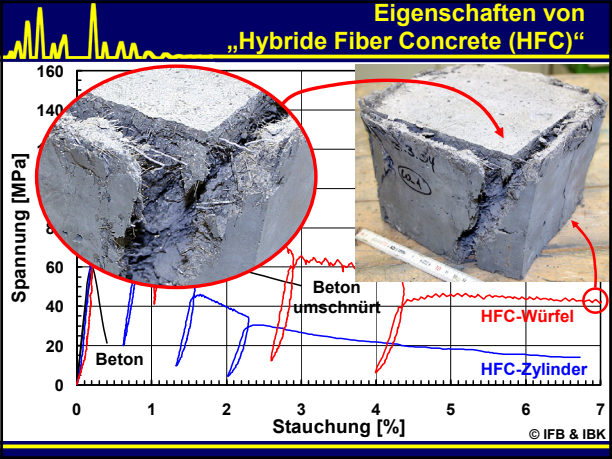




Schwingungsprobleme bei Bauwerken

Tragwerksdynamik und Schwingungsprobleme, HS 09
Alessandro Dazio

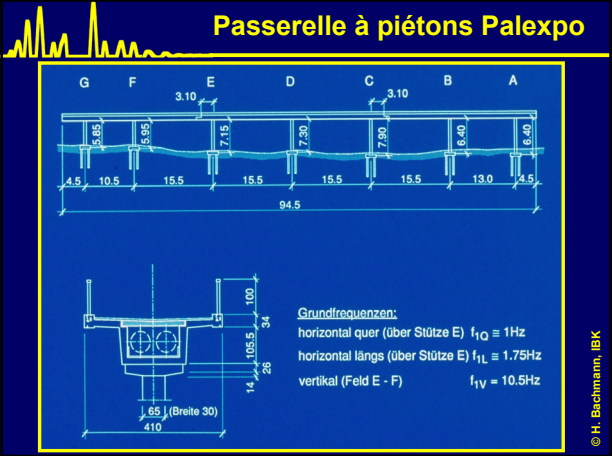




Sherbrooke Bridge



Tragwerksdynamik und Schwingungsprobleme, HS 09
Alessandro Dazio







Passerelle à piétons Palexpo

	Vor der Sanierung	Nach der Sanierung
$f_{1, \text{vertikal, Biegung}}$ [Hz]	10.5 Hz	?
$f_{1, \text{vertikal, Torsion}}$ [Hz]	8.3 Hz	?
$f_{1, \text{horizontal, quer}}$ [Hz]	1.0 Hz	4 Hz
$f_{1, \text{horizontal, längs}}$ [Hz]	1.8 Hz	5 Hz

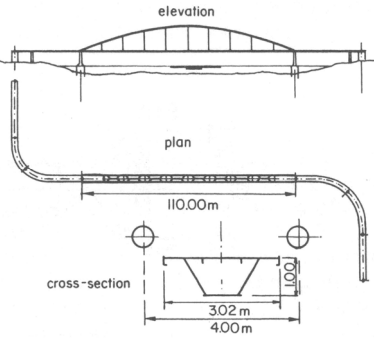
Tragwerksdynamik und Schwingungsprobleme, HS 09
Alessandro Dazio

Toda Brücke Japan



„Synchronisationseffekt“

Fussgängerbrücke mit seitlichen Schwingungen (1972)

