

## 11.2 Schallschutz, Schwingung Schwingungstechnische Optimierung von Holzdecken

Patricia Hamm

### 1 Einleitung

Durch den modernen Holzbau stehen Holzwerkstoffe und Holz-Beton-Verbund-Konstruktionen zur Verfügung, mit denen fast beliebige Grundrisse im Büro-, Verwaltungs-, Bildungs- und Wohnungsbau wirtschaftlich realisiert werden können. Die in diesen Bereichen erforderlichen großen Spannweiten beeinflussen jedoch meist negativ das Schwingungsverhalten der Decken. Gleichzeitig sind die Komfortansprüche der Nutzer und damit die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit gestiegen – schon ein leichtes Schwingen der Decke wird teilweise als Mangel empfunden.

Damit rückt das Vermeiden unangenehmer Schwingungen, ausgelöst z.B. durch das Begehen (Abb. 1) oder das Herumtoben von Kindern, bei der Bemessung im Neubau wie auch bei der Sanierung von Altbauten in den Vordergrund. Diese Entwicklung – verursacht durch größere realisierbare Spannweiten und eine Erweiterung der Einsatzgebiete für Holzkonstruktionen - spiegelt sich auch in der aktuellen Normung wider:

DIN 1052:2004-08 [1], Eurocode 5: 2004 [2] und SIA 265: 2003 [3] haben darauf reagiert und Schwingungsnachweise für Decken aufgenommen. Die Erläuterungen [5] zur DIN 1052 enthalten ein umfangreiches Kapitel zu diesem Thema.

- Die in der Praxis vorkommenden Systeme und Aufbauten sind jedoch so vielfältig, dass immer wieder Fragen von Seiten der Planer auftauchen, wie nun bei diesen und jenen speziellen Fällen der Schwingungsnachweis geführt werden soll.
- Auf der anderen Seite gibt es auch noch Defizite in den normativen Regelungen:  
Denn obwohl der rechnerische Schwingungsnachweis oft bemessungsrelevant ist, gibt es immer wieder Klagen seitens der Bauherren bzw. der Nutzer über unangenehm empfun-

dene, die Gebrauchstauglichkeit einschränkende Schwingungen der Decken. Dies betrifft vor allem leichte Decken mit nur geringen Anforderungen an den Schallschutz. Diese können, angeregt durch einen Impuls, spürbar unangenehm schwingen und zu Beanstandungen führen.

- Ein dritter Punkt, der zu Verunsicherungen führen kann, ist dass bei Vergleichsmessungen an ausgeführten Decken festgestellt wurde, dass die tatsächlichen dynamischen Eigenschaften oft deutlich von den vereinfachten rechnerischen Annahmen abweichen.

Aus dieser Ausgangssituation startete im Herbst 2007 das AiF-Forschungsvorhaben „Schwingungs- und Dämpfungsverhalten von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken“ [8] mit einer geplanten Laufzeit von zwei Jahren, gefördert vom BMBF, betreut von der DGfH, durchgeführt an der TU München.

Das Ziel sind die optimale Ausschöpfung des Dämpfungspotentials sowie einfach handhabbare aber wirtschaftliche Konstruktions- und Bemessungsregeln für die Planer. Durch die Bereitstellung von Konstruktions- und Bemessungsregeln in Ergänzung zum vorhandenen Wissensstand werden die Wirtschaftlichkeit und die Planungssicherheit der Planer und ausführenden Firmen und gleichzeitig die Attraktivität des Baustoffes Holz erhöht.

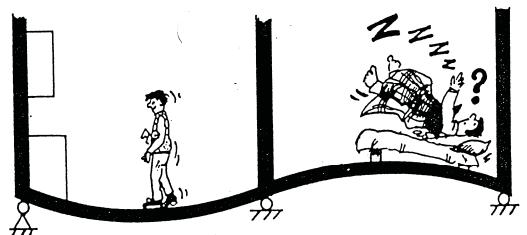


Abb. 1: Schwingungen von Decken und deren Übertragung in benachbarte Räume, aus [10]

Tab. 1: Dämpfungswerte für Holzdecken aus [5]

Material und Aufbau	Lehr'sches Dämpfungsmaß D
(Holz-) Decken ohne schwimmenden Estrich	1,0 %
Decken aus verleimten Brettstapelenlementen mit schwimmendem Estrich	2,0 %
Holzbalkendecken und mechanisch verbundene Brettstapeldendecken mit schwimmendem Estrich	3,0 %

## 2 Grundlagen der Schwingungen

### 2.1 Begriffsklärung am Beispiel Schaukel

Eine der wichtigsten Eigenschaften zur Beurteilung des Schwingungsverhaltens ist die Eigenfrequenz und damit verbunden die Resonanz.

