

Schwingungen bei Holzdecken - Konstruktionsregeln für die Praxis

Patricia Hamm
Institut für Holzbau
Hochschule Biberach
D – 88400 Biberach



Schwingungen bei Holzdecken - Konstruktionsregeln für die Praxis

Anmerkung: Dieser Aufsatz wurde weitgehend aus [Hamm, 2011] übernommen, lediglich ergänzt durch einzelne Hinweise die Brettsper Holz- Bauweise betreffend.

1. 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.

Abbildung 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.

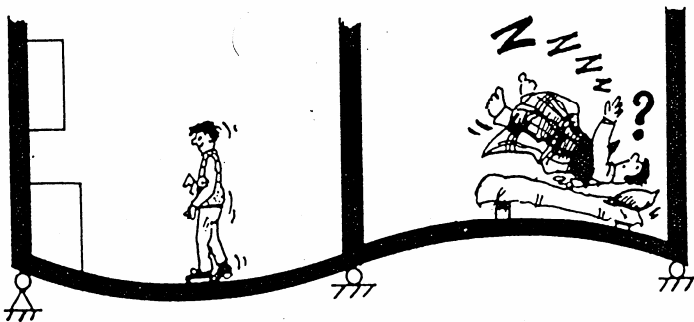


Abbildung 1: Schwingungen bei Holzdecken. Aus [Ohlsson, 1982]

2. Normative Regelungen

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.

2.1. Chronologische Entwicklung

Die „alte“ Holzbaunorm [DIN 1052: 1988] enthält zum Thema Gebrauchstauglichkeit nur einen Nachweis der Durchbiegungen/Verformungen unter statischer Einwirkung, keinen Nachweis für Schwingungen.

Im [Eurocode 5: 1993] ist ein Nachweis für „Schwingungen“ für „Wohnungsdecken“ enthalten. Diese Fassung des Eurocode 5 war aber nicht verbindlich für Deutschland.

1999 wurde der Forschungsbericht [Kreuzinger/Mohr, 1999] fertig gestellt. Er behandelt das Thema „Gebrauchstauglichkeit von Wohnungsdecken“ und ergänzt sowie verschärft die Nachweise aus [Eurocode 5: 1993]. Die Ergebnisse wurden immer wieder, z. B. in [Mohr, 2001] veröffentlicht.

2004 erschien eine überarbeitete Fassung des [Eurocode 5: 2004]. Der darin enthaltene Schwingungsnachweis hat sich gegenüber der Fassung von 1993 nicht geändert.

Ebenfalls 2004 wurde mit [DIN 1052: 2004] eine völlig neu überarbeitete Holzbaunorm herausgegeben. Sie enthält einen Schwingungsnachweis für Wohnungsdecken, „um Unbehagen verursachende Schwingungen zu vermeiden“. Der Schwingungsnachweis ist in der Form einer Durchbiegungsbegrenzung. Die zugehörigen [Erläuterungen], ebenfalls von 2004, geben ergänzende Hinweise und weitere Nachweisverfahren zum Thema Schwingungen von Decken.

Mit [Hamm, 2006] wird ein populär-wissenschaftlicher Aufsatz veröffentlicht, der nochmals die Notwendigkeit des Schwingungsnachweises erklärt und die wichtigsten Nachweise aus den [Erläuterungen] herausgreift.

Trotzdem waren noch Wissenslücken in der Nachweisführung vorhanden, vor allem was den Frequenzbereich bei Eigenfrequenzen kleiner als 8 Hz betrifft. Zwischen 2007 und 2009 wurde unter der Leitung von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter, TU München durch Dipl.-Ing. Antje Richter und der Autorin ein Forschungsvorhaben zum Thema „Schwingungs- und Dämpfungsverhalten von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken“ bearbeitet. Die wesentlichen Ergebnisse wurden bereits 2009, z. B. in [Hamm/Richter, 2009] veröffentlicht. Der Schlussbericht [Winter/Hamm/Richter, 2010] erschien 2010. Tatsächlich neu ist, dass die Tragkonstruktion und der Aufbau der Decken eine wesentliche Rolle für das Empfinden der Schwingungen spielen.

Die Ergebnisse sind u. a. im BSPHandbuch [Schickhofer et al, 2009] aufgenommen worden.

Die neue Auflage der [DIN 1052: 2008] bleibt, was den Schwingungsnachweis betrifft, gegenüber der Fassung von 2004 unverändert.

