



## Schallschutz von Gebäuden in Holzmodul- bauweise

Ermittlung von Planungsdaten  
für einen Bauteilkatalog  
zur Integration in DIN 4109

Prof. Dr.-Ing. Andreas Rabold  
Stefan Bacher  
Norbert Sack  
Stefan Griebhammer  
Beate Mooser  
Silas Pfattheicher

Nachweis des  
Schallschutzes von  
Holzmodulen vereinfacht

Bauteilkatalog von  
Holzmodulen für Schall-  
schutznorm erarbeitet

Holzmodulhersteller  
bauen auf Forschung der  
TH Rosenheim und des  
ift Rosenheim

# Kurzfassung

Die Fertigung mit Raummodulen aus Holz (Holzmodulbau) ist ein vielversprechender Ansatz für Marktbereiche, in denen der Holzbau bisher kaum vertreten war. Im Holzmodulbau werden die Raummodule häufig mit kompletter Ausstattung (z. B. Badmodule) schlüsselfertig erstellt und auf die Baustelle geliefert. Dieses „Lego-Prinzip“ bietet durch den hohen Vorfertigungsgrad interessante Marktchancen. Nach Angaben von Herstellern sind Vorfertigungsgrade bis 90 % sowie Bauzeitverkürzungen von 60 % möglich.

Verglichen mit traditionellen Bauweisen stellt die Planung eines Bauobjektes in Modulbauweise für den Architekten und die Fachplaner jedoch eine deutlich größere Herausforderung dar. Dies liegt vorrangig am Mangel von bewährten Konstruktionen und Planungsdaten für den schalltechnischen Nachweis. Durch die horizontale und vertikale Reihung der Module ergeben sich für die Trennwände und -decken Schichtaufbauten, die mit den Bauteilkatalog-Konstruktionen der konventionellen Holzbauweise nicht oder nur ungenügend beurteilbar sind. Auch die Flankenübertragung ist durch die abgeschlossenen Raummodule und die Entkopplungsmöglichkeiten in den Auflagerflächen gesondert zu betrachten. Dies führt dazu, dass die schalltechnische Beurteilung der Gebäude bisher ausschließlich auf Erfahrungen durch Baumessungen im ausgeführten Bauvorhaben oder in Mock-ups auf dem Betriebsgelände aufbaut. Während die Marktführer dadurch bereits einige betriebsinterne Erfahrungsdaten zur Verfügung haben, fehlen klein- und mittelständischen Unternehmen bislang die Möglichkeiten für eine gesicherte Umsetzung der Gebäudeplanung.

Bei der Zielsetzung des Projektes wurde deshalb der Fokus auf Planungsdaten für den Holzmodulbau gelegt, die für unterschiedliche Modulausführungen und -stöße eine Beurteilung der zu erwartenden Luft- und Trittschalldämmung ermöglichen. Die durchgeführten Untersuchungen in den Mock-ups der beteiligten Modulhersteller sollten auch Aufschluss über die Wirksamkeit elastischer Baulager zur Entkopplung im Modulstoß, sowie der Reduktion dieser Entkopplung durch statisch erforderliche Verbindungsmittel, geben. Hierzu waren Messungen des Stoßstellendämm-Maßes am Modulstoß sowie Untersuchungen zur Flankenübertragung mit Körperschall- und Intensitätsmessungen erforderlich.

Um auch Planungsdaten für Badmodule zu erhalten, wurde die Trittschallübertragung aus vorgefertigten und ins Holzmodul eingesetzten Badmodulen untersucht. Neben diesen empirischen Untersuchungen waren auch numerische Modellierungen der Schallübertragung erforderlich. Diese ermöglichten ein besseres Verständnis der Kopplungsbedingungen im Modulstoß und die Untersuchung der Anwendbarkeit der vorhandenen Berechnungsmodelle im normativen Nachweisverfahren.

Das Forschungsvorhaben wurde gemeinsam durch das ift Rosenheim und die TH Rosenheim durchgeführt.

# Ergebnisse

Die Konstruktionsvarianten von Modulen in Holzbauweise sind sehr vielfältig. Neben Ausführungen in reiner Holztafel- oder Massivholzbauweise, werden auch gemischte Bauweisen oder die Kombination mit Massivbauteilen (z. B. Stahlbetondecke) eingesetzt. Im Rahmen des Projektes wurden zunächst häufig vorkommende Ausführungsvarianten zusammengestellt, und die zu untersuchenden Bauteilkombinationen ausgewählt. Die Module wurden von den am Projekt beteiligten Herstellern aus der Produktion entnommen und als L-förmiger Mock-up aus drei Modulen aufgestellt. In den Modulen wurden zusätzlich drei Badmodultypen geprüft (Abbildung 1).

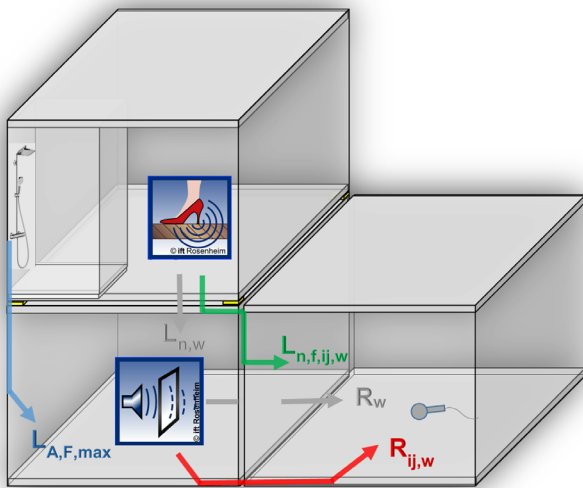


Abb. 1: Übertragungswege im Holzmodul-Mock-up; Quelle: ift Rosenheim

Es wurde die Luft- und Trittschalldämmung der Modul-Trenndecken, die Trittschalldämmung der Badmodule und die Schalldämmung der Trennwände gemessen. Neben diesen Standardmessungen konnten auch Stoßstellendämm-Maße und Flankendämm-Maße für unterschiedliche Übertragungssituationen ermittelt werden.

