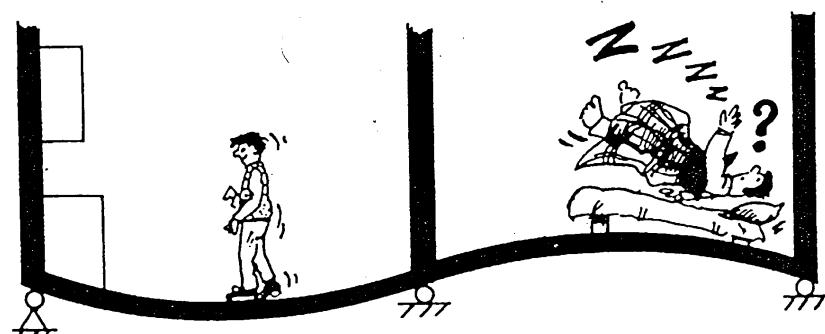


Schwingungsverhalten von leichten Deckenkonstruktionen – Theorie und Praxis

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

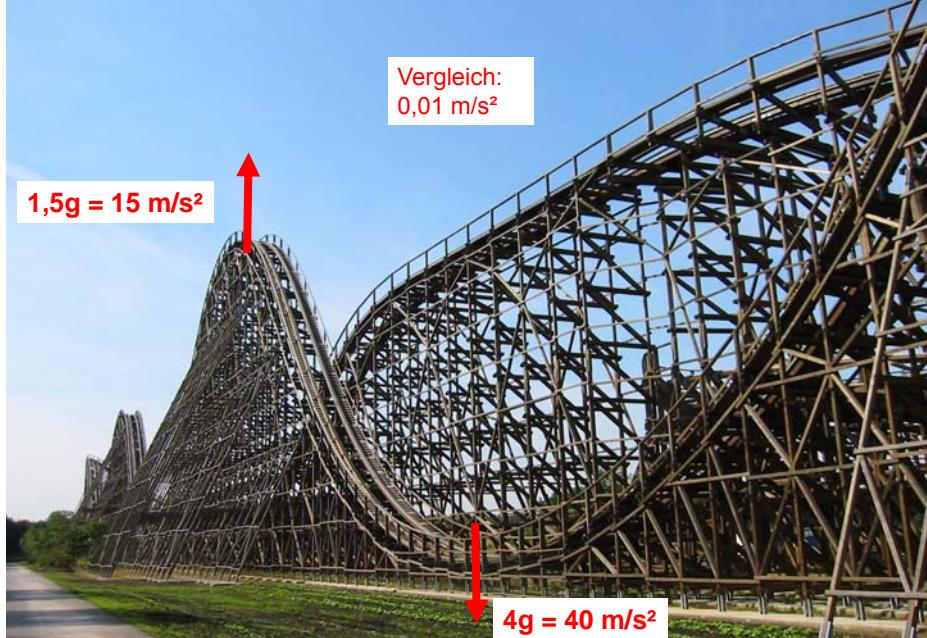
Patricia Hamm



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]

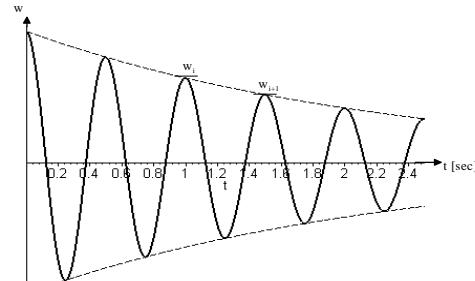
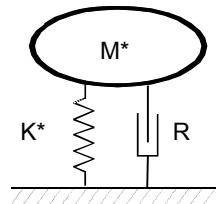


