

11.2 Schallschutz, Schwingung

Schall- und schwingungsoptimierte Holzdecken

Bemessungs- und Konstruktionshilfen für die Praxis

Andreas Rabold, Patricia Hamm

1 Einleitung

Die Holzbauweise wird zunehmend auch in öffentlichen Gebäuden wie Verwaltungsgebäuden, Schulen und Kindergärten eingesetzt. Gerade bei Schulen und Kindergärten werden dadurch bereits junge Menschen mit dem natürlichen Baustoff Holz durch seine angenehme Optik und Haptik in positiver Weise vertraut gemacht.

Diesen „Wohlfühlkriterien“ vorangestellt sind natürlich gerade in öffentlichen Gebäuden die Sicherheitsaspekte der Statik und des Brandschutzes. Auch die Anforderungen an die Raumakustik, den Schallschutz und das Schwingungsverhalten der Decken sind zu berücksichtigen. Hierbei beziehen sich die Anforderungen an das Schwingungsverhalten auf spürbare Schwingungen, die in einem Frequenzbereich unterhalb des menschlichen Hörbereichs liegen. Die Anforderungen an den (Tritt-) Schallschutz beziehen sich hingegen auf abgestrahlte Körperschallschwingungen innerhalb des Hörbereichs.

Während die Kriterien des Brandschutzes und der Statik bereits bei der Entwicklung eines Holzbauelements zur Marktreife berücksichtigt werden und auch für die Raumakustik optimierte Holzbaulemente mit integriertem Schallabsorber zur Verfügung stehen, liegen zum Schwingungsverhalten weitgespannter Holzdecken und dem entsprechenden Nachweis nach DIN 1052 [2] noch zu wenige allgemein gültige Aussagen bzw. Konstruktionsregeln vor. Auch Decken mit geringen Trittschallübertragungen bei den subjektiv dominanten tiefen Frequenzen sind bislang nur vereinzelt zu finden. Diese Ausgangssituation wurde von zwei aktuellen Forschungsprojekten der TU München, des ift-Rosenheim und des IBP Stuttgart (Fraunhofer Institut für Bauphysik), unter Koordination der DGfH aufgegriffen. Nachfolgend wird der bisherige Stand der z.T. noch

laufenden Projekte dargelegt, konstruktive Lösungsansätze aufgezeigt und eine gelungene Umsetzung an einem Schulgebäude in Rosenheim vorgestellt.

2 Ausgangssituation

Obwohl in der Fachwelt schon sehr lange bekannt ist, dass ein Schwingungsnachweis bei Wohnungsdecken sinnvoll ist und durch Kreuzinger und Mohr [6] viele Grundlagen erarbeitet worden sind, herrscht immer noch Unsicherheit darüber, wie genau der Schwingungsnachweis geführt werden und wie eine Holzdecke inkl. Aufbau ausgeführt sein soll, so dass sie nicht zu unangenehmen Schwingungen angeregt werden kann. In [5] wurde ein möglicher Weg für den Schwingungsnachweis aufgezeigt, der sich v.a. an DIN 1052 und den zugehörigen Erläuterungen zur DIN 1052 [4] anlehnt, allerdings schon mit dem Hinweis, dass „selbst bei erfolgreichen Nachweisen ein leichtes Vibrieren nicht ganz ausgeschlossen werden kann und Schwingungen für empfindliche Personen spürbar sein können“. Da tatsächlich immer wieder Beschwerden seitens der Bauherrn und Nutzer über unangenehm schwingende Decken aufgetreten sind, startete im Herbst 2007 an der TU München das AIF-Forschungsvorhaben „Schwingungs- und Dämpfungsverhalten von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken“ [7].

Bereits 2006 startete an der TU München ein Kooperationsprojekt [8] mit dem IBP Stuttgart und dem ift Rosenheim, das die Wechselwirkungen der einzelnen Funktionsschichten bei der Trittschallübertragung von Holzdecken detailliert untersucht. Der Fokus dieses Projektes liegt auf den Einflussparametern der tieffrequenten Trittschallübertragung, um daraus ein besseres Verständnis für die Ursachen der tieffrequenten Trittschallübertragung und Maßnahmen zur Reduzierung ableiten zu können.

Die übergeordnete Zielsetzung der Projekte liegt in der Entwicklung von Konstruktionshilfen und Bemessungsregeln für Holzdecken mit geringer Schwingungsanfälligkeit und guter Trittschalldämmung. Hierzu waren zunächst die Zielwerte der Bauteilentwicklung festzulegen.

3 Zielwerte der Bauteilentwicklung

Zur Festlegung der Zielwerte für eine geringe Schwingungsanfälligkeit und eine gute Trittschalldämmung ist das subjektive Empfinden des Bewohners bzw. Nutzers zu berücksichtigen.

