Fachhochschule Koblenz Blatt 1 von 5
Fachbereich Ingenieurwesen
Fachrichtung Maschinenbau

Name ______________________

Matr.-Nr. ______________________

Maschinendynamik WS 07/08
Prof. Dr. W. Kröber

Zur Bewertung der Aufgaben muss der gesamte Lösungsweg ersichtlich sein.

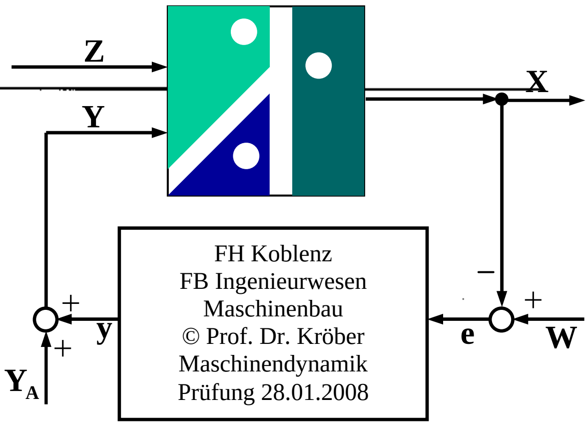
- Bearbeitungszeit : 90 min

Diplomstudiengang: Aufgaben 1 bis 7

Bachelorstudiengänge: Aufgaben 3 bis 9

Note : ______________________

Aufgabe	erreichte Punkte
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
Summe	

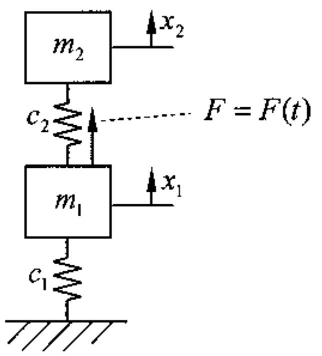


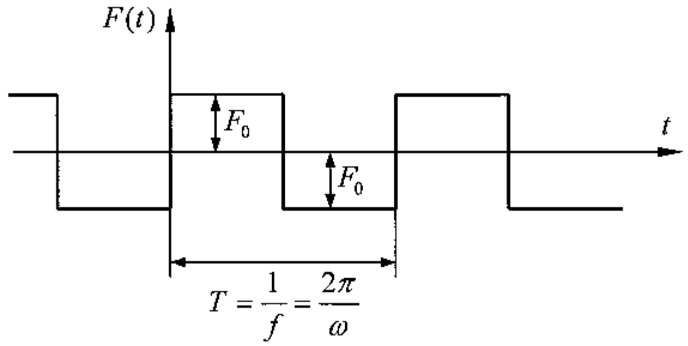
Erlaubte Hilfsmittel (Diplomstudiengang):
- Schreib- und Zeichengerät
- Taschenrechner
- Formelsammlung "Maschinendynamik" (11 Blätter)
- aus der Technischen Mechanik:
  - Flächen- und Widerstandsmomente für die Biegung
  - Durchbiegungen und Neigungswinkel
  - Massenträgheitsmomente homogener Körper

Erlaubte Hilfsmittel (Bachelorstudiengänge):
- Schreib- und Zeichengerät
- Taschenrechner
- Formelsammlung "Technische Mechanik III" (2 Blätter)
- Formelsammlungsblatt "Massenträgheitsmomente: ..." (1 Blatt)
- Formelsammlung "Maschinendynamik" (11 Blätter)
- Umdruck/Formelsammlung Maschinenakustik (9 Blätter)

Aufgabe 1 (17P)

Auf einen Zweimassenschwinger wirkt ein Kraftverlauf in Form der abgebildeten Rechteckfunktion.





Fourierreihe dazu:

$$F(t) = \frac{4 \cdot F_0}{\pi} \cdot [\sin(\omega t) + \frac{1}{3}\sin(3\omega t) + \frac{1}{5}\sin(5\omega t) + ...]$$

Die Daten des Zweimassenschwingers lauten:

$m_1 = m_2 = 50\,kg$ und $c_1 = c_2 = 4 \cdot 10^6\,N/m$

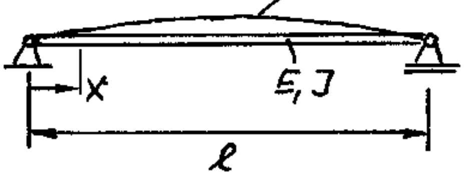
a. Bestimmen Sie die beiden Eigenfrequenzen des Systems!

b. Die Frequenz der Kraftanregung kann zwischen 10 Hz und 60 Hz variieren. Bei welchen Frequenzen kommt es dabei zu einer Resonanzwirkung (d.h. der Betrieb führt zu unzulässig großen Schwingwegen)?