R: Viskose Dämpfung $\longrightarrow R = 2 \cdot \zeta \cdot M^* \cdot \omega$

M*: Generalisierte Masse

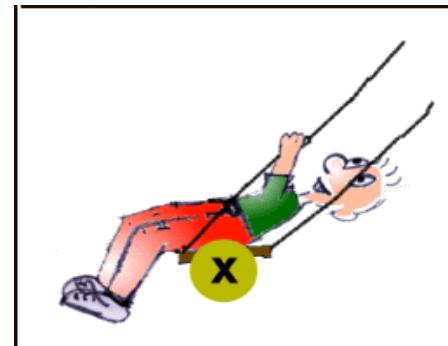
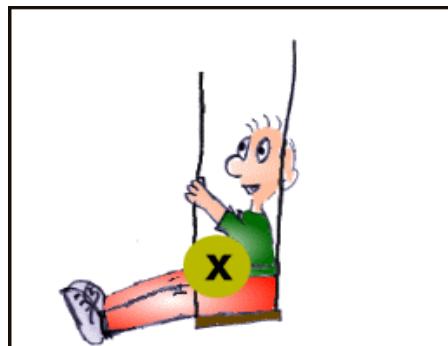
K*: Generalisierte Steifigkeit

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

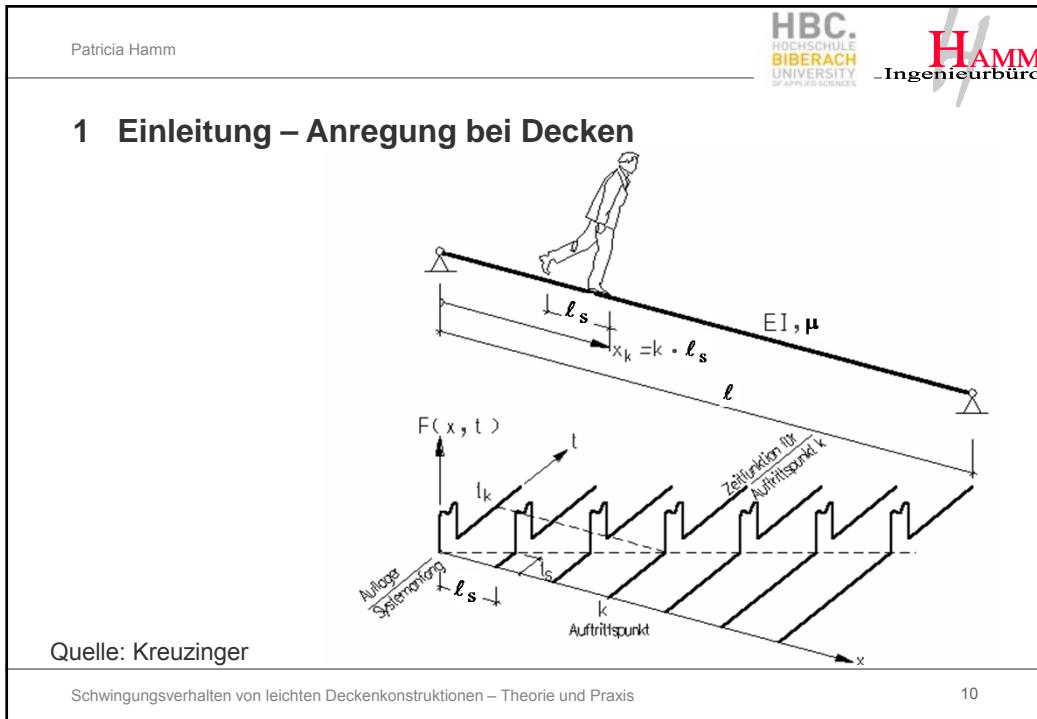
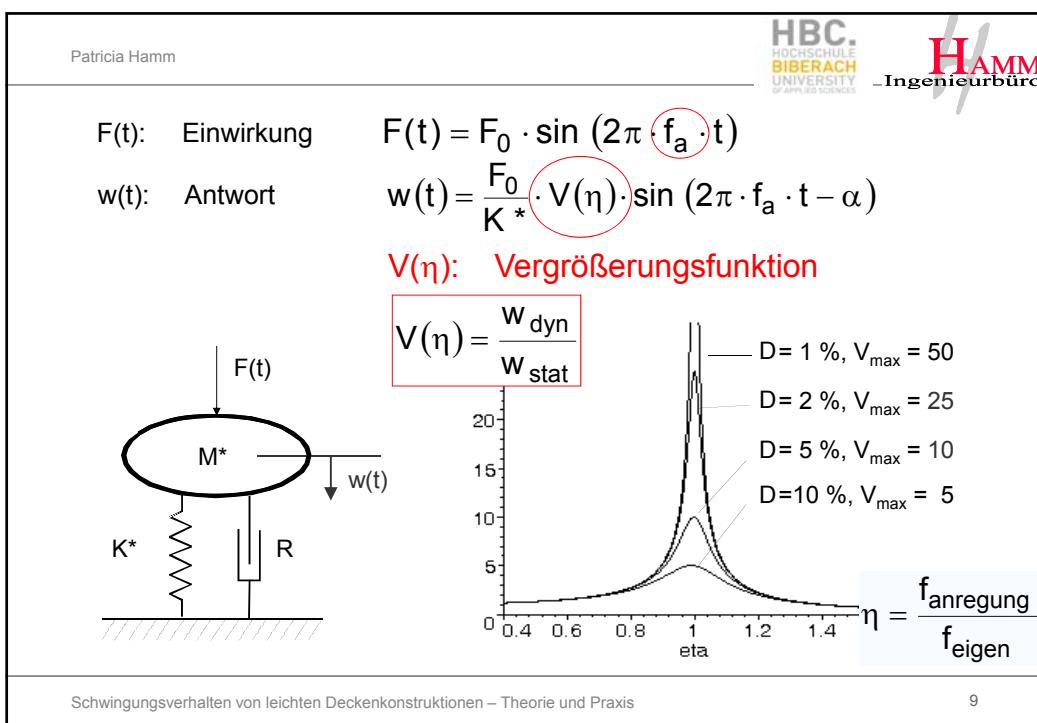


