

Lignum | Holzwirtschaft Schweiz  
Falkenstrasse 26, CH-8008 Zürich

# **Bauakustische Eigenschaften einer Holz-Beton-Verbunddecke**

unter Berücksichtigung der Frequenzen unter 100 Hz

Olin Bartlomé  
Dipl. Ing. (FH)  
Projektleiter Technik  
*olin.bartlome@lignum.ch*

## Abstract

Die schallschutztechnischen Anforderungen zwischen Räumen und gegen Aussenlärm sind in der Schweiz normativ in der SIA 181 geregelt. Daneben bestehen auch bewohnerbedingte Anforderungen. Diese basieren auf dem subjektiven Empfinden der Menschen und führen bei konventionellen Holzdecken häufig zu Reklamation bezüglich tieffrequenter Geräusche – auch bei erfüllten Normwerten.

In aktuellen Forschungsberichten und Literatur finden sich Konstruktionsregeln und Lösungen, wie Holzdecken ausgeführt werden müssen, um den hohen (subjektiven) schallschutztechnischen Anforderungen im mehrgeschossigen Holzbau gerecht zu werden. Um in den tiefen Frequenzen gute Resultate zu erzielen, muss in erster Linie Masse eingebracht werden.

Der Aufbau der im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Holzbetonverbunddecke (HBV-Decke) wurde entsprechend so gewählt, dass er einerseits hypothetisch gute Resultate in den tiefen Frequenzbändern erreicht, andererseits sich mit gängigen Mitteln herstellen lässt. Die Untersuchungen haben folgende Erkenntnisse gebracht bzw. bestätigt:

- Die HBV-Rohdecke bietet aufgrund ihrer relativ hohen Masse eine verhältnismässig gute Trittschalldämmung in den tiefen Frequenzen.
- Mit dem Einbau des Fussbodenaufbaus wird die Masse der Konstruktion von ca. 190 kg auf ca. 380 kg verdoppelt, was sich in einem breiteren Spektrum der tiefen Terzbänder positiv auswirkt. Die Werte in den Terzbändern 63, 80 und 100 Hz werden z.T. stark verbessert. In den übrigen Frequenzbändern erfolgt durch das Masse-Feder-System des Fussbodenaufbaus eine signifikante Verbesserung der Norm-Trittschalldämmung  $L_n$ .
- Biegeweiche Unterdecken verbessern in der Regel den Schallschutz im Standardfrequenzbereich. Die biegeweichen Unterdecken führen jedoch faktisch immer zu tieferen Norm-Trittschallpegeln  $L_n$  in den tiefen Frequenzbändern.
- Die Hypothese, dass beim geprüften Deckentyp die Deckenkonstruktionen mit grossem schallabsorbierendem Luftvolumen bessere Werte erzielen sollten als Konstruktionen mit kleinem, wurde insofern bestätigt, als sich herausstellte, dass der Luftraum ohne Störung (Rippen) sein muss.
- Es muss bei den untersuchten Varianten mit brandschutztechnischer Beplankung und um 41 mm abgehängten Unterdecken davon ausgegangen werden, dass die zusätzliche Masse der Beplankung in etwa den Effekt des kleineren Luftvolumens aufhebt bzw. die im Lufthohlraum verlaufenden Rippen sich als ungünstig erweisen.

Erwartungsgemäss liefert die HBV-Deckenkonstruktion mit brandschutztechnischer Beplankung (zusätzliche Masse) und 95 mm abgehängter (grosses Volumen), doppelt beplankter Vorsatzschale (zusätzliches Masse-Feder-System) den besten bewerteten Norm-Trittschallpegel. Mit einem  $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$  von 54 dB ist sie um 4 dB besser als die Konstruktionen mit einfach beplankter Vorsatzschale und 2 dB besser als die baugleiche Konstruktion mit 41 mm Abhängehöhe.

## Inhaltsverzeichnis

1	Motivation und Zielsetzung .....	6
2	Abgrenzung .....	6
3	Ausgangslage .....	7
3.1	Schalltechnisches Verhalten von Massiv- und Leichtbaukonstruktionen .....	7
3.2	Frequenzen unter 100 Hz .....	8
3.2.1	Problematik bei Holzdecken .....	8
3.2.2	Subjektive Wahrnehmung von Schall .....	9
3.2.3	Auswirkung der subjektiven Wahrnehmung von Schall .....	9
3.2.4	Kritischer Frequenzbereich bei Leichtbaukonstruktionen .....	9
3.2.5	Messtechnik und Einfluss von Messungen ab 50 Hz .....	9
3.2.6	Situation in Europa .....	11
3.3	Deckentypen .....	12
3.3.1	Holzbalken- und Rippendecken .....	12
3.3.2	Massivholzdecken .....	12
3.3.3	Hohlkastendecken .....	14
3.3.4	Holz-Beton-Verbunddecken (HBV-Decken) .....	14
3.4	Konstruktive Massnahmen zur Verbesserung des Schallschutzes .....	15
3.4.1	Charakterisierung der akustischen Eigenschaften .....	15
3.4.2	Rohdecke .....	16
3.4.3	Fussbodenaufbau .....	17
3.4.4	Abgehängte Unterdecken .....	18
3.4.5	Hohlraumbedämpfung .....	20
3.4.6	Konstruktionsregeln .....	22
3.4.7	Weitere Massnahmen zur Verbesserung des Schallschutzes .....	24
3.5	Nationale Anforderungen .....	25
4	Material .....	27
4.1	Auswahl Deckensystem .....	27
4.1.1	Erhöhte schalltechnische Leistung im Frequenzbereich < 100 Hz .....	27
4.1.2	In der Schweiz übliches, elementbautaugliches Deckensystem .....	28
4.1.3	Qualitätssicherung I Elementbauweise .....	28
4.1.4	Brandschutzanforderungen im mehrgeschossigen Holzbau .....	28
4.1.5	Flachdachtauglichkeit .....	28

4.2	Detail Deckensystem .....	29
4.2.1	Rohdecke .....	29
4.2.2	Fussbodenaufbau .....	30
4.2.3	Abgehängte Unterdecken .....	31
4.2.4	Detailzeichnungen .....	34
5	Methode .....	35
5.1	Messung .....	35
5.1.1	Prüfstand .....	35
5.1.2	Einbau der Decke .....	36
5.1.3	Verwendete Geräte .....	37
5.1.4	Umgebungsbedingungen .....	37
5.2	Messverfahren .....	38
5.2.1	Luftschalldämmung .....	38
5.2.2	Trittschalldämmung .....	38
5.2.3	Grundgeräusch .....	39
5.2.4	Tiefe Frequenzen .....	40
6	Resultate .....	41
6.1	Prüfstand .....	41
6.1.1	Luftschall .....	41
6.1.2	Trittschall .....	42
6.1.3	Tiefe Frequenzen .....	42
6.2	Rohdecke .....	42
6.3	Fussbodenaufbau .....	43
6.4	Abgehängte Unterdecken .....	45
6.4.1	Unterdecken mit grossem Luftpolster .....	45
6.4.2	Unterdecken unter brandschutztechnischer Beplankung .....	46
6.4.3	Unterdecken mit grossem Luftpolster unter brandschutztechnischer Beplankung .....	48
7	Diskussion .....	51
7.1	Schallschutzlösungen für Holzdecken .....	51
7.2	Messtechnik .....	51
7.2.1	Messungen ab 50 Hz .....	51
7.2.2	Maximalschalldämmung Prüfstand .....	51
7.2.3	Messwiederholungen .....	52

7.3	Rohdecke.....	53
7.3.1	Füllmenge Hohlraumbedämpfung.....	54
7.4	Fussbodenaufbau .....	54
7.5	Abgehängte Unterdecken.....	54
7.5.1	Füllmenge Hohlraumbedämpfung.....	55
7.6	Ausblick.....	55
7.6.1	Messtechnik.....	55
7.6.2	Bauteile .....	55
7.6.3	Qualitätssicherung .....	56
8	Glossar .....	57
9	Referenzen .....	59

## 1 Motivation und Zielsetzung

Die erhöhten Anforderungen der Norm SIA 181:2006 *Schallschutz im Hochbau* sind für Doppel- und Reiheneinfamilienhäuser und für neu errichtetes Stockwerkeigentum obligatorisch. Daneben gilt es, den schalltechnischen Bedürfnissen der Gebäudebenutzer zu entsprechen. Letzteres stellt im Leichtbau oft eine grössere Herausforderung dar als die normativen Vorgaben, denn die Benutzer beurteilen die Schalldämmung weniger anhand der normativen Anforderungen als aufgrund der realen Schallimmissionen, also auch in den Frequenzen < 100 Hz.

Diese Arbeit soll einen Beitrag an die Verbreitung von Holzkonstruktionen im mehrgeschossigen Holzbau im Zusammenhang mit der Norm SIA 181:2006 *Schallschutz im Hochbau* unter zusätzlichem Einbezug der Terzbänder 50, 63 und 80 Hz leisten.

Dazu wird eine elementbautaugliche Decke, welche hypothetisch die Anforderungen auch in den tiefen Frequenzen erfüllt, ausgewählt und es werden weitere Hypothesen aufgestellt. Diese werden im Deckenprüfstand der Empa in Dübendorf verifiziert: Nach der Rohdeckenmessung wird die Decke nach den Hypothesen verschiedenartig umgebaut, gemessen und bewertet.

## 2 Abgrenzung

- In dieser Arbeit werden hauptsächlich Deckensysteme betrachtet, die in der Schweiz üblich sind.
- Die Korridorsituation wird nicht untersucht, weil dort die Schallschutzanforderungen durch die kurze Aufenthaltsdauer von Benutzern geringer sind.
- Die Raumakustik ist nicht Teil dieses Projektes, und Raumakustikelemente werden nicht analysiert.
- Das ausführliche Gebiet der Flankenübertragung wird im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht.

### 3 Ausgangslage

Der mehrgeschossige Holzbau konnte in der Schweiz in den letzten Jahren grosse Erfolge erzielen. Diese basieren in erster Linie darauf, dass durch die Erarbeitung von technischen Grundlagen im Rahmen des nationalen Forschungsprojekts *Brandschutz* der Lignum Holzgebäude seit 2005 nun mit bis zu sechs (Fassaden bis acht) Geschossen erstellt werden dürfen.

Das führte jedoch den Holzbau vor neue Herausforderungen bezüglich Schallschutz. Bei den früher vorwiegend als Einfamilienhäuser erstellten Holzgebäuden war der Schallschutz innerhalb der Wohnung und auch jener gegen Aussenlärm von geringer Relevanz. Nun leben in mehrgeschossigen Holzgebäuden verschiedene Parteien neben- und übereinander, und die Häuser stehen häufig im städtischen Umfeld, und dies mit z.T. hoher Verkehrslärmbelastung.

Fortschritte im Bereich des baulichen Schallschutzes sind nun für die weitere Etablierung und die vermehrte Holz-anwendung, insbesondere im Bereich des mehrgeschossigen Bauens, von zentraler Bedeutung. Es müssen Lösungen vorhanden sein, die auch in den vorgängig beschriebenen Frequenzen eine gute Schalldämmung gewährleisten.

Beim Schallschutz lag das Schwergewicht in der Forschung und Entwicklung (F&E) in den letzten Jahrzehnten auf Einzahlwerten für Luft- und Trittschallschutz inkl. der *bauüblichen* Flankenübertragung ( $R'_w$  bzw.  $L'_{n,w}$ ). Die Einzahlwerte der so entstandenen Schallschutzlösungen bezogen sich hauptsächlich auf das normativ übliche Frequenzspektrum zwischen 100 und 3150 Hz bzw. 100 und 2500 Hz.

Die Bezeichnung "bauübliche" Nebenwege ist für Anschlüsse im Holzbau jedoch irreführend, denn die nach DIN 52210 durchgeführten Labor-Messungen mit *bauüblichen* Nebenwegen beziehen sich auf massive flankierende Bauteile mit einer Masse von 300 kg/m<sup>2</sup>. Die Messergebnisse können daher nur bedingt in der Praxis des Holzbaus verwendet werden. Dem Rechnung tragend sind Messungen mit *bauähnlicher* Flankenübertragung mit der Einführung der Normreihe EN ISO 140 nicht mehr zugelassen. Der Fokus der F&E hat sich entsprechend in den letzten Jahren auf Bauteilmessungen ohne Flankenübertragung bzw. Stossstellen-Messungen verlagert.

#### **3.1 Schalltechnisches Verhalten von Massiv- und Leichtbaukonstruktionen**

Im Holzbau wird der Fokus zudem stark auf die tiefen Frequenzbereiche gelegt, da sich Leichtbaukonstruktionen bauakustisch anders verhalten als Massivbaukonstruktionen wie Stahlbetondecken oder Mauerwerkswände. Aber auch innerhalb des Leichtbaus bestehen hinsichtlich der Konstruktionsprinzipien und der akustischen Eigenschaften Unterschiede. So verhalten sich zum Beispiel Ständerkonstruktionen anders als Massivholzkonstruktionen. In Diagramm 1 wird das unterschiedliche Verhalten des Trittschalls der verschiedenen Baumethoden für Rohdecken veranschaulicht:

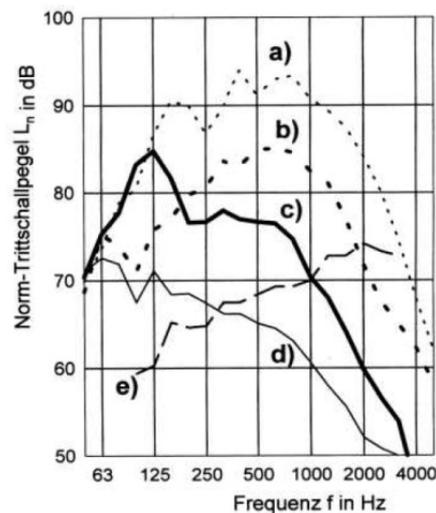


Diagramm 1 [1]: Norm-Trittschallpegel  $L_n$  verschiedener Holzrohdecken sowie einer Stahlbetonrohdecke:  
 a) Holzbalkenrohdecke b) Brettstapelrohdecke  
 c) Holzbalkenrohdecke mit abgehängter Unterdecke an einer Lattung  
 d) Holzbalkenrohdecke mit abgehängter Unterdecke an einer Federschiene  
 e) Stahlbetonrohdecke

Die Stahlbetonrohdecke e) erreicht in den Frequenzbändern zwischen 50 bzw. 100 und 250 Hz eine signifikant bessere Trittschalldämmung gegenüber bauüblichen Leichtbaukonstruktionen (Kurven b), c), und d)). Untereinander weisen Leichtbaudecken im Mittel- und Hochfrequenzbereich sehr unterschiedliche Trittschallpegel auf. Derselbe Effekt ist bei Wänden und Dächern in Leichtbauweise für Luftschall erkennbar [1], [2].

Neben der Bauweise hat beim Trittschallschutz die Nachgiebigkeit der Deckschicht des Bodens einen grossen Einfluss auf die akustischen Eigenschaften einer Decke. So dämpft z.B. ein Teppich die tiefen Frequenzen und schiebt die Norm-Trittschallpegel  $L_n$  innerhalb der Konstruktionsprinzipien in diesen Terzbändern zusammen [3].

## 3.2 Frequenzen unter 100 Hz

### 3.2.1 Problematik bei Holzdecken

Gemessen an Umfragen [4] und der Anzahl Reklamationen ist der störendste Lärm bei in Leichtbauweise errichteten Gebäuden die Trittschallübertragung aus fremden Wohnbereichen. Dieser dumpfe Lärm, der auch als Dröhnen bezeichnet wird, wird im darüber liegenden Stockwerk hauptsächlich durch Schritte, aber auch durch herumrennende Kinder oder Stühlerücken verursacht [5]. Diese in einem Gebäude üblichen und z.T. extrem tieffrequenten Körperschallemissionen wurden in diversen Projekten bezüglich ihrer Korrelation zwischen messtechnischem Nachweis und dem subjektiven Empfinden des Bewohners untersucht [4], [6], [7], [8], [9], [10], [11].

Neben dem Trittschall führt der tieffrequente Luftschall durch die vermehrte Verwendung von modernen elektronischen Tonanlagen je länger je mehr zu Reklamationen und wird zum Teil in der Forschung und Entwicklung ebenfalls thematisiert [11], [12], [13].

### **3.2.2 Subjektive Wahrnehmung von Schall**

Die bauteilanregende Energie, welche eine identische Körperschallquelle (z.B. gehende Personen, Kinder, Stühle etc.) im Massiv- oder Leichtbau emittiert, ist grundsätzlich bei beiden Konstruktionsarten gleichartig und gleich gross. Die akustische Qualität wird jedoch in einer Leichtbaustruktur anders wahrgenommen als in einer Massivbaukonstruktion mit dem gleichen normgemäss eruierten Einzahlwert [11], [14]. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von der subjektiven Wahrnehmung von Schall: Im Gegensatz zur Lärmquelle und Schallübertragung kann die Lärmeinwirkung als psychologisches Empfinden natürlich nicht physikalisch erfasst werden.

### **3.2.3 Auswirkung der subjektiven Wahrnehmung von Schall**

Dieser subjektive Faktor des menschlichen Gehörempfindens übt einen wesentlichen Einfluss auf unsere Schallwahrnehmung in Gebäuden aus: Schall von tiefen Frequenzen tritt im Leichtbau oft sehr klar zum Vorschein und wirkt störend.

Da sich die Konstruktionsarten in den Frequenzbändern wie in Diagramm 1 dargestellt sehr unterschiedlich verhalten und da in den einschlägigen Normen i.d.R. die Frequenzbänder unter 100 Hz nicht zwingend oder gar nicht berücksichtigt werden müssen, kommt es häufig dazu, dass sich Bewohner von Holzgebäuden über Lärmimmissionen beklagen, obwohl die normativen Anforderungen erfüllt sind [15], [16].

### **3.2.4 Kritischer Frequenzbereich bei Leichtbaukonstruktionen**

Untersuchungen [10] haben gezeigt, dass der für Holzdecken relevante Frequenzbereich von ~ 50 bis 200 Hz reicht, wobei der Frequenzbereich von 100 bis 2500 bzw. 3250 Hz üblicherweise normativ abgedeckt ist [15], [16].

### **3.2.5 Messtechnik und Einfluss von Messungen ab 50 Hz**

#### **3.2.5.1 Messverfahren**

Zur Analyse des schalltechnischen Verhaltens einer bestimmten Konstruktion werden Messungen des Schalldämm-Masses  $R$  bzw. des Norm-Trittschallpegels  $L_n$  durchgeführt. Die Messung der Luftschalldämmung erfolgt nach EN 20140-3 bzw. ISO 140-3. Die Messung des Norm-Trittschallpegels  $L_n$  erfolgt nach EN 20140-6 bzw. ISO 140-6.

- Beim Luftschall wird daraus das Schalldämm-Mass  $R$  als Spektrum mit 16 Werten von 100 bis 3150 Hz angegeben bzw. als Spektrum mit 21 Werten von 50 bis 5000 Hz (andere, kleinere Spektren sind ebenfalls möglich). Um einen Einzahlwert (das bewertete Schalldämm-Mass  $R_w$ ) zu erhalten, wird das Schalldämm-Mass  $R$  mit einer *genormten Bezugskurve* verglichen.
- Beim Trittschall wird daraus der Norm-Trittschallpegel  $L_n$  als Spektrum mit ebenfalls 16 Werten von 100 bis 3150 Hz angegeben bzw. als Spektrum mit 21 Werten von 50 bis 5000 Hz (andere, kleinere Spektren sind ebenfalls möglich). Um einen Einzahlwert (den bewerteten Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$ ) zu erhalten, wird der Norm-Trittschallpegel  $L_n$  mit einer *genormten Bezugskurve* verglichen.

Da die Bezugskurven jeweils nur das Spektrum von 100 bis 3150 Hz abdecken, unterscheiden sich das resultierende bewertete Schalldämm-Mass  $R_w$  und der bewertete Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  nicht zwischen Messungen<sup>1</sup>, bei denen der Frequenzbereich von 100 bis 3150 oder der erweiterte Frequenzbereich von z.B. 50 bis 5000 Hz berücksichtigt worden ist.

Die Verfahren und die Bezugskurven sind für Luft- wie auch für Trittschall in EN 20717 bzw. ISO 717 beschrieben.

### **3.2.5.2 Spektrale Anpassungswerte**

Herrschen nun wie in Kapitel 3.2.1 beschrieben in einer Bausituation tieffrequente Geräusche oder Geräusche mit einer signifikanten tieffrequenten Komponente vor, liefern das bewertete Schalldämm-Mass  $R$  und der bewertete Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  somit unbrauchbare Werte, weil die Bezugskurve nicht breitbandig genug ist.

Deshalb wurden in der EN 20717 bzw. ISO 717 weitere Größen definiert, sogenannte spektrale Anpassungswerte  $C$ . Die spektralen Anpassungswerte  $C$  sagen, um wieviel schlechter oder besser die A-bewertete Schalldämmung in Bezug auf ein Referenzspektrum ist als die bewertete Schalldämmung  $R_w$  bzw. der bewertete Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$ . Die Norm gibt definierte Anpassungsterme und dazugehörige Referenzspektren vor:

- Für Luftschall von innen (Wohnaktivitäten):  $C$ ,  $C_{50-3150}$  und  $C_{50-5000}$
- Für Luftschall von aussen (städtischen Strassenverkehr):  $C_{tr}$  und  $C_{tr,50-5000}$
- Für Trittschall:  $C_l$ ,  $C_{l,50-2500}$

Die tiefgestellten Zahlen beschreiben jeweils das Referenzspektrum in Hz. Wenn keine tiefgestellten Zahlen angegeben werden, ist das Referenzspektrum von 100 bis 3150 Hz bei Luftschall bzw. 100 bis 2500 Hz bei Trittschall gemeint. Die spektralen Anpassungswerte  $C$  für Luftschall werden bezogen auf die jeweiligen Referenzspektren anhand der A-bewerteten Schallpegeldifferenz berechnet. Die Werte für Trittschall werden anhand der energetischen Summe über das Referenzspektrum berechnet.

Wie im Standardfrequenzbereich setzen auch Messungen ab 50 Hz (mit einem Drehmikrofon) nach ISO 140-3/6 ein diffuses Schallfeld voraus. Messungen sind demnach nur möglich, wenn eine minimale Anzahl Raummoden, (Anzahl stehender Wellen im Raum) vorhanden ist. Diese physikalische Begrenzung steht in Abhängigkeit von den Raumabmessungen (Raumvolumen).

### **3.2.5.3 Auswirkung der spektralen Anpassungswerte**

Wie in Kapitel 3.1 beschrieben, verhalten sich Leichtbaukonstruktionen im Vergleich zu massiven Konstruktionen im Tieftonbereich sehr unterschiedlich, und die Ergebnisse von Untersuchungen [4], [6], [7], [8], [9], [10], [11] zeigen relativ einheitlich, dass eine brauchbare Korrelation zwischen dem subjektiven Empfinden des Bewohners und dem bewerteten Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  nur dann existiert, wenn der spektrale Anpassungswert im erweiterten Frequenzbereich mit berücksichtigt wird ( $L_{n,w} + C_{l,50-2500}$ ). Ohne spektrale Anpassungswerte ist kein ausreichender Zu-

---

<sup>1</sup> am gleichen Bauteil

sammenhang gegeben, wie das nachfolgende Beispiel einer Holzbalkendecke mit abgehängter Vorsatzschale an Federschielen zeigt.

In Diagramm 2 ist der Norm-Trittschallpegel  $L_n$  einer Holzbalkendecke dargestellt. Die Decke erreicht einen bewerteten Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  von 31 dB. Wird der heute gängige spektrale Anpassungswert  $C_i$  (also für das Spektrum von 100 bis 2500 Hz) in die Bewertung des Trittschallpegels mit einbezogen, erreicht die Decke den noch immer hervorragenden bewerteten Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w} + C_i$  von 33 dB. Wird jedoch der für das menschliche Gehör sehr relevante Frequenzbereich ab 50 Hz betrachtet (subjektive Wirkung von Schall), erreicht die Decke einen bewerteten Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w} + C_{i,50-2500}$  von lediglich 55 dB (!).

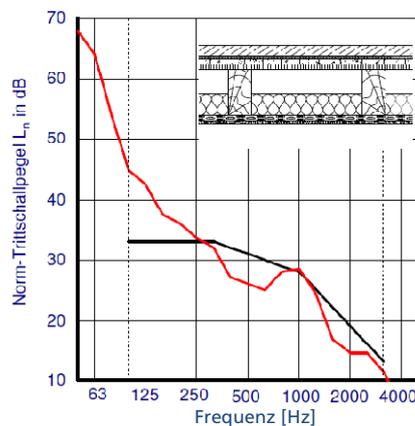


Diagramm 2 [17]: Norm-Trittschallpegel einer Holzbalkendecke mit abgehängter Vorsatzschale  
 Bewerteter Normtrittschallpegel  $L_{n,w} = 31$  dB;  
 Spektraler Anpassungswert  $C_i = 2$  dB; spektraler Anpassungswert  $C_{i,50-2500} = 24$  dB;  
 Bewerteter Normtrittschallpegel  $L_{n,w} +$  spektraler Anpassungswert  $C_{i,50-2500} = 55$  dB

### 3.2.5.4 Vergleich Leicht- zu Massivbau

Erwartungsgemäss wird im Kontext *Leicht- zu Massivbau* in [5] beschrieben und in [11] aufgezeigt, dass bei Stahlbetondecken und Holzdecken mit identischem bewertetem Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  die Stahlbetondecken bessere Werte für den bewerteten Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  inklusive der für die subjektive Wahrnehmung Rechnung tragenden spektralen Anpassungswerte ( $L_{n,w} + C_{i,50-2500}$ ) aufweisen als die Holzdecken.

### 3.2.6 Situation in Europa

Die schalltechnischen Eigenschaften von Leichtbaukonstruktionen in den tiefen Frequenzbändern sind in der Forschung und Entwicklung in vielen Staaten Mittel- und Nordeuropas hochaktuell [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25]. Wie in der Schweiz ist in vielen Staaten dank den signifikanten Fortschritten beim Brandschutz der mehrgeschossige Holzbau z.T. bis zu 14 Geschossen nun möglich und damit die neue Situation verschiedener Parteien gegeben, die im gleichen Holzgebäude neben- und übereinander leben oder arbeiten.

### 3.3 Deckentypen

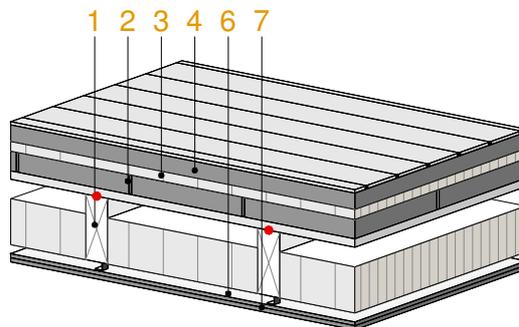
In der Schweiz werden hauptsächlich folgende vier Holzdeckentypen angewendet: Rippen-/Balkendecken, Massivholzdecken, Hohlkastendecken und Holz-Beton-Verbundecken [18].

Verschiedene Untersuchungen zeigen, dass gewisse konstruktive Massnahmen zur Verbesserung des Schallschutzes auf alle vier Typen angewendet werden können, andere unterschiedlich anzuwenden sind. In den nachfolgenden Kapiteln werden die vier Deckentypen kurz dargestellt, und es wird auf den Stand der Forschung hingewiesen.

#### 3.3.1 Holzbalken- und Rippendecken

Dieser Deckentyp (vgl. Darstellung 1) ist gut untersucht und in verschiedenen Publikationen beschrieben [1], [10], [12], [24], [25], [26], [27], [28], [36].

Es wird zwischen offener und geschlossener Holzbalkendecke unterschieden, wobei im mehrgeschossigen Holzbau aufgrund des geringen Schallschutzes von offenen Holzbalkendecken nur die geschlossene Variante zum Einsatz kommt. Eine Verleimung der oberen Beplankung mit den Balken charakterisiert die Rippendecke. Diese Verleimung führt zu höherer Steifigkeit und damit schlechterer Schalldämmung als eine Verschraubung bzw. Vernagelung, wie sie bei Holzbalkendecken gemacht wird. Wird die untere Beplankung direkt an den Balken befestigt, erfolgt die Energieübertragung hauptsächlich über die Befestigung der Unterdecke. Bei federnder Montage wird die Schallenergie primär über das Gefach übertragen, was unbedingt eine Hohlraumbedämpfung erfordert [12].

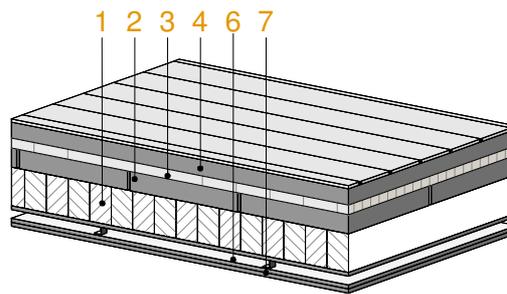


Darstellung 1: Rippen/Balkendecke

Legende: 1 Tragkonstruktion (Rohdecke), 2 Beschwerungsschicht, 3 Trittschalldämmung, 4 Trocken-/Nassestrich, 6 Abhängesystem und Hohlraumbedämpfung, 7 Deckenbekleidung

#### 3.3.2 Massivholzdecken

Bei Massivholzdecken (vgl. Darstellung 2) ist zusätzliche Aufmerksamkeit der höheren Biegesteifigkeit der Massivholzelemente im Vergleich zu Gipskarton zu schenken. *Bednar et al.* (2000) konnten zeigen, dass die Koinzidenzfrequenz solcher Elemente wegen ihrer Biegesteifigkeit und in Beziehung zu ihrer Dicke genau im unangenehmen Bereich von 250 bis 500 Hz liegt [29].



Darstellung 2: Massivholzdecke

Legende: 1 Tragkonstruktion (Rohdecke), 2 Beschwerungsschicht, 3 Trittschalldämmung,  
 4 Trocken-/Nassestrich, 6 Abhängesystem und Hohlraumbedämpfung, 7 Deckenbekleidung

Holzforschung Austria (HFA) hat im Hinblick auf eine Verbesserung der Ergebnisse unter 100 Hz Messungen bei verschiedenen Arten von Massivholzdecken durchgeführt [12]. Die geprüften Brettsperrholz-Elemente hatten einen Standardbodenaufbau: Zementnassestrich, Trittschalldämmung und – zur Verbesserung der Ergebnisse bei tiefen Frequenzen – eine Splittschicht. Der bedeutende Einfluss von Splitt auf die Schallschutzergebnisse bei dieser Bauweise ist auch in [1] aufgeführt.

Bei den Untersuchungen wurden die dynamische Steifigkeit der Trittschalldämmplatte, die Masse und das Material des schwimmenden Estrichs sowie die Dicke der Splittschicht variiert. Normalerweise führten eine grössere Masse und eine niedrigere dynamische Steifigkeit zu einer niedrigeren Resonanzfrequenz und folglich zu besseren Ergebnissen bei Frequenzen über der Resonanzfrequenz. Bei tieferen Frequenzen jedoch blieben die Pegel meist unverändert [12]. Die Norm-Trittschalldruckpegel  $L_n$  einer solchen Brettstapeldecke sind in Diagramm 3 aufgezeigt.

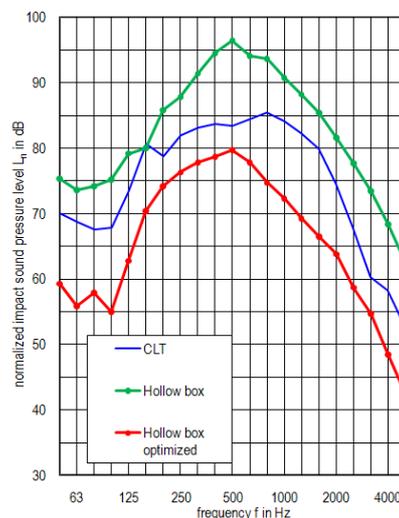
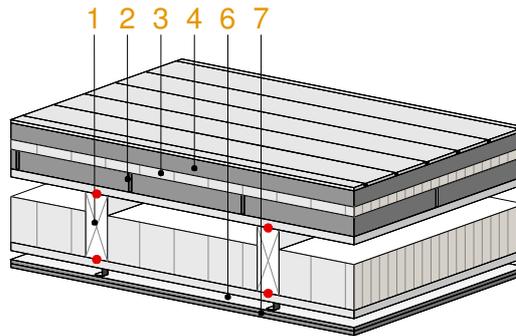


Diagramm 3 [30]: Trittschalleigenschaften einer Brettsperrholzdecke (blau), einer Decke in Hohlkastenbauweise (grün) und einer Decke in Hohlkastenbauweise mit interner Dämpfung (rot)

### 3.3.3 Hohlkastendecken

Für Decken in Hohlkastenbauweise (vgl. Darstellung 3) ist die Schalldämpfung bei tiefen Frequenzen gut untersucht [31]. Eine Auswahl von technisch raffinierten, kommerziell angebotenen Konstruktionen ist verfügbar, und Messergebnisse haben deren Zuverlässigkeit nachgewiesen [12]. In Diagramm 3 sind die Norm-Trittschalldruckpegel  $L_n$  aus diesen Untersuchungen von Deckenelementen in Hohlkastenbauweise dargestellt, mit und ohne interne Dämpfungsmassnahmen (sogenannte Tilger) für tiefe Frequenzen.



