

# **AiF-Forschungsvorhaben Nr. 16758 N**

## **Titel des Projekts**

VibWood – Entwicklung von Planungshilfen zur schall- und schwingungstechnischen Beschreibung von Holzdecken im mehrgeschossigen Wohnungs- und Objektbau im Frequenzbereich unter 100 Hz sowie zur Bewertung und Dimensionierung von angepassten Schwingungsschutzsystemen

## **Forschungsstelle 1**

Technische Universität München, Lehrstuhl für Baumechanik

Prof. Dr. Gerhard Müller, Lehrstuhl für Baumechanik, Technische Universität München

Dr. Ing. Martin Buchschmid

M. Sc. Matthias Kohrmann

## **Forschungsstelle 2**

Prof. Dr. Ulrich Schanda, Fakultät für angewandte Natur- und Geisteswissenschaften,

Dipl.-Ing. (FH) Raphael Vöttl

## **Kooperationspartner**

Dr. Schütz Ingenieure, Gerb Schwingungsisolierungen GmbH & Co. KG, Getzner Werkstoffe GmbH, Knauf Gips KG, Lignotrend Produktions GmbH, Merk Timber GmbH, Müller-BBM VibroAkustik Systeme GmbH, Regnauer Fertigbau GmbH, Vogl Deckensysteme GmbH

## **Projektlaufzeit (von/bis)**

1.11.2010 – 31.1.2014

## **Themenfeld/Fachgebiet**

Vibroakustik im Holzbau

## **Motivation**

Um im Bauwesen wettbewerbsfähig zu sein, müssen Wohnungsdecken in Holzbauweise heute den höchsten Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit und an den Schallschutz genügen. Im tiefen Frequenzbereich ist dies systembedingt nicht immer einfach – man spricht gerne vom „Rumpeln“ oder „Dröhnen“, wenn Trittschallgeräusche wahrgenommen werden. Dass diese

Geräusche nicht sein müssen, wissen viele Fachleute – eine Fertighausindustrie könnte sonst nicht existieren. Tatsächlich haben Holzdecken verglichen zu Massivdecken aus Beton systembedingt Nachteile. Da sind v.a. die geringen flächenbezogenen Massen (Holz ist halt nun mal viel leichter als Beton). Diese Nachteile gilt es, durch intelligente Konstruktionen auszugleichen - Konstruktionen, die schwingungstechnisch und akustisch verstanden sind. Dieses Wissen muss für Planer in einer Art und Weise verfügbar gemacht werden, dass verlässliche Prognosen bei der Schallschutzplanung ermöglicht und damit wenig ökonomische Überdimensionierungen vermieden werden.

