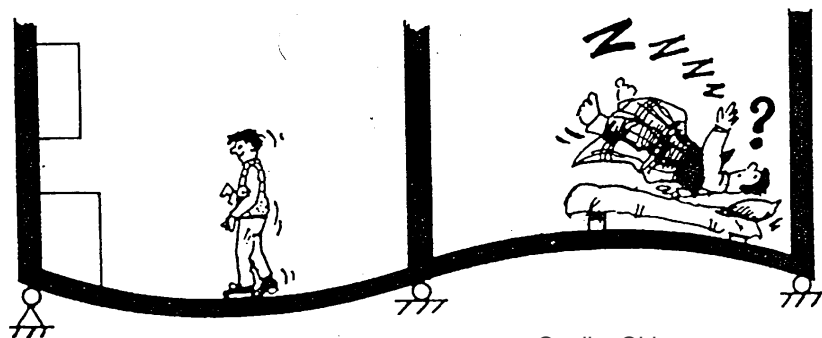


# Schwingungsverhalten von leichten Deckenkonstruktionen – Theorie und Praxis

Prof. Dr.-Ing. Patricia Hamm  
Hochschule Biberach  
und  
Beratende Ingenieurin  
Saliterstraße 90  
87616 Marktoberdorf  
mail@patricia-hamm.de

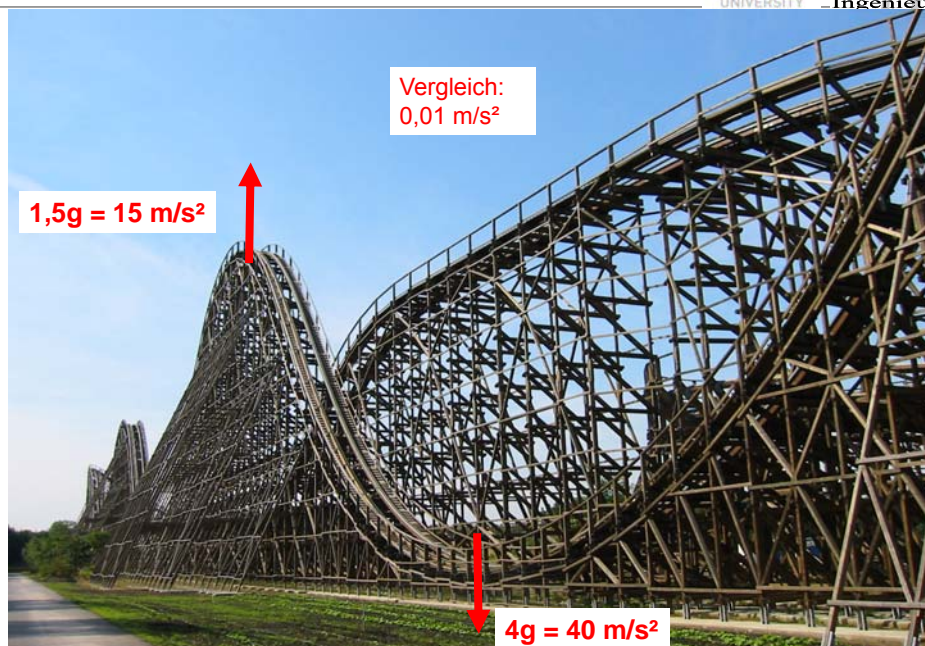
Patricia Hamm



Quelle: Ohlsson

## Gliederung

1. Einleitung
2. Normative Regelungen
3. Eigene Erfahrungen aus Messungen an Decken
4. Konstruktions- und Bemessungsregeln
5. Beispiel
6. Zusammenfassung



## 1 Einleitung – Unterschiedliche Wahrnehmung

Die menschliche Reaktion auf Schwingungen ist subjektiv.

Das menschliche Empfinden gegenüber Schwingungen

- nimmt mit der Schwingdauer zu.
- nimmt ab mit der Nähe zur und dem Bewusstsein über die Schwingursache.
- nimmt mit zunehmender Körpertätigkeit ab.
- nimmt mit zunehmender Gewöhnung ab.
- ist abh. von der Schwing**beschleunigung** ( $f < 8\text{Hz}$ ).
- ist abh. von der Schwing**geschwindigkeit** ( $f > 8\text{Hz}$ ).

$$a \approx \frac{\text{Kraft}}{\text{Masse} \cdot \text{Dämpfung}}$$

$$v \approx \frac{\text{Im puls}}{\text{Masse}}$$

## Freie Schwingung

Was sind Schwingungen?