Bei Umfragen zum subjektiven Empfinden des Schallschutzes wird in der Regel die Trittschallübertragung aus fremden Wohnbereichen als die störendste Geräuschquelle genannt [9], [10]. Während in der Praxis die Trittschallübertragung meist durch das Begehen einer Decke erzeugt wird, erfolgt die Überprüfung durch die Messung mit einem mechanischen Norm-Hammerwerk. Umfangreiche Untersuchungen haben gezeigt, dass gerade bei leichten Decken eine ausreichende Korrelation zwischen der realen Trittschallübertragung und der Messung mit dem Norm-Hammerwerk nur dann gegeben ist, wenn der bewertete Norm-Trittschallpegel inklusive des erweiterten Spektrumsanpassungswerts ($L_{n,w} + C_{1,50-2500}$) ausgewertet wird.

Abb. 1 zeigt diesen Zusammenhang zwischen Messergebnissen mit dem Norm-Hammerwerk und der realen Anregung beim Begehen der Decke. Aus diesen Darstellungen lassen sich die Zielwerte für die Bauteilentwicklung ablesen. Die in einigen Europäischen Länder bereits umgesetzte Anforderung an den $L_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 53$ dB [9] entspricht in Abb. 1 in etwa einem $L_{A,F,max} \leq 35$ dB(A). Erfahrungsgemäß ist oberhalb dieser Grenze mit störenden Trittschallübertragungen zu rechnen [11]. Für einen $L_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 46$ dB beträgt der A-bewertete Trittschallpegel in etwa

$L_{A,F,max} \leq 30$ dB(A) und ist, je nach Umgebungsgeräusch, kaum noch wahrnehmbar.

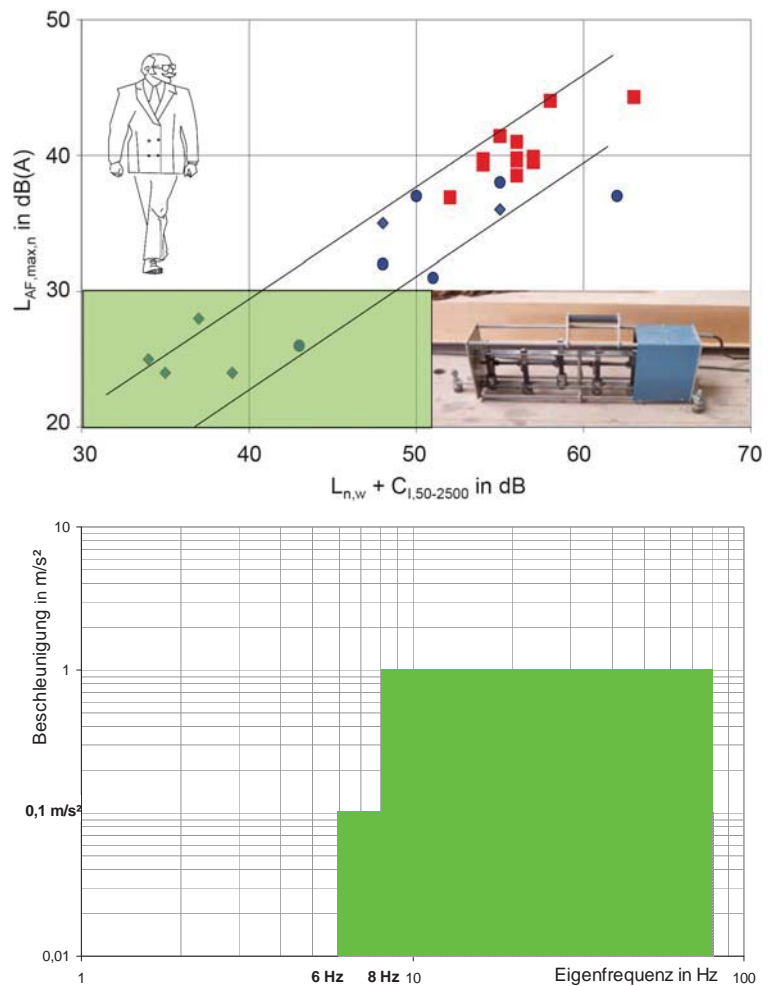


Abb. 1: Zielwerte für Trittschall- und Schwingungsbegrenzung. Der anzustrebende Bereich ist grün unterlegt. Links Zusammenhang Norm-Messung und Trittschallübertragung beim Begehen der Decke. Rechts maximale Beschleunigung in Abhängigkeit der Eigenfrequenz