### **Status**

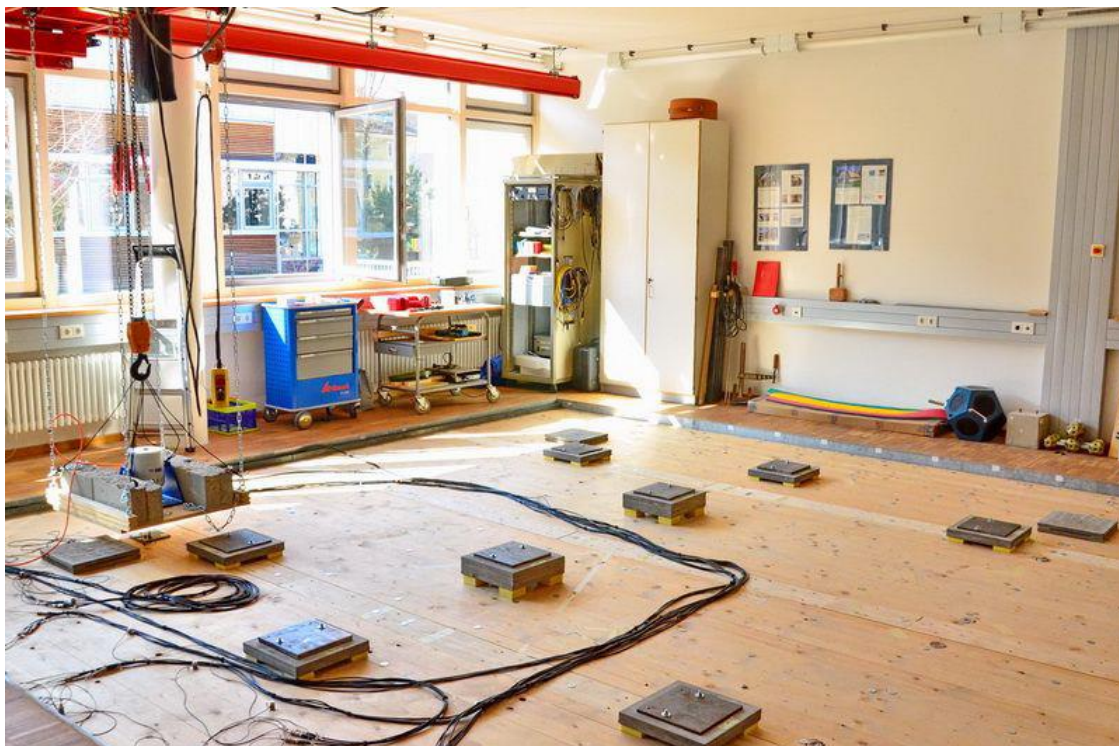
Zur Beschreibung des Schwingungs- und akustischen (vibroakustischen) Verhaltens von Holzdecken im Frequenzbereich bis ca. 125 Hz stehen derzeit keine für die Praxis aufbereiteten, etablierten Verfahren zur Verfügung. So wird die Wirkung von Maßnahmen wie z.B. abgehängter Decken, schwimmender Estriche und anderer Schwingungsschutzsysteme in der Regel über stark vereinfachende Ingenieursersatzverfahren beschrieben, die sich im Massivbau bewährt haben, im Holzbau jedoch an ihre Anwendungsgrenzen stoßen. Entsprechende Grenzen erfährt aufgrund der größeren Komplexität der Schwingungsmuster der Holzdeckenkonstruktionen unter dynamischer Anregung wie z.B. durch gehende Personen auch ein einfaches Konzept zur Beschreibung der abgestrahlten Schalleistung. Aufgrund dieser Komplexität stellte sich die Frage nach den grundsätzlichen Möglichkeiten zur numerischen Berechnung des vibroakustischen Verhaltens von Holzdeckenkonstruktionen und der Möglichkeit der systematisierten Beschreibung des Verhaltens.

### **Vorgehensweise**

Im Rahmen des Forschungsvorhabens VibWood wurden umfangreiche Messungen an charakteristischen Holzdecken durchgeführt sowie zugehörige hybride Finite-Element- und Abstrahlungsmodelle erstellt, die anhand von Messungen kalibriert werden konnten. Basierend auf diesen Modellen konnten über weiterführende, parametrisierte Berechnungen zum schall- und schwingungstechnischen Verhalten der Deckensysteme bei tiefen Frequenzen die physikalischen Experimente durch „numerische Experimente“ ergänzt werden. Damit wurde der Parameterraum von den zwangsläufig engen Vorgaben aus dem physikalischen Experiment auf breite, baupraktisch übliche Bereiche erweitert.

