

Kurzfassung der Diplomarbeit

Hochschule für angewandte Wissenschaften und Kunst
Fachhochschule Hildesheim
Fakultät Bauwesen
Fachrichtung Holzingenieurwesen

Rainer Viehweg

Mat.-Nr. 354057
Hildesheim

Diplomthema
**Möglichkeiten und Grenzen des
Schallschutzes im Holztafelbau**

WS 2005/2006

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer
2. Prüfer: Dipl.-Ing. Helgo Heuer

Zusammenfassung

Die vorliegende Diplomarbeit ist in zwei Teile aufgeteilt. Im ersten Teil der Arbeit wird der Frage nachgegangen, auf welchen Wegen Körperschall von Raum zu Raum übertragen wird. Besonderes Augenmerk gilt dabei der konstruktiven Gestaltung der Stoßstelle zwischen Trennwand und Außenwand. Im Holzbau wird hierfür eine gelenkige Verbindung angenommen, worüber kein Körperschall in das benachbarte Bauteil geleitet werden kann. Die durchgeführten Schwingungsmessungen in einem Haus in Holztafelbauweise und die zugehörigen Berechnungen legen allerdings den Schluss nahe, dass diese Annahme nicht in jedem Fall zutrifft.

Die Messergebnisse müssen allerdings zum Teil angezweifelt werden, da die Messsituation aufgrund baulicher Gegebenheiten nicht Normbedingungen entsprach. Es gelingt daher nicht abschließend, die Annahme einer gelenkigen Verbindung endgültig zu bestätigen oder zu widerlegen. Teile der Ergebnisse deuten jedoch darauf hin, dass bei der untersuchten Stoßstelle eine biegesteife Verbindung vorliegen dürfte. Die Frage wird erst abschließend beantwortet werden können, wenn weitere Messungen unter Laborbedingungen und zusätzlicher Variation der konstruktiven Ausbildung der Stoßstelle durchgeführt werden.

Im zweiten Teil dieser Arbeit wurde der Schallschutz im eigenen Wohnbereich untersucht, dabei galt es, für eine Trennwand und eine Trenndecke den empfohlenen erhöhten Schallschutz zu erreichen bzw. die Grenzen dieser Bauteile aufzuzeigen. In beiden Fällen konnte der erhöhte Schallschutz konstruktiv und rechnerisch erreicht werden, sogar eine Steigerung des Schallschutzes um bis zu 3 dB war möglich.

Bei der Trennwand ist hierzu ein größerer konstruktiver Aufwand erforderlich. Hierdurch erhöht sich die Anfälligkeit für Fehler bei der Bauausführung, ein Erreichen des empfohlenen Schallschutzes kann damit gefährdet sein.

Ganz allgemein sollte Planern daher immer nahegelegt werden, den Schallschutz bereits bei der Konstruktion von Gebäuden zu berücksichtigen und die Bauausführung detailliert zu überwachen.

Abstract

The on hand diploma thesis is divided in two parts. In the first part of this work I go further into the question how structure-borne sound is carried forward from one room to another. Special attention is given to the constructive structuring of the point of contact between the separating plate and the external wall. For this purpose we use at the timber construction a flexible connection whereat the structure-borne sound can not be conducted to the proximate component. The enforced measurement of the vibrations in a timber constructed house and the related calculations prove that this account is not always applying. The results of the measurements have to be partial mistrust, because the local situation of the measurement was a nonstandart one. That is the reason why the final succeed to confirm or disprove the construct of a flexible connection is not possible. But the results of the measurement point partially out that at the tested point of contact the existenz of a flexible connection is very possible. This question can be cleared up after some more measurements which have to be done under labor conditions and additional variations of the constructive formation of the point of contact.

In the second part of this work I researched the sound insulation of the living area. My destination was to come up to the recommended elevated sound insulation and demonstrate the limit of these components. In both cases the elevated sound insulation could be reached constructive and calculative even a progression of the sound insulation up to 3 dB was possible.

In the case of the separating plate a bigger constructive complexity is necessary. Through this the sensitivity for mistakes at the construction increases and the achievement of the recommended sound insulation can be at risk.

In general the schedulers should always be advised to account for the sound insulation during the construction of buildings and to examine this construction very carefully.

Einleitung

Im Rahmen der europäischen Harmonisierung von Normen ist im September 2000 die DIN EN 12354-1 „Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften, Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen.“[4] veröffentlicht worden. Diese Norm enthält neue Festlegungen für Rechenmodelle zur Bauakustik, unter anderem wird die Konstruktionsweise von Stoßstellen berücksichtigt. Das neue Rechenverfahren wird jedoch in der überarbeiteten Version der DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau“ für den Holzbau nicht übernommen werden: Der DIN-Hauptausschuss „Normenausschuss Bauwesen“ (NABau) geht davon aus, dass die Stoßstellendämmung im Holzbau keine wesentliche Rolle spielt [B]. Es wird daher weiterhin eine gelenkige Verbindung zwischen Trennbauteil und den flankierenden Wänden angenommen und das Stoßstellendämm-Maß nicht berücksichtigt. Daher wird die flankierende Übertragung von Körperschall mit der Norm-Flankenpegeldifferenz ermittelt. Die Norm-Flankenpegeldifferenz ist die neue Bezeichnung für das Schall-Längsdämm-Maß und besitzt den gleichen Zahlenwert. Dadurch reduziert sich das neue Rechenverfahren letztlich auf das bereits in der derzeitigen DIN 4109 [1] genutzte Verfahren für den Holz- und Skelettbau.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich in einem ersten praktischen Teil (Teil A) mit der Frage, ob die Übertragungswege F_d und D_f tatsächlich vernachlässigt werden können oder berücksichtigt werden müssen. Dazu findet ein Vergleich zwischen der gemessenen und der berechneten Schalldämmung einer Trennwand statt. Die numerische Berechnung erfolgt nach der DIN EN 12354-1 mit Beachtung aller Übertragungswege (F_f , F_d , D_f). Für die Berechnung werden unter anderem Stoßstellendämm-Maße benötigt. Da zur Zeit hierzu keine Daten für den Holzbau existieren, werden diese Werte mit Hilfe von Schwingungsmessungen in einem Holztafelbau ermittelt.