Bei den Modul-Trenndecken kamen unterschiedliche Trockenestrichaufbauten zum Einsatz. Es wurde auch der Einfluss unterschiedlicher Baulager zwischen den Modulen sowie der Einfluss von Verbindungsmitteln untersucht. Die Trennwände wurden bezüglich ihrer Beplankungen und des Fugenabstandes zwischen den Modulen variiert.

Eine Übersicht der untersuchten Konstruktionsvarianten wird in Tabelle 1 dargestellt. Die Messergebnisse der grau

hinterlegten Konstruktionsvarianten werden in den nachfolgenden Abschnitten exemplarisch beschrieben.

		Trenndecke			
		120 CLT 60 CLT	100 CLT 80 CLT	200 HBD 80 CLT	160 HBD 120 HBD
(Trenn-) Wand	100 CLT		Hersteller 1	Hersteller 1	
	80 MH	Hersteller 2			Hersteller 2
	100 Ständer				Hersteller 3

Tab. 1: Untersuchte Konstruktionsvarianten in der Holzmodulbauweise (in diesem Beitrag dargestellte Ergebnisse grau hinterlegt); Quelle: eigene Darstellung

## 1.1 Holzmodul-Mock-up, Hersteller 1

Die Trenndecke des ersten Mock-ups besteht aus einer Balkenlage als Boden des oberen Moduls und einem 80-mm-CLT-Element als Deckel des unteren Moduls. Im oberen Modul wurde ein Fertigteilestrich und eine Rohdeckenbeschwerung eingebaut. Die Module wurden durch PU-Elastomere (elastische Baulager) entkoppelt. Als Verbindungsmittel kamen Stahlflaschen zum Einsatz. Die Wände wurden aus CLT-Elementen erstellt.

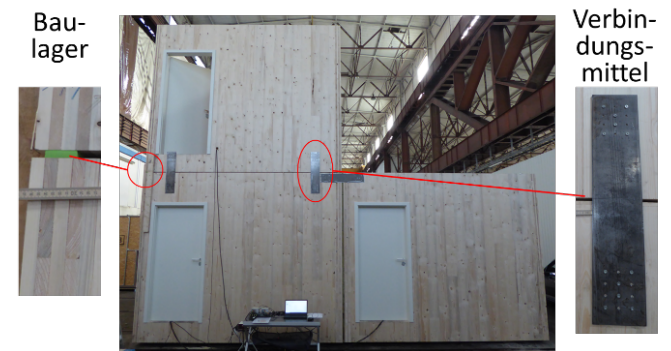


Abb. 2: Holzmodul-Mock-up, Hersteller 1; Quelle: ift Rosenheim

Die Ergebnisse der *Norm-Trittschallpegel*  $L'_{n,w}$  in Abbildung 3 zeigen einen starken Einfluss der elastischen Baulager, wie aus dem Vergleich der Messung a) mit Messung c) ersichtlich wird. Die Verbesserung ist sowohl auf die Entkopplung als auch auf die Reduzierung der Koppellänge zurückzuführen, da die Baulager nur auf den Längsseiten des Moduls eingesetzt werden.

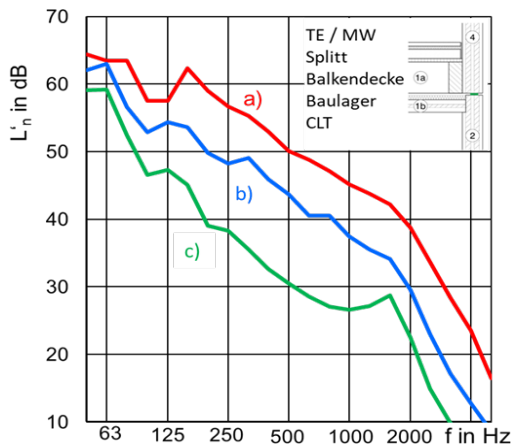
Ebenso deutlich ist der Einfluss der starr verschraubten Verbindungsmittel aus dem Vergleich der Messung b) mit der Messung c) zu erkennen. Die Ergebnisse des Bau-Schalldämm-Maßes  $R'_w$  in Abbildung 4 links erreichen die Mindestanforderungen nur bei Verzicht auf die Verbindungsmittel, der bei diesem Modultyp laut Hersteller bis zur Gebäudeklasse 3 möglich ist. Darüber hinaus ist eine Entkopplung der Verbindungsmittel sinnvoll.

Die Trennwand zwischen den Modulen wird aus den CLT-Elementen der Modulwände und der Fuge zwischen den Modulen gebildet. Wie Abbildung 4 rechts zeigt, sind hier die Fugenbreite und die Bedämpfung die maßgeblichen Größen.

