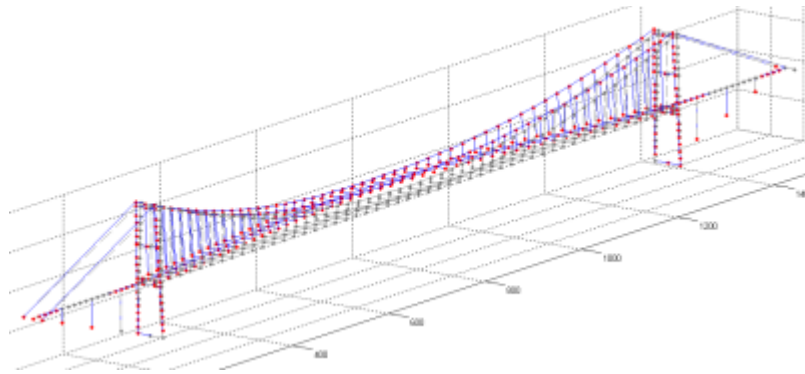


Übung Tragwerksdynamik 2 inkl. Laborübungen



Übersicht der Aufgaben

Thema 9: Frequenzbereich

Aufgabe 9.1: Maschinen in einem 3-Stock-Rahmen

Thema 11: Erdbebendynamik

Aufgabe 11.1: Industriehalle in Stahlbeton-Rahmenbauweise

Aufgabe 11.2: Fabrikationshalle mit monolithischer Deckenscheibe

Thema 14: Laborpraktikum

Aufgabe 14.1: Einführung in die Messtechnik / Systemidentifikation

Aufgabe 14.2: Systemidentifikation – Maschinenfundament

Aufgabe 14.3: Installation einer Maschine in ein bestehendes Gebäude

Aufgabe 14.3: (ALT) Installation einer Maschine in ein bestehendes Gebäude

Aufgabe 14.4: Bemessung und Verifizierung der Wirksamkeit eines Schwingungstilgers

Thema 9: Frequenzbereich

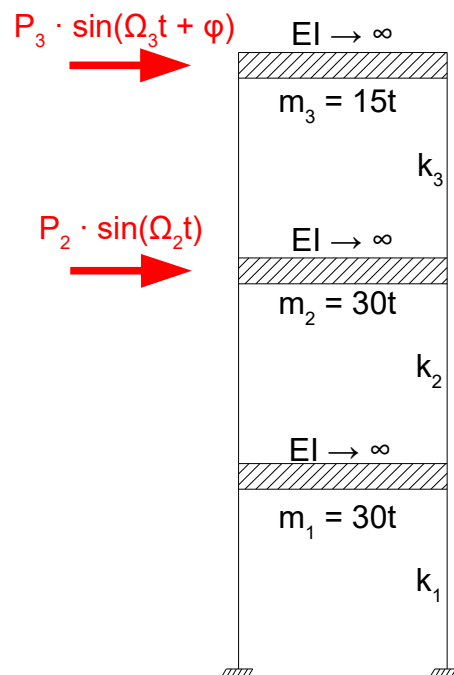
Übung Tragwerksdynamik 2

Thema 9: Frequenzbereich

Aufgabe 9.1: Maschinen in einem 3-Stock-Rahmen

In dem aus Aufgabe 2.6 und 7.1 bekannten Gebäude befinden sich insgesamt 2 Maschinen. Zusätzlich zur bekannten Maschine im 2. Stock wird im dritten Stock eine weitere Maschine aufgestellt. Beide erzeugen harmonische Lasten. Aus technischen Gründen startet die Maschine in Stockwerk 3 erst **825 ms** nach der Maschine in Stockwerk 2.

- Bestimmen Sie die Fouriertransformierte der Maschinenlast im 2. Stock. Dabei ist anzunehmen, dass die Maschine 30 Sekunden läuft und danach augenblicklich stoppt.
- Ermitteln Sie die Dämpfungsmatrix des Systems. Dabei soll Rayleigh-Dämpfung mit den Dämpfungswerten aus Aufgabe 7.1 angesetzt werden.
- Berechnen Sie die Antworten der 3 Deckenebenen mit Hilfe der Frequenzbereichsmethode unter Berücksichtigung beider Maschinen. Vereinfachend soll nur die stationäre Antwort bestimmt werden. Wie würde sich eine Berechnung der transienten Systemantwort für die Last aus Teil a) davon unterscheiden?



Gegeben: Steifigkeiten der Stockwerke:

$$k_1 = 8 \cdot 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad k_2 = 4 \cdot 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad k_3 = 4 \cdot 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Lastamplituden:

$$P_2 = 5 \text{ kN} \quad P_3 = 2 \text{ kN}$$

Lastfrequenzen:

$$\Omega_2 = 4\pi \quad \Omega_3 = 8\pi$$

Thema 11: Erdbebendynamik

Übung Tragwerksdynamik 2

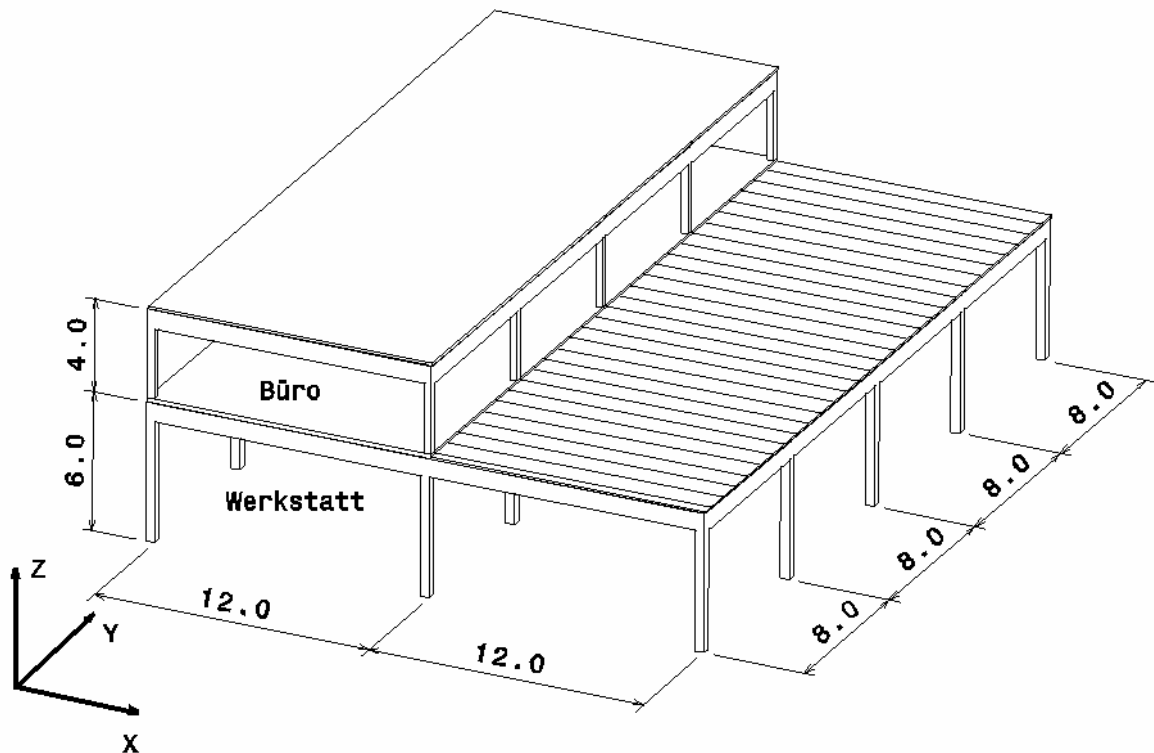
Thema 11: Erdbebendynamik

Aufgabe 11.1: Industriehalle in Stahlbeton-Rahmenbauweise

Für eine Industriehalle in Stahlbeton-Rahmenbauweise sollen die Bemessungsschnittgrößen in den Stützen infolge Erdbebeneinwirkung nach DIN EN 1998-1/NA:2011-01 berechnet werden.

Für die Berechnung können folgende vereinfachende Annahmen getroffen werden:

- Das Eigengewicht der Stützen und Rahmenkonstruktion kann vernachlässigt werden.
- Die Biegesteifigkeit der Riegel / Deckenplatten sei gegenüber der Biegesteifigkeit der Stützen unendlich groß.



Informationen zum Bauwerk:

- Standort: Köln
- Baugrundklasse: C
- Biegesteifigkeit der Stützen in beiden Richtungen:

Erdgeschoss:	$EI_1 = 64.000 \text{ kNm}^2$
Obergeschoss:	$EI_2 = 20.250 \text{ kNm}^2$
- Eigengewicht der Decken:

Erdgeschoss:	$g_1 = 6,00 \text{ kN/m}^2$
	$g_2 = 0,50 \text{ kN/m}^2$
Obergeschoss:	$g_3 = 3,00 \text{ kN/m}^2$
- Verkehrslast im Obergeschoss: $p = 2,00 \text{ kN/m}^2$
- Regelschneelast: $s_0 = 0,75 \text{ kN/m}^2$

