

Holz bau

KI

Patricia Hamm

Schwingungen bei Holzdecken – Konstruktionsregeln für die Praxis

Zu diesem Thema kommen immer wieder zwei Fragen auf:

Weshalb müssen Schwingungen nur bei Holzdecken nachgewiesen werden?
 Die einfache Antwort ist, dass Stahlbetondecken (mit üblichen Spannweiten und Nutzung als Wohn- oder Büroräume) aufgrund ihrer hohen Masse bei nicht zu störenden Amplituden angeregt werden. Bei Stahlkonstruktionen gibt es diese Schwingungsthematik auch, es gibt auch umfangreiche Forschungsarbeiten zur Vermeidung von Schwingungen [HIVOSS, 2008], allerdings werden die Stahlkonstruktionen kaum im üblichen Wohnhausbau eingesetzt.

Schaden die strengen Nachweise dem Holzbau nicht mehr als sie ihm nutzen?

Wenn der Holzbau mit den anderen Materialien, v.a. dem Stahlbetonbau mithalten und sich mit ihm vergleichen will, müssen auch gleiche Komfortkriterien eingehalten werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Holzkonstruktion überhaupt nicht mehr sichtbar ist. Durch die restlose Bekleidung aller Tragglieder kann der Nutzer nicht erkennen, welches Material verbaut wurde und er erwartet ein gleich schwingungsempfindliches Verhalten wie bei Stahlbetondecken. Anders verhält es sich, wenn die Holzbalken sichtbar sind, entweder auf Wunsch des Bauherrn oder im Altbau: Dann kann sich der Nutzer auf ein weicheres Verhalten einstellen und wird es akzeptieren.

Einleitung

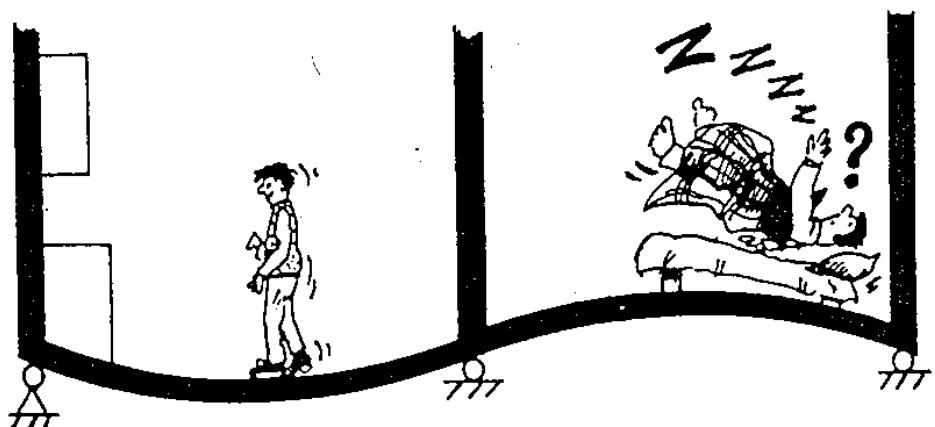
Mit den Schwingungen in diesem Beitrag sind sehr langsame Schwingungen gemeint, solche, die nicht mehr gehört, sondern „nur“ gefühlt werden können. Wir sprechen von Frequenzen von 0 Hz bis ca. 40 Hz.

Bild 1 zeigt anschaulich, weshalb es gilt, solche Schwingungen zu vermeiden. Diese Schwingungen werden sehr unterschiedlich wahrgenommen und von Person zu Person subjektiv und unterschiedlich bewertet. Dennoch ist es wichtig, eine klare Vorschrift zu haben, wie Holzdecken bemessen werden sollen, um „für den Durchschnittsnutzer“ störende Schwingungen zu vermeiden.

Normative Regelungen – Eurocode 5 und NAD

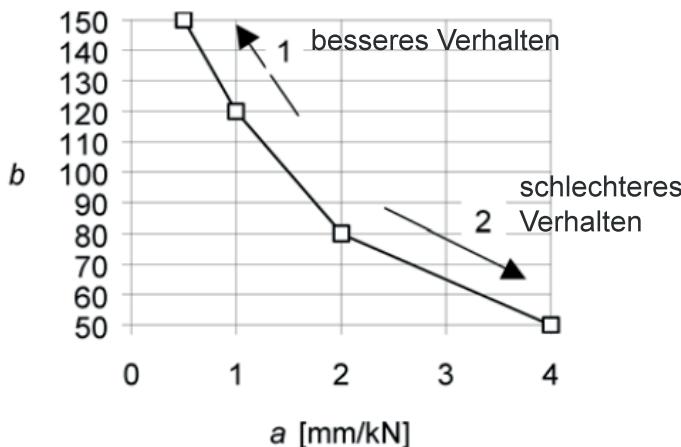
Trotz (und vor allem wegen) der Subjektivität der Schwingungsproblematik ist es wichtig, objektive und rechenbare Regeln bereitzustellen, damit Planer, Tragwerksplaner, Statiker und ausführende Firmen eine verlässliche Grundlage haben, mit der sie Gebäude planen, bemessen, kalkulieren und bauen können.