$$\zeta = \frac{\Lambda}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \cdot \ln \frac{w_i}{w_{i+1}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{n} \cdot \ln \frac{w_0}{w_n}$$

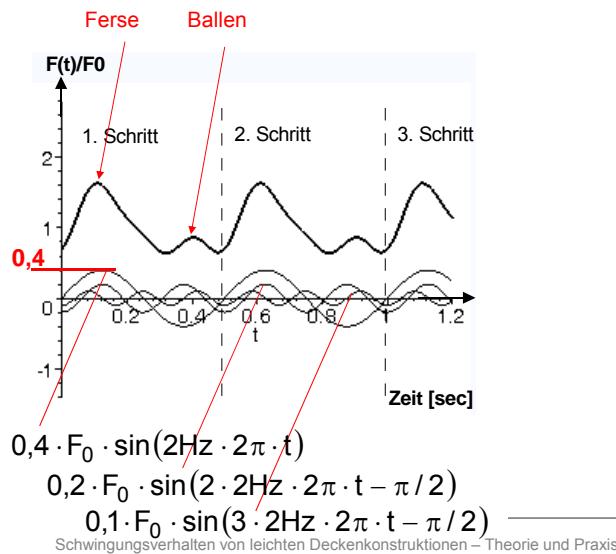
Erzwungene Schwingung – Wiederholte Anregung – Resonanz