Anschaulich wird das Phänomen von Eigenfrequenz und Resonanz am Beispiel einer Schaukel. Ein Kind hat zwei Möglichkeiten hoch hinauf zu schaukeln:

Entweder wird die Schaukel weit ausgelenkt und losgelassen, so dass das Kind ausschaukeln kann. Dann finden die Bewegungen in der Eigenfrequenz des Systems Schaukel-Kind statt und werden wegen der natürlichen Dämpfung immer kleiner.

Oder das Kind nimmt selbst Schwung. Dabei reichen schon sehr kleine Kräfte, wenn genau zur richtigen Zeit wieder Schwung geholt wird. Das ist die Anregung in der Eigenfrequenz des Systems, d.h. in Resonanz. Bei jedem Mal Schwung holen wird Energie in das System eingebracht und die Amplituden werden jedes Mal größer.

Dieser Vorgang wird als Einschwingvorgang bezeichnet. Er ist beendet, wenn der so genannte Eingeschwungene Zustand erreicht wird. Im Eingeschwungenen Zustand werden die Amplituden nicht mehr größer, weil die eingebrachte Energie genau so groß ist wie die Energie, die über die Dämpfung des Systems in andere Energieformen umgewandelt wird, z.B. über die Reibung in Wärmeenergie. Dies bedeutet, dass ein System ohne jede Dämpfung nie den Eingeschwungenen

Zustand erreicht, weil der Einschwingvorgang, bei dem die Amplituden immer größer werden, nie endet.

### 2.2 Übertragung auf Balken

Im Unterschied zur Schaukel hat ein Balken theoretisch unendlich viele Eigenformen und zugehörige Eigenfrequenzen. Als Eigenfrequenzen eines Balkens werden die Frequenzen bezeichnet, in welchen er „am liebsten“ schwingt. Für die Beobachtung der personen- induzierten Deckenschwingungen ist i.A. nur die niedrigste (= erste) Eigenfrequenz relevant. Sie wird im Falle eines gelenkig gelagerten Einfeldträgers (Abb. 2) nach Gl. 1 berechnet.

$$f_{e,1} = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{EI}{m}} = f_{\text{Balken}} \quad \text{Gl. 1}$$

$$\text{mit } I = \frac{b_{\text{Balken}} \cdot h^3}{12} \quad \text{Gl. 2}$$

$$\text{oder } f_{e,1} = \frac{5}{\sqrt{0,8 \cdot w [\text{cm}]}} \quad \text{Gl. 3}$$

mit w: Durchbiegung unter der ständigen bzw. quasi-ständigen Gleichlast

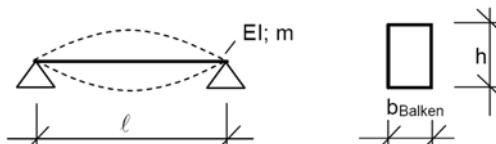


Abb. 2: Einfeldträger: Schwingungen in der ersten Eigenfrequenz und Querschnitt

Wird der Balken wiederholt angeregt und entspricht die Anregungsfrequenz genau einer der Eigenfrequenzen, spricht man von Resonanz. Bei Belastung eines Balkens nach Bild 3, einmal durch eine statische Kraft  $F_{\text{stat}}$  und einmal durch eine dynamische Kraft  $F(t)$ , erhält man die beiden Amplituden  $w_{\text{stat}}$  und  $w_{\text{dyn}}$  nach Erreichen des eingeschwungenen Zustandes im Resonanzfall:

$$w_{\text{stat}} = \frac{F \cdot \ell^3}{48 \cdot EI} \quad \text{Gl. 4}$$

$$w_{\text{dyn}} = \frac{1}{2D} \cdot w_{\text{stat}} = V_{\max} \cdot w_{\text{stat}} \quad \text{Gl. 5}$$

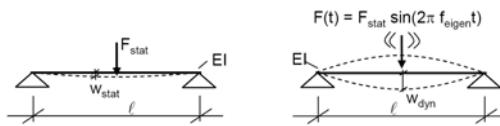


Abb. 3: Vergleich statische und dynamische Last

### 3 Bemessungsvorschlag für den Schwingungsnachweis

Die Nachweise der Schwingungen gehören – wie die Nachweise der Verformungen – zu den Nachweisen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit. Für diese Nachweise sind die charakteristischen Werte der Einwirkungen und die charakteristischen Mittelwerte der Steifigkeiten zu verwenden.