Aufgabe 2 (16P)

Für einen beidseitig gelenkig gelagerten Träger soll mit dem Rayleigh-Verfahren die tiefste Eigenfrequenz bestimmt werden. Als Ansatzfunktion für die Schwingform soll hier eine Parabel angenommen werden.

$$y = a \cdot x \cdot (l - x) = a \cdot (l \cdot x - x^2)$$



Daten des Trägers:
Flächenmoment I, Querschnitt A, Dichte ρ (alle Größen konstant)

Ziel der Rechnung ist ein Ergebnis in der Form:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{konst \cdot E \cdot I}{\rho \cdot A \cdot l^4}} \quad ; \quad konst = ?$$

Hilfestellung zum Rayleigh-Verfahren:

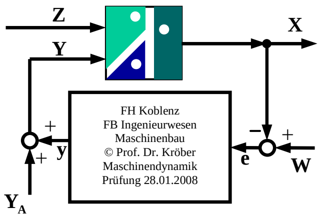
$$\omega_0^{\,2} = E \cdot \frac{\int_0^l I(x) \cdot \hat{y}''^2(x) \cdot dx}{\int_0^l A(x) \cdot \rho(x) \cdot \hat{y}^2(x) \cdot dx}$$

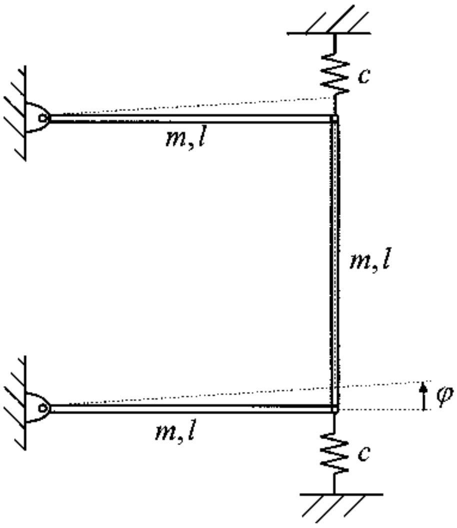
Aufgabe 3 (10P)

Das abgebildete System besteht aus drei dünnen starren Stäben, jeweils der Masse m und der Länge l. Sie sind durch Gelenke miteinander verbunden.

Bestimmen Sie die Eigenkreisfrequenz für kleine Auslenkungen φ !

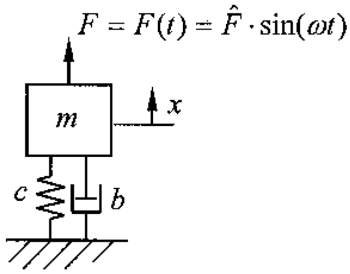
Ziel: $\omega_0^{\ 2} = \ldots \cdot \frac{c}{m}$





Aufgabe 4 (14P)

Auf ein Schwingungssystem wirkt eine sinusförmige Kraft. Die Kreisfrequenz wird so lange variiert, bis sich für die Phasenverschiebung zwischen F und x betragsmäßig ein Wert von 90 Grad ergibt. Dabei wird für die Vergrößerungsfunktion ein Wert von $V_1 = 5$ ermittelt.

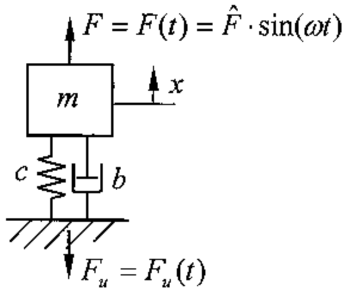


a. Bestimmen Sie den Dämpfungsgrad und das logarithmische Dekrement!

b. Bei einem Ausschwingversuch wird eine abklingende Schwingung gemessen. Der Spitzenwert eines bestimmten Schwingungsausschlages beträgt 6,0mm. Wie groß ist der Spitzenwert des übernächsten Schwingungsausschlages?