Zur Beurteilung des Schwingungsverhaltens einer Decke ist nach [2] die Eigenfrequenz maßgebend, ausgedrückt über eine Durchbiegungsbegrenzung. Die bisherigen Untersuchungen des aktuellen Forschungsvorhabens [7] zeigen jedoch, dass eine Mindesteigenfrequenz als alleiniges Kriterium zu unbefriedigenden Ergebnissen führen

kann. Die Ausführungen in DIN 1052 gehen von „relativ schweren“ Decken aus, d.h. Decken mit einem Aufbau, die auch die Schallschutz- Anforderungen an eine Wohnungstrenndecke erfüllen. Schwingungsnachweise „leichter“ Decken, die nicht als Wohnungstrenndecken konzipiert wurden, sind mit diesem vereinfachten Nachweis nach DIN 1052 nicht abgedeckt.

In Erläuterungen zur DIN 1052 ist eine Fülle von weiterführenden Nachweisen angegeben. Ein mögliches Kriterium stellt die Begrenzung der maximalen Beschleunigung dar, wie sie in Abb. 1 angegeben ist. Im aktuellen Vorhaben werden Messungen und Berechnungen ausgewertet und die Ergebnisse mit der subjektiven Bewertung der Bewohner verglichen, um einfache Konstruktions- und Bemessungsregeln für angenehme Decken angeben zu können.

4 Bemessungsregeln und Konstruktionshilfen

In den folgenden Abschnitten werden Bemessungsregeln für den Schwingungsnachweis und Konstruktionshilfen für den Schallschutz aufgezeigt. Sie geben den aktuellen Stand aus den beiden genannten Forschungsvorhaben wieder.

4.1 Bemessungsregeln für den Schwingungsnachweis

Für den Schwingungsnachweis gibt es in den Normen und in der Literatur mehrere Kriterien.

Tab. 1: Grenzwerte für die Untersuchung des Steifigkeitskriteriums

Grenzwert für Steifigkeit	Durchlaufräger 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

Die wichtigsten werden hier kurz genannt. Im Beitrag „11.2 Schallschutz, Schwingung – Schwingungstechnische Optimierung von Holzdecken“ werden sie ausführlich beschrieben und

ihre Bedeutung im Rahmen des Schwingungsnachweises aufgezeigt.

4.1.1 Frequenzkriterium

Das auf Holzdecken angewendete Frequenzkriterium zielt auf die Vermeidung von Resonanz aus Gehen. Dafür soll die Eigenfrequenz der Decke so hoch gewählt werden, dass Resonanz mit der dritten Harmonischen vermieden wird. Die aktuellen Grenzwerte für die Eigenfrequenz sind abhängig von der zugrunde gelegten Norm. Sie liegen zwischen 6 Hz nach [4] und 8 Hz nach EC 5 [12].

4.1.2 Steifigkeitskriterium

Im Rahmen der Untersuchungen in [6] und [7] 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 (Tab. 1) nicht übersteigt. Welcher Grenzwert verwendet wird, hängt vom System der Decke, von den Anforderungen des Bauherrn und der geplanten Nutzung ab.

4.1.3 Begrenzung der Schwinggeschwindigkeit

Der dritte nach EC 5 [12] empfohlene Nachweis untersucht die Einheitsimpuls geschwindigkeitsreaktion. Nach bisherigem Forschungsstand kann gesagt werden, dass dieser Nachweis der Geschwindigkeit bei Decken mit „üblichem“ (Tritt-) Schallschutzaufbau (Tab. 2) nicht maßgebend wird.

4.1.4 Begrenzung der Schwingbeschleunigung

Der Nachweis der Schwingbeschleunigung wird nur in den Erläuterungen [4] nach DIN 1052 und nur für Decken im Frequenzbereich zwischen 6 Hz und 7,2 Hz gefordert. Mit diesem Nachweis wird die Tatsache berücksichtigt, dass das Emp-

finden der Schwingungen bei Frequenzen kleiner als ca. 8 Hz von der Schwingbeschleunigung, bei Frequenzen größer als 8 Hz von der Schwinggeschwindigkeit abhängig ist.

Nach neueren Erkenntnissen und dem derzeitigen Stand des Forschungsvorhabens kann der Nachweis entfallen, wenn ein schwimmender Nasses- trich oder ein schwimmender Trockenestrich auf schwerer Schüttung vorhanden ist und die Anforderungen an den (Tritt-) Schallschutz eingehalten sind (Tab. 2).

4.1.5 (Tritt-) Schallschutz-Aufbau

Messungen an Decken ohne Aufbauten, d.h. noch während des Rohbauzustandes, zeigten, dass die Anordnung einer schwimmenden Est- richschicht sehr wichtig ist – nicht nur für den (Tritt-) Schallschutz sondern auch für das Schwin- gungsverhalten. Ein solcher (Tritt-)Schallschutz- Aufbau sollte gegeben sein.