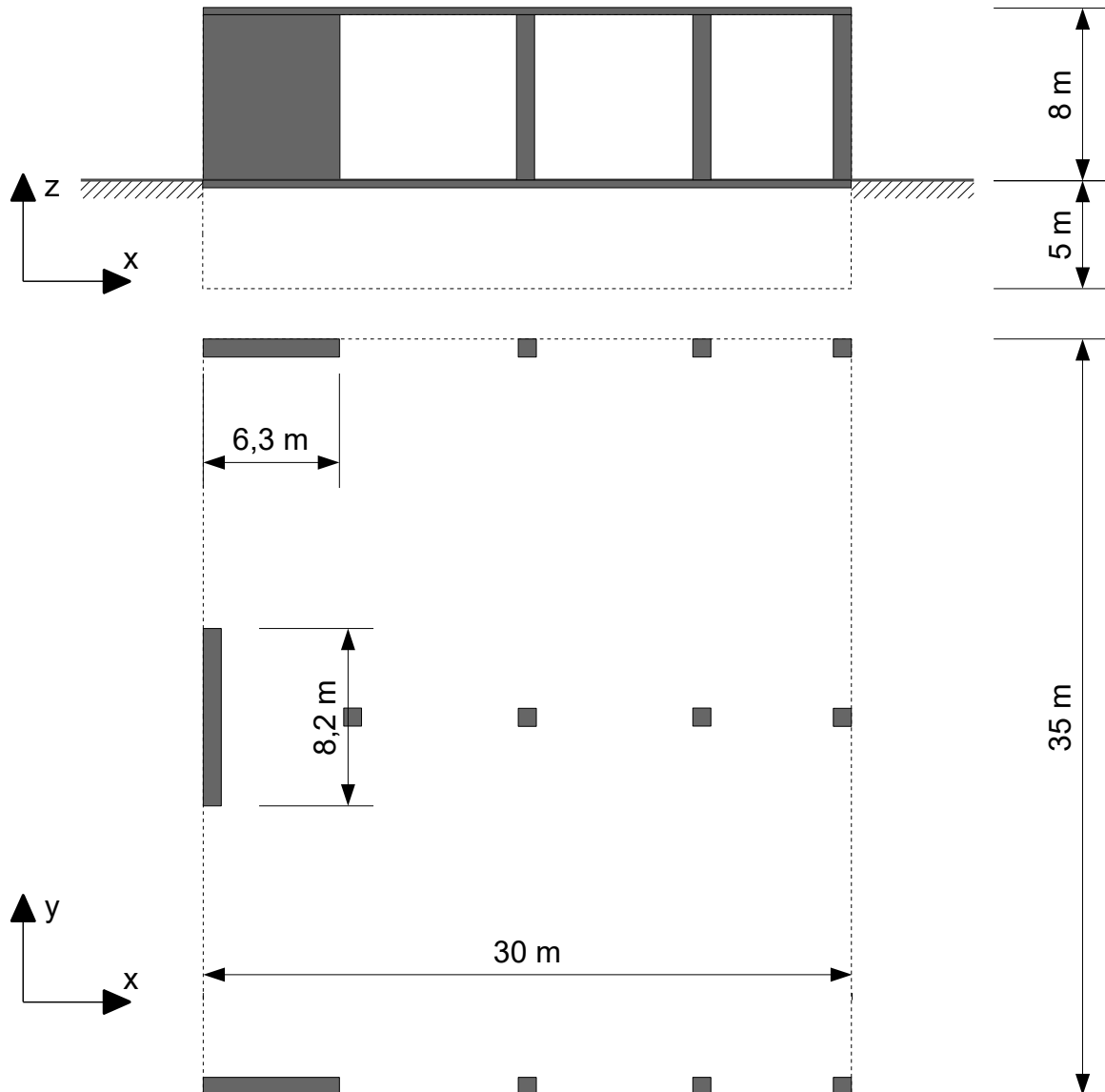
Übung Tragwerksdynamik 2

Thema 11: Erdbebendynamik

Aufgabe 11.2: Fabrikationshalle mit monolithischer Deckenscheibe

Gegeben ist eine Fabrikationsanlage bestehend aus einem als weiße Wanne ausgebildeten Untergeschoss und einer aufgeständerten Halle. Die Halle ist durch drei Wandscheiben ausgesteift, alle Stützen sind als Pendelstützen ausgebildet und werden als Fertigteile ausgeführt. Die Deckenkonstruktion ist als Stahlbetonscheibe monolithisch mit den Traggliedern verbunden.

Es sind die Aussteifungslasten für den Lastfall Erdbeben in globale Y-Richtung nach DIN EN 1998-1/NA:2011-01 zu berechnen. Als Massenbelag soll 1 t/m^2 angesetzt werden.