Aufgabe 5 (14P)

Auf ein Schwingungssystem wirkt eine sinusförmige Erregerkraft $F = F(t) = \hat{F} \cdot \sin(\omega t)$. Durch die sich einstellende Schwingung wirkt auch auf die Umgebung eine Kraft $F_u = F_u(t)$. Die Kreisfrequenz ist so groß, dass 10% der Erregerkraft als Kraft auf die Umgebung wirkt (Spitzenwerte sind gemeint),



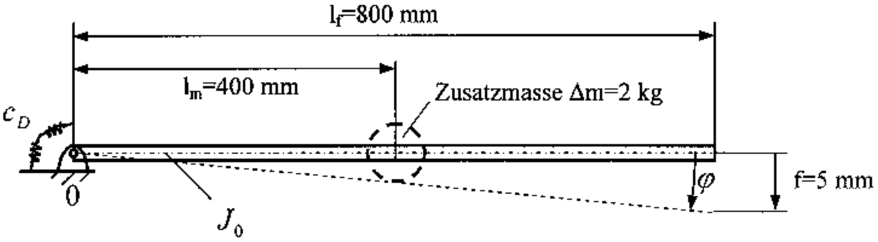
also gilt: $\frac{\hat{F}_u}{\hat{F}} = 0{,}1$ bzw. $\frac{\hat{F}}{\hat{F}_u} = 10$

Die Wirkung der Dämpfung kann vernachlässigt werden. Die Kreisfrequenz beträgt $\omega = 120 s^{-1}$, die Erdbeschleunigung sei $g = 9{,}81 m/s^2$.

Bestimmen Sie die statische Einsenkung der Masse aufgrund des Eigengewichtes!

Aufgabe 6 (11P)

Das abgebildete Schwingungssystem kann Drehschwingungen um das Lager "0" ausführen. Durch das Aufbringen einer Zusatzmasse Δm wird am äußeren Ende des biegesteifen Stabes eine statische Durchsenkung f gemessen.



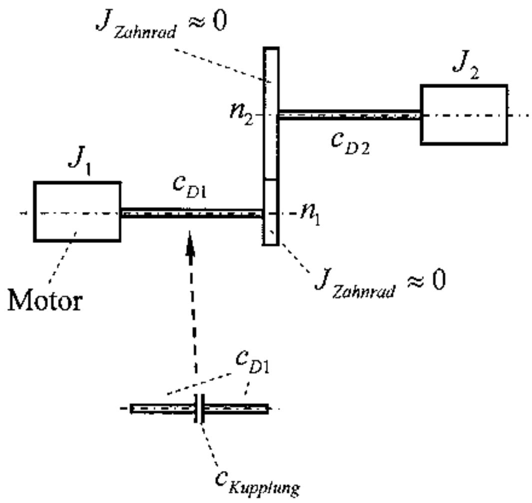
a. Bestimmen Sie zunächst die Drehsteifigkeit c_D!
   Geg.: $g = 9{,}81\,m/s^2$

b. Die Schwingungsperiodendauer (Stab plus Zusatzmasse) beträgt 0,2s. Wie groß ist das Massenträgheitsmoment J_0 des Stabes (Stab ohne Zusatzmasse)?

Aufgabe 7 (18P)

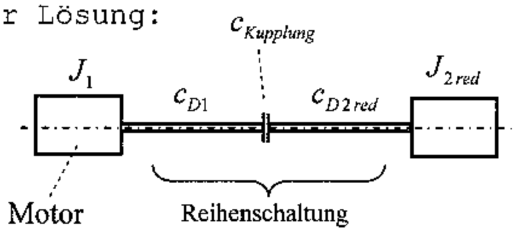
Die Abbildung zeigt eine Getriebeeinheit. Die Massenwirkung des Zahnradpaares kann vernachlässigt werden. Zur konkreten Berechnung wird angenommen, dass $J = J_1 = J_2 = 0{,}1\,kgm^2$ und $c_D = c_{D1} = c_{D2} = 2000\,Nm/rad$.