Ebenso die neue Auflage des [Eurocode 5: 2010]: Der Nachweis „7.3 Schwingungen“ bei „7.3.3 Wohnungsdecken“ bleibt gegenüber der Vorgänger- Ausgaben unverändert. Im Nationalen Anhang [Eurocode 5: 2010 / NA - D] wird ergänzt:

„ANMERKUNG: Das Schwingungsverhalten von Decken sollte, ebenso wie die Begrenzung von Durchbiegungen, immer im Hinblick auf die vorgesehene Nutzung beurteilt werden und die Anforderungen, gegebenenfalls in Abstimmung mit dem Bauherrn, entsprechend festgelegt werden.“

2.2. DIN 1052 und Erläuterungen

Auszug aus [DIN 1052: 2008]:

„9.3 Schwingungsnachweis

(1) Für Holzbauteile mit vorwiegend ruhender Belastung im Sinne der DIN 1055-3 darf ein Schwingungsnachweis in der Regel entfallen.

(2) Bei Decken unter Wohnräumen sollten, um Unbehagen verursachende Schwingungen zu vermeiden, die am ideellen Einfeldträger ermittelten Durchbiegungen $w_{G,inst} + \psi_2 \cdot w_{Q,inst}$ aus ständiger und quasi-ständiger Einwirkung auf 6 mm begrenzt werden. Die Spannweite des Einfeldträgers ist bei Mehrfeldträgern die größte Feldweite l . Die elastische Einspannung in Nachbarfelder darf bei der Berechnung der Durchbiegung $w_{G,inst} + \psi_2 \cdot w_{Q,inst}$ berücksichtigt werden.

(3) Für Decken unter beispielsweise Turn-, Sport- oder Tanzräumen können besondere Untersuchungen notwendig sein.“

$$w_{G,inst} + \psi_2 \cdot w_{Q,inst} \leq 6\text{mm} \quad (\text{Gl. 1})$$

Die Durchbiegungsbegrenzung (Gl. 1) ist unabhängig von der Spannweite der Decke, weil hinter dieser Bedingung eine Mindest-Eigenfrequenz von $f_{e,perm} \geq 7,2 \text{ Hz}$ steckt.

Durch das Einhalten einer Mindestfrequenz kann ein Hochschaukeln der Decke infolge Resonanz mit den dynamischen Kräften aus Gehen ausgeschlossen werden. Falls Gl. 1 nicht eingehalten werden kann, sind in den [Erläuterungen] und [Hamm, 2006] noch weitere „Besondere Untersuchungen“ angegeben. Abbildung 2 zeigt das Vorgehen.