Im zweiten, theoretischen Teil der Arbeit (Teil B) werden die Grenzen des Schallschutzes aufgezeigt, indem allgemein überprüft wird, ob der erhöhte Schallschutz im eigenen Wohnbereich nach DIN 4109 Beiblatt 2 erreicht werden kann bzw. wie weit dieser übertroffen werden kann.

Teil A - Schallschutzmessungen am bestehenden Gebäude

Für die Messungen stellte die Firma Haacke (HAACKE + HAACKE GmbH + Co. KG, Celle) ein Haus Typ 'Jubiläumshaus' zur Verfügung, das in einem Musterhauspark am Flughafen Hannover steht. Messungen konnten nur an zwei Tagen pro Woche erfolgen, da an den anderen Tagen der Park für Besucher offen stand.

Die Messungen wurden im ersten Obergeschoss des in Holztafelbauweise erstellten zweistöckigen Hauses durchgeführt. Die Räume hatten Grundflächen von ca. 16 m² und waren durch eine doppelt beplankte Einständerwand getrennt.

In der ersten Messwoche wurden die Schwingungsmessungen durchgeführt, die jedoch mehr Zeit in Anspruch nahmen als angenommen. Deshalb konnten nur die Messungen für das Stoßstellendämm-Maß K_{Ff} und K_{Fd} für die flankierende Außenwand durchgeführt werden. In der folgenden Woche wurde das fehlende Stoßstellendämm-Maß des Übertragungswegs D_f gemessen, auf die Schwingungsmessungen der anderen flankierenden Wände musste verzichtet werden. Zusätzlich wurde das Stoßstellendämm-Maß K_{Ff} ermittelt, jedoch erfolgte die Anregung durch Luftschall und nicht wie bei den anderen Schwingungsmessungen mit dem Shaker. Abschließend wurde die Luftschalldämmung der Trennwand gemessen.

Messung der Luftschalldämmung

Die Durchführung von Messungen der Luftschalldämmung am Bau und die Berechnung der Bau-Schalldämm-Maße ist in der DIN EN ISO 140 Teil 4 beschrieben. Die mit diesen Verfahren ermittelten Bau-Schalldämm-Maße R' sind durch die Schallpegeldifferenz D frequenzabhängig.

Diese Werte können unter Anwendung der DIN EN ISO 717 Teil 1 in das bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w umgewandelt werden, das die akustische Leistungsfähigkeit charakterisiert. Durch Computerprogramme wird das bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w automatisch berechnet, erforderlich sind nur einzelne Parameter (Fläche der Trennwand und Volumen des Empfangsraum), die eingegeben werden müssen.

Messung und Messaufbau der Stoßstellendämm-Maße

Für die Durchführung der Messungen der Stoßstellendämm-Maße an bestehenden Gebäuden existiert keine Norm, daher wird auf die DIN EN ISO 10848 Teil 1-2 zurückgegriffen, die die Messungen der Flankenübertragung von Luftschall und Trittschall zwischen benachbarten Räumen in Prüfständen betrifft. Das Stoßstellendämm-Maß K_{ij} wird danach durch folgende Gleichung ermittelt:

$$K_{ij} = \overline{D_{v,ij}} + 10 \lg \frac{l_{ij}}{\sqrt{S_i S_j}} \quad [\text{dB}]$$

Hierbei bedeutet:

S_i, S_j Fläche eines Bauteils im Senderraum i bzw. im Empfangsraum j in m^2

Für die Berechnung muss nur die richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz $\overline{D_{v,ij}}$ gemessen werden. Diese wird aus dem Mittelwert der Schnellepegeldifferenzen $D_{v,ij}$ und $D_{v,ji}$ berechnet. Jede Schnellepegeldifferenz wird durch Anregung eines Bauteils i und durch Messung des flächengemittelten Schnellepegels beider Bauteile i und j ermittelt. Die Berechnung ist frequenzabhängig, daher wird für jede Terz (von der Norm vorgegeben: 200 Hz – 1250 Hz) das Stoßstellendämm-Maß K_{ij} ermittelt und am Ende daraus eine Einzahlangabe gebildet.

Die Anregung des Bauteils erfolgte zum einen mit einer elektrodynamischen Anregungsvorrichtung (Shaker) des Typs Brüel & Kjaer (B&K) 4810 und zum anderen über Luftschallanregung mit dem Dodekaederlautsprecher. Der Shaker wurde auf ein Stativ aufgeschraubt und an das anzuregende Bauteil angelehnt.

Die Abstände zwischen Anregung und Bauteilbegrenzungen konnten jedoch nicht eingehalten werden, da Einbauschränke, fest verschraubte Regale und Fenster bereits montiert waren. Trotzdem wurde, wie auch bei den Beschleunigungsaufnehmern, versucht, die Anregungs- bzw. Messpunkte unsymmetrisch auf den Ständern und im Gefach zu verteilen.

Die Aufnahme der Schwingungen erfolgte über piezo-elektrische Beschleunigungsaufnehmer vom Typ B&K 4384 (Gewicht: 11g) und vom Typ B&K 4370V (Gewicht: 54g). Die Aufnehmer besitzen Quarzelemente, die bei Zug und Druck elektrische Ladungen abgeben (piezo-elektrischer Effekt).