In [Eurocode 5: 2010] wird eine Mindestfrequenz empfohlen. Der Wert liegt hier bei 8 Hz, allerdings nur bei ständiger Einwirkung (ohne quasi-ständigen Verkehrslastanteil). Es heißt (Auszug aus [Eurocode 5: 2010]):



1

Bild 1: Schwingungen bei Holzdecken. Aus [Ohlsson, 1982]



2

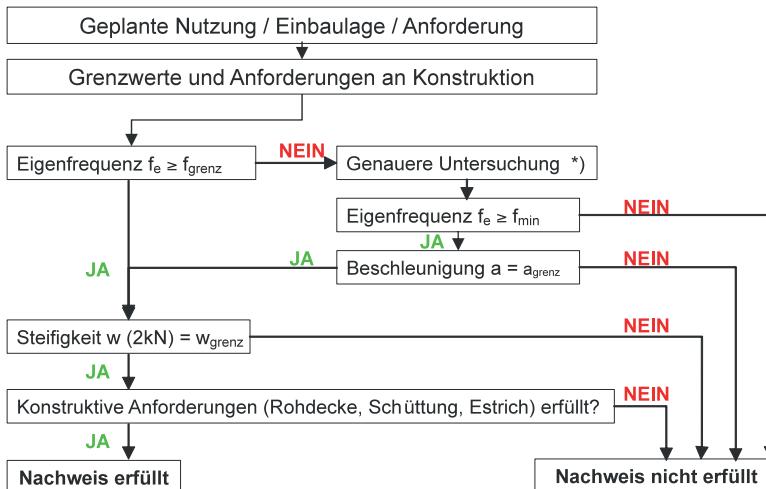
„7.3.3 Wohnungsdecken“

- (1) Für Wohnungsdecken mit einer Eigenfrequenz von höchsten 8 Hz ($f_1 < 8 \text{ Hz}$) sollte eine besondere Untersuchung durchgeführt werden. (Anmerkung der Autorin: Die „besondere Untersuchung“ ist nicht weiter beschrieben.)
- (2) Für Wohnungsdecken mit einer Eigenfrequenz über 8 Hz ($f_1 \geq 8 \text{ Hz}$) sollten die folgenden Anforderungen erfüllt sein:

$$\frac{w}{F} \leq a \quad \text{mm/kN} \quad (2)$$

(Anmerkung der Autorin: Die Durchbiegung w unter einer Einzellast F soll kleiner sein als der Grenzwert a nach Bild 2).

$$\text{und} \quad v \leq b^{(f_1 \xi - 1)} \quad (3)$$



3

(Anmerkung der Autorin: Die Einheitsimpulsgeschwindigkeitsreaktion v soll kleiner sein als der rechts stehende Ausdruck, abhängig von der Basis b nach Bild 2 und der Eigenfrequenz sowie der Dämpfung im Exponenten.)“

Der Schwingungsnachweis im [Eurocode 5: 2010] ist dreiteilig und beinhaltet

1. einen Nachweis der Eigenfrequenz,
2. einen Nachweis der Steifigkeit, also der Durchbiegung unter einer Einzellast,
3. einen Nachweis der Einheitsimpulsgeschwindigkeitsreaktion.

Konstruktions- und Bemessungsregeln – Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben

Übersicht

Das Schwingungsverhalten von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens an der TU München [Winter/Hamm/Richter, 2010] untersucht. Ergebnis sind Konstruktions- und Bemessungsregeln für den Schwingungsnachweis von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken. Bild 3 zeigt eine Übersicht / eine schematische Darstellung des Schwingungsnachweises. Dabei werden drei Kriterien untersucht:

1. die Eigenfrequenz der Decke
2. die Durchbiegung unter einer Einzellast
3. die Konstruktion inkl. Aufbau der Decke

In Bild 3 sind die relevanten Formeln und Werte für den Schwingungsnachweis für Holzdecken zusammengefasst.

Bild 2: Empfohlener Bereich und Beziehung zwischen a und b . Aus [Eurocode 5: 2010]

Bild 3: Nachweis nach den Konstruktions- und Bemessungsregeln aus dem Forschungsvorhaben [Winter/Hamm/Richter, 2010].

*) Die genauere Untersuchung ist i.A. nur bei schweren Decken, z.B. bei Holz-Beton-Verbunddecken Erfolg versprechend.

„7.3 Schwingungen“

7.3.1 Allgemeines

(1) 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.“ ...

Eigenfrequenz

Die Eigenfrequenz der Decke soll größer sein als der Grenzwert f_{grenz} nach Tabelle 2 (je nach Anforderung 8 Hz bzw. 6 Hz). Die Eigenfrequenz kann durch Messung oder Berechnung ermittelt werden. Bei der Berechnung darf das tatsächliche statische System angesetzt werden, z.B. Durchlaufträgerwirkung. Die Biegesteifigkeit des Estrichs darf rechnerisch angesetzt werden. Für die Masse darf allein die Eigenmasse angesetzt werden.

$$f_{e,\text{Einfeld-Balken}} = \frac{\pi}{2 \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_\ell}{m}} \quad (4)$$

$$\text{Eigenfrequenz eines Einfeldträger mit } I = \frac{h^3 \cdot b_{\text{Balken}}}{12} \quad (5)$$

$$f_{e,\text{Zweifeld-Balken}} = k_f \cdot f_{e,\text{Einfeld-Balken}} \quad (6)$$

Eigenfrequenz eines Zweifeldträgers mit k_f nach Tabelle 1

$$f_{e,\text{Platte}} = f_{e,\text{Balken}} \cdot \sqrt{1 + 1/\alpha^4} \quad (7)$$

Eigenfrequenz einer Platte mit gelenkiger vierseitiger Lagerung

$$\alpha = \frac{b}{\ell} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_\ell}{EI_b}} \quad (8)$$

Beiwert zur Berechnung der zweiachsigen Tragwirkung

ℓ Spannweite beim Einfeldträger.
Beim Mehrfeldträger: Spannweite des größten Feldes.