## 1.2 Holzmodul-Mock-up, Hersteller 2

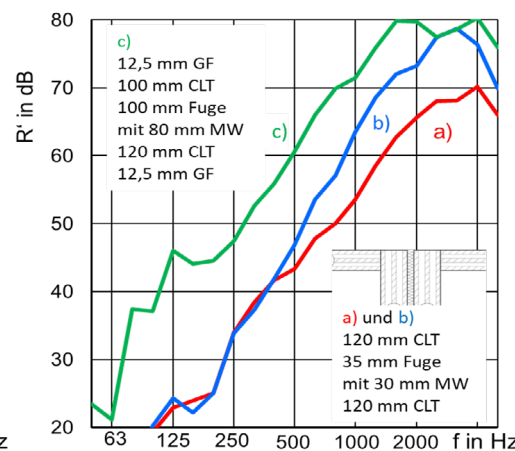
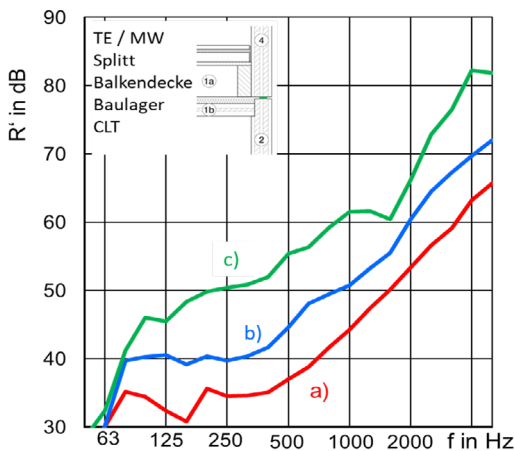
Im zweiten Mock-up wurden Boden- und Deckenelement als Balkendecke mit einer biegeweichen Massivholzwand kombiniert. Diese besteht aus nebeneinanderliegenden Vierkanthölzern, die durch beidseitige Gipsfaserbeplankungen mechanisch verbunden werden (Klammerung). Als Verbindungsmittel der Module werden hier eine entkoppelte Gewindestange und ein Metallhorn mit elastischem Auflager verwendet.

Abbildung 5 links zeigt den dadurch deutlich reduzierten Einfluss der Verbindungsmittel auf die Trittschallübertragung beziehungsweise den Norm-Trittschallpegel  $L'_{n,w}$ .



**Abb. 3:** Norm-Trittschallpegel der Modul-Trenndecke

- a) ohne Baulager, mit Verbindungsmittel,  $L'_{n,w} = 51$  dB
- b) mit Baulager, mit Verbindungsmittel,  $L'_{n,w} = 44$  dB
- c) mit Baulager, ohne Verbindungsmittel,  $L'_{n,w} = 36$  dB; Quelle: ift Rosenheim

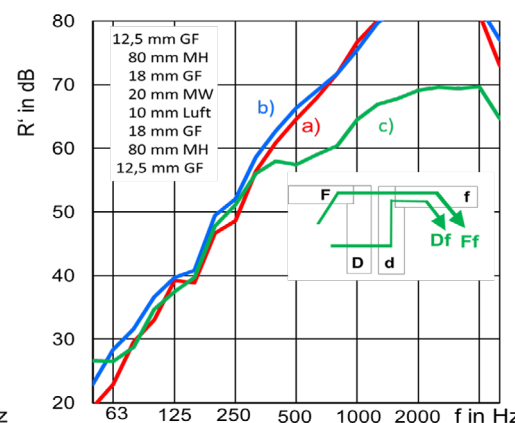
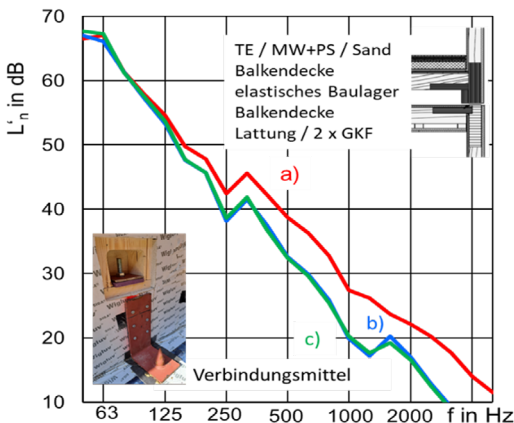


**Abb. 4:** links Bau-Schalldämm-Maß der Modul-Trenndecke

- a) ohne Baulager, mit Verbindungsmittel,  $R'_w = 43$  dB
- b) mit Baulager, mit Verbindungsmittel,  $R'_w = 50$  dB
- c) mit Baulager, ohne Verbindungsmittel,  $R'_w = 59$  dB

rechts Modul-Trennwand

- a) mit Verbindungsmittel,  $R'_w = 43$  dB
- b) ohne Verbindungsmittel,  $R'_w = 43$  dB
- c) ohne Verbindungsmittel,  $R'_w = 61$  dB; Quelle: ift Rosenheim



**Abb. 5:** links Norm-Trittschallpegel der Modul-Trenndecke

- a) ohne Baulager, mit Verbindungsmittel,  $L'_{n,w} = 43$  dB
- b) mit Baulager, mit Verbindungsmittel,  $L'_{n,w} = 41$  dB
- c) mit Baulager, ohne Verbindungsmittel,  $L'_{n,w} = 42$  dB

rechts Bau-Schalldämm-Maß der Modul-Trennwand

- a) Ausgangssituation mit angegebem Aufbau,  $R'_w = 60$  dB
- b) mit einseitiger Zusatzbeplankung,  $R'_w = 63$  dB
- c) mit beidseitiger Zusatzbeplankung,  $R'_w = 60$  dB; Quelle: ift Rosenheim

Die Trennwand aus den oben beschriebenen Massivholzwänden wird mit einer relativ schmalen Fuge von 30 mm ausgeführt. Wie Abbildung 5 rechts zeigt, sind mit diesem Wandtyp auch bei geringem Wandabstand hohe Schalldämm-Maße  $R'_w$  = möglich. Messung b) zeigt die Verbesserung durch eine einseitige Zusatzbeplankung (+ 12,5 mm GF) gegenüber der Ausgangssituation bei Messung a). Bei Messung c) wurde in einem weiteren Modul des Herstellers die Zusatzbeplankung beidseitig montiert. Überraschenderweise blieb hier die Verbesserung aus. Weitere Untersuchungen ergaben, dass die in diesem Modul als Deckel verbaute 60-mm-CLT-Platte über die Wege Df und Ff die Schalldämmung begrenzt.