Darstellung 3: Hohlkastendecke

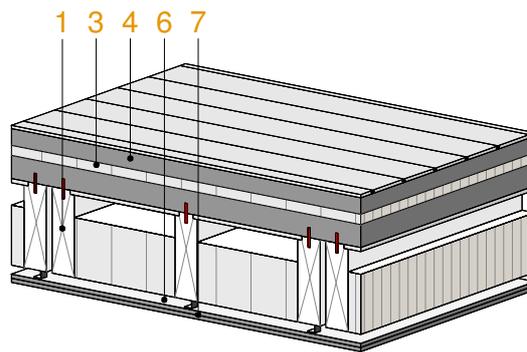
Legende: 1 Tragkonstruktion (Rohdecke), 2 Beschwerungsschicht, 3 Trittschalldämmung, 4 Trocken-/Nassestrich, 6 Abhängesystem und Hohlraumbedämpfung, 7 Deckenbekleidung

### 3.3.4 Holz-Beton-Verbunddecken (HBV-Decken)

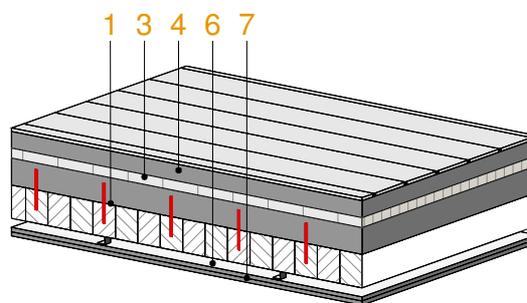
HBV-Decken sind bezüglich ihrer schalltechnischen Eigenschaften verhältnismässig weniger ausgiebig untersucht worden als andere Deckentypen. Innerhalb der Kategorie der HBV-Decken gibt es verschiedene Typen, wobei in der Schweiz vor allem Systeme mit Rippen und Systeme mit horizontal angeordneten Holzwerkstoffplatten angewendet werden [18]. Die beiden Systeme zeigen Darstellung 4 und Darstellung 5.

Messungen am Typ mit der horizontal angeordneten Holzwerkstoffplatte zeigen ein hervorragendes akustisches Verhalten solcher Decken, auch bei Niederfrequenzen. In Verbindung mit einem schwimmenden Zementnassestrich, selbst ohne Splitt, wurden Einzahlbewertungen von  $L'_{nT,w} (C_i; C_{1,50-2500 \text{ Hz}}) = 43 (-6; -2) \text{ dB}$  gemessen [12].

Gemäss [32] bzw. [33] und Erfahrung im Rahmen von [18] werden HBV-Decken in der Schweiz häufig eingesetzt und gewinnen mehr und mehr an Bedeutung. Erfolg haben sie nicht nur aufgrund ihrer schalltechnischen, sondern auch wegen ihrer statischen Eigenschaften, da sie z.B. als aussteifende Scheibe eingesetzt werden können [32].



Darstellung 4: HBV-Decke mit Rippen  
 Legende: 1 Tragkonstruktion (Rohdecke), 3 Trittschalldämmung,  
 4 Nassestrich, 6 Abhängesystem und Hohlraumbedämpfung,  
 7 Deckenbekleidung



Darstellung 5: HBV-Decke mit horizontal  
 angeordneter Holzwerkstoffplatte  
 Legende: 1 Tragkonstruktion (Rohdecke), 3 Trittschalldämmung,  
 4 Nassestrich, 6 Abhängesystem und Hohlraumbedämpfung,  
 7 Deckenbekleidung

### 3.4 Konstruktive Massnahmen zur Verbesserung des Schallschutzes

#### 3.4.1 Charakterisierung der akustischen Eigenschaften

Die akustischen Eigenschaften von Holzdecken sind schwerer abschätzbar als die von Massivdecken, weil die Rohdecken in der Regel weder als sehr schwer noch als sehr steif im Vergleich zu Deckenauflage und Unterdecke angenommen werden können. Je nach Konstruktionsart beeinflussen sich die Elemente der Decke gegenseitig, und es können Systeme mit mehreren Resonanzen entstehen [34]. Die Komplexität dieser Systeme wächst exponentiell, je mehr Schichtanzahl, Materialien, Abmessungen etc. variieren. Diese Herausbildung je neuer Eigenschaften aufgrund der Elementvariation wird als Emergenz bezeichnet.

Dem Problem der zunehmenden Komplexität kann auf unterschiedliche Art begegnet werden. Ein guter Ansatz besteht bei Emergenz häufig darin, das Gesamtsystem in Teilsysteme zu zerlegen und die Komplexität in den Teilsystemen soweit zu reduzieren, dass mit einfacher „Ameisen-Intelligenz“ das örtliche Problem im Teilsystem gelöst werden kann. Durch eine wirklich intelligente Vernetzung der Teilsysteme miteinander entsteht dann in der Regel die Möglichkeit für ein System, in dem das Resultat als Ganzes weit besser ist als das Resultat ohne Vernetzung,

wobei hypothetisch davon ausgegangen werden muss, dass dieses beim Schallschutz in Abhängigkeit von der Konstruktionsart meist ebenfalls emergent ist.

Anknüpfend an diese Theorie und der Vorgehensweise in den Forschungsarbeiten von [12] werden im Folgenden die Parameter zu drei Teilsystemen zusammengefasst, die im Prinzip zur Verbesserung der Schallschutzergebnisse beim Luft- und Trittschall generell wie auch in den tiefen Frequenzen festgehalten werden können:

- Rohdecke
- Fussbodenaufbau
- Abgehängte Unterdecken

### Hohlraumbedämpfung

Auf die beiden Teilsystemen *Rohdecke* und *abgehängte Unterdecken* hat die Hohlraumbedämpfung jeweils, bzw. je nach Kombinatorik, einen Einfluss. Da die Voraussetzungen der Hohlraumbedämpfung bei beiden Teilsystemen im gleichen Masse gelten, wird diese im Anschluss an die drei Teilsysteme in einem separaten Kapitel beschrieben.

### 3.4.2 Rohdecke

Der Hauptgrund für die geringen Schallschutzeigenschaften von Leichtbaukonstruktionen bei tiefen Frequenzen ist die geringere Masse [25]. Wie vorgängig beschrieben und in Diagramm 1 aufgezeigt, hat eine gegenüber üblichen Leichtbaudecken wesentlich schwerere Stahlbetondecke in den tiefen Frequenzbändern bedeutend tiefere Norm-Trittschallpegel  $L_n$ . Durch das Hinzufügen von Masse bei Holzdecken werden wesentlich bessere Norm-Trittschallpegel  $L_n$  in den tiefen Frequenzbändern erreicht, wobei die Art der Masse auf das Tragsystem abzustimmen ist [25]. In Diagramm 4 sind Messergebnisse von mit Splitt beschwerten Holzdecken dargestellt. Sie bieten faktisch die gleiche Trittschalldämmung wie eine Stahlbetondecke (vgl. schwarze Linie c). Die Trittschalldämmung in den höheren Frequenzen wird durch die zusätzliche Masse nicht wesentlich beeinflusst.

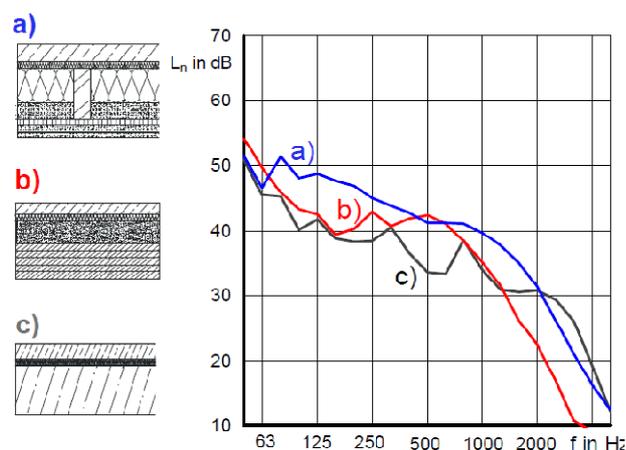


Diagramm 4 [25]: Norm-Trittschallpegel  $L_n$  optimierter Holzdecken und einer herkömmlichen Stahlbetondecke:

- Holzrippendecke mit schwimmendem Estrich auf Mineral- und Holzfasерplatten, ballastiert mit 80 mm Splitt als zusätzlicher Masse zwischen den Rippen:  $L_{n,w} + C_{1,50-2500} = 44$  dB
- Brettstapeldecke mit schwimmendem Estrich auf Mineralwolle, ballastiert mit 100 mm Splitt als zusätzlicher Masse:  $L_{n,w} + C_{1,50-2500} = 42$  dB
- Betonboden mit schwimmendem Estrich auf Mineralwolle:  $L_{n,w} + C_{1,50-2500} = 40$  dB

Die optimierten Holzdecken in Diagramm 4 bestehen jeweils aus mehreren übereinander liegenden Schichten. Mindestens eine dieser Schichten ist eine Ballastschicht aus Splitt. Diese Ballastschicht weist bei der Rippendecke eine Masse von  $120 \text{ kg/m}^2$  und bei der Brettstapeldecke von  $150 \text{ kg/m}^2$  auf. Auch in [35] und [36] wird die schalltechnische Effizienz von Ballastschichten bestätigt. Aus diesen Untersuchungen geht hervor, dass die Schalldämmung mit zunehmendem Ballast auf der Tragkonstruktion kontinuierlich signifikant besser wird. Bei ca.  $80 \text{ kg/m}^2$  flacht die Kurve schliesslich etwas ab. In Abhängigkeit von der Grundtragkonstruktion kann die Ballastschicht entweder der Estrich<sup>2</sup> oder (zusätzliches) Gewicht sein, das auf oder in der Tragstruktur platziert wird. Bei Massivholzdecken sollte Splitt verwendet werden [1], [25].

Ballastierte Deckenkonstruktionen in Leichtbauweise sind trotz der zusätzlichen Masse immer noch wesentlich leichter als Betondecken.

### *3.4.3 Fussbodenaufbau*

Die erste Massnahme zur Verbesserung des Schallschutzes von Decken ist der Einsatz eines Fussbodenaufbaus. Damit wird eine Art Masse-Feder-Masse-System geschaffen. Der Fussbodenaufbau besteht prinzipiell aus einem schwimmenden Estrich (Masse) und einer Trittschalldämmung, die als Feder wirkt.

#### *3.4.3.1 Estrich (Unterlagsboden)*

##### *Nassestrich*

Nassestriche zeichnen sich speziell im mehrgeschossigen Holzbau durch ihren effizienten Einbau, das sehr gute Schwingungsverhalten und ihre ökonomische Attraktivität aus. Zusätzlich werden Nassestriche dank ihrer grossen Einzellasten  $Q_k$  und Flächenlasten  $q_k$  auch dem tendenziell wachsenden Wunsch nach universeller Raumnutzung im mehrgeschossigen Bau gerecht [37].

Untersuchungen [25] haben gezeigt, dass die Massen von Nassestrichen bei Deckenkonstruktionen ohne abgehängte Decken  $> 190 \text{ kg/m}^2$  und bei Deckenkonstruktionen mit abgehängten Decken  $> 120 \text{ kg/m}^2$  sein müssen. Dies entspricht je nach Materialrohddichte Estrichdicken von  $> 50$  bzw.  $> 80 \text{ mm}$ .

In der Schweiz sind grundsätzlich Kalziumsulfatfliessestriche (Anhydritfliessestriche) und Zementestrich üblich. Beide sind normativ [37] geregelt und werden in der Praxis in etwa gleich häufig eingebaut. Zementestrich müssen bautechnisch dicker gewählt werden [37]. Bei HBV-Decken kommt i.d.R. Nassestrich zum Einsatz, da diese Decken einerseits häufig im mehrgeschossigen Holzbau zum Einsatz kommen und andererseits bereits „Beton“ verwendet wird.

##### *Trockenestrich*

Trockenestrich sind im Einfamilien- und Reiheneinfamilienhausbau durch die konsequente Trockenbauweise und den kleineren operativen Aufwand eine Alternative zu Nassestrichen.

---

<sup>2</sup> Beton, Anhydrit oder Gipsfaserplatten

Trockenestriche werden in der Praxis häufig in Kombination mit Trittschalldämmungen (TSD) aus Holzweichfasern verwendet, weil diese druckfester sind als TSD aus Mineralfasern und deshalb während des Einbaus begehbar sind. Ein Trockenestrich aus Fermacell-Estrichelementen erreicht in Kombination mit der Holzweichfaser-Trittschalldämmung Pavatex Pavapor 22/21 eine zulässige Einzellast  $Q_k$  von 1 kN und eine zulässige Flächenlast  $q_k$  von 2 kN/m<sup>2</sup>. Das erlaubt die Anwendung in Räumen und Fluren in Wohngebäuden mit normaler Beanspruchung [37], [38]. Für den mehrgeschossigen Holzbau erschwert dies den Einsatz von Trockenstrichen.

### **3.4.3.2 Trittschalldämmung**

#### ***Dicke***

Untersuchungen [25] haben gezeigt, dass die optimale Dicke der Trittschalldämmung (TSD) > 40 mm sein muss. Im mehrgeschossigen Bau wird TSD bautechnisch meist zweilagig verbaut, am häufigsten 2 x 20 mm. Die zweilagige Ausführung hat den Vorteil, dass Leitungen etc. in der unteren Lage geführt werden können [18]. Da die Zusammendrückbarkeit  $d_L - d_B$  mit zunehmender Dicke der TSD grösser wird und diese in [37] auf max. 5 mm begrenzt ist, wird als untere Lage auch normales, 20 mm dickes expandiertes Polystyrol angewendet, was die Dicke der eigentlichen TSD auf 20 mm reduziert.

#### ***Dynamische Steifigkeit***

Um schalltechnisch optimale Resultate zu erzielen, muss die Trittschalldämmung in Anwendung mit Nassestrichen eine dynamische Steifigkeit  $s' < 9 \text{ MN/m}^3$  [39] und in Anwendung mit Trockenstrichen  $s' < 40 \text{ MN/m}^3$  haben [41].

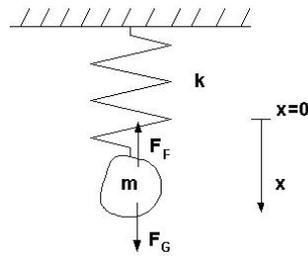
Trittschalldämmungen aus Holzweichfasern weisen i.d.R. eine dynamische Steifigkeit  $s' > 25 \text{ MN/m}^3$  auf und werden neben vorgenannten bautechnischen Aspekten u.a. deshalb selten in Kombination mit Nassestrichen verwendet. Dafür finden sie bei Trockenstrichen um so mehr Verwendung [18].

#### ***Körperschalldämpfung***

Im Vergleich zu Mineralfaser-TSD weist gewalktes expandiertes Polystyrol eine 10 x kleinere innere Körperschalldämpfung  $d$  auf. Dadurch kommt es bei der Eigenfrequenz des Nassestrichs/Trockenestrichs zu einer relativ grossen Resonanzüberhöhung, und die Dröhngeräusche (vgl. Kapitel 3.2.1) sind 8 bis 10 dB stärker ausgeprägt [39]. Aus ökonomischen Gründen kommt diese Kombination aber trotzdem häufig zum Einsatz.

### **3.4.4 Abgehängte Unterdecken**

Die Wirkung einer abgehängten, biegeweichen Unterdecke kann man als Masse-Feder-System verstehen. Wie in Darstellung 6 gezeichnet, wirkt dabei die eingeschlossene Luft bzw. Hohlraumbedämpfung als Feder.



Darstellung 6: Masse-Feder-System von abgehängten Unterdecken (Plattenschwinger)

Damit hat eine abgehängte Unterdecke eine ausgeprägte Resonanzfrequenz  $f_0$ . Diese hängt neben der Masse auch von der Federsteifigkeit der Zwischenschicht ab. Diese ist wiederum abhängig vom Elastizitätsmodul und der Distanz (Abhängehöhe) der Zwischenschicht. Die Resonanzfrequenz  $f_0$  ergibt sich zu:

Formel 1: Resonanzfrequenz  $f_0$

$$f_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{E}{h} \left( \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right) \frac{1}{\pi}}$$

Darin sind

- $f_0$  Resonanzfrequenz [Hz]
- $E$  Elastizitätsmodul der Feder [Pa] (Luft:  $\approx 0,1$  MPa)
- $h$  Länge der Feder (Abhängehöhe) [m]
- $m'_1$  flächenbezogene Masse einer Schale (Decke) [kg/m<sup>2</sup>]
- $m'_2$  flächenbezogene Masse der anderen Schale (Unterdecke) [kg/m<sup>2</sup>]

Wie in Bild 5.25 in [34] aufgezeigt, entspricht die Schalldämmung unterhalb der Resonanzfrequenz  $f_0$  des Schwingungssystems der eines gleich schweren einschaligen Bauteils. Bei der Resonanzfrequenz  $f_0$  selbst tritt eine Verschlechterung ein, und erst bei höheren Frequenzen ist die Schalldämmung des zweischaligen Bauteils besser als die des einschaligen.

#### 3.4.4.1 Biegeweiche Unterdecken bei Rippen-/Holzbalkendecken

Konstruktionen mit biegeweichen Unterdecken zeigen im Vergleich zu Konstruktionen ohne biegeweiche Unterdecken bessere Leistungen (vgl. Diagramm 1 und [25]). Bei Holzdecken wird durch schallschutztechnisch entkoppelte Unterdecken die Resonanzfrequenz  $f_0$  der Decke gegenüber nichtentkoppeltem Standardaufbau (Holzlattung) in den tieferen Frequenzbereich verschoben (von ca. 125 Hz auf ca. 63...80 Hz) und dadurch das Potenzial für die Verbesserung des Normtrittschallpegels  $L_n$  gelegt [26]. Der Schallschutz in den tiefen Frequenzen ist bei beiden Konstruktionen allerdings sehr ähnlich [1].

In [26] wird gezeigt, dass mit einer entkoppelten, einlagigen Vorsatzschale aus Gipskarton mit Dicke 25 mm um ca. 1 bis 2 dB bessere Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  bei Holzbalkendecken (mit 100 kg Beschwerung) erreicht werden, als wenn die Vorsatzschale doppelt mit je 12,5 mm Gipskarton beplankt wird.

Bei entkoppelten Unterdecken ist es von grosser Bedeutung, jeglichen Kontakt zwischen den verschiedenen Bauteilen zu vermeiden. Oft ist eine „nur“ fast perfekte Entkopplung genauso schlecht wie eine vollständige Verbindung [3].

### 3.4.4.2 Biegeweiche Unterdecken bei Massivholzdecken

Biegeweiche Unterdecken verbessern normalerweise auch bei diesem Deckentyp den Schallschutz im Standardfrequenzbereich. Eine biegeweiche Unterdecke kann die Schallschutzergebnisse jedoch auch verschlechtern, besonders bei niedrigen Frequenzen [40]. Basierend auf [12] wird in Diagramm 5 gezeigt, dass sogar biegeweiche Unterdecken mit einer sehr niedrigen Masse-Feder-Masse-Resonanzfrequenz (ungefähr 40 Hz) um 50 Hz keinen bedeutenden Einfluss auf den Schallschutz in den Frequenzbändern 50 und 63 Hz haben, dass sie diesen aber zumindest nicht verringern und dass sie die Einzahlbewertungen verbessern.

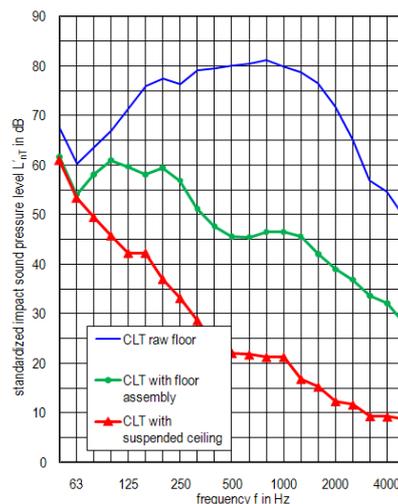


Diagramm 5 [30]: Trittschalleigenschaften einer Brettsperrholz-Rohdecke (blau), einer Brettsperrholz-Decke mit Fussbodenaufbau (grün) sowie einer Brettsperrholz-Decke mit Fussbodenaufbau und abgehängter Unterdecke (rot)

### 3.4.5 Hohlraumbedämpfung

Hohlraumfüllungen verbessern den Trittschallschutz, speziell in Kombination mit biegeweichen, federnd befestigten Unterdecken [3]. Auch bei der Luftschalldämmung werden damit bessere Resultate erzielt. Je dicker die Hohlraumbedämpfung ist, desto mehr Tiefenfrequenzwirkung wird erzielt. Physikalisch ist die ideale Dicke für die Hohlraumbedämpfung  $\frac{1}{4}$  der zu absorbierenden maximalen Wellenlänge, wobei das nur gilt, wenn diese ungehindert eindringen kann.

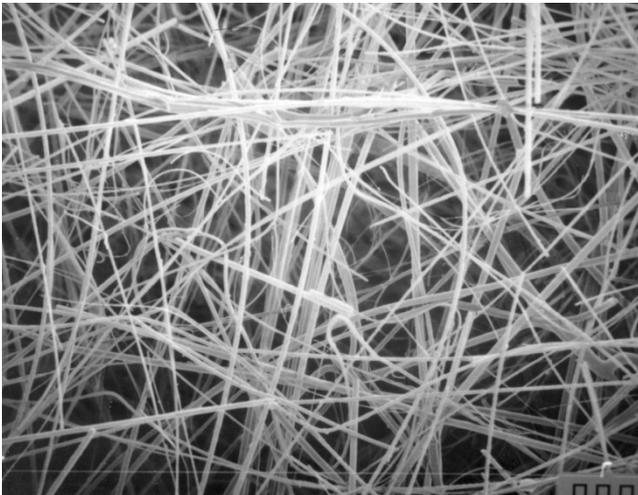
Die Dämmung muss je nach Einbausituation eine praxismgerechte Klemmwirkung erreichen.

### *Längenspezifischer Strömungswiderstand*

Bei der Hohlraumbedämpfung muss die Admittanz hoch sein, damit der Schall gut eindringen kann. Der längenspezifische Strömungswiderstand muss gemäss [16]  $r > 5 \text{ kPa s/m}^2$  sein<sup>3</sup>. Das Institut für Lärmschutz Kühn + Blickle hält als oberes Limit  $r < 80 \text{ kPa s/m}^2$  fest [41]. Der optimale längenspezifische Strömungswiderstand ist gemäss [42]  $r = 10 \text{ kPa s/m}^2$ .

### *Einfluss der Rohdichte der Hohlraumbedämpfung*

Offenporige mineralische Dämmstoffe werden aus Glas- oder Steinwollfasern hergestellt. Produktionsbedingt sind Glaswollfasern feiner als Steinwollfasern. Steinwollfasern weisen zudem kleine Schmelzperlen auf. Die Unterschiede sind in Darstellung 7 und Darstellung 8 ersichtlich. Unabhängig von ihrem Faserdurchmesser werden aus Glas- wie Steinwollfasern offenporige Dämmstoffe für den normalen Baubereich mit Rohdichten von  $10 \text{ kg/m}^3$  –  $160 \text{ kg/m}^3$  auf dem Markt angeboten. Technische Dämmungen gibt es bis über  $300 \text{ kg/m}^3$ .



Darstellung 7 [43]: Rasterelektronenmikroskopaufnahme von Glaswolle



Darstellung 8 [43]: Rasterelektronenmikroskopaufnahme von Steinwolle

Der Einfluss der Faserdurchmesser in Abhängigkeit von der Rohdichte  $\rho$  eines offenporösen Dämmmaterials auf den längenspezifischen Strömungswiderstand  $r$  wird in [34], Tabelle 4.1 beschrieben: Bei beispielsweise Faserdurchmesser  $\approx 3 \mu\text{m}$  und Rohdichten  $\rho$  von  $10$  bis  $20 \text{ kg/m}^3$  wird ein längenspezifischer Strömungswiderstand  $r$  von  $30$  bis  $80 \text{ kPa s/m}^2$  und bei Faserdurchmesser  $\approx 12 \mu\text{m}$  und Rohdichten  $\rho$  von  $20$  bis  $50 \text{ kg/m}^3$  ein längenspezifischer Strömungswiderstand  $r$  von  $3$  bis  $15 \text{ kPa s/m}^2$  erreicht.

Obwohl also die Werte bei Glaswolle in genannter Tabelle eher hoch angegeben werden (in [44] sind für zwei Glaswolle-Dämmungen mit Rohdichten  $\rho$  von  $20$  und  $30 \text{ kg/m}^3$  längenspezifische Strömungswiderstände  $r$  von  $7,8$  bzw.  $12,5 \text{ kPa s/m}^2$  gemessen worden), gibt es entgegen der landläufigen Meinung zwischen dem längenbezoge-

<sup>3</sup> Der längenspezifische Strömungswiderstand  $r$  wird z.T. auch in  $[\text{kNs/m}^4]$  angegeben, was bezogen auf  $[\text{kPa s/m}^2]$  den Wert natürlich nicht verändert.

nen Strömungswiderstand  $r$  und der Rohdichte  $\rho$  eines offenporösen Dämmmaterials nur zu einem gewissen Grad eine feste Beziehung: Glaswollämmstoffe und Steinwollämmstoffe müssten, wenn anhand ihrer Rohdichten überschlagsweise auf den längenbezogenen Strömungswiderstand  $r$  geschlossen werden soll, separat betrachtet werden. Gemessen nach [45], wird in der Literatur in [46] auf diese materialabhängigen Unterschiede ebenfalls hingewiesen.

Da der (längenspezifische) Strömungswiderstand quer zur Platte bestimmt wird, kann zudem die Hypothese aufgestellt werden, dass ferner die Fasergeometrie und -ausrichtung in der Dämmung eine grosse Rolle spielen: Um die Druckfestigkeit zu erhöhen, haben beispielsweise Mineralfaserdämmstoffe für die Aufsparrendämmung einen hohen Anteil „stehender“ Fasern, d.h. quer zur Plattenebene. Ein solcher gekreppter Dämmstoff hat deshalb hypothetisch bei gleicher Rohdichte einen deutlich kleineren längenbezogenen Strömungswiderstand  $r$  als eine normale Mineralfaserdämmung mit liegenden Fasern. Da gekreppte Produkte über den Querschnitt nicht homogen sind (an den Oberflächen liegende, in der Mittelschicht stehende Fasern), müsste für jede Dämmstoffdicke eine Messung durchgeführt werden.

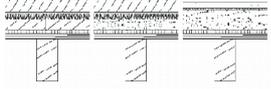
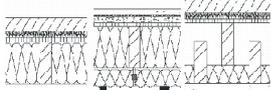
### *Füllmenge*

Es muss nicht der ganze Hohlraum gefüllt sein, sofern keine wärmetechnischen Forderungen erfüllt werden müssen. In der Praxis hat sich eine Füllung des Hohlraums von 70 % in der Dicke als ausreichend erwiesen [47], [48], [49]. In der Fläche haben sich 80 % als ausreichend erwiesen [47], [48]. Es muss daher gemäss [47] und [48] nicht jedes kleine fehlende Stück eingeschnitten werden, wie dies in der Praxis immer wieder zu sehen ist, da der Schalldämmunterschied kaum messbar und schon gar nicht hörbar ist.

### *3.4.6 Konstruktionsregeln*

Einige Konstruktionsregeln für Holzbalken-, Hohlkasten-, Brettstapel- und HBV-Decken sind in verschiedenen Forschungsberichten dokumentiert [25], [27]. Eine Auswahl an optimierten Decken in Leichtbauweise ist in Tabelle 1 und Tabelle 2 aufgeführt. Die Zielwerte für die Decken sind  $L_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 53$  dB für Standardlösungen und  $L_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 46$  dB für erhöhte Anforderungen. Diese Zielwerte basieren auf subjektiven Bewertungen durch Bewohner [50], [51] sowie auf Messungen durch das ift Rosenheim.

Tabelle 1 [25]: Konstruktionsregeln für Holzbalkendecken

Bausituation	Zielwert:				
	$L_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 53$ dB		$L_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 46$ dB		
	Belastbarkeit $p$		Belastbarkeit $p$		
	$p < 2,5$ kN/m <sup>2</sup>	$p < 5$ kN/m <sup>2</sup>	$p < 2,5$ kN/m <sup>2</sup>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120</li> <li>≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7</li> <li>≥ 60 mm Splitt, m' ≥ 90 oder</li> <li>≥ 40 mm Betonpl, m' ≥ 100</li> <li>≥ 13 mm V20, m' ≥ 7</li> <li>≥ 24 mm Riemen, m' ≥ 11</li> <li>≥ 200 mm Balken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>≥ 25 mm TE, m' ≥ 25</li> <li>≥ 12 mm TSD, s' ≤ 40</li> <li>≥ 120 mm Splitt, m' ≥ 180</li> <li>≥ 13 mm V20, m' ≥ 7</li> <li>≥ 24 mm Riemen, m' ≥ 11</li> <li>≥ 200 mm Balken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>≥ 80 mm ZE, m' ≥ 190</li> <li>≥ 20 mm TSD, s' ≤ 20</li> <li>≥ 100 mm Splitt, m' ≥ 150</li> <li>≥ 13 mm V20, m' ≥ 7</li> <li>≥ 24 mm Riemen, m' ≥ 11</li> <li>≥ 200 mm Balken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>≥ 80 mm ZE, m' ≥ 190</li> <li>≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7</li> <li>≥ 100 mm Splitt, m' ≥ 150</li> <li>≥ 13 mm V20, m' ≥ 7</li> <li>≥ 24 mm Riemen, m' ≥ 11</li> <li>≥ 200 mm Balken</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120</li> <li>≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7</li> <li>≥ 60 mm Splitt, m' ≥ 90 oder</li> <li>≥ 50 mm Betonpl, m' ≥ 120</li> <li>≥ 22 mm V20, m' ≥ 14</li> <li>≥ 220 mm Balken + Däm.</li> <li>≥ 24 mm Lattung</li> <li>≥ 12,5 mm GKB, m' ≥ 10</li> <li>≥ 12,5 mm GKB, m' ≥ 10</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>≥ 25 mm TE, m' ≥ 25</li> <li>≥ 12 mm TSD, s' ≤ 40</li> <li>≥ 30 mm Splitt, m' ≥ 45 oder</li> <li>≥ 40 mm Betonpl, m' ≥ 100</li> <li>≥ 22 mm V20, m' ≥ 14</li> <li>≥ 220 mm Balken + Däm.</li> <li>≥ 27 mm Federschiene</li> <li>≥ 12,5 mm GF / GKB, m' ≥ 10</li> <li>≥ 12,5 mm GF / GKB, m' ≥ 10</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120</li> <li>≥ 20 mm TSD, s' ≤ 20</li> <li>≥ 30 mm Splitt, m' ≥ 45</li> <li>≥ 22 mm V20, m' ≥ 14</li> <li>≥ 220 mm Balken + Däm.</li> <li>≥ 27 mm Federschiene</li> <li>≥ 12,5 mm GF / GKB, m' ≥ 10</li> <li>≥ 12,5 mm GF / GKB, m' ≥ 10</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120</li> <li>≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7</li> <li>≥ 30 mm Splitt, m' ≥ 45</li> <li>≥ 22 mm V20, m' ≥ 14</li> <li>≥ 220 mm Balken + Däm.</li> <li>≥ 100 mm Abh. + Däm.</li> <li>≥ 12,5 mm GF, m' ≥ 13</li> <li>≥ 12,5 mm GF, m' ≥ 13</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120</li> <li>≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7</li> <li>≥ 22 mm V20, m' ≥ 14</li> <li>≥ 200 mm Balken</li> <li>≥ 200 mm Balken, versetzt</li> <li>≥ 27 mm Federschiene</li> <li>≥ 25 mm GKB, m' ≥ 20</li> <li>≥ 25 mm GKB, m' ≥ 20</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>≥ 50 mm ZE, m' ≥ 120</li> <li>≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7</li> <li>≥ 220 mm Balken mit</li> <li>≥ 220 mm HWF, druckfest</li> <li>≥ 22 mm V20, m' ≥ 14</li> <li>≥ 25 mm GKB, m' ≥ 20</li> <li>≥ 25 mm GKB, m' ≥ 20</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>≥ 80 mm ZE, m' ≥ 190</li> <li>≥ 40 mm TSD, s' ≤ 7</li> <li>≥ 220 mm Balken mit</li> <li>≥ 140 mm HWF, druckfest</li> <li>≥ 80 mm Splitt, geb.</li> <li>≥ 22 mm V20, m' ≥ 14</li> <li>≥ 25 mm GKB, m' ≥ 20</li> <li>≥ 25 mm GKB, m' ≥ 20</li> </ul>	

- ZE: Zementnassestrich mit Masse m' in kg/m<sup>2</sup>  
 TE: Trockenstrich mit Masse m' in kg/m<sup>2</sup>  
 V20, Riemen: Spanplatte, Riemen mit Masse m' in kg/m<sup>2</sup>  
 TSD: Mineralfaser- oder Weichfaser-Trittschalldämmung mit dynamischer Biegesteifigkeit s' MN/m<sup>3</sup>  
 Splitt: Splitt oder Kies mit Masse m' in kg/m<sup>2</sup>  
 Betonpl.: Betonplatten (Gartenplatten) auf Boden geklebt, Abmessungen ≤ 300mm, mit Masse m' in kg/m<sup>2</sup>  
 Balken, Däm: Holzbalken, Mineralwolle ≥ 100mm  
 HWF: Holz-Weichfaser-Dämmung mit Rohdichte  $\rho \approx 140$  kg/m<sup>3</sup>  
 Lattung: Rostlatten 24/18 mm, Abstand 417 mm  
 Abh.: Abgehängte Decke (Abhängung federnd) mit 100 mm Hohlraum-Dämmung  
 Federschiene: Federschiene mit Schwingungsdämpfung, Abstand 417 mm  
 GF, GK: Gipsfaser- oder Gipskartonplatten mit Masse m' in kg/m<sup>2</sup>

Tabelle 2 [25]: Konstruktionsregeln für Brettstapeldecken und Konstruktionen in Kastenbauweise

Bausituation	Zielwert:			
	$L_{n,w} + C_{l,50-2500} \leq 53$ dB		$L_{n,w} + C_{l,50-2500} \leq 46$ dB	
	Belastbarkeit $p$		Belastbarkeit $p$	
	$p < 2,5$ kN/m <sup>2</sup>	$p < 5$ kN/m <sup>2</sup>	$p < 2,5$ kN/m <sup>2</sup>	$p < 5$ kN/m <sup>2</sup>
	≥ 50 mm ZE, $m' \geq 120$ ≥ 40 mm TSD, $s' \leq 7$ ≥ 60 mm Splitt, $m' \geq 90$ ≥ 150 mm MHD, $m' \geq 50$	≥ 25 mm TE, $m' \geq 25$ ≥ 12 mm TSD, $s' \leq 40$ ≥ 120 mm Splitt, $m' \geq 180$ ≥ 150 mm MHD, $m' \geq 50$	≥ 80 mm ZE, $m' \geq 190$ ≥ 20 mm TSD, $s' \leq 20$ ≥ 120 mm Splitt, $m' \geq 180$ ≥ 150 mm MHD, $m' \geq 50$	≥ 50 mm ZE, $m' \geq 120$ ≥ 40 mm TSD, $s' \leq 7$ ≥ 120 mm Splitt, $m' \geq 180$ ≥ 150 mm MHD, $m' \geq 50$
	≥ 50 mm ZE, $m' \geq 120$ ≥ 40 mm TSD, $s' \leq 7$ ≥ 70 mm Beton, $m' \geq 170$ ≥ 150 mm MHD, $m' \geq 50$	≥ 12 mm TE, $m' \geq 13$ ≥ 28 mm V20, $m' \geq 16$ ≥ 30 mm TSD, $s' \leq 15$ ≥ 120 mm Beton, $m' \geq 290$ ≥ 150 mm MHD, $m' \geq 50$	≥ 80 mm ZE, $m' \geq 190$ ≥ 30 mm TSD, $s' \leq 15$ ≥ 120 mm Beton, $m' \geq 290$ ≥ 150 mm MHD, $m' \geq 50$	≥ 50 mm ZE, $m' \geq 120$ ≥ 40 mm TSD, $s' \leq 7$ ≥ 120 mm Beton, $m' \geq 290$ ≥ 150 mm MHD, $m' \geq 50$
		≥ 25 mm TE, $m' \geq 25$ ≥ 12 mm TSD, $s' \leq 40$ ≥ 70 mm Beton, $m' \geq 170$ ≥ 100 mm Splitt, $m' \geq 150$ ≥ 150 mm MHD, $m' \geq 50$	≥ 50 mm ZE, $m' \geq 120$ ≥ 20 mm TSD, $s' \leq 20$ ≥ 70 mm Beton, $m' \geq 170$ ≥ 100 mm Splitt, $m' \geq 150$ ≥ 150 mm MHD, $m' \geq 50$	≥ 50 mm ZE, $m' \geq 120$ ≥ 40 mm TSD, $s' \leq 7$ ≥ 70 mm Beton, $m' \geq 170$ ≥ 100 mm Splitt, $m' \geq 150$ ≥ 150 mm MHD, $m' \geq 50$

- ZE: Zementnassestrich mit Masse  $m'$  in kg/m<sup>2</sup>
- TE: Trockenstrich mit Masse  $m'$  in kg/m<sup>2</sup>
- V20: Spanplatte mit Masse  $m'$  in kg/m<sup>2</sup>
- TSD: Mineralfaser- oder Weichfaser-Trittschalldämmung mit dynamischer Biegesteifigkeit  $s'$  MN/m<sup>3</sup>
- Splitt: Splitt oder Kies mit Masse  $m'$  in kg/m<sup>2</sup>
- Beton: Betonplatten (Gartenplatten) auf Boden geklebt, Abmessungen  $\leq 300$ mm, mit Masse  $m'$  in kg/m<sup>2</sup>
- MHD: Massivholz-/Hohlkastendecke mit Masse  $m'$  in kg/m<sup>2</sup>

### 3.4.7 Weitere Massnahmen zur Verbesserung des Schallschutzes

#### 3.4.7.1 Bauakustische Qualitätssicherung

Industriell gefertigte Holzbauteile können entweder als Flächenelemente aus Massivholz beziehungsweise Holzrahmenkonstruktionen oder als Volumenelemente<sup>4</sup> aus Massivholzkonstruktionen beziehungsweise Holzrahmenkonstruktionen gefertigt sein. Schallschutzprognosen können für Gebäude, die aus solchen industriell gefertigten Elementen errichteten werden, sehr viel zuverlässiger gemacht werden als für vor Ort errichtete Bauten.