Ferner sei: $\frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{2}$



Bestimmen Sie die torsionskritische Drehzahl n_1 [1/min] des Antriebssystems für den Fall, dass in den Wellenstrang 1 noch eine Kupplung eingebaut wird! Die Drehsteifigkeit der Kupplung sei $c_{D\,Kupplung} = 4000\,Nm/rad$.

Hilfestellung zur Lösung:



Aufgabe 8 (17P)

Das Ergebnis einer Messung liefert für eine Maschine den folgenden unbewerteten Schalldruckpegel (Terzpegel):

f[Hz]	400	500	630	800	1000	1250
L_{lin}[dB]	62	74	85	83	73	61

Bem.: Die Terzpegel unterhalb 400 Hz und oberhalb 1250 Hz liegen unter 60 dB und werden vernachlässigt.

a. Bestimmen Sie den unbewerteten Gesamtpegel!

b. Bestimmen Sie den A-bewerteten Gesamtpegel!

c. Erläutern Sie durch eine Beispielrechnung, weshalb Terzpegel mit Werten unter 60dB vernachlässigt werden können.

d. Wie viele Stunden kann die Maschine am Tag laufen, wenn der auf 8h bezogene Mittelungspegel der Maschine 80 dB(A) nicht übersteigen darf?

Hilfestellung zu Aufgabe 8:
Tabellarische Darstellung der A-Bewertungskurve für einzelne Terzen:

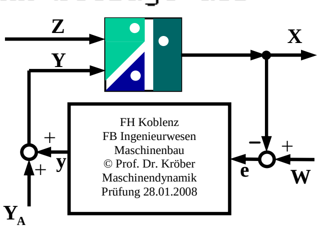
f[Hz]	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160
ΔL [dB]	-63,4	-56,7	-50,5	-44,7	-39,4	-34,6	-30,2	-26,2	-22,2	-19,1	-16,1	-13,4

f[Hz]	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
ΔL [dB]	-10,9	-8,6	-6,6	-4,8	-3,2	-1,9	-0,8	0	+0,6	+1,0	+1,2	+1,3

f[Hz]	3150	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000	20000
ΔL [dB]	+1,2	+1,0	+0,5	-0,1	-1,1	-2,5	-4,3	-6,6	-9,3

Aufgabe 9 (16P)

Eine Maschine steht im Freien auf einer schallharten Unterlage. In einem Abstand r_1 von der Maschine wird ein Schalldruckpegel von $L_{p1} = 70 dB(A)$ gemessen. Geht man 10 m weiter von der Maschine weg, dann beträgt der Schalldruckpegel $L_{p2} = 65 dB(A)$. Es gilt also: $r_2 = r_1 + 10m$.



a. Wie groß ist der Abstand r_1?

b. Wie groß ist der Schallleistungspegel L_W?

c. Welche Schallleistung [in Watt] strahlt die Maschine ab?

Annahme: Freifeldbedingungen auf schallharter Unterlage

Prüfung Maschinendynamik vom 28.01.08 | Blatt 1

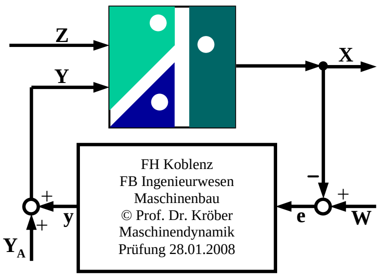
zu 1, a) $\omega_{0_{1,2}}^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{2c}{m}+\frac{c}{m}\right) \pm \sqrt{\frac{1}{4}\left(\frac{2c}{m}+\frac{c}{m}\right)^2 - \frac{c^2}{m^2}}$

$$= \frac{3}{2}\frac{c}{m} \pm \sqrt{\frac{9}{4}\left(\frac{c}{m}\right)^2 - \left(\frac{c}{m}\right)^2} = \left(\frac{3}{2} \pm \frac{\sqrt{5}}{2}\right)\frac{c}{m} = \frac{3\pm\sqrt{5}}{2}\cdot\frac{4\cdot 10^6}{50}\, s^{-2}$$

$\omega_{01} = 457{,}649\, s^{-1} \Rightarrow \underline{\underline{f_{01}}} = \frac{\omega_{01}}{2\cdot\pi} = \underline{\underline{72{,}84\ Hz}}$