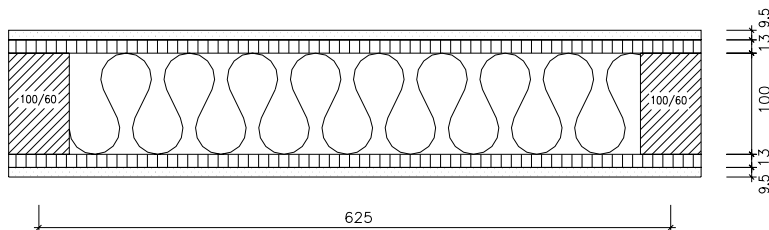
Die Beschleunigungsaufnehmer wurden mit einem Beschleunigungskalibrator des Typs B&K 4294 kalibriert, der eine Beschleunigung von 10 m/s^2 bei einer Frequenz von 160 Hz erzeugt. Die Befestigung erfolgte über angeschraubte Metallscheiben an den Wänden und Magneten an den Aufnehmern. Bei den Messpunkten auf den Wänden hätten Mindestabstände eingehalten werden müssen, die aber aus den beschriebenen Gründen zum größten Teil nicht eingehalten werden konnten.

Wand- und Deckenkonstruktion

Als Prüfräume wurden Raum 1 und Raum 2, im weiteren auch als Kinder- und Elternschlafzimmer bezeichnet, ausgewählt. Diese liegen im Dachgeschoss nebeneinander. Im Folgenden werden die maßgebenden Konstruktionen und Stoßstellenausbildungen dargestellt.

Trennwand

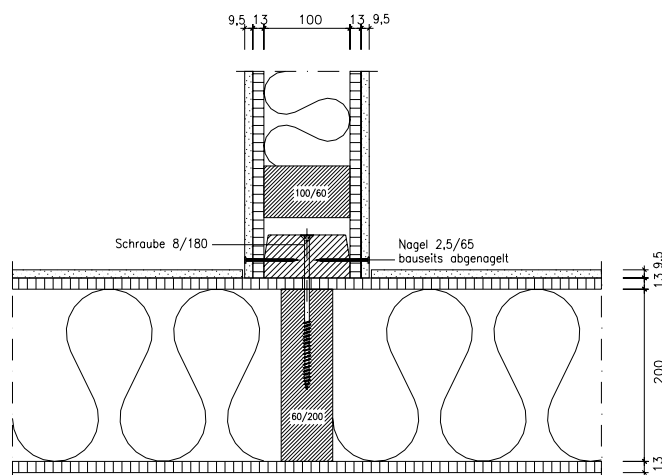
Die Trennwand ist ein Holzständerwerk mit einer beidseitigen Doppelbeplankung. Die äußere Beplankung ist eine Gipskarton-Bauplatte mit einer Dicke von 9,5 mm, die innere Beplankung ist eine 13 mm dicke V20 Spanplatte. Das Gefach ist mit einem Mineralfaserdämmstoff gefüllt.



Trennwandaufbau (Angaben in mm)

Außenwand

Die raumseitige Doppelbeplankung der Außenwand besteht ebenfalls aus einer V20 Spanplatte und einer Gipskarton-Bauplatte (GKB), wobei die GKB-Platte im Bereich des Stoßes unterbrochen ist. Im Werk wird an der Stoßstelle ein Stiel mit fünf Schrauben befestigt, auf der Baustelle wird die Trennwand dann vorgestellt. Die Beplankung der Trennwand wird anschließend mit diesem Stiel vernagelt. Im Gefach der Außenwand ist wiederum Mineralfaserdämmstoff.



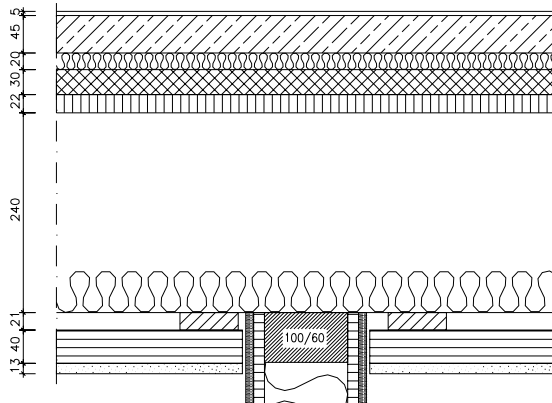
Außenwandaufbau und Stoßstellenbildung (Angaben in mm)

Innenwand

Die flankierende Innenwand entspricht im Aufbau der Trennwand. Die Befestigung an die Trennwand erfolgt über fünf Schlüsselschrauben, die auf der Baustelle durch den Stiel der Innenwand und den Anfangsstiel der Trennwand geschraubt werden. Die GKB-Platte der Innenwand ist im Anschlussbereich der Trennwand unterbrochen.

Decke

Der Deckenbalken (Kehlbalken) verläuft rechtwinklig zur Trennwand. Im Anschlussbereich an die Trennwand ist die Unterkonstruktion unterbrochen, sodass die Balken direkt auf dem Rähm aufliegen. Auf der Konterlattung, die bauseits angebracht wird, wird eine 12,5 mm dicke GKB-Platte befestigt. Der Deckenhohlraum wird mit 100 mm dickem Mineraldämmstoff ausgefüllt.



Deckenaufbau und Stoßstellenausbildung (Angaben in mm)

Fußboden

Die Trennwand steht direkt auf einer 22 mm starken OSB-Platte, der darüber liegende Aufbau (Hartschaum-Dämmplatte, Trittschalldämmplatte und Zementestrich) wird durch die Trennwand geteilt.

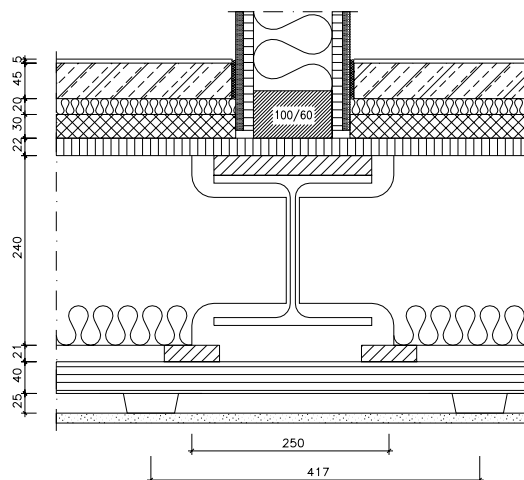


Abbildung 0-1: Fußbodenaufbau und Stoßstellenausbildung (Angaben in mm)

Messergebnis des Bau-Schalldämm-Maß

Das Ergebnis der Luftschalldämmung der Trennwand ergab ein bewertetes Bau-Schalldämm-Maß von $R'_w = 44$ dB.