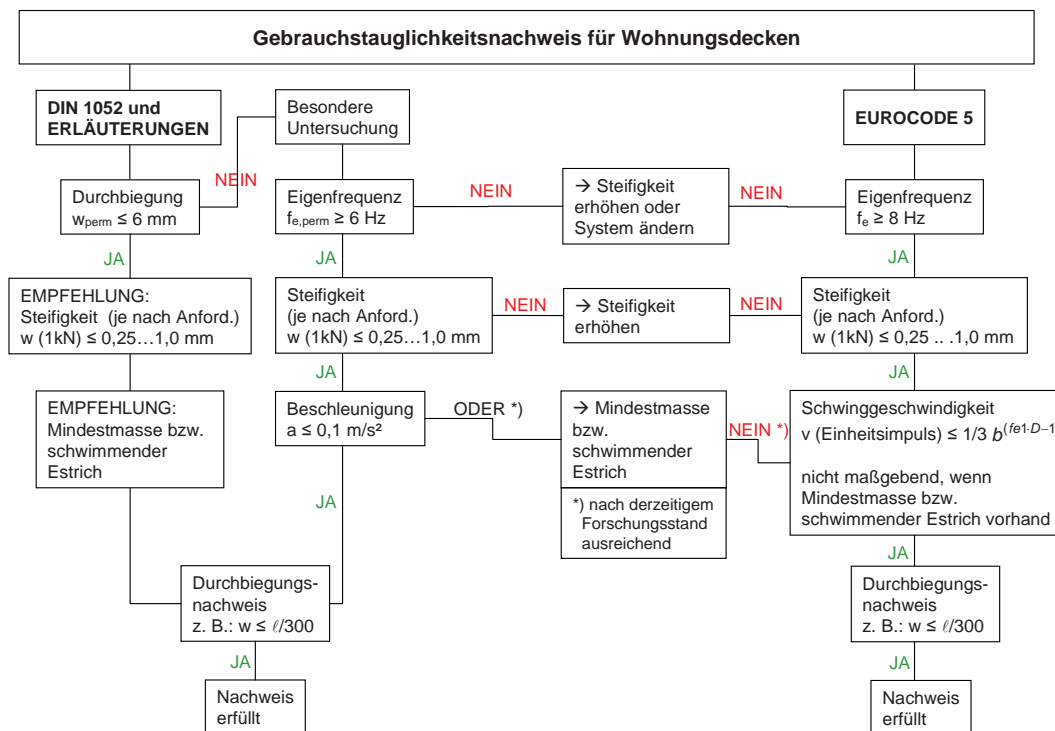


Abb. 2: Ablaufdiagramm für den Schwingungsnachweis bei Holzdecken nach DIN 1052 und EC 5

4.2 Konstruktionshilfen für schalltechnisch optimierte Decken

Die Erarbeitung von Konstruktionshilfen für schalltechnisch optimierte Deckenaufbauten erfolgte durch numerische Berechnungen der Trittschallübertragung [8]. Hierzu wurde an der TU München ein Berechnungsmodell auf Basis der Finiten Elemente Methode (FEM) erarbeitet und anhand von Messergebnissen aus der Datenbank des ift Schallschutzzentrums validiert. Anhand der numerischen Berechnungen des validierten Modells konnten die Wechselwirkungen der Deckenkomponenten mit geringem Aufwand untersucht und optimierte Konstruktionen erarbeitet werden. Nach der messtechnischen Überprüfung

der optimierten Konstruktionen wurden die Ergebnisse, unterstützt durch eine systematische Auswertung der Decken-Datenbank am ift-Schallschutzzentrum, in Form von Konstruktionshilfen zusammengestellt (Tab. 1).

Als Beispiel für auf diesem Weg optimierte Deckenkonstruktionen zeigt Abb. 1 den Vergleich der Messergebnisse einer Massivholzdecke und einer Holzbalkendecke mit den Norm-Trittschallpegeln konventioneller Stahlbetondecken. Die Gegenüberstellung zeigt, dass bei entsprechender Konstruktion die gute Trittschalldämmung einer Stahlbetondecke auch mit deutlich leichteren Decken erreicht werden kann.

