

Einheit 4/2 „Schwingungen“ Nachweis der Gebrauchstauglichkeit Platten: Verformungen | Schwingungen

Seminar Holz-Massivbauweise in Brettsper Holz

13. und 14. Mai 2011

Holzinnovationszentrum Zeltweg



Thomas Bogensperger | Thomas Moosbrugger

holz.bau forschungs gmbh

Inffeldgasse 24/I, 8010 Graz

**Das Kompetenzzentrum
für Holzbau und Holztechnologie**
im Bautechnikzentrum
der Technischen Universität Graz

INHALTSÜBERSICHT

- Einleitung | Problemübersicht
- Schwingungsnachweis für den Einfeldträger
- Vergleich Schwingungsnachweis EC 1995 – Vorschlag Hamm/Richter (2009)
- Beispiel Casa Jeitler – Eigenfrequenzen
- Beispiel Casa Jeitler – Genauere Untersuchungen zu den Eigenfrequenzen
- Beispiel Casa Jeitler – Steifigkeitsnachweis/ Schwinggeschwindigkeiten

INHALTSÜBERSICHT

- **Einleitung | Problemübersicht**
- Schwingungsnachweis für den Einfeldträger
- Vergleich Schwingungsnachweis EC 1995 – Vorschlag Hamm/Richter (2009)
- Beispiel Casa Jeitler – Eigenfrequenzen
- Beispiel Casa Jeitler – Genauere Untersuchungen zu den Eigenfrequenzen
- Beispiel Casa Jeitler – Steifigkeitsnachweis/ Schwinggeschwindigkeiten

Übersicht über die Normenwerke

- EN 1995-1-1: Eurocode 5/ÖNorm B 1995-1-1: 2009 (Nationales Anwendungsdokument für Österreich)
- DIN 1052: 2004-08
- Hamm, Patricia, Richter, Antje (2009): Personeninduzierte Schwingungen bei Holzdecken – Neue Erkenntnisse führen zu neuen Bemessungsregeln
Ingenieurholzbau - Karlsruher Tage: Forschung für die Praxis. 08. und 09. Oktober 2009. Universität Karlsruhe.
- Kreuzinger, Heinrich; Mohr, Bernhard (1999): Gebrauchstauglichkeit von Wohnungsdecken aus Holz; Abschlussbericht Januar 1999. TU München, Fachgebiet Holzbau. Forschungsvorhaben durchgeführt für die EGH in der DGfH.
- Mohr, Bernhard (2001): Schwingungen von Wohnungsdecken aus Holz, Stahl und Beton – Vorschläge für eine zutreffende Bewertung. Ingenieurholzbau – Karlsruher Tage. Hrsg.: Universität Karlsruhe (TH), Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen und Bruderverlag, Universität Karlsruhe 2001. S. 81-98.

Inhalt im CLT Handbuch ↔ Thema Präsentation

- Allgemeines
- Theoretische Grundlagen der personeninduzierten Schwingungen
- Stand der Normung/Forschung
- Bemessungsvorschlag/Schwingungsnachweis
- Anwendungen auf das Beispiel „Einfamilienhaus Jeitler“
- Schwingungsmessungen am Beispiel „Einfamilienhaus Jeitler“
- Messtechnisch im Labor und in situ untersuchte Einflüsse und Kriterien zur Beurteilung des Schwingungsverhaltens
- Zusammenfassung

Inhalt im CLT Handbuch ↔ Thema Präsentation

Der Bemessungsvorschlag wird im Handbuch nach den folgenden Vorschlägen aufbereitet:

- **DIN 1052:2008**
- Erläuterungen zu DIN 1052:2008
- EN 1995-1-1/ON B 1995-1-1
- HAMM/RICHTER (2009)

In der Präsentation wird auf die Nachweise nach EN 1995-1-1/ ON B 1995-1-1 bzw. HAMM/RICHTER (2009) näher eingegangen!

- Aufbereitung für den Einfeldträger als Deckenstreifen
- Nachweise nach EC5 bzw. Vorschlag HAMM/RICHTER
- Beispiel „Haus Jeitler“

Erforderliche Nachweise für Schwingungsnachweis

- Eigenfrequenznachweis
- Steifigkeitsnachweis
- Nachweis der Schwinggeschwindigkeiten
- Nachweis der Schwingbeschleunigungen

Wie empirische Untersuchungen von Ohlsson gezeigt haben, ist die **Wahrnehmung von Deckenschwingungen**:

- bei **Frequenzen < 8 Hz** abhängig von: der **Schwingbeschleunigung**
- bei **Frequenzen > 8 Hz** abhängig von: der **Schwinggeschwindigkeit**

INHALTSÜBERSICHT

- Einleitung | Problemübersicht
- **Schwingungsnachweis für den Einfeldträger**
- Vergleich Schwingungsnachweis EC 1995 – Vorschlag Hamm/Richter (2009)
- Beispiel Casa Jeitler – Eigenfrequenzen
- Beispiel Casa Jeitler – Genauere Untersuchungen zu den Eigenfrequenzen
- Beispiel Casa Jeitler – Steifigkeitsnachweis/ Schwinggeschwindigkeiten

Einfeldträger: Bestimmung der ersten Eigenfrequenz

$$EI u''''(x,t) + m \ddot{u}(x,t) = \phi$$

$$(\)' = \frac{\partial}{\partial x}; (\)^\circ = \frac{d}{dt}$$

$$u(x,t) = C \sin \frac{\pi}{l} x \sin \omega t$$

$$f = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

Erste Eigenfrequenz eines
beidseits gelenkig gelagerten
Einfeldträger
(schubstarr)

EI	Biegesteifigkeit [N·m ²]
m	Masse [kg/m]
l	Länge des Einfeldträgers

Einfeldträger: Eigenfrequenzen ↔ Durchbiegungen

$$w = \frac{5 \cdot m \cdot g \cdot l^4}{384 \cdot EI}$$

$$\rightarrow \frac{EI}{m} = \frac{5 \cdot g \cdot l^4}{384 \cdot w}$$

Durchbiegung eines
beidseits gelenkig gelagerten
Einfeldträger
unter der Gleichlast $m \cdot g$
(schubstarr)

**Einsetzen in
Frequenzformel**

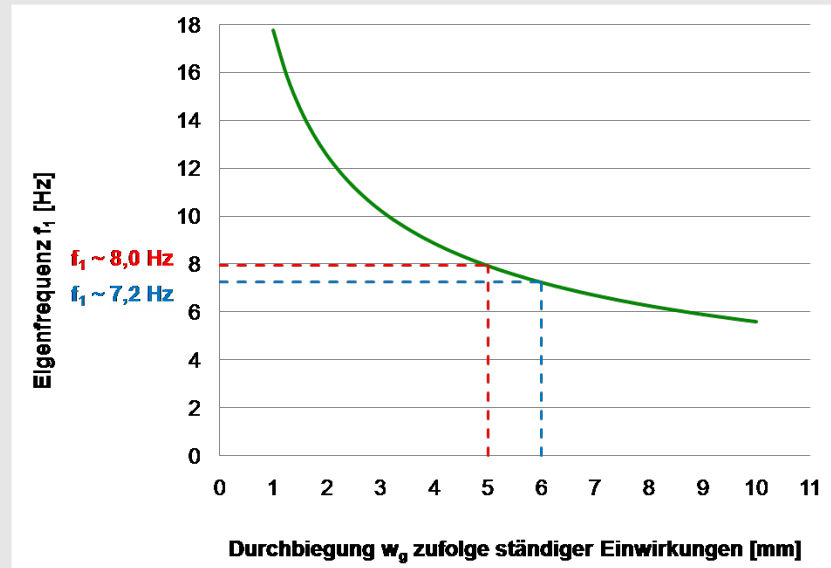
$$f = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{5 \cdot g \cdot l^4}{384 \cdot w}} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{5g}{384w}}$$

Anmerkung: Absolute Verformungsbegrenzung
(unabhängig von der Stützweite) ist eine Frequenzbegrenzung!

Einfeldträger: Eigenfrequenzen ↔ Durchbiegungen

Vereinfachung
im CLThandbook:

	Feld-1	Feld-2	Feld-3
L	4,60	3,45	4,50
b	2,70	2,70	2,70
n	214,0	214,0	214,0
n ₄₀	5	5	5
v	0,00476	0,00620	0,00486
v _{max}	0,01068	0,01068	0,01068
	44,57%	58,07%	45,49%



$$= \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot g}{3,84}} \cdot \sqrt{\frac{1}{w [cm]}} = \frac{5.614}{\sqrt{w [cm]}} \approx \frac{5}{\sqrt{0,8 \cdot w [cm]}}$$

CLThandbook: $f_{e,perm} = \frac{5}{\sqrt{0,8 \cdot w_{perm} [cm]}}$

w_{perm} [cm]	$f_{e,perm}$ [Hz]
0,5	8,0
0,6	7,2

Einfeldträger – Steifigkeitsnachweis

Eigenfrequenznachweis

$$f_{gr} \leq \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

$$EI \geq \underbrace{\left(\frac{2 f_{gr}}{\pi} \right)^2}_{C} \cdot m \cdot l^4$$

C-(freq)

- Steifigkeit aus einer Mindesteigenfrequenz
 $EI \geq C\text{-(freq)} \cdot m \cdot l^4$
- Abhängig von der Masse
- Stützlänge mit Potenz 4
- Im Leichtbau wird Kriterium aufgrund der geringen Massen weniger maßgebend!

Nachweis der Durchbiegung unter einer Einzellast

$$w_{gr} \geq \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot EI} = \frac{l^3}{48 \cdot EI}$$

$$EI \geq \underbrace{\left(\frac{1}{48 \cdot w_{gr}} \right)}_{C} \cdot l^3$$

C-(w)

- Steifigkeit aus einer Durchbiegungsbegrenzung zufolge einer Einzellast
 $EI \geq C\text{-(w)} \cdot l^3$
- Keine Abhängigkeit von der Masse
- Stützlänge mit Potenz 3
- Im Leichtbau wird dieses Steifigkeitskriterium oft maßgebend!