Messdurchführung und Messergebnis des Stoßstellendämm-Maß

Die Schwingungsmessungen wurden für die Außenwand durchgeführt, sodass nur drei Übertragungswege von zwölf möglichen betrachtet wurden.

Für jedes Stoßstellendämm-Maß mit Shakeranregung wurden 18 Messungen durchgeführt: Für die drei verschiedenen Shakerpositionen pro Raum gab es jeweils drei Aufnehmerpositionen, die Anregung wurde nacheinander von beiden Trennwandseiten durchgeführt.

Beim Stoßstellendämm-Maß mit Luftschallanregung wurden sechs Messungen pro Raum durchgeführt, zwei Schallquellenpositionen und dazu jeweils drei Mikrofonpositionen.

Die Schnellepegel wurden für die Frequenzen 50 – 5000 Hz gemessen, wobei zur Berechnung des Stoßstellendämm-Maßes gemäß der Norm DIN ISO 10848 nur Frequenzen von 200 – 1250 Hz relevant sind.

Die Messungen und die hierdurch ermöglichten Berechnungen ergaben folgende Stoßstellendämm-Maße:

- $K_{Ff, \text{Luftschallanregung}} = 15$ dB
- $K_{Ff, \text{Shakeranregung}} = 15$ dB
- $K_{Fd} = 16$ dB
- $K_{Df} = 19$ dB

Mit hohen Werten für Stoßstellendämm-Maßen sind niedrige Körperschallübertragungen verbunden, hohe Werte sind daher anzustreben. Je besser ein flankierendes Bauteil vom trennenden Bauteil konstruktiv getrennt wird, desto mehr steigen z.B. die Stoßstellendämm-Maße K_{Fd} und K_{Df}

Numerische Berechnung des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes R'_w

Im vorhergehenden Kapitel wurde das bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w über Messungen ermittelt. Im Folgenden wird nun das bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w gemäß der neuen DIN EN 12354-1 nach dem vereinfachten Modell und nach der alten DIN 4109 berechnet.

Die Berechnung wird mit Hilfe des Bauteilkatalogs der alten DIN 4109 durchgeführt, damit können nur fünf Übertragungswege beachtet werden. Für die neue Berechnungsweise werden die Stoßstellendämm-Maße K_{ij} benötigt (vier davon konnten gemessen werden, für die übrigen mussten Annahmen getroffen werden), durch die verwendeten Formeln werden alle 13 Übertragungswege beachtet.

Die Berechnung nach der DIN EN 12354-1 wurde ein bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_{w} von 45 dB berechnet.

Dieses Ergebnis weicht um 1 dB vom gemessenen Wert ab. Die Ungenauigkeit ist wahrscheinlich auf die Annahmen, die für einige Werte getroffen werden mussten und/oder auf die gemessenen Stoßstellendämm-Maße zurückzuführen, da diese nicht unter optimalen Bedingungen ermittelt werden konnten.

Bei der Berechnung nach der DIN 4109 wurde für die Trennwand eine Korrektur um +2 dB vorgenommen, da der Schalenabstand der realen Trennwand 40 cm größer ist als der im Katalog aufgeführte. Als Ergebnis kam ein bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_{w} von 44 dB heraus.

Dieses Ergebnis entspricht dem gemessenen Wert im Haacke-Haus. Wird bei der Berechnung für die Trennwand stattdessen ein unkorrigiertes bewertetes Schalldämm-Maß $R_{w,R}$ von 46 dB eingesetzt, wie es in der Norm steht, wird nur ein bewertetes Bau-Schalldämm-Maß $R'_{w,R}$ von 43 dB erreicht. Bei großen Unterschieden zwischen Bauteilkatalog und den eingebauten Wandkonstruktionen ist ein genaues Ergebnis nicht mehr gewährleistet.

Analyse der Mess- und Berechnungsergebnisse

Bei den Messungen mussten viele Kompromisse eingegangen werden, eine klare Aussage über die Ergebnisse ist daher schwer zu treffen. Welche Auswirkungen die Unterschiede zwischen der vorgefundenen Situation und den Normbedingungen gemäß DIN EN ISO 10848 auf das Messergebnis haben, lässt sich nur sehr schwer abschätzen. Messungenauigkeiten sind jedoch mit hoher Wahrscheinlichkeit durch die Möblierung entstanden. Dadurch wurde in erhöhtem Maße Wellenenergie schon außerhalb der Stoßstelle abgebaut. Schwingungen wurden auch durch das Fenster in Raum 1 beeinflusst, das direkt neben der Stoßstelle eingebaut war. Durch das Fenster und die Möblierung waren auch die Bereiche zur Positionierung der Aufnehmer und des Shakers sehr stark eingeschränkt. Dadurch konnten die Mindestabstände zwischen Shaker und Aufnehmer sowie die Abstände zu den Rändern der Bauteile zum größten Teil nicht eingehalten werden.

Probleme bereitete auch der hohe Grundgeräuschpegel, der durch die angrenzende Autobahn, den Flughafen und zeitweise auch durch die Firma MTU (Triebwerkslärm) entstand. Dies hatte zur Folge, dass der Pegel in angeregtem Zustand im tieffrequenten Bereich im Empfangsraum kaum höher als der Grundgeräuschpegel war.

Trotz dieser Einschränkungen werden im folgenden Kapitel die Messergebnisse diskutiert und näher betrachtet.