Liegt die Decke auf Unterzügen auf, so ist bei der Berechnung der Eigenfrequenz und der Durchbiegung unter der Einzellast  $F$  die Durchbiegung der Unterzüge zusätzlich zu berücksichtigen. D.h. die Summe der Durchbiegungen muss die Grenzwerte einhalten. Ein ausführlicher Beitrag zur Berücksichtigung der Lagerung auf Unterzügen findet sich in [7].

#### 3.1 Frequenzkriterium

##### Allgemeines

Die Eigenfrequenz der Decke soll so hoch gewählt werden, dass Resonanz aus den ersten drei harmonischen Anteilen der Einwirkung „Gehen“ vermieden wird. Bei einer max. Schritt frequenz beim Gehen von 2,4 Hz sind das  $3 \cdot 2,4 = 7,2$  Hz. Die Grenzwerte und angesetzten Massen sind abhängig von der zugrunde gelegten Norm. Nach Eurocode 5 wird für die Masse  $m$  nur vom „Eigengewicht der Decke und anderen ständigen Einwirkungen“ (vgl. Eurocode 5 7.3.3 (3)) ausgegangen. Im Gegensatz dazu legt die DIN 1052

die quasi-ständige Einwirkung zugrunde, analog Gl. 7.

##### Grenzwerte nach DIN 1052

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

$$w_{\text{perm}} \leq 6 \text{ mm} \quad \text{Gl. 6}$$

$$\text{mit } w_{\text{perm}} = w_{G,\text{inst}} + \psi_2 \cdot w_{Q,\text{inst}} \quad \text{Gl. 7}$$

$$\text{und } \psi_2 = 0,3 \text{ bei Wohnungsdecken}$$

Nach Umrechnung mit Gl. 3 steckt hinter dieser Durchbiegungsbeschränkung (Gl. 6) eine Frequenzbegrenzung auf mindestens 7,2 Hz.

$$f_{e,\text{perm}} \geq 7,2 \text{ Hz} \quad \text{Gl. 8}$$

##### Grenzwerte nach Erläuterungen

Die Durchbiegungsbegrenzung auf 6 mm ist unabhängig von der Spannweite der Decke einzuhalten. Vor allem bei Decken mit großen Spannweiten wird dieser Nachweis bemessungsrelevant.

Nach den Erläuterungen können Decken mit Eigenfrequenzen kleiner 7,2 Hz ausgeführt werden. Die Eigenfrequenz der Decke unter quasi-ständiger Einwirkung  $f_{e,\text{perm}}$  sollte jedoch mindestens 6 Hz betragen. Bei einem Einfeldträger entspricht das einer Durchbiegung von 9 mm.

Von Decken mit Eigenfrequenzen kleiner als 6,0 Hz wird nach derzeitigem Kenntnisstand abgeraten. Im eingangs erwähnten Forschungsvorhaben, siehe [8], werden Decken mit Eigenfre-

quenzen kleiner als 6 Hz untersucht. Die Auswertungen hierzu stehen noch aus.

$$\begin{aligned} f_{e,perm} &\geq 6,0 \text{ Hz} & \text{Gl. 9} \\ w_{perm} &\leq 9 \text{ mm} & \text{Gl. 10} \end{aligned}$$

### Grenzwerte nach Eurocode 5

Wohnungsdecken sollten unter ständigen Einwirkungen eine Eigenfrequenz von mindestens 8 Hz aufweisen. Bei einem Einfeldträger entspricht das einer Durchbiegung unter Gleichlast von 5 mm (wieder unabhängig von der Spannweite).

$$\begin{aligned} f_e &\geq 8,0 \text{ Hz} & \text{Gl. 11} \\ w &\leq 5 \text{ mm} & \text{Gl. 12} \end{aligned}$$

## 3.2 Steifigkeitskriterium

### Allgemeines

Im Rahmen der Untersuchungen in [9] und [8] wurde festgestellt, dass das Steifigkeitskriterium mindestens ebenso wichtig einzustufen ist wie das Frequenzkriterium. Dabei sollte die Steifigkeit der Decke so hoch sein, dass die Durchbiegung unter einer Kraft von 1 kN in Feldmitte einen bestimmten Wert nicht übersteigt. Die Durchbiegung kann für einen Balken nach Abb. 2 oder bei einer Platte vereinfachend für einen 1 m breiten Plattenstreifen nach Gl. 4 berechnet werden.