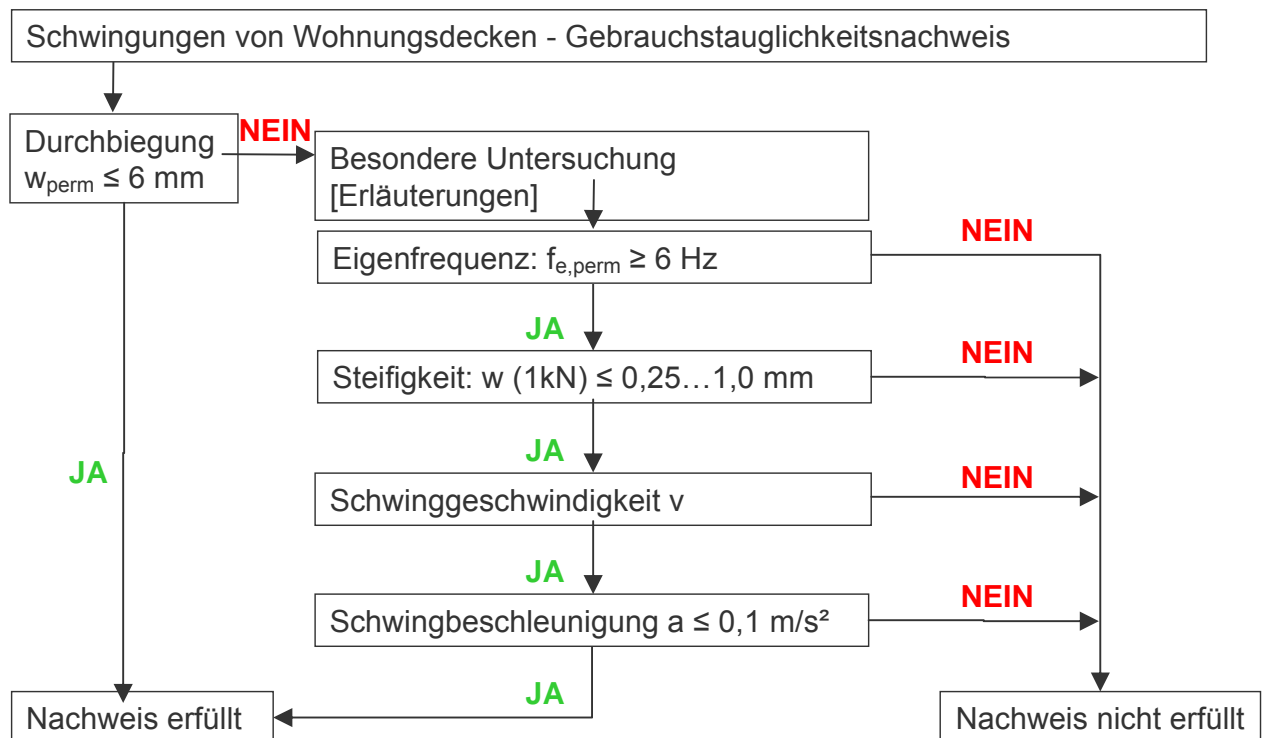


Abbildung 2: Nachweis nach [DIN 1052: 2008], den [Erläuterungen] und [Hamm, 2006]

2.3. Eurocode 5 und NAD

Auch 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]):

„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 ($f_1 < 8\text{Hz}$) 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:

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

(Anmerkung der Autorin: Die Durchbiegung w unter einer Einzellast F soll kleiner sein als der Grenzwert a nach Abbildung 3.)

und

$$v \leq b^{(f_1 \zeta - 1)} \quad (\text{Gl. 3})$$

(Anmerkung der Autorin: Die Einheitsimpuls geschwindigkeitsreaktion v soll kleiner sein als der rechts stehende Ausdruck, abhängig von der Basis b nach Abbildung 3 und der Eigenfrequenz sowie der Dämpfung im Exponent.)“

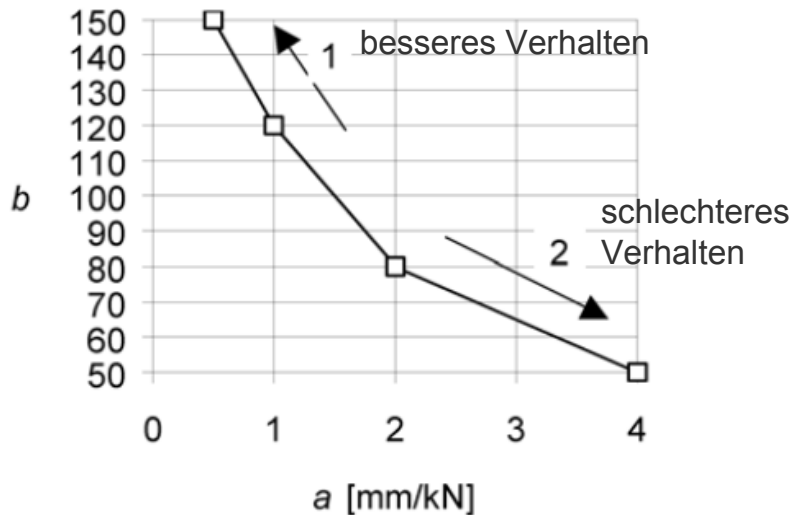


Abbildung 3: Empfohlener Bereich und Beziehung zwischen a und b . Aus [Eurocode 5: 2010]

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 Einheitsimpuls geschwindigkeitsreaktion.