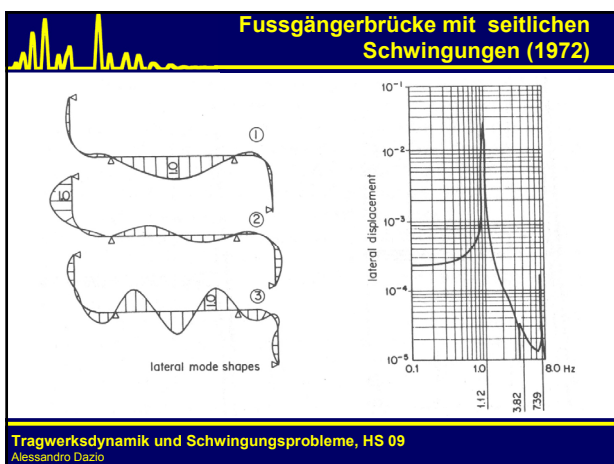


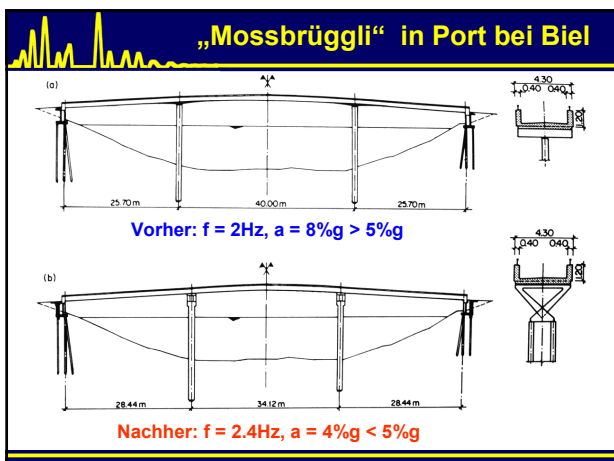
Eigenschaften

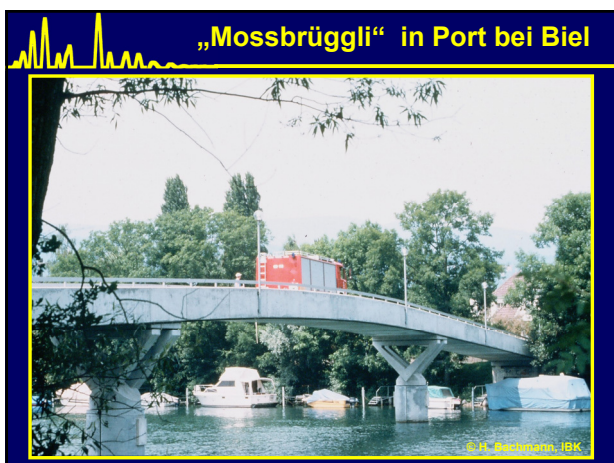
- Fussgängerbrücke aus Stahl
- $f_1 = 1.1 \text{ Hz}$, $\zeta = 0.5\%$
- Am Eröffnungstag 300 bis 400 Personen erzeugten grosse seitlichen Schwingungen
- Sanierung mittels Tilgern

Tragwerksdynamik und Schwingungsprobleme, HS 09
Alessandro Dazio

Tragwerksdynamik und Schwingungsprobleme, HS 09



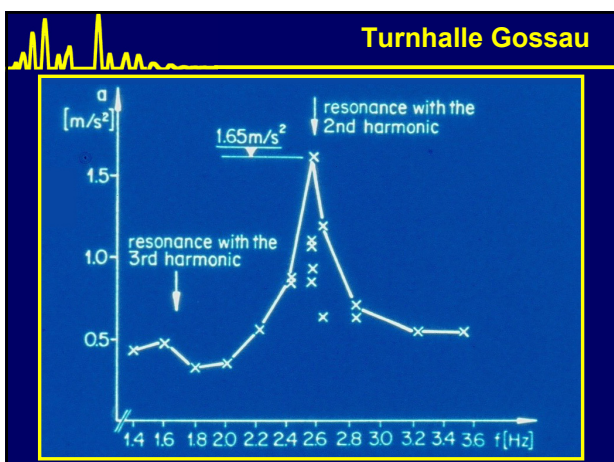


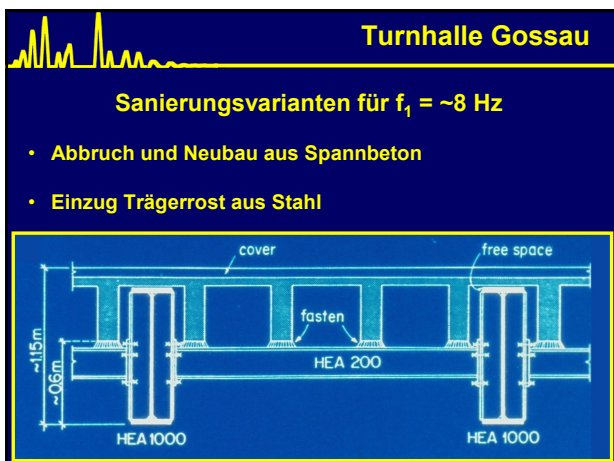




- Eigenfrequenzen
 $f_1 = 2.9\text{Hz}$, $f_3 = 4.4\text{ Hz}$
- Dämpfungsmass
 $\zeta = 1.0 - 1.1\ %$
- Hüpfen in Resonanz (1x)
 $\delta_{\text{max}} = 0.99\text{mm}$
 $a_{\text{max}} = 3.6\% g$
- Laufen in Resonanz (2x)
 $\delta_{\text{max}} = 0.77\text{mm}$
 $a_{\text{max}} = 2.6\% g$
- Dynamik OK!

