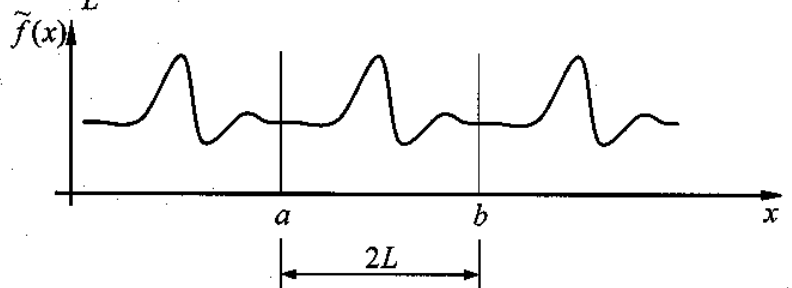
Sei $\tilde{f}(x)$ eine periodische Funktion der Periode $2L$, dann lässt sich $\tilde{f}(x)$ durch folgende Reihenentwicklung approximieren:

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

wobei:

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

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



Prüfung Messtechnik 02.02.18

$$m1, a) \quad p = 10^5 \text{ Pa} \cdot e^{-\frac{9,81}{287 \cdot 293} \cdot 20} = 99766,95 \text{ Pa}$$

$$\Delta p = \text{Abnahme} = (99766,95 - 10^5) \text{ Pa} = -233,05 \text{ Pa}$$

Abnahme

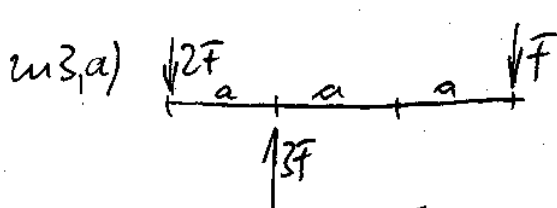
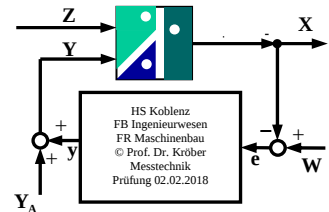
$$b) \quad \frac{\partial p}{\partial h} = p_0 \cdot e^{-\frac{g \cdot h}{RT}} \left(-\frac{g}{RT}\right); \quad \left.\frac{\partial p}{\partial h}\right|_{h=0} = p_0 \cdot e^{-0} \left(-\frac{g}{RT}\right) = -\frac{p_0 \cdot g}{RT}$$

$$\Delta p = \left.\frac{\partial p}{\partial h}\right|_{h=0} \cdot \Delta h = -\frac{p_0 \cdot g}{RT} \cdot \Delta h = -\frac{10^5 \cdot 9,81}{287 \cdot 293} \cdot 20 \text{ Pa} = -233,2 \text{ Pa}$$

Abnahme

$$m2) \quad i_1 + i_2 = \frac{u_B - u_E}{R_x}$$

$$i_1 = \frac{u_E}{R_{NRE}}$$



$$\underline{\underline{\epsilon_4 = \frac{G_{b4}}{E} = \frac{M_{b4}}{E \cdot W_b} = \frac{F \cdot a}{E W_b} = \frac{6 F a}{E b h^2}}}$$

$$\underline{\underline{\epsilon_3 = -\nu \cdot \epsilon_4 = -\nu \frac{6 F a}{E b h^2}}}$$

$$\underline{\underline{\epsilon_2 = \frac{G_{b2}}{E} = \frac{M_{b2}}{E W_b} = \frac{2F \cdot \frac{a}{2}}{E W_b} = \epsilon_4 = \frac{6 F a}{E b h^2}}}$$

$$\underline{\underline{\epsilon_1 = -\nu \epsilon_2 = \epsilon_3 = -\nu \frac{6 F a}{E b h^2}}}$$

$$b) \quad \frac{u_D}{u_B} = \frac{K}{4} (\epsilon_2 + \epsilon_4 - \epsilon_1 - \epsilon_3) = \frac{K}{4} \left(\frac{6 F a}{E b h^2} + \frac{6 F a}{E b h^2} - \left(-\nu \frac{6 F a}{E b h^2}\right) - \left(-\nu \frac{6 F a}{E b h^2}\right) \right)$$

$$= \frac{K}{4} \frac{6 F a}{E b h^2} (2 + 2\nu) = \underline{\underline{\frac{3 K a (1 + \nu)}{E b h^2} \cdot F}}$$