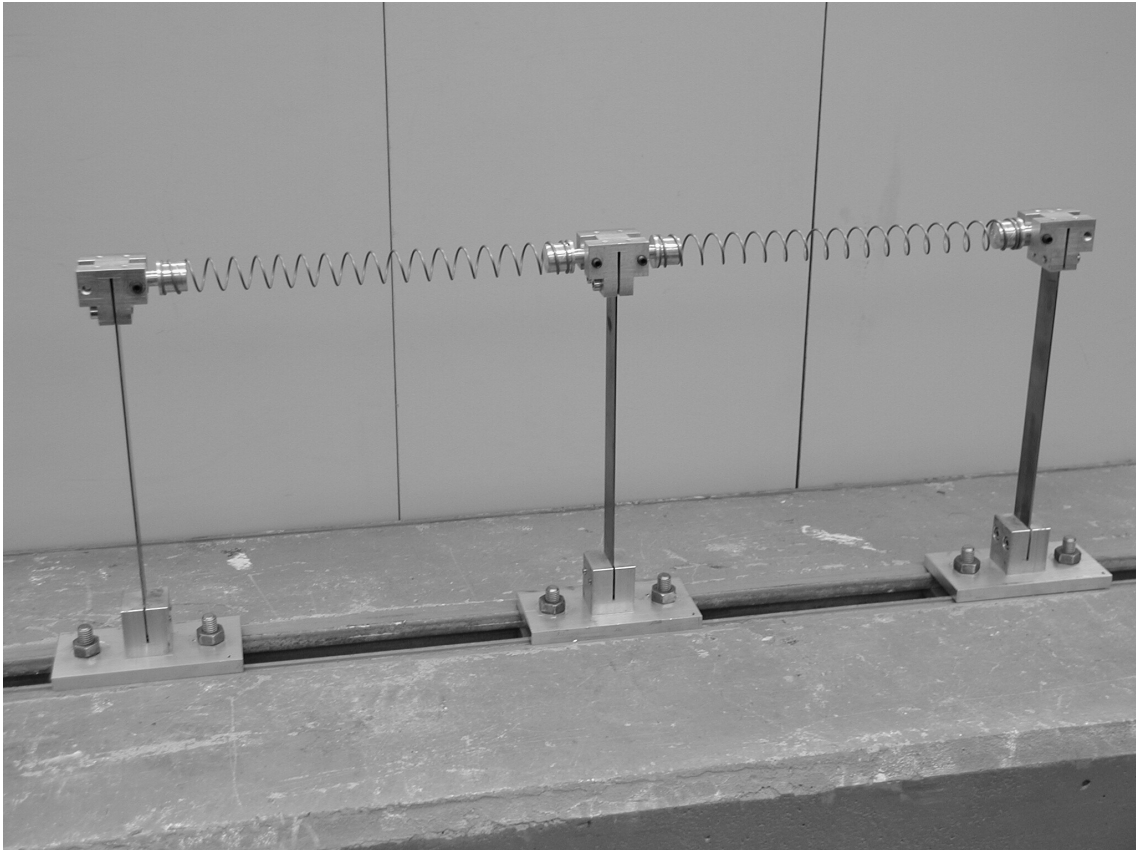
Informationen zum Bauwerk:

- Standort: Aachen, Baugrundklasse: C
- Elastizitätsmodul (Beton): $E = 30.000.000 \text{ kN/m}^2$, Dicke der Wände: 25cm

Thema 14: Laborpraktikum

Aufgabe 14.1: Einführung in die Messtechnik und Systemidentifikation – 3-Massen-Schwinger

- a) Für den unten gezeigten 3-Massen-Schwinger sollen die modalen Parameter Eigenfrequenzen, Eigenformen und die Systemdämpfung messtechnisch identifiziert werden.
- b) Die Messergebnisse der Eigenfrequenzen und -formen sind durch eine analytische Vergleichsrechnung zu kontrollieren.



Die mechanischen Kennwerte des Systems sind:

- | | |
|--|-------------------------|
| • äußere Massen (inkl. Federn und Bleche) | $M_1 = 147,6 \text{ g}$ |
| • mittlere Masse (inkl. Federn und Bleche) | $M_2 = 183,5 \text{ g}$ |
| • Federsteifigkeiten | $k = 0,45 \text{ N/mm}$ |

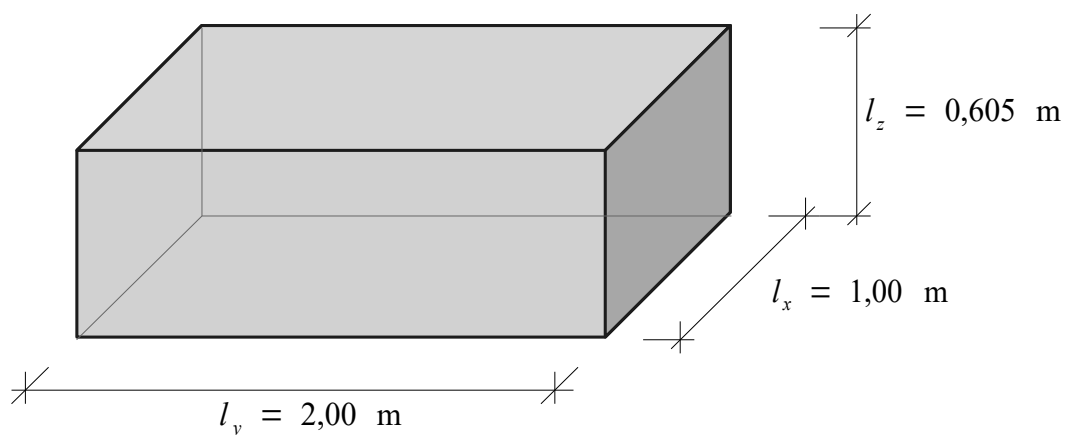
Übung Tragwerksdynamik 2

Thema 14: Laborpraktikum

Aufgabe 14.2: Systemidentifikation – Maschinenfundament

Für die Beurteilung der Tilgungsfähigkeit des Maschinenfundamentes müssen dessen dynamische Eigenschaften bestimmt werden.

- Bestimmen Sie die mittleren vertikalen und horizontalen Steifigkeiten der Fundamentfedern. Planen Sie die Versuche auf Basis analytischer Vorüberlegungen.
- Identifizieren Sie alle Eigenfrequenzen des Fundamentes und ordnen Sie diesen ihre Eigenformen zu.
- Überprüfen Sie die Ergebnisse aus Aufgabenteil b) durch eine analytische Vergleichsrechnung. Dazu können die in a) bestimmten Federsteifigkeiten benutzt werden.