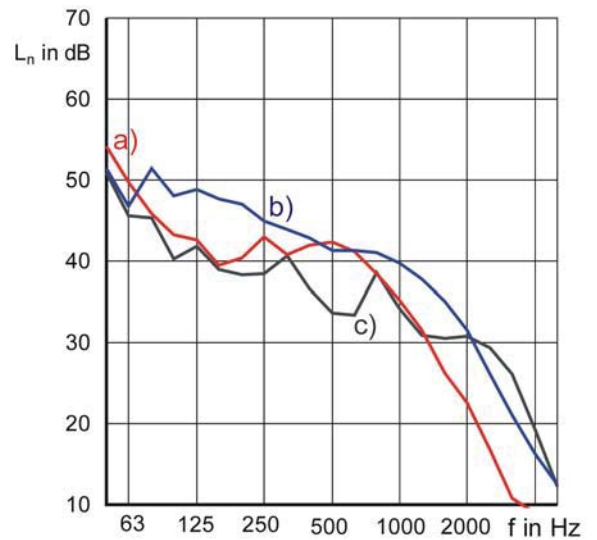
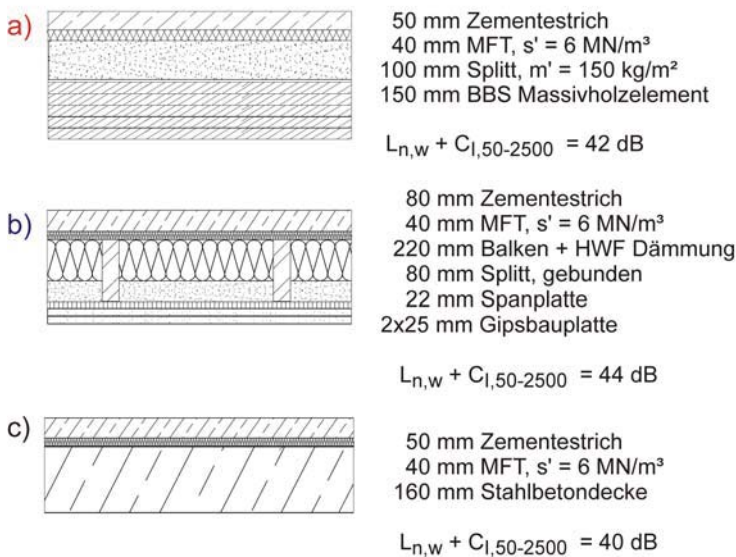


Abb. 3: Messwerte optimierter Holzdecken im Vergleich zu Stahlbetondecken

Tab. 1: Konstruktionshilfen für Massivholzdecken

Konstruktionshilfen	Zielwert:			
	$L_{nw} + C_{1,50-2500} \leq 53$ dB		$L_{nw} + C_{1,50-2500} \leq 46$ dB	
	Verkehrslast $p < 2,5$ kN/m ²		Verkehrslast $p < 5$ kN/m ²	
	≥ 50 mm ZE, $m' \geq 120$ ≥ 40 mm TSD, $s' \leq 7$ ≥ 60 mm Splitt, $m' \geq 90$ ≥ 150 mm MHD, $m' \geq 50$	≥ 25 mm TE, $m' \geq 25$ ≥ 12 mm TSD, $s' \leq 40$ ≥ 120 mm Splitt, $m' \geq 180$ ≥ 150 mm MHD, $m' \geq 50$	≥ 80 mm ZE, $m' \geq 190$ ≥ 20 mm TSD, $s' \leq 20$ ≥ 120 mm Splitt, $m' \geq 180$ ≥ 150 mm MHD, $m' \geq 50$	≥ 50 mm ZE, $m' \geq 120$ ≥ 40 mm TSD, $s' \leq 7$ ≥ 120 mm Splitt, $m' \geq 180$ ≥ 150 mm MHD, $m' \geq 50$
	≥ 50 mm ZE, $m' \geq 120$ ≥ 40 mm TSD, $s' \leq 7$ ≥ 70 mm Beton, $m' \geq 170$ ≥ 150 mm MHD, $m' \geq 50$	≥ 12 mm TE, $m' \geq 13$ ≥ 28 mm V20, $m' \geq 16$ ≥ 30 mm TSD, $s' \leq 15$ ≥ 120 mm Beton, $m' \geq 290$ ≥ 150 mm MHD, $m' \geq 50$	≥ 80 mm ZE, $m' \geq 190$ ≥ 30 mm TSD, $s' \leq 15$ ≥ 120 mm Beton, $m' \geq 290$ ≥ 150 mm MHD, $m' \geq 50$	≥ 50 mm ZE, $m' \geq 120$ ≥ 40 mm TSD, $s' \leq 7$ ≥ 120 mm Beton, $m' \geq 290$ ≥ 150 mm MHD, $m' \geq 50$
	≥ 50 mm ZE, $m' \geq 120$ ≥ 40 mm TSD, $s' \leq 7$ ≥ 70 mm Beton, $m' \geq 170$ ≥ 100 mm Splitt, $m' \geq 150$ ≥ 150 mm MHD, $m' \geq 50$	≥ 25 mm TE, $m' \geq 25$ ≥ 12 mm TSD, $s' \leq 40$ ≥ 70 mm Beton, $m' \geq 170$ ≥ 100 mm Splitt, $m' \geq 150$ ≥ 150 mm MHD, $m' \geq 50$	≥ 50 mm ZE, $m' \geq 120$ ≥ 20 mm TSD, $s' \leq 20$ ≥ 70 mm Beton, $m' \geq 170$ ≥ 100 mm Splitt, $m' \geq 150$ ≥ 150 mm MHD, $m' \geq 50$	≥ 50 mm ZE, $m' \geq 120$ ≥ 40 mm TSD, $s' \leq 7$ ≥ 70 mm Beton, $m' \geq 170$ ≥ 100 mm Splitt, $m' \geq 150$ ≥ 150 mm MHD, $m' \geq 50$