Einfeldträger – Steifigkeitsnachweis bei Platten

Nachweis der Durchbiegung
unter einer Einzellast

Formel stellt eine korrekte
Anwendung für den
Plattenstreifen
mit 1 m Breite dar.

$$w_{gr} \geq \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot EI} = \frac{l^3}{48 \cdot EI}$$

$$EI \geq \underbrace{\left(\frac{1}{48 \cdot w_{gr}} \right)}_{C-(w)} \cdot l^3$$

Aufgrund der Quertragwirkung
bei 4-seitiger Lagerung darf die
Durchbiegung für den Steifigkeits-
nachweis mit einer mitwirkenden
Breite berechnet werden:

$$W_{stat} = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot EI_l \cdot b_{eff}}$$

$$b_{eff} = \min \left\{ \begin{array}{l} b_{ef} \\ Raumbreite \end{array} \right\}$$

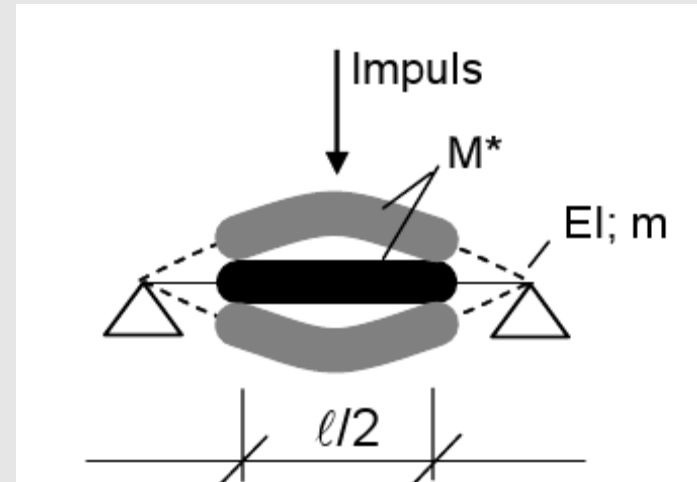
$$\text{mit } b_{ef} = \frac{l}{1,1} \cdot 4 \sqrt{\frac{E_{quer}}{E_{längs}}}$$

Einfeldträger – Schwinggeschwindigkeiten

Ansatz über Impuls:

$$I = \int F(t)dt = M_{Person} \cdot v_{Person} = M_{Balken}^* \cdot v_{Balken}$$

$$\text{und } v_{Balken} = \frac{I}{M_{Balken}^*} = \frac{M_{Person} \cdot v_{Person}}{m \cdot \ell / 2}$$



Verbesserte Formel für Einfeldträger bzw. rechteckige, allseits gelenkig gelagerte Platten

$$v = \frac{4 \cdot (0,4 + 0,6 \cdot n_{40})}{m \cdot b \cdot \ell + 200}$$

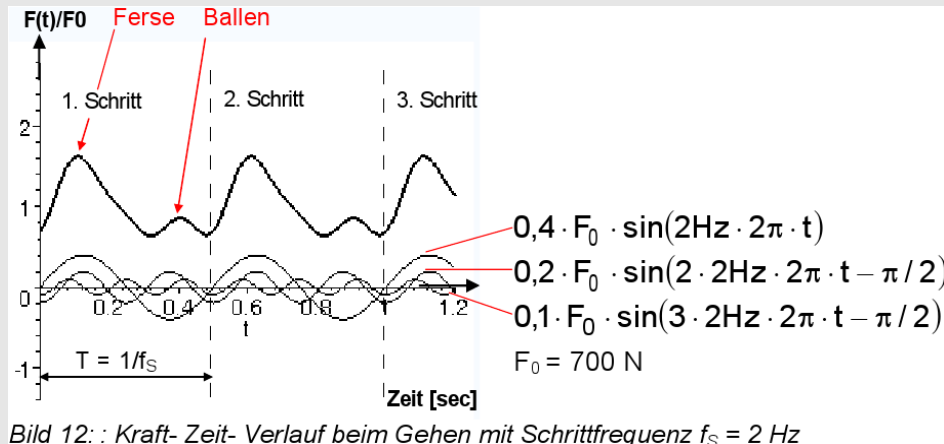
n_{40} ... Anzahl der Eigenfrequenzen unter 40 [Hz]

→ Einheitsimpulsgeschwindigkeit

Schätzen von n_{40} auch mit der folgenden Formel möglich (welche die Querbiegesteifigkeit einer Deckenplatte mitberücksichtigt)

$$n_{40} = \left\{ \left(\left(\frac{40}{f_{Balken}} \right)^2 - 1 \right) \cdot \left(\frac{b}{\ell} \right)^4 \cdot \frac{(EI)_\ell}{(EI)_b} \right\}^{0,25}$$

Einfeldträger – Schwingbescheinigungen



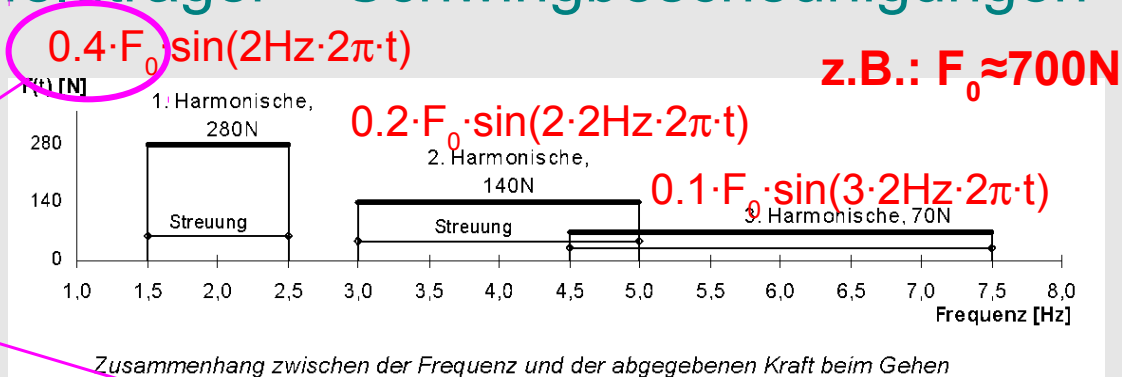
Basis: Gehen,
Laufen,
Hüpfen,
Tanzen, ...

Bild 12: : Kraft- Zeit- Verlauf beim Gehen mit Schrittfrequenz $f_s = 2 \text{ Hz}$

Schrittfrequenzen, Fourierkoeffizienten und Phasenverschiebung, siehe BACHMANN (1997)

	Frequenz Hz	Fourierkoeffizienten			Phasenverschiebung		
		α_1	α_2	α_3	φ_1	φ_2	φ_3
Gehen vertikal horizontal	1,5 bis 2,4	0,4	0,2	0,1	0	$\pi/2$	$\pi/2$
		0,1	0,1				
Laufen	2,5 bis 3,5	1,3	0,4	0,1	0	$\pi/2$	$\pi/2$
Hüpfen	2,0 bis 3,0	1,8	1,3	0,8			
Tanzen	2,0 bis 3,0	0,5	0,15	0,15			

Einfeldträger – Schwingbeschleunigungen



Für die Beschleunigung des Einfeldträgers infolge einer gehenden Person gilt:

$$a \left[\frac{m}{s^2} \right] = \frac{F_{dyn}}{M \cdot 2D} = \frac{0,4 \cdot F(t) [N]}{m [kg/m] \cdot 0,5 \ell [m] \cdot 2D}$$

Für ein einachsig oder zweiachsig gespanntes Deckenfeld als **Einfeldträger** mit der (Raum-)Breite b:

$$a \left[\frac{m}{s^2} \right] = \frac{F_{dyn}}{M \cdot 2D} = \frac{0,4 \cdot F(t) [N]}{m [kg/m^2] \cdot 0,5b [m] \cdot 0,5 \ell [m] \cdot 2D}$$

$$F_{dyn} = 0,4 \cdot F(t) \text{ pro Person } (F_0 \approx 700N)$$

Die einwirkende zeit- und ortveränderliche Kraft wird mit 40% der Kraft $F(t)$ angesetzt. Der Faktor 0,4 berücksichtigt die wechselnde Einwirkungsstelle und die Tatsache, dass die Einwirkungsdauer begrenzt ist und der eingeschwungene Zustand meist nicht ganz erreicht wird. → vgl. KREUZINGER/MOHR (1999).

