

# Berechnung der Trittschalldämmung von Holzbalkendecken mit Finite Elemente Methoden

A. Rabold<sup>1</sup>, D. Scholz<sup>2</sup>, E. Rank<sup>2</sup>

<sup>1</sup> LSW-Labor für Schall- und Wärmemess-technik GmbH, 83071 Stephanskirchen

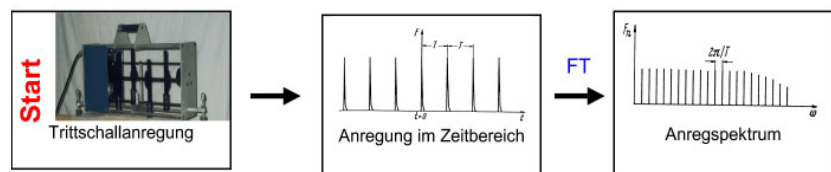
<sup>2</sup> Lehrstuhl für Bauinformatik, TU München

Die Optimierung der tieffrequenten Trittschalldämmung von Holzbalkendecken kann durch Berechnungen mit Finite Elemente Methoden (FEM) sehr effizient gestaltet werden. Die mit den FEM berechneten Eigenwerte und Eigenmoden des Bauteils bilden hierbei die Basis um durch die Modalanalyse Rückschlüsse für die Bauteiloptimierung ziehen zu können. Nachfolgend wird auf die Anwendung dieser Methode zur Berechnung der Trittschalldämmung einer Holzbalkendecke eingegangen und die numerischen Ergebnisse mit Messwerten verglichen.

## Berechnungsablauf

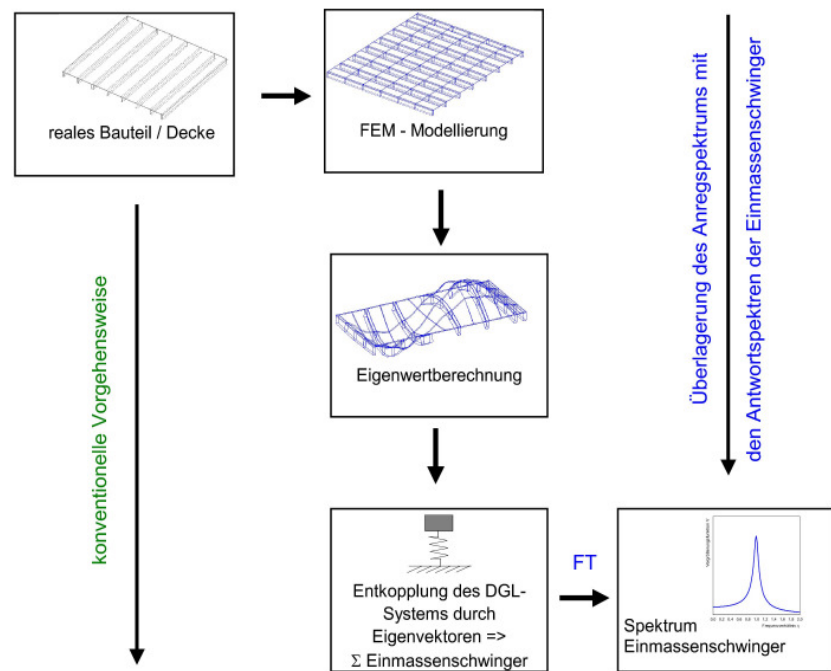
### Trittschallanregung

Der Verlauf der Anregkraft  $F(t)$  des Norm-Hammerwerks wird mit einer Fourier-Reihe angenähert und das Anregspektrum durch weitere Annahmen gewonnen [1].



### FEM-Modellierung mit 3D p-Elementen

Die Diskretisierung der Decke erfolgt durchgängig mit Hexaeder-Elementen höherer Ordnung (p-FEM), die robust gegen große Seitenverhältnisse sind [3]. Somit können sowohl schlanke, plattenartige als auch gedrungene Bauteile mit einem Elementtyp modelliert werden (keine Übergangselemente erforderlich). Durch Verwendung von variablen Ansatzgraden in unterschiedliche Richtungen ist eine sehr effiziente Berechnung möglich [4].



### Entkopplung des DGL-Systems (Modalanalyse)

Das gekoppelte Differenzialgleichungssystem wird mit Hilfe der Eigenmoden in entkoppelte Differenzialgleichungen zerlegt. Diese werden anhand der Fourier-Transformation in den Frequenzbereich überführt.

### Spektrum

Im Frequenzbereich werden für die formalen Einmassenschwinger die Antwortspektren in Abhängigkeit der Anregkraft und der Anregposition berechnet und überlagert.

### Norm-Trittschallpegel

Im letzten Schritt werden die nun bekannten Amplituden der Auslenkung in Schnellepegel und schließlich in Norm-Trittschallpegel  $L_n$  umgerechnet.

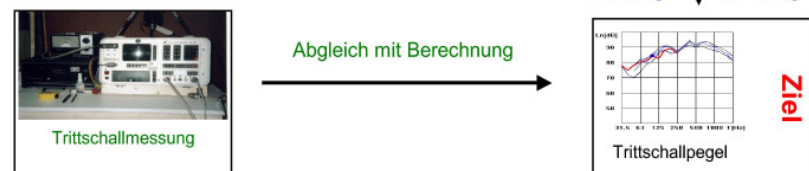


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Trittschallberechnung mit der FEM

## Anwendung

### Beschreibung des Deckenaufbaus

Die Holzbalkendecke besteht aus einer Vollholz-Balkenlage und einer Beplankung aus Verlegespanplatten. Die Verlegespanplatten sind mit den Balken verschraubt.