Wie von [5] festgehalten, liegt das einerseits daran, dass bei industrieller Elementbauweise nur begrenzte Möglichkeiten für Fehler und unvorhersagbare Konstruktionsänderungen bestehen. Andererseits ermöglicht die industrielle Bauteilfertigung auch die Verwendung von Regeldetails, und ein Produktentwicklungsteam kann in der Entwurfsphase deren Fertigung kontrollieren. Ein solches Team, das aus Fachleuten mit hervorragenden Kenntnissen über (gewisse) Systeme und deren Begrenzungen besteht, ist oft unerlässlich, da „gesunder Menschenverstand“ im Zusammenhang mit Schallschutz trügerisch sein kann. Als Beispiel kann ein kurzer Vergleich zwischen Massivholz- und Ständerkonstruktion dienen.

<sup>4</sup> Ganze Räume (Volumen) werden in einer Fabrik vorfabriziert und dann zur Baustelle transportiert werden, wo man sie zusammenfügt. Das System wird oft für Schulhäuser eingesetzt, bei denen jedes Volumen ein vollständiges Klassenzimmer inklusive Korridor oder ein Teil eines Klassenzimmers ist.

Massivholzkonstruktionen sind bei mehrgeschossigen Wohngebäuden – besonders in städtischen Umgebungen – häufig. Bei erneuter Betrachtung von Diagramm 1 und [1] wird klar, dass diese Baumethode einen besseren (Tritt-) Schallschutz bietet als die Holzbalkenkonstruktion. Doch bei Massivholzkonstruktionen muss der Flankenübertragung und der schalldämmenden Leistung bei tiefen Frequenzen besonders viel Beachtung geschenkt werden. In Gebäuden, die nur aus Massivholzteilen bestehen, ist der Schallschutz – falls keine strukturellen Massnahmen gegen die Flankenübertragung ergriffen werden – im Vergleich zu Gebäuden mit Holzständerwänden schlechter [52].

#### **3.4.7.2 Verringern der Flankenübertragung**

Die Schalldämmung am Bau wird von der direkten Schallübertragung des Trennelements und von den Übertragungen über die Flankenbauteile beeinflusst. In einigen Fällen ist es nicht ungewöhnlich, dass die Flankenübertragung gegenüber der direkten Schallübertragung über die Trennwand oder die Decke vorherrscht: Die Flankenübertragung von den Dächern in Verbindung mit den Trennwänden von Doppelhäusern beispielsweise ist normalerweise der entscheidende Übertragungsweg [53].

Genau wie die Übertragung der Trennelemente hängen auch die Flankenübertragungen stark vom Konstruktionsprinzip ab. Massivkonstruktionen mit starren Verbindungen zwischen den Trenn- und Flankenbauteilen weisen ein anderes Verhalten auf als Leichtbaukonstruktionen. Die Flankenübertragungen im Leichtbau wurde in verschiedenen Projekten untersucht [28], [12], [54].

### **3.5 Nationale Anforderungen**

Die bauakustisch relevante Norm SIA 181:2006 *Schallschutz im Hochbau* ist in der Schweiz baurechtlich seit 1976 eingeführt und Teil der Lärmschutz-Verordnung LSV. Die Norm SIA 181 wurde zuletzt 2006 revidiert, um das gestiegene Ruhebedürfnis der Bevölkerung und die Entwicklung der internationalen Normierung abzubilden:

- Die Mindestanforderungen wurden moderat verschärft.
- Die erhöhten Anforderungen sind für Doppel- und Reiheneinfamilienhäuser und für neu errichtetes Stockwerkeigentum obligatorisch.
- Dem Vertragspartner erlaubt die Norm das Vereinbaren eines besseren Schallschutzes auf dem Niveau der erhöhten Anforderungen mit festgelegten Anforderungswerten oder speziellen Anforderungen mit selbst definierten Anforderungswerten unter Einhaltung der Mindestanforderungen.

Das Niveau der erhöhten Anforderungen bleibt dabei gegenüber der Fassung von 1988 nahezu unverändert.

Die Anforderungswerte für die Luftschalldämmung interner Quellen werden als  $D_i = D_{nT,w} + C - C_v^5$  ausgedrückt.  $C$  wird mit ganz wenigen Ausnahmen für das Frequenzband 100 bis 3150 Hz angegeben. Die Mindestanforderungswerte sind abhängig vom Verwendungszweck der Räume. Sie variieren zwischen 47 dB (Schlafzimmer) und 62 dB (Schule). In  $R'_w$  übertragen und ausgedrückt entspricht ein  $D_i$  von 54 dB ungefähr 54 bis 57 dB.

---

<sup>5</sup>  $D_{nT,w}$ : Gemäss ISO 717-1

$C$ : Gemäss ISO 717-1 für den Frequenzbereich 100 bis 3150 Hz

$C_v$ : Volumenkorrektur (nur wenn der Raum mehr als 200 m<sup>3</sup> umfasst), gemäss SIA 181:2006, Kapitel 2.4

Die Anforderungswerte für die Trittschalldämmung werden als  $L' = L'_{nT,w} + C_1 + C_v^6$  ausgedrückt.  $C_1$  wird für das Frequenzband 100 bis 2500 Hz angegeben. Deshalb werden Geschossdecken aus Holz, welche die Anforderungen der Norm erfüllen, häufig aus subjektiver Sicht nicht als gut eingestuft. Es wird daher diskutiert, den Betrachtungsraum auf das Frequenzband 50 bis 2500 Hz zu vergrössern und so die tiefen, beim Trittschall vorherrschenden Frequenzen mit einzubeziehen. Das Frequenzband wird im Index aufgeführt, z. B.  $C_{1,100-2500}$ .

Die geforderten Höchstwerte bei der Trittschalldämmung sind ebenfalls abhängig vom Verwendungszweck der Räume. Sie variieren zwischen 58 dB (Schlafzimmer) und 43 dB (Schule). In  $L'_{n,w}$  übertragen und ausgedrückt entspricht ein  $L'$  von 50 dB ungefähr 52 bis 45 dB.

Es gibt zwei Schallschutzanforderungsstufen: Die Mindestanforderungen wie oben beschrieben sowie die erhöhten Anforderungen. Bei den erhöhten Schallschutzanforderungen liegen die Anforderungswerte 3 dB über den Mindestanforderungen für den internen Luftschall und 3 dB unter den Mindestanforderungen für den Trittschall.

---

<sup>6</sup>  $C_1$  Gemäss ISO 717-2 für den Frequenzbereich 100 bis 2500 Hz

## 4 Material

### 4.1 Auswahl Deckensystem

Das untersuchte System ist eine HBV-Decke mit Rippen wie in Darstellung 4. Aufgrund der Erfahrungen von [25], [27] und [55] wird auf eine zusätzliche Beschwerung verzichtet. Die in Kombination mit diesem Deckensystem gewählten Hauptausführungsarten sind in Tabelle 3 dargestellt:

Tabelle 3: Übersicht Deckensystem/Deckenaufbauten (• = wird untersucht; - = wird nicht untersucht)

	Tragstruktur			
	mit Bodenaufbau	mit Beschwerung und Bodenaufbau	mit Bodenaufbau und Bekleidung	mit Beschwerung, Bodenaufbau und Bekleidung
System mit Rippen aus Massivholz, Leimholz und BSH	•	-	•	-

Die System-Auswahl erfolgte nach dem Paretoprinzip<sup>7</sup> und aufgrund folgender Rahmenbedingungen:

#### 4.1.1 Erhöhte schalltechnische Leistung im Frequenzbereich < 100 Hz

Wie in der Zielsetzung genannt, müssen die Vorgaben der Norm SIA 181:2006 *Schallschutz im Hochbau* bei Mehrfamilienhäusern, Büros etc. grundsätzlich erfüllt werden. Wie in Kapitel 3.2.2ff beschrieben, stellen im Leichtbau jedoch oft die schalltechnischen Bedürfnisse der Gebäudebenutzer eine grössere Herausforderung dar als die normativen Vorgaben. Eine zeitgemässe Holzdecke muss entsprechend auch in den Frequenzen < 100 Hz überzeugen.

Basierend auf [12] und den an einem Gebäude in Visp [55] durchgeführten *In-situ*-Messungen sowie auf den in Kapitel 3.4.2 und Kapitel 3.3.4 aufgeführten Erkenntnissen kann für das gewählte Deckensystem die Hypothese aufgestellt werden, dass es die erhöhte Anforderung nach Norm SIA 181:2006 *Schallschutz im Hochbau* auch unter Einbezug der Terzbänder 50, 63 und 80 Hz erfüllt.

<sup>7</sup> Der Druck seitens des Kunden bzw. der Normen verleitet Hersteller nicht selten zu einer Fülle von Variationen, die eine hohe Produktvielfalt der Bauteile zur Folge haben. Diese gilt es zu vermeiden. Es ist davon auszugehen, dass auch bei Deckenkonstruktionen das Paretoprinzip gilt: 20 % der Variationen decken 80 % der Situationen ab. Die restlichen 20 % der Situationen brauchen aber 80 % der Variationen. Die HBV-Decke hat einen breiten Nutzen (vgl. nachfolgende Kapitel) und folgt damit der strategischen Ausrichtung des Holzbaus.

#### *4.1.2 In der Schweiz übliches, elementbautaugliches Deckensystem*

Wie von [32] beschrieben, werden in der Schweiz HBV-Decken häufig angewendet. Wie vorgängig erwähnt und in den folgenden Kapitel aufgezeigt, erfüllt der gewählte HBV-Deckentyp technisch alle wichtigen Anforderungen für den mehrgeschossigen Holzbau.

#### *4.1.3 Qualitätssicherung / Elementbauweise*

Eine effektive Qualitätssicherung ist nur möglich, wenn Bauteilaufbauten und deren Anschlüsse serientauglich sind und so hergestellt werden. Im mehrgeschossigen Holzbau werden Bauteile massgeblich in Elementbauweise gefertigt. Diese ist bezeichnend für die Serienfertigung und die konstante Qualität. Sie zeichnet sich weiter durch die sehr hohe Güte und geringe Toleranzen aus. Das gewählte Deckensystem wird dem Elementbau gerecht und zeichnet sich durch eine geringe Komplexität aus:

- Es basiert auf einem vorausschauend definierten Basiselement, einer sogenannten Plattform. Dieses wird mit ebenfalls vorausschauend definierten Modulen den Anforderungen entsprechend ergänzt.
- Bepunktungen etc. sind aus plattenförmigen Holzwerkstoffen.
- Es lässt sich mit tiefen Komplexitätskosten und unter optimaler Ressourcennutzung (Beton wird auf Druck, Holz auf Zug belastet) herstellen.
- Es weist eine gewisse Fehlertoleranz auf (Verfugung erfolgt auf der Baustelle).
- Unter anderem durch die Firma Erne, einen grossen Holzbaubetrieb in Laufenburg, hat es sich in der Schweiz etabliert.

#### *4.1.4 Brandschutzanforderungen im mehrgeschossigen Holzbau*

Bei Gebäuden bis und mit drei Geschossen wird in der Regel REI 30 bzw. EI 30 verlangt. Ab vier Geschossen wird in der Regel REI 60/EI 30 (nbb) bzw. EI 60/EI 30 (nbb) verlangt. REI 60 bzw. EI 60 kommt hingegen selten vor [60]. Das gewählte Deckensystem erfüllt in allen Fällen immer eine der zwei Brandschutzanforderungsklassen: REI 30 bzw. EI 30 und REI 60/EI 30 (nbb) bzw. EI 60/EI 30 (nbb).

#### *4.1.5 Flachdachtauglichkeit*

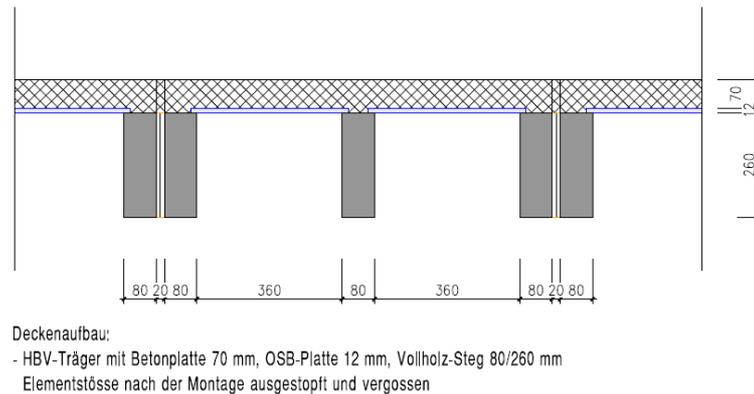
In einem Nachfolgeprojekt könnte das gewählte Deckensystem leicht modifiziert auch als Flachdach untersucht werden. In diesem Fall wird es Teil der Gebäudehülle. Das Deckensystem erlaubt die dafür nötige Wärmedämmung ein- oder auch aufzubringen und so U-Werte zwischen 0,2 und 0,1 W/m<sup>2</sup>K zu erreichen, womit es Minergie- bzw. Minergie-P - kompatibel ist. In einem solchen Nachfolgeprojekt müsste die Anschlusssituation auch unter wärmetechnischen Aspekten beachtet werden, um Oberflächenkondensat zu vermeiden (z.B.  $f_{Rsi} > 0,9$  gemäss EN ISO 10211).

## 4.2 Detail Deckensystem

### 4.2.1 Rohdecke

#### 4.2.1.1 Dimensionierung/Bemessung

Die gewählte Tragkonstruktion (Rohdecke) wurde für Raumtemperatur nach Norm SIA 265:2003 *Holzbau* für die Spannweite des Deckenprüfstandes 232c/132c der Empa (5,75 m) bemessen. Der Rippensprung  $e$  ist 400 mm. Die Dimensionen und der Materialbeschrieb sind in Darstellung 9 abgebildet.



Darstellung 9: HBV-Rohdecke (01a)

#### 4.2.1.2 Holzbautechnische Aspekte

Um Mehrwerte mit den auf der HBV-Rohdecke aufbauenden Varianten zu erzielen, sind die holzbautechnische Anforderungen bzw. Situationen mit ausgewiesenen Experten im Plenum diskutiert worden und in die Arbeit eingeflossen:

- Gängige Aufbauvariationen wurden hinsichtlich ihres echten Nutzens kritisch hinterfragt.
- Bevor neue Aufbauvariationen entwickelt wurden, wurde über ihren tatsächlichen Nutzen nachgedacht und darüber, ob sie die Situation nachhaltig verbessern.
- Bei nur für spezifische Anwendungsgebiete relevanten Anforderungswünschen wurde die Entwicklung dieser Bauteile klar von der Weiterentwicklung der Standardaufbauten getrennt, um Transparenz zu schaffen und Prioritäten zu setzen [Resultate nicht publiziert].



Abbildung 1: Herstellung der Rohdecke

## 4.2.2 Fussbodenaufbau

### 4.2.2.1 Estrich (Unterlagsboden)

Bei HBV-Decken kommt in der Regel Nassestrich zum Einsatz. Da ein Zementestrich bautechnisch dicker eingebaut werden muss und demzufolge, bedingt durch die grössere Masse, hypothetisch bessere Schalldämmwerte liefert, ist dieser gewählt worden.

Bei mehrgeschossigen Gebäuden sind die Anforderungen an die Einzellasten  $Q_k$  und Flächenlasten  $q_k$  innerhalb des Gebäudes nutzungsbedingt gemischt. Die gewählte Dicke des Zementestrichs von 80 mm beruht auf Tabelle 1, Tabelle 3 und Kapitel 2.2.5 in [37] unter folgenden Voraussetzungen:

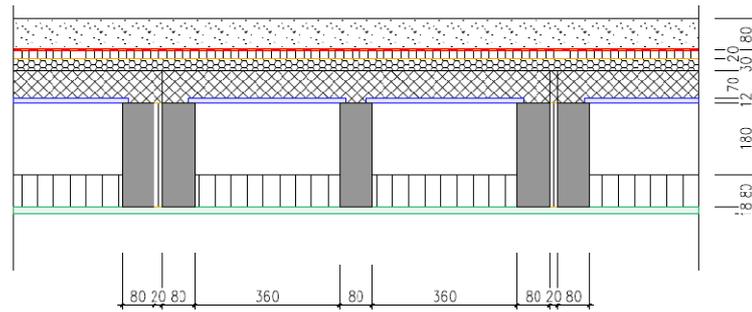
- Einzellast  $Q_k$ : 2 kN (Wohnflächen, Arbeitsflächen B1)
- Festigkeitsklasse: C20-F4
- $d_L - d_B$ : < 5 mm
- Zuschlag für Fussbodenheizung<sup>8</sup> von 15 mm

### 4.2.2.2 Trittschalldämmung

Der geprüfte Aufbau ist 20 mm Mineralfaser-TSD mit einer dynamischen Steifigkeit  $s' = 9 \text{ MN/m}^3$  auf 30 mm TSD aus gewalktem expandiertem Polystyrol mit einer dynamischen Steifigkeit  $s' < 15 \text{ MN/m}^3$ . In der Ebene des expandierten Polystyrols können haustechnische Installationen verlegt werden. Der gewählte Aufbau ist ein Kompromiss, der auf der hypothetisch schalltechnisch optimalen Lösung und den Wünschen der Holzbauer bzw. der Praxis basiert. Die Dimensionen und der Materialbeschrieb sind in Darstellung 10 abgebildet.

---

<sup>8</sup> Damit die untersuchte Decke eine in der Realität häufig gewünschte Fussbodenheizung aufnehmen könnte. Wenn der Zementestrich ohne Fussbodenheizung angewendet wird, ist er 15 mm über dem vorgeschriebenen Minimum.



- Deckenaufbau:
- Zementestrich 80 mm
  - Abdichtungsfolie
  - Trittschalldämmung: Mineralfaser 20 mm  $s' = 9 \text{ MN/m}^3$ , auf gewalktem EPS 30 mm,  $s' < 15 \text{ MN/m}^3$
  - HBV-Träger mit Betonplatte 70 mm, OSB-Platte 12 mm, Vollholz-Steg 80/260 mm  
Elementstöße nach der Montage ausgestopft und vergossen
  - Hohlraumbedämpfung: Mineralfaser 80 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
  - Brandschutztechnische Beplankung: Gipsfaserplatte nach EN 15283, 18 mm, 21 kg/m<sup>2</sup>

Darstellung 10: HBV-Decke mit Fussboden und brandschutztechnischer Beplankung (01f)

#### 4.2.3 Abgehängte Unterdecken

Zwischen der brandschutztechnischen Beplankung und der biegeweichen Unterdecke werden in der Praxis häufig gebäudetechnische Installationen geführt. Die biegeweiche Unterdecke wird in dieser Situation zwischen 100 und 150 mm federnd abgehängt. Das gewährleistet die Verlegung von Elektroinstallationen, Lüftungsrohren (85 mm), Sprinklern etc. ohne Durchdringungen der brandschutztechnischen Schichten (vgl. [56])<sup>9</sup>. Wenn keine Installationen in der Decke verlaufen, wird in der Praxis entweder raumsparend minimal abgehängt oder baugleich, wie mit Installationen. Bei Korridoren ist die Abhängehöhe in der Praxis 250 bis 400 mm.

Um bei biegeweichen Unterdecken die Verschlechterung durch die Resonanz  $f_0$  ausserhalb des bauakustisch relevanten Bereichs zu haben, muss das System so gewählt werden, dass diese unter 40...50 Hz liegt. Je nach flächenbezogener Masse der biegeweichen Unterdecke resultiert das nach Formel 1 in unterschiedlichen minimalen Abhängehöhen:

- Bei einfacher Beplankung (1 x 12,8 kg/m<sup>2</sup>) beträgt sie bei 50 Hz 82 mm und bei 40 Hz 128 mm
- Bei doppelter Beplankung (2 x 12,8 kg/m<sup>2</sup>) beträgt sie bei 50 Hz 42 mm und bei 40 Hz 66 mm

Damit rivalisieren sich die baupraktischen und berechneten Abhängehöhen nicht.

<sup>9</sup> Damit haustechnische Installationen wie elektrische Leitungen, Lüftungskanäle, Sprinkler usw. nicht detailliert und integral betrachtet werden müssen, werden bei Konstruktionen mit abgehängten Decken bzw. Vorsatzschalen diese nicht in die brandschutztechnische Berechnung mit einbezogen. Die Konstruktionen erreichen die angegebenen Feuerwiderstände also ohne die Vorsatzschalen.

#### 4.2.3.1 Konstruktionsvarianten

HBV-Decken weisen auf der Unterseite eine brennbare Oberfläche auf (OSB-Platten). Sie erfüllen so die Feuerwiderstandsklassen REI 30 und REI 60. Um die Feuerwiderstandsklasse REI 60 (nbb) zu erreichen, muss die Konstruktion entweder

- wie in Darstellung 10 gezeigt unten brandschutztechnisch beplankt werden,
- oder es muss ein nichtbrennbarer Dämmstoff mit Schmelzpunkt  $SP > 1000^\circ \text{C}$  und einer Rohdichte  $\rho > 26 \text{ kg/m}^3$  oder gleichwertig als Hohlraumdämmung eingesetzt werden [In: [57], S. 26ff, sowie Anhang *Werkstoffoptimierte Bauteile*].

Beide Varianten werden im Rahmen dieser Untersuchung analysiert.

Wie in [34] beschrieben, ist bei der Variante mit brandschutztechnischer Beplankung ohne Unterdecken (vgl. Darstellung 10), mit ausgeprägten Körperschallbrücken durch die Rippen zu rechnen.

#### *Hohlraumbedämpfung*

Bei beiden Varianten agiert die (brandschutztechnische) Mineralfaserdämmung zwischen den Rippen als Hohlraumbedämpfung. Bei der Konstruktion mit brandschutztechnischer Beplankung wird bei den Varianten mit biegeweichen Unterdecken die zusätzliche Hohlraumbedämpfung darauf aufgelegt. Die Dicke dieser zusätzlichen Hohlraumbedämpfung ist 30 mm, die Dicke der Hohlraumbedämpfung zwischen den Rippen ist bei beiden Varianten 80 mm. Die Hohlraumbedämpfungen haben jeweils einen längenspezifischen Strömungswiderstand  $r$  von 6,6 kPa s/m<sup>2</sup>.

#### *Biegeweiche Unterdecken*

Untersucht werden drei biegeweiche Unterdecken:

- Hartgipsplatte DFH2IR nach EN 520, 12,5 mm, 12,8 kg/m<sup>2</sup>
- Hartgipsplatte DFH2IR nach EN 520, 2 x 12,5 mm, 2 x 12,8 kg/m<sup>2</sup>
- Hartgipsplatte DFH2IR nach EN 520, 2 x 12,5 mm, 2 x 12,8 kg/m<sup>2</sup> mit Schwerefolie 5 mm, 10 kg/m<sup>2</sup>, Verlustfaktor bei 200 Hz nach DIN 53449 = 0,3

#### *Abhängesystem bei Konstruktion mit brandschutztechnischer Bekleidung*

Untersucht werden zwei federnde Abhängesysteme, das eine mit minimaler Abhängehöhe, wie es in der Praxis bei eingeschränkten Platzverhältnissen zur Anwendung kommt, das andere mit grösserer Abhängehöhe und somit hypothetisch auch bei diesem HBV-Deckentyp schalltechnisch optimaler:

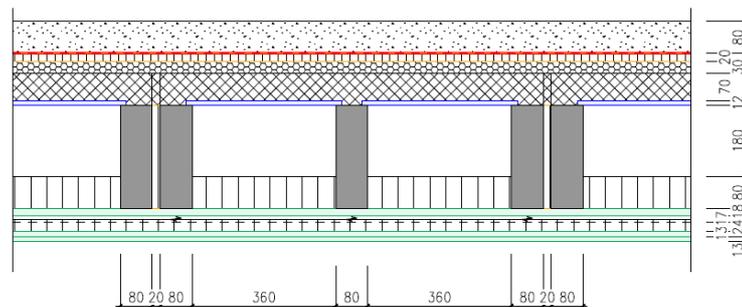
- Akustik-Schwingelement Ampaphon Z 600, 41 mm
- Direktabhängiger mit Schallschutzgummi und Deckenprofil<sup>10</sup>, 95 mm

---

<sup>10</sup> Nach Herstellervorgaben ist in Abhängigkeit vom Gewicht der Hängerabstand bei einfacher Beplankung 900 mm und bei zweifacher Beplankung 750 mm. Der Profilabstand ist 500 mm, nicht gekreuzt.

Die Variante mit minimaler Abhängehöhe müsste nach Formel 1 in Abhängigkeit der flächenbezogenen Masse Kopplungsresonanzen im Bereich von 70 bis 100 Hz aufweisen. Diese würden die Schalldämmung mindern, speziell im Tieftonbereich.