Bewegungen in einem  
bestimmten Rhythmus

→ Frequenz [1/sec]

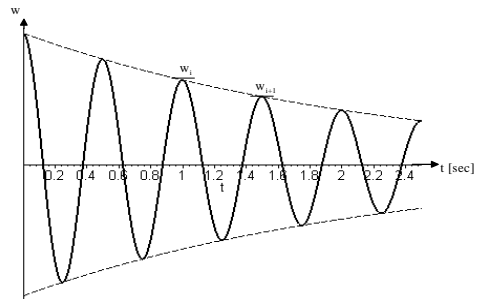
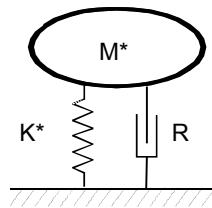


R: Viskose Dämpfung  $\longrightarrow R = 2 \cdot \zeta \cdot M^* \cdot \omega$

M\*: Generalisierte Masse

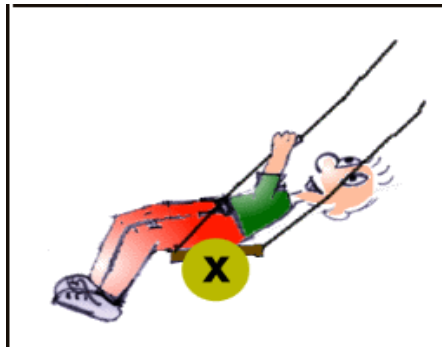
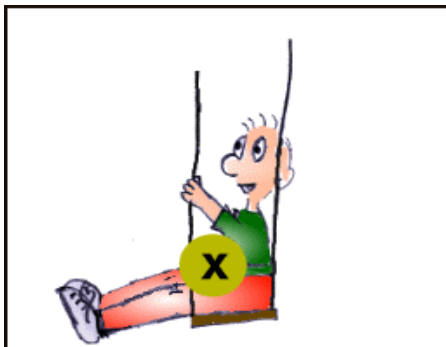
K\*: Generalisierte Steifigkeit

$f_e$ : Eigenfrequenz  $\longrightarrow f_e = \frac{\omega}{2\pi} \cong \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{K^*}{M^*}} \left[ \frac{1}{\text{sec}} \right]$



$$\zeta = \frac{\Lambda}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \cdot \ln \frac{w_i}{w_{i+1}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{n} \cdot \ln \frac{w_0}{w_n}$$

### Erzwungene Schwingung – Wiederholte Anregung – Resonanz



Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Schaukel>

F(t): Einwirkung

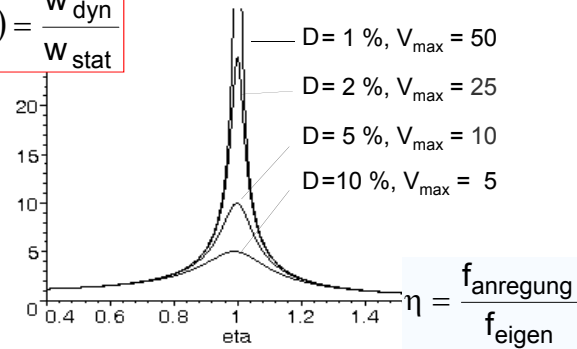
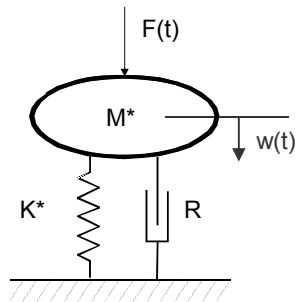
$$F(t) = F_0 \cdot \sin(2\pi \cdot f_a \cdot t)$$

w(t): Antwort

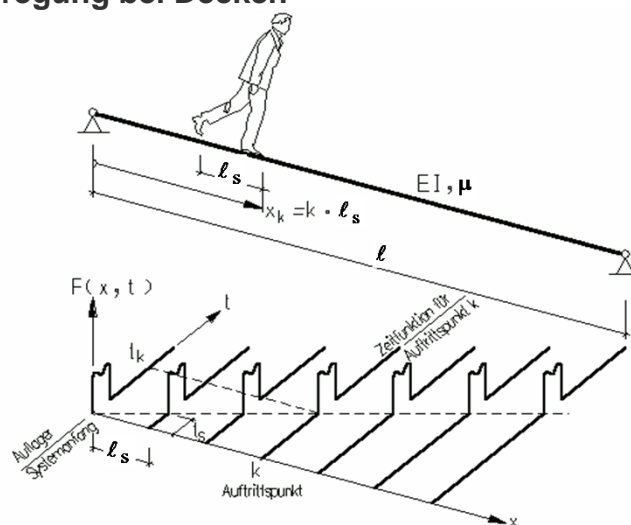
$$w(t) = \frac{F_0}{K^*} \cdot V(\eta) \cdot \sin(2\pi \cdot f_a \cdot t - \alpha)$$