Analyse der Messergebnisse

Die durchgeführten Messungen haben die beiden Einzahlangaben der Stoßstellendämm-Maße K_{Ff} für die verschiedenen Anregungsarten geliefert. Ein Vergleich zeigt, dass die Werte gleich sind:

$$K_{Ff, \text{Luftschallanregung}} = K_{Ff, \text{Shakeranregung}} = 15 \text{ dB}$$

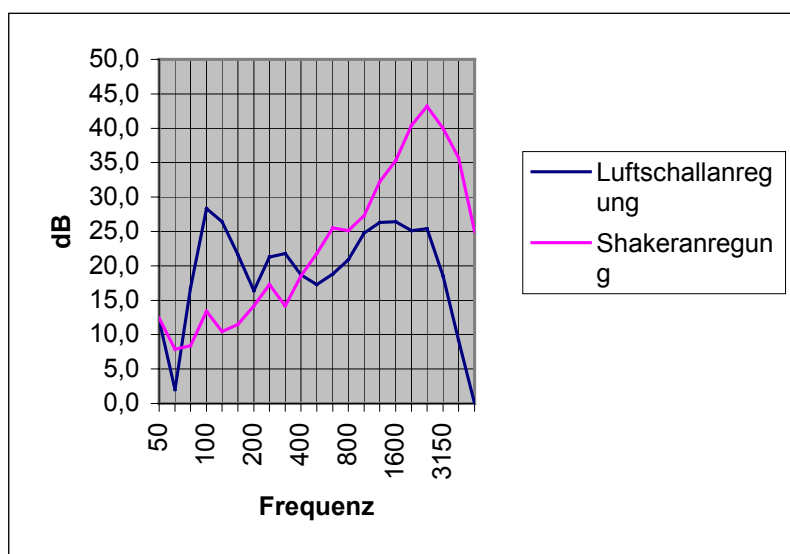
Im Holzbau wird allgemein angenommen, dass Stoßstellen von Trennwand und flankierender Wand gelenkig ausgebildet sind. In so einem Fall überträgt die Verbindung keinen Körperschall. Die Schallübertragung von der Trennwand auf die flankierende Wand (und umgekehrt) ist dann unterbunden.

Identische K_{Ff} bei unterschiedlicher Anregungsart sind ein Zeichen für eine gelenkige Verbindung, da durch eine Stoßstelle die Schallenergie nicht beeinflusst wird.

Wäre die Trennwand „biegesteif“ an die flankierende Wand angeschlossen, so hätte das Stoßstellendämm-Maß mit Shakeranregung einen höheren Wert ergeben müssen als mit Luftschallanregung ($K_{Ff, \text{Shaker}} > K_{Ff, \text{Luftschall}}$). Der Grund dafür ist, dass bei Shakeranregung zwar nur die Außenwand angeregt wird, jedoch über die biegesteife Stoßstelle Körperschall in die Trennwand übertragen und dadurch die Schallenergie verteilt wird. Dies hat zur Folge, dass weniger Körperschall in der flankierenden Wand des Empfangsraumes ankommt. Daraus ergibt sich bei biegesteifer Verbindung eine höhere Schnellepegeldifferenz und daher auch ein höheres Stoßstellendämm-Maß.

Bei der Anregung einer biegesteifen Verbindung mit Luftschall werden alle Wände angeregt, dadurch wird nicht nur wie bei der Shakeranregung Körperschall von der flankierenden Wand in die Trennwand übertragen, sondern auch in entgegengesetzter Richtung. Durch den „Austausch“ von Körperschall an der Stoßstelle wird sich ein ähnliches Stoßstellendämm-Maß wie bei einer gelenkigen Anbindung ergeben.

Aufgrund der verwendeten Konstruktion der Stoßstelle ist deshalb die Schlussfolgerung der Annahme einer gelenkigen Verbindung anzuzweifeln: Werden auch die Schnellepegeldifferenz verglichen (und nicht nur die beiden Einzahlangaben der Stoßstellendämm-Maße K_{Ff}), ergeben sich andere Schlussfolgerungen.



Schnellepegeldifferenz $D_{v,ij}$; gemessen von Raum 1 zu Raum 2

Im Diagramm sind die Schnellepegeldifferenzen als Kurven eingetragen, im Bereich bis 400 Hz liegt der Verlauf der Kurve durch Luftschallanregung über der Kurve für Shakeranregung, danach darunter. Diese Kurvenverläufe sind überraschend. Plausibel wäre nur ein Kurvenverlauf, bei dem die beiden Differenzen gleich sind (bei gelenkiger Verbindung) oder die Schnellepegeldifferenz durch Luftschall kleiner als die durch Shakeranregung wäre (bei biegesteifer Verbindung). Dieser Fehler kann möglicherweise auf den zu geringen Abstand zum Grundgeräuschpegel zurückgeführt werden.

Ab einer Frequenz von 500 Hz, ab der der Störpegel wesentlich niedriger war als der gemessene Pegel, ist die Schnellepegeldifferenz durch Shakeranregung größer als die durch Luftschallanregung. Die größere Differenz bedeutet, dass über die Stoßstelle die Trennwand angeregt wurde und so Schallenergie abgebaut wurde. Wird nun angenommen, dass bei den Frequenzen 200-400 Hz der Kurvenverlauf fehlerhaft ist und eigentlich über der Kurve der Luftschallanregung liegen müsste, dann ist folglich die Einzahlangabe des Stoßstellendämm-Maßes falsch. Damit folgt, dass es sich eher um eine biegesteife Verbindung handeln dürfte.

Für eine biegesteife Verbindung spricht auch das Stoßstellendämm-Maß K_{Fd} . Würde kein Körperschall über die Stoßstelle in die Trennwand eingeleitet werden, so müsste eine große Schnellepegeldifferenz entstehen, da der Aufnehmer auf der Trennwand so gut wie keine Schnellepegel messen würde. Errechnet wurde ein Wert von $K_{Fd} = 16$ dB. Wird anstatt der gemessenen gemittelten Schnellepegel L_v im Empfangsraum der Grundgeräuschpegel der Trennwand eingesetzt, so erhöht sich das Stoßstellendämm-Maß auf $K_{Fd} = 27$ dB. Da der gemessene Wert von K_{Fd} kleiner als der theoretische Wert von 27 dB ist, liegt ein weiteres Anzeichen für eine biegesteife Verbindung vor.