Einfeldträger – maximale Schwingbescheinigungen

Schwingung des gedämpften Einmassenschwingers
unter periodischen Antrieb

$$w(t) = e^{-\zeta \cdot \omega \cdot t} \cdot (A_1 \cdot \cos(\omega_d \cdot t) + A_2 \cdot \sin(\omega_d \cdot t)) + \frac{F_0}{K^*} \cdot \overbrace{\frac{1}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + (2 \cdot D \cdot \eta)^2}}}^{V(\eta)} \cdot \cos(\Omega t - \alpha)$$

$$e^{-\zeta \cdot \omega \cdot t} \cdot (A_1 \cdot \cos(\omega_d \cdot t) + A_2 \cdot \sin(\omega_d \cdot t)) \quad \Rightarrow \quad \text{Homogener Anteil}$$

$$\frac{F_0}{K^*} \cdot \frac{1}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + (2 \cdot D \cdot \eta)^2}} \cdot \cos(\Omega t - \alpha) \quad \Rightarrow \quad \text{Partikulärer Anteil}$$

$$\eta = \frac{\Omega}{\omega}$$

Vernachlässigung des Einschwingvorganges

$$w(t) = \frac{F_0}{K^*} \cdot \overbrace{\frac{1}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + (2 \cdot D \cdot \eta)^2}}}^{V(\eta)} \cdot \cos(\Omega t - \alpha)$$

Annahme: **Resonanz** $\eta=1$

Einfeldträger – maximale Schwingbeschleunigungen

Annahme: **Resonanz** $\eta=1$

$$w(t) = \frac{F_0}{K^*} \cdot \frac{1}{2 \cdot D} \cdot \cos(\Omega t - \alpha)$$

Bestimmen der maximalen Beschleunigung im Falle der Resonanz:

$$\frac{d^2 w}{dt^2}(t) = -\Omega^2 \cdot \frac{F_0}{K^*} \cdot \frac{1}{2 \cdot D} \cdot \cos(\Omega t - \alpha)$$

$$\text{mit } \frac{K^*}{m} = \Omega^2 \rightarrow K^* = \Omega^2 \cdot m$$

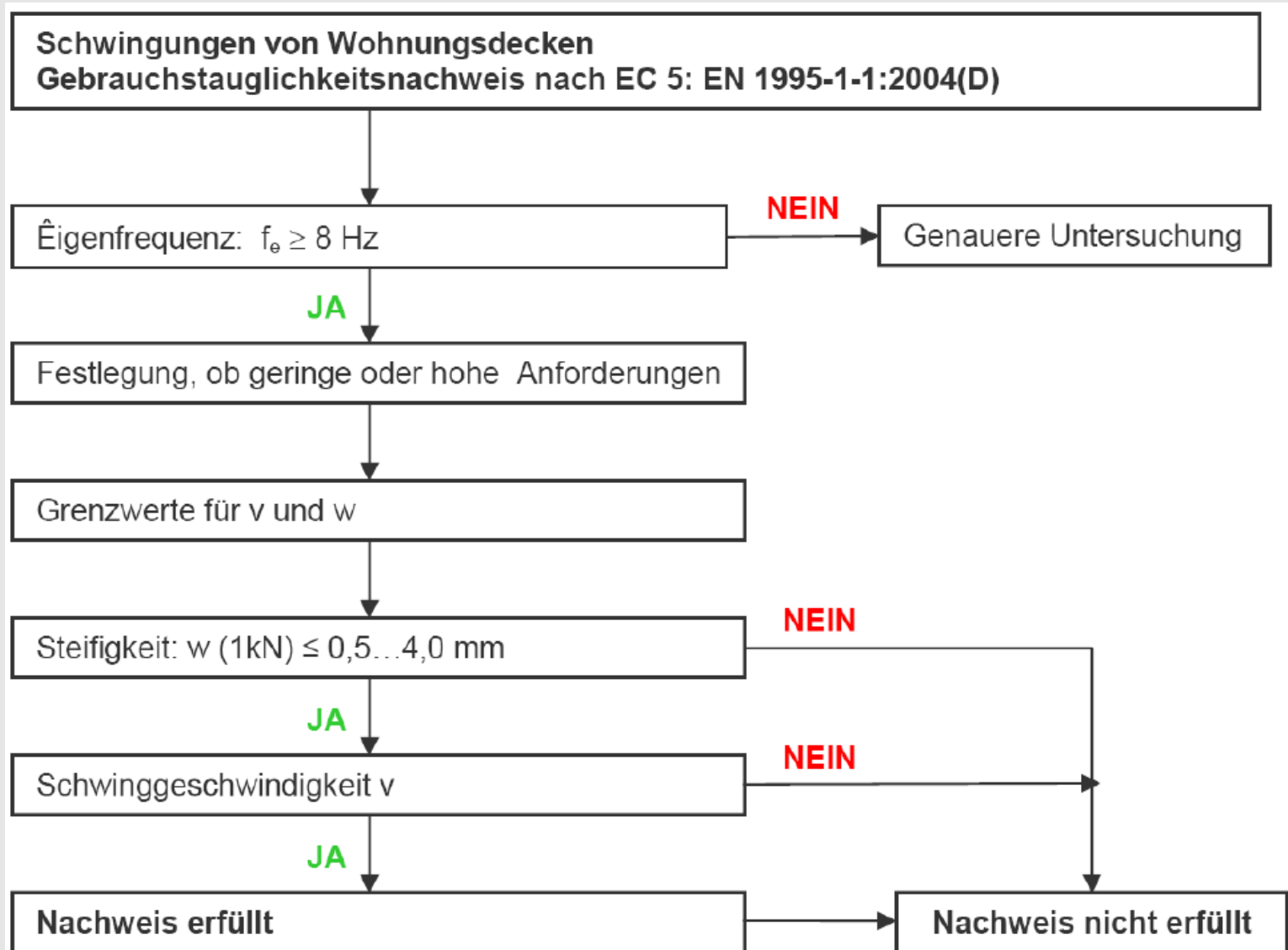
$$\frac{d^2 w}{dt^2}(t) = -\frac{F_0}{m} \cdot \frac{1}{2 \cdot D} \cdot \cos(\Omega t - \alpha)$$

$$\frac{d^2 w}{dt^2}(t)_{\max} = -\frac{F_0}{m} \cdot \frac{1}{2 \cdot D}$$

INHALTSÜBERSICHT

- Einleitung | Problemübersicht
- Schwingungsnachweis für den Einfeldträger
- **Vergleich Schwingungsnachweis EC 1995 – Vorschlag Hamm/Richter (2009)**
- Beispiel Casa Jeitler – Eigenfrequenzen
- Beispiel Casa Jeitler – Genauere Untersuchungen zu den Eigenfrequenzen
- Beispiel Casa Jeitler – Steifigkeitsnachweis/ Schwinggeschwindigkeiten

Einfeldträger – Schwingungsnachweis nach EC 1995



Einfeldträger – Schwingungsnachweis nach EC 1995

Für Wohnungsdecken mit einer Eigenfrequenz $f_1 > 8$ Hz sind das „Steifigkeitskriterium“ und das „Schwinggeschwindigkeitskriterium“ zu erfüllen.

7.3.3 (2)
[1]

„Steifigkeitskriterium“

$$\frac{w}{F} \leq a \quad [\text{mm} / \text{kN}]$$

„Schwinggeschwindigkeitskriterium“

$$v \leq b^{(f_1 \cdot \zeta - 1)} \quad [\text{m} / \text{Ns}^2]$$

$\zeta = D$ (Dämpfungsmaß)

Empfohlener Bereich und Zusammenhang zwischen a und b

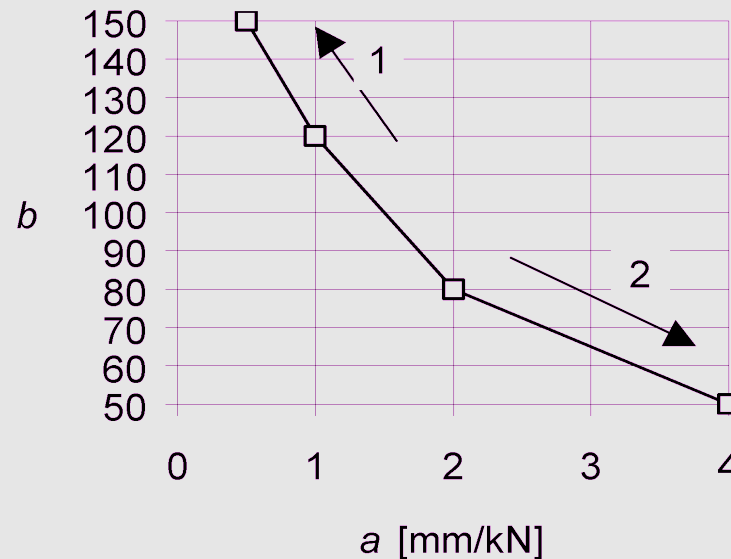


Abb. 7.2[1]

Legende:

- (1) besseres Verhalten
- (2) schlechteres Verhalten

Einfeldträger – Schwingungsnachweis nach EC 1995

Dabei sind

- w** größte vertikale Anfangsdurchbiegung infolge einer konzentrierten vertikalen statischen Einzellast F , an beliebiger Stelle wirkend und unter Berücksichtigung der Lastverteilung ermittelt.
- v** Einheitsimpulsgeschwindigkeit, d.h. der maximale Anfangswert der vertikalen Schwingungsgeschwindigkeitsamplitude der Decke (in m/s) infolge eines an derjenigen Stelle der Decke aufgetragenen idealen Einheitsimpulses (1 Ns), der die größte Eigenfrequenz erzeugt. Anteile über 40 Hz dürfen vernachlässigt werden.
- ζ modaler Dämpfungsgrad (ζ wird oft auch als D bezeichnet)
- EC 5** „... Die Berechnungen [...] sind in der Regel unter der Annahme durchzuführen, dass die Decke nur durch Eigengewicht und andere ständige Einwirkungen belastet ist. ...“
- NA** „... Für die Schwingungsberechnung von Wohnungsdecken ist die quasi-ständige Lastkombination nach ÖNORM EN 1990:2003, Abschnitt 6.5.3 zu verwenden. ...“