**V(η): Vergrößerungsfunktion**

$$V(\eta) = \frac{w_{\text{dyn}}}{w_{\text{stat}}}$$

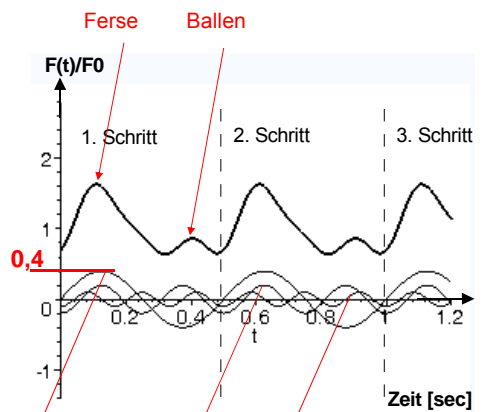


## 1 Einleitung – Anregung bei Decken



Quelle: Kreuzinger

## 1 Einleitung – Anregung bei Decken – Gehen



$$0,4 \cdot F_0 \cdot \sin(2\text{Hz} \cdot 2\pi \cdot t)$$

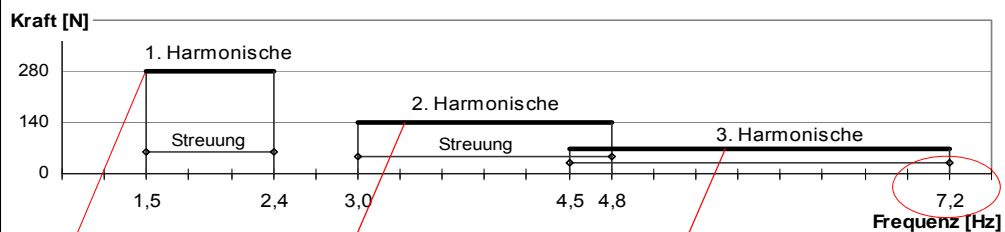
$$0,2 \cdot F_0 \cdot \sin(2 \cdot 2\text{Hz} \cdot 2\pi \cdot t - \pi/2)$$

$$0,1 \cdot F_0 \cdot \sin(3 \cdot 2\text{Hz} \cdot 2\pi \cdot t - \pi/2)$$

Schwingungsverhalten von leichten Deckenkonstruktionen – Theorie und Praxis

11

## 1 Einleitung – Anregung bei Decken – Gehen



$$0,4 \cdot F_0 \cdot \sin(2\text{Hz} \cdot 2\pi \cdot t)$$

$$0,2 \cdot F_0 \cdot \sin(2 \cdot 2\text{Hz} \cdot 2\pi \cdot t - \pi/2)$$

$$0,1 \cdot F_0 \cdot \sin(3 \cdot 2\text{Hz} \cdot 2\pi \cdot t - \pi/2) \text{ Bei schnellerem Gehen (2,4 Hz) } \rightarrow 7,2 \text{ Hz}$$

Schwingungsverhalten von leichten Deckenkonstruktionen – Theorie und Praxis

## Gliederung

1. Einführung
2. Normative Regelungen – DIN 1052 und Eurocode 5
3. Eigene Erfahrungen aus Messungen an Decken
4. Konstruktions- und Bemessungsregeln
5. Beispiel
6. Zusammenfassung

## Nachweis nach DIN 1052: 2008-12, Abs. 9.3:

Resonanz vermeiden → Eigenfrequenzen unter 7,2 Hz vermeiden

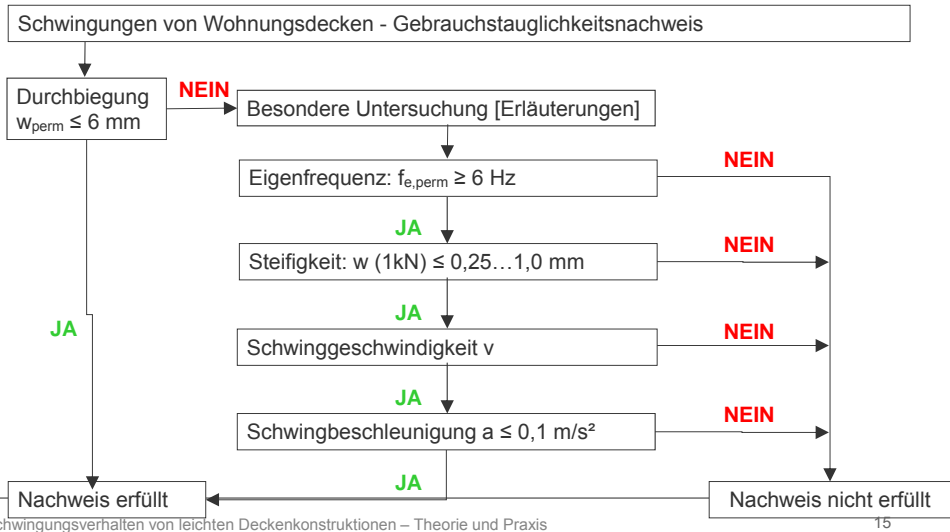
„Bei Decken unter Wohnräumen sollten, um Unbehagen verursachende Schwingungen zu vermeiden, die am ideellen Einfeldträger ermittelten **Durchbiegungen** infolge ständiger und quasi-ständiger Einwirkung auf **6 mm** begrenzt werden.“