ℓ_1 Beim Zweifeldträger: Spannweite des kleineren Feldes

m Masse infolge Eigengewicht der Decke in [kg/m²]
ohne Verkehrslast und Trennwandzuschlag

b Spannweite der Decke in Querrichtung oder Deckenfeldbreite

EI_ℓ effektive Biegesteifigkeit in Längsrichtung je Meter Breite:
Biegesteifigkeit der Decke + Biegesteifigkeit des Estrichs **)

EI_b effektive Biegesteifigkeit in Querrichtung mit $(EI)_\ell > (EI)_b$:
Biegesteifigkeit der Decke + Biegesteifigkeit des Estrichs **)

E_{Estrich} Zement-Estrich: $E = 25\,000 \text{ N/mm}^2$; Falls noch nicht feststeht, welche
Anhydrit-Estrich: $E = 14\,000 \text{ N/mm}^2$; Art von Nassestrich eingebaut
Gussasphalt-Estrich: $E = 10\,000 \text{ N/mm}^2$ wird, wird empfohlen mit
 $E = 15\,000 \text{ N/mm}^2$ zu rechnen.

$EI_{\text{quer BST}}$ Brettstapel, genagelt oder gedübelt $EI_{\text{quer}} = 0,0005 EI_{\text{längs}}$:
Brettstapel geklebt: $EI_{\text{quer}} = 0,03 EI_{\text{längs}}$

Verkehrslast und Trennwandzuschlag müssen nicht eingerechnet werden. Lagerungen auf nachgiebigen Unterzügen müssen berücksichtigt werden.

Durchbiegung unter Einzellast von 2 kN oder Steifigkeitskriterium

Die Durchbiegung unter einer Einzellast von 2 kN soll kleiner sein als der Grenzwert w_{grenz} nach Tabelle 2 (je nach Anforderung 0,5 mm bzw. 1,0 mm).

Anmerkung: Wird eine Einzellast von 1 kN angesetzt, halbieren sich die Grenzwerte.

Bei Durchlaufträgern sollte die Durchlaufwirkung nicht berücksichtigt werden. Hier erfolgt der Nachweis am Ersatzsystem eines beidseitig gelenkig gelagerten Einfeldträgers mit der Spannweite des größten Feldes ℓ . Hintergrund ist, dass Durchlaufträger ein ungünstigeres Schwingungsverhalten haben als Einfeldträger.

$$w(2\text{kN}) = \frac{2 \cdot \ell^3}{48 \cdot EI_\ell \cdot b_w(2\text{kN})} \quad (9)$$

Durchbiegung unter einer Einzellast von 2 kN

$$b_w(2\text{kN}) = \min \left\{ \frac{b_{\text{ef}}}{\text{Raumbreite}} \right\} \quad (10)$$

anzusetzende mittragende Breite mit

$$b_{\text{ef}} = \frac{\ell}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_b}{EI_\ell}} = \frac{b}{1,1 \cdot \alpha} \quad (11)$$

Liegt die Decke nachgiebig auf Unterzügen auf, so ist bei der Berechnung der Eigenfrequenz und der Durchbiegung unter der Einzellast $w(2\text{kN})$ die Nachgiebigkeit der Unterzüge zusätzlich zu berücksichtigen.

Konstruktive Anforderungen an den Aufbau der Decke

Entscheidend für das Schwingungsverhalten ist neben der Frequenz und der Steifigkeit auch der Aufbau der Decke.

- Eine schwimmende Lagerung des Estrichs ist in jedem Fall erforderlich.
- Nassestriche sind aufgrund ihrer höheren Masse und höheren Steifigkeit gegenüber Trockenestrichen günstiger zu bewerten, was das Schwingungsverhalten der Decken betrifft.
- Eine (möglichst schwere) Schüttung verbessert das Schwingungsverhalten. Gleichzeitig bietet sie die Möglichkeit der Installationsführung. Je schwerer die Schüttung, desto größer die Verbesserung der subjektiven Bewertung. Als „schwere“ Schüttung werden Schüttungen mit einem Flächengewicht von mindestens 60 kg/m² bezeichnet. Dies entspricht z.B. einer 4 cm dicken Kalksplittschicht. Ob und welche Art der Schüttung erforderlich ist, kann Tabelle 3 entnommen werden.

**) Bei Installationsführungen oder Fugen im Estrich oder Ausführung als Fertigteil mit Fugen ist die Biegesteifigkeit des Estrichs entsprechend zu reduzieren. Nicht kraftschlüssig ausgeführte Stöße zwischen Elementen müssen bei der Ermittlung der Querbiegesteifigkeit berücksichtigt werden.

Holzbau

Faktor zur Umrechnung der Eigenfrequenz von Einfeldträger auf Zweifeldträger

ℓ_1 / ℓ	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
k_f	1,0	1,09	1,15	1,20	1,24	1,27	1,30	1,33	1,38	1,42	1,56

Tabelle 1

Grenzwerte der Eigenfrequenz und Durchbiegung je nach Einbaulage und Bewertung

Einbaulage bzw. Anforderung	Decke zwischen unterschiedlichen Nutzungseinheiten, z.B. Mehrfamilienhäuser oder Bürogebäude	Decke innerhalb einer Nutzungseinheit, z.B. „normale“ Einfamilienhäuser	Keine Anforderungen an das Schwingungsverhalten, z.B. Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen
Bewertung	1,0 bis 1,5	1,5 bis 2,5	2,5 bis 4,0
Empfindungen 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 (deutlich) spürbar, unangenehm und auch teilweise störend empfunden.
$f_e \geq f_{grenz}$	$f_{grenz} = 8 \text{ Hz}$	$f_{grenz} = 6 \text{ Hz}$	-
$w(2kN) \leq w_{grenz}$	$w_{grenz} = 0,5 \text{ mm}$	$w_{grenz} = 1,0 \text{ mm}$	-