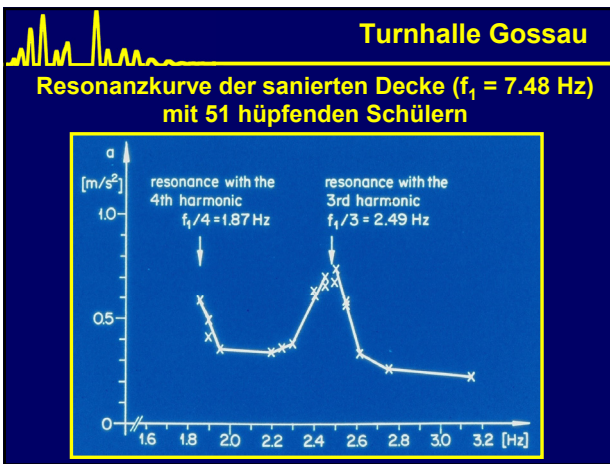
- Stahlbetonrippendecke 15m x 27m
L = 14.6m, h = 0.46m, einseitig Eigespannt
- Starke Schwingungen beim normalen Turnbetrieb
- Hüpfen mit 34 Schülern:
 - Bauwerks-Grundfrequenz: $f_1 = 5.15\text{ Hz}$
 - Resonanz bei: $f_p = 2.58\text{ Hz}$ (Auch 1.7 Hz)
- Dämpfungsrate: $\zeta = 3\%$
- Maximale Schwingwerte
 - Verschiebung: $\pm 1.6\text{mm}$
 - Geschwindigkeit: $\pm 50\text{mm/s}$
 - Beschleunigung: $\pm 1.65\text{m/s}^2$



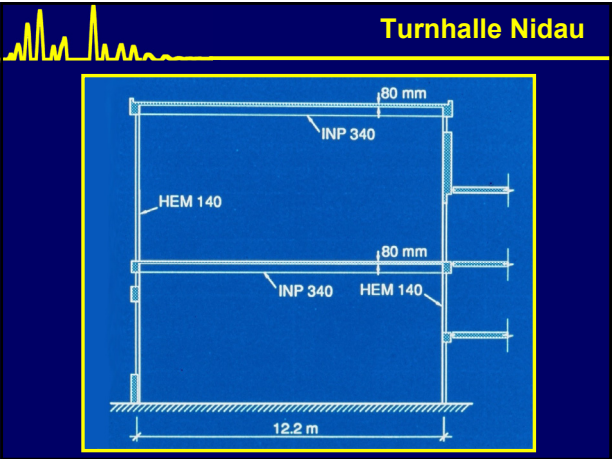




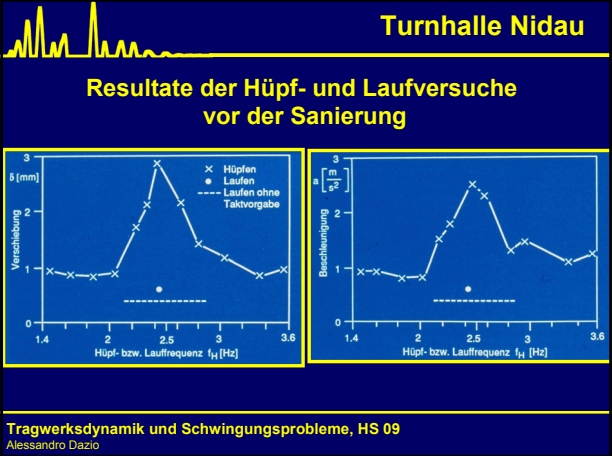




- Turnhalle Nidau**
- Doppelstöckigen Turnhalle mit Zwischendecke in Verbundbauweise
 - Zwischendecke mit Walzprofile im Abstand 2.5m, darüber eine 80mm dünne Betonplatte
 - Bei rhythmischen Turnübungen von auch nur wenigen Personen sind starke Schwingungen Entstanden mit klappen von Fenster und Türen. Fensterscheiben gingen zu Bruch
 - Hüpfen:
 - Bauwerks-Grundfrequenz: $f_1 = 5 \text{ Hz}$
 - Resonanz bei: $f_p = 2.5 \text{ Hz}$
 - Dämpfungsrate: $\zeta = 1.5\%$ (kleine Ampl., 3% grosse Ampl.)
 - Maximale Schwingwerte mit 40 kleine 8-jährige Schülern:
 - Beschleunigung: $\pm 2.5 \text{ m/s}^2$ (25% g!!!)