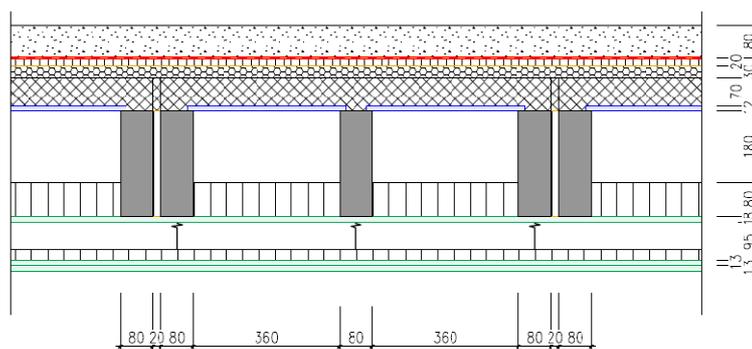
Die Dimensionen und die Materialbeschriebe der beiden Konstruktionsvarianten sind in Darstellung 11 und Darstellung 12 abgebildet:



**Deckenaufbau:**

- Zementestrich 80 mm
- Abdichtungsfolie
- Trittschalldämmung: Mineralfaser 20 mm,  $s' = 9 \text{ MN/m}^3$ , auf gewalktem EPS 30 mm,  $s' < 15 \text{ MN/m}^3$
- HBV-Träger mit Betonplatte 70 mm, OSB-Platte 12 mm, Vollholz-Steg 80/260 mm
- Elementstöße nach der Montage ausgestopft und vergossen
- Hohlraumbedämpfung: Mineralfaser 80 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Brandschutztechnische Beplankung: Gipsfaserplatte nach EN 15283, 18 mm, 21 kg/m<sup>2</sup>
- Abhängesystem 17 mm mit Lattung 24/80 mm, e 500 mm:
  - Ampak Ampaphon Z 600 (Dinaphon), e 440 bzw. 540 mm
- Hohlraumbedämpfung in Abhängesystem: Mineralfaser 30 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Biegeweihe Vorsatzschale: Hartgipsplatte (DFH2IR) nach EN 520, 2 x 12,5 mm, 2 x 12,8 kg/m<sup>2</sup>

**Darstellung 11: HBV-Decke mit brandschutztechnischer Beplankung und abgehängter, biegeweiher Unterdecke (01g2)**



**Deckenaufbau:**

- Zementestrich 80 mm
- Abdichtungsfolie
- Trittschalldämmung: Mineralfaser 20 mm,  $s' = 9 \text{ MN/m}^3$ , auf gewalktem EPS 30 mm,  $s' < 15 \text{ MN/m}^3$
- HBV-Träger mit Betonplatte 70 mm, OSB-Platte 12 mm, Vollholz-Steg 80/260 mm
- Elementstöße nach der Montage ausgestopft und vergossen
- Hohlraumbedämpfung: Mineralfaser 80 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Brandschutztechnische Beplankung: Gipsfaserplatte nach EN 15283, 18 mm, 21 kg/m<sup>2</sup>
- Abhängesystem: Direktabhängiger mit Schallschutzgummi und Deckenprofil 95 mm
- Hohlraumbedämpfung in Abhängesystem: Mineralfaser 30 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Biegeweihe Vorsatzschale: Hartgipsplatte (DFH2IR) nach EN 520, 2 x 12,5 mm, 2 x 12,8 kg/m<sup>2</sup>

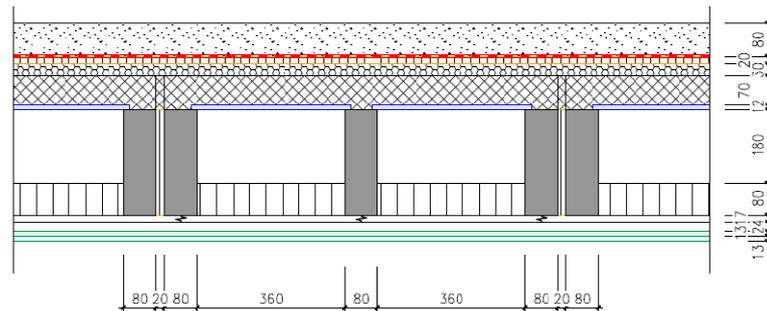
**Darstellung 12: HBV-Decke mit brandschutztechnischer Beplankung und abgehängter, biegeweiher Unterdecke (01h2)**

### Abhängesystem bei Konstruktion mit nichtbrennbarem Dämmstoff

Untersucht wird ein federndes Abhängesysteme, welches direkt auf die Rippen montiert wird:

- Akustik-Schwingelement Ampaphon Z 600, 41 mm

Diese Variante müsste hypothetisch bessere Werte erzielen als die Varianten mit brandschutztechnischer Beplanung und einer Abhängehöhe von 41 mm, da das Volumen zwischen Unterdecke und Tragschicht sehr gross ist. Die Dimensionen und der Materialbescrieb der Konstruktionsvariante sind in Darstellung 13 abgebildet:



#### Deckenaufbau:

- Zementestrich 80 mm
- Abdichtungsfolie
- Trittschalldämmung: Mineralfaser 20 mm,  $s' = 9 \text{ MN/m}^3$ , auf gewaktem EPS 30 mm,  $s' < 15 \text{ MN/m}^3$
- HBV-Träger mit Betonplatte 70 mm, OSB-Platte 12 mm, Vollholz-Steg 80/260 mm
- Elementstösse nach der Montage ausgestopft und vergossen
- Hohlraumbedämpfung; Mineralfaser 80 mm,  $r = 6,6 \text{ kPa s/m}^2$
- Abhängesystem 17 mm mit Lattung 24/48 mm, e 500 mm;  
Ampak Ampaphon Z 600 (Dinaphon), e 440 bzw. 540 mm
- Blegewelche Vorsatzschale: Hartgipsplatte (DFH2IR) nach EN 520, 2 x 12,5 mm, 2 x 12,8 kg/m<sup>2</sup>

Darstellung 13: HBV-Decke mit nichtbrennbarem Dämmstoff und abgehängter, biegeweicher Vorsatzschale (01d1)

#### 4.2.4 Detailzeichnungen

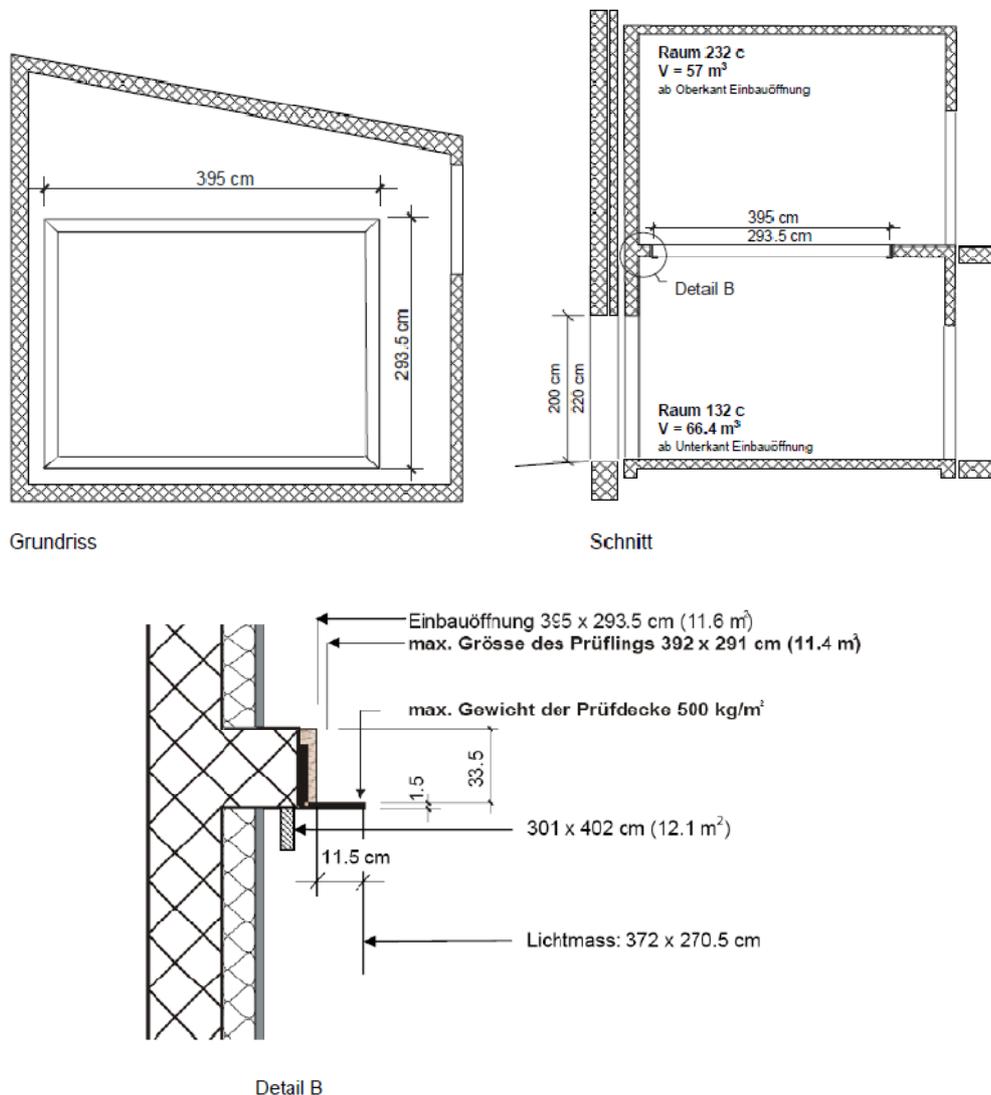
Im Anhang sind die Detailzeichnungen der gemessenen Deckenkonstruktionen aufgeführt. Die Zeichnungen enthalten die schallschutztechnisch relevanten Schichten und die korrespondierenden Dimensionen. Brandschutztechnische Angaben sind orientierend aufgeführt. Dampfbremsen etc. sind nicht eingezeichnet. Bei der Umsetzung müssen die Bauteile projektbezogen auf ihre statische und brandschutztechnische Funktion überprüft und von einem Bauphysiker kontrolliert werden.

## 5 Methode

### 5.1 Messung

#### 5.1.1 Prüfstand

Die Messungen fanden im Deckenprüfstand 232c/132c im Schallhaus 2 der Empa in Dübendorf statt. Darstellung 14 zeigt die Abmessungen. Um unerwünschte Flankenübertragungen zu verringern, sind im oberen Raum 232c (wo das Hammerwerk steht) die Wände und Decke und im Empfangsraum 132c alle Wände mit Gipskarton-Vorsatzschalen verkleidet. Die beiden übereinander liegenden Räume sind im Fundament elastisch gelagert (Haus-in-Haus-Konstruktion) als Schutz gegen von aussen eindringende Körperschall-Störungen). Die Prüföffnung beträgt  $11,4 \text{ m}^2$ .



Darstellung 14: Deckenprüfstand 232c / 132c Schallhaus 2, Empa Dübendorf (Zeichnungen: Empa)

### 5.1.2 Einbau der Decke

Die Decke liegt auf elastischen Lagern auf den Winkeln der Einbauöffnung, so dass eine Flankenübertragung vermieden wird (vgl. Abbildung 2). Die Lager sind von der Firma Stauffer Produktions AG, Ottenbach, Typ: MAXUM® Auflager RK, Dimension: 75 x 110 x 30 mm, Qualität: NK 45. Die Probengröße beträgt 3,95 x 2,93 m.



Abbildung 2: Untersicht der eingebauten Rohdecke auf elastischen Lagern (Foto: Empa)

Die Einbauhöhe der Prüfstanddecke beträgt 340 mm. Sie wurde nach unten mit einem massiven Holzrahmen von 210 mm Kantenhöhe zu einer "Nische" verlängert, so dass auch die weit abgehängten Decken seitlich abgeschlossen sind und dort mit Kitt versiegelt werden können.

Die Rohdecke wurde in drei Teilen geliefert und im Prüfstand zusammengebaut. Die Fugen wurden mit Glaswolle (Isover ISORESIST 1000 036, Dichte: ca. 20 kg/m<sup>3</sup>) satt ausgestopft (Abbildung 3), und danach wurden die Fugen mit Zement verschlossen.



Abbildung 3: Vorbereitung zum Stopfen der Fugen (Foto: Empa)

Bei den Aufbauten mit Fussbodenaufbau ragt die Decke um 170 mm über die Prüfstanddecke hinaus. Dort wurde sie seitlich mit einer Holzabdeckung umfasst, der Zwischenraum mit 20 mm Mineralfasermatten ausgefüllt und oben mit dauerplastischem Kitt (Prestik der Firma Bostik) abgeschlossen (vgl. Abbildung 4).



Abbildung 4: Randabschluss des schwimmenden Deckenaufbaus im oberen Raum (232c) (Foto: Empa)

### 5.1.3 *Verwendete Geräte*

Die Messungen wurden mit den Labor-Ausrüstungen und dem Empa-eigenen Steuer- und Erfassungsprogramm "TR" gemäss SOP 177-4 durchgeführt.

- Hammerwerke: Typ B&K 3204, interne Nummern 4, 5, 6,
- Lautsprecher für Nachhallzeiten im Raum 132c: Dodekaeder Norsonic 223, interne Nummer 2
- Drehmikrofon: Typ B&K 3923, interne Nummer 2
- Messung: Norsonic N 840, interne Nummer 3
- Leistungsverstärker: LAB 1300C

### 5.1.4 *Umgebungsbedingungen*

Der Deckenprüfstand 232c/132c befindet sich im klimatisierten Gebäudeinnern des Schallhauses 2 der Empa. Die Temperatur war gleichbleibend um 21° C, die relative Luftfeuchtigkeit bei ca. 50 %.

## **5.2 Messverfahren**

### **5.2.1 Luftschalldämmung**

#### **Messung nach EN ISO 140-3**

Die Messungen zur Analyse des schalltechnischen Verhaltens des Schalldämm-Masses  $R$  erfolgten nach EN 20140-3 bzw. ISO 140-3 1995).

Die vollständigen Deckenkonstruktionen wurden in die Prüföffnung in der Decke zweier übereinander liegender Messräume eingebaut. Die Räume entsprechen den Anforderungen von EN ISO 140. Im Senderraum wurde mit einem bewegten Lautsprecher ein Breitbandrauschen mit ausgeglichenem Terzbandspektrum erzeugt. Sowohl im Sende- als auch im Empfangsraum wurden mit Drehmikrofonen die energetischen Mittelwerte der zeitlich und örtlich schwankenden Schallpegel gemessen, um daraus die Schallpegeldifferenz  $D$  zu bilden. Die Messungen erfolgten mit einem zweikanaligen Terzbandanalysator im Frequenzbereich von 50 Hz bis 5000 Hz. Daraus wurde das Schalldämm-Mass  $R$  als Spektrum mit 21 Werten von 50 bis 5000 Hz angegeben (andere, kleinere Spektren wären ebenfalls möglich). Der Einfluss des Grundgeräusches auf den Empfangspegel wurde überwacht. Die Nachhallzeiten wurden an 8 festen Positionen des Drehmikrophons gemessen und arithmetisch gemittelt für die Bestimmung der äquivalenten Schallabsorptionsfläche  $A$ .

In den Prüfständen der Empa erfolgt die Untersuchung in der Regel in beiden Übertragungsrichtungen. Das Ergebnis im Prüfbericht ist der arithmetische Mittelwert aus den Schalldämmmassen  $R$  beider Messrichtungen.

#### **Bewertung nach EN ISO 717-1**

Als Einzahlangabe zur Kennzeichnung der Luftschallübertragung wurde aus den frequenzabhängigen Pegeln das bewertete Schalldämm-Mass  $R_w$  nach EN ISO 717-1 (1996) gebildet: Die frequenzabhängige Kurve  $R$  wird mit der genormten Bezugskurve im Frequenzbereich 100 bis 3150 Hz bewertet. Dabei wird die Bezugskurve parallel zu sich selbst in Ordinate-Richtung um ganze dB so weit verschoben, bis die Summe der ungünstigen Abweichungen kleiner oder gleich 32,0 dB ist. Eine ungünstige Abweichung bei einer bestimmten Frequenz liegt dann vor, wenn das Messergebnis niedriger als der Wert der verschobenen Bezugskurve ist. Der Wert der so verschobenen Bezugskurve bei 500 Hz entspricht dem bewerteten Schalldämm-Mass  $R_w$  des untersuchten Bauteils: Die Luftschalldämmung eines Bauteils ist um so besser, je grösser der Wert des bewerteten Schalldämm-Masses  $R_w$  ist.

Die spektralen Anpassungswerte  $C_{50-5000}$  und  $C_{tr,50-5000}$  wurden nach EN ISO 717-1 (1995) bestimmt: Die Differenz der A-bewerteten Schallpegeldifferenz zur bewerteten Schallpegeldifferenz ergibt den jeweiligen spektralen Anpassungswert.

Die Verfahren und die Bezugskurven sind in EN 20717-1 bzw. ISO 717-1 beschrieben.

### **5.2.2 Trittschalldämmung**

#### **Messung nach EN ISO 140-6**

Die Messungen zur Analyse des schalltechnischen Verhaltens des Norm-Trittschallpegels  $L_n$  erfolgten nach EN 20140-6 bzw. ISO 140-6 (1998). Die vollständigen Deckenkonstruktionen wurden in die Prüföffnung in der Decke zweier übereinander liegender Messräume eingebaut. Die Prüfungen erfolgten ohne zusätzliche Bodenbelastung.

Für die Messungen wurden die Deckenkonstruktionen mit genormten Hammerwerken nacheinander an sechs Stellen beklopft. Im darunter liegenden Empfangsraum wurde für jede Hammerwerksposition mit einem Drehmikrofon der zeitlich und örtlich schwankende Trittschallpegel während 64 Sekunden gemessen. Ein Terzbandanalysator bildete daraus die energetischen Mittelwerte in den 18 Terzbändern von 50 bis 5000 Hz. Wenn nötig wurden die Terzbandwerte mit dem Grundgeräusch korrigiert. Die sechs Einzelmessungen wurden dann pro Terz energetisch gemittelt und mit Hilfe von Nachhallzeitmessungen auf die Norm-Trittschallpegel  $L_n$  für einen Empfangsraum mit 10 m<sup>2</sup> äquivalenter Schallabsorptionsfläche umgerechnet.

### ***Bewertung nach EN ISO 717-2***

Als Einzulangabe zur Kennzeichnung der Trittschallübertragung wurde aus den frequenzabhängigen Pegeln der bewertete Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  nach EN ISO 717-2 (1996) gebildet: Die frequenzabhängige Kurve  $L_n$  wird mit der genormten Bezugskurve im Frequenzbereich von 100 bis 3150 Hz bewertet. Dabei wird die Bezugskurve parallel zu sich selbst in Ordinatenrichtung um ganze Dezibel so weit verschoben, bis die mittlere Abweichung im ungünstigen Sinn so gross wie möglich, jedoch nicht grösser als 2,0 dB wird. Diese mittlere Abweichung wird bestimmt, indem nur von den ungünstigen Abweichungen, d.h. von denen, wo das Messergebnis grösser als der Bezugswert ist, die Summe gebildet wird und dann durch die Gesamtzahl der Messfrequenzen (16) geteilt wird. Der gesuchte Wert entspricht der verschobenen Bezugskurve bei 500 Hz: Die Trittschalldämmung ist um so besser, je kleiner der bewertete Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  ist.

Der spektrale Anpassungswert  $C_{150-2500}$  wurde nach EN ISO 717-2 (1996), Anhang A, folgendermassen bestimmt: Zuerst wurde aus  $L_n$  der lineare energetische Summenpegel  $L_{n,sum}$  von 50 bis 2500 Hz berechnet. Der spektrale Anpassungswert  $C_{150-2500}$  ist dann der um 15 dB verminderte Unterschied zwischen  $L_{n,w}$  und dem Summenpegel  $L_{n,sum}$ .

Die Verfahren und die Bezugskurve sind in EN 20717-2 bzw. ISO 717-2 beschrieben.

#### ***5.2.2.1 Luftschall-Anteile***

Die Hammerwerke erzeugen im oberen Raum (232c, „Senderraum“) einen beträchtlichen Luftschallpegel. Die Luftschalldämmung des Prüfstandes (inkl. Testeinbau) ist aber so hoch, dass durch die Luftschallübertragung dieses Lärms im Empfangsraum Pegel erzeugt werden, die wesentlich tiefer sind als der zu messende Trittschall. Der emittierte Luftschall erzeugt daher keine Beeinflussung [Werte nicht gezeigt].

#### ***5.2.2.2 Messunsicherheiten***

Nach bisheriger Erfahrung der Empa beträgt die Messunsicherheit (im Sinne einer Standardabweichung) für den bewerteten Normtrittschallpegel  $L_{n,w} \pm 1,0$  dB. Beim kombinierten Mass  $L_{n,w} + C_{150-2500}$  wird die Messunsicherheit in den allermeisten Fällen durch die Tieftonanteile bestimmt. Da bei den tiefen Frequenzen die Messungen eine grössere Streuung haben, ist hier auch die Messunsicherheit grösser. Die Messunsicherheit (im Sinne einer Standardabweichung) wird für  $L_{n,w} + C_{150-2500}$  von der Empa auf  $\pm 2,0$  dB geschätzt.

#### ***5.2.3 Grundgeräusch***

Das Grundgeräusch wurde vor jeder Messung erfasst. Die Messwerte werden korrigiert, aber wenn sie weniger als 6 dB über dem Grundgeräusch liegen, werden sie nicht weiterverwendet.

#### *5.2.4 Tiefe Frequenzen*

Das Volumen des Empfangsraums 232c beträgt rund 66 m<sup>3</sup>. Bei den Frequenzen unterhalb 200 Hz, insbesondere aber unterhalb 100 Hz ergibt sich das physikalische Problem, dass die Wellenlänge im Vergleich zu den Raumabmessungen sehr gross werden und sich somit im Raum kein homogenes, diffuses Schallfeld mehr ausbilden kann. Folglich sind die Messungen bei tiefen Frequenzen mit einer höheren Unsicherheit behaftet.

## 6 Resultate

### 6.1 Prüfstand

#### 6.1.1 Luftschall

Die Messungen der HBV-Decke erfolgten gemäss ISO 140-3. Diese Norm verlangt, dass die Flankenübertragung im Prüfstand unterdrückt wird. Daher muss die Maximalschalldämmung  $R'_{\max}$  (als Spektrum) des verwendeten Prüfstands bekannt sein, der Punkt also, wo die Flankenübertragung nicht mehr vernachlässigt werden könnte. Entscheidend dafür sind die Terzen, welche für den Index zählen. In ISO 140-3 ist zur Gewährleistung der Messung zusätzlich ein Sicherheitsfaktor vorgesehen: Ist der als Spektrum gemessene Wert einer Konstruktion besser als  $R'_{\max} - 15$  dB, erfolgt gemäss Norm ein zu grosser Teil der Luftschallübertragung über die Flanken.

Bei den Messungen der HBV-Konstruktionen mit Bodenaufbau und später mit abgehängten Vorsatzschalen hat sich gezeigt, dass trotz allseitiger Vorsatzschalen im Sende- und Empfangsraum des Deckenprüfstands 232c/132c die Flankenübertragungen ein limitierendes Element darstellen: Das  $R'_{\max}$  (als Spektrum) des Deckenprüfstandes beträgt 65 dB [Werte nicht gezeigt], und somit sind Messungen  $R < 50 \dots 53$  dB möglich.

Wenn die Flankenübertragungen den Messbereich begrenzen, muss gemäss ISO 140-3 im Prüfbericht entweder ein Hinweis abgegeben werden, dass der ausgewiesene Wert  $R_w$  kleiner ist als der echte<sup>11</sup>, oder es muss ein anderer Weg gewählt werden, um nebenwegfreie Ergebnisse zu erhalten. Eine Möglichkeit bieten Intensitätsmessungen. Die auf Intensitätsmessungen basierende Norm ISO 15186-1 macht in ihrem Vorwort deutlich, dass sie als Alternative zu ISO 140-3 verwendet werden kann.

Die Empa hat deshalb schliesslich bei der Konstruktion 01h2 diese Methode, die mit einem erhöhten messtechnischen Aufwand verbunden ist, ebenfalls angewendet und die Resultate mit den konventionellen Drehmikrophon-Messungen verglichen. Es hat sich gezeigt, dass mit ISO 15186-1 echte (flankenfreie) Werte der Luftschalldämmung  $R$  bis 72 dB gemessen werden können<sup>12</sup>.

Der erhöhte messtechnische Aufwand ist dadurch bedingt, dass die Deckenfläche in 12 Felder zu je ca. 1 m<sup>2</sup> eingeteilt wird, die in zwei Richtungen abgescannt werden müssen, was zu 24 Messungen führt. Die gegenüberliegende Seite der Messfläche muss absorbierend sein, was mit dem Auslegen von absorbierendem Material bewerkstelligt wird.

---

<sup>11</sup> Werte werden üblicherweise mit ">" gekennzeichnet.

<sup>12</sup> Dieses Limit wird durch die zur Verfügung stehende Intensitätssonde bestimmt und mit Indikatoren eruiert. Dabei vergleicht einer der Indikatoren den Schallpegel (im Raum) mit der von vorne kommenden Intensität des untersuchten Bauteils und ein weiterer, ob die Sonde solche Unterschiede noch richtig erfassen kann. Im vorliegenden Fall waren die Messungen für die eingebaute Decke in Ordnung, da beide Indikatoren erfüllt wurden ( $L_{\text{Druck}} - L_{\text{Intensität}} < 10$  dB, Restintensität der Sonde genügend gross) [Werte nicht gezeigt]. Ob die Grenze der messbaren Luftschalldämmung noch höher liegt, müsste mit einer noch besser schalldämmenden Deckenkonstruktion nachgewiesen werden.

### 6.1.2 Trittschall

Anders als beim Luftschall hat sich bei den Drehmikrophon-Trittschallmessungen nach ISO 140-6 gezeigt, dass die gemessenen Werte mit den Werten aus den Intensitätsmessungen nach ISO 15186-1 übereinstimmen [Werte nicht gezeigt]. Die Trittschallmessungen sind mutmasslich aus folgenden zwei Gründen in Ordnung:

- Da die Decke im Prüfstand auf elastischen Lagern aufliegt, ist die Flankenübertragung wesentlich kleiner als beim Luftschall.
- Der "Lärm" des Hammerwerks via Luftschallübertragung ist viel kleiner als der vom Trittschall erzeugte Pegel.

### 6.1.3 Tiefe Frequenzen

Mit Messungen von 50 bis 100 Hz forderte diese Untersuchung eine Premiere von der Empa. Nach Vergleichen beim Luftschall der Drehmikrophon-Messungen nach ISO 140-3 mit den Intensitätsmessungen gemäss ISO 15186-1 hat sich ergeben, dass die Drehmikrophon-Luftschallmessungen mit einem Radius von 1,3 m auch in den Terzbändern von 50 bis 80 Hz denen in einem diffusen Schallfeld entsprechen [Werte nicht gezeigt].

## 6.2 Rohdecke

Die Norm-Trittschallpegel  $L_n$  der Rohdecke (vgl. Darstellung 9) sind in Diagramm 6 dargestellt. Es fällt auf, dass die Kurve eher der einer Betondecke als der einer Leichtbaukonstruktion gleicht (vgl. Diagramm 1). Die Rohdecke erreicht in den Frequenzbändern unterhalb von 200 Hz bedeutend bessere Werte als in den höheren, wie das auch bei Betondecken üblich ist. Durch den fehlenden Fussbodenaufbau befindet sich die Kurve erwartungsgemäss auf bauakustisch tiefem Niveau. Der bewertete Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  beträgt 88 dB.

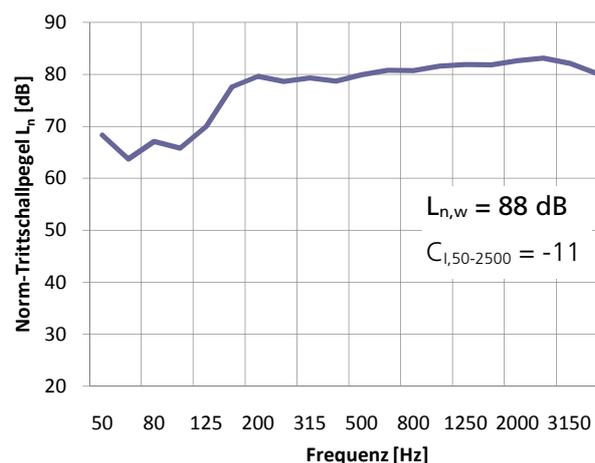


Diagramm 6: Norm-Trittschallpegel  $L_n$  der HBV-Rohdecke (01a)

Die Rohdecke erreicht ein bewertetes Schalldämm-Mass  $R_w$  von 44 dB. Die Messkurve ist in Diagramm 7 dargestellt. Wie zu erwarten, sind die Werte in den tiefen Terzbändern geringer als in den hohen. Die Schalldämmung ist in den Frequenzbändern 50, 63 und 80 Hz mit Werten zwischen 31 und 34 dB verhältnismässig gut, was vermutlich auf die Masse des 70 mm dicken Betons zurückzuführen ist. Beachtlich ist die relativ gute Schalldämmung in den Terz-

bändern 100 und 120 Hz von 37 respektive 38 dB. Die Messung wurde zweimal an unterschiedlichen Tagen durchgeführt, wobei die Abweichungen der beiden Messungen nicht signifikant sind [Werte nicht gezeigt].

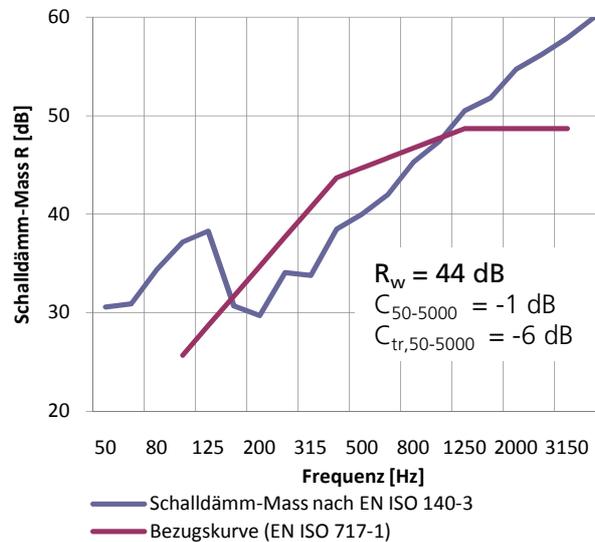


Diagramm 7: Schalldämm-Mass R der HBV-Rohdecke (01a)

### 6.3 Fussbodenaufbau

Die erste Massnahme zur Verbesserung des Schallschutzes der Decke ist der Einsatz eines schwimmenden Estrichs über der Trittschalldämmung (vgl. Darstellung 10). Mit dem Fussbodenaufbau wird eine Art Masse-Feder-Masse-System geschaffen. In Darstellung 9 sind die Normtrittschallpegel  $L_n$  dargestellt:

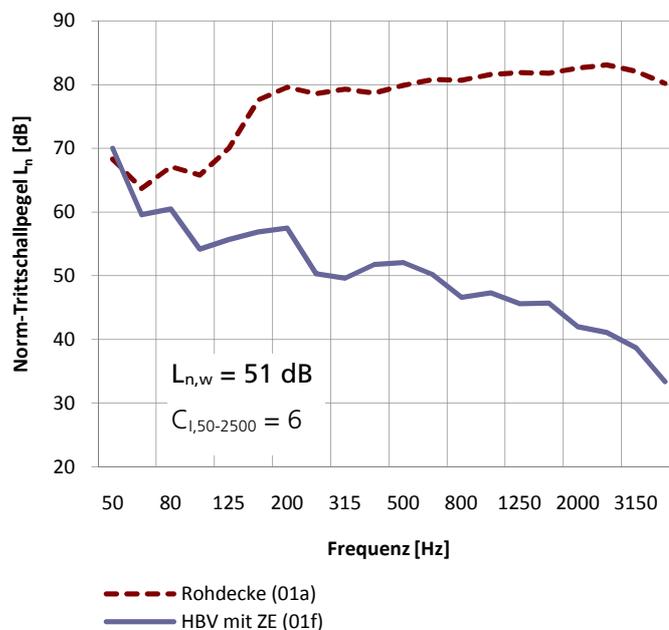


Diagramm 8: Norm-Trittschallpegel  $L_n$  der HBV-Rohdecke mit Fussbodenaufbau (01f)

In den Terzbändern 50, 63 und 80 Hz werden durch den Fussbodenaufbau in Kombination mit der Hohlraumbedämpfung und der brandschutztechnischen Beplankung Verbesserungen von -1, 4 respektive 7 dB bei der Norm-Trittschalldämmung  $L_n$  erreicht. Bis auf den negativen Wert bei 50 Hz bewegt sich die Trittschallverbesserung erwartungsgemäss in einem ähnlichen Bereich, wie die in Diagramm 5 präsentierten Daten einer beschwerten Massivholzdecke.

Der negative Wert bei 50 Hz könnte einerseits auf Messunsicherheiten zurückzuführen sein, wie in Kapitel 5.2.2.2 beschrieben. Die Verschlechterung könnte auch auf eine Resonanz der unteren Beplankung hinweisen. Eine solche wurde schon in Arbeiten von [40] in diesen Frequenzbändern entdeckt. Da jedoch der Wert mit 1 dB sehr gering ist, ist eine definitive Aussage mit den zur Verfügung stehenden Daten nicht möglich. Allgemein muss man wohl davon ausgehen, dass die zusätzliche Masse durch den Fliessestrich in diesem sehr tiefen Frequenzband keine Verbesserung gegenüber der Rohdecke bietet.

In Diagramm 9 ist das frequenzabhängige Schalldämm-Mass R dargestellt:

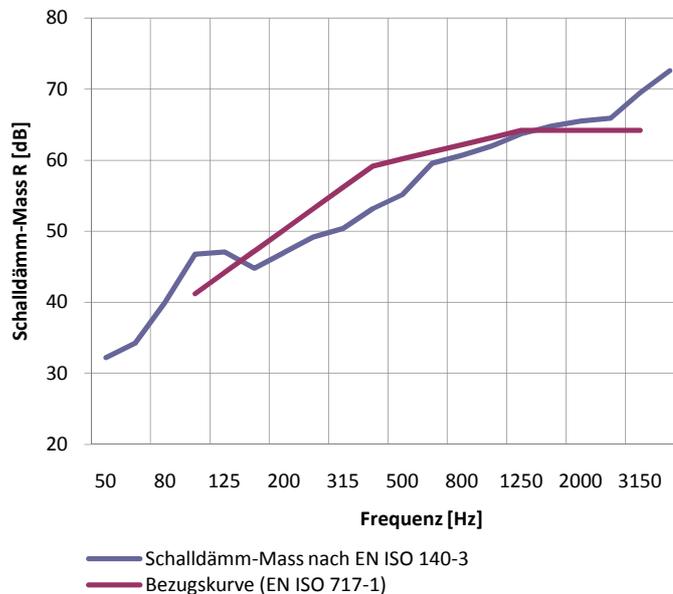


Diagramm 9: Schalldämm-Mass R der HBV-Rohdecke mit Fussbodenaufbau (01f)

In den Terzbändern 50, 63 und 80 Hz beträgt der Unterschied bei der Luftschalldämmung 2, 3 respektive 5 dB zur Rohdecke 01a. Die Verbesserung der Luftschalldämmung ist durch den Fussbodenaufbau somit in den kritischen Frequenzbändern wie bei der Trittschalldämmung ebenfalls eher moderat.

Beim Luft- wie beim Trittschall verbessert sich die Schalldämmung in den Frequenzen oberhalb ca. 100 Hz signifikant: eine Tendenz, die zu erwarten war und in verschiedenen Untersuchungen dargestellt wird. Dabei gilt es zu beachten, dass bei den ausgegebenen Luftschalldämm-Werten oberhalb von 50...53 dB, also ab ca. 315 Hz, in der Realität sogar noch mehr erwartet werden darf (vgl. Kapitel 6.1.1).

## 6.4 Abgehängte Unterdecken

Die Funktion von abgehängten Unterdecken ist die gleiche wie jene der biegeweichen Vorsatzschalen an Wänden: Es wird ein zusätzliches Masse-Feder-System eingefügt. Wie in der Einleitung beschrieben, ist die Wirkung auf den Schallschutz der Gesamtkomponente von zahlreichen unterschiedlichen Eigenschaften von Masse und Feder wie Distanz, Befestigung etc., aber auch von den akustisch zu verbessernden Schallschutzeigenschaften der Basiskomponente abhängig.

In Diagramm 10, Diagramm 11 und Diagramm 12 sind die Normtrittschallpegel  $L_n$  der gemessenen Deckenkonstruktionen mit biegeweichen Vorsatzschalen dargestellt. Um Resonanzen im Bereich von 80 bis 125 Hz zu verhindern und dadurch hypothetisch bessere schalltechnische Werte zu erzielen, wurden sowohl Varianten mit einem grossen Luftpolster hinter der biegeweichen Vorsatzschale untersucht als auch hypothetisch ungünstigere Varianten mit kleinen Luftvolumina, die z.T. aus brandschutztechnischen Gründen ausgeführt werden.

Auf die Analyse der Schalldämm-Masse  $R$  wird bei allen folgenden Konstruktionen verzichtet, da die Sichtung der Messresultate bei diesen Aufbauten gezeigt hat, dass sie ungenügend sind (vgl. Kapitel 6.1.1 und 7.1) [Werte nicht gezeigt].