Übung Tragwerksdynamik 2

Thema 14: Laborpraktikum

Weitere Angaben zum Maschinenfundament:

- Abmessungen:
 - Breite $l_x = 1,00$ m
 - Länge $l_y = 2,00$ m
 - Höhe $l_z = 0,605$ m
- Abstände der Federn (symmetrische Anordnung):
 - In X-Richtung $e_x = 0,60$ m
 - in Y-Richtung $e_y = 1,60$ m
- Allgemeine Massenmatrix in einem beliebigen Koordinatensystem

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix}
 M & 0 & 0 & 0 & M \cdot z_i & -M \cdot y_i \\
 & M & 0 & -M \cdot z_i & 0 & M \cdot x_i \\
 & & M & M \cdot y_i & -M \cdot x_i & 0 \\
 & & & \Theta_x + M \cdot (x_i^2 + z_i^2) & -M \cdot x_i \cdot y_i & -M \cdot x_i \cdot z_i \\
 \text{sym.} & & & & \Theta_y + M \cdot (x_i^2 + z_i^2) & -M \cdot y_i \cdot z_i \\
 & & & & & \Theta_z + M \cdot (x_i^2 + y_i^2)
 \end{bmatrix} \quad (14.1)$$

x_i, y_i, z_i : Abstand zwischen KOS und Massenschwerpunkt

Übung Tragwerksdynamik 2

Thema 14: Laborpraktikum

Aufgabe 14.3: Installation einer Maschine in ein bestehendes Gebäude

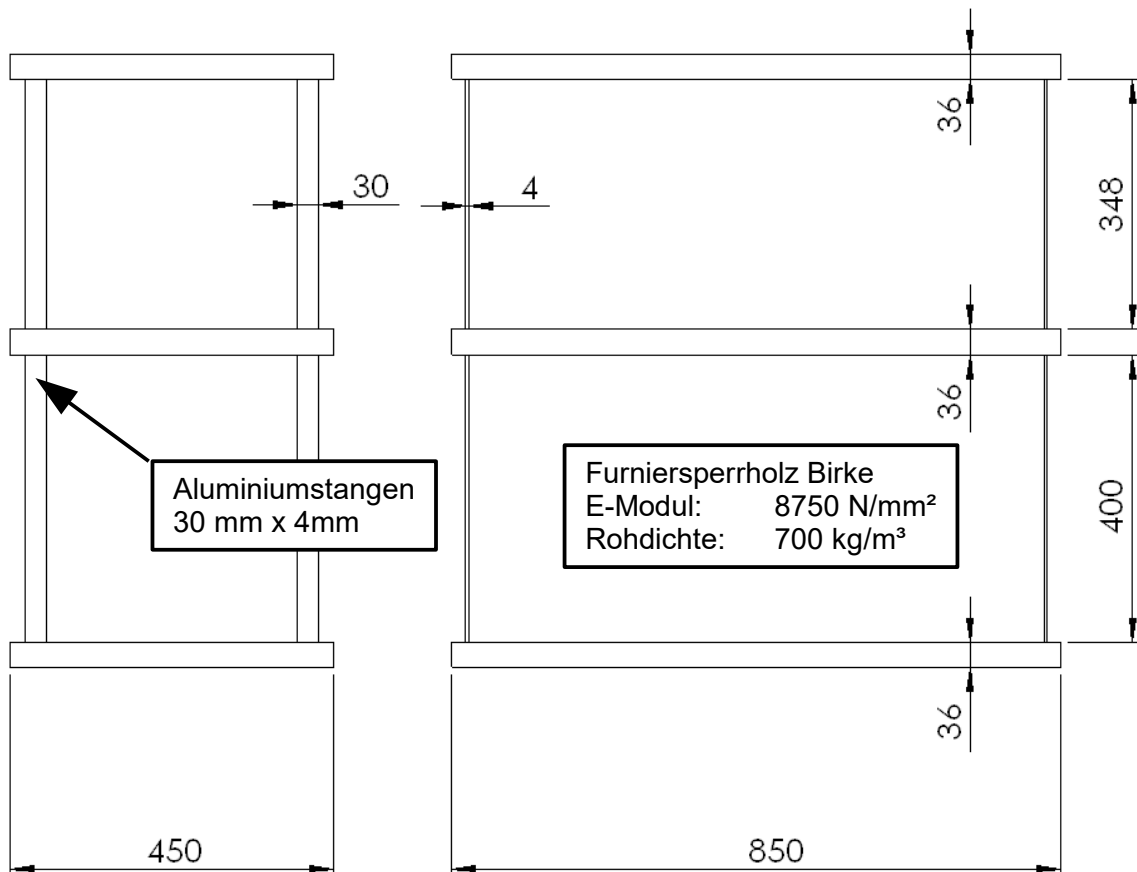
In einem Gebäude soll auf der ersten Geschossdecke eine Maschine aufgestellt werden. Ermitteln und bewerten Sie die zu erwartenden Schwingungsamplituden des Gebäudes. Simulieren Sie dessen Schwingungsantwort und überprüfen Sie die Berechnungsergebnisse durch eine abschließende Messung unter Maschinenlast.