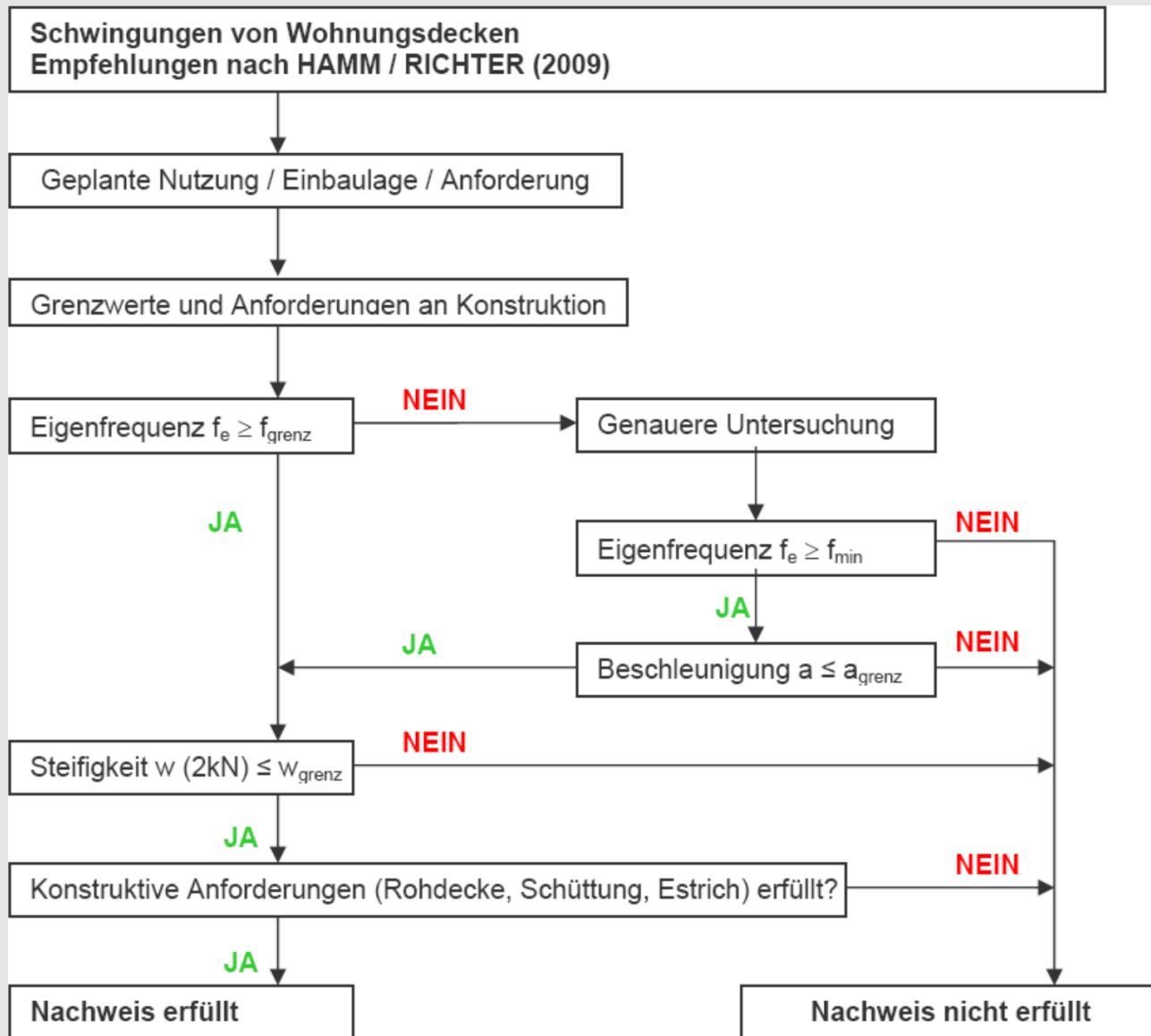
Einfeldträger – Schwingungsnachweis nach EC 1995

ζ modaler Dämpfungsgrad (ζ wird oft auch als D bezeichnet)

Dämpfungswerte für verschiedene Holzdecken

Material und Aufbau	Lehr'sches Dämpfungsmaß D	Quelle
(Holz-) Decken ohne schwimmenden Estrich	1,0 %	Standard für Holzkonstruktionen ERLÄUTERUNGEN zur DIN
Decken aus verleimten Brettstapelelementen mit schwimmendem Estrich	2,0 %	
Holzbalkendecken und mechanisch verbundene Brettstapeldecken mit schwimmendem Estrich	3,0 %	
Brettsperrholzdecken ohne bzw. mit leichtem Aufbau, zweiseitig gelagert	2,5 %	FITZ (2008) und WINTER/HAMM/RICHTER (2009) und eigene Messungen
Brettsperrholzdecken mit schwimmendem Estrich (schwerer Aufbau) auf Stahl oder punktförmig oder zweiseitig gelagert	2,5 %	
Brettsperrholzdecken mit schwimmendem Estrich, vierseitig gelagert	3,5 %	
Brettsperrholzdecken mit schwimmendem Estrich, vierseitig auf Holzwänden gelagert	4,0 %	

Einfeldträger – Vorschlag von Hamm/Richter (2009)



Einfeldträger – Vorschlag von Hamm/Richter (2009)

Klassifizierung der Deckensysteme nach Hamm/Richter
→ siehe BSPHandbuch

<u>Einbaulage und Bewertung</u>	<u>Decken zwischen unterschiedlichen Nutzungseinheiten (Bewertung 1,0 bis 1,5)</u>	<u>Decken innerhalb einer Nutzungseinheit (Bewertung 1,5 bis 2,5)</u>	<u>Keine Anforderungen an das Schwingungsverhalten</u>
<u>Im Rahmen des Vorhabens untersuchte Raumnutzung</u>	<u>z.B. Flure mit kurzen Spannweiten</u> <u>z.B. für Nutzungen als Wohnungstrenndecken in Mehrfamilienhäusern, Decken in Büros mit PC-Nutzung oder Besprechungsräumen</u>	<u>z.B. Decken in üblichen Einfamilienhäusern, Decken im Bestand, oder mit Zustimmung des Bauherren</u>	<u>z.B. Decken unter nicht genutzten Räumen oder nicht ausgebauten Dachräumen</u>
<u>Beschreibung der Empfindungen des Schwingungsverhaltens</u>	<u>Schwingungen werden gar nicht oder nur gering spürbar, wenn man sich darauf konzentriert und nicht als störend empfunden.</u>	<u>Schwingungen werden als spürbar, jedoch nicht als störend empfunden.</u>	<u>Schwingungen werden als spürbar bis deutlich spürbar, unangenehm und auch teilweise störend empfunden.</u>

Einfeldträger – Vorschlag von Hamm/Richter (2009)

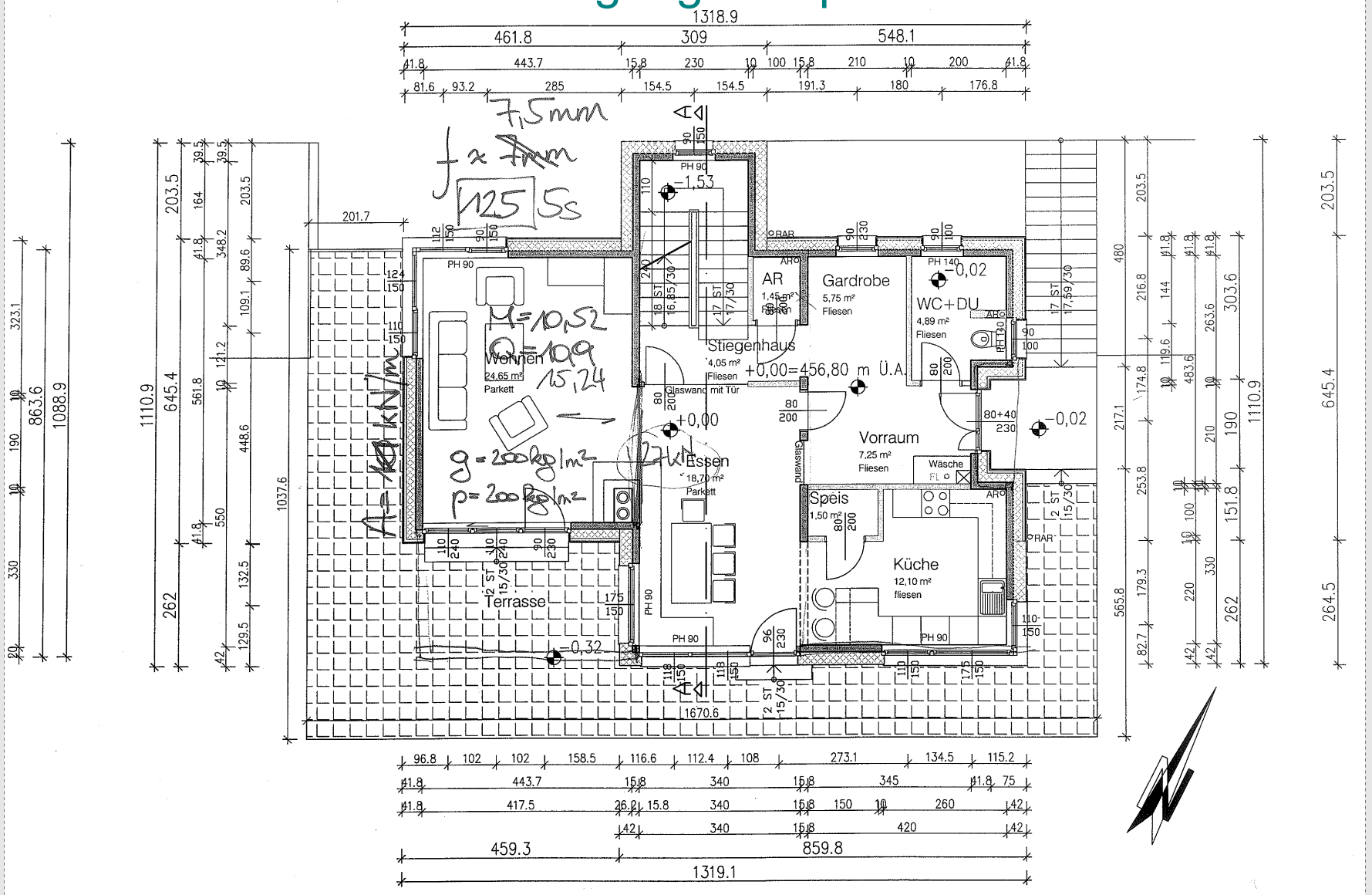
<u>Einbaulage und Bewertung</u>	<u>Decken zwischen unterschiedlichen Nutzungseinheiten</u> (Bewertung 1,0 bis 1,5)	<u>Decken innerhalb einer Nutzungseinheit</u> (Bewertung 1,5 bis 2,5)	<u>Keine Anforderungen an das Schwingungsverhalten</u>
<u>Frequenzkriterium</u> $f_e \geq f_{\text{grenz}}$	$f_{\text{grenz}} = 8 \text{ Hz}$	$f_{\text{grenz}} = 6 \text{ Hz}$	=
<u>Steifigkeitskriterium</u> $w(2kN) \leq w_{\text{grenz}}$	$w_{\text{grenz}} = 0,5 \text{ mm}$	$w_{\text{grenz}} = 1,0 \text{ mm}$	=
<u>Genauere Untersuchung nur, wenn</u> $f_e < f_{\text{grenz}}$	$f_{\text{min}} \leq f_e < f_{\text{grenz}}$ mit $f_{\text{min}} = 4,5 \text{ Hz}$ und $a_{\text{grenz}} = 0,05 \text{ m/s}^2$	$f_{\text{min}} \leq f_e < f_{\text{grenz}}$ mit $f_{\text{min}} = 4,5 \text{ Hz}$ und $a_{\text{grenz}} = 0,10 \text{ m/s}^2$	=
<u>Konstruktive Anforderungen bei schwimm. Nassestrich</u>	<u>schwimmend auf schwerer oder leichter Schüttung</u>	<u>schwimmend (auch ohne Schüttung)</u>	=
<u>Konstruktive Anforderungen bei schwimm. Trockenestrich</u>	<u>schwimmend auf schwerer Schüttung *)</u>	<u>schwimmend auf schwerer Schüttung *)</u>	=