### Grenzwerte nach DIN 1052 mit Erläuterungen und Eurocode 5

In den genannten Normen sind variable Grenzwerte für das Steifigkeitskriterium angegeben mit je einer Spannweite von 0,5-4,0 mm/kN. Als Ergebnis aktueller Untersuchungen wird empfohlen, Grenzwerte nach Tab. 2 einzuhalten. Welcher Grenzwert verwendet wird, hängt vom System der Decke und von den Anforderungen des Bauherrn ab.

$$w_{stat}(1\text{kN}) \leq 0,25 \dots 0,5 \dots 1,0 \text{ mm} \quad \text{Gl. 13}$$

Tab. 2: Grenzwerte für die Untersuchung zur Steifigkeit

Grenzwert für Steifigkeit	Durchlaufträger mit	Einfeldträger mit
$w(1\text{kN}) \leq 1,0 \text{ mm}$	-	geringer Anforderung
$w(1\text{kN}) \leq 0,5 \text{ mm}$	geringer Anforderung	höherer Anforderung
$w(1\text{kN}) \leq 0,25 \text{ mm}$	höherer Anforderung	sehr hohe Anforderung

## 3.3 Begrenzung der Schwingbeschleunigung bzw. der Schwinggeschwindigkeit

### Allgemeines

Der Nachweis der Schwingbeschleunigung wird nur in den Erläuterungen nach DIN 1052 und nur für Decken im Frequenzbereich zwischen 6 Hz und 7,2 Hz gefordert. Damit wird berücksichtigt, dass in diesem Frequenzbereich erstens Anregung in Resonanz mit der dritten Harmonischen aus Gehen möglich ist (Schrittfrequenz gleich 1/3 der Eigenfrequenz) und zweitens verstärkt die Schwingbeschleunigung wahrgenommen wird. Bei Frequenzen größer als 8 Hz wird die Schwinggeschwindigkeit verstärkt wahrgenommen. Dementsprechend werden im Eurocode 5, nach welchem Decken mit Frequenzen über 8 Hz vorausgesetzt werden, die Schwinggeschwindigkeiten untersucht.

### Grenzwerte der Schwingbeschleunigung nach DIN 1052 bzw. Erläuterungen

Die Beschleunigung der Decke infolge eines Gehers sollte nicht größer sein als  $0,1 \text{ m/s}^2$ , Gl. 14:

$$a \leq 0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{Gl. 14}$$

Für ein einachsrig oder zweiachsrig gespanntes Deckenfeld als Einfeldträger mit der Breite b:

$$a \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] = \frac{F_{dyn}}{M^* \cdot 2D} = \frac{56}{m \cdot b \cdot \ell \cdot D} \quad \text{Gl. 15}$$

Nach derzeitigem Forschungsstand ist der Nachweis der Schwingbeschleunigung nicht erforderlich, wenn ein schwimmender Nassestrich oder ein schwimmender Trockenestrich auf schwerer Schüttung aufgebracht ist.

### Grenzwerte der Schwinggeschwindigkeit nach Eurocode 5

Nach Eurocode 5 wird für Decken mit Eigenfrequenzen größer 8 Hz die Schwinggeschwindigkeit nach einem Einheitsimpuls untersucht (Gl. 16 bis Gl. 18). v ist die Geschwindigkeit nach einem Einheitsimpuls (Einheitsimpulsgeschwindigkeitsreaktion in  $[m/(Ns^2)]$ ) und darf für rechteckige, an allen Rändern gelenkig gelagerte Decken nach Gl. 17 berechnet werden.

Im Rahmen der Untersuchungen in [8] wurde festgestellt, dass dieses Kriterium nur äußerst selten maßgebend wird (vgl. Kapitel „Zusammenfassung“).

$$v \leq b^{(fe1-D-1)} \left[ \frac{m}{Ns^2} \right] \quad \text{Gl. 16}$$

$$v = \frac{4 \cdot (0,4 + 0,6 \cdot n_{40})}{m \cdot b \cdot \ell + 200} \quad \text{Gl. 17}$$

$$n_{40} = \left\{ \left( \left( \frac{40}{f_{\text{Balken}}} \right)^2 - 1 \right) \cdot \left( \frac{b}{\ell} \right)^4 \cdot \frac{(EI)_f}{(EI)_b} \right\}^{0,25} \quad \text{Gl. 18}$$