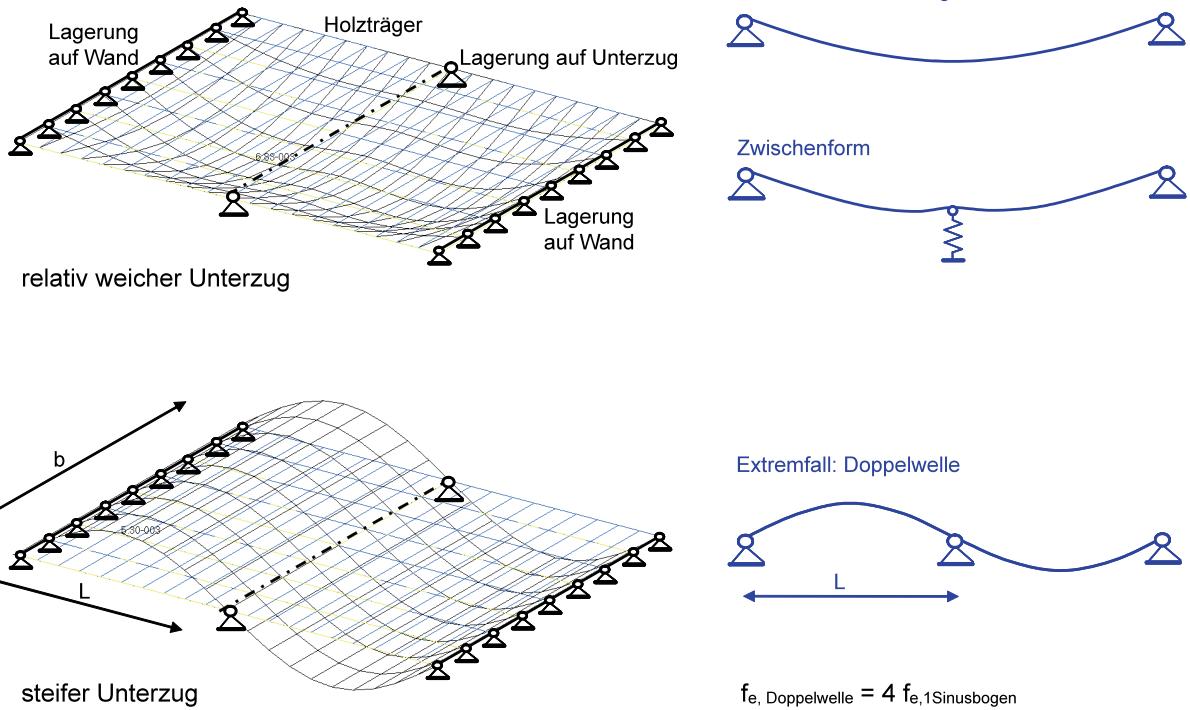
Tabelle 2

Konstruktive Anforderung je nach Art der Rohdecke, Einbaulage und Bewertung

Art der Rohdecke	Art des Estrichs	Anforderung an Aufbau bei Bewertung 1,0 bis 1,5	Anforderung an Aufbau bei Bewertung 1,5 bis 2,5
Flächige Massivholzdecken (Brettsperrholz-, Brettstapeldecken)	schwimmender Nassestrich	schwimmend auf schwerer oder leichter Schüttung	schwimmend (auch ohne Schüttung)
	schwimmender Trockenestrich	schwimmend auf schwerer Schüttung ***)	schwimmend auf schwerer Schüttung ***)
Holzbalkendecken oder Trägerroste	schwimmender Nassestrich	schwimmend auf schwerer Schüttung	schwimmend (auch ohne Schüttung)
	schwimmender Trockenestrich	nicht möglich	schwimmend auf schwerer Schüttung

Tabelle 3

***) Als Beispiel für Trockenestrichaufbau, der die Bewertung 1,5 erfüllt, wurde nur eine BSP-Decke im Labor gemessen. D.h. die Übertragbarkeit auf in situ-Decken ist noch nicht geklärt.



4

Einfluss von Unterzügen

Die beschriebenen Berechnungen für die Eigenfrequenz und die Durchbiegung unter Einzellast gehen von festen Auflagern auf Wänden auf. Oft treten Probleme auf, weil die Decke nachgiebig auf Unterzügen aufliegt und die Nachgiebigkeit in der Berechnung nicht berücksichtigt wurde. Wie die gemeinsame Wirkung Holzdecke und Unterzug als gesamtes System rechnerisch erfasst werden kann, wurde in [Hamm, 2008] beschrieben. Haupt- und Nebenträger sind dann nicht mehr getrennt zu betrachten, sondern als ein kombiniertes System, wie Bild 4 verdeutlicht.

Holzträger als Durchlaufträger:

Vor allem bei Decken mit durchlaufenden Holzträgern auf Unterzügen (Mittelauflager) spielt das Verhältnis der Steifigkeiten Holzträger zu Unterzug eine große Rolle.

Holzträger, die als Durchlaufträger über ein Mittelauflager geführt werden, werden je nach Verhältnis der Steifigkeiten überwiegend Schwingungen mit einem „großem“ Sinusbogen (Bild 4 oben) oder Schwingungen mit einer Doppelwelle (Bild 4 unten) ausführen. Zwischen den Eigenfrequenzen der beiden Extremfälle liegt Faktor 4.