Turnhalle Nidau

Sanierungsvarianten für $f_1 \approx 9 \text{ Hz}$

- Anschweißen von IPE 400 Walzprofile



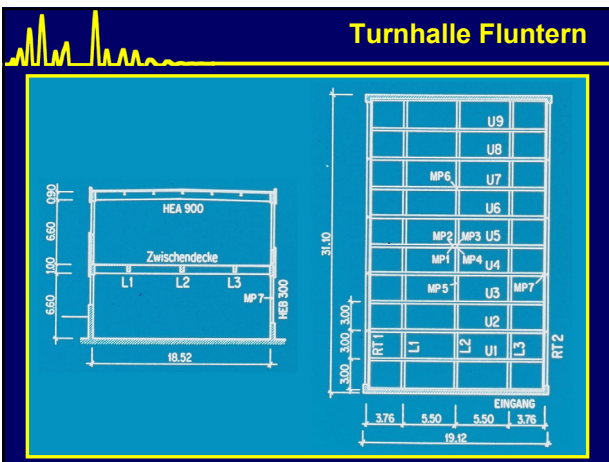
Turnhalle Nidau

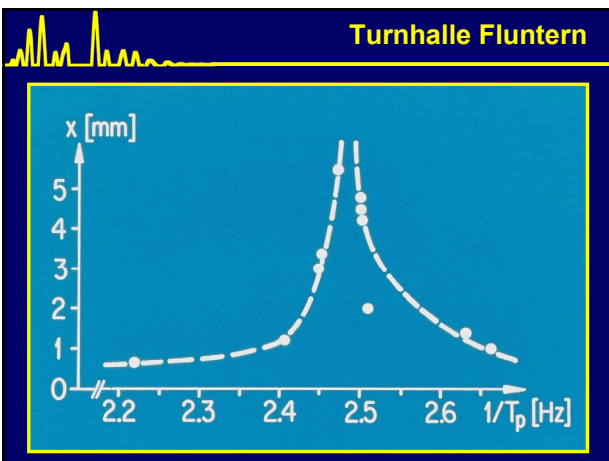
Resultate der Hüpf- und Laufversuche nach der Sanierung

Tragwerksdynamik und Schwingungsprobleme, HS 09
Alessandro Dazio

Turnhalle Flultern

- Stahlbetonrippendecke 19m x 31m
L = 18.5m, h = 1.0m, beidseitig aufgelegt
- Starke Schwingungen beim normalen Turnbetrieb
- Hüpfen mit bis zu 130 Teilnehmer:
 - Bauwerks-Grundfrequenz: $f_1 = 4.9$ Hz
 - Resonanz bei: $f_p = 2.48$ Hz
- Dämpfungsrate: $\zeta = 2.4\%$
- Maximale Schwingwerte
 - Verschiebung: ± 5.5 mm
 - Geschwindigkeit: ± 167 mm/s
 - Beschleunigung: ± 5.15 m/s² (52%g!)