### 6.4.1 Unterdecken mit grossem Luftpolster

In Diagramm 10 sind die Kurvenverläufe der ersten Gruppe abgebildet (vgl. Darstellung 13). Zur Verhinderung einer Resonanzfrequenz im bauakustisch ungünstigen Bereich haben diese ein bedämpftes Luftpolster von ca. 300 mm:

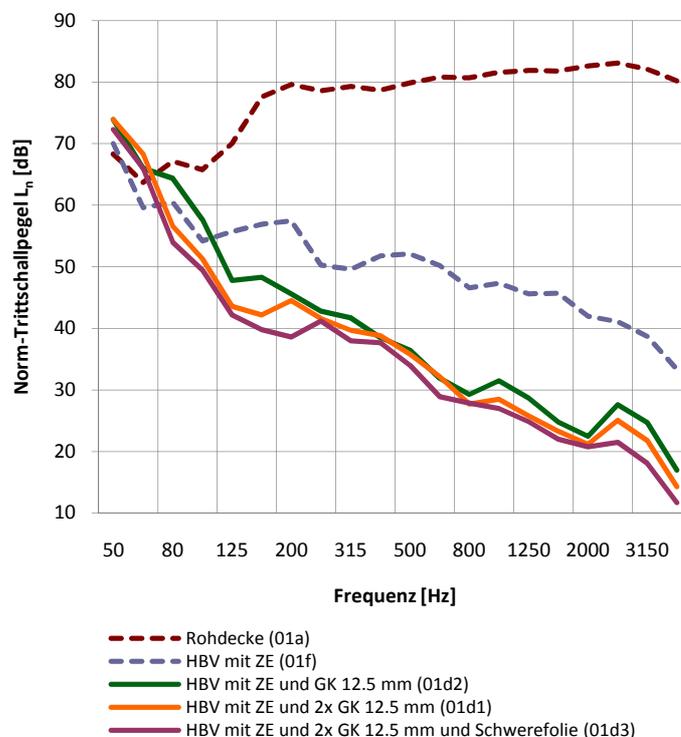


Diagramm 10: Norm-Trittschallpegel  $L_n$  der HBV-Decken mit Vorsatzschalen und grossem Luftpolster

Wie von [40] berichtet, verbessern biegeeweiche Vorsatzschalen in der Regel den Schallschutz im Standardfrequenzbereich. Dies trifft auf die im Rahmen dieser Arbeit gemessenen Konstruktionen zu; die drei Varianten *einfach beplankt (01d2)*, *doppelt beplankt (01d1)* und *doppelt beplankt mit Schwerefolie (01d3)* verbessern den Norm-Trittschallpegel  $L_n$  ab 100 Hz erheblich, was wohl darauf zurückzuführen ist, dass durch die Vorsatzschalen die ausgeprägten Körperschallbrücken unterbunden werden, die bei der direkt beplankten Variante (01f) zwischen den Schalen herrschen.

Auf der anderen Seite verschlechtern die Vorsatzschalen in den niedrigen Frequenzen den Schallschutz. Diese Tendenz, dass eine zusätzliche biegeeweiche Vorsatzschale die Schallschutzergebnisse auch verschlechtern kann – besonders bei niedrigen Frequenzen – wird von [40] ebenfalls bemerkt. Die Schallpegel-Differenzen gegenüber der Rohdecke mit Fussbodenaufbau (01f) in den Terzbändern 50, 63, 80 und 100 Hz sind durchschnittlich 3, 7, -2 und -1 dB, wobei sich die doppelt beplankte biegeeweiche Vorsatzschale (01d1) in den Frequenzen 50 und 63 Hz mit 4 respektive 8 dB gegenüber der Rohdecke mit Fussbodenaufbau am ungünstigsten verhält.

Der Rückgang in den niedrigen Frequenzbändern könnte auf die Möglichkeit von Resonanz zurückzuführen sein: Die Rippen haben ein verhältnismässig sehr geringes Sprungmass  $e$  von 400 mm. Der hohe Holzanteil könnte in Kombination mit dem geringen Abstand zur Unterdecke bei dieser zu einer ungünstigen Resonanzfrequenz  $f_0$  führen. Was dieser These zu einem Teil widerspricht, ist die Tatsache, dass alle drei Unterdecken-Varianten trotz ihrer sehr unterschiedlichen Massen von 12,8, 25,6 und 35,6 kg/m<sup>2</sup> in den Terzbändern 50 und 64 Hz ein faktisch identisches Verhalten aufzeigen.

Die bewerteten Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$  betragen für die einfach bekleidete sowie die doppelt bekleidete Decke (01d2 und 01d1) 60 dB und für die doppelt bekleidete Decke mit Schwerefolie 58 dB.

Ohne spektralen Anpassungswert  $C_{1,50-2500}$  bietet die einfach bekleidete Decke (01d2) einen um 3 dB geringeren Trittschallschutz als ihr doppelt bekleidetes Pendant (01d1) bzw. einen um 6 dB tieferen Trittschallschutz als die mit Schwerefolie gemessene Konstruktion (01d3).

#### **6.4.2 Unterdecken unter brandschutztechnischer Beplankung**

In Diagramm 11 sind die Norm-Trittschallpegel  $L_n$  für die zweite Gruppe mit zusätzlicher brandschutztechnischer Beplankung dargestellt (vgl. Darstellung 11):

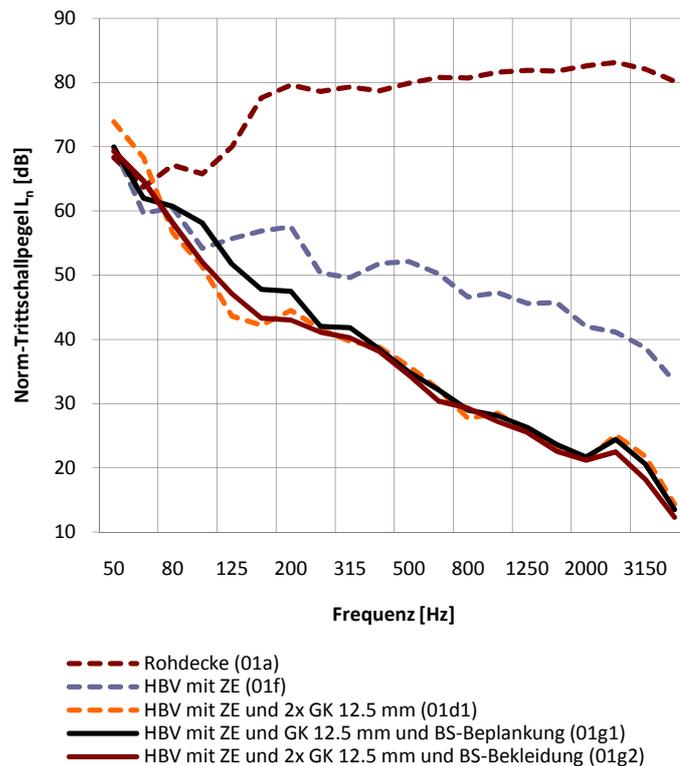


Diagramm 11: Norm-Trittschallpegel  $L_n$  der HBV-Decken mit Vorsatzschalen unter brandschutztechnischer Beplankung

In den Frequenzbändern von 50 bis 100 sind die Norm-Trittschallpegel  $L_n$  bei beiden Varianten mit der brandschutztechnischen Beplankung aus 18 mm Gipsfaserplatte um 3 bis 4 dB besser als bei der doppelt beplankten Konstruktion mit 300 mm Luftpolster (01d1).

In faktisch allen Frequenzbändern verhält sich bei dieser Konstruktionsart erwartungsgemäss die doppelt beplankte Decke mit der GF-Bepankung (01g2) besser als die einfach beplankte Decke mit GF-Bepankung (01g1). Die einfach beplankte Variante mit GF-Bepankung (01g1) bewegt sich zudem auf schalltechnisch tieferem Niveau als die doppelt beplankte Variante mit dem grossen Luftpolster (01d1). Die Kurve der doppelt beplankten Variante mit GF-Bepankung (01g2) verläuft in etwa wie die der Variante mit grossem Luftvolumen (01d1). Anders als in der Hypothese angenommen, ist also der Einfluss eines grösseren Luftpolsters bei dieser HBV-Deckenkonstruktion sehr gering bzw. bei einer doppelten Beplankung der biegeweichen Vorsatzschale vernachlässigbar.

Die Gründe für dieses Verhalten der Konstruktion müssen in der Gipsfaserplatte oder den 95 mm Hohlraumbedämpfung aus Mineralfaserdämmung bzw. der Kombination der beiden Parameter liegen. Die Gipsfaserplatte bringt mit einer Flächenmasse von ca. 21 kg/m<sup>2</sup> etwa 5 % mehr Masse in die Konstruktion, und die Menge der absorbierenden Faserdämmung ist um 40 % grösser als bei den vorgängig besprochenen Deckenvarianten 01g1 und 01g2. Bezüglich Hohlraumbedämpfung muss jedoch beachtet werden, dass diese durch die Gipsfaserplatte speziell für tieffrequente Geräuschkomponenten schalltechnisch ungünstig getrennt wird. Genau in diesen Frequenzbändern ist aber bei beiden brandschutztechnisch beplankten Decken (01g1 und 01g2) eine Verbesserung beim Trittschallschutz gegenüber den beiden Decken mit grossem Luftpolster (01d2 und 01d1) zu beobachten.

Daher beruht die Verbesserung in diesen Frequenzen wohl auf der zusätzlichen Masse, oder die Konstruktionen mit dem grossen Luftpolster (01d2 und 01d1) führen zu Resonanzen.

Die Decken mit brandschutztechnischer Beplankung (01g1 und 01g2) bieten beide einen bewerteten Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w} + C_{l,50-2500}$  von 56 dB, sind also um 4 dB besser als die beiden Konstruktionen mit grossem Luftpolster (01d2 und 01d1) und um 2 dB besser als die Konstruktion mit Schwerefolie (01d03).

Unabhängig davon wird in den beiden Diagrammen gezeigt, dass die abgehängten Decken keinen positiven Einfluss auf den Schallschutz in den tiefen Frequenzen haben und dass sie die standardisierten Einzahlbewertungen verbessern. Dieses Verhalten wurde auch in den Arbeiten von [1], [25], [49] aufgezeigt.

### 6.4.3 Unterdecken mit grossem Luftpolster unter brandschutztechnischer Beplankung

In Diagramm 12 sind die Resultate der Norm-Trittschallpegel-Messungen der beiden Deckenvarianten mit brandschutztechnischer Beplankung und um 95 mm abgehängten Vorsatzschalen (vgl. Darstellung 12) zusammen mit vorgängig analysierten Varianten aufgezeigt.

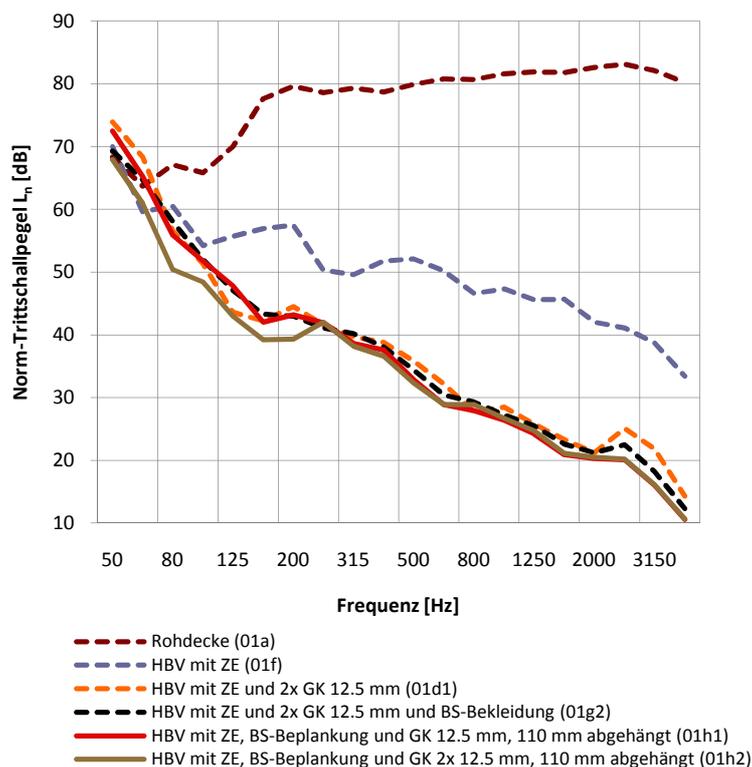


Diagramm 12: Norm-Trittschallpegel  $L_n$  der HBV-Decken mit Vorsatzschalen mit grossem Luftpolster unter brandschutztechnischer Beplankung

Die einfach beplankte Variante mit 95 mm Luftpolster (01h1) ist in ihrem Verhalten der doppelt beplankten Variante mit 41 mm Abhänghöhe (01g2) und der doppelt beplankten Konstruktion ohne brandschutztechnische Beplankung (01d1) vergleichbar. Der bewertete Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w} + C_{l,50-2500}$  ist mit 58 dB um 2 dB höher als der von 01g2 und um 2 dB tiefer als der bewertete Norm-Trittschallpegel der doppelt beplankten Konstruktion ohne brandschutztechnische Beplankung (01d1). Auch hier scheint die Ursache gegenüber der Variante mit dem grossen

Luftpolster (01d1) einerseits in der zusätzlichen Masse der brandschutztechnischen Beplankung, der zusätzlichen Hohlraumbedämpfung mit Mineralfaserdämmstoff oder der Kombination dieser Gegebenheiten zu liegen. Andererseits zeigt sich hier nun erwartungsgemäss ein zwar geringer, aber positiver Effekt durch die grössere Abhängedistanz, bietet doch diese Unterdecke bei einer Masse von  $12,8 \text{ kg/m}^2$  faktisch die gleiche schalltechnische Leistung wie die doppelt so schweren beiden anderen Unterdeckenkonstruktionen (01d1 und 01g2). Das festigt auch die These, dass sich bei den Varianten ohne brandschutztechnische Beplankung durch die kleine Distanz zwischen (den vielen) Rippen und Unterdecke möglicherweise ungünstige Resonanzen bilden.

Die Variante mit doppelter Beplankung (01g2) verhält sich in sämtlichen Terzbändern besser als die vorgängig diskutierten Varianten. Im Frequenzbereich von 50 bis 200 Hz erbringt diese Deckenkonstruktion in der Regel einen um 2 bis 4 dB besseren Norm-Trittschallpegel  $L_n$ . Dieses Ergebnis ist erfreulich, da wie erwähnt Untersuchungen von [10] gezeigt haben, dass der für Holzdecken relevante Frequenzbereich von  $\sim 50$  bis 200 Hz reicht. In den restlichen Frequenzbändern ist die Leistung dieser Variante sehr ähnlich wie bei anderen.

Diese erfreuliche Tatsache stützt die vorgängig aufgestellten Thesen in diesem Kapitel bzw. deckt sich mit den in Kapitel 4.2.3 aufgestellten Hypothesen:

- Die Rohdecke bietet aufgrund ihrer relativ hohen Masse eine verhältnismässig gute Trittschalldämmung in den tiefen Frequenzen.
- Mit dem Einbau des Teilsystems „Fussbodenaufbau“ wird die Masse der Konstruktion von ca. 190 kg auf ca. 380 kg verdoppelt, was sich in einem breiteren Spektrum der tiefen Terzbänder positiv auswirkt. Die Werte in den Terzbändern 63, 80 und 100 Hz werden z.T. stark verbessert. In den übrigen Frequenzbändern erfolgt durch das Masse-Feder-System des Fussbodenaufbaus eine signifikante Verbesserung der Norm-Trittschalldämmung  $L_n$ .
- Wie von [40] berichtet, verbessern biegeeweiche Unterdecken in der Regel den Schallschutz im Standardfrequenzbereich, was bei sämtlichen Deckenkonstruktionen mit biegeweichen Unterdecken sehr gut beobachtet werden kann. Die biegeweichen Unterdecken führen jedoch alle bis auf 01h2 zu tieferen Norm-Trittschallpegeln  $L_n$  in den tiefen Frequenzbändern. Diese unschöne Tatsache wurde wie erwähnt schon in den Arbeiten von [40] beobachtet.
- Die Hypothese, dass beim geprüften Deckentyp die Deckenkonstruktionen mit grossem Luftvolumen bessere Werte erzielen sollten als die mit kleinem, wurde insofern bestätigt, dass der Luftraum ohne Störung sein muss.
- Es muss bei den Varianten mit brandschutztechnischer Platte und um 41 mm abgehängten Unterdecken davon ausgegangen werden, dass die zusätzliche Masse der Gipsfaserplatte in etwa den Effekt des kleineren Luftvolumens aufhebt bzw. die im Lufthohlraum verlaufenden Rippen sich als ungünstiger erweisen als erwartet. Diese beiden Annahmen zusammen würden auch erklären, weshalb die Konstruktion mit brandschutztechnischer Beplankung (zusätzliche Masse) und 95 mm abgehängter (grosses Volumen), doppelt beplankter Vorsatzschale (zusätzliches Masse-Feder-System) die besten Werte liefert.

Die Decke (01h2) bietet damit den besten bewerteten Norm-Trittschallpegel. Mit einem  $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$  von 54 dB und sie ist um 4 dB besser als die Konstruktionen mit einfach beplankter Vorsatzschale (01h1) und 2 dB besser als die baugleiche Konstruktion mit 41 mm Abhängöhe.

## 7 Diskussion

### 7.1 Schallschutzlösungen für Holzdecken

In verschiedenen Forschungsberichten und in der Literatur finden sich klare Ansätze und Lösungen, wie Leichtbaukonstruktionen ausgeführt werden können, um auch in den tiefen Frequenzbändern gute Resultate zu erzielen. Diese Ansätze und Lösungen basieren in der Regel auf Labor- und Baumessungen bzw. Hypothesen daraus.

Im Rahmen dieser Arbeit sind eingangs viele dieser Konstruktionsregeln für in der Schweiz gängige Holzdeckentypen systematisch zusammengefasst. Die angewandte Systematik gründet auf der differenzierten Darstellung der drei Teilsysteme *Rohdecke*, *Fussbodenaufbau* und *abgehängte Unterdecken* sowie dem im Kontext komplementären Teilsystem *Messtechnik*, das separat betrachtet wurde.

Die Sichtung der vorhandenen Daten in der Literatur zu diesem relativ neuen Forschungszweig zeigte erwartungsgemäss auch Wissenslücken, und so wurde innerhalb dieses Projektes eine HBV-Decke detailliert im Labor untersucht. Dabei hat sich bestätigt, dass sich die Auftrennung des schalltechnisch komplexen Systems in die vorgenannten Teilsysteme nicht nur bei der Kategorisierung der Einflussparameter bewährt, sondern auch bei der Bestimmung der Konstruktionsdetails und der Analyse der Resultate. Im Folgenden werden die Teilsysteme diskutiert.

### 7.2 Messtechnik

#### 7.2.1 Messungen ab 50 Hz

Diffuse Feldbedingungen werden im Deckenprüfstand 232c/132c der Empa aufgrund seiner Dimensionen bei den tiefen Frequenzen nicht erreicht. Auch in anderen aktuellen akustischen Laboratorien werden diffuse Feldbedingungen bei tiefen Frequenzen nur selten erfüllt. Dies wird sich mittel- bis langfristig wohl kaum ändern, da die praktischen Grenzen den Bau von angemessen grossen Messräumen beschränken, die es zur Erfüllung der Anforderung an ein diffuses Schallfeld bräuchte.

Versuche der Empa haben indessen zum Resultat geführt, dass diffuse Feldbedingungen mit Drehmikrofonen im Deckenprüfstand 232c/132c mit genügender Genauigkeit simuliert werden können. Basierend auf diesen Untersuchungen, die im Rahmen dieser Arbeit entstanden sind, hat die Empa nun die Möglichkeit, auch Messungen ab 50 Hz anzubieten, dies ohne den bis anhin grossen zusätzlichen Aufwand, den eine Intensitätsmessung mit sich bringt.

Glücklicherweise behindert somit die *Volumenfrage* die F&E im Deckenprüfstand 232c/132c nicht. Unabhängig davon könnten für die Probleme, die zu kleine Prüfräume bei der Messung langer Schallwellen mit sich bringen, in Zukunft auch Modellierungsmethoden in Verbindung mit Messungen ein Lösungsansatz sein.

#### 7.2.2 Maximalschalldämmung Prüfstand

Wider Erwarten zeigte sich die Maximalluftschalldämmung des Deckenprüfstandes 232c/132c als kritischer Punkt. Bei zeitgemässen Deckenkonstruktionen wie der geprüften HBV-Decke muss faktisch immer davon ausgegangen werden, dass sie in vielen Frequenzbändern  $R > 50...53$  dB erreichen. Das Fazit für Messungen im Deckenprüfstand 232c/132c ist deshalb folgendes:

- Messungen bis zu einem R von ca. 53 dB nach ISO 140-3
- Messungen mit R über 50...53 dB bis ca. 70 dB nach ISO 15186-1

Diese Gegebenheit behindert einerseits eine effiziente F&E im Deckenprüfstand 232c/132c, da – wie erwähnt – Messungen mit der Intensitätsmethode nach ISO 15186-1 sehr aufwändig sind. Andererseits ist das Problem nicht so akut, da die Maximaldämmung des Deckenprüfstands 232c/132c beim Trittschall ausserhalb des kritischen Bereichs liegt: Wie aus Diagramm 13 hervorgeht, haben Messungen an Leichtbaudecken gezeigt, dass diese bei ausreichender Trittschalldämmung automatisch eine genügend hohe Luftschalldämmung erreichen. Man kann sich daher, wie bereits von Gösele [58] festgestellt, bei der Planung einer Holzdecke in einem Holzhaus auf die Optimierung der Trittschalldämmung konzentrieren.

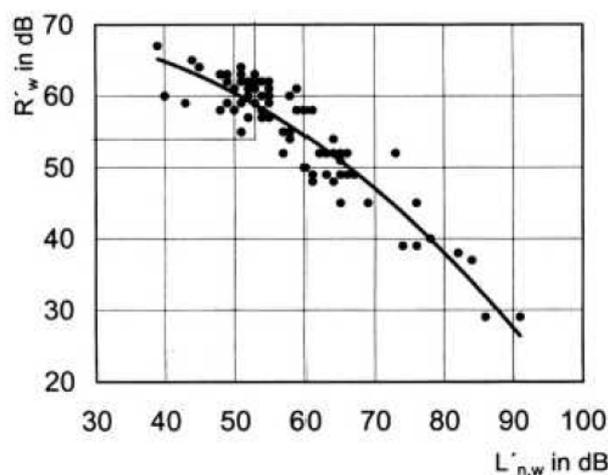


Diagramm 13 [1]: Zusammenhang zwischen Norm-Trittschallpegel  $L'_{n,w}$  und Schalldämm-Mass  $R'_w$  von verschiedenen Holzdecken in Holzbauten. Messwerte von ausgeführten Bauten (Decken mit erkennbaren schalltechnischen Fehlern sind nicht enthalten).

### 7.2.3 Messwiederholungen

Die festgestellte Diskrepanz zwischen den Luftschallmessungen nach ISO 140-3 und den Vergleichsmessungen nach ISO 15186-1 macht grundsätzlich Messwiederholungen nötig. Basierend auf vorgenannter Gegebenheit, könnte darauf verzichtet werden. Allerdings beinhalten die in [1] gezeigten Decken keine HBV-Decke vom Typ in dieser Arbeit. Messwiederholungen müssten somit zumindest bei einem Teil der Konstruktionen durchgeführt werden, um den hypothetischen Zusammenhang bei diesem Deckentyp zu verifizieren. Daher nachfolgende Auflistung betreffend Wiederholung der Luftschallmessungen mit Kommentaren:

- 01b1 / 01b2: Vorerst keine Wiederholung, da es sich nicht um vollständige Aufbauten handelt. Allenfalls sind die Messwerte jedoch für die Prognose anderer HBV-Deckenaufbauten oder zu einem späteren Zeitpunkt für Stossstellen-Untersuchungen erforderlich. Dann müssten diese Messungen wiederholt werden.
- 01d1 / 01d2: Wiederholung.
- 01d3: Wiederholung, wenn der Materiallieferant die Werte der Luftschalldämmung neben den Norm-Trittschallpegel mit der Schwerefolie ebenfalls benötigt.

- 01f: Keine Wiederholung, da die Konstruktion in der Praxis wegen Rissgefahr nur sehr selten umgesetzt wird.
- 01g1 / 01g2 / 01h1: Wiederholung.

Im Anhang sind die Detailzeichnungen der zu wiederholdenden Deckenkonstruktionen aufgeführt (vgl. auch Kapitel 7.3.1 und Kapitel 7.5.1).

### 7.3 Rohdecke

Beim Begehen von Decken in Leichtbauweise werden Geräusche erzeugt, deren Hauptkomponenten im Bereich von 16 Hz bis 200 Hz liegen [10]. Tiefe Norm-Trittschallpegel  $L_n$  können in diesen Frequenzbändern nur mit mehrschichtigen und relativ schweren Deckenkonstruktionen erreicht werden [25]. Mit einer Gesamtmasse von ca.  $380 \text{ kg/m}^2$  ist die untersuchte Decke etwa so schwer, wie dies in [25] für HBV-Decken mit horizontal angeordneter Holzwerkstoffplatte (vgl. Darstellung 5) vorgeschlagen wird. Die untersuchte Decke hat in den tiefen Frequenzbändern die Werte solcher HBV-Decken mit horizontal angeordneter Holzwerkstoffplatte jedoch nicht erzielt. Somit kann das Teilsystem *Rohdecke* des untersuchten HBV-Typs bei der Prognose nicht mit dem HBV-Typ mit horizontal angeordneter Holzwerkstoffplatte austauscht werden.

Dass bei der untersuchten Decke die „schwereren“ Varianten mit der brandschutztechnischen Beplankung bessere Resultate als die ohne diese Bekleidung erzielten, legt nahe, dass zusätzliche Masse zu einer besseren Trittschalldämmung in den Terzbändern zwischen 50 und ca. 250 Hz führen könnte. Betrachtet man die schalltechnische Leistungen von Hohlkastenkonstruktionen mit Betonverbund [25], so lässt sich vermuten, dass sich die untersuchte HBV-Decke eher wie eine Hohlkastendecke mit Betonverbund verhält als wie eine HBV-Decke mit horizontal angeordneter Holzwerkstoffplatte. Um bei Hohlkastendecken mit Betonverbund den gleichen Norm-Trittschallpegel  $L_n$  zu erhalten wie bei einer HBV-Decke mit horizontal angeordneter Holzwerkstoffplatte, wird in [25] eine grössere Masse vorgeschlagen. Wie in Tabelle 2 gezeigt, wird die grössere Masse entweder in Form von dickerem Beton (120 mm statt 70 mm) oder einer Splittschicht im Kasten (100 mm) hinzugefügt, wobei bei der zweiten Variante der Fliessestrich „nur“ 50 mm dick ist.

Mit diesen Resultaten kann für den untersuchten HBV-Typ eine zusätzliche Masse von ca.  $120 \text{ kg/m}^2$  genannt werden, um bessere Resultate im tieffrequenten Trittschallbereich zu erzielen. Dabei würde sich die Ausführung mit dickerem Beton eignen, da Splitt nicht wie bei Hohlkastendecken in die Konstruktion eingebracht werden kann. Man könnte Splitt auf dem Beton der Tragkonstruktion platzieren, falls das z.B. produktionsbedingte Vorteile bietet. Das schalltechnische Verhalten müsste jedoch ebenfalls untersucht werden.

Schliesslich muss bedacht werden, dass die Verwendung von (zusätzlicher) Masse meist grössere Dimensionen der Tragkomponenten erfordert, was i.d.R. erhöhte Kosten verursacht.

### 7.3.1 Füllmenge Hohlraumbedämpfung

Wie in [1] und [49] dargestellt hat sich eine Füllung des Hohlraums von 70 % in der Dicke als optimal erwiesen. Die untersuchte Rohdecke sowie die darauf aufbauenden Folgevarianten hatten eine Füllmenge von knapp 31 %. Es kann deshalb angenommen werden, dass sich eine grössere Menge auf die Schallschutzeigenschaften der Decke(n) positiv auswirkt. Die gemäss Kapitel 7.2.3 durchzuführenden Messwiederholungen sollten deshalb mit 180 mm statt 80 mm Hohlraumbedämpfung durchgeführt werden. Das hat zur Folge, dass auch die Trittschallmessungen wiederholt werden müssen, damit man den hypothetischen Zusammenhang zwischen Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  und Schalldämm-Mass  $R_w$  verifizieren kann (vgl. Diagramm 13).

### 7.4 Fussbodenaufbau

Der signifikante Einfluss des Teilsystems *Fussbodenaufbau* ist auch in dieser Untersuchung sehr klar zum Vorschein gekommen. Faktisch in sämtlichen Frequenzbändern verbessert er die Norm-Trittschalldämmung  $L_n$  erheblich. Hierbei stellt sich die Frage, ob mit einer konsequenten Trittschalldämmung aus Mineralfaser und der dadurch kleineren inneren Körperschalldämpfung  $d$  dieser Produkte noch bessere Werte erzielt werden könnten.

Dieser Frage sollte einerseits nachgegangen werden, da Untersuchungen [39] gezeigt haben, dass die innere Körperschalldämmung  $d$  einen Einfluss auf die sehr tiefen Terzbänder von 50 bis 100 Hz hat. Andererseits müsste vorläufig die Signifikanz abgeklärt werden. Denn in den Untersuchungen wird nicht auf die Trittschalldämm-Kombination Mineralfaser auf gewalktem expandiertem Polystyrol eingegangen.

Neben der inneren Körperschalldämmung  $d$  spielt beim Teilsystem *Fussbodenaufbau* auch die dynamische Steifigkeit  $s'$  eine Rolle. Die von [25] empfohlene dynamische Steifigkeit  $s'$  von  $7 \text{ MN/m}^3$  darf mit den in der Schweiz verfügbaren Produkten nicht angewandt werden, da solche Trittschalldämmung eine zu geringe Zusammendrückbarkeit  $d_L - d_B$  aufweisen und damit in der Schweiz nicht normgerecht gebaut werden kann. Aber auch hier stellt sich wieder die Frage nach der Signifikanz, wobei diese hier zwischen Aufbauten mit dynamischen Steifigkeiten  $< 7 \text{ MN/m}^3$  und solchen, die normativ ausgeführt werden dürfen, mit  $s' < 9 \text{ MN/m}^3$  definiert werden müsste.

### 7.5 Abgehängte Unterdecken

Das Teilsystem *abgehängte Unterdecken* hat sich bei dieser HBV-Decke so verhalten, wie es auch bei anderen Leichtbaudecken zu beobachten ist: Sein Einfluss auf die tiefen Frequenzen ist sehr begrenzt bzw. unter Umständen sogar kontraproduktiv. Bessere Resultate zeigen sich mit grösserer Masse der abgehängten Unterdecke und einer grösseren Distanz zum nächsten festen Objekt, in diesem Fall die Unterkante der Rippen.

In der Baupraxis haben sich Gipskarton- bzw. Gipsfaserplatten mit den Dicken 12,5 mm bzw. 15 mm durchgesetzt. Um bessere Resultate zu erzielen, sollten in der Praxis somit die 15 mm dicken Platten gewählt und zweilagig montiert werden. Die zweilagige Montage bietet einerseits eine grössere Masse, andererseits verhindert sie auch eine direkte Schallübertragung durch allfällige Risse bei den Plattenstössen.

Das Aufbringen zusätzlicher Masse in Form von z.B. mehr (Platten-)Schichten wäre auf Basis des Masse-Feder-Gesetzes vorteilhaft, es muss jedoch beachtet werden, dass die Abhänger in der Regel nicht dafür ausgelegt sind.

Speziell Abhänger mit Gummi etc. verhalten sich unter grosser Last nicht mehr optimal, und ihre Anzahl müsste erhöht werden [59].

### *7.5.1 Füllmenge Hohlraumbedämpfung*

Wie in Kapitel 7.3.1 auf Basis von [1] und [49] beschrieben, kann auch hier angenommen werden, dass sich bei den um 95 mm abgehängten Unterdecken eine dicker ausgeführte Hohlraumbedämpfung positiv auf die Schallschutzeigenschaften der Decke(n) auswirken würde. Die in Kapitel 7.2.3 genannten Messwiederholungen sollten deshalb mit 80 mm statt 30 mm Hohlraumbedämpfung durchgeführt werden, was zur Folge hat, dass die Trittschallmessungen ebenfalls wiederholt werden müssen, damit man den hypothetischen Zusammenhang verifizieren kann (vgl. Diagramm 13).

## *7.6 Ausblick*

Die Erfahrungen und das Wissen im Zusammenhang mit Lösungen für den Schallschutz in tiefen Frequenzen sind noch immer sehr begrenzt. Dies liegt an der Tatsache, dass die nationalen Gesetzgebungen erst seit einigen Jahren Holz als Baumaterial für derartige Bauten zulassen.

**Das Hauptziel muss sein, Lärm- und Vibrationskriterien für Leichtbaukonstruktionen zu entwickeln, die den Erfahrungen der Menschen (subjektive Wahrnehmung) besser entsprechen und dabei wirtschaftlich tragbar und robust sind.**

Die F&E muss sich auf die Entwicklung von Messmethoden, die Sammlung von Daten sowie deren Analyse fokussieren. Möglicherweise ist z.B. die Messmethode mit dem Hammerwerk nicht die einzige für die Messung der Trittschalleigenschaften von Leichtbaudecken. Andere Testmethoden wie z. B. Gummibälle können eventuell Einbezug finden.

Die F&E muss auch in Zukunft in enger Verbindung mit der Industrie durchgeführt werden.