Im Rahmen mehrerer Abschlussarbeiten an der Hochschule Biberach wurden Korrekturfaktoren zur Ermittlung der resultierenden Eigenfrequenz berechnet, z.B. Stumpf, 2015.

- Die Korrekturfaktoren sind abhängig
- von den Steifigkeitsverhältnissen Decke zu Unterzug
 - von den Spannweiteverhältnissen Deckenfeld (mit L oder L_{Decke} bezeichnet) zu Unterzug (mit b oder L_{Unterzug} bezeichnet)
 - und von den absoluten Spannweiten der Decke.

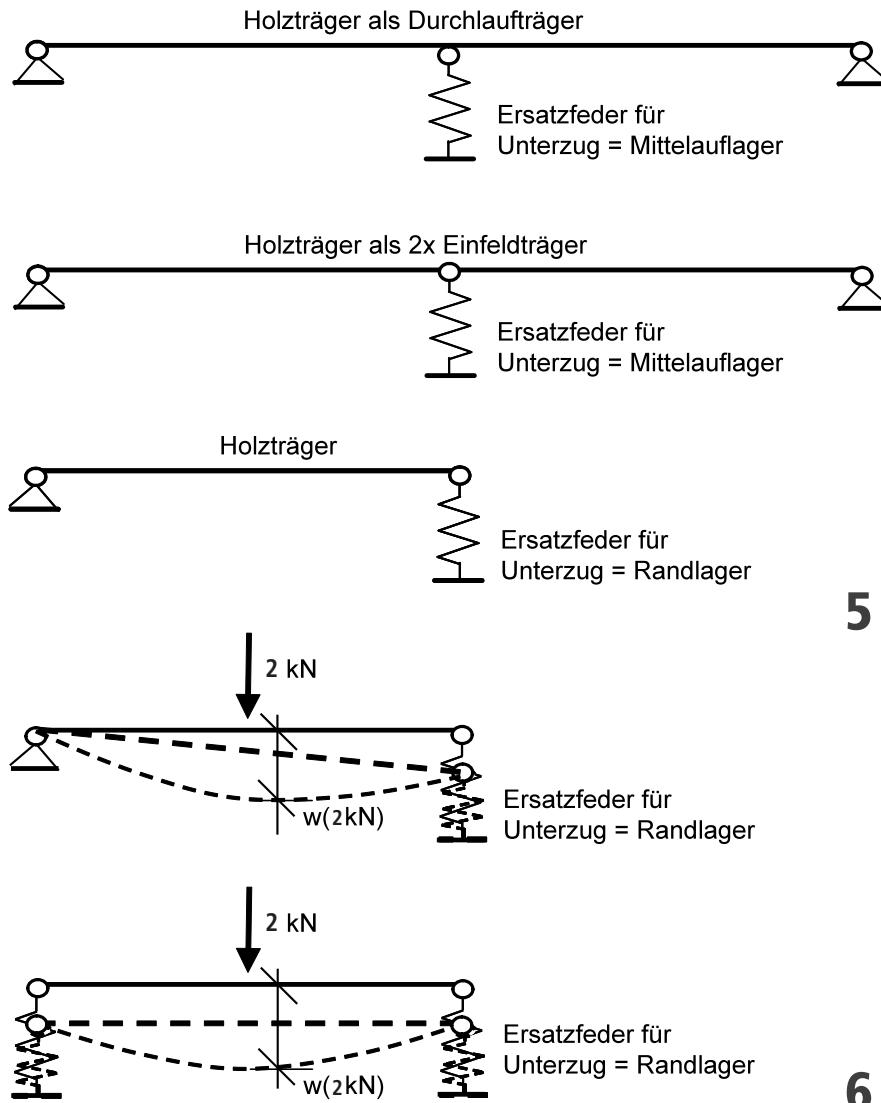
Deshalb werden die Tabellen für unterschiedliche absolute Spannweiten angegeben.

Die Korrekturfaktoren werden wie folgt verwendet:

$$f_{e, \text{nachgiebig}} = f_{e, \text{ges}} = e_f \cdot f_{e, \text{starr}} \quad (12)$$

Darin sind: e_f der Korrekturfaktor nach den Tabellen im Anhang und $f_{e, \text{starr}}$ die Eigenfrequenz der Decke, wenn sie starr (z.B. auf Wänden) gelagert wäre.

Bild 4: Erste Eigenform der Decke gesamt sowie eines einzelnen Holzträgers je nach Steifigkeit des Unterzugs



Rechnerische Erfassung der resultierenden Eigenfrequenz
Rechnerisch kann die resultierende Eigenfrequenz entweder mit Hilfe von FE Programmen erfasst werden, oder mit Hilfe der Näherungsformel (13).

$$f_{e,\text{ges}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{f_{e,\text{starr}}^2} + \frac{1}{3 \cdot f_{e,\text{Unterzug}}^2}}} \quad (13)$$

$f_{e,\text{starr}}$ ist die Eigenfrequenz der Decke, wenn sie starr gelagert wäre, $f_{e,\text{Unterzug}}$ die Eigenfrequenz des Unterzugs unter Berücksichtigung der Masse, die auf ihm lagert.

Mit dieser Näherungsformel (13) können die Systeme nach Abb. 5 erfasst werden.