Für das Stoßstellendämm-Maß K_{Df} trifft diese Überlegung genauso zu, der Wert für K_{Df} liegt allerdings um 3 dB höher als das Stoßstellendämm-Maß K_{Fd} . Eine Erklärung für die Differenz ist möglicherweise darin zu suchen, dass die Körperschallübertragung von der Trennwand auf die schwerere Außenwand (Weg Df) schwieriger ist als von der Außenwand auf die leichte Trennwand (Weg Fd).

Bei Betrachtung der Schnellepegel für den Weg Df fällt auf, dass die Werte an den 3 verschiedenen Aufnehmerpositionen im Senderraum (Raum 1 oder Raum 2) um bis zu 35 dB voneinander abweichen. Bei den anderen Messungen (K_{Fd} , K_{Ff}) sind Schwankungen zwischen den Schnellepegeln von bis zu 20 dB vorhanden. Ein Grund hierfür dürfte die nicht normgerechte Positionierung der Aufnehmer und des Shakers auf der Trennwand sein. So ist z.B. bei der letzten Messung der Abstand zwischen Anregungspunkt und Aufnehmer im Senderraum zu gering (48 cm, gefordert ist 1m), der Abstand zum Aufnehmer im Empfangsraum ist zu weit. Das Ergebnis wird durch das vorhandene, fest an der Trennwand fixierte Regal und die durch das Regal verursachte falsche Positionierung der Messgeräte verfälscht. Der Einfluss der Stoßstelle auf den Körperschall kann daher nicht isoliert ermittelt werden. Das Stoßstellendämm-Maß von $K_{Df} = 19$ dB ist deshalb anzuzweifeln.

Analyse der Berechnungsergebnisse

Das Berechnungsergebnis für das bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w nach der DIN EN 12354-1 weicht mit 45 dB um 1 dB von dem gemessenen Wert (44 dB) ab. Eine Verbesserung des R'_w lässt sich durch eine Korrektur des gemessenen Stoßstellendämm-Maßes K_{Df} erzielen: Werden alle kritischen Schnellepegel (Messausreißer) von der Berechnung des Stoßstellendämm-Maßes ausgenommen, so wird ein Stoßstellendämm-Maß von $K_{Df} = 16$ dB errechnet. Bei der Neuberechnung des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes R'_w wird damit ein Wert von $R'_w = 44$ dB errechnet, der mit dem tatsächlich gemessenen Wert übereinstimmt.

Werden, wie nach neuer Norm erlaubt, die Übertragungswege Fd und Df vernachlässigt und nur der Übertragungsweg Ff in der Berechnung berücksichtigt, ergibt sich ein bewertetes Bau-Schalldämm-Maß R'_w von 46 dB. Es ergibt sich eine Abweichung von 2 dB, damit dürfen die Wege Fd und Df in diesem Fall nicht vernachlässigt werden.

Zusammenfassung der Auswertung und Ausblick

Eine abschließende Beantwortung der Frage, ob allgemein im Holzbau eine gelenkige Verbindung zwischen Trennwand und flankierender Wand angenommen werden darf, kann nicht getroffen werden: dazu sind die gemessenen Ergebnisse zu ungenau. Es deutet jedoch vieles darauf hin, dass die untersuchte Stoßstelle keine gelenkige Verbindung darstellt, allein schon die konstruktive Ausbildung der Stoßstelle spricht dafür.

Teil B - Maßnahmen zur Verbesserung des Schallschutzes

Aus öffentlich-rechtlicher Sicht gibt es keine Anforderungen an den Schallschutz im eigenen Wohn- oder Arbeitsbereich, trotzdem ist Schallschutz aus Gründen der Wahrung der Intimsphäre, zur Ermöglichung unterschiedlicher Freizeitgestaltungen oder aufgrund unterschiedlicher Ruhezeiten einzelner Bewohner erforderlich. Um diesen Ansprüchen der Nutzer gerecht zu werden, wurden im Beiblatt 2 der DIN 4109 Empfehlungen für den normalen und erhöhten Schallschutz aufgelistet. Für Wände und Decken sind die Werte in folgender Tabelle dargestellt.

Bauteile	Empfehlungen für den normalen Schallschutz erf. R'_w in dB	Empfehlungen für den erhöhten Schallschutz erf. R'_w in dB	Bemerkungen
Decken in Einfamilienhäusern, ausgenommen Kellerdecken und Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen	50	≥ 55	bei Decken zwischen Wasch- und Aborträumen nur als Schutz gegen Trittschallübertragung in Aufenthaltsräumen
Wände ohne Türen zw. „lauten“ und „leisen“ Räumen unterschiedlicher Nutzung, z.B. zw. Wohn- und Kinder-schlafzimmer	40	≥ 47	

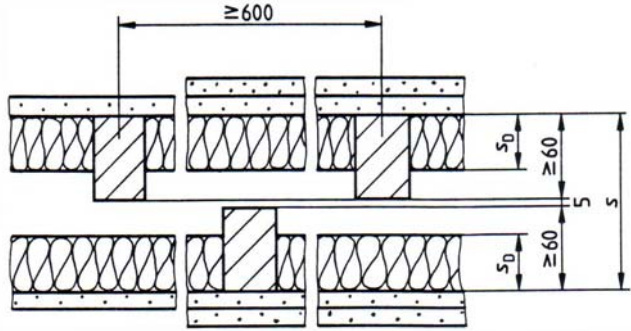
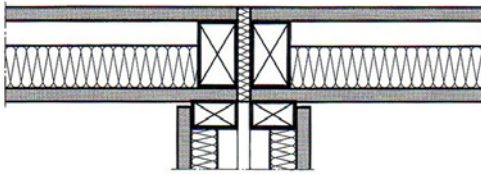
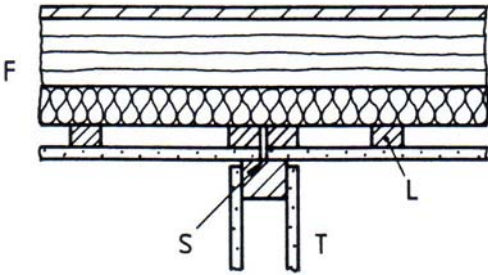
Empfehlungen für normalen und erhöhten Schallschutz von Decken und Wänden innerhalb des eigenen Wohnbereichs nach DIN 4109 Beiblatt 2

Anhand des Bauteilkatalogs der DIN 4109 wird in den folgenden Kapiteln gezeigt und rechnerisch nachgewiesen, wie der erhöhte Schallschutz im Holzbau für Trennwände und Trenndecken erreicht werden kann.

Erhöhter Schallschutz einer Trennwand

Im folgenden Berechnungsbeispiel wird eine Trennwand betrachtet, die zwei nebeneinander liegende Räume voneinander trennt. Beide Räume haben eine Grundfläche von 25 m² und eine Raumhöhe kleiner 3 m.

Der Aufbau der Trennwand und der flankierenden Bauteile sowie die benötigten Rechenwerte des bewerteten Schalldämm-Maßes sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

trennendes Bauteil	Anzahl der Lagen je Schale	Mindestschalenabstand s [mm]	Mindest-Dämmschichtdicke s_D [mm]	$R_{w,R}$ [dB]
Trennwand				
	2	125	40	60
flankierende Bauteile		Ausführung		$R'_{L,w,R}$ [dB]
Innenwand				
	im Elementstoß ES liegt ein Faserdämmstoff, daher kein direkter Kontakt zwischen den beiden flankierenden Teilen			62
Außenwand				
		für Außenwände aus biegeweichen Schalen und Unterkonstruktionen aus Holz (...) gilt als Rechenwert das bewertete Schall-Längsdämm-Maß $R'_{L,w,R} = 50$ dB ohne weiteren Nachweis [6]		50
Decke				
	die Deckenbekleidung ist im Anschlussbereich unterbrochen			51
Fußboden				

	Fußboden: Spanplatte auf 25 mm Mineralfaserplatten Trennwand rechtwinklig oder parallel zum Deckenbalken	65
F flankierende Holz balkendecke T Anschluss an Trennwand		

Zur Berechnung wird folgende Formel aus DIN 4109 verwendet:

$$R'_{w,R} = -10 \lg \left(10^{-R_{w,R}/10} + \sum_{i=1}^n 10^{-R'_{L,w,Ri}/10} \right)$$

$$R'_{w,R} = -10 \lg \left(10^{-60/10} + \left(10^{-62/10} + 10^{-50/10} + 10^{-51/10} + 10^{-65/10} \right) \right)$$

$$\underline{\underline{R'_{w,R} = 47 \text{ dB}}}$$

Mit den oben dargestellten Bauteilen lässt sich also ein erhöhter Schallschutz im Holzbau realisieren, da die Bedingung

$$\text{erf. } R'_w \leq R'_{w,R} \quad \text{mit erf. } R'_w = 47 \text{ dB}$$

eingehalten wird.

Wird ein höheres resultierendes Schalldämm-Maß $R'_{w,R}$ gewünscht, so ist es sinnvoll, die Verbesserung am schwächsten Glied der Kette zu beginnen, denn das resultierende Schalldämm-Maß $R'_{w,R}$ kann nie besser sein als der kleinste Wert aus $R_{w,R}$ und den $R_{L,w,Ri}$.

Das schwächste Glied in dem Berechnungsbeispiel ist die Außenwand. Die Möglichkeiten, an einer Holztafel-Außenwand schalltechnisch etwas zu verändern sind gering, dazu kommt, dass in der DIN 4109 kein Ausführungsbeispiel vorhanden ist und deshalb unklar ist, wie die Außenwand aufgebaut werden soll.

Eine Erhöhung des Rechenwertes des bewerteten Schall-Längsdämm-Maßes $R_{L,w,Ri}$ durch:

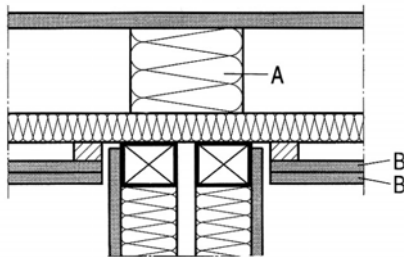
1. eine Unterbrechung der raumseitigen Beplankung im Anschlussbereich oder
2. sogar eine vollkommene Unterbrechung des Wandelementes im Anschlussbereich wie bei der Innenwand

ist aus statischer Sicht nicht möglich. Um doch bessere Schallschutzwerte zu erhalten wurden die einzelnen Baustoffe und Bauteile betrachtet. Die größte Verbesserung wurde durch eine konstruktive Veränderung der Decke erreicht.

Bei Decken entscheidet die Lage der Deckenbalken und der Trennwand über das bewertete Schall-Längsdämm-Maßes $R_{L,w,R}$.

Verlaufen Deckenbalken und Trennwand parallel, kann die Schalldämmung dadurch erhöht werden, dass zwei Deckenbalken anstatt einem über der Trennwand angeordnet werden. Die Deckenbalken müssen wie bei der Innenwand im Elementstoß mit einem Faserdämmstoff getrennt werden, sodass kein direkter Kontakt zwischen den beiden Deckenteilen entsteht. Je nach Ausführung der Wand (Einfach- oder Doppelständerwand) kann ein $R_{L,w,R}$ von bis zu 62 dB erreicht werden.

Liegen Deckenbalken und Trennwand rechtwinklig zueinander, kann die völlige Trennung der oberen flankierenden Decke nach folgender Abbildung erreicht werden.