### *7.6.1 Messtechnik*

Messungen beschränken sich zum grössten Teil auf Frequenzen über 100 Hz. Bei tieferen Frequenzen sind korrekte Messungen schwieriger, und die Messungen sind z.T. schwer reproduzierbar. Scholl hat jedoch gezeigt, dass das, was bei tiefen Frequenzen an Korrektheit verloren geht, aufgrund der steigenden Anzahl an 1/3-Oktaven im Mittelungsverfahren wieder dazugewonnen wird.

### *7.6.2 Bauteile*

Zur Gewährleistung des Schallschutzes im Tieffrequenzbereich bei Leichtbaukonstruktionen sind umfassende Beschreibungen der jeweiligen Konstruktionen notwendig (Bauteilbeschreibung, Beschreibung der Verbindungen, wenn möglich Beschreibung der akustischen Reaktionen etc.). Die Details müssen einerseits auf statistischen Methoden basieren und im Zusammenhang mit Kriterien wie z.B. ökonomischen und technischen Randbedingungen gesehen werden. Andererseits muss das erarbeitete Wissen in der gesamten Branche Verbreitung finden und in Online-Bauteilkatalogen abrufbar sein (Wissenstransfer).

### *7.6.3 Qualitätssicherung*

Die Qualitätssicherung ist von grosser Bedeutung bei der Umsetzung von bauakustischen Lösungen, wie sie [3] und [5] beschreiben. Diesbezüglich bestehen in der Schweiz zurzeit weder ein Qualitätsplan noch spezifische Anweisungen für Konstruktionen. Die schweizerischen Brandschutzvorschriften (Zulassungsbehörde ist die Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen VKF) verlangen jedoch, dass Holzbau-Gebäudeprojekte mit 5 oder 6 Geschossen von einem anerkannten Fachingenieur begleitet werden [60]. Dieses Instrument könnte erweitert/adaptiert und im Hinblick auf die Sicherung der erforderlichen Schallschutzqualität bei Gebäuden angewandt werden.

In Zukunft beruht die Qualität von Bauteilen ggf. auch auf garantierten Werten<sup>13</sup>, falls bei Bauobjekten eine ähnliche Entwicklung wie bei Maschinen und Geräten stattfindet. Bei der Ausarbeitung von Richtlinien wie jener im Zusammenhang mit Lärmemissionen von Geräten und Maschinen, die im Freien verwendet werden (Richtlinie 2000/14/EG), ist dieser Trend zu erkennen. Diese Art von Qualitätskontrolle würde für Labortests präzisere Bewertungsmethoden erfordern als jene, die gegenwärtig vorhanden sind.

---

<sup>13</sup> unter Berücksichtigung von Variationen, Materialien, Bauverfahren etc.

## 8 Glossar

Tabelle 4: Auflistung schall- und bautechnischer Abkürzungen und Symbole

Symbol oder Abkürzung	Einheit	Bedeutung	Definiert bzw. erläutert in:
$f$	Hz	Frequenz	DIN 4109 Anhang A
$L_n$	dB	Norm-Trittschallpegel je Terz	
$L'_n$	dB	Norm-Trittschallpegel je Terz, gemessen am Bau	
$L_{n,w}$	dB	bewerteter Norm-Trittschallpegel	
$L'_{n,w}$	dB	bewerteter Norm-Trittschallpegel, gemessen am Bau	
$\Delta L$	dB	Trittschallminderung je Terz	
$L_{n,w,eq}$	dB	äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel von Beton-Rohdecken	
$\Delta L_w$	dB	Trittschallverbesserungsmass auf Betondecken	
$L_{n,w,eq,H}$	dB	äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel von Holz-Rohdecken	[1]
$\Delta L_{w,H}$	dB	Trittschallverbesserungsmass auf Holzdecken	[1]
$\Delta L_{n,w,Beschwerung}$	dB	Verbesserung des bewerteten Norm-Trittschallpegels durch die Beschwerung der Rohdecke	[1]
$R$	dB	Schalldämm-Mass je Terz	
$R'$	dB	Schalldämm-Mass je Terz, gemessen am Bau	
$R_L$	dB	Schall-Längsdämm-Mass	
$D_{n,f}$	dB	Norm-Flankenpegeldifferenz	EN 12354-1
$L_{n,f}$	dB	Norm-Trittschallpegel flankierende Bauteile	EN 12354-2
$C$	dB	Spektraler Anpassungswert für Rosa Rauschen	EN ISO 717-1
$C_{tr}$	dB	Spektraler Anpassungswert für Strassenverkehrsgeräusch	EN ISO 717-1
$C_l$	dB	Spektraler Anpassungswert für Trittschall	EN ISO 717-2
$f_0$	Hz	Resonanzfrequenz	
$f_g$	Hz	Grenzfrequenz (Koinzidenzfrequenz) von Bauteilen	
$s'$	MN/m <sup>3</sup>	dynamische Steifigkeit	EN ISO 9052-1
$r$	kN s/m <sup>4</sup>	längenbezogener Strömungswiderstand	EN ISO 9053
$m'$	kg/m <sup>2</sup>	flächenbezogene Masse	
$E$	N/mm <sup>2</sup>	Elastizitätsmodul	
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	Rohdichte	
$d$	mm	Dicke	
M-%	%	Feuchte in Masse-Prozent	

MF		Mineralfaser	
WF		Holzweichfaser	
PS		Polystyrol	
ZE		Zementestrich	
ZSPA		zementgebundene Spanplatte	
OSB		Orientend Strand Board	
GK		Gipskartonplatte	
GF		Gipsfaserplatte	

### ***Körperschallübertragung***

Besteht zwischen dem Geräuscherzeuger und dem Bauteil ein direkter Kontakt, so wird das Bauteil zu Schwingungen angeregt. Körperschallanregungen und in der Folge Körperschallübertragungen gehen auch von haustechnischen Installationen oder Anlagen aus. Die direkte Anregung des Fussbodens beim Begehen löst mehr oder weniger starke Trittschallübertragungen aus. Trittschall ist eine spezielle Art von Körperschall. Durch die periodischen Druckschwankungen, die sich dem atmosphärischen Druck überlagern, werden die betroffenen Bauteile in Schwingungen versetzt. Diese wiederum regen in der Folge die Moleküle eines angrenzenden Luftvolumens zu Schwingungen an.

### ***Lärm***

Lärm ist störend wirkender oder lästig empfundener Schall. Es handelt sich also um die physikalisch definierte Energieform Schall und deren Störung als ungünstige Folgewirkung auf den Menschen. Als Schall werden die vom menschlichen Gehör wahr genommene Druckschwankungen, bezogen auf den atmosphärischen Luftdruck, bezeichnet. Schallwellen sind mechanische Schwingungen, die sich nach den physikalischen Gesetzmässigkeiten der Wellenlehre ausbreiten.

### ***Luftschallübertragung***

Die Übertragung erfolgt entweder über Öffnungen etc. direkt, oder aber die einzelnen Bauteile werden durch Luftschall angeregt. Schallwellen, die durch unterschiedliche Erzeuger (Strassenlärm, Sprechen etc.) entstehen, breiten sich in der Luft aus und treffen auf Gebäudehüllen oder raumbegrenzende Bauteile auf.

## 9 Referenzen

---

- 1 Holtz, F.; Hessinger, J.; Buschbacher, H.P.; Rabold, A. (1999): *Informationsdienst Holz – Schalldämmende Holzbalken- und Brettstapeldecken*. Holzbau Handbuch, Reihe 3, Teil 3, Folge 3. Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH), München
- 2 Rabold, A.; Hessinger, J.; Holtz, F.; Buschbacher, H.P. (2005): *Schalldämmung von Haustrennwänden in Holzbauweise*. In: Tagungsband DAGA 2005
- 3 Sipari, P.; Heinonen, R.; Parmanen, J. (1998): *Acoustics properties of wooden floor slabs*. In: VTT Publications 345
- 4 Burkhart, C. (2002): *Tieffrequenter Trittschall – Messergebnisse, mögliche Ursachen*. In: Tagungsband DAGA 2002
- 5 Hagberg, K.; Persson, T.; Höök, M. (2009): *Design of light weight constructions – risks and opportunities*. In: InterNoise 2009. Ottawa
- 6 Hveem, S.; Homb, A.; Hagberg, K.; Rindel, J.H. (1996): *Low-frequency footfall noise in multi-storey timber frame buildings*. Forschungsbericht, Nordic Committee and Work Reports
- 7 Warnock, A.C.C. (2000): *Low-frequency impact sound transmission through floor systems*. In: InterNoise 2000
- 8 Scholl, W. (2002): *Das Normhammerwerk muss laufen lernen*. In: Tagungsband DAGA 2001
- 9 Jeon, Y. J.; Jeong, J. H. (2002): *Objective and Subjective Evaluation of Floor Impact Noise*. In: Journal of Temporal Design in Architecture and the Environment 2, S. 20–28
- 10 Kühn, B.; Blickle, R. (2004): *Trittschalldämmung und Gehgeräusche-Immissionen von Geschossdecken aus Holz*. In: WKS 52, S. 17–20
- 11 Lang, J. (2006): *Schallschutz im Wohnungsbau*. In: Forschungsbericht ifip TU Wien
- 12 Teibinger, M.; Dolezal, F. (2008): *Urbanes Bauen in Holz- und Holz-mischbauweise*. Technisch-wissenschaftlicher Endbericht. Holzforschung Austria, Wien
- 13 Vermeir, G. (2003): *Experiences on building acoustics quality in Belgian residencies*. In: InterNoise 2003
- 14 Mortensen, F.R. (1999): *Subjective evaluation of noise from neighbours with focus on low frequencies*. Main report. Publication no. 53, Department of Acoustic Technology, Technical University of Denmark
- 15 SIA 181:2006 *Schallschutz im Hochbau*
- 16 DIN 4109 *Schallschutz im Hochbau*
- 17 Rabold, A. (2010): *Subjektives Empfinden Trittschall*. Bauzentrum München, ift Rosenheim
- 18 *Schallschutz im Holzbau*. Ein nationales Kooperationsprojekt der Lignum und BFH-AHB, Zürich und Biel
- 19 *AkuLite – Sound, vibrations and springiness in lightweight buildings*. A national project by SP Trätek, Stockholm
- 20 *AcuWood – Acoustics in wooden buildings*, WoodWisdom-Net Project WW-2009-1-37
- 21 *LowFreCon – Low Frequency and Apartment Buildings in Lightweight Mode of Construction*. A feasibility study by the Federal Institute of Technology TGM, Vienna for the European Confederation of Woodworking Industries
- 22 *NetAcoustics for Timber based Lightweight Buildings and Elements*. COST action FP0702

- 23 *Integrating and Harmonizing Sound Insulation Aspect in Sustainable Urban Housing Constructions*. COST action TU0901
- 24 Rabold, A.; Hamm, P. (2009): *Schall- und schwingungsoptimierte Holzdecken*. In: bauen mit holz, 4, Seiten 38–43
- 25 Rabold, A.; Düster; Hessinger, J.; Rank, E. (2009): *Optimization of lightweight floors in the low frequency range with a FEM based prediction model*. In: Tagungsband DAGA 2009
- 26 Krämer, G. (2006): *Teil 2: Altes Holz auf neuestem Stand – Brand- und schallschutztechnische Sanierung von Holzbalkendecken*. In: Trockenbau Akustik, Heft 10, S. 40–48, Köln
- 27 Rabold, A. (2010): *Anwendung der Finite Element Methode auf die Trittschallberechnung*. Dissertation, Technische Universität München
- 28 Holtz, F.; Rabold, A.; Hessinger, J.; Bacher (2005): *Ergänzende Deckenmessungen zum laufenden Vorhaben: Integration des Holz- und Skelettbaus in die neue DIN 4109*. Forschungsbericht des Labors für Schall- und Wärmemesstechnik GmbH – das Schallschutzprüfzentrum des ift Rosenheim
- 29 Bednar, T.; Vodicka, M.; Dreyer, J. (2000): *Entwicklungen im mehrgeschossigen Holzbau am Beispiel des Schallschutzes der Trenndecken*. Jahrestagung der Österreichischen Physikalischen Gesellschaft (ÖPG) Fachausschuss Akustik, Graz
- 30 Bartlomé, O. (2010): *Sound insulation in timber construction considering the low frequency range: How to improve*. In: Feasibility study Low Frequency and Apartment Buildings in Lightweight Mode of Construction. TGM, Wien
- 31 Schläpfer, R. (2004): *Schallschutz mit Schwingungsdämpfern bei Holzdecken und Einflüsse auf die Eigenfrequenz, „Konstruktion, Berechnung, Ausführung“*
- 32 Schmid, M. (2005): *Schallverhalten von Holz-Beton-Verbunddecken (HBV)*. Handout SGA-SSA Frühlingstagung 05. AHB-BFH, Biel
- 33 Schmid, M. (2005): *Acoustic performance of timber concrete composite floors*. In: InterNoise 2005
- 34 Fasol, W.; Veres, E. (2003): *Schallschutz und Raumakustik in der Praxis*. Huss-Medien GmbH, Berlin
- 35 Rabold, A.; Hessinger, J.; Buschbacher, H.P. (2003): *Entwicklung eines anwenderbezogenen Berechnungsverfahrens zur Prognose der Schalldämmung von Holzdecken am Bau*. Forschungsbericht, ift Rosenheim
- 36 Blickle, R.; Kühn, B. (2004): *Berechnung der Gehgeräusch-Immissionen und Trittschalldämmung von Geschossdecken in Holz im Frequenzbereich von 16 bis 200 Hz*. In: Schweizer Holzbau 2004/7
- 37 SN 567 251:2008 *Schwimmende Estriche im Innenbereich*
- 38 Anonymus (2008): *Der Boden – Technische Dokumentation*, Planungsunterlage Pavatex, Fribourg
- 39 Kühn, B.; Blickle, R. (1992): *Untersuchungen zum Sonderfall des dröhnenden Nassestrichs*, SIA Heft 46/1992
- 40 Humer, C.; Müllner, H. (2008): *Schallschutzgerechtes Konstruieren in Holzleichtbauweise unter Berücksichtigung des Frequenzbereichs unter 100 Hz*. In: Tagungsband DAGA 2008, S. 395–396
- 41 Gespräch vom 10.12.2010 mit Beat Kühn: Erfahrungswerte
- 42 Drotleff, H.; Wack, R. (2009): *Raumakustische Qualifikation von Holzkonstruktionen – Entwicklung von integrierten Schallabsorbern für Holzbausysteme mit hohem Vorfertigungsgrad*. Abschlussbericht, IBP, Stuttgart
- 43 Anonymus (2000): *Faserstruktur verschiedener Mineralwollprodukte*. Untersuchung im Auftrag der Isover am Technikum Winterthur, Abteilung Chemie

- 44 Kühn, B. (2010): *Messung des Strömungswiderstands nach Norm EN 29053*. Bericht 6755-10-1. Institut für Lärmschutz Kühn + Blickle, Unterägeri
- 45 EN 29053:1993 *Bestimmung des Strömungswiderstandes*
- 46 Schmidt, H. (1996): *Schalltechnisches Taschenbuch*. Springer-VDI-Verlag, Berlin VDI
- 47 Kühn, B.; Blickle, R. (1987): *Irrtümer und Schadenfälle im baulichen Schallschutz*. In: Aktuelles bauen. Das schweizerische Bau-, Architektur- und Planungsmagazin, Nr. 1–2
- 48 Kühn, B.; Blickle, R. (2000): *Schallschutz von Fermacell-Montagewänden im Vergleich*. Forschungsbericht des Instituts für Lärmschutz Kühn + Blickle, Unterägeri
- 49 Müllner, H.; Humer, C. (2009): *Schallschutz im Trockenbau*. In: Bauphysik-Kalender 2009, Ernst & Sohn, Berlin
- 50 Weeber, R.; Merkel, H.; Rossbach-Lochmann, H.; Gösele, K. (1986): *Schallschutz in Mehrfamilienhäusern aus der Sicht der Bewohner*. F 2049, IRB Verlag, Stuttgart
- 51 Burkhart, C. (2002): *Tieffrequenter Trittschall – Messergebnisse, mögliche Ursachen*. In: Tagungsband DAGA 2002
- 52 Östman, B.; Jarnerö, K.; Sjökvist, L.G.; Larsson, K.; Tillberg, K. (2008): *Acoustics in wooden buildings. State of the art 2008*. SP Report 2008:16. Stockholm
- 53 Holtz, F.; Rabold, A.; Hessinger, J.; Buschbacher, H.P.; Schifflechner, K.; Mederle, S.; Welsch, M. (2001): *Schall-Längsleitung von Steildächern – Analyse, Optimierung, Sanierung*. DGfH-Forschungsbericht des Labors für Schall- und Wärmemesstechnik GmbH – das Schallschutzprüfzentrum des ift Rosenheim
- 54 Holtz, F.; Rabold, A.; Buschbacher, H.P.; Hessinger, J. (2003): *Verringerung der Schallabstrahlung von Holzständerwänden bei Trittschallanregung im mehrgeschossigen Holz-Wohnungsbau*. DGfH-Forschungsbericht des Labors für Schall- und Wärmemesstechnik GmbH – das Schallschutzprüfzentrum des ift Rosenheim
- 55 Godel, J. (2009): *AS 465, Lonza Werk, Büroneubau E57, 3939 Visp*. Akustischer Messbericht von Acustica GmbH, Portalban
- 56 Studhalter, J.; Weber, H.; Wiederkehr, R.; Kammer, P. (2010): *Lignum-Dokumentation Brandschutz 6.1; Haustechnik*. Lignum, Zürich
- 57 Frangi, A.; Schleifer, V.; Studhalter, J. (2007): *Lignum-Dokumentation Brandschutz 4.1: Bauteile in Holz – Decken, Wände und Bekleidungen mit Feuerwiderstand*. Lignum, Zürich
- 58 Gösele, K. (1993): *Informationsdienst Holz – Schallschutz bei Holzbalkendecken*. Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH), München
- 59 Gespräch vom 24.12.2010 mit Heinz Schmoker: Erfahrungswerte
- 60 Wiederkehr, R. (2005): *Lignum-Dokumentation Brandschutz 1.1; Bauen mit Holz – Qualitätssicherung und Brandschutz*. Lignum, Zürich

## 11 Anhang

### 11.1 Auswirkungen von Lärm

Unter bestimmten Voraussetzungen kann übermässiger Lärm gesundheitliche Beschwerden oder gar Schäden verursachen. Mit der landläufig herrschenden Meinung, dass man sich an Lärm gewöhnen kann, sei Vorsicht geboten: Gemäss dem Bundesamt für Umwelt BAFU schliesst eine solches „Immunisieren“ nämlich eine mögliche langfristige gesundheitliche Beeinträchtigung nicht aus. Die Weltgesundheitsorganisation WHO warnt zudem, dass durch Lärm verursacht, körperliche Veränderungen auftreten, ohne dass diese bewusst wahrgenommen werden. Die WHO und das BAFU haben die gesundheitlichen Schwellenwerte für die *Lärmbelästigung* ab 50 respektive 55 dB und für *starke Lärmbelästigung* ab 65 dB festgesetzt.

Die Folgen für Menschen, die einer zu hohen Lärmbelastung ausgesetzt sind, können sehr vielfältig sein und beinhalten u.a. psychische Schäden, Bluthochdruck (ärztliche Behandlung nötig) und Schlafstörungen (Menschen reagieren nachts empfindlicher auf Lärm als tagsüber). Lärm führt zu 2 % der Herzinfarkte, birgt das gleiche Sterbensrisiko wie Passivrauchen bzw. ist das Sterberisiko höher als durch Krebserkrankungen infolge verkehrsbedingter Luftschadstoffe. Spezifisch durch Nachbarschaftslärm führt Lärm gemäss WHO zu Diabetes, Magengeschwüren, Herzinfarkt und Schlaganfall. Bei Kindern kommen Bronchitis, Atemwegbeschwerden, Migräne und Hautkrankheiten hinzu. Als soziale Folgen sind bei den leidtragenden Menschen Kommunikationsstörungen, zunehmende Aggression und verringerte Hilfsbereitschaft zu beobachten. Dies führt schliesslich zur Entmischung von Siedlungsgebieten, da Lärm zwar von allen verursacht, jedoch mehrheitlich von jenen getragen wird, die sich die Ruhe nicht leisten können.

Guter Lärmschutz oder Schallschutz führt zu tieferen Gesundheitskosten (diese sind z.Z. durch Strassenlärm in etwa gleich gross wie die Folgekosten von Verkehrsunfällen), zu einer besseren Lebensqualität und zu sozialem Ausgleich. Für den Investor generieren entsprechende Gebäude einen finanziellen Mehrwert, mit tieferen Mietzinsausfällen.

### 11.2 Lärmschutz

Der Lärmschutz ist in der Schweiz noch immer ungenügend und 16 % aller Schweizer/innen sind täglich schädlichem Lärm ausgesetzt (1.2 Mio. Menschen). 64 % aller Schweizer/innen haben zudem subjektiv den Eindruck, dass sie sich durch Lärm gestört fühlen. In beiden Fällen handelt es sich bei der Quelle in erster Linie um Verkehrslärm, welcher bekanntermassen eines der grössten Umweltprobleme der Schweiz darstellt. Die zweithäufigste Quelle ist die Lärmbelastung durch Nachbarlärm. Dazu muss erwähnt werden, dass eine WHO-Studie (Niemann, Maschke, 2004) zum Schluss kommt, dass sich Nachbarschaftslärm in seiner (...) Wirkung nicht von jener des Verkehrslärm unterscheidet.

Mit den im Rahmen der der Umweltschutzbestrebungen in Verordnungen und Normen festgelegten Grenzwerten für Lärmbelästigungen der verschiedensten Arten, soll der Mensch vor schädlichen und lästigen Lärmimmissionen geschützt werden.

### **11.3 Entwicklung SIA 181**

(aus *element* 30, 1992)

Das Erscheinen bzw. die Inkraftsetzung der ersten Empfehlung SIA 181 für den „Schallschutz im Wohnungsbau“ erfolgte im Mai 1970. Darin wurden neben akustischen Grundlagen und Hinweisen für die Planung und Konstruktion erstmals Grenzwerte für Aussen- und Innenlärm festgelegt.

Mit dieser Empfehlung konnten im Laufe der Zeit wesentliche Erfahrungen gesammelt werden, welche eine Umwandlung der Schallschutzempfehlungen in eine eigentliche Norm möglich machten. Diese in 1976 in Kraft gesetzte Norm SIA 181 „Schallschutz im Wohnungsbau“ entsprach unter Berücksichtigung von verschiedenen Änderungen im Ansatz der ursprünglichen Empfehlung.

Als Bestandteil des im 1985 in Kraft getretenen, eidgenössischen Umweltschutzgesetzes USG wurde 1987 die eidgenössische Lärmschutzverordnung LSV in Kraft gesetzt. Der Inhalt dieser Verordnung zielt darauf hin, den Menschen grundsätzlich vor schädlichem und lästigem Lärm zu schützen.

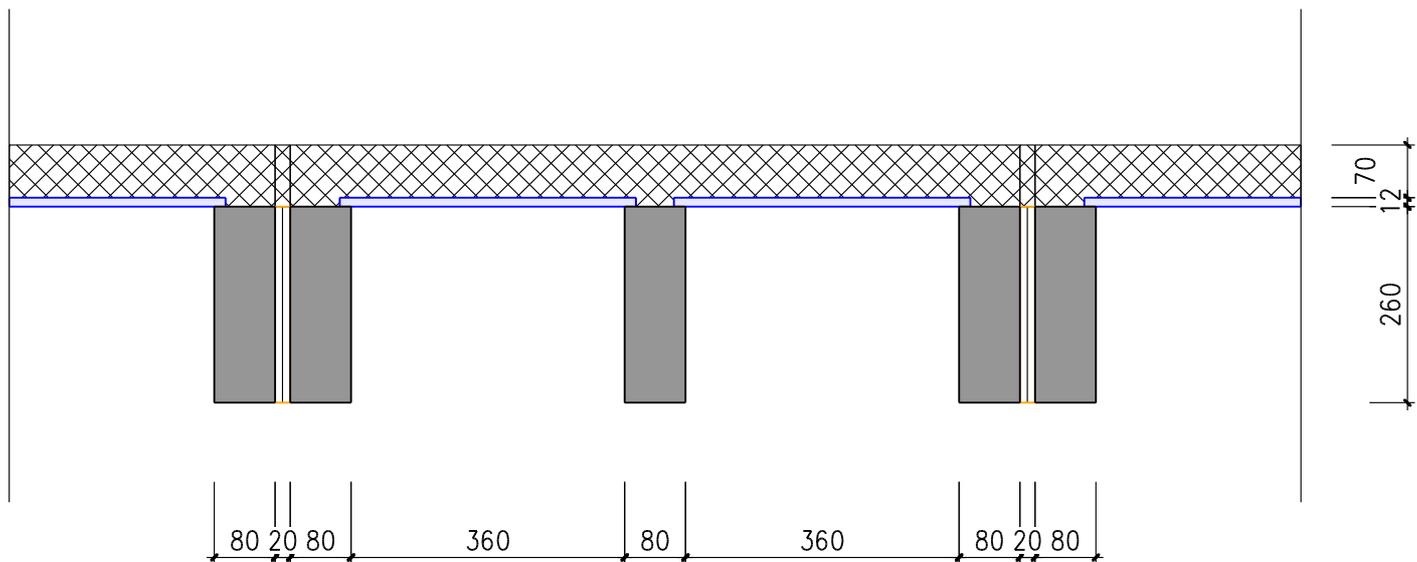
In dieser Verordnung ist neben dem Aussenlärm auch der bauliche Schallschutz an neuen Gebäuden einbezogen. Als Beurteilungsbasis hierfür wurde die SIA 181 „Schallschutz im Wohnungsbau“ als verbindlich erklärt. Um die erforderliche Abstimmung zwischen der LSV und der SIA 181 „Schallschutz im Wohnungsbau“ zu erzielen, musste die Schallschutznorm von 1976 durch eine neue Norm ersetzt werden.

Der Rahmen dieser 1988 in Kraft gesetzten Norm SIA 181 „Schallschutz im Hochbau“ wurde vom Wohnungsbau auf den Hochbau generell erweitert. Es waren Anforderungen an alle Bauteile enthalten, die dem längeren Aufenthalt von Menschen dienen. Die Ausarbeitung dieser mit der LSV des Bundes koordinierten Schallschutznorm erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (heute Bundesamt für Umwelt BAFU). Im Vergleich zu ihren Vorgängerinnen, wo die Schalldämmung von Bauteilen vorgeschrieben war, wurden in dieser SIA 181 die Anforderungen an den Schallschutz zwischen Nutzungseinheiten definiert.

2006 wurde die Norm SIA 181 „Schallschutz im Hochbau“ revidierte und berücksichtigt das gestiegene Ruhebedürfnis der Bevölkerung und die Entwicklung der internationalen Normierung. Die Mindestanforderungen wurden moderat verschärft. Die erhöhten Anforderungen sind nun für Doppel- und Reiheneinfamilienhäuser und für neu errichtetes Stockwerkeigentum obligatorisch. Die aktuelle Norm sieht vor, dass die Vertragspartner einen besseren Schallschutz auf dem Niveau erhöhter Anforderungen mit festgelegten Anforderungswerten oder spezieller Anforderungen mit selbst definierten Anforderungswerten unter Einhaltung der Mindestanforderungen vertraglich vereinbaren können. Erhöhte Anforderungen gelten ab Gültigkeitsdatum der Norm zwingend für neu erstelltes Stockwerkeigentum, Doppel- und Reiheneinfamilienhäuser. Das Niveau der erhöhten Anforderungen bleibt dabei gegenüber der Fassung von 1988 nahezu unverändert.

### **11.4 Detailzeichnungen**

# Rohdecke Mst. 1:10



## Deckenaufbau:

- HBV-Träger mit Betonplatte 70 mm, OSB-Platte 12 mm, Vollholz-Steg 80/260 mm
- Elementstösse nach der Montage ausgestopft und vergossen

Projekt: Schallschutz im Holzbau

Titel: A.4 HBV; Decke 1, Variante a

Plan Nr:

Datum: 23.03.2010

gez.: OB

Tel +41 44 267 47 84

Fax +41 44 267 47 87

olin.bartlome@lignum.ch

**01a**

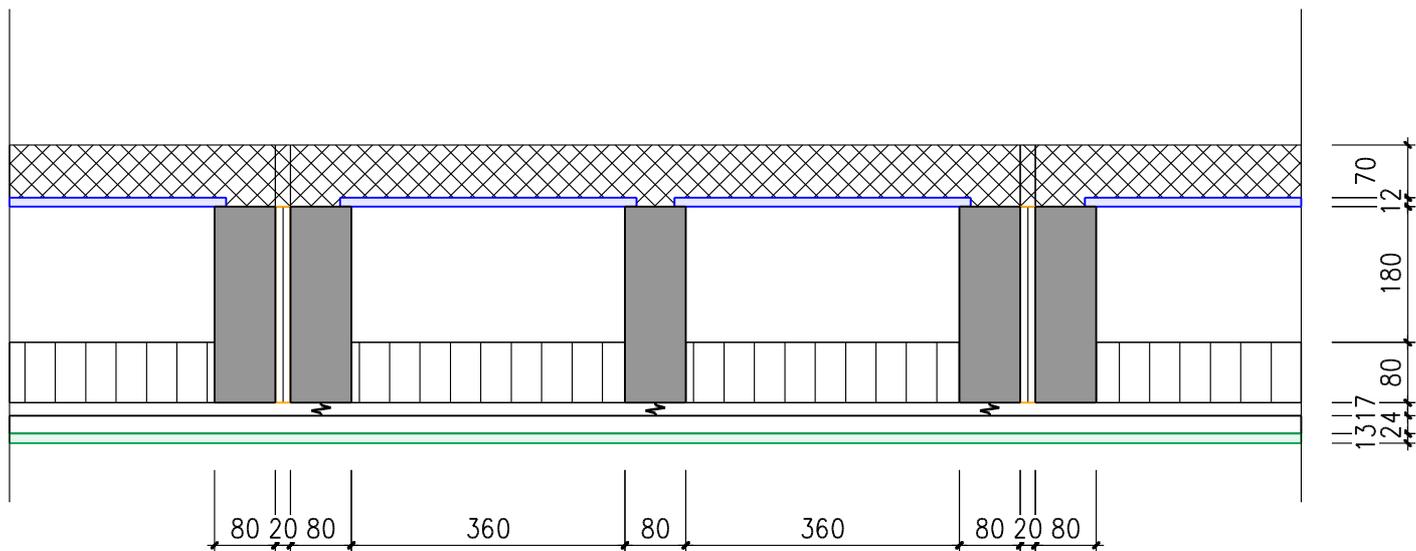
Lignum  
Holzwirtschaft Schweiz  
Economie suisse du bois  
Economia svizzera del legno

Falkenstrasse 26  
CH-8008 Zürich

Produzent: Erne  
Ansprechpartner: Samuel Bieber

Material: Isover/Swisspor, Flumroc, Knauf, Ampack

# Rohdecke mit Bekleidung 1x Mst. 1:10



## Deckenaufbau:

- HBV-Träger mit Betonplatte 70 mm, OSB-Platte 12 mm, Vollholz-Steg 80/260 mm  
Elementstösse nach der Montage ausgestopft und vergossen
- Hohlraumbedämpfung: Mineralfaser 80 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Abhängesystem 17 mm mit Lattung 24/48 mm, e 500 mm:  
Ampak Ampaphon Z 600 (Dinaphon), e 440 bzw. 540 mm
- Biegeweiche Vorsatzschale: Hartgipsplatte (DFH2IR) nach EN 520, 1 x 12.5 mm, 12.8 kg/m<sup>2</sup>

Projekt: Schallschutz im Holzbau

Titel: A.4 HBV; Decke 1

Plan Nr:

Datum: 23.03.2010

gez.: OB

Tel +41 44 267 47 84

Fax +41 44 267 47 87

olin.bartlome@lignum.ch

**01b1**

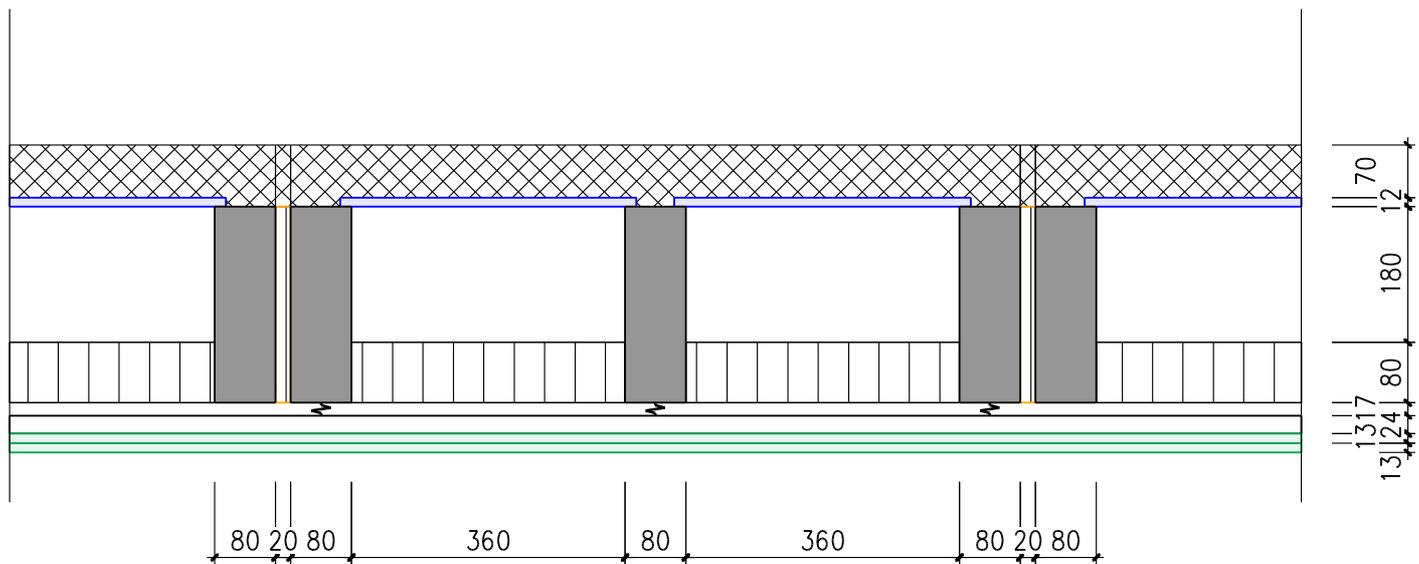
Lignum  
Holzwirtschaft Schweiz  
Economie suisse du bois  
Economia svizzera del legno