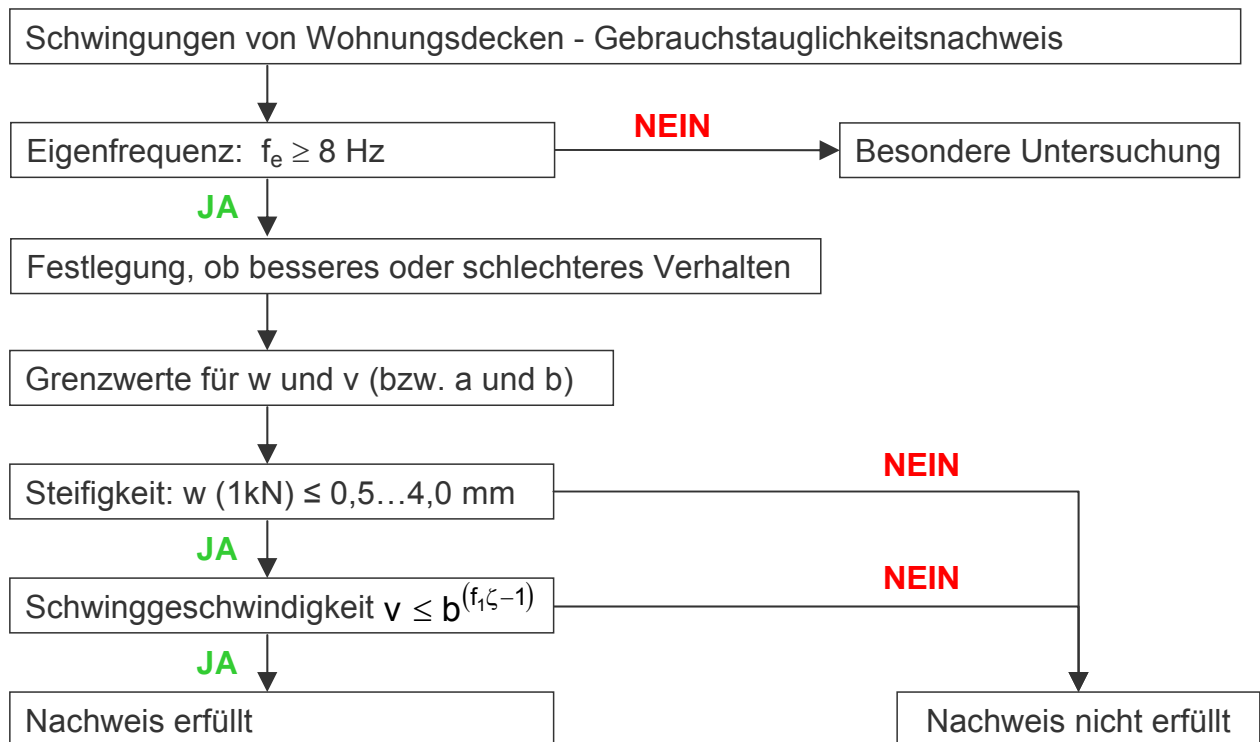


Abbildung 4: Nachweis nach [Eurocode 5: 2010]

3. Konstruktions- und Bemessungsregeln – Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben

3.1. 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. Abbildung 5 zeigt eine Übersicht / eine schematische Darstellung des Schwingungsnachweises. Dabei werden drei Kriterien untersucht:

1. die Eigenfrequenz der Decke (vgl. 3.2 und 4.2)
2. die Durchbiegung unter einer Einzellast (vgl. 3.3. und 4.3)
3. die Konstruktion inkl. Aufbau der Decke (vgl. 3.4 und 4.4)

Im Folgenden sind die relevanten Formeln und Werte für den Schwingungsnachweis für Holzdecken zusammengefasst.

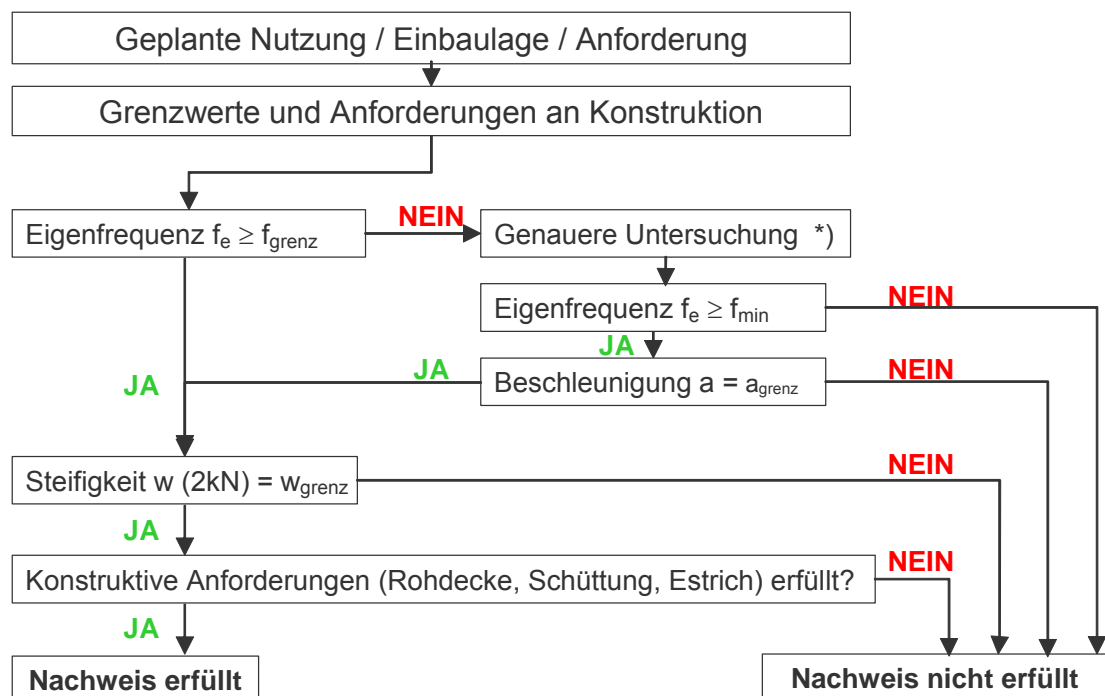


Abbildung 5: Nachweis nach den Konstruktions- und Bemessungsregeln aus dem Forschungsvorhaben [Winter/Hamm/Richter, 2010]. *) Die genauere Untersuchung ist i. A. nur bei schweren Decken, z. B. bei Holz-Beton-Verbunddecken Erfolg versprechend.