### 1.3 Holzmodul-Mock-up, Hersteller 3

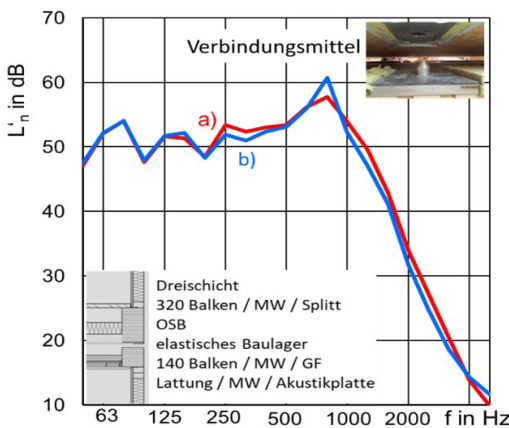
Im dritten Mock-up wurden Holzbalkendecken mit Holztafelbauwänden kombiniert. In die obere Balkenlage (Boden des oberen Moduls) wurde eine Beschwerung (90 kg/m<sup>2</sup> Splitt) integriert. Die Module werden ausschließlich an den vier Eckpunkten aufgelagert. Die Trenndecke wird ohne Estrichaufbau ausgeführt. Abbil-

dung 6 zeigt die Norm-Trittschallpegel  $L'_{n,w}$  der Decke. Auffällig sind die guten Werte bei tiefen Frequenzen, sowie die starke Übertragung bei circa 800 Hz. Dort wird die Koinzidenzfrequenz der 42 mm starken Dreischichtplatte vermutet, die als Rohdeckenbeplankung verbaut wird.

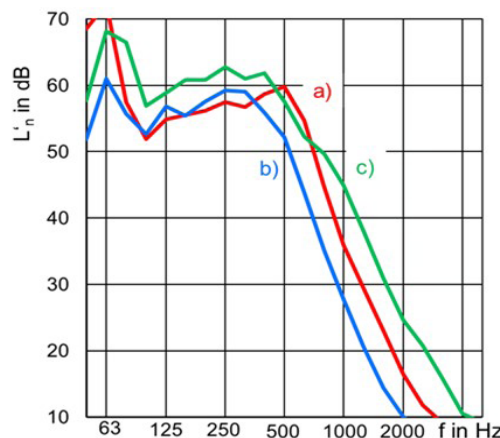
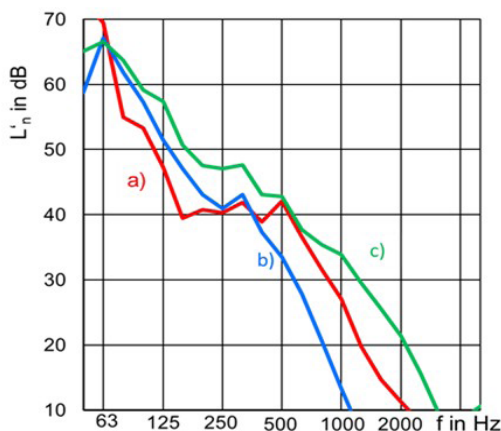
### 1.4 Badmodule

Neben den Trennteilen wurde auch die Trittschallübertragung von Badmodulen untersucht. Hierzu wurden drei verschiedene Badmodule mit elastischen Baulagern auf die Rohdecken der Holzmodule gestellt.

Während die geprüften Badmodule auf den Holzbalkendecken auch den erhöhten Schallschutz an den Norm-Trittschallpegel  $L'_{n,w}$  = erfüllten (Abbildung 7 links), sind beim Einbau auf CLT-Decken noch Zusatzmaßnahmen erforderlich (Abbildung 7 rechts). Hier ist beispielsweise eine Rohdeckenbeschwerung aus Betonplatten möglich.



**Abb. 6:** Norm-Trittschallpegel der Modul-Trenndecke  
a) ohne Baulager, mit Verbindungsmittel,  $L'_{n,w} = 51$  dB  
b) mit Baulager, mit Verbindungsmittel,  $L'_{n,w} = 51$  dB;  
Quelle: ift Rosenheim



**Abb. 7:** Norm-Trittschallpegel der Badmodule  
**links** auf Holzbalkendecken  
a) Badmodul 1,  $L'_{n,w} = 38$  dB,  
b) Badmodul 2,  $L'_{n,w} = 40$  dB  
c) Badmodul 3,  $L'_{n,w} = 45$  dB  
**rechts** auf CLT-Decke  
a) Badmodul 1,  $L'_{n,w} = 52$  dB,  
b) Badmodul 2,  $L'_{n,w} = 51$  dB  
c) Badmodul 3,  $L'_{n,w} = 55$  dB;  
Quelle: ift Rosenheim

# Nutzen für die Praxis

## 2.1 Bauteilkatalog

Anhand der gewonnenen Planungsdaten wurde ein umfassender Bauteilkatalog erstellt. Aufgrund der Größe ist er dem Abschlussbericht (Anhang C) zu entnehmen.

Der Bauteilkatalog ist zur Übernahme in DIN 4109-33 gedacht. Der Bauteilkatalog soll als Sammlung bewährter Konstruktionen verstanden werden, der die Luft- und Trittschalldämmung im ausgeführten Modul (inkl. Flankenübertragung) beschreibt.

Er setzt sich aus drei aufeinander aufbauenden Tabellen zusammen:

- Tabelle 1: Materialdaten der Baustoffe, Verbindungsmittel und Baulager
- Tabelle 2: Bauteilaufbauten für die Trennbauteile
- Tabelle 3: Modulvarianten, Planungsdaten für die Luft- und Trittschalldämmung

In der Materialtabelle werden alle verwendeten Baustoffe, Verbindungsmittel und Baulager gelistet und spezifiziert. Die Bauteilschichten der Trennbauteile werden in Tabelle 2, mit Verweis auf die Materialien in Tabelle 1, beschrieben. Tabelle 3 enthält die Planungswerte für die Luft- und Trittschalldämmung in Abhängigkeit der Modulstoß-Ausführung sowie der Bauteilauswahl nach Tabelle 2.

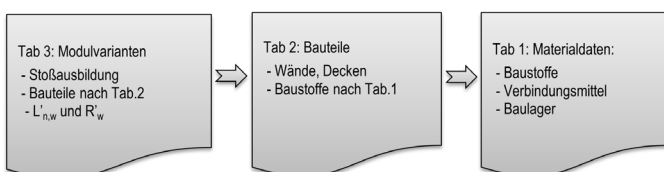


Abb. 8: Aufbau des Bauteilkataloges; Quelle: ift Rosenheim

Neben dieser Sammlung robuster Konstruktionen, wurden die Ergebnisse der Stoßstellendämm-Maße benutzt, um die Planungsdaten für vollständig entkoppelte Stöße zu prüfen, die für die aktuelle Überarbeitung von DIN 4109-33 vorgesehen sind.

Nachfolgend ist wie bereits erwähnt ein exemplarisches Beispiel zur Anwendung des Bauteilkataloges dargestellt.

## 2.2 Beispielhafte Anwendung des Bauteilkataloges

Im Beispiel soll die Trittschalldämmung ( $L'_{n,w}$ ) der Trenndecke in einem Modul aus Brettspertholzelementen ermittelt werden. Hierzu ist die entsprechende Stoßausbildung der Module zu ermitteln. Im Beispiel ist dies die Zeile Z.1 in Tabelle C.7. (Abbildung 9 „ganz oben“). In Tabelle C.7 wird auf die zu verwendeten Trennbauteile (Trennwand, Trenndecke) sowie die Baulager und Verbindungsmittel verwiesen. Der Wandaufbau ergibt sich aus Tabelle C.6 Zeile 1 (Abbildung 9 „zweite von oben“), der Deckenaufbau aus Tabelle C.5 Zeile 1 (Abbildung 9 „zweite von unten“) und das Baulager aus Tabelle C.3 Zeile 4 (Abbildung 9 „ganz unten“). Die einzelnen Materialien, die in den Konstruktionsdetails als Abkürzungen (z. B. TE) genannt sind, können den Tabellen C.1 und C.2 entnommen werden.

Für die ausgewählte Konstruktion kann bei Einhaltung der Ausführungsdetails ein bewerteter Normtrittschallpegel am Bau von  $L'_{n,w} = 43$  dB für die Trenndecke eingehalten werden. Für den Nachweis ist in der Arbeitsgruppe der DIN 4109-33 noch der Sicherheitsbeiwert ( $U_{prog}$ ) festzulegen.

Spalte	1	2	3	4
Zeile	Schnitt, vertikal	Richtung	$R'_{w}$ ( $C_{50-5000}$ )	$L'_{nw}$ ( $C_{1,50-2500}$ )
1	Modulaufbau 1		dB	dB
2		vertikal 1 -> 2	61 (-11)	43 (14)
3		horizontal 2 -> 3	60 (-6)	40 (8)
4		diagonal 1 -> 3	$D_{n,w}$ 63	$L'_{n,w}$ 29
5	Wandaufbau: Tab. 6, Z. 1 mit $S_1 = 100$ mm	Baulager: Tab. 3 Z. 4, $l_{f,l\ddot{a}ngs} = 6$ m		
6	Deckenaufbau: Tab. 5, Z. 1 mit $S_2 = 42$ mm	Verbindungsmitel: ohne		

Z	Schnitt, vertikal	Konstruktionsdetails	mm
1		TE	25
		MW	20
		Schüttung	60
		CLT	100
		Luft	2
		MW	40
		CLT	80
Gesamthöhe			327

Z	Schnitt, horizontal	Konstruktionsdetails	mm
1		GF	12,5
		CLT	100
		Luft	20
		FD	80
		CLT	100
		GF	12,5
		Gesamthöhe	

4	Entkopplungsstreifen aus Gummigranulat oder PU-gebundenen Gummifasern, $d \geq 12,5$ mm, $b = 45$ mm
---	------------------------------------------------------------------------------------------------------

Hinweis-zu-den-Kopplungslängen: ¶  
Die-Kopplungslängen- $l_{f,l\ddot{a}ngs}$ -und- $l_{f,quer}$ -stellen-die-gemeinsame-Kantenlänge-je-Längs--bzw.-Querseite-zwischen-Entkopplungsmaterial-und-Modul-dar.-An-allen-anderen-stellen-berühren-sich-die-Module-nicht.- $l_{f,quer}$ -Die-kurze-Seite-ist-nie-gekoppelt. ¶

Abb. 9: Planungsdaten für den Modulbau (Auszug aus dem Bauteilkatalog):  
ganz oben Stoßausbildung, Auszug aus Tabelle C.7  
zweite von oben Wandaufbau, Auszug aus Tabelle C.6  
zweite von unten Deckenaufbau, Auszug aus Tabelle C.5  
ganz unten Baulager, Auszug aus Tabelle C.3; Quelle: ift Rosenheim

# Methodik und Projektverlauf

## 3.1 Methodik

Zur Erreichung der Projektziele wurden sowohl experimentelle als auch numerische Untersuchungen durchgeführt.

### 3.1.1 Experimentelle Untersuchungen

Im Rahmen des Projektes wurden zunächst häufig vorkommende Ausführungsvarianten zusammengestellt und die zu untersuchenden Bauteilkombinationen ausgewählt. Die Module wurden von den am Projekt beteiligten Herstellern aus der Produktion entnommen und als L-förmiger Mock-up aus drei Modulen aufgestellt.