- a) Bestimmen Sie messtechnisch die modalen Eigenschaften Eigenfrequenzen, Eigenformen und modale Dämpfung des Tragwerks.
- b) Kalibrieren Sie ein vorhandenes Finite Elemente Modell, erstellt mit dem FE-Programmsystem FE-MeNuM, anhand der Messergebnisse aus Aufgabenteil a).
- c) Berechnen Sie die eingeschwungene Tragwerksantwort bei einer Maschinendrehzahl von 240 U/min.
- d) Überprüfen Sie Ihre Berechnungen, indem Sie nach der Montage der Maschine eine Kontrollmessung bei laufendem Motor durchführen.



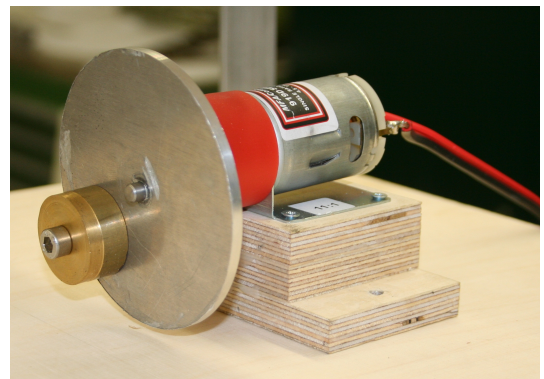
Übung Tragwerksdynamik 2

Thema 14: Laborpraktikum



Maschinenkenndaten:

- Gesamtmasse: 578 g
- Rotationsmasse: 93 g
- Exzentrizität der Rotmasse: 30 mm
- Betriebsdrehzahl: 240 U/min



Übung Tragwerksdynamik 2

Thema 14: Laborpraktikum

Aufgabe 14.3: (ALT) Installation einer Maschine in ein bestehendes Gebäude

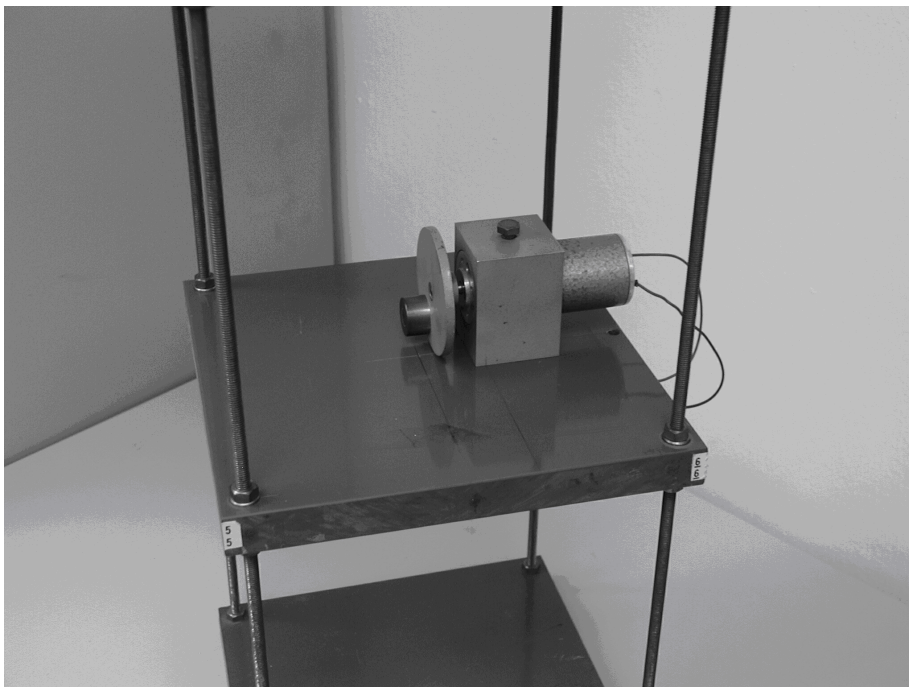
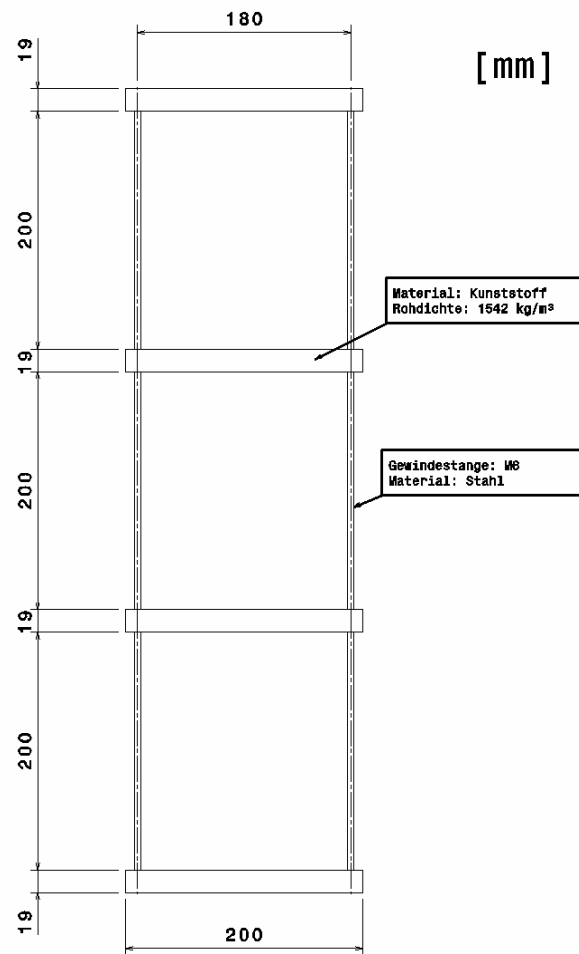
In einem Gebäude (siehe Abbildung) soll auf der ersten Geschossdecke eine Maschine aufgestellt werden. Ermitteln und bewerten Sie die zu erwartenden Schwingungsamplituden des Gebäudes, simulieren Sie dessen Schwingungsantwort und überprüfen Sie die Berechnungsergebnisse durch eine abschließende Messung unter Maschinenlast.