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

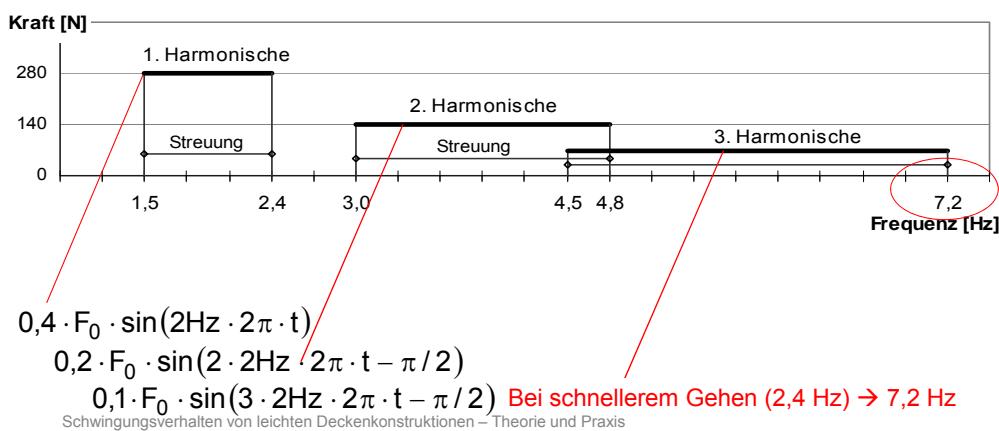


1 Einleitung – Anregung bei Decken – Gehen



11

1 Einleitung – Anregung bei Decken – Gehen



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.“

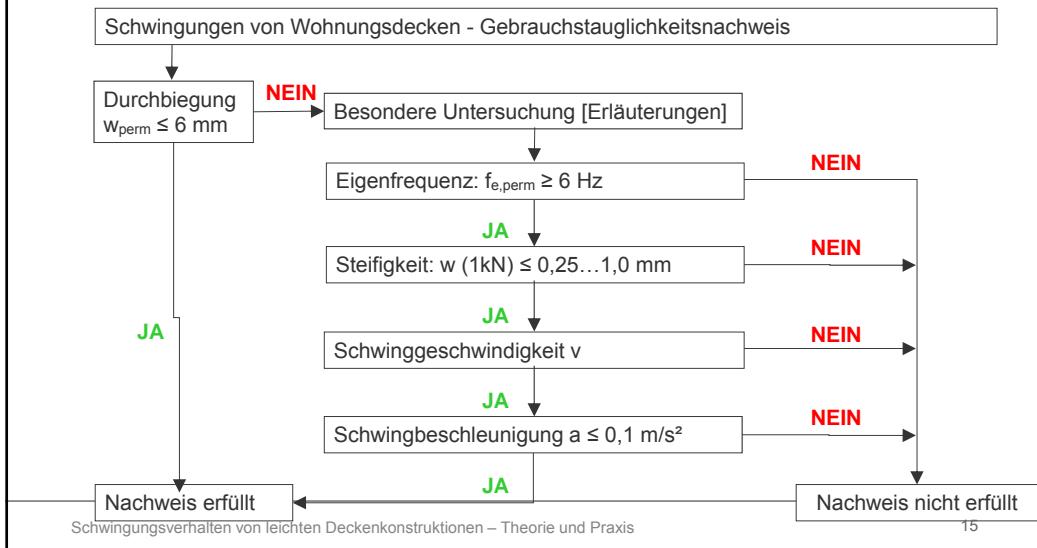
Unabhängig von der Spannweite, weil:

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 ($f_1 \leq 8 \text{ Hz}$) sollte eine besondere Untersuchung durchgeführt werden.