- ZE: Zement-, Anhydrit-, oder Fliesestrich mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
- TE: Gipsfaser Trockenestrichelemente, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
- V20: Verlegespanplatten, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
- TSD: Mineralfaser- oder Holzweichfaser Trittschalldämmplatte mit der angegebenen dynamischen Steifigkeit s' in MN/m³
- Splitt: Kalksplitt in Pappwaben, oder gebundener Splitt mit Latexmilch, oder Zementemulsion, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
- Beton: Holzbetonverbund, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m²
- MHD: Brettstapel-, Brettschichtholz-, Brettsperrholz-, Hohlkasten- oder Leimprofilholzdecken, mit der angegebenen flächenbezogenen Masse m' in kg/m², Elementhöhe nach Statik

5 Ausführungsbeispiel

Als Ausführungsbeispiel wurde eine bereits im Vorfeld der Projekte von der Lignotrend Produktions GmbH entwickelte Massivholzdecke in Holz-Beton-Fertigbauweise gewählt, die im Neubau der staatlichen Fachoberschule (FOS) und Berufsoberschule (BOS) Rosenheim zum Einsatz kam. Die Außenwände und die Flurwände des Bauvorhabens wurden aus Brettsperrholzelementen mit zusätzlicher Installationsebene ausgeführt. Die Stützen wurden aus Brettschichtholz, die nichttragenden Klassenraumtrennwände als Metallständerwände mit getrennten Ständern gefertigt. Um allen Anforderungen an den Schallschutz gerecht zu werden, wurde bereits in der Planungsphase das ift Schallschutzzentrum für die schalltechnische Begleitung herangezogen. Die schalltechnischen Messungen am ausgeführten Bau wurden von der Fachhochschule Rosenheim durchgeführt. Die schwingungstechnischen Untersuchungen erfolgten durch die TU München im Rahmen des genannten Forschungsvorhabens.

Die abschließenden Messungen zum Schwingungsverhalten und zur Trittschallübertragung der Deckenkonstruktion im Bauvorhaben zeigten, dass sowohl die in Abb. 1 dargestellten Zielwerte, als auch das Steifigkeitskriterium nach Abschnitt 4.1.2 weit übertroffen wurden. Der bewertete Norm-Trittschallpegel am Bau betrug inklusive erweitertem Spektrumanpassungswert $L'_{nw} + C_{150-2500} = 41$ dB. Die Trittschallübertragung beim Begehen der Decke war mit $L_{A,F,max} = 20-30$ dB(A) auch unter günstigsten Bedingungen – in den Schulferien und mit ausgeschalteter Lüftung – kaum noch messbar und wahrnehmbar. Die maximale Beschleunigung bei Resonanzanregung mit der 3. Harmonischen im Bereich der ersten Eigenfrequenz lag bei $a_{max} = 0,043$ m/s², die rechnerische Durchbiegung unter einer Einzellast von 1kN bei $w = 0,06$ mm.

Die Messergebnisse sind in Tab. 3 zusammengefasst und in Abb. 6 bis Abb. 8 illustriert. Abb. 6

zeigt neben den Beschleunigungsspitzen bei der ersten Decken-Eigenfrequenz (7,2 Hz) auch deutliche Maxima bei der Resonanz zwischen Estrichaufbau und Rohdecke (ca. 30 Hz).



Abb. 4: Neubau der Staatlichen Fachoberschule und Berufshochschule Rosenheim

Anzumerken ist, dass es sich bei der ausgeführten Decke um einen Prototypen handelte, weshalb eine deutlich höhere statische Sicherheit als normativ gefordert eingeplant wurde. Diese Überdimensionierung wirkte sich durch die daraus resultierende hohe Steifigkeit entsprechend positiv auf das Schwingungsverhalten und durch die hohe Masse positiv auf die Trittschalldämmung aus. Sowohl die vorausgegangenen Untersuchungen im Labor als auch die hier gezeigten Ergebnisse der Baumesung zeigen jedoch, dass auch bei einer Ausführung mit den üblichen statischen Sicherheitsreserven sehr gute Werte zu erwarten sind.