- a) Bestimmen Sie die modalen Eigenschaften des Tragwerks: Eigenfrequenzen, Eigenformen und modale Dämpfung messtechnisch.
- b) Kalibrieren Sie ein vorhandenes Finite Elemente Modell, erstellt mit dem FE-Programmsystem SAP2000®, anhand der Messergebnisse aus Aufgabenteil a).
- c) Führen Sie mit den Algorithmen: Modale Superposition im Zeitbereich und Direkte Zeitintegration je eine Simulation der eingeschwungenen Tragwerksantwort bei einer Maschinendrehzahl von 1100 U/min durch.
- d) Überprüfen Sie die Berechnungen, indem Sie nach der Montage der Maschine eine Kontrollmessung bei laufendem Motor durchführen.



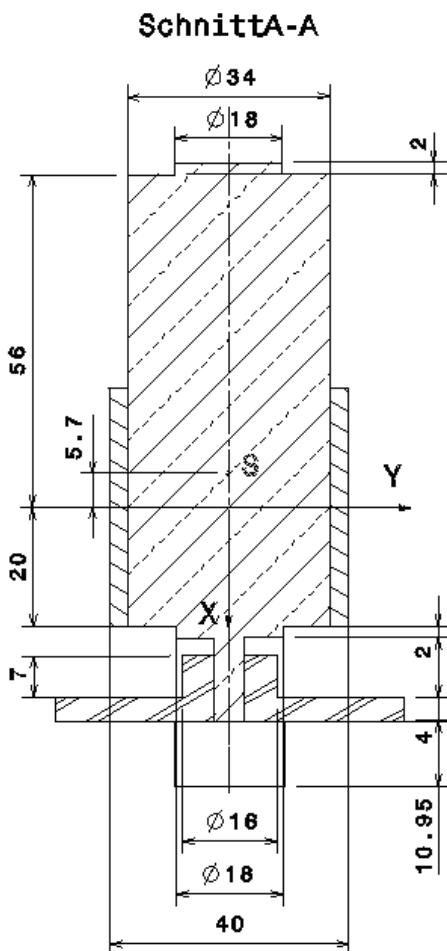
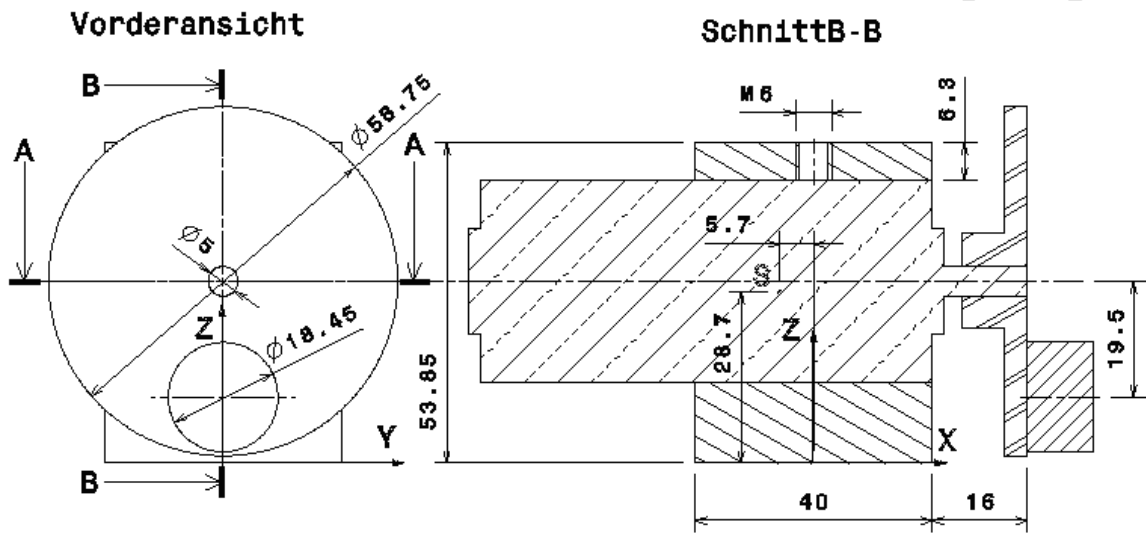
Übung Tragwerksdynamik 2