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

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

Durchbiegung unter Einzellast

Steifigkeitskriterium

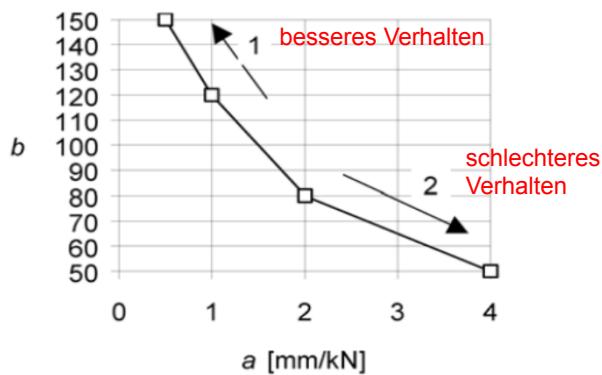
$$\frac{W}{F} \leq a \text{ mm/kN}$$

und

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

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

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**

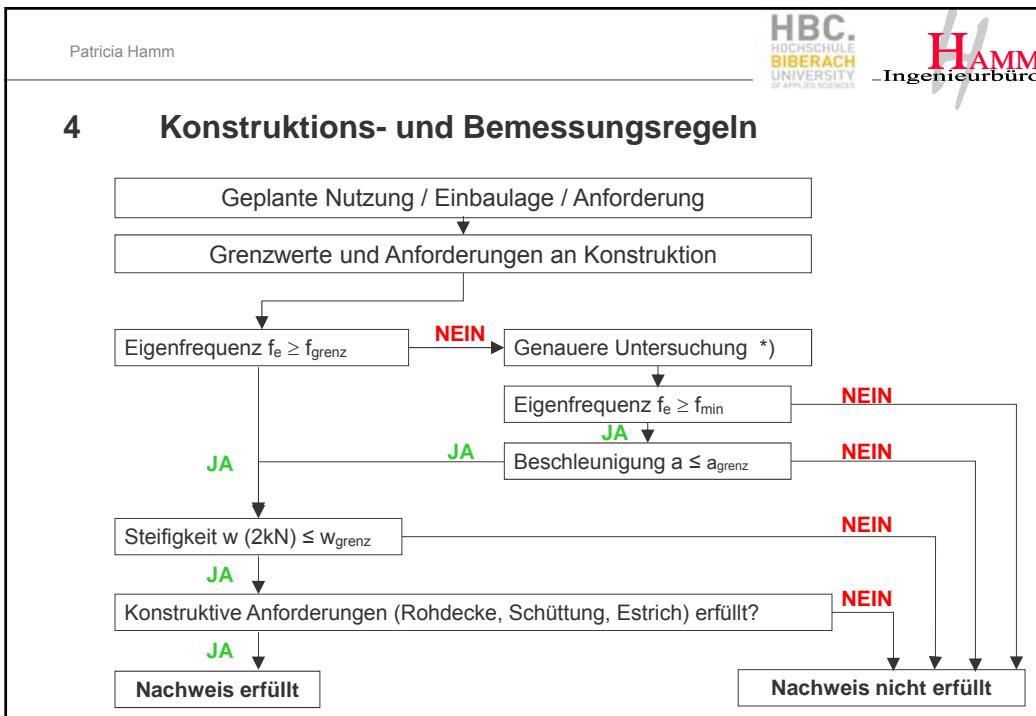
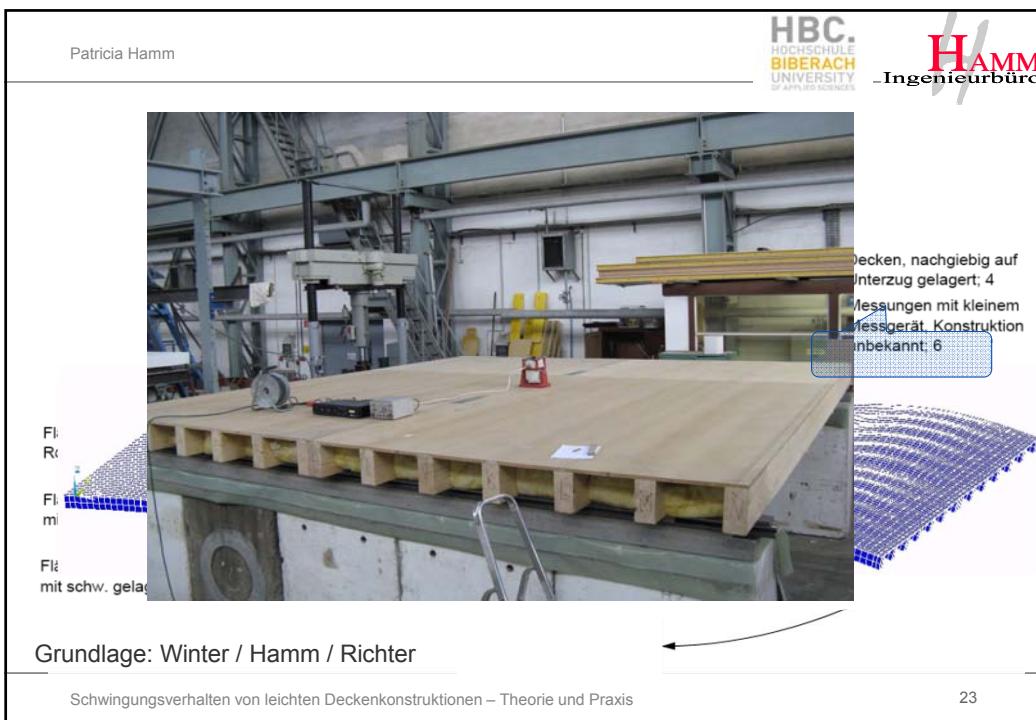
Gliederung