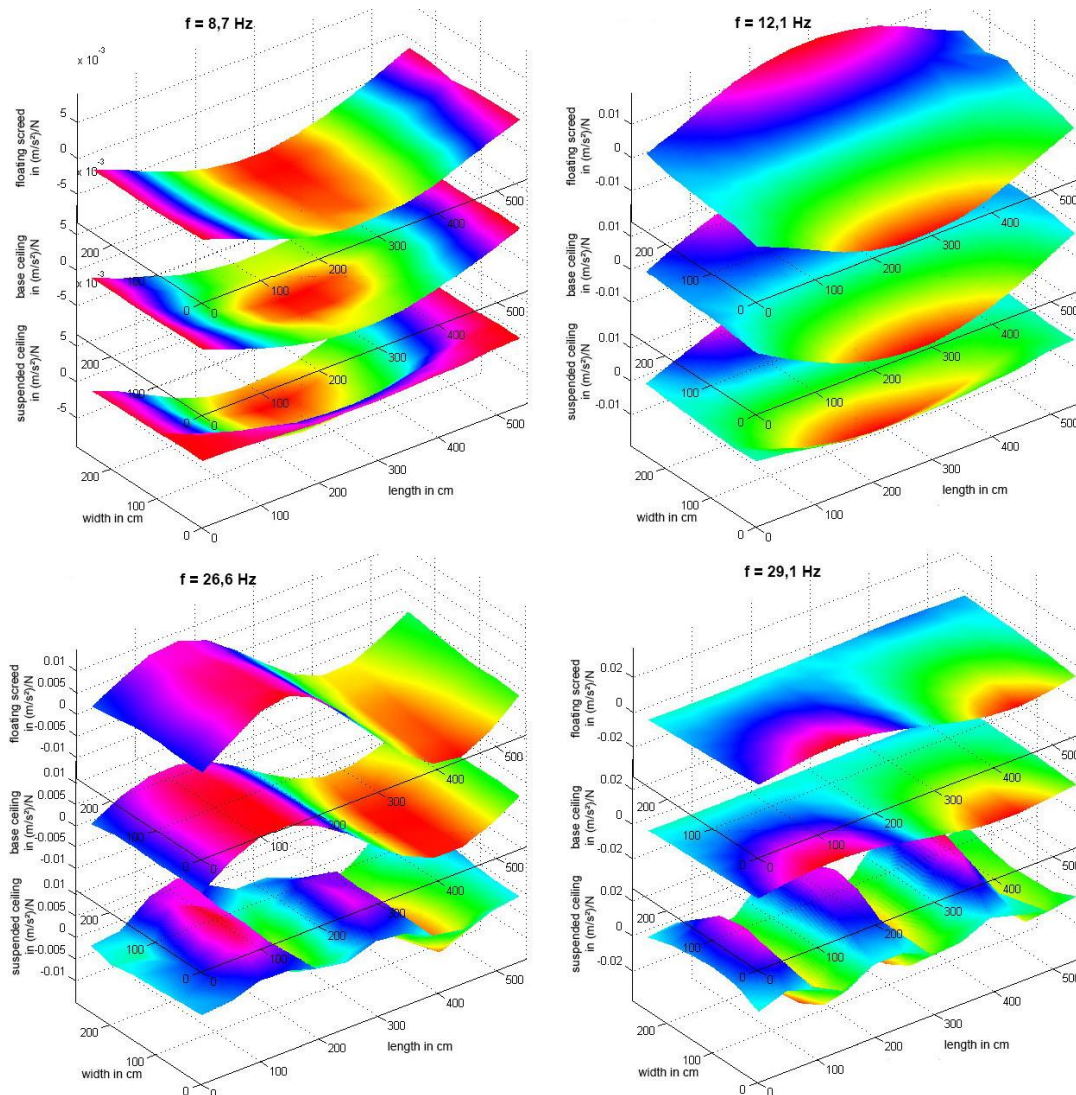
Als Holzdeckensysteme wurden Brettsperrholzdecken, Holzbalkendecken sowie eine Variante einer Hohlkastendecke untersucht. Weiterführende Systemvarianten ergaben sich aus verschiedenen Ausbauständen mit Estrich und abgehängter Unterdecke. Damit waren die klassischen Ausbildungen von Holzdeckenkonstruktionen, die beim mehrgeschossigen Wohnungs- und Objektbau ihren Einsatz finden, abgebildet. Dort ist der Schwingungsnachweis als Teil des Gebrauchstauglichkeitsnachweises sowie die Trittschalldämmung als Teil des

Schallschutznachweises zur Erfüllung normativer Anforderungen zu führen. Da die Einhaltung dieser Nachweise für Holzdeckenkonstruktionen, insbesondere eines benutzerfreundlichen Trittschallschutzes bei tiefen Frequenzen unter 100 Hz, mangels verlässlicher bzw. mit nur bauteilspezifischen Planungsdaten zu einer unwirtschaftlichen Überdimensionierung dieser Holzdeckensysteme führt, sollte dieses Forschungsvorhaben Planungshilfen ausarbeiten, um verlässliche Planungsdaten zur Verfügung zu stellen.



**Bild 1:** Deckenprüfstand im Labor für Schallmesstechnik LaSM; zu sehen ist eine Brettsperrholzdecke mit Schwingungstilgern zum Test, inwieweit diese das Schwingungsverhalten beeinflussen.