### Modellierung und Rechenzeiten

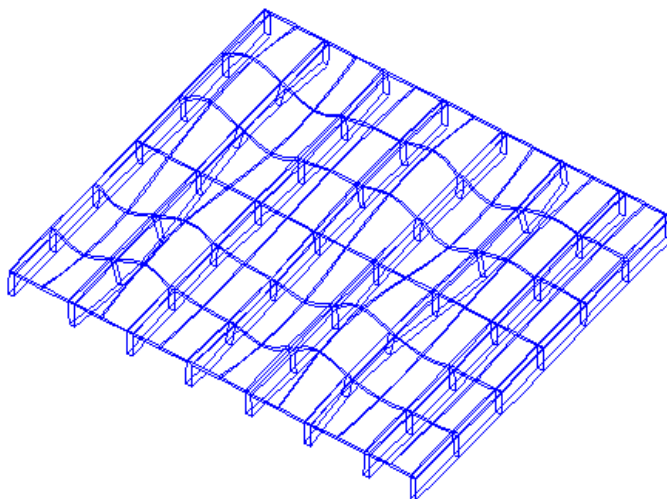
Das (verformte) Berechnungsnetz mit 180 Hexaeder-Elementen ist in Abbildung 2 exemplarisch dargestellt. Die Berechnung wurde für die ersten 80 Eigenwerte der Holzbalkendecke durchgeführt. Das am Lehrstuhl für Bauinformatik entwickelte p-FEM Programm AdhoC benötigte hierzu auf einem Pentium III (1100 MHz) 213 s (CPU) und 211 MB Arbeitsspeicher, um hinreichend genaue Ergebnisse zu erhalten.

### Berechnung des Norm-Trittschallpegels

Die Berechnung des Norm-Trittschallpegels erfolgte für die ersten 80 Eigenwerte der Holzbalkendecke. Aus der ersten Eigenfrequenz bei 28,7 Hz und der 80. Eigenfrequenz bei 343,4 Hz ergab sich ein berechenbares Terzbandspektrum von 31,5 Hz bis 250 Hz.

### Abgleich mit der Trittschallmessung

Der gemessene Norm-Trittschallpegel der beschriebenen Holzbalkendecke wurde mit Berechnungsergebnissen verglichen. Hierzu konnten dem Archiv der *LSW Labor für Schall- und Wärmemesstechnik GmbH* drei unabhängige Messungen der oben beschriebenen Holzbalkendecke entnommen werden [2].



21. Eigenmode bei 101.8 Hz

## Ausblick

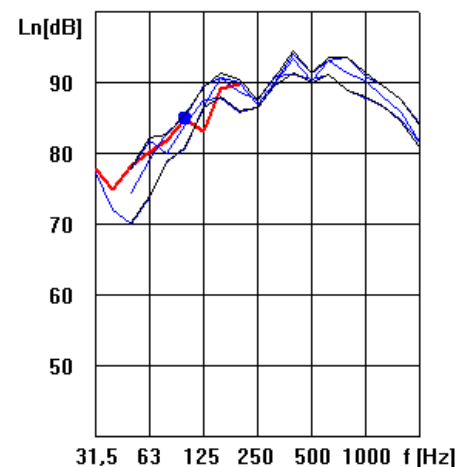
Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein effizienter Eigenwertlöser im p-FEM-Programmsystem *AdhoC* implementiert und erste Schritte zur Trittschallberechnung bauüblicher Holzbalkendecken durchgeführt.

Die nächsten Aufgabenstellungen bestehen in der praxisnahen Modellierung des Estrichaufbaus und der Unterdecke sowie gegebenenfalls eingesetzter Rohdeckenbeschwerungen.

Hierzu sind eingehende Untersuchungen zur Kopplung dieser Bauteilschichten erforderlich. Des Weiteren sollte das Abstrahlverhalten der Bauteile näher untersucht und seine Berücksichtigung in der Nachlaufrechnung weiterentwickelt werden.

## Literatur

- [1] Cremer, L.:  
Körperschall: physikalische Grundlagen und technische Anwendungen/  
L. Cremer; M. Heckl.- 2., neu bearb. Aufl.-  
Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1996,  
ISBN 3-540-54631-6
- [2] N.N.: Ergebnisse von Labormessungen des Labors für Schall- und Wärmemeßtechnik (im Auftrag der Industrie).
- [3] Szabo, B., Düster, A., Rank, E.:  
The p-version of the finite element method.  
In E. Stein, R. de Borst, T.J.R. Hughes, editors:  
Encyclopedia of Computational Mechanics.  
John Wiley & Sons, 2003.
- [4] Düster, A.:  
High order finite elements for three-dimensional, thin-walled nonlinear continua,  
Dissertation, Lehrstuhl für Bauinformatik,  
Technische Universität München.  
veröffentlicht im SHAKER VERLAG, ISBN: 3-8322-0189-0, 2002.



**Abbildung 2:** „Screen shot“ des Auswerteprogramms. Im Diagramm des Norm-Trittschallpegels sind die Messwerte durch dünne blaue Linien gekennzeichnet und durch die Standardabweichung der Messwerte (schwarze Linie) begrenzt. Die Berechnungswerte sind als rote Kurve eingezeichnet.