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):
Schwingungs- und Dämpfungsverhalten von
Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken

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



4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

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

(Gesamt-) Beurteilung	1	2	3	4
In Worten:	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

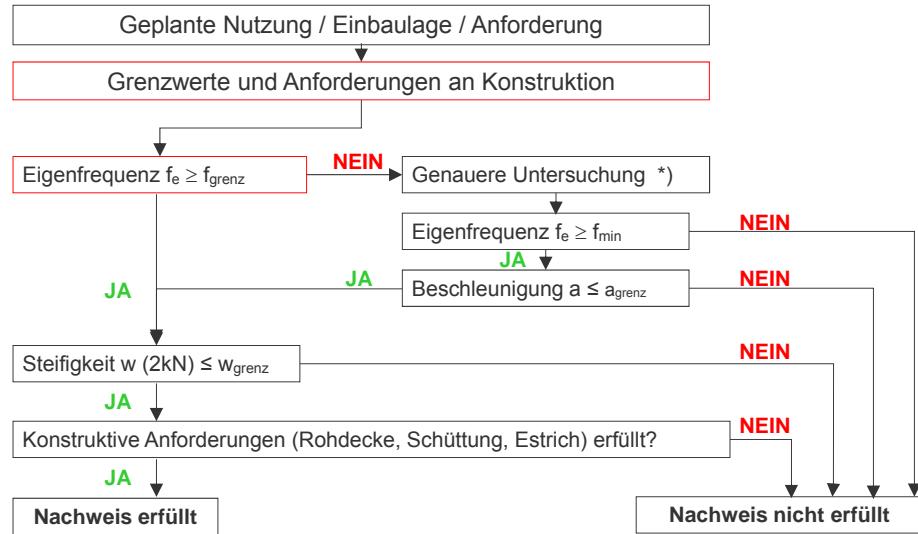
niedrigere

4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

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

Untersuchte Nutzungen bzw. Einbaulage	Decken zwischen unterschiedl. Nutzungseinheiten (z.B. Wohnungstrenndecken, Decken in Büros mit PC-Nutzung)	Decken innerhalb einer Nutzungseinheit (z.B. Decken in üblichen EFH)	Keine Anforderungen (z.B. nicht begehbar Decken in nicht genutzten DG, im Bestand, mit Zustimmung durch Bauherr)
Subjektive Beschreibung der Empfindung des Schwingungsverhaltens	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
Bewertung	Bewertung 1 bis 1,5	Bewertung > 1,5 und ≤ 2,5	Bewertung > 2,5

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 $f_e \geq f_{grenz}$	$f_{grenz} = 8 \text{ Hz}$	$f_{grenz} = 6 \text{ Hz}$