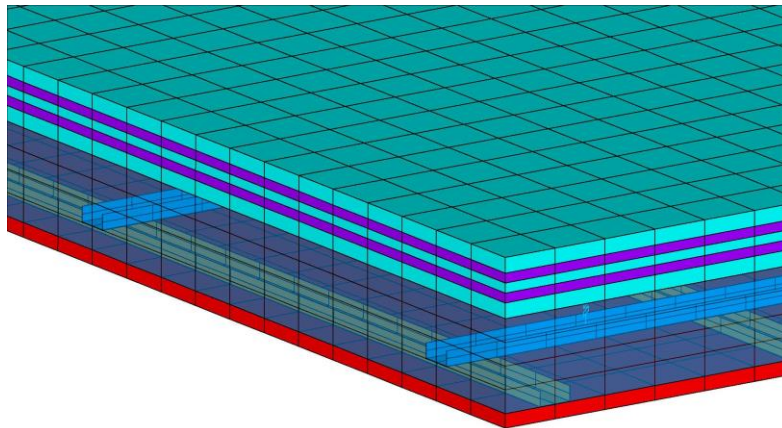
Die Messungen erfolgten im Prüfstand des Labors für Schallmesstechnik LaSM an der Hochschule Rosenheim (s. Bild 1). Die Durchführung im Laborprüfstand ermöglichte die Entwicklung und Verwendung spezialisierter Messverfahren (s. Bild 2), der Sicherstellung einer hohen Messreproduzierbarkeit sowie einer Optimierung der Lagerungsbedingungen der Deckensysteme hinsichtlich einer Abbildung derselben in den FE-Modellen. Die numerischen Simulationen erfolgten über eine parametrisierte FE-Modellierung in ANSYS sowie einer Nachauswertung der Ergebnisdaten in MATLAB.



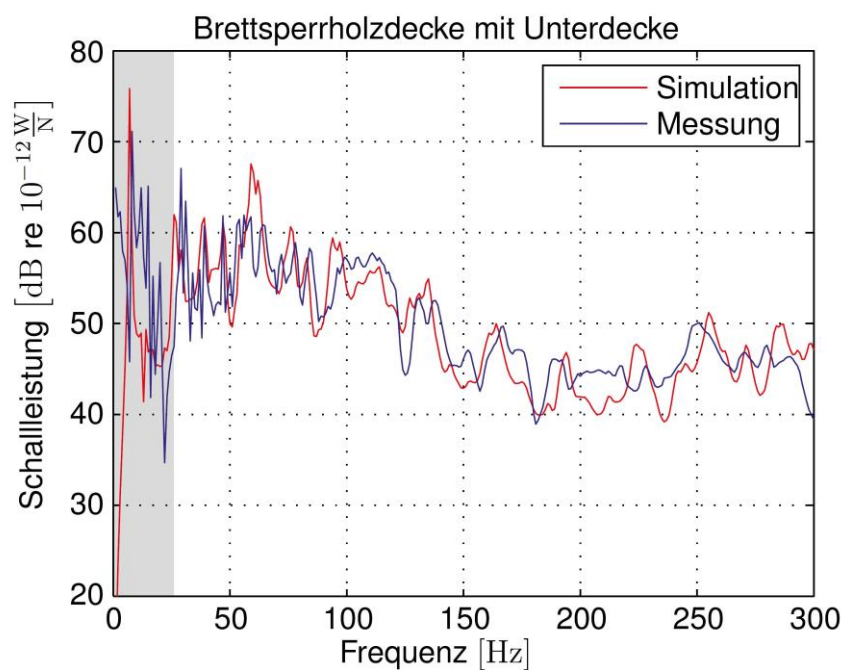
**Bild 2:** Die vier ersten Eigenmoden einer Brettsperrholzdecke mit Ausbauten; zu sehen sind jeweils die Schwingformen des schwimmenden Estrich (oben), der tragenden Brettsperrholzdecke selbst (Mitte) sowie einer abgehängten Unterdecke aus Gipskarton (unten). Während bei den ersten beiden Eigenschwingungen bei 8,7 Hz und bei 12,1 Hz alle drei Deckenkomponenten noch konphas schwingen, hat sich bei den höheren Eigenmoden die Unterdecke „verselbstständigt“. Für den übertragenen Schall in den unteren Raum ist natürlich das aus dem Gesamtsystem resultierende Schwingungsverhalten der Unterdecke maßgeblich.