**) Hier liegen noch keine ausreichenden Untersuchungsergebnisse vor, da bisher nur eine BSP-Decke mit Trockenestrichaufbau im Labor untersucht wurde. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf in situ-Decken ist noch nicht geklärt.*

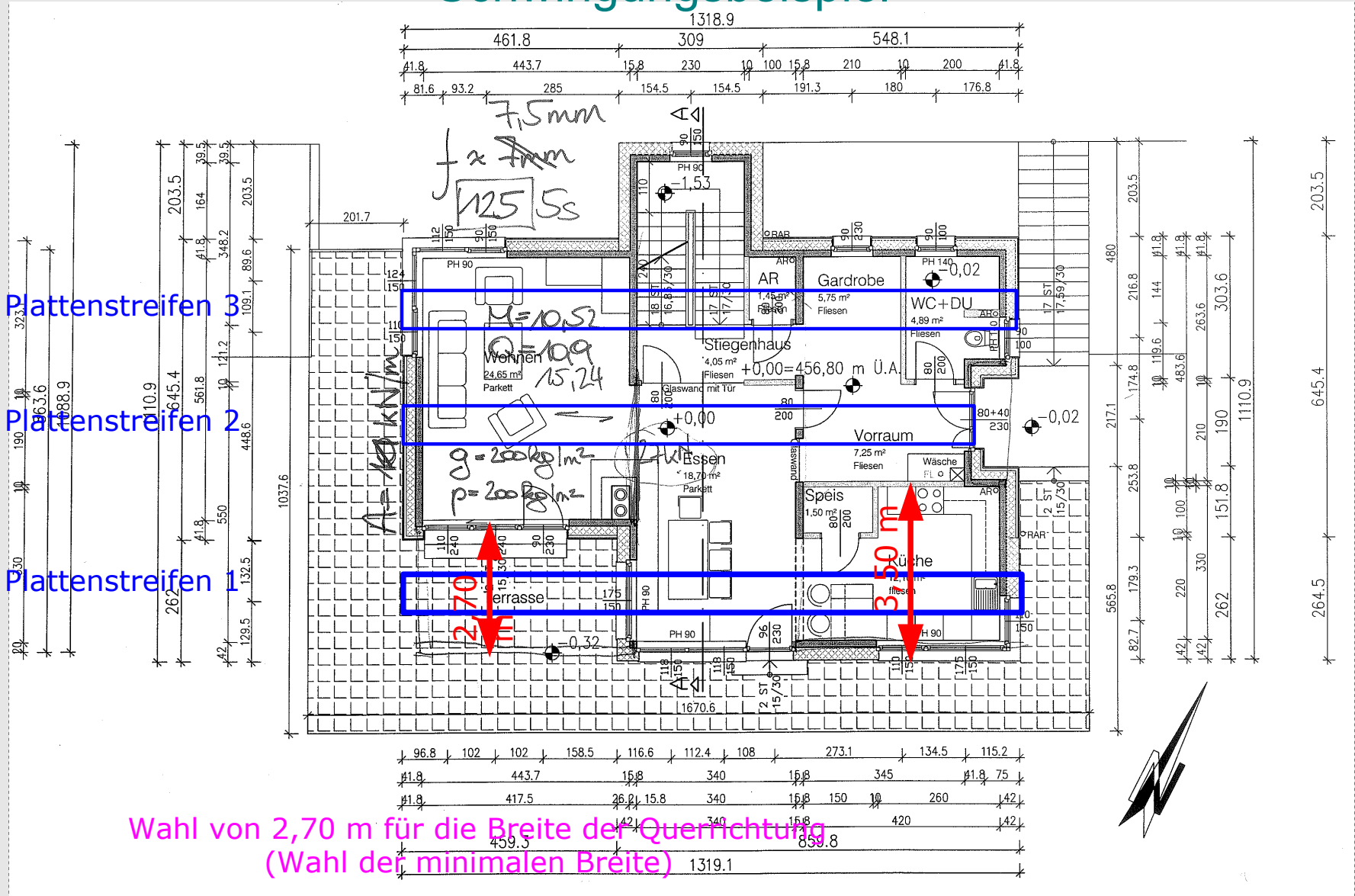
INHALTSÜBERSICHT

- Einleitung | Problemübersicht
- Schwingungsnachweis für den Einfeldträger
- Vergleich Schwingungsnachweis EC 1995 – Vorschlag Hamm/Richter (2009)
- **Beispiel Casa Jeitler – Eigenfrequenzen**
- Beispiel Casa Jeitler – Genauere Untersuchungen zu den Eigenfrequenzen
- Beispiel Casa Jeitler – Steifigkeitsnachweis/ Schwinggeschwindigkeiten

Schwingungsbeispiel



Schwingungsbeispiel



Plattenstreifen 3
 Plattenstreifen 2
 Plattenstreifen 1

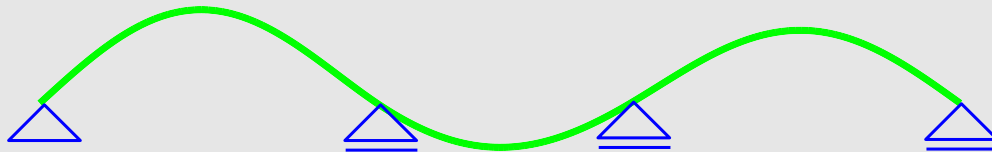
Wahl von 2,70 m für die Breite der Querrichtung
 (Wahl der minimalen Breite)

Schwingungsbeispiel

Eigenfrequenzen für EUROCODE

Masse aus den ständigen Lasten: 214 kg/m^2

Biegesteifigkeit: $EI_L = 2,588 \cdot 10^6 \text{ MN} \cdot \text{m}^2/\text{m}$ (OHNE ESTRICH)



Eigenfrequenzen:
Schubstarr: 9,4 Hz
Schubnachgiebig: 9,0 Hz

Eigenfrequenzen für EUROCODE/NA für Österreich

Masse aus den quasi-ständigen Lasten: 274 kg/m^2

Biegesteifigkeit: $EI_L = 2,588 \cdot 10^6 \text{ MN} \cdot \text{m}^2/\text{m}$ (OHNE ESTRICH)



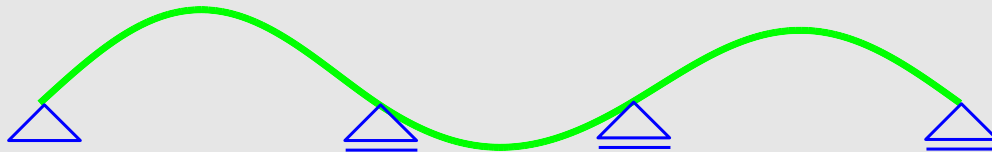
Eigenfrequenzen:
Schubstarr: 8,3 Hz
Schubnachgiebig: 8,0 Hz

Schwingungsbeispiel

Eigenfrequenzen für EUROCODE

Masse aus den ständigen Lasten: 214 kg/m^2

Biegesteifigkeit: $EI_L = 3,038 \cdot 10^6 \text{ MN} \cdot \text{m}^2/\text{m}$ (MIT ESTRICH)



Eigenfrequenzen:
Schubstarr: 10,2 Hz
Schubnachgiebig: 9,7 Hz

Eigenfrequenzen für EUROCODE/NA für Österreich

Masse aus den quasi-ständigen Lasten: 274 kg/m^2

Biegesteifigkeit: $EI_L = 3,038 \cdot 10^6 \text{ MN} \cdot \text{m}^2/\text{m}$ (MIT ESTRICH)