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

$$f_{e,\text{Einfeld-Balken}} = \frac{\pi}{2 \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_\ell}{m}} \quad \text{Eigenfrequenz eines Einfeldträgers mit } I = \frac{h^3 \cdot b_{\text{Balken}}}{12} \quad (\text{Gl. 4 / 5})$$

$$f_{e,\text{Zweifeld-Balken}} = k_f \cdot f_{e,\text{Einfeld-Balken}} \quad \text{Eigenfrequenz eines Zweifeldträgers mit } k_f \text{ nach Tabelle 1} \quad (\text{Gl. 6})$$

$$f_{e,\text{Platte}} = f_{e,\text{Balken}} \cdot \sqrt{1 + 1/\alpha^4} \quad \text{Eigenfrequenz einer Platte mit gelenkiger vierseitiger Lagerung} \quad (\text{Gl. 7})$$

$$\alpha = \frac{b}{\ell} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_\ell}{EI_b}} \quad \text{Beiwert zur Berechnung der zweiachsigen Tragwirkung (Gl. 8)}$$

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 $[\text{kg/m}^2]$
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 Art von Nassestrich eingebaut wird, wird empfohlen mit $E = 15\,000 \text{ N/mm}^2$ zu rechnen.
Anhydrit-Estrich: $E = 14\,000 \text{ N/mm}^2$;
Gussasphalt-Estrich: $E = 10\,000 \text{ N/mm}^2$

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

Brettstapel geklebt: $EI_{\text{quer}} = 0,03 EI_{\text{längs}}$

**) 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.

3.3. 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 0,5mm bzw. 1,0mm).

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

Bei Durchlaufträgern darf die Durchlaufwirkung **nicht** berücksichtigt werden. Hier erfolgt der Nachweis am Ersatzsystem eines beidseitig gelenkig gelagerten Einfeldträgers mit der Spannweite des größten Feldes ℓ .

$$w(2\text{kN}) = \frac{2 \cdot \ell^3}{48 \cdot EI_\ell \cdot b_{w(2\text{kN})}} \quad \text{Durchbiegung unter einer Einzellast von 2 kN} \quad (\text{Gl. 9})$$

$$b_{w(2\text{ kN})} = \min \left\{ \begin{array}{l} b_{\text{ef}} \\ \text{Raumbreite} \end{array} \right\} \quad \text{anzusetzende mittragende Breite mit } b_{\text{ef}} = \frac{\ell}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_b}{EI_\ell}} = \frac{b}{1,1 \cdot \alpha} \quad (\text{Gl. 10 / 11})$$

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.

3.4. 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.

3.5. Tabellen

Tabelle 1: 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 2: Grenzwerte der Eigenfrequenz und Durchbiegung je nach Einbaulage und Bewertung

Einbaulage bzw. Anforderung	Decke zwischen unterschiedlichen Nutzungseinheiten	Decke innerhalb einer Nutzungseinheit	Keine Anforderungen an das Schwingungsverhalten
Bewertung	1,0 bis 1,5	1,5 bis 2,5	2,5 bis 4,0
Im Rahmen des Vorhabens untersuchte Raumnutzung	z. B. Wohnungstrenndecken in Mehrfamilienhäusern, Decken in Büros mit PC-Nutzung oder Besprechungsräumen, auch: Flure mit kurzen Spannweiten	z.B. Decken in üblichen Einfamilienhäusern, Decken im Bestand, oder mit Zustimmung des Bauherren	z.B. Decken unter nicht genutzten Räumen oder nicht ausgebauten Dachräumen
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.
$f_e \geq f_{\text{grenz}}$	$f_{\text{grenz}} = 8 \text{ Hz}$	$f_{\text{grenz}} = 6 \text{ Hz}$	-
$w(2 \text{ kN}) \leq w_{\text{grenz}}$	$w_{\text{grenz}} = 0,5 \text{ mm}$	$w_{\text{grenz}} = 1,0 \text{ mm}$	-

Tabelle 3: 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	schwimmender Nassestrich	schwimmend auf schwerer oder leichter Schüttung	schwimmend (auch ohne Schüttung)
(Brettsperrholz-, Brettstapeldecken)	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

***)) 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. Beispiel

4.1. Angaben zum System und zu den Einwirkungen

Untersucht wird die Decke eines Einfamilienhauses als Brettsperrholzdecke mit dem statischen System eines Dreifeldträgers und den Einzelspannweiten 4,60m/3,45m/4,50m. Die Raumbreite ist 3,50m.