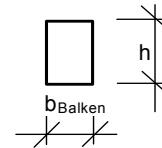
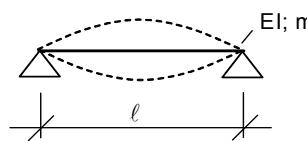
4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

Frequenzkriterium

Ermittlung Eigenfrequenz durch Berechnung oder Messung:

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

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



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

$$\alpha = \frac{b}{\ell} \sqrt[4]{\frac{EI_\ell}{EI_b}}$$

4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

Überblick Grenzwerte

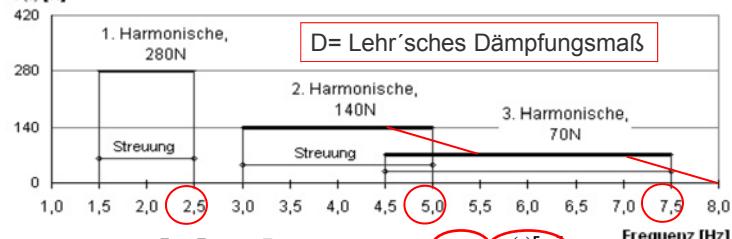
Nachweise / Kriterien	Decken zwischen unterschiedl. Nutzungseinheiten (Bewertung 1 bis 1,5)	Decken innerhalb einer Nutzungseinheit (Bewertung 1,5 bis 2,5)
Frequenzkriterium $f_e \geq f_{\text{grenz}}$	$f_{\text{grenz}} = 8 \text{ Hz}$	$f_{\text{grenz}} = 6 \text{ Hz}$
Genauere Untersuchung, wenn $f_e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

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

F(t) [N] mit F(t) für eine Schrittfrequenz von 2 Hz ± 0,5 Hz



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

Raumbreite für $b \geq 1,5 \ell$ mitschwingende Breite

In der Regel nur erfüllt bei schweren (HBV-)Decken

4 Konstruktions- und Bemessungsregeln – Dämpfungsmaß

Material und Aufbau	Lehr'sches Dämpfungsmaß D
(Holz-) Decken ohne schwimmenden Estrich	1,0 %
Decken aus verleimten Brettstapelementen 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 %