$\omega_{02} = 174{,}806\, s^{-1} \Rightarrow \underline{\underline{f_{02}}} = \ldots = \underline{\underline{27{,}82\ Hz}}$

b) aufgrund f_{01}: $\frac{72{,}84\ Hz}{1} = 72{,}84\ Hz > 60\ Hz$



$\frac{72{,}84\ Hz}{3} = \underline{\underline{24{,}28\ Hz}}$

$\ldots/5 = \underline{\underline{14{,}57\ Hz}}$

$\ldots/7 = \underline{\underline{10{,}41\ Hz}}$

$\ldots/9 < 10\ Hz$

Erläuterung:
Signal enthält Schwingungsanteile mit Ordnungszahl 1, 3, 5, 7, … (Oberschwingungen)
↑…Grundschwingung

aufgrund f_{02}: (nur) $\underline{\underline{27{,}82\ Hz}}$

zu 2) $\omega_0^2 = E\,\frac{J\int_0^l y''^2(x)dx}{A\cdot\rho\int_0^l y^2(x)dx}$ ← Z (Zähler) / ← N (Nenner)

Z: $Z = \int_0^l y''^2(x)dx$ $\quad y = alx - ax^2;\ y' = al - 2ax;\ y'' = -2a$

$$= \int_0^l (-2a)^2 dx = 4a^2\int_0^l dx = 4a^2 l$$

N: $N = \int_0^l y^2(x)dx = \int_0^l a^2(l^2x^2 - 2lx\,x^2 + x^4)dx = a^2\int_0^l (l^2x^2 - 2lx^3 + x^4)dx$

$$= a^2\left[\frac{1}{3}l^2x^3 - \frac{2}{4}lx^4 + \frac{1}{5}x^5\right]_0^l = a^2 l^5\left[\frac{1}{3} - \frac{1}{2} + \frac{1}{5}\right] = \frac{1}{30}a^2 l^5$$

Somit: $\omega_0^2 = E\,\frac{J\cdot 4a^2 l}{A\rho\,\frac{1}{30}a^2 l^5} = \frac{120\,EJ}{A\rho l^4}$ bzw. $\underline{\underline{\omega_0 = \sqrt{\frac{120\,EJ}{A\rho l^4}}}}$

bzw. Konst = 120

Hinweis/Bemerkung:
Vergleich mit MDY-Prüfung vom 04.07.07, Aufgabe 5
→ dort exakte Ansatzfunktion: „Sinusfunktion"
Konst $= \pi^4 \approx 97{,}41$

Prüfung Maschinendynamik vom 28.01.08 / Blatt 2

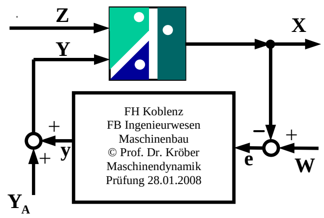
zu 3) $\omega_0^2 = \frac{c_{ges}}{J_{ges}} = \frac{2\cdot c\cdot \ell^2}{\frac{1}{3}m\ell^2 + \frac{1}{3}m\ell^2 + m\ell^2}$

Parallelschaltung

vertikaler Stab

zwei horizontale Stäbe

$= \frac{2c\cancel{\ell^2}}{\frac{5}{3}m\cancel{\ell^2}} \Rightarrow \omega_0 = \sqrt{\frac{6\cdot c}{5\cdot m}}$



als „Linear/Längsschwingung":

$\omega_0^2 = \frac{2\cdot c}{m_{red}}$ $\qquad \frac{1}{2} m_{red}\cdot v^2 = \frac{m}{2} v^2 + 2\left(\frac{1}{2} \underbrace{J}_{\frac{1}{3}m\ell^2}\cdot \underbrace{\omega^2}_{v/\ell}\right)$

Liefert: $m_{red} = m + 2\left(\frac{1}{3}\cdot m\right) = \frac{5}{3}m$

zu 4) $|\varphi| = 90° \to$ Resonanz, $\eta = 1$

$V_1 = \frac{1}{\sqrt{\underbrace{(1-1^2)^2}_{0} + (2D\,1)^2}} = \frac{1}{2D} \Rightarrow D = \frac{1}{2V_1} = \frac{1}{2\cdot 5} = 0{,}1$