Falkenstrasse 26  
CH-8008 Zürich

Produzent: Erne  
Ansprechpartner: Samuel Bieber

Material: Isover/Swisspor, Flumroc, Knauf, Ampack

# Rohdecke mit Bekleidung 2x Mst. 1:10



## Deckenaufbau:

- HBV-Träger mit Betonplatte 70 mm, OSB-Platte 12 mm, Vollholz-Steg 80/260 mm  
Elementstösse nach der Montage ausgestopft und vergossen
- Hohlraumbedämpfung: Mineralfaser 80 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Abhängesystem 17 mm mit Lattung 24/48 mm, e 500 mm:  
Ampak Ampaphon Z 600 (Dinaphon), e 440 bzw. 540 mm
- Biegeweiche Vorsatzschale: Hartgipsplatte (DFH2IR) nach EN 520, 2 x 12.5 mm, 2 x 12.8 kg/m<sup>2</sup>

Projekt: Schallschutz im Holzbau

Titel: A.4 HBV; Decke 1

Plan Nr:

Datum: 23.03.2010

gez.: OB

Tel +41 44 267 47 84

Fax +41 44 267 47 87

olin.bartlome@lignum.ch

**01b2**

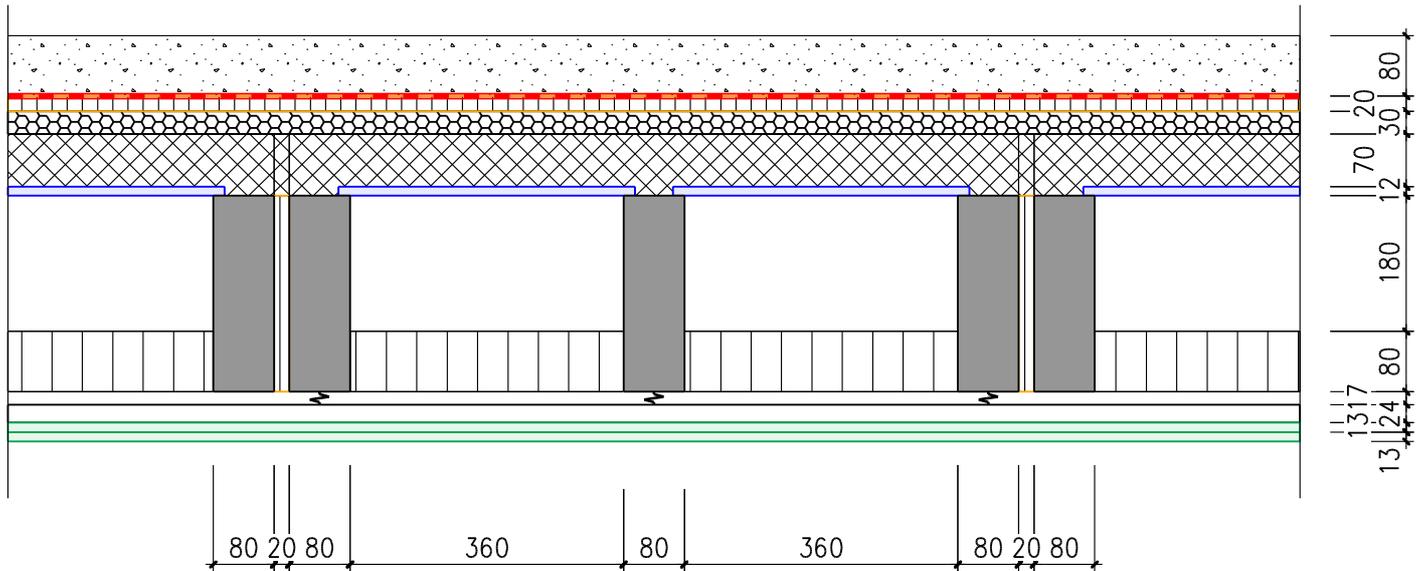
Lignum  
Holzwirtschaft Schweiz  
Economie suisse du bois  
Economia svizzera del legno

Falkenstrasse 26  
CH-8008 Zürich

Produzent: Erne  
Ansprechpartner: Samuel Bieber

Material: Isover/Swisspor, Flumroc, Knauf, Ampack

# Decke mit Bekleidung 2x Mst. 1:10



## Deckenaufbau:

- Zementestrich 80 mm
- Abdichtungsfolie
- Trittschalldämmung: Mineralfaser 20 mm,  $s' = 9 \text{ MN/m}^3$ , auf gewalktem EPS 30 mm,  $s' < 15 \text{ MN/m}^3$
- HBV-Träger mit Betonplatte 70 mm, OSB-Platte 12 mm, Vollholz-Steg 80/260 mm  
Elementstösse nach der Montage ausgestopft und vergossen
- Hohlraumbedämpfung: Mineralfaser 80 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Abhängesystem 17 mm mit Lattung 24/48 mm, e 500 mm:  
Ampak Ampaphon Z 600 (Dinaphon), e 440 bzw. 540 mm
- Biegeweiche Vorsatzschale: Hartgipsplatte (DFH2IR) nach EN 520, 2 x 12.5 mm, 2 x 12.8 kg/m<sup>2</sup>

Projekt: Schallschutz im Holzbau

Titel: A.4 HBV; Decke 1

Plan Nr:

Datum: 29.03.2010

gez.: OB

Tel +41 44 267 47 84

Fax +41 44 267 47 87

olin.bartlome@lignum.ch

01d1

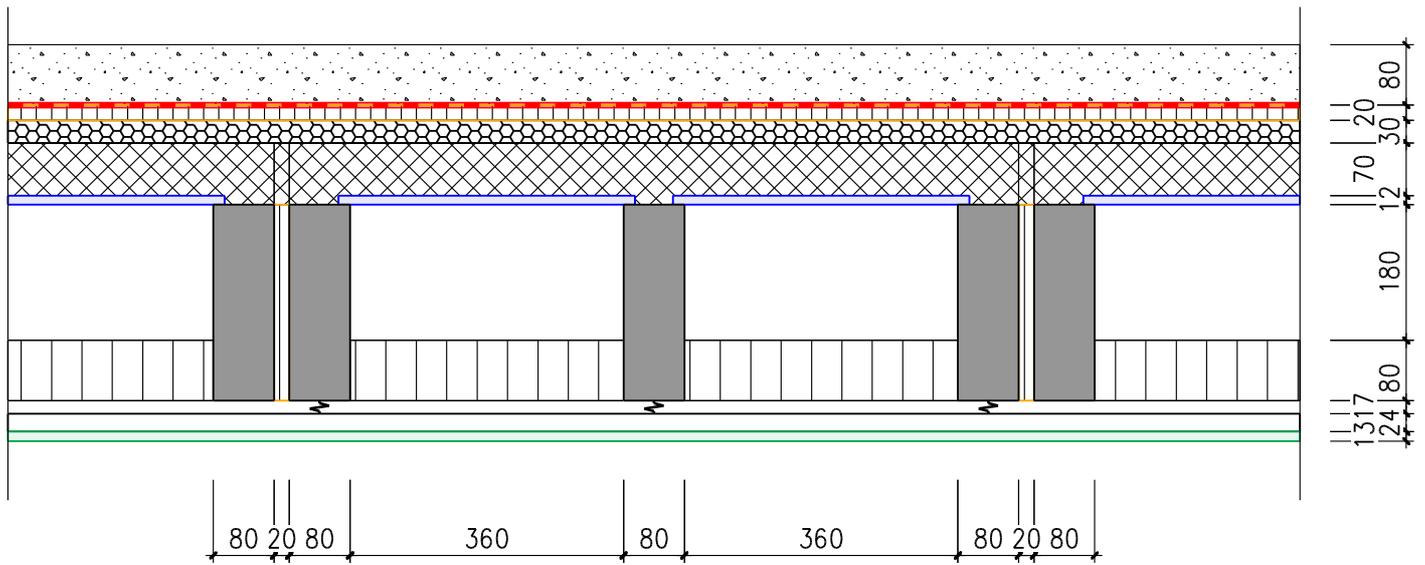
Lignum  
Holzwirtschaft Schweiz  
Economie suisse du bois  
Economia svizzera del legno

Falkenstrasse 26  
CH-8008 Zürich

Produzent: Erne  
Ansprechpartner: Samuel Bieber

Material: Isover/Swisspor, Flumroc, Knauf, Ampack

# Decke mit Bekleidung 1x Mst. 1:10



## Deckenaufbau:

- Zementestrich 80 mm
- Abdichtungsfolie
- Trittschalldämmung: Mineralfaser 20 mm,  $s' = 9 \text{ MN/m}^3$ , auf gewalktem EPS 30 mm,  $s' < 15 \text{ MN/m}^3$
- HBV-Träger mit Betonplatte 70 mm, OSB-Platte 12 mm, Vollholz-Steg 80/260 mm  
Elementstösse nach der Montage ausgestopft und vergossen
- Hohlraumbedämpfung: Mineralfaser 80 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Abhängesystem 17 mm mit Lattung 24/48 mm, e 500 mm:  
Ampak Ampaphon Z 600 (Dinaphon), e 440 bzw. 540 mm
- Biegeweiche Vorsatzschale: Hartgipsplatte (DFH2IR) nach EN 520, 1 x 12.5 mm, 12.8 kg/m<sup>2</sup>

Projekt: Schallschutz im Holzbau

Titel: A.4 HBV; Decke 1

Plan Nr:

Datum: 6.12.2010

gez.: OB

Tel +41 44 267 47 84

Fax +41 44 267 47 87

olin.bartlome@lignum.ch

**01d2**

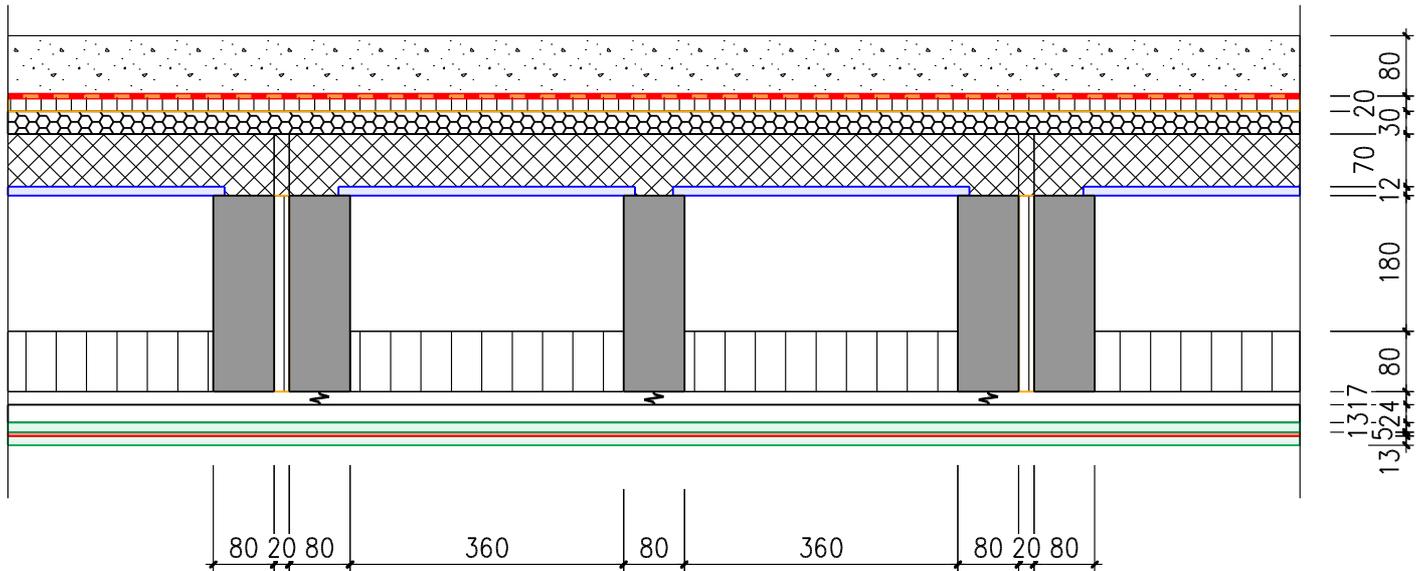
Lignum  
Holzwirtschaft Schweiz  
Economie suisse du bois  
Economia svizzera del legno

Falkenstrasse 26  
CH-8008 Zürich

Produzent: Erne  
Ansprechpartner: Samuel Bieber

Material: Isover/Swisspor, Flumroc, Knauf, Ampack

# Decke mit Bekleidung 3x Mst. 1:10



## Deckenaufbau:

- Zementestrich 80 mm
- Abdichtungsfolie
- Trittschalldämmung: Mineralfaser 20 mm,  $s' = 9 \text{ MN/m}^3$ , auf gewalktem EPS 30 mm,  $s' < 15 \text{ MN/m}^3$
- HBV-Träger mit Betonplatte 70 mm, OSB-Platte 12 mm, Vollholz-Steg 80/260 mm  
Elementstösse nach der Montage ausgestopft und vergossen
- Hohlraumbedämpfung: Mineralfaser 80 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Abhängesystem 17 mm mit Lattung 24/48 mm, e 500 mm:  
Ampak Ampaphon Z 600 (Dinaphon), e 440 bzw. 540 mm
- Biegeweiche Vorsatzschale: Hartgipsplatte (DFH2IR) nach EN 520, 2 x 12.5 mm, 2 x 12.8 kg/m<sup>2</sup>
- Vorsatzschalenbeschwerung: Schwerfolie 5 mm, 10 kg/m<sup>2</sup>, Verlustfaktor bei 200 Hz nach DIN 53449 = 0.3

Projekt: Schallschutz im Holzbau

Titel: A.4 HBV; Decke 1

Plan Nr:

Datum: 29.03.2010

gez.: OB

Tel +41 44 267 47 84

Fax +41 44 267 47 87

olin.bartlome@lignum.ch

**01d3**

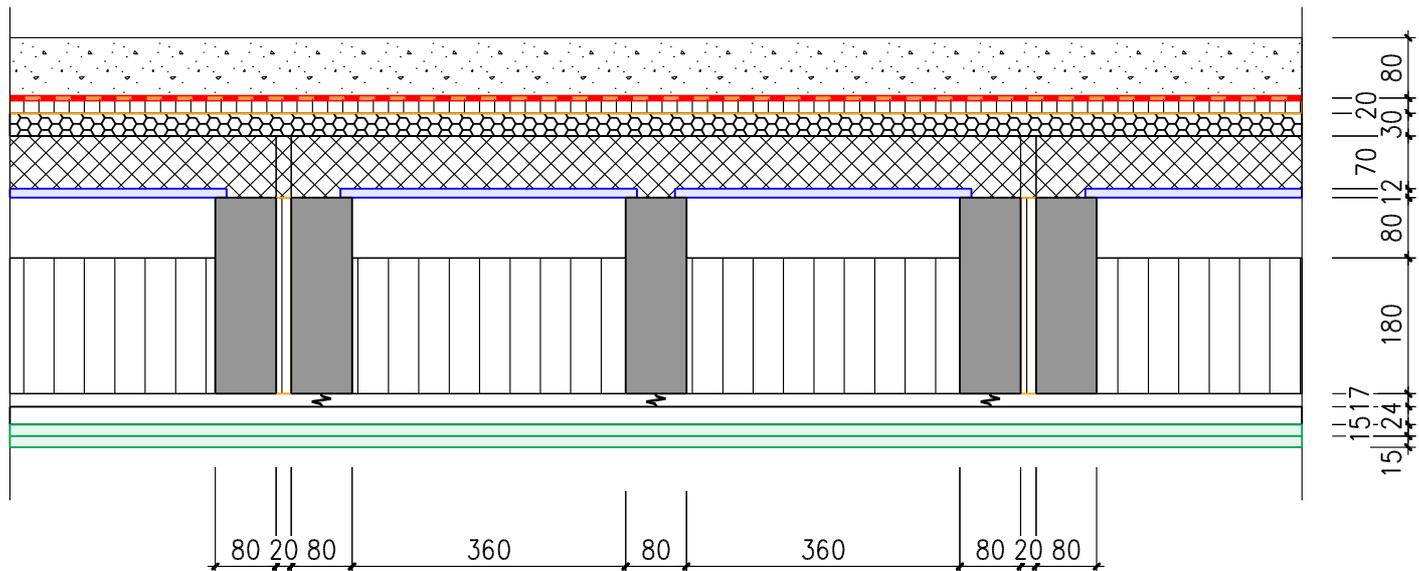
Lignum  
Holzwirtschaft Schweiz  
Economie suisse du bois  
Economia svizzera del legno

Falkenstrasse 26  
CH-8008 Zürich

Produzent: Erne  
Ansprechpartner: Samuel Bieber

Material: Isover/Swisspor, Flumroc, Knauf, Ampack

# Decke mit Bekleidung 2x Mst. 1:10



## Deckenaufbau:

- Zementestrich 80 mm
- Abdichtungsfolie
- Trittschalldämmung: Mineralfaser 20 mm,  $s' = 9 \text{ MN/m}^3$ , auf gewalktem EPS 30 mm,  $s' < 15 \text{ MN/m}^3$
- HBV-Träger mit Betonplatte 70 mm, OSB-Platte 12 mm, Vollholz-Steg 80/260 mm  
Elementstösse nach der Montage ausgestopft und vergossen
- Hohlraumbedämpfung: Mineralfaser 180 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Abhängesystem 17 mm mit Lattung 24/48 mm,  $e = 500 \text{ mm}$ :  
Ampak Ampaphon Z 600 (Dinaphon),  $e = 440$  bzw.  $540 \text{ mm}$
- Biegeweiche Vorsatzschale: Hartgipsplatte (DFH2IR) nach EN 520,  $2 \times 15 \text{ mm}$ ,  $2 \times 15.5 \text{ kg/m}^2$

Projekt: Schallschutz im Holzbau

Titel: A.4 HBV; Decke 1

Plan Nr:

Datum: 15.12.2010

gez.: OB

Tel +41 44 267 47 84

Fax +41 44 267 47 87

olin.bartlome@lignum.ch

01d1.1

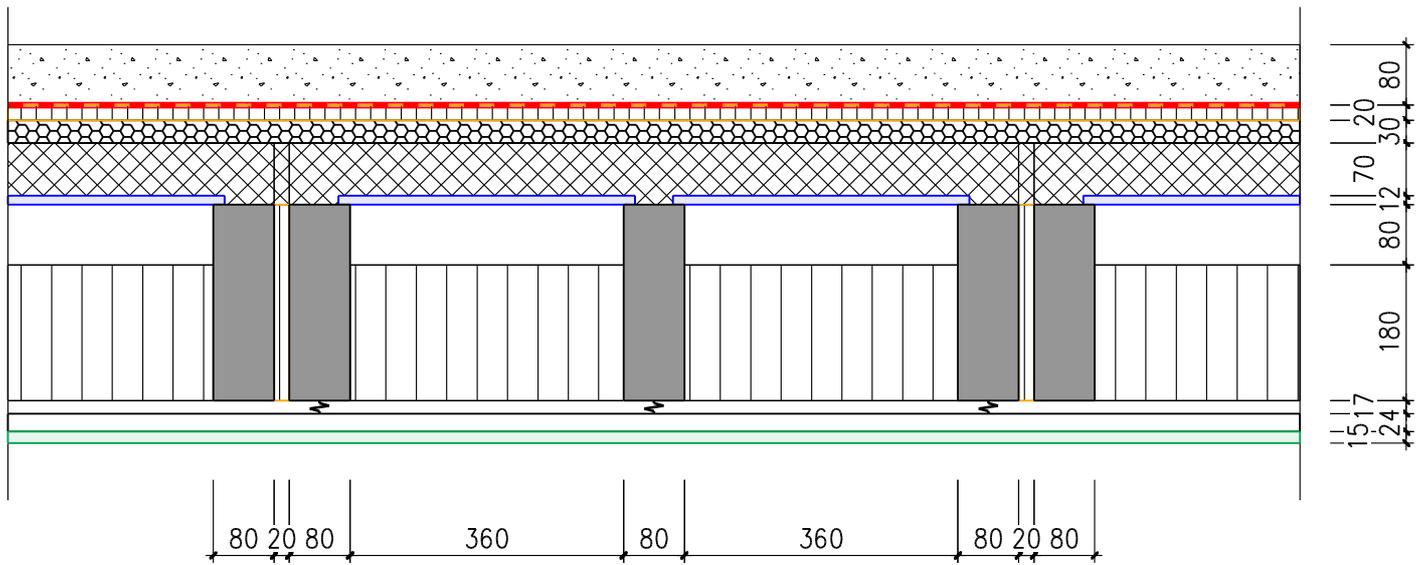
Lignum  
Holzwirtschaft Schweiz  
Economie suisse du bois  
Economia svizzera del legno

Falkenstrasse 26  
CH-8008 Zürich

Produzent: Erne  
Ansprechpartner: Samuel Bieber

Material: Isover/Swisspor, Flumroc, Knauf, Ampack

# Decke mit Bekleidung 1x Mst. 1:10



## Deckenaufbau:

- Zementestrich 80 mm
- Abdichtungsfolie
- Trittschalldämmung: Mineralfaser 20 mm,  $s' = 9 \text{ MN/m}^3$ , auf gewalktem EPS 30 mm,  $s' < 15 \text{ MN/m}^3$
- HBV-Träger mit Betonplatte 70 mm, OSB-Platte 12 mm, Vollholz-Steg 80/260 mm  
Elementstösse nach der Montage ausgestopft und vergossen
- Hohlraumbedämpfung: Mineralfaser 180 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Abhängesystem 17 mm mit Lattung 24/48 mm, e 500 mm:  
Ampak Ampaphon Z 600 (Dinaphon), e 440 bzw. 540 mm
- Biegeweiche Vorsatzschale: Hartgipsplatte (DFH2IR) nach EN 520, 1 x 15 mm, 15.5 kg/m<sup>2</sup>

Projekt: Schallschutz im Holzbau

Titel: A.4 HBV; Decke 1

Plan Nr:

Datum: 15.12.2010

gez.: OB

Tel +41 44 267 47 84

Fax +41 44 267 47 87

olin.bartlome@lignum.ch

**01d2.1**

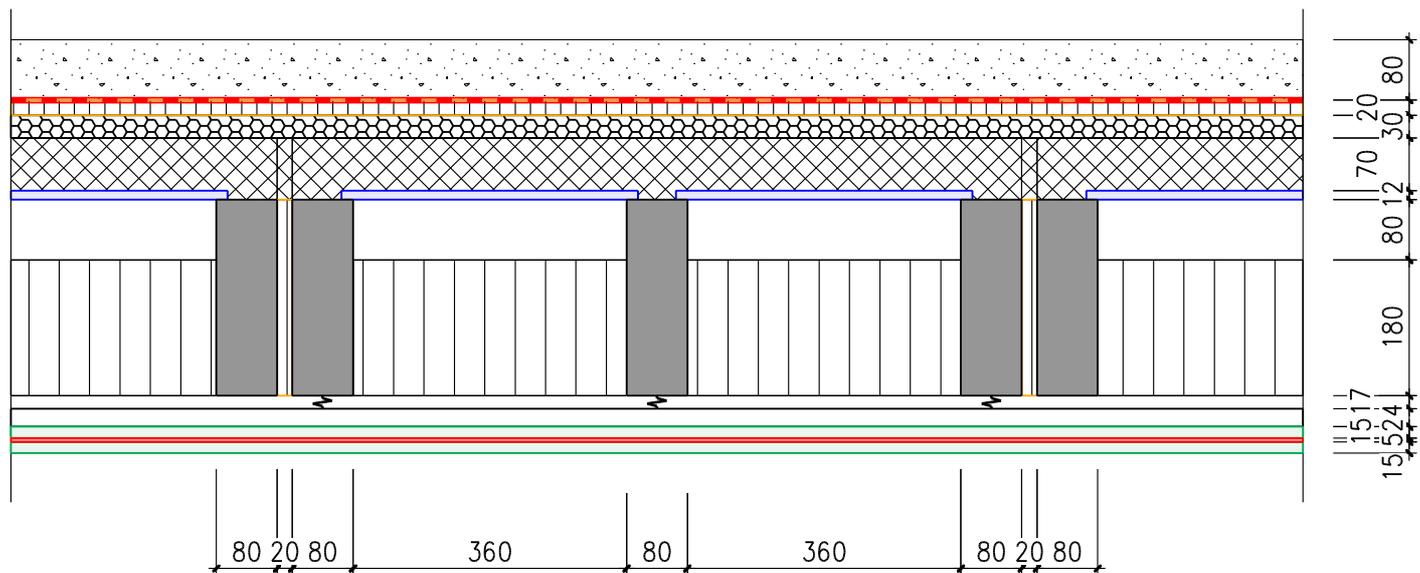
Lignum  
Holzwirtschaft Schweiz  
Economie suisse du bois  
Economia svizzera del legno

Falkenstrasse 26  
CH-8008 Zürich

Produzent: Erne  
Ansprechpartner: Samuel Bieber

Material: Isover/Swisspor, Flumroc, Knauf, Ampack

# Decke mit Bekleidung 3x Mst. 1:10



## Deckenaufbau:

- Zementestrich 80 mm
- Abdichtungsfolie
- Trittschalldämmung: Mineralfaser 20 mm,  $s' = 9 \text{ MN/m}^3$ , auf gewalktem EPS 30 mm,  $s' < 15 \text{ MN/m}^3$
- HBV-Träger mit Betonplatte 70 mm, OSB-Platte 12 mm, Vollholz-Steg 80/260 mm  
Elementstösse nach der Montage ausgestopft und vergossen
- Hohlraumbedämpfung: Mineralfaser 180 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Abhängesystem 17 mm mit Lattung 24/48 mm, e 500 mm:  
Ampak Ampaphon Z 600 (Dinaphon), e 440 bzw. 540 mm
- Biegeweiche Vorsatzschale: Hartgipsplatte (DFH2IR) nach EN 520, 2 x 15 mm, 2 x 15.5 kg/m<sup>2</sup>
- Vorsatzschalenbeschwerung: Schwerfolie 5 mm, 10 kg/m<sup>2</sup>, Verlustfaktor bei 200 Hz nach DIN 53449 = 0.3

Projekt: Schallschutz im Holzbau

Titel: A.4 HBV; Decke 1

Plan Nr:

Datum: 15.12.2010

gez.: OB

Tel +41 44 267 47 84

Fax +41 44 267 47 87

olin.bartlome@lignum.ch

**01d3.1**

Lignum  
Holzwirtschaft Schweiz  
Economie suisse du bois  
Economia svizzera del legno

Falkenstrasse 26  
CH-8008 Zürich

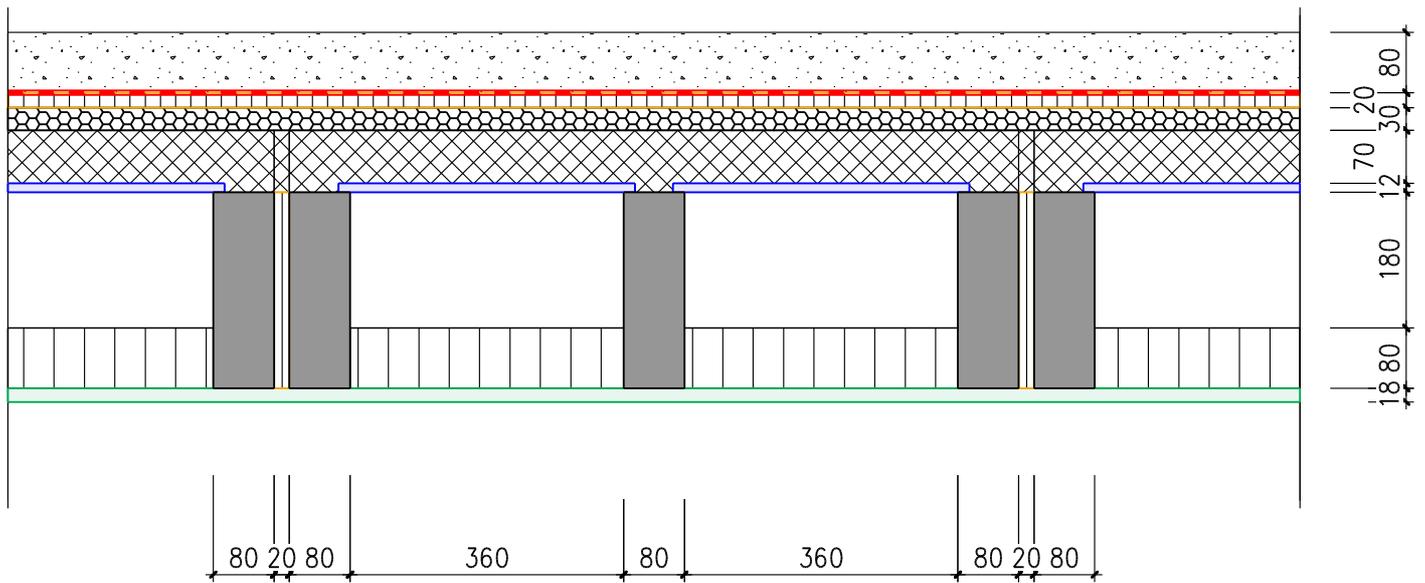
Produzent: Erne  
Ansprechpartner: Samuel Bieber

Material: Isover/Swisspor, Flumroc, Knauf, Ampack

# Decke REI60/EI30 (nbb)

Mst. 1:10

Achtung: Nur für Messung, wird als Konstruktion wegen Rissgefahr nicht empfohlen



## Deckenaufbau:

- Zementestrich 80 mm
- Abdichtungsfolie
- Trittschalldämmung: Mineralfaser 20 mm,  $s' = 9 \text{ MN/m}^3$ , auf gewalktem EPS 30 mm,  $s' < 15 \text{ MN/m}^3$
- HBV-Träger mit Betonplatte 70 mm, OSB-Platte 12 mm, Vollholz-Steg 80/260 mm  
Elementstösse nach der Montage ausgestopft und vergossen
- Hohlraumbedämpfung: Mineralfaser 80 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Brandschutztechnische Beplankung: Gipsfaserplatte nach EN 15283, 18 mm, 21 kg/m<sup>2</sup>

Projekt: Schallschutz im Holzbau

Titel: A.4 HBV; Decke 1

Plan Nr:

Datum: 6.12.2010

gez.: OB

Tel +41 44 267 47 84

Fax +41 44 267 47 87

olin.bartlome@lignum.ch

01f

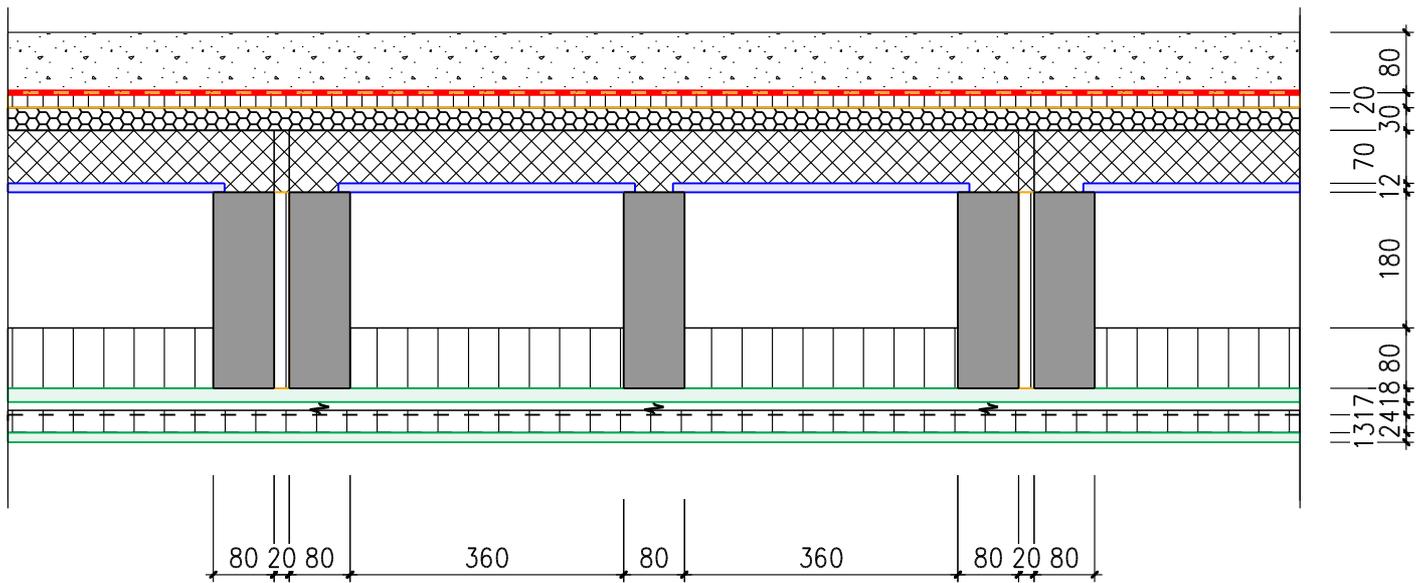
Lignum  
Holzwirtschaft Schweiz  
Economie suisse du bois  
Economia svizzera del legno