Thema 14: Laborpraktikum

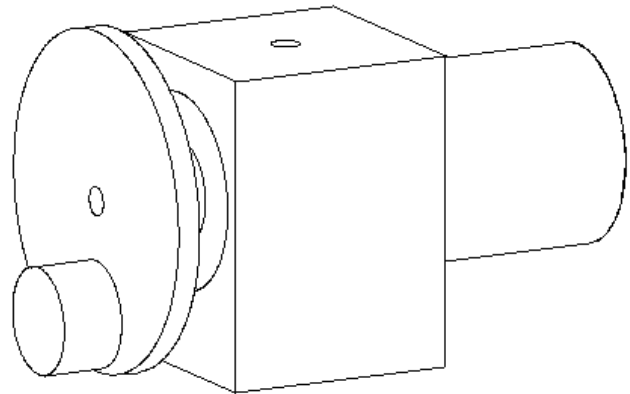


Übung Tragwerksdynamik 2
Thema 14: Laborpraktikum

[mm]



Isometrie



Maschinenkennwerte

Gesamtmasse: 484.7 g

Rotationsmasse: 24.5 g

Schwerpunktskoordinaten S:

x = -5.7 mm

y = 0.0 mm

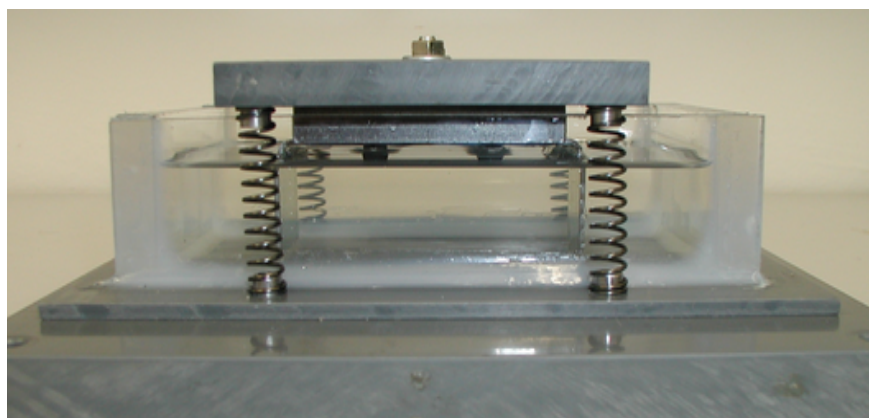
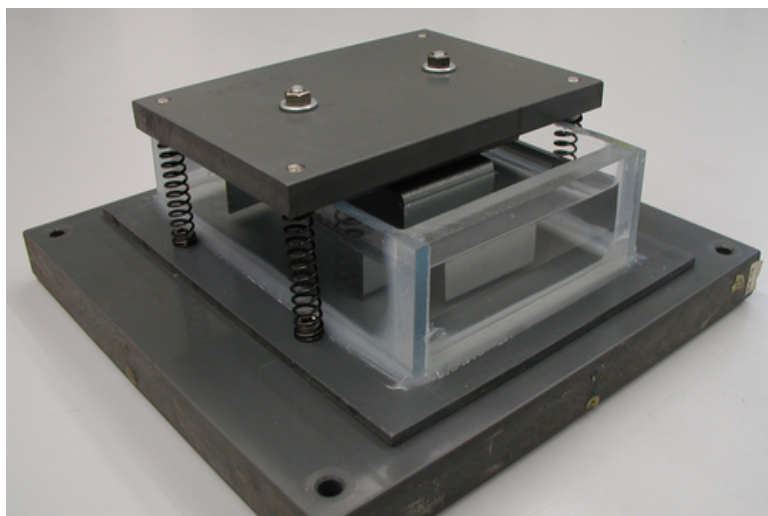
z = 28.7 mm

Betriebsdrehzahl: U = 1400 1/min

Aufgabe 14.4: Bemessung und Verifizierung der Wirksamkeit eines Schwingungstilgers

Die Maschine aus Aufgabe 14.3 durchläuft bei jedem Startvorgang den Resonanzbereich des Gebäudes, da die Maschinenbetriebsfrequenz zwischen der ersten und zweiten Eigenfrequenz liegt. Zur Vermeidung großer Schwingungsamplituden soll ein Schwingungstilger entworfen und installiert werden.

- a) Bestimmen Sie die modalen Eigenschaften des Tragwerks unter Berücksichtigung der veränderten Masse und entwerfen Sie ein einfaches Rechenmodell zur Tilgerauslegung.
- b) Berechnen Sie die generalisierte Tragwerksmasse für die Tilgerauslegung. Der Tilger soll auf dem obersten Stockwerk montiert werden.
- c) Führen Sie die Tilgerauslegung, Berechnung der notwendigen Masse, Steifigkeit und Dämpfung, für das vorhandene Modell exemplarisch durch und verifizieren Sie diese Eigenschaften am Modell messtechnisch.
- d) Bestimmen Sie die Übertragungsfunktionen des Tragwerks mit und ohne Tilger durch Messungen.



Übung Tragwerksdynamik 2

Thema 14: Laborpraktikum

Kenndaten des Turms und der Einbauten zur Berechnung:

