

*Bernhard Schuppisser
Dipl. Ing. HTL, Abteilung F+E
Bernser Fachhochschule
Architektur, Holz und Bau
Biel, Schweiz*

Verringerung der Schalllängs- leitung durch Elastomerlager

**Optimierung zwischen Schallschutz und
konstruktiven Anforderungen**

Verringerung der Schalllängsleitung durch Elastomerlager

Optimierung zwischen Schallschutz und konstruktiven Anforderungen

Einleitung

Mit der Anpassung der Brandschutznormen vor einigen Jahren sowie der Tendenz zur vermehrten Nutzung nachwachsender Baustoffe werden immer häufiger mittlere und grosse Gebäude teilweise oder vollständig in Holzbauweise realisiert. Gleichzeitig erfolgt mit dem Einsatz wärme- und schalltechnisch verbesserter Aussenbauteile eine Sensibilisierung der Nutzer gegenüber Belästigungen durch Innenlärm. Steigende Ansprüche der Nutzer und höhere Normgrenzwerte haben zur Folge, dass an den Schallschutz von Innenbauteilen deutlich höhere Anforderungen gestellt werden. Dies gilt insbesondere bei Gebäuden, welche von mehreren Parteien genutzt werden. Auch Investoren erwarten bei Mietobjekten oder Gebäuden im Stockwerkeigentum hohe Wohnstandards, um den Wert der Investition sicherzustellen.

Dem entsprechenden Optimierungsbedarf wird man im Bereich der Geschossdecken mit dem Einsatz schwerer bzw. beschwerter Rohdecken, schwimmender Unterlagsböden sowie abgehängten Deckenbekleidungen gerecht. Mit der Erhöhung der Dämmleistung der Deckenelemente fällt die Übertragung durch Schallnebenwege umso mehr ins Gewicht. Dabei wird ein wesentlicher Teil der Schallenergie nicht direkt durch die Decke in den darunterliegenden Raum übertragen, sondern über die flankierenden Wände. Ein höherwertiger Schallschutz wird durch die Vermeidung dieser Nebenwegübertragung mittels vorgesetzter Wandbekleidungen oder die schalltechnische Entkoppelung des Wand-Deckenknotens mit einem umfassenden, durchdachten Entkoppelungssystem erreicht. Der Einsatz elastischer Materialien in lastableitenden Bereichen der Konstruktion hat ein verändertes Verformungsverhalten zur Folge, welches sowohl in der Konzipierung des Entkoppelungssystems als auch in der späteren Detailplanung und Bauausführung beachtet werden muss. Die folgenden Ausführungen behandeln Wirkungsweise, konstruktive Herausforderungen und Schlussfolgerungen für die Anwendung solcher Entkoppelungssysteme.

Forschungsaktivitäten

Im Massivbau werden zur Verbesserung des Schallschutzes seit längerem elastische Lager im Knotenbereich zwischen Wänden und Decke eingesetzt. Diese Lösungen können jedoch nicht eins zu eins auf den Holzbau übertragen werden. Die Massivbauweise unterliegt anderen Gesetzmässigkeiten als der Leichtbau (Holzbau) und weist somit auch eine andere Wirkungsweise sowohl von elastischen Lagern als auch von Verbindungen im Knotenbereich auf. Mitbestimmt wird dies durch unterschiedliche Eigengewichte und Eigenfrequenzen der Bauteile in Massiv- bzw. Holzkonstruktionen.

In [1] und [2] werden Untersuchungen an Holzkonstruktionen mit Kreuzlagen-Brettsperrholz für Wände und Decke sowie Hohlkasten für die Decke beschrieben. Untersucht wurden verschiedene Typen elastischer Lager mit und ohne zusätzliche Belastung (zur Simulation weiterer Stockwerke) sowie der Einfluss von Verbindungsmitteln. Je nach Lagertyp konnte durch die Unterdrückung der Flankenübertragung (über die nicht bekleideten Wände) das bewertete Luftschalldämmmass um 2 bis 14 dB, der bewertete Trittschallpegel um 1 bis 9 dB verbessert werden.

Sowohl die zusätzliche Belastung der Lagerfugen als auch die Verwendung von Standard-Verbindungsmiteln hatten eine zum Teil deutliche Reduktion dieser Verbesserung zur Folge. Durch Modifikationen an den verwendeten Verbindungsmiteln konnte deren negativer Einfluss wieder ausgeglichen werden. Diese Resultate führen zu folgenden Grundsätzen:

- Die Eignung elastischer Lagerprodukte für den Einsatz im Holzbau ist zu überprüfen, da sie stark vom verwendeten Lagertyp abhängig ist und nicht aufgrund von Resultaten aus dem Massivbau abgeleitet werden kann.
- Die elastischen Lager sind auf die zu übertragenden Kräfte abzustimmen.
- Die im Knotenbereich eingesetzten Verbindungsmiteln müssen ebenfalls modifiziert werden, um eine deutliche Verringerung der Entkoppelungswirkung zu vermeiden.

Zurzeit wird an der BFH-AHB im Rahmen eines KTI-Projektes an der Weiterentwicklung solcher Entkoppelungssysteme gearbeitet. Im Fokus steht dabei die Anwendung an (in der Schweiz gängigen) Decken- und Wandsystemen für den mehrgeschossigen Holzbau. Vorversuche zur Bestimmung der geeigneten Lagertypen des Industriepartners haben aufgezeigt, dass sich die Verringerung der Lagerflächen sowie die Erhöhung der Lagerdicken, also eine möglichst weiche Ausführung der Lagerung, allgemein positiv auf die Entkoppelungswirkung auswirken. Mit dem Ziel einer möglichst geringen Beeinträchtigung der Gesamtkonstruktion durch die zusätzlich auftretenden Verformungen wird nun auf einen möglichst optimalen Mittelweg zwischen Schalldämmung und statischer Anbindung hingearbeitet.

Wirkungsweise elastischer Entkoppelung

Die Schalldämmung von Trennbauteilen hängt ausser vom Material und der Konstruktionsart (ein-, zwei- oder mehrschalig, ein- oder mehrteilig) auch von den angrenzenden Bauteilen ab. Hier konzentriert sich die aktuelle Forschung und Entwicklung auf die im Schallschutz bekannten Nebenwegübertragungen. Insgesamt haben in einem rechteckigen Raum 12 Nebenwegübertragungen (F_f , F_d und D_f) einen Einfluss auf das Schalldämmvermögen eines Bauteils [3]. Der Einfluss der Knotenausbildung auf das Schallverhalten von Bauteilen in Holzbauweise ist bis anhin nur für wenige Holzbausysteme bekannt [4]. Die durch Messungen ermittelten Korrekturwerte für die Nebenwegübertragung stehen für die bekannten Nachweisverfahren zur Verfügung. Ein Nachweis mit der Integration von schwingungs- und schalldämpfenden Entkoppelungssystemen ist aber nicht möglich da die nötigen Messergebnisse fehlen.

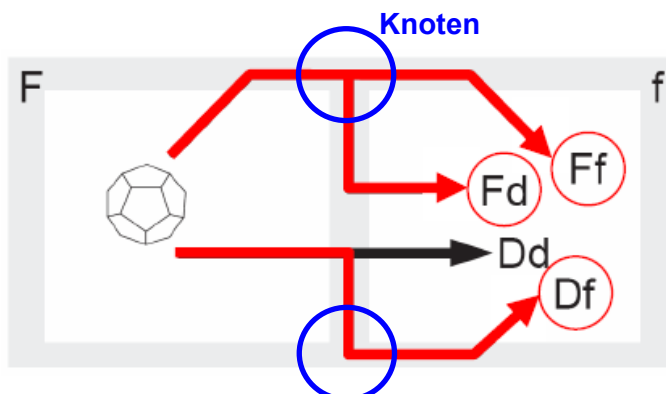


Abbildung 1: Bezeichnung der unterschiedlichen Schallübertragungswege von einem Raum (D / F) zum andern (d / f) nach EN 12354

Eine wesentliche Massnahme zur Verbesserung der schalldämmenden Eigenschaften von Bauteilen ist das Prinzip der Entkoppelung von Materialschichten und Bauteilen. Als Beispiel werden an Deckensystemen schwimmende Unterlagsböden und abgehängte Deckenbekleidungen eingesetzt, bei welchen die Trittschalldämmung bzw. die Abhängekonstruktion als Feder und Trennschicht wirken. Im Wand-Deckenknoten werden nun Elastomere eingesetzt, um trennendes und flankierende Bauteile voneinander zu entkoppeln. Wird nun ein Bauteil senderaumseitig angeregt (in Schwingung versetzt), wird ein Teil der Schallenergie durch die Verformung des weichen Elastomers absorbiert und nicht in das empfangsraumseitige Bauteil weitergeleitet (Federwirkung). Zudem findet am Übergang zwischen hartem (Holzkonstruktion) und weichem (Elastomer) Material eine teilweise Reflexion der Schallwellen statt, was ebenfalls zu einer Reduktion der übertragenen Schallenergie führt (Trennschicht).

Bei der Schwingungsisolierung von Bauteilen und Gebäuden wird meist vom Bauphysiker eine mithilfe der elastischen Lagerung anzustrebende Eigenfrequenz der Struktur vorgegeben. Die Bemessung der Lager erfolgt dann unter Annahme des Ein-Massen-Schwinger-Modells (EMS), wobei die schwingenden Massen entsprechend der Auflagerkräfte gewählt werden. Diese stark vereinfachte Bemessung, bei welcher weder die tatsächliche Verteilung der Massen, noch die Steifigkeit der Struktur (z.B. zusätzliche Federwirkung aus Nachgiebigkeit der Bodenplatte) berücksichtigt werden, ist in der Praxis meist ausreichend.

Die Vorhersage der Dämmwirkung elastischer Fugen zur Verminderung von Körperschallausbreitung in Bauwerken ist wesentlich komplexer [5]. Hier spielt die genaue Abstimmung von Geometrie und Steifigkeiten der Lager, sowie der angrenzenden Bauteile eine entscheidende Rolle. Aus diesem Grund können analytische Modelle, die für massive Bauteile entwickelt wurden, nicht ohne weiteres auf die inhomogenen Bauteile des Holzbaus übertragen werden. Überträgt man die Ergebnisse aus [5] für Decken-Wand-Verbindungen im Stahlbetonbau auf die hier vorliegende Situation, so ist es bzgl. der Dämmwirkung sinnvoll, die Lagerfläche möglichst klein, die Lagerdicke möglichst hoch und die Materialsteifigkeit gering zu wählen. Dieser tendenzielle Einfluss der Abmessungen konnte auch bei der ersten Versuchsreihe an Deckenlagern im Rahmen des laufenden KTI-Projektes Nr. 9761 beobachtet werden:

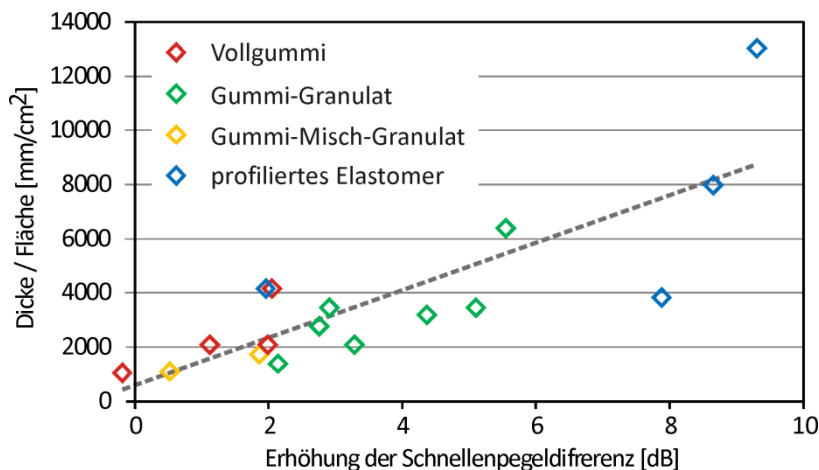


Abbildung 2: Dämmleistung der untersuchten Deckenlager nach Materialien bezogen auf die Lagerdimensionen

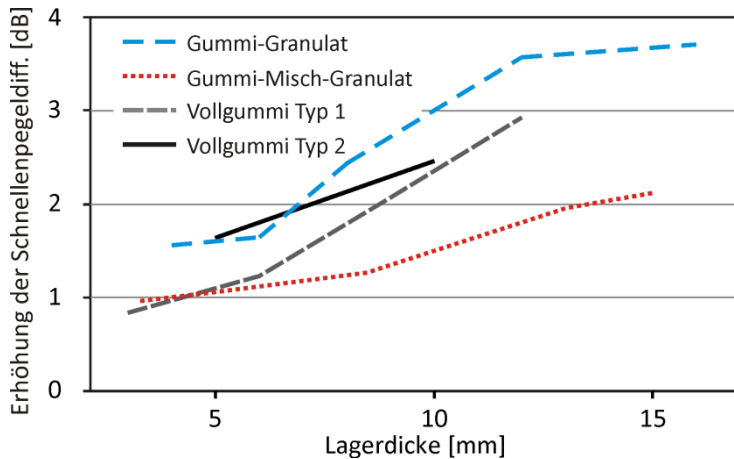


Abbildung 3: Dämmleistung bei elastischer Lagerung der Stirnseiten der Stützen in Abhängigkeit von Lagermaterial und Lagerdicke bei Grundrissabmessungen $100 \times 130 \text{ mm}^2$

Konstruktive Herausforderungen

Wände und Geschossdecken in Holzbauweise werden in einer sehr kompakten und auch komplexen Bauweise mit hohem Vorfertigungsgrad realisiert. Der Wand-Deckenknoten übernimmt zudem zwei wesentliche Funktionen: Einerseits müssen hier vertikale und horizontale Lasten zwischen Decke und Wand übertragen werden. Andererseits werden an ihn auch die Anforderungen an ein raumabgrenzendes Bauteil hinsichtlich Brand- und Schallschutz gestellt, wie sie für die angrenzenden Bauteile gelten. In dieses Gefüge ein funktionierendes Entkoppelungssystem zu integrieren, welches aufgrund seiner Eigenschaften die Funktionsweise des Wand-Deckenknotens beeinflusst, stellt den Planer vor einige konstruktive Herausforderungen. Zudem ist zu beachten, dass es sich um Bestandteile der Tragstruktur handelt, welche praktisch nicht mehr austauschbar sind. Daher haben sie bezüglich Nutzungsdauer die gleichen Anforderungen zu erfüllen, wie die übrigen tragenden Teile des Gebäudes. Dies setzt im üblichen Anwendungsgebiet der Entkoppelungssysteme eine Lebensdauer von mindestens 50 Jahren voraus.

Einzelkomponenten und Gesamtsystem

Ein Entkoppelungssystem wird aus verschiedenen Einzelkomponenten gebildet (Abb. 4), welche jeweils auf die zu übernehmenden Aufgaben abgestimmt werden müssen. Deckenlager (1) trennen Decke und darunterliegende Wände und leiten die Deckenlasten in tragende Wände ein. Wand- oder Stützenlager (2) trennen untere und obere Wände und übertragen die vertikalen Lasten aus den oberen Geschossen. Verbindungsmittel (3) übertragen horizontale Querkräfte sowie vertikale Zuglasten und sind schalltechnisch zu optimieren, um die mit den elastischen Lagern erreichte Verbesserung nicht durch punktuelle Schallbrücken zunichte zu machen. Beispielsweise ist von einer direkten Verschraubung zwischen Deckenbeplankung und Wandkopf abzusehen. Die schalltechnische Wirksamkeit eines Entkoppelungssystems kann lediglich durch Messungen am vollständigen System verifiziert werden. Um aufgrund der Dämmwerte einzelner Komponenten die Leistungsfähigkeit im Verbund korrekt abschätzen zu können, ist noch keine ausreichend grosse Datenbasis vorhanden.

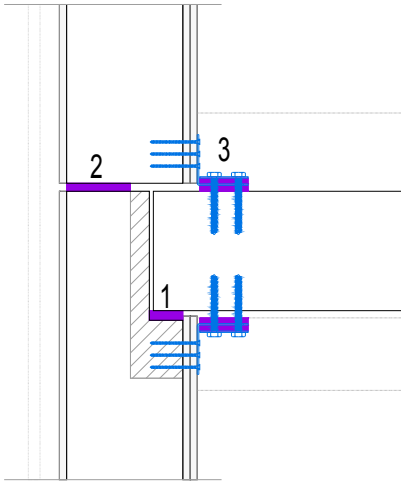


Abb. 4: Einzelkomponenten eines Entkoppelungssystems

Bei der Dimensionierung der Verbindungen muss darauf geachtet werden, dass sich die elastische Lagerung ungünstig auf die Tragfähigkeit auswirkt (Biegung stiftförmiger Verbindungsmittel durch elastische Zwischenschicht und vergrößerten Hebelarm) und sich unter Belastung höhere Verformungen einstellen. Die entsprechenden Widerstandswerte müssen durch Versuche ermittelt werden. Zudem ist zu berücksichtigen, dass Verformungen der angeschlossenen Bauteile, welche durch die elastische Lagerung entstehen, von den Verbindungen aufgenommen werden können.

Verformungen

Das für die schalltechnische Entkoppelung erforderliche elastische Verhalten der Lager am Wand-Deckenknoten führt dazu, dass sich die Lager unter Belastung einsenken. Damit diese Einsenkung nicht zu Rissen oder Beschädigungen an der Fassade und der raumseitige Bepflanzung / Bekleidung der weitgehend vorgefertigten Wände führt, müssen ausreichend dimensionierte Dehnungsfugen angeordnet werden. Um die Breite dieser Dehnungsfugen zu begrenzen, müssen wiederum die Einsenkungen der Decken- und Wand-/Stützenlager auf ein Minimum begrenzt werden. Aufgrund der unterschiedlichen Lagertypen für Decken- und Wand-/Stützenlager sowie deren unterschiedlicher Belastung treten an den Stellen 1 bis 3 gemäss Abbildung 5 auch unterschiedliche Verformungsanteile auf.

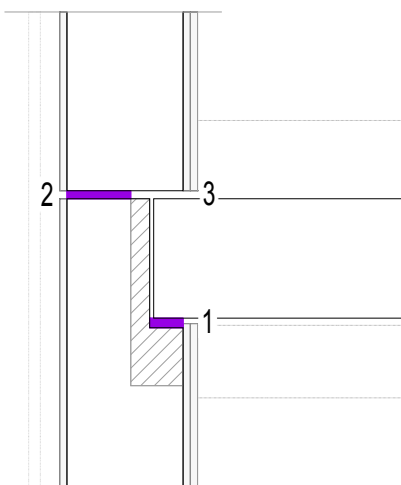


Abbildung 5: Fugenstellen beim Wand-Deckenknoten

Von der Montage der vorgefertigten Wand- und Deckenelemente bis zur Fertigstellung des Innenausbau (Bekleidungen, Bodenbeläge, Fassade) werden die Lager kontinuierlich stärker belastet und verformen sich dementsprechend. Diese Einsenkungen können durch konstruktive Massnahmen sowie die terminliche Abstimmung von Bauabläufen grösstenteils ausgeglichen werden. Im Verlauf der Gebäudenutzung erfolgt eine variierende (zu- und abnehmende) Belastung der Lager durch Nutzlasten. Zusätzliche Kriechverformungen unter ständigen Lasten fallen sehr gering aus, da sich bei den verwendeten Elastomerlagern der Grossteil des Kriechens bereits nach ca. 10 Tagen einstellt. Die maximal zulässigen Verformungen der Lager während der Nutzung sind davon abhängig, welche Bewegungen - durch eine entsprechende Detailausbildung - von Fassade und innerer Beplankung / Bekleidung aufgenommen werden können. Im Hinblick auf Toleranzen in der Fertigung und Montage sollte dieses Verformungsvermögen jedoch nicht planmässig voll ausgeschöpft werden.

Anforderungen des Brandschutzes und der Bauphysik

Im mehrgeschossigen Holzbau sind die Brandschutzvorschriften der VKF einzuhalten (Brandschutznorm und Brandschutzrichtlinien). Im Brandfall müssen Tragsicherheit sowie brandabschnittsbildende Funktionen gewährleistet sein. Es ist sicherzustellen, dass die Brandschutzfunktionen der angrenzenden Bauteile durch den Einsatz von elastischen Lagern nicht in Mitleidenschaft gezogen werden. Je nachdem, welche Anforderungen an die angrenzenden Bauteile gestellt werden, sind an den Fugenstellen des Wand-Deckenknotens Massnahmen erforderlich, welche den Brandschutz zu gewährleisten und gleichzeitig die Entkoppelung nicht beeinträchtigen.

Bezüglich Wärme- und Feuchteschutz ist darauf zu achten, dass durch den Einbau von Elastomerlagern im Wand-Deckenknoten die bereits vorhandene konstruktive Wärmebrücke nicht zusätzlich verstärkt und die Funktionsfähigkeit der Luftdichtungsschicht nicht beeinträchtigt wird. Die Lager sind somit nicht durchgehend zu konstruieren, sondern zumindest einseitig mit besser dämmendem Material zu überdecken. Zur Sicherstellung der Luftdichtigkeit ist es von Vorteil, beim Geschossübergang entsprechende Folienmaterialien einzusetzen. In gewissen Fällen könnten auch die Lager an sich für die Luftdichtigkeit eingesetzt werden. Die Eignung ist jedoch Fallweise abzuklären.

Schlussfolgerungen und mögliche Einsatzgebiete

Mit dem Einsatz von Entkoppelungssystemen im Wand-Deckenknoten kann bei entsprechenden Randbedingungen eine deutliche Steigerung der Schalldämmung erreicht werden, welche es gegebenenfalls erlaubt, auf andere Massnahmen zur Unterdrückung der Nebenwegübertragung wie vorgehängte Wandbekleidungen zu verzichten. Präzise Aussagen dazu, welche Verbesserungen im jeweiligen Fall erreicht werden können, sind zurzeit jedoch nur durch Messungen an entsprechenden Knoten möglich. Die Anwendung bedingt eine umfassende Planung des gesamten Systems unter Berücksichtigung der Eigenheiten elastischer Lager.

Ein sinnvolles Entkoppelungssystem setzt voraus, dass die Geschosdecke an sich schalltechnisch gut funktioniert. Wenn dies nicht gegeben ist, verliert das beste Entkoppelungssystem an Bedeutung, denn eine schalltechnisch schlechte Decke kann auch mit bestem Entkoppelungssystem nicht verbessert werden. Das Einsatzgebiet von Entkoppelungssystemen liegt bei Objekten, bei welchen zwischen zwei Nutzungseinheiten sowohl für Luft- als auch Trittschall die erhöhten Anforderungen für eine mittlere Lärmempfindlichkeit bei mässiger bis starker Lärmbelastung zu erfüllen sind. Die Anforderungswerte gemäss Norm SIA 181 [6] liegen somit für Luftschall bei $D_i = 55$ bzw. 60 dB und für Trittschall bei $L' = 50$ bzw. 45 dB. Deckensysteme, bei welchen aufgrund des Bauteilaufbaus die Einhaltung der Anforderungswerte bereits im Hinblick auf die direkte Schallübertragung nicht möglich oder unwahrscheinlich ist, sind für die Anwendung von Entkoppelungssystemen nicht relevant.

Auch die Mischbauweise mit tragender Stahlbetonstruktur und vorgehängten, als Holzkonstruktion ausgeführten Aussenwänden bietet sich für den Einsatz von Entkoppelungssystemen an. Insbesondere wenn sich die Verformungsproblematik durch eine stockwerkweise Anbindung der Holzelemente elegant lösen lässt.

Literatur

- [1] Dolezal, F. et al.: Flankenübertragung bei Massivholzkonstruktionen – Teil 1. Bauphysik 30, 2008, Heft 3, Ernst & Sohn Verlag, S. 143-151
- [2] Dolezal, F. et al.: Flankenübertragung bei Massivholzkonstruktionen – Teil 2. Bauphysik 30, 2008, Heft 5, Ernst & Sohn Verlag, S. 314-319
- [3] EN 12354: Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften, 2000
- [4] SCHOLL W., BIETZ H.: Integration des Holz- und Skelettbaus in die neue DIN 4109, 2004 Abschlussbericht PTB, Fraunhofer IRB Verlag ISBN 3-8167-6947-0
- [5] Pedersen, D.B.: Estimation of Vibration Attenuation through Junctions of Building Structures, Applied Acoustics 46, 1995, 285 – 305
- [6] SIA 181 (2006) Schallschutz im Hochbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA Zürich