$n_{40}$  ist die Anzahl der Schwingungen 1. Ordnung mit einer Resonanzfrequenz bis zu 40 Hz:

$(EI)_f$  bzw.  $(EI)_b$  sind die äquivalenten Plattenbiegesteifigkeiten der Decke in Längs- bzw. in Querrichtung mit  $(EI)_f \geq (EI)_b$ ,

$f_{\text{Balken}}$  ist die erste Eigenfrequenz des Systems, bei Einfeldträgern nach Gl. 1,

D ist die Dämpfung nach Tabelle 1,

b ist ein Grenzwert nach Eurocode 5 zwischen 50 und 150, empfohlen wird  $b = 150$ .

### Grenzwerte der Schwinggeschwindigkeit infolge Heeldrop

Weil der Einheitsimpuls eine theoretische, unter normalen Bedingungen nicht messbare Größe ist, wird in [9] vorgeschlagen, den Vergleich über die Geschwindigkeit nach einem Heeldrop (Gl. 20 und Gl. 21) zu führen. Als Grenzwert für die Ge-

schwindigkeit nach einem Heeldrop wird der 6-fache Wert der Einheitsimpulsgeschwindigkeitsreaktion (Gl. 19) vorgeschlagen.

$$v_{\text{Heeldrop}} \leq 6 \cdot b^{(fe1-D-1)} \left[ \frac{m}{s} \right] \quad \text{Gl. 19}$$

Nach den Erläuterungen kann die Geschwindigkeit eines Balkens (Gl. 20) bzw. einer zweiachsig gespannten Deckenplatte (Gl. 21) nach einem Heeldrop wie folgt berechnet werden:

$$v = \frac{55}{\frac{m \cdot e \cdot \ell}{2} + 50} \frac{m}{s} \quad \text{Gl. 20}$$

e ist der Balkenabstand bzw. die Einflussbreite des Balkens, m die flächenbezogene Masse in  $[kg/m^2]$

$$v = \frac{0,6}{m^{0,5} \cdot EI_f^{0,25} \cdot EI_b^{0,25}} \approx \frac{950 \cdot \alpha}{f_{\text{Balken}} \cdot m \cdot b \cdot \ell} \quad \text{Gl. 21}$$

### Grenzwerte der Schwinggeschwindigkeit nach [9]

Nach [9] sollten die Grenzwerte für die Geschwindigkeiten nach einem Einheitsimpuls und nach einem Heeldrop auf ein Drittel der Werte nach Gl. 16 bzw. Gl. 19 reduziert werden.

## 4 Übersicht zum aktuellen Stand der Normung

Um einen besseren Überblick über die beschriebenen Nachweise nach DIN 1052 und Eurocode 5 zu bekommen, sind diese in einem Ablaufdiagramm dargestellt (Abb. 4).

## 5 Zusammenfassung

Holzdecken haben gegenüber Stahl- oder Stahl-Beton-Verbunddecken das Schwingungsverhalten betreffend den Vorteil einer höheren Dämpfung. Um das Dämpfungsvermögen von Holzdecken optimal nutzen zu können, werden im aktuellen Forschungsvorhaben unterschiedliche Rohdecken

mit unterschiedlichen Aufbauten untersucht. Bis jetzt gilt Tab. 1. Allerdings haben Holzdecken gegenüber Stahlbetondecken schwingungstechnisch den Nachteil einer geringen Eigenmasse. Deshalb ist es wichtig, den Schwingungsnachweis zu führen.

Als erste Ergebnisse des genannten Forschungsprojekts können folgende Punkte genannt werden, deren Einhaltung zu einer gebrauchstauglichen Decke führen.

1. Messungen an Decken ohne Aufbauten, d.h. noch während des Rohbauzustandes, zeigten, dass die Anordnung einer schwimmenden Estrichschicht (Nassestrich oder Trockenestrich mit schwerer Schüttung) sehr wichtig ist – nicht nur für den Schallschutz sondern auch für das Schwingungsverhalten. Ein solcher

(Tritt-) Schallschutz-Aufbau sollte gegeben sein.

2. Zur Nachweisführung ist das Frequenzkriterium entweder nach DIN 1052 (Gl. 6 bzw. Gl. 8) oder nach Eurocode 5 (Gl. 9) einzuhalten.
3. Zusätzlich wird dringend empfohlen, das Steifigkeitskriterium nach (Gl. 8) mit einem Grenzwert je nach Anforderung zwischen 0,5 mm und 1 mm, bei sehr hohen Anforderungen 0,25 mm einzuhalten.
4. Für Decken unter Räumen, die für rhythmische Bewegungen genutzt werden, wie z.B. Tanz- oder Gymnastikräume oder Turnhallen, sollten genauere Untersuchungen durchgeführt werden.