Bild 5: Schematische Darstellung der Lagerung von Holzträgern auf Unterzügen

Bild 6: Ersatzsystem für nachgiebig gelagerte Decken

Berechnung der Durchbiegung unter Einzellast (Steifigkeitskriterium)

Auch bei der Berechnung der Durchbiegung unter der Einzellast $w(2\text{kN})$ muss die Nachgiebigkeit des Unterzugs berücksichtigt werden. Wenn die Last von 2kN mittig angreift, sind die Auflagerkräfte beim Lager und beim Unterzug jeweils 1kN. Der Unterzug erfährt eine Durchbiegung $w_{UZ}(1\text{kN})$ unter 1kN, die linear vom Lager zum UZ zunimmt. Die Durchbiegungen können dann entsprechend (14) addiert werden, vgl. Bild 6.

$$w(2\text{kN}) = 0,5 \cdot w_{UZ}(1\text{kN}) + w_{Decke}(2\text{kN}) \quad (14)$$

Nachweise

Die einfachste Regel für die Mindeststeifigkeit eines Unterzugs findet sich im Forschungsbericht [Kreuzinger/Mohr, 1999].

„Unterzüge als Zwischenauflager sollten möglichst steif ausgeführt werden. Die Übertragung der Schwingungen zwischen zwei Einfeldträgern ist durch einen gemeinsamen „weichen“ Unterzug möglich. Der Unterzug sollte für erhöhte Anforderungen bemessen werden.“

Für den Einfeldträger heißt das:

$$w_{\text{stat}} = \frac{1\text{kN} \cdot L_{\text{Unterzug}}^3}{48 \cdot E I_{\text{Unterzug}}} \leq 0,25\text{mm} \quad (15)$$

Weiterhin gilt:

$$f_{e,\text{ges}} \leq f_{\text{grenz}} \quad (16)$$

$$w(2\text{kN}) \leq w_{\text{grenz}} \quad (17)$$

Zusammenfassung

Ziel der hier vorgestellten **Konstruktions- und Bemessungsregeln** ist die Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Sie sollen es Tragwerksplanern und ausführenden Firmen ermöglichen, den Nachweis des Schwingungsverhaltens von Holzdecken zu führen.

In Abhängigkeit von der Nutzung oder den angestrebten Anforderungen an das Schwingungsverhalten wurden die erforderlichen Nachweise, Begrenzungen und Bewertungen für die Konstruktion in den Tabellen 2 und 3 zusammengestellt.

Zur Nachweisführung ist das **Frequenzkriterium** einzuhalten. Dabei darf nach Meinung der Autorin die Biegesteifigkeit des Estrichs (ohne Verbundwirkung) sowie bei zweiachsig gespannten Deckenplatten zusätzlich die Drillsteifigkeit bei der Berechnung der Eigenfrequenz berücksichtigt werden. Für die Masse m werden nur die ständigen Einwirkungen angesetzt. Alternativ zur Berechnung können auch Messergebnisse für den Nachweis herangezogen werden. Bei kleineren Frequenzen kann eine genauere Untersuchung durchgeführt werden. Nach den Erfahrungen bis jetzt ist dieser Nachweis nur für sehr schwere Decken wie Holz-Beton-Verbunddecken Erfolg versprechend. Er kann in [Winter/Hamm/Richter, 2010] nachgelesen werden.

Zusätzlich wird die Einhaltung des **Steifigkeitskriteriums** empfohlen, d.h. eine Begrenzung der Durchbiegung $w(2 \text{ kN})$ infolge der Kraft $F_k = 2 \text{ kN}$. Sie wird am Einfeldträger ermittelt. Auch bei Durchlaufträgern sollte die Durchlaufwirkung nicht berücksichtigt werden. Hier erfolgt der Nachweis am Ersatzsystem des gelenkig gelagerten Einfeldträgers mit der Spannweite des größten Feldes. Die Biegesteifigkeit des Estrichs darf – wie bei der Berechnung der Eigenfrequenz – ebenfalls berücksichtigt werden.

Das Schwingungsverhalten von Decken wird neben den oben aufgeführten Systemgrößen wesentlich von der Art der **Konstruktion** und dem **Ausbau** beeinflusst.

Werden Decken nachgiebig auf Unterzügen gelagert, ist dies bei der Nachweisführung zu berücksichtigen, indem die Eigenfrequenz und die Durchbiegung für das Gesamtsystem berechnet werden. Umrechnungsfaktoren für die Berechnung der Eigenfrequenz beim Gesamtsystem sind im Anhang angegeben.

Für Decken unter Räumen, die für rhythmische Bewegungen genutzt werden, wie z.B. Tanz- oder Gymnastikräume oder Turnhallen, sollten genauere Untersuchungen durchgeführt werden, die nicht Gegenstand dieser Veröffentlichung sind. Aktuell werden die Konstruktions- und Bemessungsregeln im Rahmen von PRB (PraxisRegelnBau) weiter aufbereitet.

Literatur

[Eurocode 5: 2010]

Eurocode 5: DIN EN 1995-1-1: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau. Dezember 2010.

[Eurocode 5: 2010 / NA - D]

Eurocode 5: DIN EN 1995-1-1/NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau. Dezember 2010.

[Hamm, 2008]:

Hamm, Patricia: Schwingungsverhalten von Decken bei Auflagerung auf Unterzügen. In: holzbau, die neue quadriga. 1/2008. S. 41-46.

[Hamm, 2012]:

Hamm, Patricia: Schwingungen bei Holzdecken – Konstruktionsregeln für die Praxis.

In: 2. Internationales Forum Holzbau Beaune 2012. 8./9. März 2012. Beaune, Frankreich. Hrsg.: Forum Holzbau, CH-Biel.