Tab. 3: Zusammenstellung der Messergebnisse am Bau

Ergebnisse der Schwingungsmessungen	Ergebnisse der Schallmessungen
1. Eigenfrequenz der Decke: $f_e = 7,2 \text{ Hz}$	Bewerteter Norm-Trittschallpegel am Bau: $L'_{nW} = 44 \text{ dB}$
Maximale Beschleunigung bei f_e : $a_{\max} = 0,043 \text{ m/s}^2$	Erweiterter Spektrumanpassungswert: $C_{1,50-2500} = -3 \text{ dB}$
Schwinggeschwindigkeit nach Heeldrop $v = 9 \text{ mm/s}$	Trittschallübertragung beim Begehen der Decke: $L_{A,F,\max} \approx 20 - 30 \text{ dB(A)}$
Rechnerische Durchbiegung unter 1 kN Einzellast: $w = 0,06 \text{ mm}$	



Abb. 5: Foto Messaufnehmer auf der Rohdecke

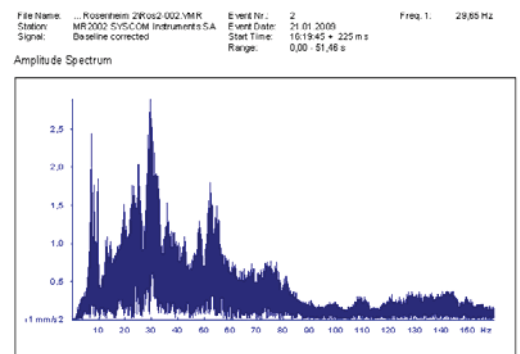
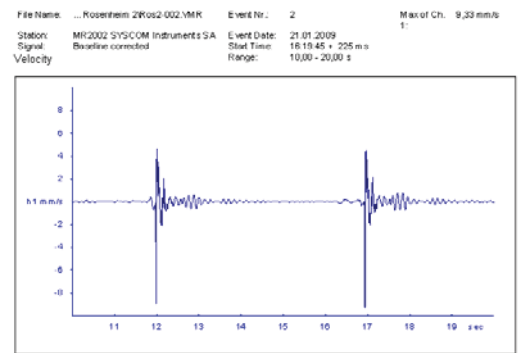


Abb. 6: Zeitschrieb Geschwindigkeit für Anregung durch Heeldrop (oben), Amplitudenspektrum mit $f_{e1} = 7,2 \text{ Hz}$ und höhere Anteile bei 30 und 50 Hz wegen Estrich (unten)

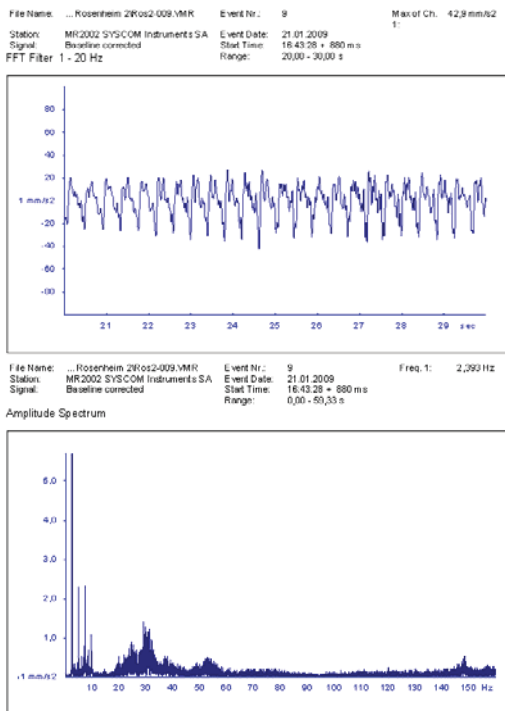


Abb. 7: Zeitschrieb Beschleunigung für Anregung durch Laufen mit $\frac{1}{3} f_{e1} = 2,4$ Hz, gefiltert mit FFT-Filter 1 bis 20 Hz, zeigt $a_{\max} = 0,043$ m/s² (oben), Amplitudenspektrum (unten)



Deckenaufbau:

- 5 mm Kautschukbelag (Bau)
- 60 mm Zementestrich
- 40 mm Mineralfaser Trittschalldämmplatte, $s' \leq 6$ MN/m³, CP 5
- 15 mm Holzfaserplatten
- 447 mm Holz-Beton-Fertigelement (Lignotrend), mit Akustikelement