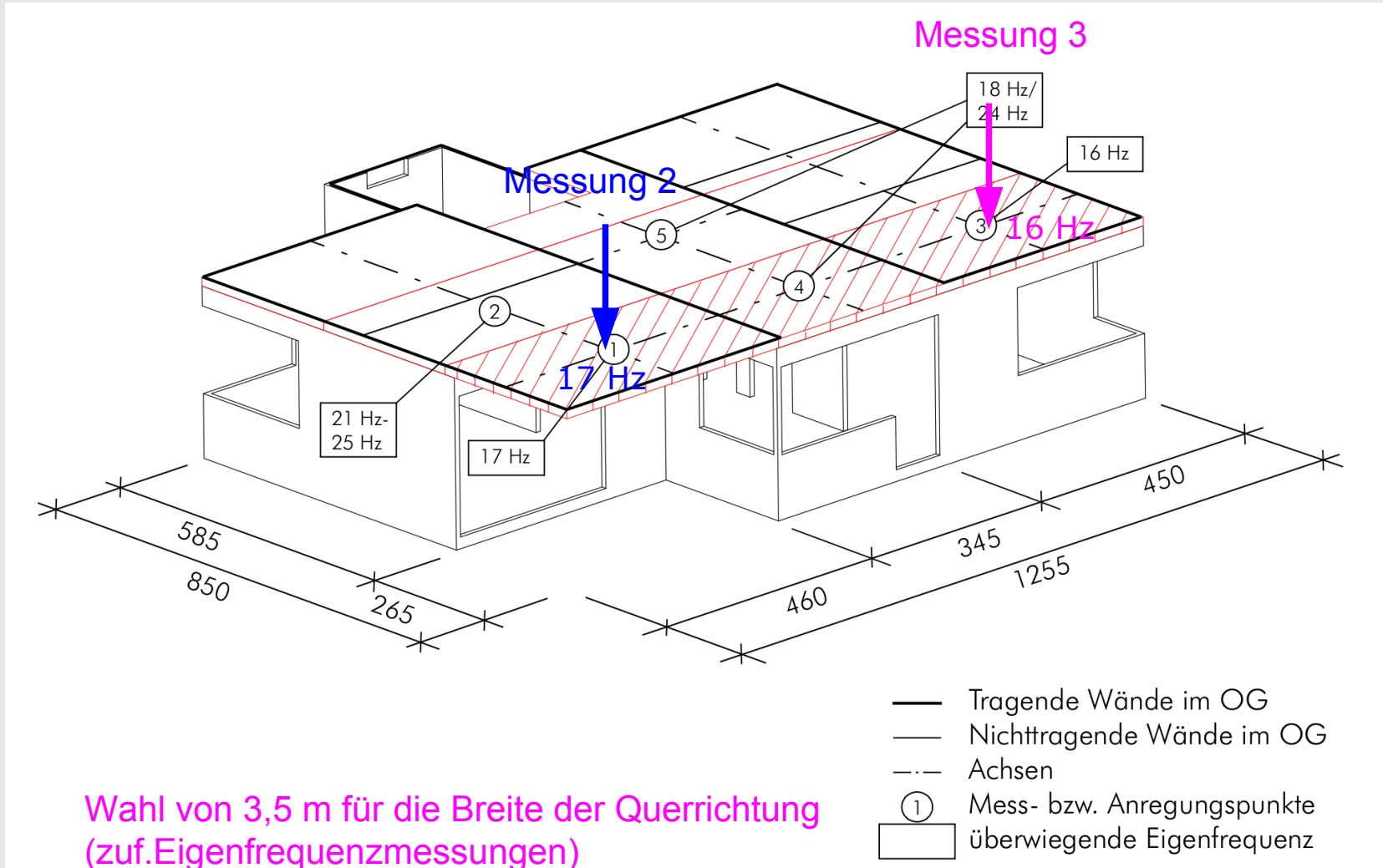


Eigenfrequenzen:
Schubstarr: 9,0 Hz
Schubnachgiebig: 8,6 Hz

INHALTSÜBERSICHT

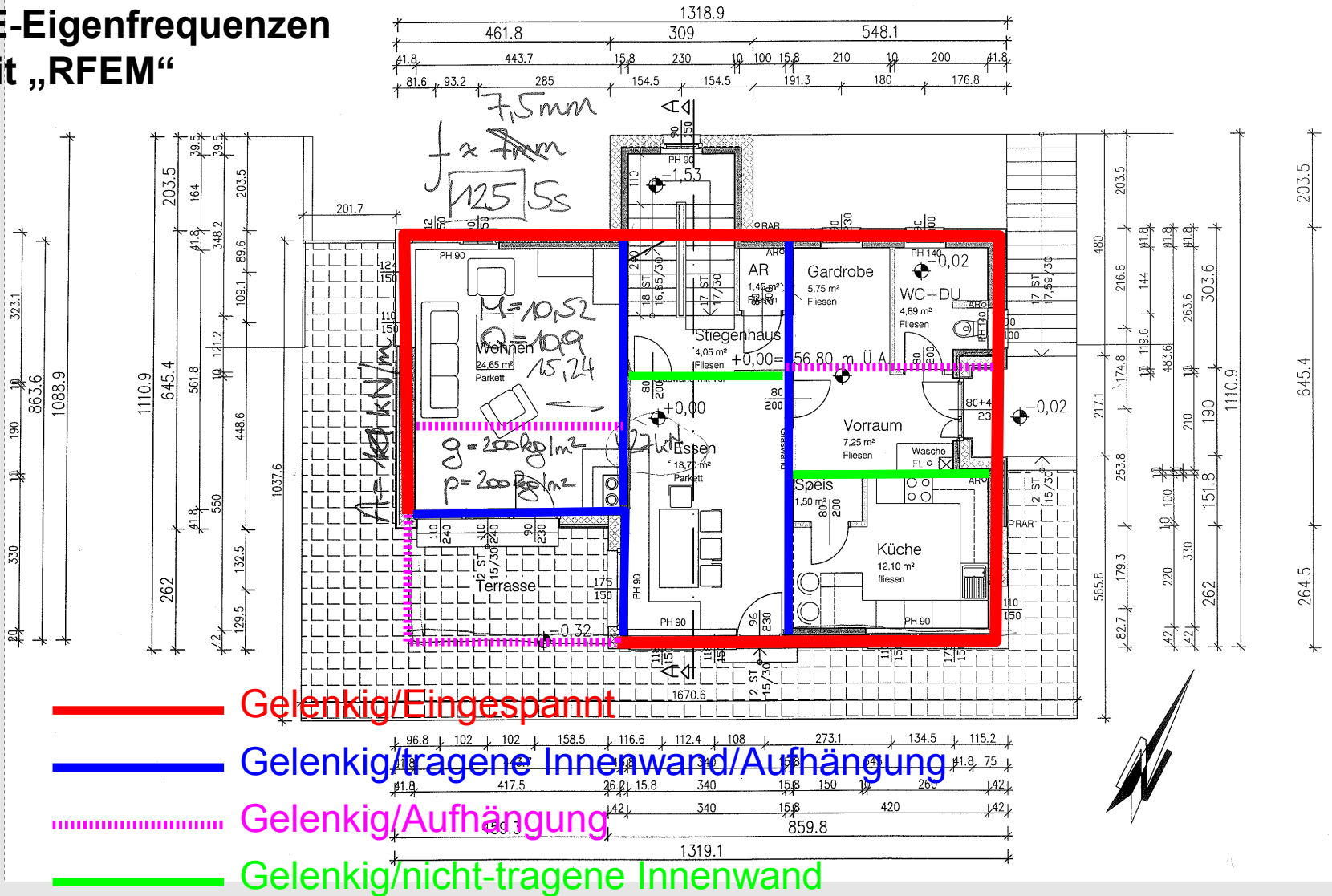
- Einleitung | Problemübersicht
- Schwingungsnachweis für den Einfeldträger
- Vergleich Schwingungsnachweis EC 1995 – Vorschlag Hamm/Richter (2009)
- Beispiel Casa Jeitler – Eigenfrequenzen
- **Beispiel Casa Jeitler – Genauere Untersuchungen zu den Eigenfrequenzen**
- Beispiel Casa Jeitler – Steifigkeitsnachweis/ Schwinggeschwindigkeiten

Genauere Ermittlungen der Eigenfrequenzen



Genauere Ermittlungen der Eigenfrequenzen

FE-Eigenfrequenzen mit „RFEM“



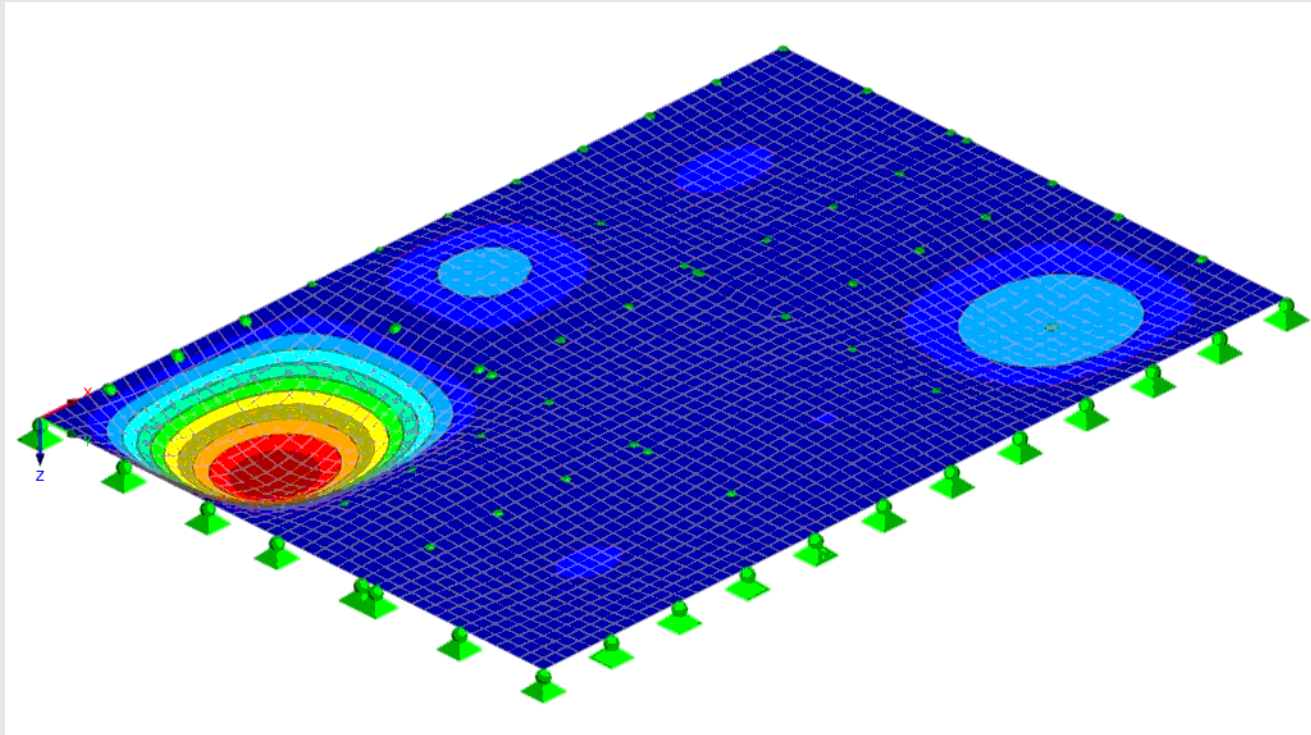
Genauere Ermittlungen der Eigenfrequenzen