Falkenstrasse 26  
CH-8008 Zürich

Produzent: Erne  
Ansprechpartner: Samuel Bieber

Material: Isover/Swisspor, Flumroc, Knauf

# Decke REI60/EI30 (nbb), Bekleidung 1x Mst. 1:10



## Deckenaufbau:

- Zementestrich 80 mm
- Abdichtungsfolie
- Trittschalldämmung: Mineralfaser 20 mm,  $s' = 9 \text{ MN/m}^3$ , auf gewalktem EPS 30 mm,  $s' < 15 \text{ MN/m}^3$
- HBV-Träger mit Betonplatte 70 mm, OSB-Platte 12 mm, Vollholz-Steg 80/260 mm  
Elementstösse nach der Montage ausgestopft und vergossen
- Hohlraumbedämpfung: Mineralfaser 80 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Brandschutztechnische Beplankung: Gipsfaserplatte nach EN 15283, 18 mm, 21 kg/m<sup>2</sup>
- Abhängesystem 17 mm mit Lattung 24/48 mm, e 500 mm:  
Ampak Ampaphon Z 600 (Dinaphon), e 440 bzw. 540 mm
- Hohlraumbedämpfung in Abhängesystem: Mineralfaser 30 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Biegeweiiche Vorsatzschale: Hartgipsplatte (DFH2IR) nach EN 520, 1 x 12.5 mm, 12.8 kg/m<sup>2</sup>

Projekt: Schallschutz im Holzbau

Titel: A.4 HBV; Decke 1

Plan Nr:

Datum: 6.12.2010

gez.: OB

Tel +41 44 267 47 84

Fax +41 44 267 47 87

olin.bartlome@lignum.ch

**01g1**

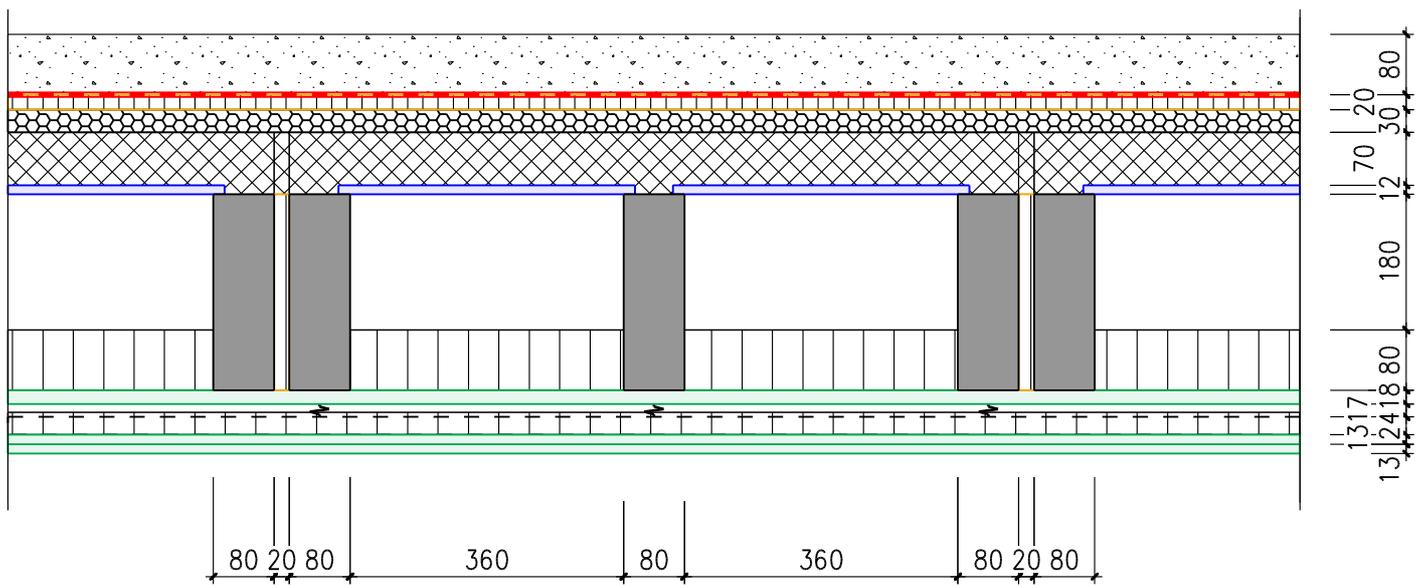
Lignum  
Holzwirtschaft Schweiz  
Economie suisse du bois  
Economia svizzera del legno

Falkenstrasse 26  
CH-8008 Zürich

Produzent: Erne  
Ansprechpartner: Samuel Bieber

Material: Isover/Swisspor, Flumroc, Knauf, Ampack

# Decke REI60/EI30 (nbb), Bekleidung 2x Mst. 1:10



## Deckenaufbau:

- Zementestrich 80 mm
- Abdichtungsfolie
- Trittschalldämmung: Mineralfaser 20 mm,  $s' = 9 \text{ MN/m}^3$ , auf gewalktem EPS 30 mm,  $s' < 15 \text{ MN/m}^3$
- HBV-Träger mit Betonplatte 70 mm, OSB-Platte 12 mm, Vollholz-Steg 80/260 mm  
Elementstösse nach der Montage ausgestopft und vergossen
- Hohlraumbedämpfung: Mineralfaser 80 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Brandschutztechnische Beplankung: Gipsfaserplatte nach EN 15283, 18 mm, 21 kg/m<sup>2</sup>
- Abhängesystem 17 mm mit Lattung 24/80 mm, e 500 mm:  
Ampak Ampaphon Z 600 (Dinaphon), e 440 bzw. 540 mm
- Hohlraumbedämpfung in Abhängesystem: Mineralfaser 30 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Biegeweiche Vorsatzschale: Hartgipsplatte (DFH2IR) nach EN 520, 2 x 12.5 mm, 2 x 12.8 kg/m<sup>2</sup>

Projekt: Schallschutz im Holzbau

Titel: A.4 HBV; Decke 1

Plan Nr:

Datum: 6.12.2010

gez.: OB

Tel +41 44 267 47 84

Fax +41 44 267 47 87

olin.bartlome@lignum.ch

01g2

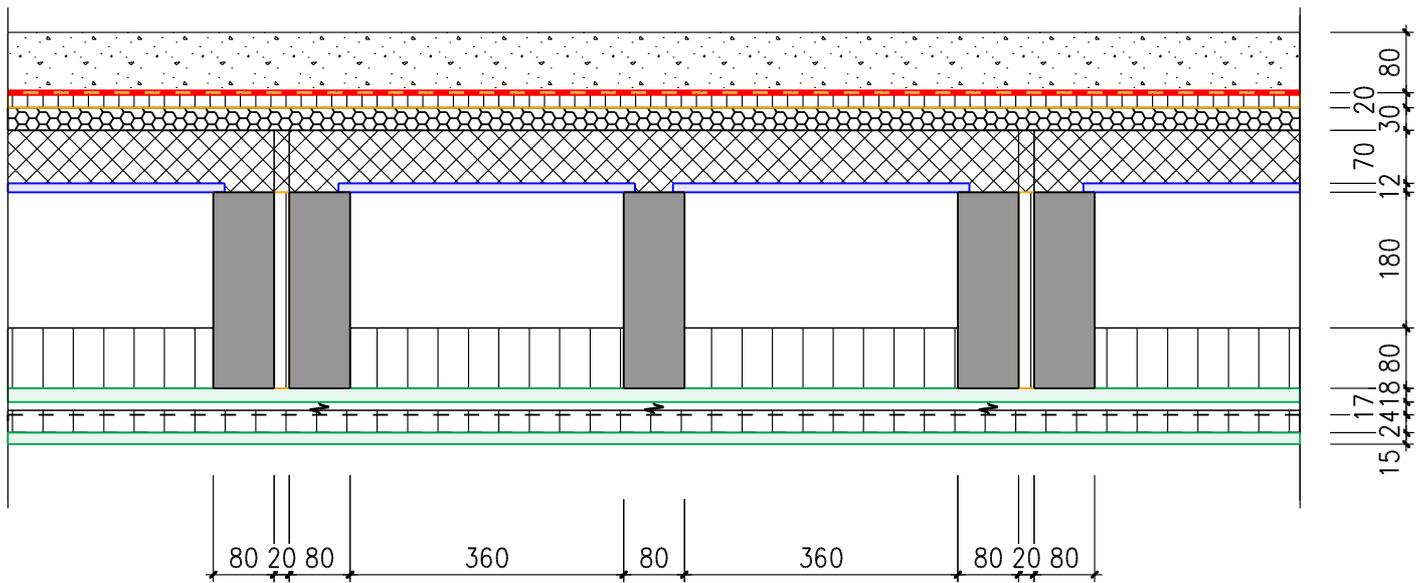
Lignum  
Holzwirtschaft Schweiz  
Economie suisse du bois  
Economia svizzera del legno

Falkenstrasse 26  
CH-8008 Zürich

Produzent: Erne  
Ansprechpartner: Samuel Bieber

Material: Isover/Swisspor, Flumroc, Knauf, Ampack

# Decke REI60/EI30 (nbb), Bekleidung 1x Mst. 1:10



## Deckenaufbau:

- Zementestrich 80 mm
- Abdichtungsfolie
- Trittschalldämmung: Mineralfaser 20 mm,  $s' = 9 \text{ MN/m}^3$ , auf gewalktem EPS 30 mm,  $s' < 15 \text{ MN/m}^3$
- HBV-Träger mit Betonplatte 70 mm, OSB-Platte 12 mm, Vollholz-Steg 80/260 mm  
Elementstösse nach der Montage ausgestopft und vergossen
- Hohlraumbedämpfung: Mineralfaser 80 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Brandschutztechnische Beplankung: Gipsfaserplatte nach EN 15283, 18 mm, 21 kg/m<sup>2</sup>
- Abhängesystem 17 mm mit Lattung 24/48 mm, e 500 mm:  
Ampak Ampaphon Z 600 (Dinaphon), e 440 bzw. 540 mm
- Hohlraumbedämpfung in Abhängesystem: Mineralfaser 30 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Biegeweiße Vorsatzschale: Hartgipsplatte (DFH2IR) nach EN 520, 1 x 15 mm, 15.5 kg/m<sup>2</sup>

Projekt: Schallschutz im Holzbau

Titel: A.4 HBV; Decke 1

Plan Nr:

Datum: 15.12.2010

gez.: OB

Tel +41 44 267 47 84

Fax +41 44 267 47 87

olin.bartlome@lignum.ch

01g1.1

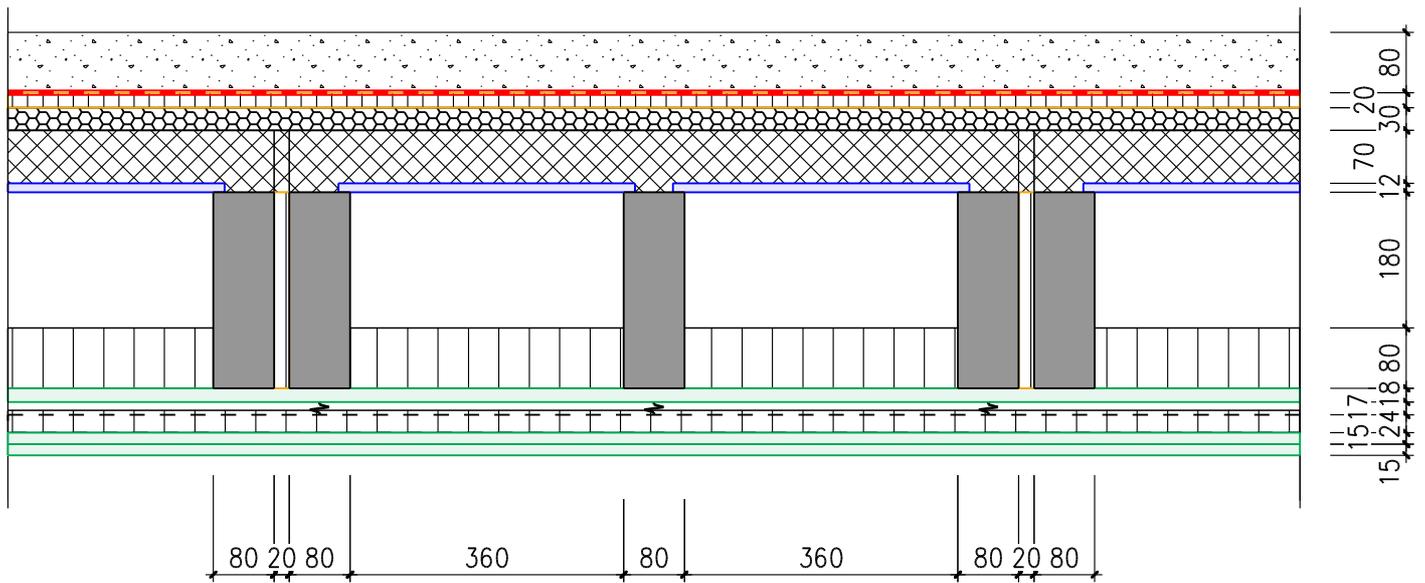
Lignum  
Holzwirtschaft Schweiz  
Economie suisse du bois  
Economia svizzera del legno

Falkenstrasse 26  
CH-8008 Zürich

Produzent: Erne  
Ansprechpartner: Samuel Bieber

Material: Isover/Swisspor, Flumroc, Knauf, Ampack

# Decke REI60/EI30 (nbb), Bekleidung 2x Mst. 1:10



## Deckenaufbau:

- Zementestrich 80 mm
- Abdichtungsfolie
- Trittschalldämmung: Mineralfaser 20 mm,  $s' = 9 \text{ MN/m}^3$ , auf gewalktem EPS 30 mm,  $s' < 15 \text{ MN/m}^3$
- HBV-Träger mit Betonplatte 70 mm, OSB-Platte 12 mm, Vollholz-Steg 80/260 mm  
Elementstösse nach der Montage ausgestopft und vergossen
- Hohlraumbedämpfung: Mineralfaser 80 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Brandschutztechnische Beplankung: Gipsfaserplatte nach EN 15283, 18 mm, 21 kg/m<sup>2</sup>
- Abhängesystem 17 mm mit Lattung 24/80 mm, e 500 mm:  
Ampak Ampaphon Z 600 (Dinaphon), e 440 bzw. 540 mm
- Hohlraumbedämpfung in Abhängesystem: Mineralfaser 30 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Biegeweiche Vorsatzschale: Hartgipsplatte (DFH2IR) nach EN 520, 2 x 15 mm, 2 x 15.5 kg/m<sup>2</sup>

Projekt: Schallschutz im Holzbau

Titel: A.4 HBV; Decke 1

Plan Nr:

Datum: 15.12.2010

gez.: OB

Tel +41 44 267 47 84

Fax +41 44 267 47 87

olin.bartlome@lignum.ch

**01g2.1**

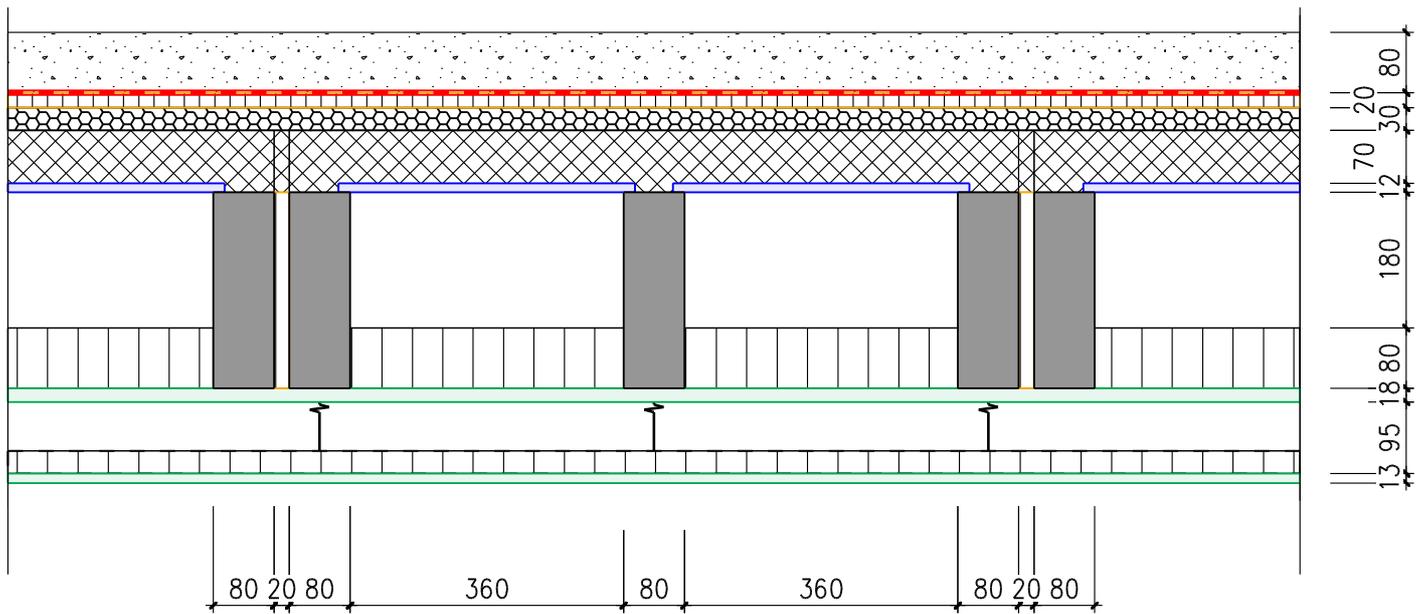
Lignum  
Holzwirtschaft Schweiz  
Economie suisse du bois  
Economia svizzera del legno

Falkenstrasse 26  
CH-8008 Zürich

Produzent: Erne  
Ansprechpartner: Samuel Bieber

Material: Isover/Swisspor, Flumroc, Knauf, Ampack

# Decke REI60/EI30 (nbb), Bekleidung 1x Mst. 1:10



## Deckenaufbau:

- Zementestrich 80 mm
- Abdichtungsfolie
- Trittschalldämmung: Mineralfaser 20 mm,  $s' = 9 \text{ MN/m}^3$ , auf gewaktem EPS 30 mm,  $s' < 15 \text{ MN/m}^3$
- HBV-Träger mit Betonplatte 70 mm, OSB-Platte 12 mm, Vollholz-Steg 80/260 mm  
Elementstösse nach der Montage ausgestopft und vergossen
- Hohlraumbedämpfung: Mineralfaser 80 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Brandschutztechnische Beplankung: Gipsfaserplatte nach EN 15283, 18 mm, 21 kg/m<sup>2</sup>
- Abhängesystem: Direktabhängiger mit Schallschutzgummi und Deckenprofil 95 mm
- Hohlraumbedämpfung in Abhängesystem: Mineralfaser 30 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Biegeweiße Vorsatzschale: Hartgipsplatte (DFH2IR) nach EN 520, 1 x 12.5 mm, 12.8 kg/m<sup>2</sup>

Projekt: Schallschutz im Holzbau

Titel: A.4 HBV; Decke 1

Plan Nr:

Datum: 6.12.2010

gez.: OB

Tel +41 44 267 47 84

Fax +41 44 267 47 87

olin.bartlome@lignum.ch

**01h1**

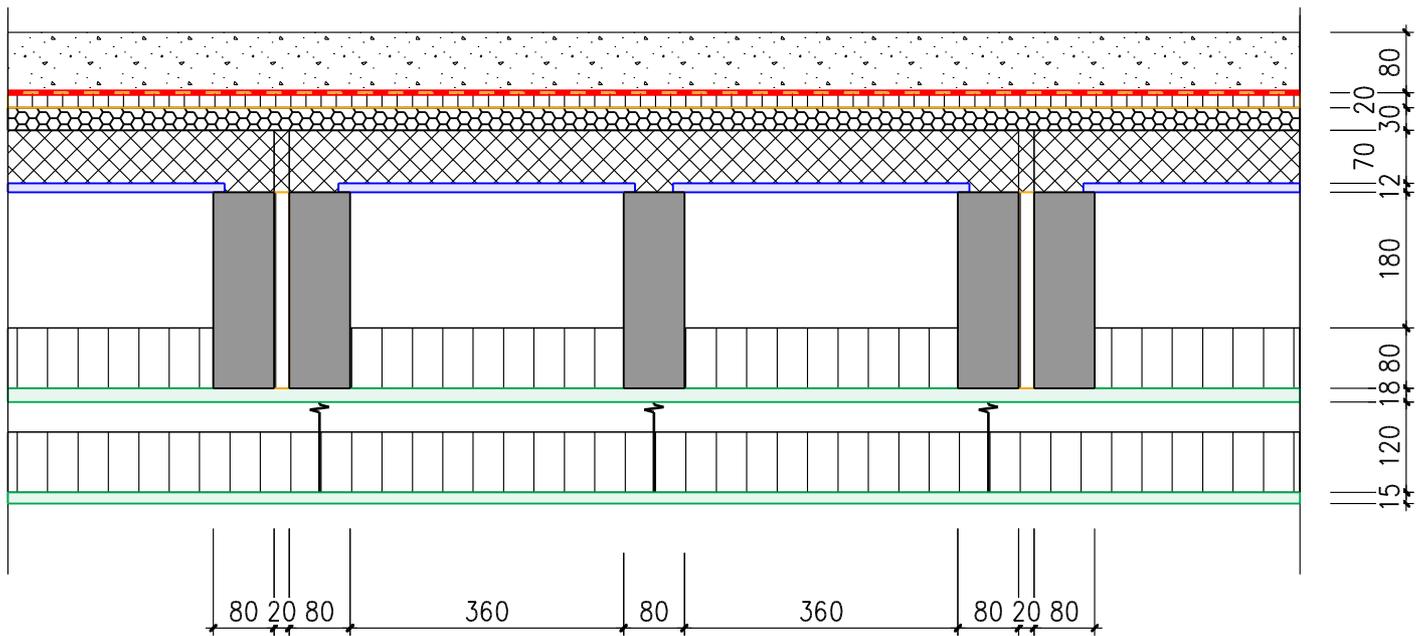
Lignum  
Holzwirtschaft Schweiz  
Economie suisse du bois  
Economia svizzera del legno

Falkenstrasse 26  
CH-8008 Zürich

Produzent: Erne  
Ansprechpartner: Samuel Bieber

Material: Isover/Swisspor, Flumroc, Knauf, Protektor

# Decke REI60/EI30 (nbb), Bekleidung 1x Mst. 1:10



## Deckenaufbau:

- Zementestrich 80 mm
- Abdichtungsfolie
- Trittschalldämmung: Mineralfaser 20 mm,  $s' = 9 \text{ MN/m}^3$ , auf gewaktem EPS 30 mm,  $s' < 15 \text{ MN/m}^3$
- HBV-Träger mit Betonplatte 70 mm, OSB-Platte 12 mm, Vollholz-Steg 80/260 mm  
Elementstösse nach der Montage ausgestopft und vergossen
- Hohlraumbedämpfung: Mineralfaser 80 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Brandschutztechnische Beplankung: Gipsfaserplatte nach EN 15283, 18 mm, 21 kg/m<sup>2</sup>
- Abhängesystem: Direktabhängiger mit Schallschutzgummi und Deckenprofil 120 mm
- Hohlraumbedämpfung in Abhängesystem: Mineralfaser 80 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Biegeweiße Vorsatzschale: Hartgipsplatte (DFH2IR) nach EN 520, 1 x 15 mm, 15.5 kg/m<sup>2</sup>

Projekt: Schallschutz im Holzbau

Titel: A.4 HBV; Decke 1

Plan Nr:

Datum: 15.12.2010

gez.: OB

Tel +41 44 267 47 84

Fax +41 44 267 47 87

olin.bartlome@lignum.ch

**01h1.1**

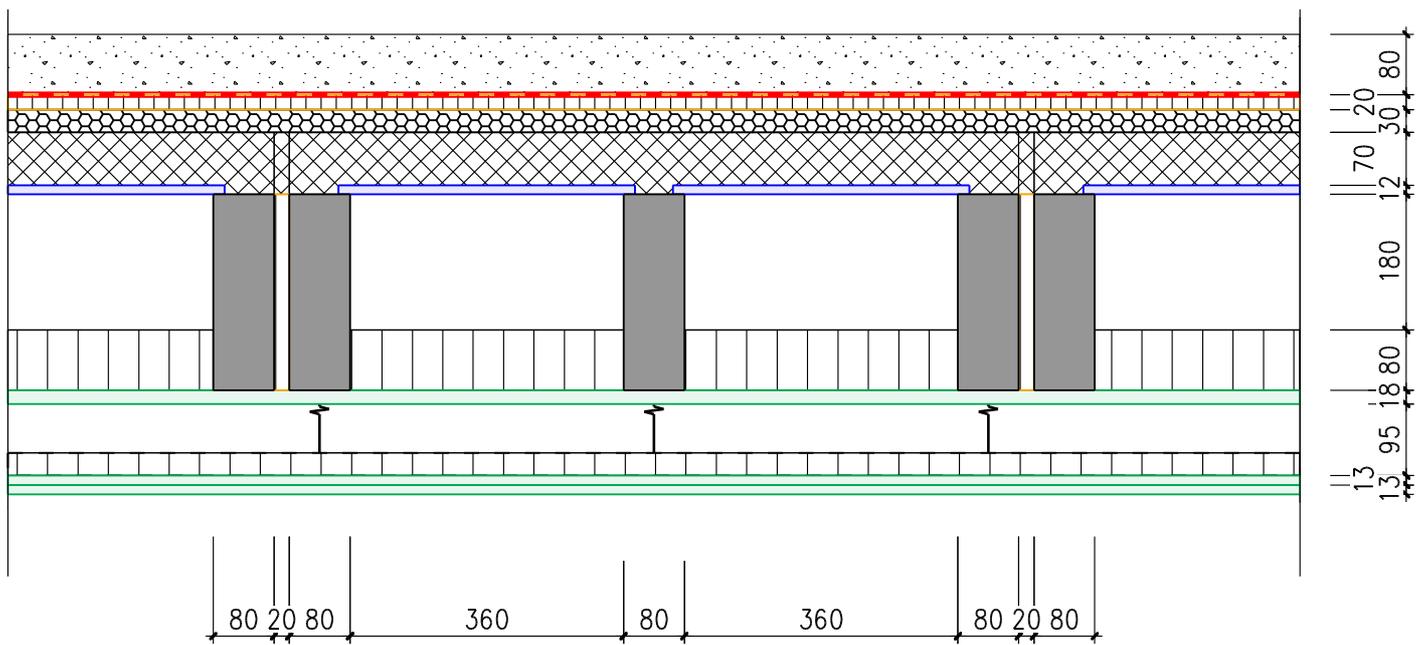
Lignum  
Holzwirtschaft Schweiz  
Economie suisse du bois  
Economia svizzera del legno

Falkenstrasse 26  
CH-8008 Zürich

Produzent: Erne  
Ansprechpartner: Samuel Bieber

Material: Isover/Swisspor, Flumroc, Knauf, Protektor

# Decke REI60/EI30 (nbb), Bekleidung 2x Mst. 1:10



## Deckenaufbau:

- Zementestrich 80 mm
- Abdichtungsfolie
- Trittschalldämmung: Mineralfaser 20 mm,  $s' = 9 \text{ MN/m}^3$ , auf gewaktem EPS 30 mm,  $s' < 15 \text{ MN/m}^3$
- HBV-Träger mit Betonplatte 70 mm, OSB-Platte 12 mm, Vollholz-Steg 80/260 mm  
Elementstösse nach der Montage ausgestopft und vergossen
- Hohlraumbedämpfung: Mineralfaser 80 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Brandschutztechnische Beplankung: Gipsfaserplatte nach EN 15283, 18 mm, 21 kg/m<sup>2</sup>
- Abhängesystem: Direktabhängiger mit Schallschutzgummi und Deckenprofil 95 mm
- Hohlraumbedämpfung in Abhängesystem: Mineralfaser 30 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Biegeweiße Vorsatzschale: Hartgipsplatte (DFH2IR) nach EN 520, 2 x 12.5 mm, 2 x 12.8 kg/m<sup>2</sup>

Projekt: Schallschutz im Holzbau

Titel: A.4 HBV; Decke 1

Plan Nr:

Datum: 6.12.2010

gez.: OB

Tel +41 44 267 47 84

Fax +41 44 267 47 87

olin.bartlome@lignum.ch

**01h2**

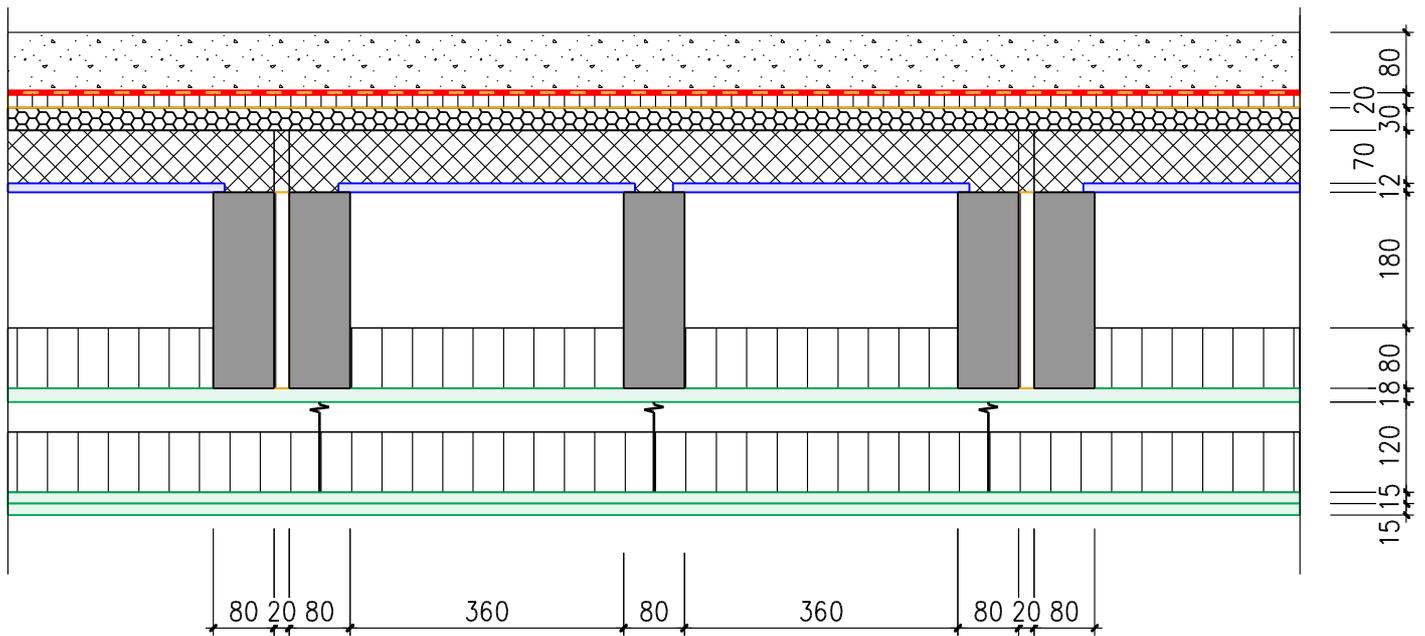
Lignum  
Holzwirtschaft Schweiz  
Economie suisse du bois  
Economia svizzera del legno

Falkenstrasse 26  
CH-8008 Zürich

Produzent: Erne  
Ansprechpartner: Samuel Bieber

Material: Isover/Swisspor, Flumroc, Knauf, Protektor

# Decke REI60/EI30 (nbb), Bekleidung 2x Mst. 1:10



## Deckenaufbau:

- Zementestrich 80 mm
- Abdichtungsfolie
- Trittschalldämmung: Mineralfaser 20 mm,  $s' = 9 \text{ MN/m}^3$ , auf gewalcktem EPS 30 mm,  $s' < 15 \text{ MN/m}^3$
- HBV-Träger mit Betonplatte 70 mm, OSB-Platte 12 mm, Vollholz-Steg 80/260 mm  
Elementstösse nach der Montage ausgestopft und vergossen
- Hohlraumbedämpfung: Mineralfaser 80 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Brandschutztechnische Beplankung: Gipsfaserplatte nach EN 15283, 18 mm, 21 kg/m<sup>2</sup>
- Abhängesystem: Direktabhängiger mit Schallschutzgummi und Deckenprofil 95 mm
- Hohlraumbedämpfung in Abhängesystem: Mineralfaser 80 mm,  $r = 6.6 \text{ kPa s/m}^2$
- Biegeweiche Vorsatzschale: Hartgipsplatte (DFH2IR) nach EN 520, 2 x 15 mm, 2 x 15.5 kg/m<sup>2</sup>

Projekt: Schallschutz im Holzbau

Titel: A.4 HBV; Decke 1

Plan Nr:

Datum: 15.12.2010

gez.: OB

Tel +41 44 267 47 84

Fax +41 44 267 47 87

olin.bartlome@lignum.ch

**01h2.1**

Lignum  
Holzwirtschaft Schweiz  
Economie suisse du bois  
Economia svizzera del legno

Falkenstrasse 26  
CH-8008 Zürich

Produzent: Erne  
Ansprechpartner: Samuel Bieber

Material: Isover/Swisspor, Flumroc, Knauf, Protektor