Unabhängig von der Spannweite, weil:

Durchbiegungsbegrenzung = Frequenzbegrenzung

$$\text{Einfeldträger: } f_e = \frac{5}{\sqrt{0,8 \cdot w [\text{cm}]}}$$

$$w = 6 \text{ mm} \leftrightarrow f_e = 7,2 \text{ Hz}$$

**Nachweis nach DIN 1052: 2008-12, Abs. 9.3:****Nachweis nach Eurocode 5**

Resonanz vermeiden → Eigenfrequenzen unter 8,0 Hz vermeiden

**7.3 Schwingungen****7.3.1 Allgemeines**

(1)P Es ist sicher zu stellen, dass häufig zu erwartende Einwirkungen auf Bauteile oder Tragwerke keine Schwingungen verursachen, die die Funktion des Bauwerks beeinträchtigen oder den Nutzern unannehmbares Unbehagen verursachen.

(2) Das Schwingungsverhalten sollte durch Messungen oder Berechnungen unter Berücksichtigung der zu erwartenden Steifigkeit des Bauteils oder des Tragwerks und des Dämpfungsgrades abgeschätzt werden.

**7.3.3 Wohnungsdecken**

(1) Für Wohnungsdecken mit einer Eigenfrequenz von höchstens 8 Hz ( $f_1 \leq 8$  Hz) sollte eine besondere Untersuchung durchgeführt werden.

(2) Für Wohnungsdecken mit einer Eigenfrequenz über 8 Hz ( $f_1 > 8$  Hz) sollten die folgenden Anforderungen erfüllt sein:



## Nachweis nach Eurocode - EC 5: EN 1995-1-1:2010(D)

Durchbiegung unter Einzellast

**Steifigkeitskriterium**

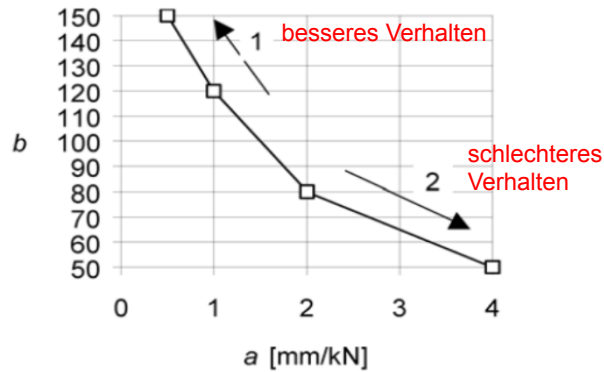
$$\frac{w}{F} \leq a \text{ mm/kN}$$

und

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

**Schwinggeschwindigkeit**

nach Einheitsimpuls



## Nachweis nach Eurocode - EC 5: EN 1995-1-1:2010(D)

Schwingungen von Wohnungsdecken - Gebrauchstauglichkeitsnachweis

Eigenfrequenz:  $f_e \geq 8 \text{ Hz}$

NEIN

Besondere Untersuchung

JA

Festlegung, ob besseres oder schlechteres Verhalten

Grenzwerte für w und v (bzw. a und b)

Steifigkeit:  $w (1\text{kN}) \leq 0,5 \dots 4,0 \text{ mm}$

NEIN

JA

Schwinggeschwindigkeit  $v \leq b^{(f_1 \zeta - 1)}$

NEIN

JA

Nachweis erfüllt

Nachweis nicht erfüllt

## Gliederung

1. Einführung
2. Normative Regelungen – DIN 1052 und Eurocode 5
3. Eigene Erfahrungen aus Messungen an Decken
4. Konstruktions- und Bemessungsregeln
5. Beispiel
6. Zusammenfassung

## 3 Eigene Erfahrungen aus Messungen an Decken

### 3.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Decke, die sich „gut anfühlt“ braucht:

- Ausreichend **Steifigkeit**
- Ausreichend **Masse**
- Ausreichend **Dämpfung**

## Gliederung

1. Einleitung
2. Normative Regelungen
3. Eigene Erfahrungen aus Messungen an Decken
- 4. Konstruktions- und Bemessungsregeln**
5. Beispiel
6. Zusammenfassung

## 4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

### Forschungsvorhaben (2007 – 2009): Schwings- und Dämpfungsverhalten von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken

Dr.-Ing. Patricia Hamm  
Dipl.-Ing. Antje Richter  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter



Decken, nachgiebig auf  
Unterzug gelagert; 4  
Messungen mit kleinem  
Messgerät. Konstruktion  
unbekannt: 6

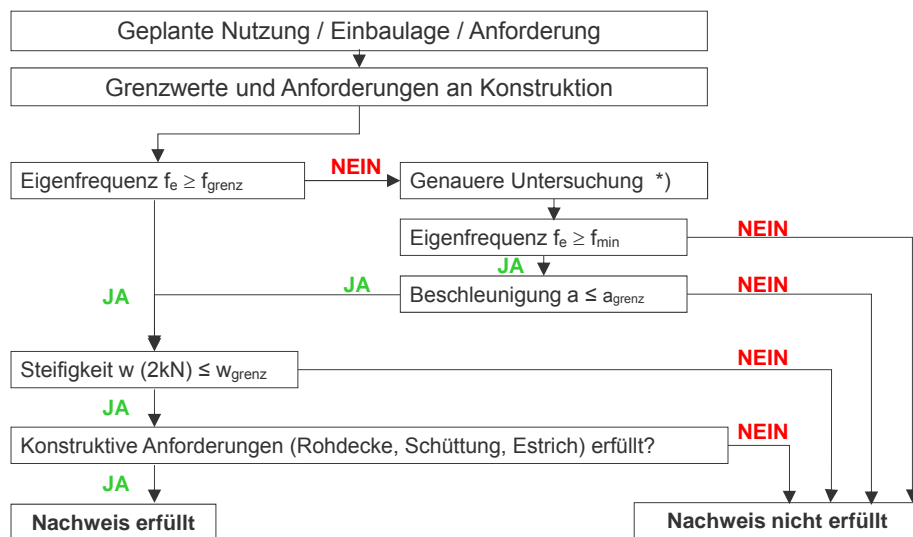
Fl:  
R:  
Fl:  
m:  
Fl:  
mit schw. gelag

Grundlage: Winter / Hamm / Richter



Schwingungsverhalten von leichten Deckenkonstruktionen – Theorie und Praxis

23

#### 4 Konstruktions- und Bemessungsregeln



Patricia Hamm

## 4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

**Bewertungskriterien (subjektiv) – nach [Kreuzinger/Mohr, 1999]**

(Gesamt-) Beurteilung	1	2	3	4
<b>In Worten:</b>	Schwingungen kaum spürbar,  nicht störend	Schwingungen spürbar, wenn man sich darauf konzentriert,  nicht störend	Schwingungen (und/oder Vibrationen) spürbar,  z. T. störend	Schwingungen (und/oder Vibrationen) deutlich spürbar,  störend / unangenehm

höhere



Anforderungen

niedrigere

Schwingungsverhalten von leichten Deckenkonstruktionen – Theorie und Praxis

25

Patricia Hamm

## 4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

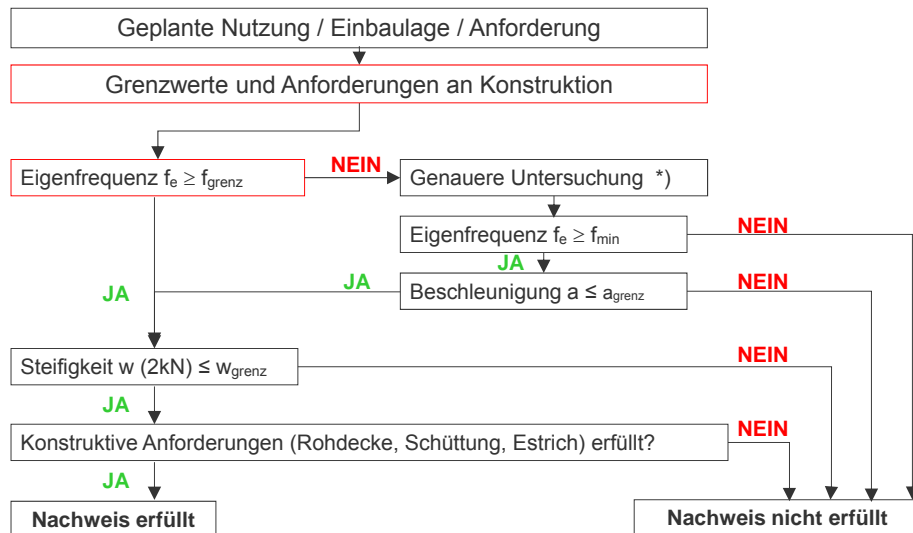
**Zusammenhang zwischen Bewertung (subjektiv) und untersuchter Nutzung bzw. Einbaulage**