$$m4, a) \quad \frac{u_D}{u_B} = \frac{K}{4} (\epsilon_2 - \epsilon_1) = \frac{2}{4} (500 \cdot 10^{-6} - (-500 \cdot 10^{-6})) = \underline{\underline{0,5 \frac{\mu V}{V}}}$$

$$b) \quad \epsilon_{DTS} = 2,6 \Rightarrow \tau = 2,6 \epsilon_{DTS} = 2,6 \cdot 80000 \cdot 500 \cdot 10^{-6} \frac{N}{mm^2} = 80 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau = \frac{M_t}{W_p} \Rightarrow M_t = \tau \cdot W_p = 80 \cdot \frac{\pi}{16} \cdot 16^3 \frac{Nmm}{mm} = 64,340 \text{ Nmm}$$

$$M_t = F \cdot d \Rightarrow \underline{\underline{F = \frac{M_t}{d} = \frac{64,340 \text{ Nmm}}{0,016 \text{ m}} = 4021 \text{ N}}}$$

Prüfung Messtechnik 02.02.18

zu 5) $\frac{1}{f} = T_{\text{Periode}} = 2 \cdot st \Rightarrow st = \frac{1}{2f} = \frac{1}{2 \cdot 40} s = 12,5 ms$

Zeitkonstante $= R \cdot C = 62,5 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} s = 6,25 ms$

Anstieg: $\frac{u_{\text{mom}}}{U_{\text{anf}}} = \frac{u_{\text{mom}}}{10V} = e^{-\frac{t}{\tau}} = e^{-\frac{12,5}{6,25}} = e^{-2}$

$\Rightarrow u_{\text{mom}} = 10V \cdot e^{-2} = 1,353V \Rightarrow u_1 = 10V - 1,353V = 8,647V$

Abfall: $\frac{u_{\text{mom}}}{U_{\text{anf}}} = e^{-\frac{t}{\tau}} = e^{-2}$

$u_{\text{mom}} = u_2 = U_{\text{anf}} \cdot e^{-2} = 8,647V \cdot e^{-2} = 1,170V$

zu 6) $2L = b - a = 7 - (-1) = 8 \Rightarrow L = 4$

$b_1 = \frac{1}{4} \int_{-1}^3 (x+1) \sin\left(1 \cdot \frac{\pi}{4} x\right) dx + \frac{1}{4} \int_3^7 (-1) \sin\left(1 \cdot \frac{\pi}{4} x\right) dx$

$= \frac{1}{4} \int_{-1}^3 \sin\left(\frac{\pi}{4} x\right) dx - \frac{1}{4} \int_3^7 \sin\left(\frac{\pi}{4} x\right) dx = \frac{1}{4} \left[-\frac{4}{\pi} \cos\left(\frac{\pi}{4} x\right) \right]_{-1}^3 - \frac{1}{4} \left[-\frac{4}{\pi} \cos\left(\frac{\pi}{4} x\right) \right]_3^7$

$= -\frac{1}{\pi} \underbrace{\cos\left(\frac{3}{4}\pi\right)}_{-\frac{1}{2}\sqrt{2}} + \frac{1}{\pi} \underbrace{\cos\left(-\frac{\pi}{4}\right)}_{\frac{1}{2}\sqrt{2}} + \frac{1}{\pi} \underbrace{\cos\left(\frac{7}{4}\pi\right)}_{\frac{1}{2}\sqrt{2}} - \frac{1}{\pi} \underbrace{\cos\left(\frac{3}{4}\pi\right)}_{-\frac{1}{2}\sqrt{2}} = \frac{1}{\pi} \cdot 4 \cdot \frac{1}{2}\sqrt{2}$

$b_1 = \frac{2 \cdot \sqrt{2}}{\pi} \approx 0,9003$

$\underline{A_1} = \sqrt{a_1^2 + b_1^2} = \sqrt{\left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi}\right)^2 + \left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi}\right)^2} = \sqrt{2} \cdot \frac{2\sqrt{2}}{\pi} = \underline{\underline{\frac{4}{\pi}}}$

$\tan \varphi_1 = \frac{a_1}{b_1} = \frac{\frac{2\sqrt{2}}{\pi}}{\frac{2\sqrt{2}}{\pi}} = 1 \Rightarrow \varphi_1 = 45^\circ \text{ bzw. } \frac{\pi}{4}$

Somit: $\underline{y} = \frac{4}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{4} x + \frac{\pi}{4}\right) = \underline{\underline{\frac{4}{\pi} \sin\left[\frac{\pi}{4} (x+1)\right]}}$