[HIVOSS, 2008]:

Schwingungsbemessung von Decken – Leitfaden. 2008.

<http://www.stb.rwth-aachen.de/projekte/2007/HIVOSS/download.php>

[Kreuzinger/Mohr, 1999]:

Kreuzinger, Heinrich; Mohr, Bernhard: Gebrauchstauglichkeit von Wohnungsdecken aus Holz; Abschlussbericht Januar 1999. TU München, Fachgebiet Holzbau. Forschungsvorhaben durchgeführt für die EGH, DGfH.

[Ohlsson, 1982]:

Ohlsson, S.: Floor vibrations and human discomfort. Department of Structural Engineering, Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden. 1982.

[Stumpf, 2015]

Stumpf, Darja: Parameterstudie zum Einfluss der nachgiebigen Lagerung auf das Schwingungsverhalten von Holzdecken. Bachelorthesis. Hochschule Biberach. 2015

[Winter/Hamm/Richter, 2010]:

Winter, S.; Hamm, P.; Richter, A.: Schwingungs- und Dämpfungsverhalten von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken. Schlussbericht Juli 2010. TU München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion. Forschungsvorhaben gefördert aus den Haushaltssmitteln des BMWA über die AiF.

<http://www.hochschule-biberbach.de/web/ifh/publikationen>

Anhang (Siehe nächste Seite)

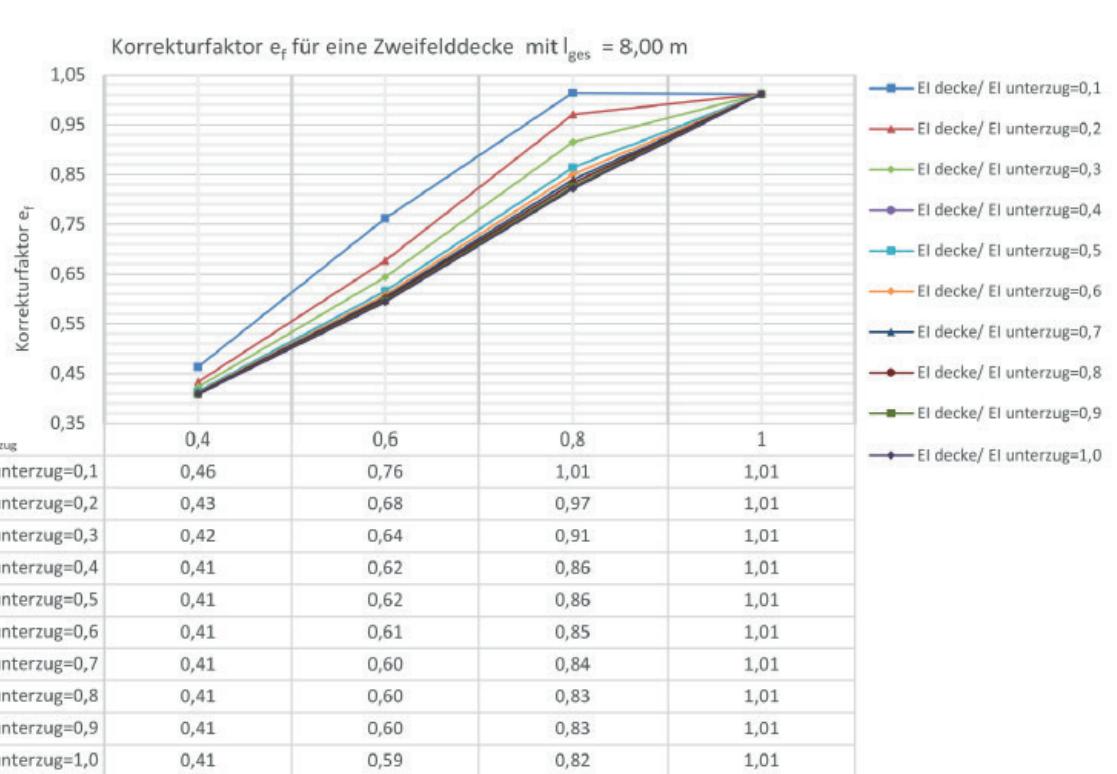
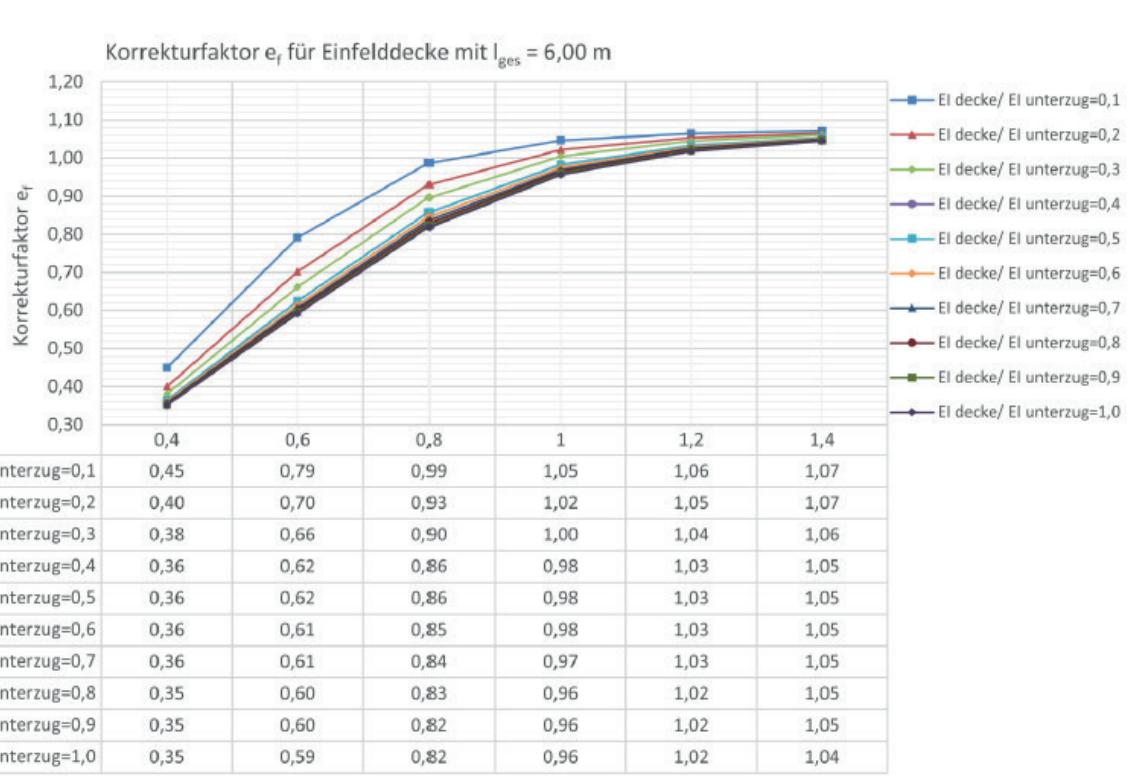