$\Lambda = \frac{2\pi D}{\sqrt{1-D^2}} = \frac{2\cdot\pi\cdot 0{,}1}{\sqrt{1-0{,}1^2}} = 0{,}6315$

b) $\Lambda = \frac{1}{2}\ln\frac{x_i}{x_{i+2}} \Rightarrow 2\Lambda = \ln\frac{x_i}{x_{i+2}} \Rightarrow \frac{x_i}{x_{i+1}} = e^{2\Lambda}$

$x_{i+2} = \frac{x_i}{e^{2\Lambda}} = \frac{6\,mm}{e^{2\cdot 0{,}6315}} = 1{,}697\,mm$

zu 5) Wegen $V_2 \ll 1$ bzw. $V_2 < 1$ muss gelten: $\eta > 1$

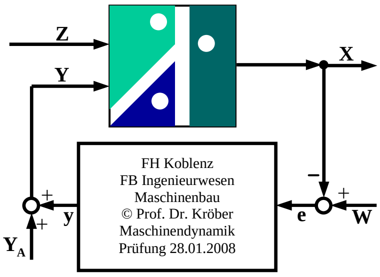
also: $V_2 = \frac{\hat{F}_u}{\hat{F}} = \frac{1}{\eta^2 - 1} = 0{,}1 \Rightarrow \eta^2 - 1 = \frac{1}{0{,}1} = 10$

$\eta^2 = 11 \Rightarrow \eta = \sqrt{11} \approx 3{,}3166$

$\eta = \frac{\omega}{\omega_0} \Rightarrow \omega_0 = \frac{\omega}{\eta} = \frac{120\,s^{-1}}{3{,}3166} = 36{,}181\,s^{-1}$

$\omega_0^2 = \frac{g}{x_{stat}} \Rightarrow x_{stat} = \frac{g}{\omega_0^2} = \frac{9{,}81}{36{,}181^2}\,m = 7{,}494\,mm$

Prüfung Maschinendynamik vom 28.01.08 / Blatt 3



m6) $$\underline{\underline{C_D}} = \frac{\Delta M}{\Delta \varphi} = \frac{\Delta m \cdot g \cdot l_m}{\frac{f}{l_F}} = \frac{2 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}4\,Nm}{\frac{5\,mm}{800\,mm}} = \underline{\underline{1255{,}7\,\frac{Nm}{rad}}}$$

$|\varphi| \ll 1$

$$\omega_0^2 = \frac{C_D}{J_0 + \Delta m \cdot l_m^2} = \left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2$$

$$J_0 + \Delta m \cdot l_m^2 = C_D \left(\frac{T_0}{2\pi}\right)^2$$

$$J_0 = C_D \left(\frac{T_0}{2\pi}\right)^2 - \Delta m \cdot l_m^2$$

$$\underline{\underline{}} = \Big[\underbrace{1255{,}7 \left(\frac{0{,}2}{2\pi}\right)^2}_{1{,}2723} - \underbrace{2 \cdot 0{,}4^2}_{0{,}32}\Big]\,kgm^2 = \underline{\underline{0{,}9523\,kgm^2}}$$

m7) $$\frac{1}{2} J_{2red}\,\omega_1^2 = \frac{1}{2} J_2\,\omega_2^2$$

$$J_{2red} = J_2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2 = J_2 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 = 0{,}1\,kgm^2 \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 0{,}025\,kgm^2$$

$$\frac{1}{2} C_{D2red}\,\varphi_1^2 = \frac{1}{2} C_{D2} \cdot \varphi_2^2$$

$$C_{D2red} = C_{D2} \left(\frac{\varphi_2}{\varphi_1}\right)^2 = C_{D2} \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 = 2000\,\frac{Nm}{rad} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 500\,\frac{Nm}{rad}$$

$$\frac{1}{C_{Dges}} = \frac{1}{C_{D1}} + \frac{1}{C_{Kupplung}} + \frac{1}{C_{D2red}} = \left[\frac{1}{2000} + \frac{1}{4000} + \frac{1}{500}\right] \frac{rad}{Nm}$$