Als Analysen wurden Modalanalysen, harmonische Analysen bei Aufbringung von Einzellasten und einer stochastischen Flächenlast (rain-on-the-roof) sowie transiente Analysen zur Ermittlung der schall- und schwingungstechnischen Eigenschaften beim Begehen der Deckensysteme durch Personen durchgeführt. Zur Kalibrierung der FE-Modelle musste für Holz als anisotropes Material ein entsprechendes Materialmodell abgeleitet werden. Mit Hilfe eines Modell-Updating-Prozesses und Optimierungsalgorithmen konnten die materialbezogenen Eingangsparameter für alle in den Konstruktionen verwendeten Materialien und Komponenten optimal angepasst werden. Weiterhin musste eine aufwändige Modellierung

der Luft in den Gefachen von Holzdeckenkonstruktionen zur Abbildung der Fluid-Struktur-Kopplung entwickelt werden (s. Bild 3). Zur Berechnung der abgestrahlten Schalleistung bei harmonischen und transienten Anregungen wurde ein Prognoseverfahren entwickelt, welches aus den berechneten Verformungen der abstrahlenden Fläche die abgestrahlte Schalleistung berechnet (s. Bild 4).



**Bild 3:** FE-Model einer Brettsperrholzdecke mit Unterdecke, die Luft im Hohlraum ist mit Fluidelementen modelliert



**Bild 4:** Vergleich der abgestrahlten Schalleistung aus Messung und Simulation

## **Zusammenfassung**

Die erarbeiteten Planungshilfen bestehen aus übersichtlichen Nomogrammen, die ein detailliertes Berechnen von Systemen, insbesondere im Hinblick auf die zu erwartenden Eigenschwingungen, aber auch die Veränderung durch Schwingungsschutzsysteme, wie z.B. aufgebrauchte schwimmende Estriche, nicht mehr erforderlich macht und eine gute Verwendbarkeit in späteren planerischen Anwendungen gewährleistet.

Für den Ergebnistransfer in die Wirtschaft wurden die Berechnungsergebnisse ferner in Form eines Programms mit einer grafischen Eingabeoberfläche hinterlegt. Auswählbar für den Anwender sind das Holzdeckensystem in den möglichen Ausbauständen eines schwimmenden Estrichs und einer abgehängten Unterdecke sowie die geometrischen Abmessungen der Decke. Weiterhin kann die Anregungsart der Decke variiert werden; es besteht die Möglichkeit zur Wahl zwischen einer Anregung mit dem Normhammerwerk, einem Fußgänger sowie einer benutzereigenen, spektral vorzuziehenden Anregungsart. Als Ergebnis wird der abgestrahlte Schalleistungspegel berechnet. Aus der linearen Frequenzdarstellung des Schalleistungspegels kann die erste Eigenfrequenz für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis abgelesen werden, für schalltechnische Belange erfolgt die Darstellung des Schalleistungspegels als Terzspektrum.

## **Literatur**

R. Vörtl, M. Kohrmann, M. Buchschmid, U. Schanda und G. Müller: Messung und Berechnung der Schwingungen von Holzdecken im Prüfstand; DAGA 2012, Darmstadt

M. Kohrmann, M. Buchschmid, R. Vörtl, G. Müller und U. Schanda: Prognose von sekundärem Luftschall bei leichten Geschossdeckensystemen mit Integraltransformationmethoden; DAGA 2012, Darmstadt

M. Kohrmann, M. Buchschmid, A. Greim, G. Müller, U. Schanda: Vibroacoustic characteristics of light-weighted slabs – Part 1: Aspects of Numerical Modeling, Model Updating and Parametric Studies using the Buckingham PI-Theorem; DAGA 2013, Meran

M. Buchschmid, M. Kohrmann, C. Winter, G. Müller, R. Vörtl, U. Schanda: Vibroacoustic characteristics of light-weighted slabs – Part 2: Measurement-Based Investigation of the Sound Radiation of Suspended Ceilings; DAGA 2013, Meran

M.Kohrmann, R.Vörtl, M. Buchschmid, U. Schanda und G. Müller: Numerical models for the prediction of vibro-acoustical characteristics of light-weighted ceilings, Internoise 2013, Innsbruck

R.Vörtl, M.Kohrmann, M. Buchschmid, U. Schanda und G. Müller: Simultaneous operational vibration analysis of different layers of lightweight timber floors, Internoise 2013, Innsbruck

Das Forschungsvorhaben 16758 N der Forschungsvereinigung Internationaler Verein für Technische Holzfragen e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und –entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Der vollständige Bericht kann bestellt werden bei:  
Internationaler Verein für Technische Holzfragen e.V. (iVTH e.V.)  
Bienroder Weg 54E  
38108 Braunschweig