— Labor: $L_{nw} = 39$ dB, $C_{1,50-2500} = 2$ dB
(bei 290 mm Deckenelement)

— Bau: $L'_{nw} = 44$ dB, $C_{1,50-2500} = -3$ dB

Abb. 8a: Rohdeckenelement; Deckenaufbau und Norm-Trittschallpegel im Labor und am Bau

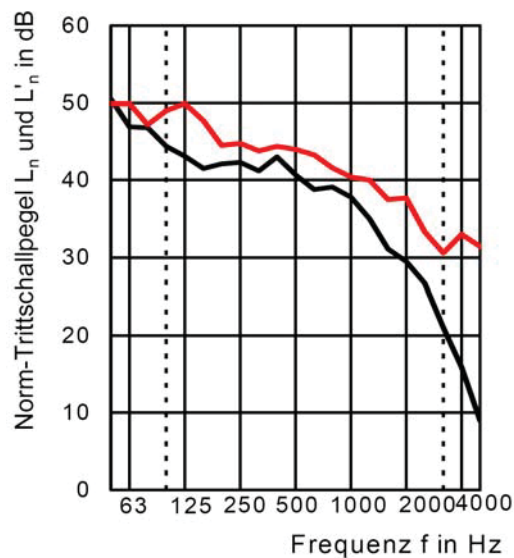


Abb. 8b: Deckenaufbau und Norm-Trittschallpegel im Labor und am Bau

6 Zusammenfassung

Durch den zunehmenden Einsatz von Holzdecken als Trenndecken auch in öffentlichen Gebäuden ergab sich die Notwendigkeit, ihr schall- und schwingungstechnisches Verhalten in Bezug auf das subjektive Empfinden des Nutzers genauer zu beurteilen und Bemessungsregeln für optimierte Decken zu erarbeiten. Die bisherigen Ergebnisse von zwei aktuellen Forschungsprojekten zu diesem Thema zeigen das Potenzial von Holzdecken für diese Anwendung auf und geben praxisnahe Umsetzungshilfen. Am ausgeführten Beispiel einer Trenndecke in Holz-Beton-Fertigteilmontage beim Neubau der FOS-BOS-Rosenheim wurden Werte ermittelt, die sicherlich im gesamten Lebenszyklus des Gebäudes deutlich über den schall- und schwingungstechnischen Anforderungen liegen werden und damit einerseits der Philosophie des Herstellers für ein nachhaltiges Bauen voll entsprechen, andererseits aber auch noch genügend Spielraum für eine wirtschaftlich optimierte Ausführung lassen.

Quellen

- [1] DIN 4109, Schallschutz im Hochbau, Anforderungen und Nachweise November 1989 und Beiblatt 1 zur DIN 4109 Schallschutz im Hochbau, Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren, November 1989
- [2] DIN 1052: 2004-08: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau. Berlin. August 2004
- [3] DIN EN ISO 140-1:2005-03, Bauakustik; Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen; Teil 1: Anforderungen an Prüfstände mit unterdrückter Flankenübertragung; Deutsche Fassung EN ISO 140-1:1997+ A1:2004
- [4] 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
- [5] Hamm, P. : Warum Decken zu schwingen beginnen. bauen mit holz. 3/2006. S. 24-29
- [6] Kreuzinger, H.; Mohr, B.: Gebrauchstauglichkeit von Wohnungsdecken aus Holz; Abschlussbericht Januar 1999. TU München, Fachgebiet Holzbau. Forschungsvorhaben durchgeführt für die EGH in der DGfH
- [7] Winter, S.; Hamm, P.; Richter, A. (2009): Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben: Schwingungs- und Dämpfungsverhalten von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken. DGfH 2009
- [8] Rabold, A., Rank, E., Anwendung der Finiten Elemente Methode auf die Trittschallberechnung, Teilbericht zum Kooperationsprojekt: Untersuchung der akustischen Wechselwirkungen von Holzdecke und Deckenauflage zur Entwicklung neuartiger Schallschutzmaßnahmen, ibp Stuttgart, TU München, ift Rosenheim, DGfH 2009
- [9] Lang, J., Schallschutz im Wohnungsbau, Forschungsbericht ifip TU Wien, 2006
- [10] Reichelt, H., Schall- und schwingungstechnische Lösungen im Holzbau, Projektarbeit, Hochschule Rosenheim, 2008
- [11] Burkhart, C., Tieffrequenter Trittschall – Messergebnisse, mögliche Ursachen, Tagungsband DAGA 2002
- [12] DIN EN 1995-1-1: 2004, Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1995-1-1:2004 (D)

aus: bauen mit holz, 4 / 2009, S. 38-43