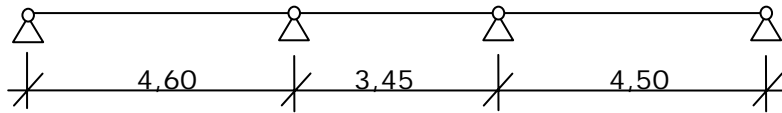


Abbildung 6: Statisches System der Decke über EG als Brettsperrholzdecke

Ständige Einwirkung und Aufbau:

22mm Holzboden (Parkett)	0,10 kN/m ²
60mm Zementestrich	1,32 kN/m ²
PE Foliendämmung	0,01 kN/m ²
30mm EPS-Perlite-Schüttung	0,10 kN/m ²
146mm Brettsperrholzplatte	0,67 kN/m ²
Summe:	2,20 kN/m²

Masse und Steifigkeit:

Eigen-Masse: $m_{\text{ständig}} = 220 \text{ kg/m}^2$

Biegesteifigkeit: $EI_{\ell} = 2,588 \text{ MNm}^2/\text{m}$; $EI_b = 0,421 \text{ MNm}^2/\text{m}$ (ohne Estrich)

$$EI_{\ell, \text{Estrich}} = 2,588 + 25000 \cdot \frac{0,06^3 \cdot 1,0}{12} = 2,588 + 0,45 = 3,038 \text{ MNm}^2/\text{m}$$

$$EI_{b, \text{Estrich}} = 0,421 + 0,45 = 0,871 \text{ MNm}^2/\text{m} \quad (\text{mit Estrich})$$

4.2. Eigenfrequenz

Einachsrig, nur Steifigkeit der Platte und nur ständiger Lastanteil:

Berechnung mit Hilfe eines FE- Programms:

9,4 Hz > $f_{\text{grenz}} = 8,0 \text{ Hz}$ für Bewertung 1,0 bis 1,5

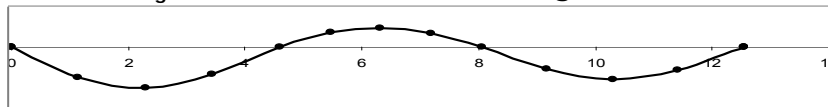


Abbildung 7: Eigenform der Schwingungen mit der 1. Eigenfrequenz berechnet mit FE- Programm

Berechnung mit Hilfe der Näherungsformel für Zweifeldträger nach Gl. 4 / 6 und Tab. 1 mit $\ell = 4,60 \text{ m}$; $\ell_1 = 3,45 \text{ m}$: Das dritte Feld wird hier näherungsweise vernachlässigt.

$$f_{e, \text{Einfeld-Balken}} = \frac{\pi}{2 \cdot \ell^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_{\ell}}{m}} = \frac{\pi}{2 \cdot 4,60^2} \cdot \sqrt{\frac{2,588 \cdot 10^6}{220}} = 8,04 \text{ Hz}$$

$$f_{e, \text{Zweifeld-Balken}} = k_f \cdot f_{e, \text{Einfeld-Balken}}$$

$$k_f \left(\frac{\ell_1}{\ell} = \frac{3,45}{4,60} = 0,75 \right) = 1,175 \rightarrow f_{e, \text{Dreifeld-Balken}} = 1,175 \cdot 8,04 = 9,45 \text{ Hz}$$

9,45 Hz > $f_{\text{grenz}} = 8,0 \text{ Hz}$

Zweiachsig, mit Gl. 7 / 8, nur Steifigkeit der Platte und nur ständiger Lastanteil:

$$11,4 \text{ Hz} > f_{\text{grenz}} = 8,0 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{Platte}} = f_{\text{Balken}} \cdot \sqrt{1 + 1/\alpha^4} = 9,4 \cdot \sqrt{1 + 1/1,20^4} = 9,4 \cdot 1,20 = 11,4 \text{ Hz mit}$$

$$\alpha = \frac{b}{\ell} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_{\ell}}{EI_b}} = \frac{3,5}{4,6} \cdot \sqrt[4]{\frac{2,588}{0,421}} = 1,20$$

Zweiachsig, Steifigkeit der Platte + Estrich, nur ständiger Lastanteil:

$$14,0 \text{ Hz} > f_{\text{grenz}} = 8,0 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{Balken+Estrich}} = 9,4 \cdot \sqrt{3,038/2,588} = 10,2 \text{ Hz und } \alpha_{\text{Estrich}} = \frac{b}{\ell} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_{\ell,\text{Estrich}}}{EI_{b,\text{Estrich}}}} = \frac{3,5}{4,6} \cdot \sqrt[4]{\frac{3,038}{0,871}} = 1,03$$

$$f_{\text{Platte+Estrich}} = f_{\text{Balken+Estrich}} \cdot \sqrt{1 + 1/\alpha^4} = 10,2 \cdot \sqrt{1 + 1/1,03^4} = 10,2 \cdot 1,37 = 14,0 \text{ Hz}$$