Die bauakustischen Untersuchungen wurden nach den einschlägigen Normen durchgeführt (EN ISO 16283-1, EN ISO 16283-2, EN ISO 10848-1, EN ISO 10848-4, EN 29052-1).

Es wurde die Luft- und Trittschalldämmung der Modul-Trenndecken, die Trittschalldämmung der Badmodule und die Schalldämmung der Trennwände gemessen. Neben diesen Standardmessungen konnten auch Stoßstellendämm-Maße und Flankendämm-Maße für unterschiedliche Übertragungssituationen ermittelt werden.

Die Luft- und Trittschallmessungen wurden nach den derzeit gültigen deutschen und europäischen Messnormen durchgeführt. Neben den Luft- und Trittschallmessungen wurde auch die dynamische Steifigkeit für einige Baulager ermittelt. Ebenso wurde das Stoßstellendämm-Maß sowie die Schallintensität und der Schnellepegel ermittelt.

### 3.1.2 Numerische Simulation

Bei den numerischen Simulationen wurden sowohl sogenannte statistische Energie Analysen (SEA) sowie Finite Elemente Berechnungen durchgeführt. Hierzu wurden kommerziell verfügbare Softwaretools eingesetzt. Für die SEA-Untersuchungen die Software MATLAB®. Mit dieser wurde die vertikale Luftschall-Flankenübertragung im Vergleich zu den experimentellen Untersuchungen ermittelt.

Die Software ANSYS® wurde für die FEM-Berechnungen von Stoßstellendämm-Maßen bei CLT-Elementen eingesetzt. Hierzu wurden umfangreiche Kij-Messdaten bei

zwei beteiligten Industriepartnern messtechnisch ermittelt, die zur Validierung der Simulationen von Modulbaustößen verwendet wurden.

Generelles Ziel der numerischen Untersuchungen war die Weiterentwicklung der numerischen Simulation von Flankenübertragungspfaden (SEA) und Stoßstellendämm-Maßen (FEM) (Wohlmüt et al. 2018; Craik 1996; Châteaueux-Hellwig 2016; Huber 2020). Hierdurch soll ermöglicht werden, dass in naher Zukunft bei Produktentwicklungen entsprechende Prognoseberechnungen durchgeführt werden können. Hierdurch kann die Anfertigung von aufwändigen Mock-ups für eine experimentelle Prüfung auf ein notwendiges Mindestmaß reduziert werden.

## 3.2 Projektverlauf

### 3.2.1 Analyse und Zusammenstellung relevanter Modulbauweisen

Im ersten Schritt waren marktübliche Konstruktionsvarianten von Holzmodulen zu sammeln und die zu untersuchenden Bauweisen auszuwählen. Es zeigte sich, dass die Ausführungen der Bauteile wenig Abweichungen zur konventionellen Holzbauweise zeigen. Den wesentlichen Unterschied stellt der Bauteilstoß dar, der aus der modulweisen Fertigung der Räume resultiert.

### 3.2.2 Bewertung der Konstruktionen und Erarbeitung der Prüfmatrix

In Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe wurde für das Projekt eine Prüfmatrix erstellt. Folgende Bauteiltypen wurden gewählt:

- Wände in Holztafelbauweise und in Massivholzbauweise
- Decken als Holzbalkendecken oder Massivholzdecken (CLT-Elemente)

Die Bauweisen der Decke wurden auch kombiniert (Boden des oberen Moduls als Holzbalkendecke, Deckel des unteren Moduls als CLT-Element). Ebenso die Kombination von Decken- und Wandbauweise. Deckenausführungen in HBV-Bauweise oder als Stahlbetondecken (Hybridbauweise) wurden in der Arbeitsgruppe als weni-

ger häufige Varianten eingestuft und blieben unberücksichtigt.

### 3.2.3 Durchführung und Auswertung der bauakustischen Untersuchungen

Die bauakustischen Untersuchungen wurden bei drei Holzmodul-Herstellern in Mock-ups aus L-förmig angeordneten Holzmodulen durchgeführt, die auf dem Firmengelände zur Verfügung gestellt wurden. Es konnten Luft- und Trittschallmessungen an den Trennbauteilen (Trenndecke und Trennwand) sowie Trittschallmessungen in den eingebauten Badmodulen durchgeführt werden. Neben der vertikalen und horizontalen Übertragung wurde auch die diagonale Luft- und Trittschallübertragung untersucht. Die Messungen wurden mit unterschiedlichen Entkopplungsmaßnahmen im Modulstoß sowie den statisch erforderlichen Verbindungsmitteln durchgeführt. Weitere Untersuchungen dienten dem Anteil der Flankenübertragung sowie der Stoßstellendämmung im Modulstoß. Hierzu wurden Körperschall- und Intensitätsmessungen an den Bauteilen und den Modulstößen durchgeführt.

Wie die Ergebnisse zeigen, können bei geeigneter Wahl der Ausführungsvarianten Luft- und Trittschallwerte im Bereich des erhöhten Schallschutzes erreicht werden. Bei tiefen Frequenzen besteht bei den Deckenkonstruktionen jedoch zum Teil noch Optimierungsbedarf.

Zur Reduzierung der Flankenübertragung wirkt sich neben der Entkopplung durch die elastischen Baulager auch die Reduzierung der Kopplungslänge beziehungsweise -fläche zwischen den Modulen positiv auf das Stoßstellendämm-Maß aus. Dies kann durch Punkt- oder streifenförmige Lager realisiert werden.

Die Kopplung der elastisch gelagerten Module mit starren Verbindungsmitteln hat einen deutlichen Einfluss auf die Stoßstellendämmung. Entkoppelte Verbindungsmittel zeigten hingegen kaum Verschlechterungen im Stoßstellendämm-Maß.