Aufbau einer Decke, zweilagige Gipsfaserplatten 10 mm (B), im Anschlussbereich unterbrochen

Die Doppelständer-Trennwand unterbricht die zweilagige Bekleidung der Decke. Zusätzlich wird durch ein Absorberschott (A) über der Trennwand die Längsübertragung im Deckenhohlraum stark reduziert. Das Absorberschott sollte eine Breite von 100mm besitzen und aus einem mineralischen Faserdämmstoff (MiFa) mit einem längenbezogenen Strömungswiderstand $\Xi \geq 5 \text{ kN*s/m}^4$ bestehen. Durch diese Maßnahmen wird das bewertete Schall-Längsdämm-Maß $R_{L,w,R}$ von 51 dB auf 61 dB gesteigert.

Allein durch diese Verbesserung des zweitschlechtesten Wertes im Berechnungsbeispiel kann eine Verbesserung des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes um 2 dB ($R'_{w,R} = 49$) erreicht werden.

Zusammenfassung

Die wesentlichen Verbesserungen für die Schalldämmung von trennenden Wänden lässt sich erzielen durch:

- Erhöhung der Masse der biegeweichen Beplankungen
- Entkopplung der Beplankung vom Stiel
- größtmöglichen Schalenabstand (Doppelständerwand).

Für flankierende Bauteile wird eine Verbesserung erreicht durch:

- Erhöhung der Masse der biegeweichen Beplankungen
- Unterbrechung des flankierenden Bauteils in gesamter Dicke an der Stoßstelle.

Erhöhter Schallschutz einer Trenndecke

In der folgenden Betrachtung liegen die zwei Räume nun übereinander, dabei unterbricht die trennende Holzbalkendecke die flankierenden Wände, sodass kein direkter Kontakt zwischen der oberen und unteren Wand besteht. Die geschosshohen Wandtafeln sind in Europa am weitesten verbreitet, daher findet kein Berechnungsbeispiel für haushoch durchgehende Wände statt, diese Bausituation für den Schallschutz zudem extrem ungünstig.

Für die Trenndecke wird folgender Aufbau nach DIN 4109 gewählt:

Trenndecke	Fußbodenaufbau	Unterdecke		R _{w,R} dB
		Anschluss der Holzlatten an Balken	Anzahl der Beplankungslagen	
	Spanplatten auf mineralischem Faserdämmstoff	über Federbügel oder Federschiene	2	62
1 Spanplatte nach DIN 68763, gespundet oder mit Nut und Feder 2 Holzbalken 3 Gipskartonplatten nach DIN 18180 4 Trittschalldämmplatte nach DIN 18165 Teil 2, Anwendungstyp T oder TK, dynamische Steifigkeit s' ≤ 15 MN/m³ 5 Faserdämmstoff nach DIN 18165 Teil 1, längenbezogener Strömungswiderstand ≥ 5 KN*s/m² 7 Unterkonstruktion aus Holz 8 Mechanische Verbindungsmittel oder Verleimung 9 Bodenbelag				

„Für innere und äußere flankierende Wände mit Unterkonstruktion aus Holz (...) gilt als Rechenwert das bewertete Schall-Längsdämm-Maß R_{L,w,R} = 65 dB, wenn diese Wände durch die Holzbalkendecke unterbrochen sind und kein direkter Kontakt zwischen der oberen und unteren Wand besteht.“ [DIN 4109, Beiblatt 1, Abschnitt 7.2.2]

$$R'_{w,R} = -10 \lg \left(10^{-R_{w,R}/10} + \sum_{i=1}^n 10^{-R'_{L,w,R_i}/10} \right)$$

$$R'_{w,R} = -10 \lg (10^{-62/10} + 4 * 10^{-65/10})$$

$$\underline{\underline{R'_{w,R} = 57 \text{ dB}}}$$

Auch der erhöhte Schallschutz einer Trenndecke

$$\text{erf. } R'_{w} \leq R'_{w,R} \quad \text{mit erf. } R'_{w} = 55 \text{ dB}$$

lässt sich, wie die obere Berechnung beweist, erreichen. Verglichen mit einer Trennwand ist der Aufwand, den erhöhten Schallschutz einer Trenndecke zu erreichen, geringer.

Es reicht eine doppelte Beplankung der Unterdecke aus, die für eine hohe Masse sorgt und gleichzeitig biegeweich ist. Der Anschluss an die Deckenbalken erfolgt über Federschienen, sodass eine Entkopplung zwischen Beplankung und Holzbalken erreicht wird. Die Schallbrücke "Holzbalken" ist dadurch unterbrochen. Der große Beplankungsabstand und die Dämmung im Gefach sorgen für ein gutes Masse-Feder-System mit niedriger Resonanzfrequenz.

Die größte Verbesserung der Schallschutzwerte wird durch eine konstruktive Veränderung der Decke erreicht. Im vorliegenden Berechnungsbeispiel kann das bewertete Schalldämmmaß der Decke durch eine Erhöhung der flächenbezogenen Masse der Oberdecke erhöht werden. Wird anstatt der Oberdecken-Spanplatte ein schwimmender Estrich mit einer Dicke von 50 mm verlegt, so wird das bewertete Schalldämm-Maß $R_{w,R}$ um 5 dB auf 65 dB erhöht. Dadurch ergibt sich eine Gesamtverbesserung des bewerteten Bau-Schalldämm-Maß um 3 dB.

$$R'_{w,R} = -10 \lg(10^{-65/10} + 4 * 10^{-65/10}) = 58 \text{ dB}$$

Fazit zu Maßnahmen zur Verbesserung des Schallschutzes

Der empfohlene erhöhte Schallschutz kann anhand des Bauteilkatalogs der DIN 4109 in für Trennwände und Trenndecken erreicht werden. Durch konstruktive Verbesserungen der Bauteile ist eine Steigerung des bewertetes Bau-Schalldämm-Maßes $R'_{w,R}$ um bis zu 3 dB möglich. Dies entspricht immerhin einer Halbierung der empfundenen Lautstärke von Geräuschen aus angrenzenden Räumen und sollte daher bei jedem Neubau eines Holztafelbaus dem Bauherren durch den Architekten nahe gelegt werden.