Eine **Schwingungsmessung** am Gebäude ergab eine 1. Eigenfrequenz von

$$16,0 \text{ Hz} > f_{\text{grenz}} = 8,0 \text{ Hz}$$

4.3. Durchbiegung unter Einzellast von 2 kN oder Steifigkeitskriterium

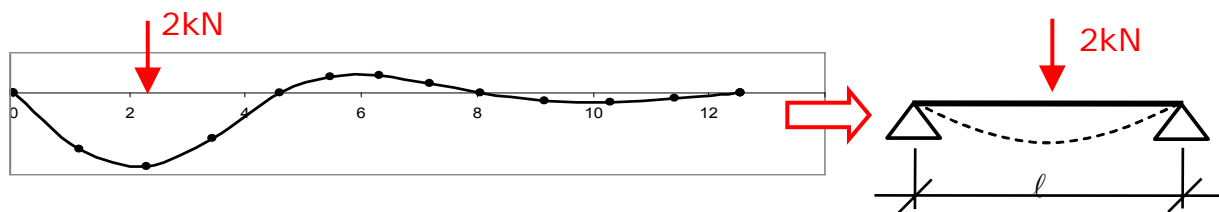


Abbildung 8: Berechnung der Durchbiegung unter Einzellast am Ersatzsystem des Einfeldträgers

Durchbiegung mit Gl. 9 / 10 / 11:

Nur Steifigkeit der Platte: **0,59 mm** < **w_{grenz} = 1,0 mm** für **Bewertung 1,5 bis 2,5**

$$w(2\text{kN}) = \frac{2 \cdot \ell^3}{48 \cdot EI_{\ell} \cdot b_{\text{ef}}} = \frac{2 \cdot 4,60^3}{48 \cdot 2,588 \cdot 2,65} = 0,59 \text{ mm}$$

$$\text{mit } b_{\text{ef}} = \frac{\ell}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_b}{EI_{\ell}}} = \frac{b}{1,1 \cdot \alpha} = \frac{3,50}{1,1 \cdot 1,2} = 2,65 \text{ m}$$

Mit Steifigkeit der Platte + Estrich:

0,44 mm < **w_{grenz} = 0,5 mm** für **Bewertung 1,0 bis 1,5**

$$w(2\text{kN}) = \frac{2 \cdot \ell^3}{48 \cdot EI_{\ell,\text{Estrich}} \cdot b_{\text{ef,Estrich}}} = \frac{2 \cdot 4,60^3}{48 \cdot 3,038 \cdot 3,05} = 0,44 \text{ mm}$$

$$\text{mit } b_{\text{ef,Estrich}} = \frac{\ell}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_{b,\text{Estrich}}}{EI_{\ell,\text{Estrich}}}} = \frac{b}{1,1 \cdot \alpha_{\text{Estrich}}} = \frac{3,50}{1,1 \cdot 1,03} = 3,05 \text{ m}$$

4.4. Konstruktive Anforderungen an den Aufbau der Decke

Nach Tabelle 3 ist für die Rohdeckenart „Flächige Massivholzdecke, Brettsper Holzdecke“ eine „schwimmende Lagerung auf schwerer oder leichter Schüttung“ für die

Bewertung 1,0 bis 1,5

bzw. eine „schwimmende Lagerung (auch ohne Schüttung)“ für die

Bewertung 1,5 bis 2,5 erforderlich.

Tatsächlich ist der Zementestrich auf einer leichten Perlite Schüttung gelagert. Die Konstruktion erfüllt in allen drei Kriterien die Anforderungen an die Bewertung 1,0 bis 1,5. Die Schwingungen sind nur gering spürbar und nur dann, wenn man sich darauf konzentriert. Sie werden nicht als störend empfunden.

Hinweis: In einem üblichen Einfamilienhaus würde auch das Einhalten der Grenzwerte für die Bewertung 1,5 bis 2,5 genügen.

5. 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. Im Gegensatz zum Nachweis nach [DIN 1052: 2008] (vgl. Gl. 1) wird eine Ermittlung der Eigenfrequenz nur unter ständigen Einwirkungen ohne quasi-ständige Verkehrslastanteile vorgeschlagen. 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 [Hamm/Richter, 2009] oder 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 darf 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.