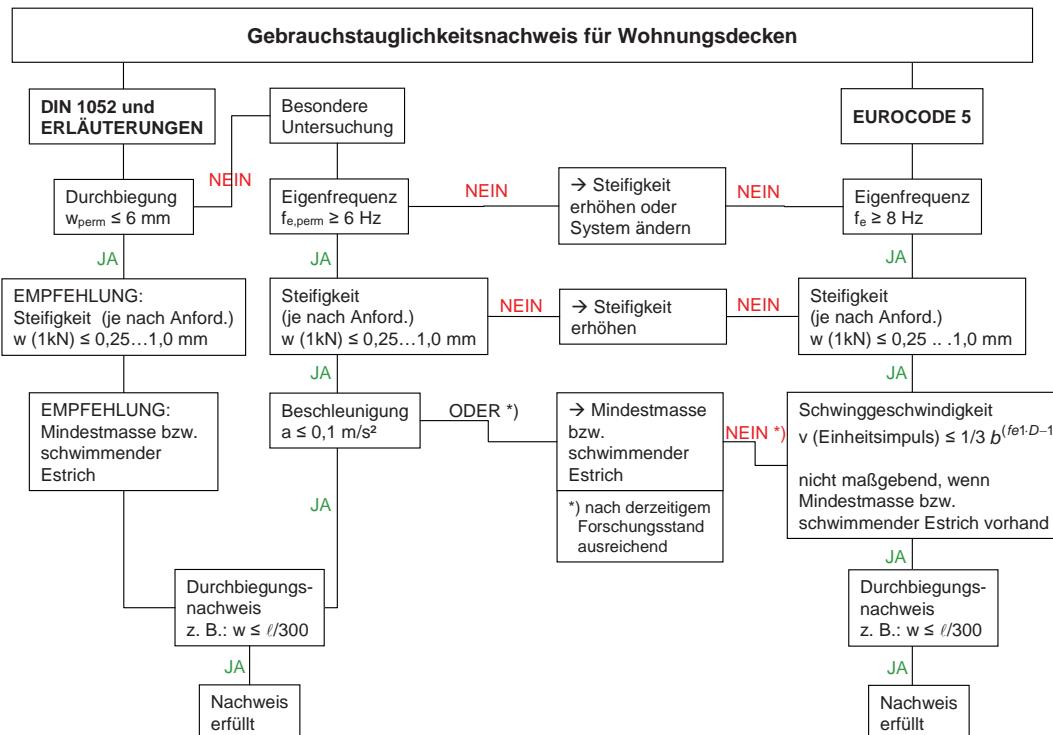


Abb. 4: Ablauf des Gebrauchstauglichkeitsnachweises nach DIN 1052 mit Erläuterungen und Eurocode 5

**Nachweis der Geschwindigkeit:**

Der dritte nach Eurocode 5 empfohlene Nachweis untersucht die Einheitsimpulsgeschwindigkeitsreaktion. In allen 50, 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 [9] 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“ (Tritt-) Schallschutzaufbau nicht maßgebend wird. Vereinfachend kann man sich bei diesen Decken auf die Nachweise Eigenfrequenz und Steifigkeit beschränken.

**Quellen**

- [1] DIN 1052: 2004-08: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau. Berlin. August 2004.
- [2] 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.
- [3] SIA 265. Holzbau. 2003 by SIA Zürich.
- [4] Bachmann, Hugo et al. (1997): Vibration Problems in Structures - Practical Guidelines. 2nd Edition, Birkhäuser Verlag Basel, Berlin, Boston.
- [5] 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.
- [6] Hamm, Patricia (2006): Warum Decken zu schwingen beginnen. bauen mit holz. 3/2006. S. 24-29.
- [7] Hamm, Patricia (2008): Schwingungsverhalten von Decken bei Auflagerung auf Unterzügen. holzbau, die neue quadriga. 1/2008.
- [8] Winter, S.; Hamm, P.; Richter, A. (2009): Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben: Schwingungstechnische Optimierung von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken. DGfH 2009.
- [9] 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.
- [10] Ohlsson, S. (1982): Floor vibrations and human discomfort. Department of Structural Engineering, Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden. 1982.