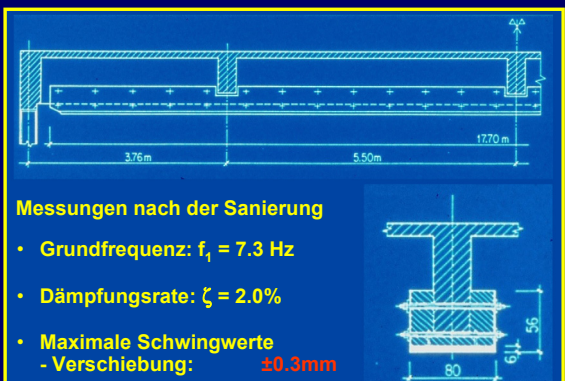


Turnhalle Fluntern

Sanierungskonzept

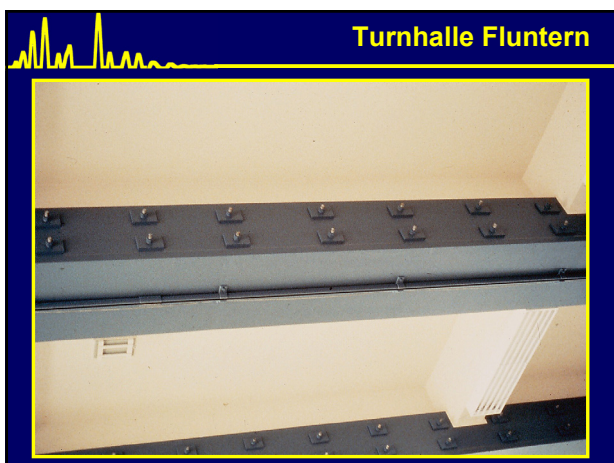
- Rhythmische Hüpf-, Sprung- und Laufübungen mit $f_h = 2 - 3.2$ Hz (bis ca. 3.4 Hz möglich)
- Vermeiden von Resonanz infolge zweiter Harmonische der Einwirkung
- Die Eigenfrequenz soll bis auf ca. $f_1 = 7.5$ Hz erhöht werden
- Einbau einer 800x60mm Stahlplatte als untere Flansch

Turnhalle Fluntern



Messungen nach der Sanierung

- Grundfrequenz: $f_1 = 7.3$ Hz
- Dämpfungsrate: $\zeta = 2.0\%$
- Maximale Schwingwerte - Verschiebung: ± 0.3 mm



Tragwerksdynamik und Schwingungsprobleme, HS 09

Halle de gymnastique sur piscine

© P. Gorgé

Tragwerksdynamik und Schwingungsprobleme, HS 09
Alessandro Dazio

Halle de gymnastique sur piscine

- Stahlbetonrippendecke 14.9m x 26m
L = 14.3m, h = 0.46m (l/h=0.32), einseitig eingespannt
- Starke Schwingungen v.a bei der Fensterscheiben des Hallenbads (Uster!) beim normalen Turnbetrieb
- Nicht nur dynamische sondern auch statische Probleme (Bewehrungsgehalt, Bügel, Verankerungslängen, Betonüberdeckung)
- Berechnete Eigenfrequenz: $f_1 = 2.7 \text{ Hz}$
- Lösungsansatz: Frequenzabstimmung mit $f_1 > 7.5 \text{ Hz}$

© P. Gorgé

Tragwerksdynamik und Schwingungsprobleme, HS 09
Alessandro Dazio

Halle de gymnastique sur piscine

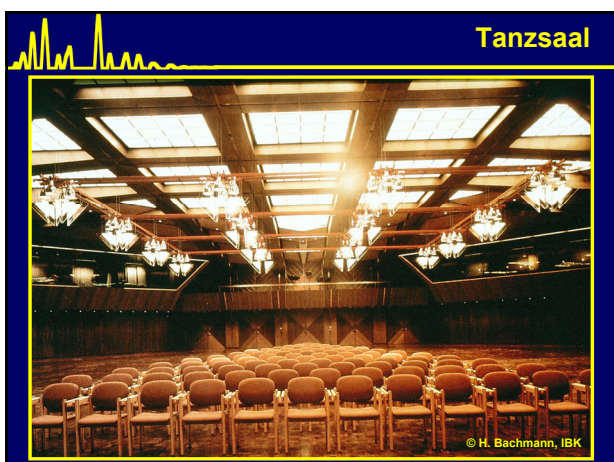
Variant A) - Précontrainte

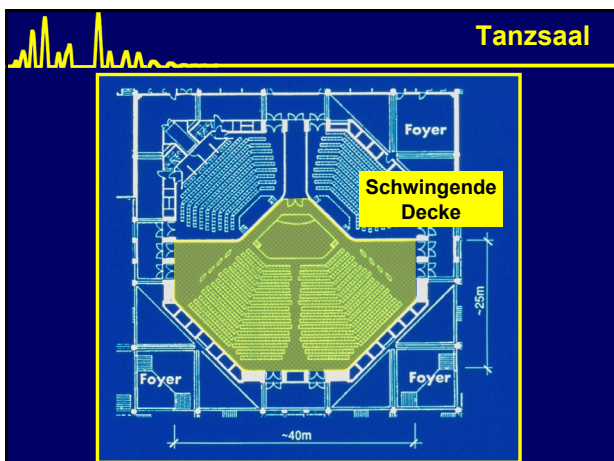
Variant B) - Tôles métalliques

Variant C) - Cadres métalliques

© P. Gorgé

Tragwerksdynamik und Schwingungsprobleme, HS 09
Alessandro Dazio





Tanzsaal

- Stahl – beton – Verbunddecke 40m x 25m
- Starke Schwingungen bei Tanzsportveranstaltungen: „Sehr unangenehm“
- Versuche:
 - Grundfrequenz: $f_1 = 3.2 \text{ Hz}$
 - Dämpfungsrate: $\zeta = 1.8\%$
- Anregung durch Tanzfrequenzen
 - 3.2 Hz (seltene sehr schnelle Rhythmen: 1. Harmonische)
 - 1.6 Hz (häufige langsame Rhythmen: 2. Harmonische)
- Probleme:
 - Ungenügende Gebrauchstauglichkeit
 - (Ungenügende Tragsicherheit)
 - (Ungenügende Ermüdungssicherheit)