$$\Rightarrow C_{Dges} = 363{,}64\,\frac{Nm}{rad}$$

$$\omega_0^2 = C_{Dges} \left(\frac{1}{J_1} + \frac{1}{J_{2red}}\right) = 363{,}64 \left(\frac{1}{0{,}1} + \frac{1}{0{,}025}\right) s^{-2} \Rightarrow \omega_0 = 134{,}84\,s^{-1}$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \Rightarrow \underline{\underline{n}} = \frac{30 \cdot \omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 134{,}84}{\pi}\,{}^1\!/_{min} = \underline{\underline{1288\,{}^1\!/_{min}}}$$

m8,a) $$L_{\Sigma lin} = 10 \cdot lg\left[10^{6{,}2} + 10^{7{,}4} + 10^{8{,}5} + 10^{8{,}3} + 10^{7{,}3} + 10^{6{,}1}\right] dB$$

$$\underline{\underline{}} = 87{,}51\,dB \approx \underline{\underline{87{,}5\,dB}}$$

b)

	62	74	85	83	73	61
ΔL	−4,8	−3,2	−1,9	−0,8	0	+0,6
	57,2	70,8	83,1	82,2	73	61,6

$$L_{\Sigma(A)} = 10 \cdot lg\left[10^{5{,}72} + 10^{7{,}08} + 10^{8{,}31} + 10^{8{,}22} + 10^{7{,}3} + 10^{6{,}16}\right] dB(A)$$

$$\underline{\underline{}} = 86{,}065\,dB(A) \approx \underline{\underline{86{,}1\,dB(A)}}$$

Prüfung Maschinendynamik vom 28.01.08 | Blatt 4

m8,c) Bsp.: 87,5 dB + 60 dB

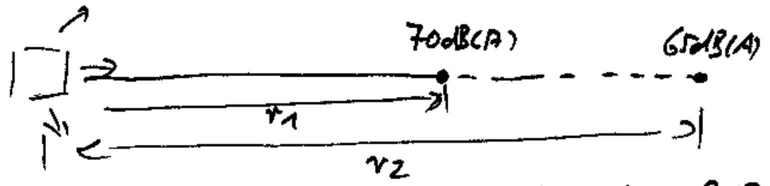
$$10\cdot\lg\left[10^{8,75}+10^{6,0}\right] = 87{,}5077\,dB \approx 87{,}5\,dB$$

Einfluss von 60 dB

d) $$10^{0,1L_m}\cdot T_m = 10^{0,1L_1}\, T_1$$

$$T_1 = T_m\,\frac{10^{0,1L_m}}{10^{0,1L_1}} = T_m\cdot 10^{0,1(L_m-L_1)} = 8h\cdot 10^{0,1(80-86,1)} = 1{,}96h \approx 2h$$

m9)



$$L_p = L_w - 8dB - 20\cdot\lg r \Rightarrow L_w = L_p + 8dB + 20\cdot\lg r$$

$$L_{p1} + \cancel{8dB} + 20\cdot\lg r_1 = L_{p2} + \cancel{8dB} + 20\cdot\lg r_2$$

$$L_{p1} - L_{p2} = 20\cdot\lg\frac{r_2}{r_1}$$

$$\frac{1}{20}\left(L_{p1}-L_{p2}\right) = \lg\frac{r_2}{r_1}$$

$$\frac{r_2}{r_1} = 10^{\frac{L_{p1}-L_{p2}}{20}} = 10^{\frac{70-65}{20}} = 1{,}7783$$

$$r_2 = \underbrace{1{,}7783\, r_1 = r_1 + 10m}$$

$$0{,}7783\, r_1 = 10m \Rightarrow r_1 = \frac{10m}{0{,}7783} = 12{,}849m \quad (r_2 = 22{,}849m)$$

b) $$L_w = L_{p1} + 8dB + 20\cdot\lg r_1 = (70 + 8 + 20\cdot\lg 12{,}849)\,dB(A) = 100{,}18\,dB(A)$$

c) $$L_w = 10\cdot\lg\frac{P}{P_0} \Rightarrow P = P_0\cdot 10^{0,1L_w}$$

$$= 10^{-12}W\cdot 10^{0,1\cdot 100,18}$$

$$= 1{,}042\cdot 10^{-2}W$$