Der dritte nach [Eurocode 5: 2010] empfohlene Nachweis untersucht die **Einheitsimpulsgeschwindigkeitsreaktion**. Bei allen 130, im Rahmen des erwähnten Forschungsvorhabens untersuchten Decken war der Nachweis der Geschwindigkeit nach dem Einheitsimpuls eingehalten, sogar bei Rohkonstruktionen und anderen als unangenehm eingestuften Decken. Der in [Kreuzinger / Mohr, 1999] vorgeschlagene 1/3 Grenzwert wurde nur bei manchen Rohkonstruktionen überschritten, bei Decken mit üblichen Aufbauten nicht. Aufgrund dieser Erfahrung kann gesagt werden, dass der Nachweis der Geschwindigkeit bei Decken mit „üblichem“ Schallschutzaufbau nicht maßgebend wird und vereinfachend weggelassen werden kann.

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

Die untersuchten **Holz-Beton-Verbunddecken** wiesen größtenteils bereits als Rohdecken ein angenehmes Schwingungsverhalten auf.

Flächige Massivholzdecken (z.B. aus Brettstapel- oder Brettsperrholzplatten) haben bei Einhaltung der Anforderungen nach den Tabellen 2 und 3 das Schwingungsverhalten betreffend ebenfalls einige Vorteile: Sie besitzen durch die massive Bauweise eine relativ

hohe Eigenmasse und Querbiegesteifigkeit (im Vergleich z. B. zu einer Holzbalkendecke). Bei zweiachsig gespannten Deckenfeldern führt die Drillsteifigkeit der massiven Platten zu höheren Eigenfrequenzen. Messungen an Decken ohne Aufbauten, d.h. noch während des Rohbauzustandes, zeigten, dass die Anordnung einer schwimmenden Estrichschicht (Trocken- oder Nassestrich, ggf. auf Schüttung) jedoch sehr wichtig ist – nicht nur für den Schallschutz sondern auch für das Schwingungsverhalten. Ein solcher (Tritt-) Schallschutz-Aufbau sollte gegeben sein.

Holzbalkendecken (oder Trägerroste) sollten immer mit einem schwimmenden Nassestrich, möglichst in Kombination mit einer Schüttung ausgeführt werden.

Werden Decken nachgiebig auf Unterzügen gelagert, ist dies bei der Nachweisführung zu berücksichtigen, indem die Eigenfrequenz und die Durchbiegung für das Gesamtsystem berechnet werden.

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.

6. Literatur

[DIN 1052: 1988]:

DIN 1052: 1988-04: *Holzbauwerke*. Berlin. April 1988.

[DIN 1052: 2004]:

DIN 1052: 2004-08: *Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau*. Berlin. August 2004.

[DIN 1052: 2008]:

DIN 1052: 2008-12: *Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau*. Berlin. Dezember 2008.

[Erläuterungen]:

Blaß, H.J.; Ehlbeck, J.; Kreuzinger, H.; Steck, G.: *Erläuterungen zu DIN 1052: 2004-08; Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken*. 1. Auflage; Hrsg.: DGfH Innovations- und Service GmbH, München, 2004.

[Eurocode 5: 1993]

Eurocode 5: ENV 1995-1-1: 1993: *Eurocode 5: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holztragwerken - Teil 1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau*. Deutsche Fassung. Oktober 1993.

[Eurocode 5: 2004]

Eurocode 5: EN 1995-1-1: *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau*. Deutsche Fassung. November 2004.

[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, 2006]:

Hamm, Patricia: *Warum Decken zu schwingen beginnen*. In: *bauen mit holz*. 3/2006. S. 24-29.

[Hamm/Richter, 2009]:

Hamm, Patricia, Richter, Antje: *Bemessungs- und Konstruktionsregeln zum Schwingungsnachweis von Holzdecken*. In: *Fachtagungen Holzbau 2009*. Leinfelden-Echterdingen, 26. November 2009. Hrsg.: Landesbeirat Holz Baden-Württemberg e.V., Stuttgart. S. 15-29.

[Hamm, 2011]:

Hamm, Patricia: *Schwingungen bei Holzdecken – Konstruktionsregeln für die Praxis*. In: *1. Internationale Schall- und Akustiktag 2011*. Bad Wörishofen. 16./17. März 2011. Hrsg.: HolzBauSpezial – Forum-Holzbau, CH-Biel.

[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.

[Mohr, 2001]:

Mohr, Bernhard: *Deckenschwingungen*. In: *Bauen mit Holz*. 11/2001. S. 29-38.

[Ohlsson, 1982]:

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

[Schickhofer et al, 2009]:

BSPHandbuch – Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz. Hrsg.: G. Schickhofer, T. Bogensperger, T. Moosbrugger, TU Graz. 2009.

[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 Haushaltsmitteln des BMWA über die AiF.