Tanzsaal

- Sanierung:
Vermeiden der Resonanz mit der 2. Harmonischen durch anheben von f_1 auf ~ 6.5 Hz
- Geplante Verstärkungen:
 - 1) Einbau von 2 x 3 Stützen im vorderen Randbereich des unteren Saales
 - 2) Einbau von 2 Schrägstützen im hinteren Randbereich des unteren Saales
 - 3) Verstärkung der Hauptträger durch anschweißen zusätzlicher Gurtplatten (sehr aufwendig)
- Ausgeführt:
 - 1) und 2) : $f_1 = 4.9$ Hz
 - Mit 3) noch zugewartet:
 - a) Benützung v.a. als Bankettsaal
 - b) Bei mehreren Tanzsportveranstaltungen bisher keine Beschwerden
 - c) Vorläufig Verzicht auf weitere Verstärkungen


Tanzsaal

Konzertsaal

© H. Bachmann, IBK


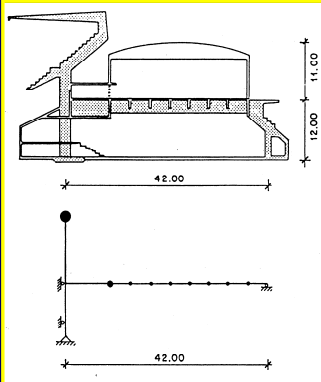
Tragwerksdynamik und Schwingungsprobleme, HS 09
Alessandro Dazio

Konzertsaal



- „Simple Minds“ (soft music)
 - ca. 3500 Besucher, relativ ruhig
 - Musikfrequenzen 2 – 2.5 Hz
 - $x_{max} = 4.6 \text{ mm}$, $a_{max} = 1.6 \text{ m/s}^2$ bei $f = 2.3 \text{ Hz}$
- „Nena“
 - ca. 4000 Besucher (3 Personen/m² gleichmässig verteilt)
 - Musikfrequenzen bis 3.1 Hz
 - $x_{max} = 5.2 \text{ mm}$, $a_{max} = 1.55 \text{ m/s}^2$ bei $f = 2.7 \text{ Hz}$
- „Status Quo“ (Hard Rock)
 - ca. 2000 Besucher, davon ca. 1/3 sehr aktiv
 - Musikfrequenzen 2.1 – 3 Hz
 - $x_{max} = 9.5 \text{ mm}$, $a_{max} = 2.7 \text{ m/s}^2$ bei $f = 2.1 \text{ Hz}$
- Analyse
 - $f_1 = 6.2 \text{ Hz}$ (Ohne Personen), $f_1 = 4 - 5 \text{ Hz}$ (mit Personen)
 - Massgebende Schwingungsanregung durch 2. Harmonische
 - Mit „Status Quo“ Maximum noch nicht erreicht → Saal gesperrt

Projekt für eine doppelstöckige Sporthalle


Berechnungsergebnisse:

- Grundfrequenzen $f_1 = 2.4 \text{ Hz}$
- 1P/4m² Hüpfen mit 2.4 Hz
 - $d = 34 \text{ mm}$
 - $v = 560 \text{ mm/s (!)}$
 - $a = 8.6 \text{ m/s}^2 (!)$

Projekt nicht ausführbar!

© H. Bachmann, IBK

Hochkamin einer Verbrennungsanlage




- Stahlbetonkamin mit 4 Rauchgaszüge $D = 2.1 \text{ m}$ gehalten jede 17.4m
- $H = 110 \text{ m}$ (75.8m frei)
- $D = 8.5 \text{ m}$ konstant
 $t = 28-18 \text{ cm}$
- Schätzung Eigenfrequenz
 $f_{min} = 0.324 \text{ Hz}$
 $f_{max} = 0.541 \text{ Hz}$
- Wurde gem. DIN für Böen bemessen trotzdem Schäden entstanden

© H. Bachmann, IBK