<b>Untersuchte Nutzungen bzw. Einbaulage</b>	<b>Decken zwischen unterschiedl. Nutzungseinheiten</b> (z.B. Wohnungstrenndecken, Decken in Büros mit PC-Nutzung)	<b>Decken innerhalb einer Nutzungseinheit</b> (z.B. Decken in üblichen EFH)	<b>Keine Anforderungen</b> (z.B. nicht begehbare Decken in nicht genutzten DG, im Bestand, mit Zustimmung durch Bauherr)
<b>Subjektive Beschreibung der Empfindung des Schwingungsverhaltens</b>	Schwingungen werden gar nicht oder nur gering spürbar, wenn man sich darauf konzentriert und nicht als störend empfunden.	Schwingungen werden als spürbar, jedoch nicht als störend empfunden.	Schwingungen werden als spürbar bis deutlich spürbar und unangenehm bzw. teilweise störend empfunden
<b>Bewertung</b>	<b>Bewertung 1 bis 1,5</b>	<b>Bewertung &gt; 1,5 und ≤ 2,5</b>	<b>Bewertung &gt; 2,5</b>

Schwingungsverhalten von leichten Deckenkonstruktionen – Theorie und Praxis

26

## 4 Konstruktions- und Bemessungsregeln



## 4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

### Überblick Grenzwerte

Nachweise / Kriterien	Decken zwischen unterschiedl. Nutzungseinheiten (Bewertung 1 bis 1,5)	Decken innerhalb einer Nutzungseinheit (Bewertung 1,5 bis 2,5)
Frequenzkriterium $f_e \geq f_{\text{grenz}}$	$f_{\text{grenz}} = 8 \text{ Hz}$	$f_{\text{grenz}} = 6 \text{ Hz}$

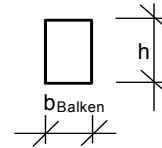
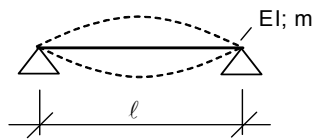
## 4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

### Frequenzkriterium

Ermittlung Eigenfrequenz durch Berechnung oder Messung:

- Biegesteifigkeit Estrich und Rohdecke,
- vorhandenes statisches System (z.B. vierseitige Lagerung, Drillsteifigkeit, Durchlaufwirkung, nachgiebige Lagerung),
- alternativ Ersatzsystem

$$f_{e,1} = \frac{\pi}{2 \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{EI}{m}} = f_{\text{Balken}}$$



$$f_{\text{Platte}} = f_{\text{Balken}} \cdot \sqrt{1 + 1/\alpha^4} \text{ mit}$$

$$\alpha = \frac{b}{\ell} \sqrt{\frac{EI_{\ell}}{EI_b}}$$

## 4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

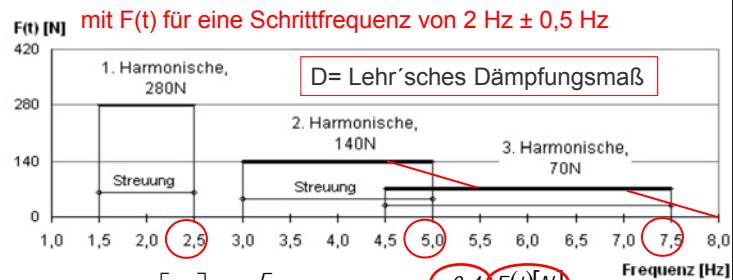
### Überblick Grenzwerte

Nachweise / Kriterien	Decken zwischen unterschiedl. Nutzungseinheiten (Bewertung 1 bis 1,5)	Decken innerhalb einer Nutzungseinheit (Bewertung 1,5 bis 2,5)
Frequenzkriterium $f_e \geq f_{\text{grenz}}$	$f_{\text{grenz}} = 8 \text{ Hz}$	$f_{\text{grenz}} = 6 \text{ Hz}$
Genauere Untersuchung, wenn $f_e < f_{\text{grenz}}$ $f_{\text{min}} \leq f_e < f_{\text{grenz}}$ und $a \leq a_{\text{grenz}}$	$f_{\text{min}} = 4,5 \text{ Hz}$ $a_{\text{grenz}} = 0,05 \text{ m/s}^2$	$f_{\text{min}} = 4,5 \text{ Hz}$ $a_{\text{grenz}} = 0,10 \text{ m/s}^2$

#### 4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

Genauere Untersuchung für  $f_e < f_{\text{grenz}}$

→ Nachweis der Schwingbeschleunigung  $a \leq a_{\text{grenz}}$  und  $f_{\text{min}} \leq f_e < f_{\text{grenz}}$



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

In der Regel nur erfüllt bei schweren (HBV-)Decken Raumbreite für  $b \geq 1,5 \text{ l}$  mitschwingende Breite