Untersuchung von 8 Fällen

Fall	Steifigkeit	Lagerung	Fugen	EF [Hz]
1	BSP Platte mit Estrich	Connection to exterior walls	Querkraft Gelenk	12,6
2	BSP Platte mit Estrich	Aussenwände Gelenkig gelagert	Biegestarr	13,7
3	BSP Platte mit Estrich	Aussenwände eingespannt	Querkraft Gelenk	15,9
4	BSP Platte mit Estrich	Aussenwände eingespannt	Biegestarr	17,0
5	BSP Platte ohne Estrich	Aussenwände Gelenkig gelagert	Querkraft Gelenk	10,9
6	BSP Platte ohne Estrich	Aussenwände Gelenkig gelagert	Biegestarr	11,6
7	BSP Platte ohne Estrich	Aussenwände eingespannt	Querkraft Gelenk	13,2
8	BSP Platte ohne Estrich	Aussenwände eingespannt	Biegestarr	13,8

Genauere Ermittlungen der Eigenfrequenzen

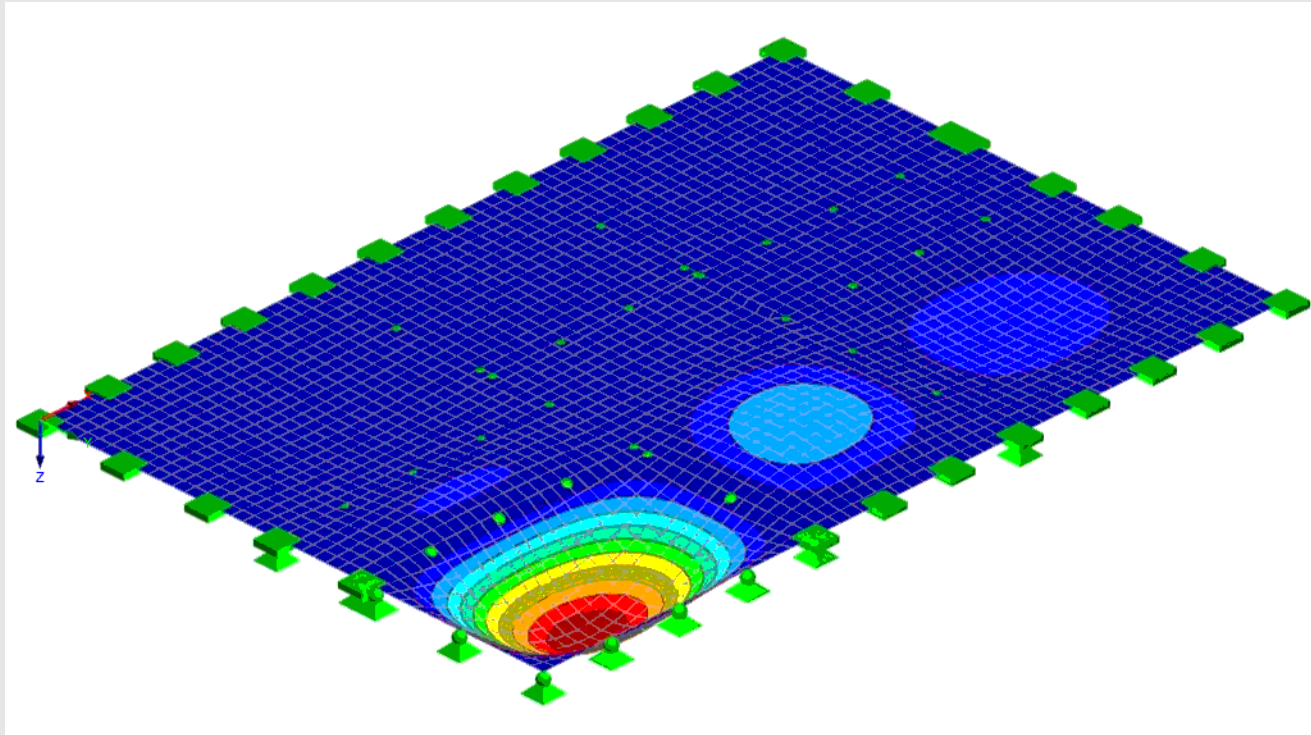
Fall 2



Steifigkeit BSP Platte **mit** Estrich
Lagerung der Aussenwände **gelenkig**
Eigenfrequenz: 13,7 Hz

Genauere Ermittlungen der Eigenfrequenzen

Fall 8



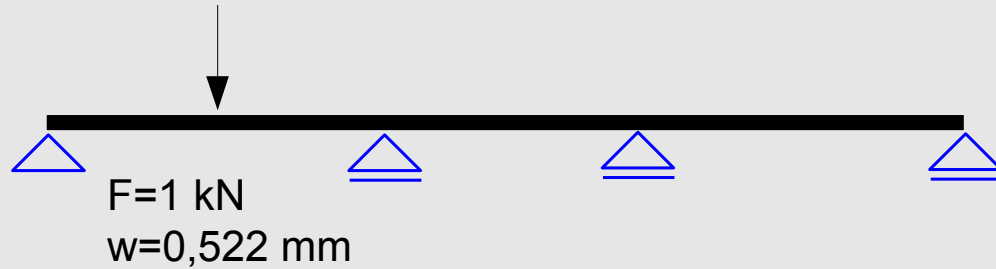
Steifigkeit BSP Platte **ohne** Estrich
Lagerung der Aussenwände **eingespannt**
Eigenfrequenz: 13,8 Hz

INHALTSÜBERSICHT

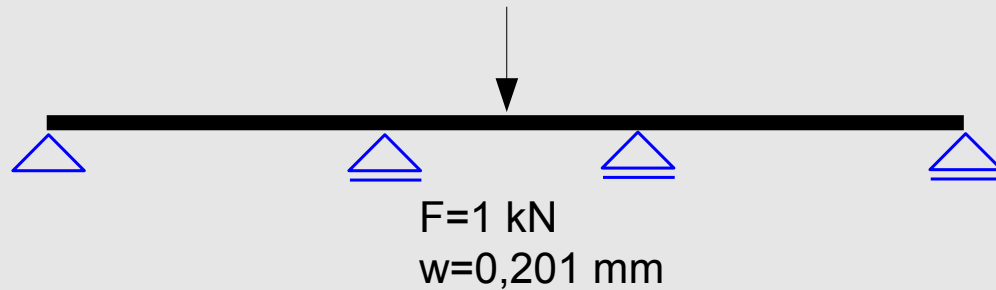
- Einleitung | Problemübersicht
- Schwingungsnachweis für den Einfeldträger
- Vergleich Schwingungsnachweis EC 1995 – Vorschlag Hamm/Richter (2009)
- Beispiel Casa Jeitler – Eigenfrequenzen
- Beispiel Casa Jeitler – Genauere Untersuchungen zu den Eigenfrequenzen
- **Beispiel Casa Jeitler – Steifigkeitsnachweis/
Schwinggeschwindigkeiten**

Steifigkeitsnachweis/Schwinggeschwindigkeiten

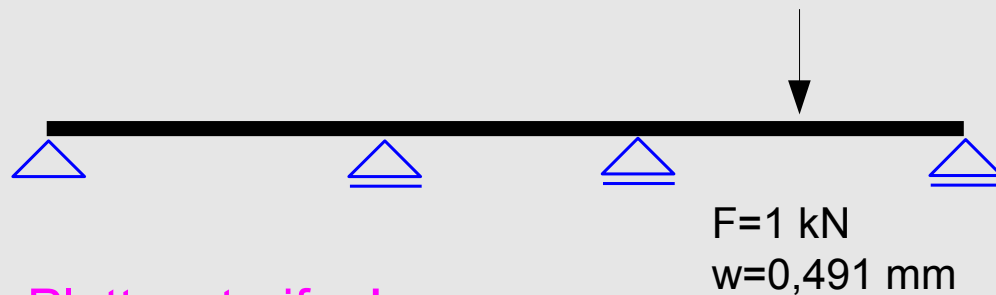
Last in Feld 1



Last in Feld 2



Last in Feld 3



Werte gültig für 1 m Plattenstreifen!