4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

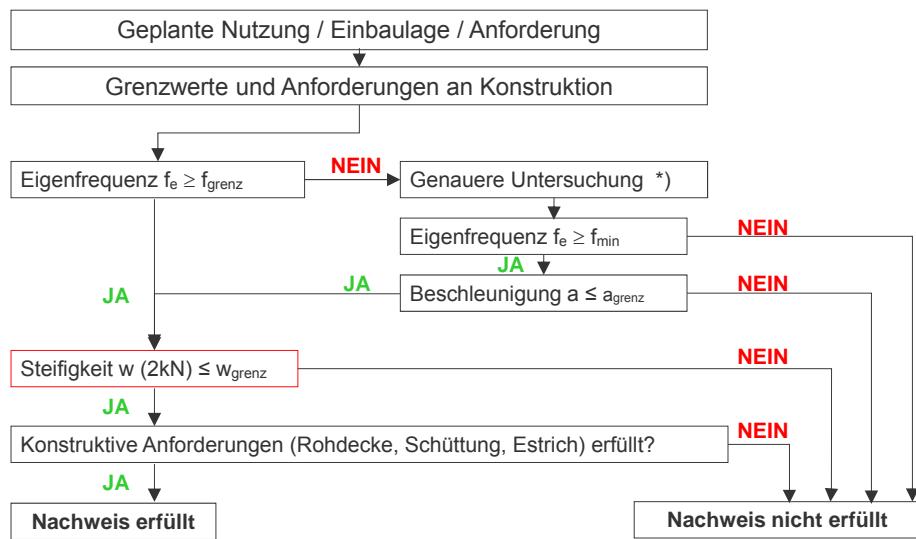
Überblick Grenzwerte

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

Schwingungsverhalten von leichten Deckenkonstruktionen – Theorie und Praxis

33

4 Konstruktions- und Bemessungsregeln



4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

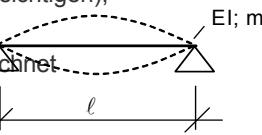
Steifigkeitskriterium

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

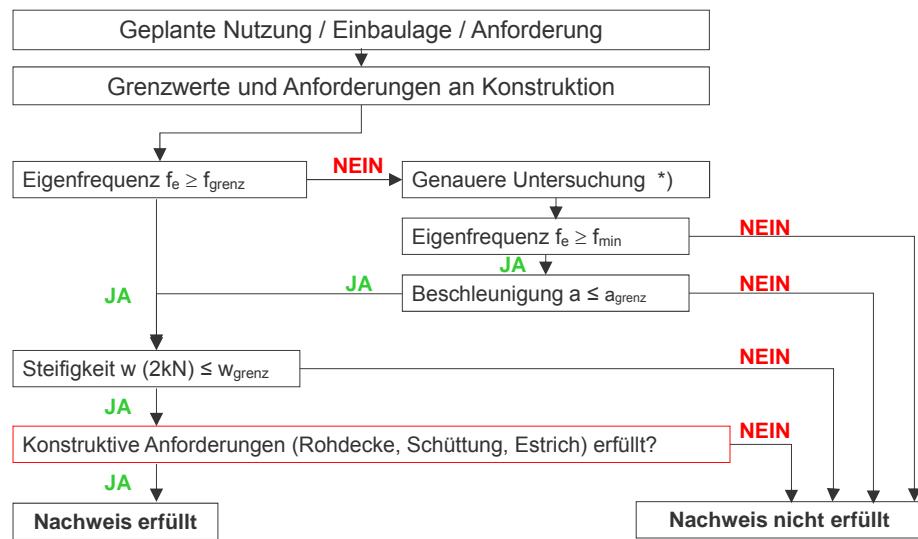
Ermittlung der Durchbiegung unter einer mittigen Einzellast von 2 kN:

- 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: $b_{w(2 \text{ kN})} = \min \left\{ b_{ef}, \frac{\text{Raumbreite}}{\ell} \right\}$

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



4 Konstruktions- und Bemessungsregeln



4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

Empfohlene konstruktive Maßnahmen

Deckenkonstruktion

Holz-Beton-Verbund-Decken



Schwingungsverhalten von leichten Deckenkonstruktionen – Theorie und Praxis

37

4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

Empfohlene konstruktive Maßnahmen

Deckenkonstruktion

Holz-Beton-Verbund-Decken

Flächige
Massivholz-
decken



Schwingungsverhalten von leichten Deckenkonstruktionen – Theorie und Praxis

38

4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

Empfohlene konstruktive Maßnahmen

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

Schwingungsverhalten von leichten Deckenkonstruktionen – Theorie und Praxis

39

4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

Empfohlene konstruktive Maßnahmen

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

Schwingungsverhalten von leichten Deckenkonstruktionen – Theorie und Praxis

40

4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

Empfohlene konstruktive Maßnahmen

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

Schwingungsverhalten von leichten Deckenkonstruktionen – Theorie und Praxis

41

4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

Empfohlene konstruktive Maßnahmen

Deckenkonstruktion			
Holz-Beton-Verbund-Decken			
Flächige Massivholz- decken	schwimm. Nassestrich		
Holzbalken- decken oder Trägerrost	schwimm. Nassestrich		

Schwingungsverhalten von leichten Deckenkonstruktionen – Theorie und Praxis

42

4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

Empfohlene konstruktive Maßnahmen

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



4 Konstruktions- und Bemessungsregeln

Empfohlene konstruktive Maßnahmen

Deckenkonstruktion	
Holz-Beton-Verbund-Decken	
Flächige Massivholzdecken	Schüttung
Holzbalkendecken 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“