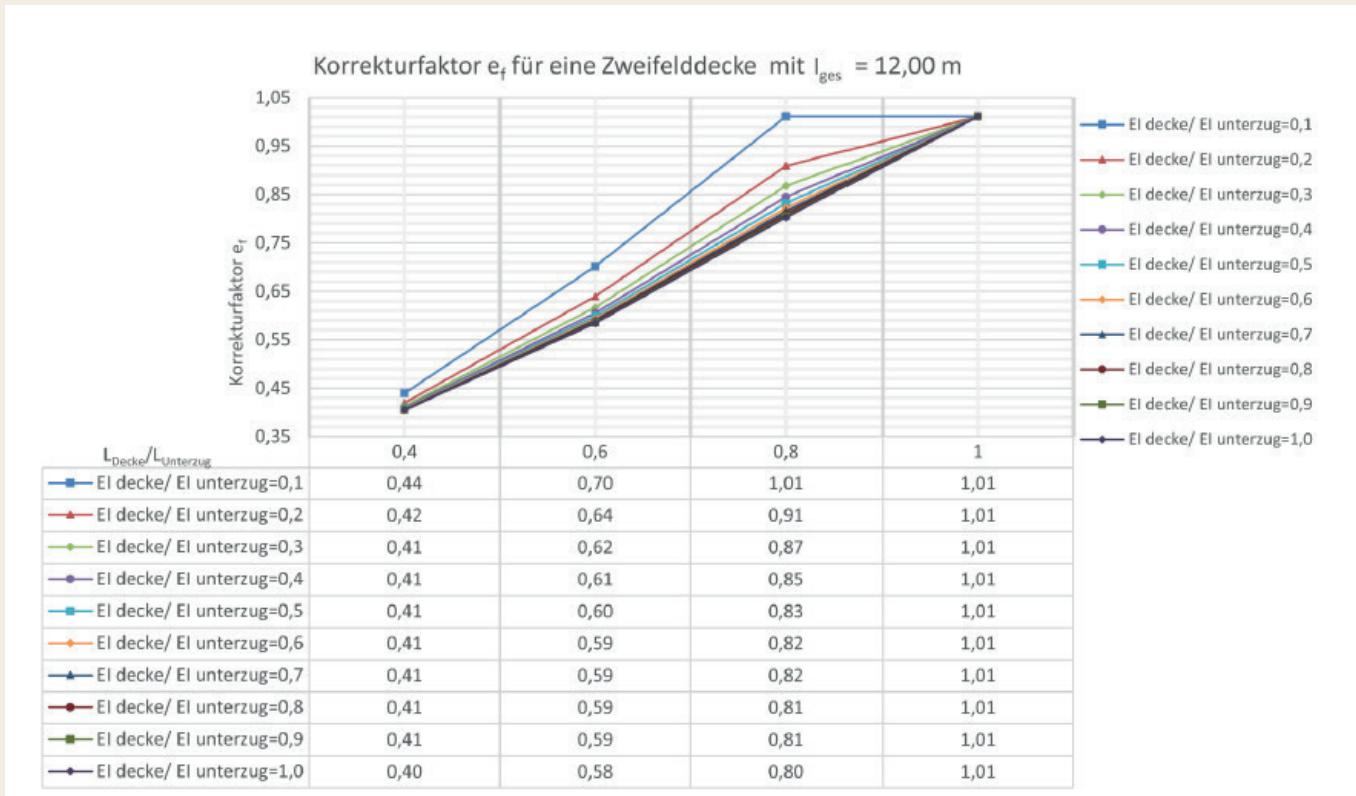
Patricia Hamm

Institut für Holzbau
Hochschule Biberach
88400 Biberach

hamm@hochschule-bc.de

Anhang





Anhang

Korrekturfaktor e_f für eine Einfelddecke
mit $l_{ges} = 6,00 \text{ m}$

Korrekturfaktor e_f für eine Zweifelddecke
mit $l_{ges} = 8,00 \text{ m}$

Korrekturfaktor e_f für eine Zweifelddecke
mit $l_{ges} = 12,00 \text{ m}$