Neben den Körperschall-Messungen für das Stoßstellendämm-Maß wurden auch Körperschall- und Intensitätsmessungen zur Analyse der Flankenübertragung und der direkten Übertragung der Trennbauteile (Trenndecke, Trennwand) durchgeführt.

Badmodule mit elastischen Baulagern erreichen die Zielwerte auf Holzbalkendecken, bei CLT-Decken sind Zusatzmaßnahmen z. B. in Form einer plattenförmigen Rohdeckenbeschwerung erforderlich.

### 3.2.4 Untersuchung der Schallübertragung durch numerische Simulation

Im Bereich der numerischen Simulation wurde die statistische Energieanalyse (SEA) und die Finite Elemente Methode (FEM) angewendet. Die SEA wurde zur genaueren Untersuchung der Schallenergieübertragung in die flankierenden Bauteile angewendet. Sie bildet die numerische Basis des Berechnungsmodells für den bauakustischen Nachweis nach DIN 4109-2.

Zur Überprüfung ihrer Anwendbarkeit auf den Holzmodulbau wurde zunächst eine kommerzielle SEA-Software zur Berechnung der Stoßstellen im Holzmodulbau angewendet. Sie erwies sich für die komplexe Stoßausführung im Holzbau und speziell im Holzmodulbau als zu wenig flexibel und nachvollziehbar. Eine Anwendung im Planungsalltag eines Bauphysik-Büros zur Ermittlung der Stoßstellendämmung neuer Stoßstellenausführungen im Holzbau erscheint derzeit noch nicht praktikabel.

Im zweiten Schritt wurde die SEA in einer MATLAB®-Umsetzung verwendet, um die Luft- und Trittschallübertragung im kompletten Modul auf Basis gemessener Eingangsdaten für die Verlustfaktoren der Stoßstellen zu berechnen. Hier zeigt sich eine ausreichende Genauigkeit gegenüber den Messergebnissen im Modul-Mock-up. Die prinzipiellen Übertragungsmechanismen werden durch die gewählten Übertragungspfade und auch durch die Vereinfachung im Nachweisverfahren nach DIN 4109-2 abgebildet. Ihre Anwendbarkeit im Nachweisverfahren ist prinzipiell gegeben und sollte durch weitere Validierungen vorangetrieben werden.

Die FEM-basierten Berechnungen wurden ebenfalls zur numerischen Ermittlung der Stoßstellendämm-Maße im Holzbau eingesetzt. Die Modellierung baut auf vorangegangene Arbeiten zur Modellierung des T-Stoßes im Holzbau auf, die noch keine befriedigende Übereinstimmung mit Messergebnissen zeigten. Im Rahmen des vorliegenden Projektes konnte zunächst die innere Dämpfung sowie die Ausbreitungsdämpfung der CLT-Bauteile genauer untersucht und in die FEM-Berechnung übernommen werden. Das so berechnete Stoßstellendämm-Maß für den starr montierten T-Stoß zeigt nun eine gute Übereinstimmung mit den Messwerten.

Im nächsten Schritt wurden elastische Baulager in der Stoßstelle simuliert. Die Verbesserung durch die Baulager wird vom FEM-Modell noch deutlich überschätzt. Auch die Modellierung des Doppel-L-Stoßes im Modulbau ergab noch keine Übereinstimmung mit den Messwerten. Hier sind noch weitere Modellierungsarbeiten erforderlich, um die Simulation mit dem Ziel voranzutreiben, den Messaufwand für Stoßstellendämm-Maße ein-

zuschränken und Voruntersuchungen durch Parametervariationen zu ermöglichen.

### 3.2.5 Planungsdaten und Bauteilkatalog

Anhand der gewonnenen Planungsdaten wurde ein Bauteilkatalog erstellt, der zur Übernahme in DIN 4109-33 gedacht ist. Der Bauteilkatalog soll als Sammlung bewährter Konstruktionen verstanden werden, der die Luft- und Trittschalldämmung im ausgeführten Modul (inkl. Flankenübertragung) beschreibt.

Neben dieser Sammlung robuster Konstruktionen wurden die Ergebnisse der Stoßstellendämm-Maße benutzt, um die Planungsdaten für vollständig entkoppelte Stöße zu prüfen, die für die aktuelle Überarbeitung von DIN 4109-33 vorgesehen sind.

### 3.2.6 Ausblick

Die Validierung des Berechnungsmodells nach DIN 4109-2 für den Holzmodulbau wird derzeit im Rahmen einer Bachelorarbeit an der TH Rosenheim fortgesetzt. Hierzu werden die Messergebnisse im Mock-up sowie weiterer Baumessungen anhand der im Projekt gewonnenen Planungsdaten nachgerechnet.

Zur numerischen Modellierung der Stoßstellen wird derzeit eine Masterarbeit (Krapf 2025) durchgeführt. Hier werden zunächst analytische Ansätze für die Stoßstellenberechnung weiterverfolgt, um daraus Erkenntnisse für die Modellierung des Doppel-L-Stoßes in der FEM zu gewinnen.

Die interessanten Ansätze für die Optimierung der Decke im tieffrequenten Bereich sowie für die Ausführung der Trenndecke ohne Estrichaufbau bilden eine gute Basis für die Weiterentwicklung der Trenndecken. Diese sollte unter den Aspekten der Wirtschaftlichkeit, der guten Montierbarkeit und des optimierten Trittschallschutzes bei tiefen Frequenzen durchgeführt werden. Hierzu würden sich zunächst Messungen im Prüfstand ohne Nebenwege anbieten, mit anschließender Überprüfung der optimierten Aufbauten im Holzmodul-Mock-up.

## Literatur

Craik, R. J. M., 1996: Sound transmission through buildings: Using statistical energy analysis. Aldershot.

Châteauvieux-Hellwig, C., 2016: Einfluss der Dämpfung in Massivholzbauteilen auf das Stoßstellendämm-Maß. Unveröffentlichtes Dokument (Masterarbeit). TH Rosenheim.

Huber, A., 2020: Entwicklung FEM basierter Modelle zur Vorhersage schalltechnischer Eigenschaften von Massivholzelementen mit Wärmedämmverbundsystemen aus nachwachsenden Rohstoffen. Unveröffentlichtes Dokument (Masterarbeit). TH Rosenheim.

Krapf, A., 2025: Entwicklung eines analytischen Berechnungsmodells zur Ermittlung des Stoßstellendämmmaßes von Massivholzelementen und Verifizierung mithilfe von Parameterstudien. Unveröffentlichtes Dokument (Masterarbeit). TH Rosenheim.

Wohlmuth, B.; Rank, E.; Kollmannsberger, S.; Schanda, U.; Rabold, A., 2018: Vibroakustik im Planungsprozess für Holzbauten: Modellierung, numerische Simulation, Validierung. München, Rosenheim.

## Projektbeteiligte

TH Rosenheim  
[www.th-rosenheim.de](http://www.th-rosenheim.de)



ift Rosenheim  
[www.ift-rosenheim.de](http://www.ift-rosenheim.de)



W. u. J. Derix GmbH & Co.  
[www.derix.de](http://www.derix.de)



Timber Homes GmbH & Co. KG  
[www.timber-homes.de](http://www.timber-homes.de)



Blumer Lehmann GmbH  
[www.blumer-lehmann.com](http://www.blumer-lehmann.com)



Bad Modul GmbH  
[www.bad-modul.com](http://www.bad-modul.com)



DAS BAD IM MODUL

Tjiko GmbH  
[tjiko.de](http://tjiko.de)



Smart Cube GmbH  
[smartcubegmbh.com](http://smartcubegmbh.com)



# Impressum

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**ZUKUNFT BAU**  
FORSCHUNGSFÖRDERUNG



Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-22.29  
Projektlaufzeit: 11.22 bis 10.24  
Bundesmittel in €: 196.183,88

Zuwendungsempfängende:  
Technische Hochschule Rosenheim,  
ift Rosenheim

## Über Zukunft Bau

Mit dem Innovationsprogramm Zukunft Bau stärkt das BMWSB gemeinsam mit dem BBSR die Zukunfts- und Innovationsfähigkeit des Bausektors. Die Zukunft Bau Forschungsförderung schafft Vorbilder, die die Machbarkeit von neuen Ideen ausloten und die Baupraxis weiterentwickeln. Gefördert werden Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, die einen Gebäudebezug als Schwerpunkt haben und einen substantiellen Beitrag zur Bewältigung aktueller und künftiger Herausforderungen im Baubereich erwarten lassen.

[zukunftbau.de](http://zukunftbau.de)


## Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)  
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)  
Deichmanns Aue 31–37  
53179 Bonn


## Wissenschaftliche Begleitung

Dr.-Ing. Michael Brüggemann,  
Brüggemann Kisseler Ingenieure  
im Auftrag des BBSR, Referat WB 3  
„Forschung und Innovation im Bauwesen“  
zb@bbr.bund.de

## Autorinnen und Autoren

Prof. Dr.-Ing. Andreas Rabold   
Technische Hochschule Rosenheim /  
ift Rosenheim  
andreas.rabold@th-rosenheim.de

Stefan Bacher  
ift Rosenheim

Norbert Sack   
ift Rosenheim

Stefan Griebhammer  
Technische Hochschule Rosenheim

Beate Mooser  
ift Rosenheim

Silas Pfattheicher  
Technische Hochschule Rosenheim

## Redaktion

ift Rosenheim

## Stand

Dezember 2025

## Grafisches Konzept

[www.sans-serif.de](http://www.sans-serif.de)

## Satz und Barrierefreiheit

[www.sans-serif.de](http://www.sans-serif.de)  
[www.satzweiss.com](http://www.satzweiss.com)

## Bildnachweis

Titelbild: Timber Homes, Urs Ickler

## Vervielfältigung



Dieses Werk ist lizenziert unter der Creative Commons-Lizenz Attribution – Share Alike 4.0 (CC BY-SA 4.0). Diese Lizenz erlaubt unter Voraussetzung der Namensnennung des Urhebers und der Weitergabe unter gleichen Bedingungen die Bearbeitung, Vervielfältigung und Verbreitung des Materials in jedem Format oder Medium für beliebige Zwecke, auch kommerziell. Nähere Informationen zu dieser Lizenz finden sich unter: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de/>.

Die Bedingungen der Creative-Commons-Lizenz gelten nur für Originalmaterial. Die Wiederverwendung von Material aus anderen Quellen erfordert ggf. weitere Nutzungsgenehmigungen durch den jeweiligen Rechteinhaber.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

## Zitierweise

Rabold, A.; Bacher, S.; Sack, N.; Griebhammer, S.; Mooser, B.; Pfattheicher, S., 2026: Schallschutz von Gebäuden in Holzmodulbauweise: Ermittlung von Planungsdaten für einen Bauteilkatalog zur Integration in DIN 4109. Herausgeber: BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Zukunft Bau – Forschung KOMPAKT 16/2025. Bonn.  
<https://doi.org/10.58007/gf7p-q059>

Bonn 2026  
ISSN 2944-067X

## Dieses Werk ging aus folgendem Forschungsbericht hervor:

Rabold, A.; Bacher, S.; Sack, N.; Griebhammer, S.; Mooser, B.; Pfattheicher, S., 2025: Schallschutz von Gebäuden in Holzmodulbauweise: Ermittlung von Planungsdaten für einen Bauteilkatalog zur Integration in DIN 4109. Rosenheim.

## Hier geht es zum kostenfreien Forschungsbericht:

<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.22994.06086>