Effektive Breiten aufgrund der Querbiegesteifigkeit

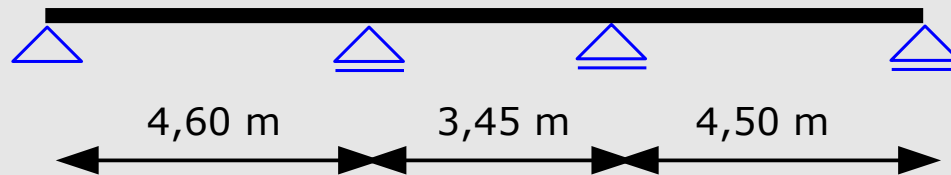
$$b_{w(2 \text{ kN})} = \min \left\{ \begin{array}{l} b_{\text{ef}} \\ \text{Raumbreite} \end{array} \right\}$$

$$\text{mit } b_{\text{ef}} = \frac{L}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{(EJ)_{\text{Q}}}{(EJ)_{\text{L}}}} = \frac{b}{1,1 \cdot \alpha}$$

$$\alpha = \frac{b}{L} \cdot \sqrt[4]{\frac{(EJ)_{\text{L}}}{(EJ)_{\text{Q}}}}$$

$EI_{\text{L}} = 2,588 \cdot 10^6 \text{ MN} \cdot \text{m}^2/\text{m}$ (OHNE ESTRICH)

$EI_{\text{Q}} = 0,421 \cdot 10^6 \text{ MN} \cdot \text{m}^2/\text{m}$ (OHNE ESTRICH)

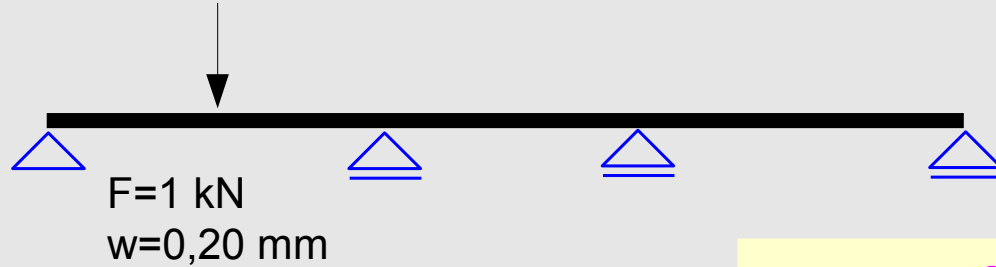


	Feld-1	Feld-2	Feld-3
L	4,60	3,45	4,50
b	2,70	2,70	2,70
α	0,924	1,232	0,945
b_{ef}	2,656	1,992	2,598

Steifigkeitsnachweis/Schwinggeschwindigkeiten

Last in Feld 1

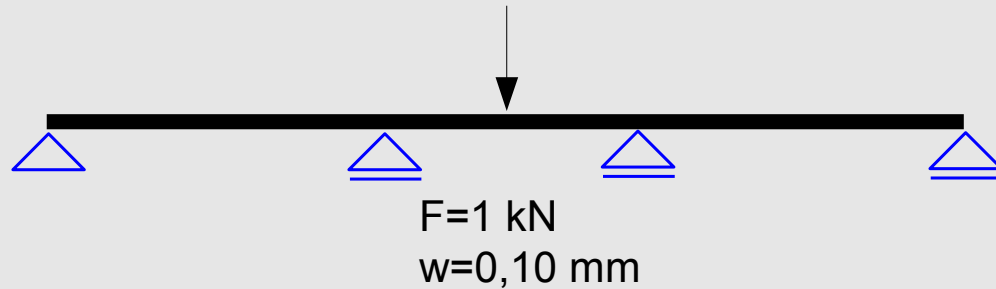
$$b_{ef} = 2,656 \text{ m}$$



$$\rightarrow w_{max} = 0,2 \text{ mm/kN}$$

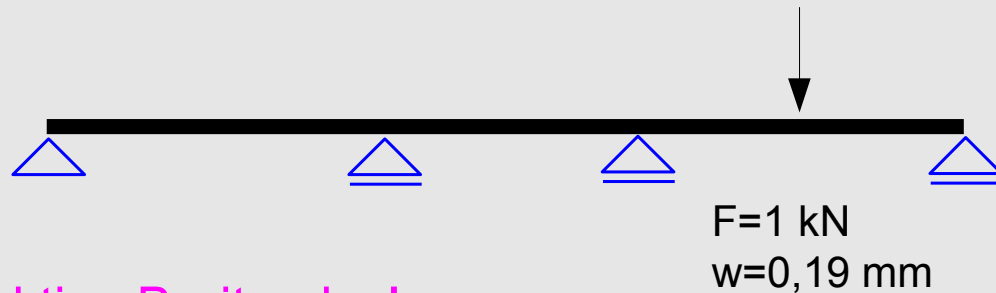
Last in Feld 2

$$b_{ef} = 1,992 \text{ m}$$



Last in Feld 3

$$b_{ef} = 2,698 \text{ m}$$



Werte gültig für effektive Breiten b_{eff} !

Steifigkeitsnachweis/Schwinggeschwindigkeiten

$f_1 = 9,4 \text{ Hz}$ (schubstarr, Biegesteifigkeit ohne Estrich, 214 kg/m^2)

7.3.3 (2)
[1]

$V_{\max} = 150^{(9,4 \cdot 0,04 - 1)} = 0,0439 \text{ m/s/N} \cdot \text{s}$ für $\zeta = 4\%$

$v_{\max} = 150^{(9,4 \cdot 0,01 - 1)} = 0,0107 \text{ m/s/N} \cdot \text{s}$ für $\zeta = 1\%$ (Standard)

Empfohlener Bereich und Zusammenhang zwischen a und b

„Steifigkeitskriterium“

$$\frac{w}{F} \leq a \quad [\text{mm} / \text{kN}]$$

„Schwinggeschwindigkeitskriterium“

$$v \leq b^{(f_1 \cdot \zeta - 1)} \quad [\text{m} / \text{Ns}^2]$$

$\zeta = D$ (Dämpfungsmaß)

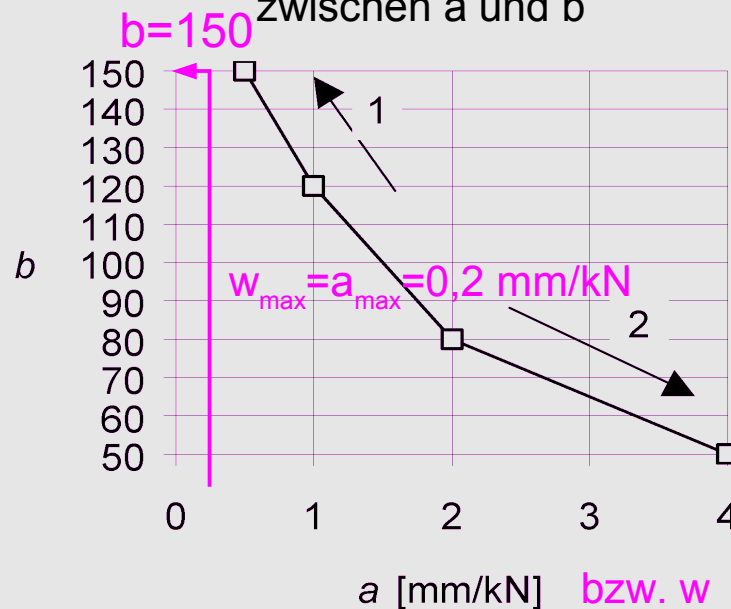


Abb. 7.2[1]

Legende:

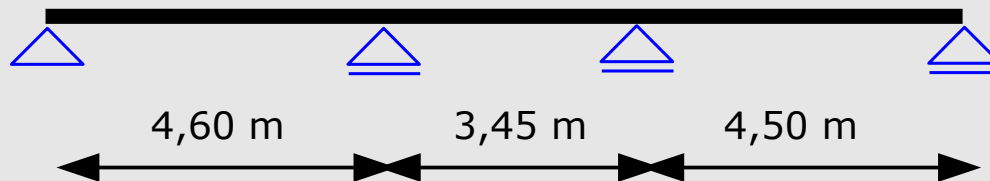
- (1) besseres Verhalten
- (2) schlechteres Verhalten

Berechnung der Schwinggeschwindigkeit

$v_{\max} = 0,0439 \text{ m/s/N}\cdot\text{s}$ für $\zeta = 4\%$

$$v = \frac{4 \cdot (0,4 + 0,6 \cdot n_{40})}{m \cdot b \cdot L + 200}$$

n_{40} ... Anzahl der
Eigenfrequenzen $< 40 \text{ Hz}$
 $n_{40} = 5$



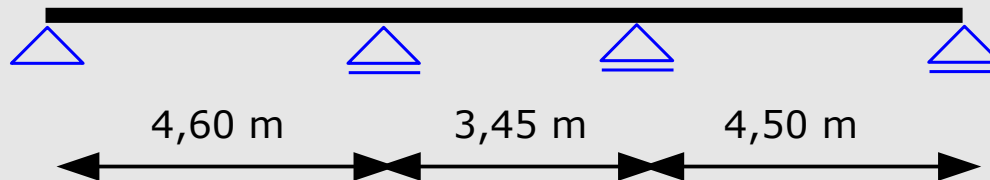
	Feld-1	Feld-2	Feld-3
L	4,60	3,45	4,50
b	2,70	2,70	2,70
m	214,0	214,0	214,0
n_{40}	5	5	5
v	0,00476	0,00620	0,00486
v_{\max}	0,04387	0,04387	0,04387
	10,85%	14,14%	11,07%

Berechnung der Schwinggeschwindigkeit

$v_{\max} = 0,0107 \text{ m/s/N}\cdot\text{s}$ für $\zeta = 1\%$ (Standard)

$$v = \frac{4 \cdot (0,4 + 0,6 \cdot n_{40})}{m \cdot b \cdot L + 200}$$

n_{40} ... Anzahl der
Eigenfrequenzen < 40 Hz
 $n_{40} = 5$



	Feld-1	Feld-2	Feld-3
L	4,60	3,45	4,50
b	2,70	2,70	2,70
m	214,0	214,0	214,0
n_{40}	5	5	5
v	0,00476	0,00620	0,00486
v_{\max}	0,01068	0,01068	0,01068
	44,57%	58,07%	45,49%

Kontakt

DI Dr.techn. Thomas Bogensperger
+43 (0) 316 873-4608
bogensperger@tugraz.at
Inffeldgasse 24/I, A-8010 Graz

DI Gregor Silly
+43 (0) 316 873-4615
gregor.silly@tugraz.at
Inffeldgasse 24/I, A-8010 Graz



**Das Kompetenzzentrum
für Holzbau und Holztechnologie**
im Bautechnikzentrum
der Technischen Universität Graz