Schwingungsverhalten von leichten Deckenkonstruktionen – Theorie und Praxis

31

#### 4 Konstruktions- und Bemessungsregeln – Dämpfungsmaß

Material und Aufbau

Lehr'sches  
Dämpfungs-  
maß  $D$

(Holz-) Decken ohne schwimmenden Estrich

1,0 %

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 %

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 %

32

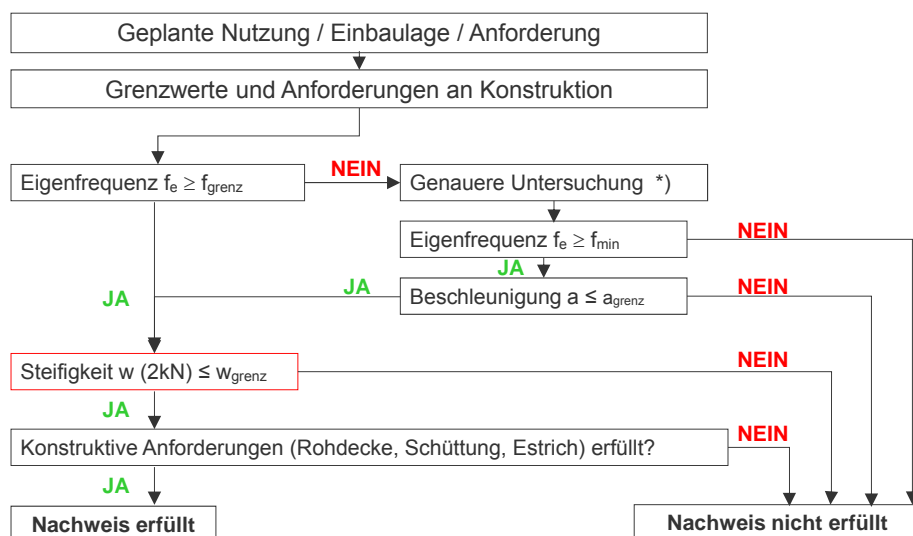


## 4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

### Überblick Grenzwerte

Nachweise / Kriterien	Decken zwischen unterschiedl. Nutzungseinheiten (Bewertung 1 bis 1,5)	Decken innerhalb einer Nutzungseinheit (Bewertung 1,5 bis 2,5)
Frequenzkriterium $f_e \geq f_{\text{grenz}}$	$f_{\text{grenz}} = 8 \text{ Hz}$	$f_{\text{grenz}} = 6 \text{ Hz}$
Genauere Untersuchung, wenn $f_e < f_{\text{grenz}}$ $f_{\text{min}} \leq f_e < f_{\text{grenz}}$ und $a \leq a_{\text{grenz}}$	$f_{\text{min}} = 4,5 \text{ Hz}$ $a_{\text{grenz}} = 0,05 \text{ m/s}^2$	$f_{\text{min}} = 4,5 \text{ Hz}$ $a_{\text{grenz}} = 0,10 \text{ m/s}^2$
Steifigkeitskriterium $w(2\text{kN}) \leq w_{\text{grenz}}$	$w_{\text{grenz}} = 0,5 \text{ mm}$	$w_{\text{grenz}} = 1,0 \text{ mm}$

## 4 Konstruktions- und Bemessungsregeln



## 4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

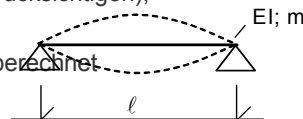
### Steifigkeitskriterium

→ Einmalige Auslenkung (mittige Einzellast)  $w(2\text{ kN}) \leq w_{\text{grenz}}$

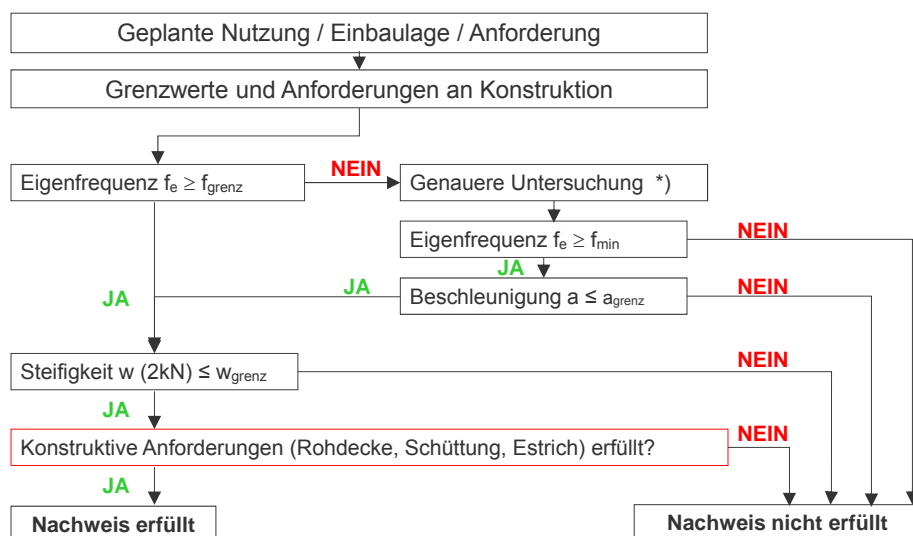
Ermittlung der Durchbiegung unter einer mittigen Einzellast von 2 kN:

- am Ersatzsystem eines beidseits gelenkig gelagerten Einfeldträgers mit der Spannweite des größten Feldes (Durchlaufwirkung **nicht** berücksichtigen),
- nachgiebige Lagerung muss berücksichtigt werden,
- zweiachsig gespannte Deckenplatten dürfen als Trägerrost berechnet werden.
- Biegesteifigkeit Estrich und Rohdecke,
- mittragende Breite:  $b_{w(2\text{ kN})} = \min \left\{ \begin{array}{l} b_{\text{ef}} \\ \text{Raumbreite} \end{array} \right\}$

$$\text{mit } b_{\text{ef}} = \frac{\ell}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_{\text{quer}}}{EI_{\text{längs}}}} = \frac{b}{1,1 \cdot \alpha} \quad \text{und} \quad \alpha = \frac{b}{\ell} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_{\ell}}{EI_b}}$$




## 4 Konstruktions- und Bemessungsregeln



## 4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

### Empfohlene konstruktive Maßnahmen

Deckenkonstruktion		
Holz-Beton-Verbund-Decken		

## 4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

### Empfohlene konstruktive Maßnahmen

Deckenkonstruktion	
Holz-Beton-Verbund-Decken	
Flächige Massivholz- decken	

A photograph showing a wooden floor under construction. The floor is composed of light-colored wooden planks. In the background, there are cardboard boxes and some debris. The text "Pos. 7" is handwritten on the floor planks.


## 4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

### Empfohlene konstruktive Maßnahmen

Deckenkonstruktion		
Holz-Beton-Verbund-Decken		
Flächige Massivholz- decken		

## 4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

### Empfohlene konstruktive Maßnahmen

Deckenkonstruktion		
Holz-Beton-Verbund-Decken		
Flächige Massivholz- decken		
Holzbalken- decken oder Trägerroste		

## 4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

### Empfohlene konstruktive Maßnahmen

Deckenkonstruktion		
Holz-Beton-Verbund-Decken		
Flächige Massivholzdecken		
Holzbalkendecken oder Trägerroste		

## 4 Konstruktions- und Bemessungsregeln


### Empfohlene konstruktive Maßnahmen

Deckenkonstruktion	
Holz-Beton-Verbund-Decken	
Flächige Massivholzdecken	schwimm. Nassestrich
Holzbalkendecken oder Trägerroste	schwimm. Nassestrich




## 4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

### Empfohlene konstruktive Maßnahmen

Deckenkonstruktion		
Holz-Beton-Verbund-Decken		
Flächige Massivholz-decken	Schwimmend gelagert	
Holzbalken-decken oder Trägerroste		

## 4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

### Empfohlene konstruktive Maßnahmen

Deckenkonstruktion		
Holz-Beton-Verbund-Decken		
Flächige Massivholz- decken	Schüttung	
Holzbalken- decken oder Trägerroste		

## Gliederung

1. Einleitung
2. Normative Regelungen
3. Eigene Erfahrungen aus Messungen an Decken
4. Konstruktions- und Bemessungsregeln
5. Beispiel
6. Zusammenfassung

## 6 Zusammenfassung

### Anwendungsgrenzen

- Übliche Nutzung (Wohnen, Büro, Schule, Kindergarten)
- bei rhythmischer Beanspruchung zusätzliche dynamische Untersuchungen erforderlich

### Vereinfachung der Nachweisführung

- nur ständige Einwirkung, quasi-ständiger Lastanteil ist nicht relevant für Frequenz
- Relevanz der Nachweise überprüft (NW Schwinggeschwindigkeit  $v$  entfällt)

### Erweiterung der Möglichkeiten

- Umgang mit niedrigen Eigenfrequenzen
- Klare Aussagen, in welcher Form Randbedingungen berücksichtigt werden dürfen (Estrich,  $b_{ef}$ ) bzw. müssen (nachgiebige Lagerung)

### Zuordnung von Grenzwerten

- zu einer Einbaulage bzw. den Anforderungen
- Einführung von Anforderungskategorien / Komfortstufen

## 6 Zusammenfassung

### Rechtliche Situation:

- „Gebrauchstauglichkeitsnachweis“  
d.h. Nicht-Einhalten der 8 Hz möglich, wenn
  - Bauherr darüber informiert wird, z. B. in Vorbemerkungen zur Statik
- Nach Eurocode 5 ist dieser Vorschlag die  
„Besondere Untersuchung für Eigenfrequenzen von höchstens 8 Hz“