

Trockenestriche optimiert für tieffrequenten Trittschallschutz

Jörg Ackermann
Gerevini Ingenieurbüro AG
St. Gallen, Schweiz



Trockenestriche optimiert für tieffrequenten Trittschallschutz

1. Abstract

Nachfolgende optimierte Trockenestrichsysteme erfüllen nicht nur die «Erhöhten Schallschutzanforderungen» nach den gültigen Normen, sondern erfüllen auch die Zielvorgaben für einen tieffrequenten Trittschallschutz, damit die grosse Mehrheit der Bewohnerinnen und Bewohner zufrieden ist.

Die optimierten Trockenestrichsysteme wurden geprüft durch Schallmessungen und auch durch Deformationsmessungen am Bau und im Labor.

Detaillierte baupraktische Produkteinwendungen der geprüften Trockenestrichsysteme sowie Verlegemassnahmen für verschiedene Bodenbeläge können im Dokument «Trocken-Unterlagsboden, Anwendungen und technische Infos» von der Firma Holz & Funktion AG nachgeschlagen werden.

2. Ausgangslage und Beratungsaufgaben

Die Firma «Holz & Funktion AG» aus Wauwil in der Schweiz, welche Bauteillösungen und Produkte für das Bauen mit Holz anbietet, beauftragte uns, einige Trockenestrichsysteme in ihrem Angebot betreffend Trittschallschutz zu optimieren und an mehreren Holzbauobjekten erfolgreich umzusetzen.

Die Trockenestrichsysteme sollen betreffend dem tieffrequenten Trittschallschutz besser sein, als die meisten heute auf dem Markt erhältlichen Systemen.

Nachfolgend werden die Beratungsaufgaben und Vorgaben aufgelistet;

- Beratung Schallschutz von Trockenestrichsystemen an Bauobjekten für die Firma «Holz & Funktion AG», für diverse Holzbauunternehmer und für die Bauherrschaft.
- Optimierung im tieffrequenten Tritt- (Geh-) Schallschutz für «Erhöhte Anforderungen» betreffend normativen Anforderungen und subjektiver Wahrnehmung. Zielvorgabe war für einzelne Bauobjekte, dass das Trockenestrichsystem mindestens gleichwertig sein soll wie ein Nassestrich.
- Theoretische Berechnungen /Einschätzungen für Tritt- (Geh-) Schallschutz wurden durchgeführt. Für die Estrichsysteme wurden mit meinem Ingenieur-Berechnungsmodell die tieffrequenten Trittschall-Dämmeigenschaften und Gehschallübertragungen eingeschätzt.
- Tritt- und Gehschallmessungen am Bau wurden durchgeführt. Dabei wurden nicht nur Kontrollmessungen durchgeführt, sondern auch verschiedene Trockenestrich-Systemvarianten am Bau gemessen und optimiert.
- Von zwei Trockenestrichsystemen wurden Tritt- und Luftschallmessungen im Labor an der «EMPA» (Eidgenössische Material Prüfungs-Anstalt in der Schweiz) durchgeführt.
- Estrichdeformationen unter Lasteinflüssen wurden am Bau und im Labor durch die Firma «Materialtechnik am Bau AG» geprüft und Verlegemassnahmen für Bodenbeläge vorgeschlagen.

3. Tieffrequenter Trittschallschutz – Norm versus subjektive Wahrnehmung

Dass die aktuell gültigen Normanforderungen für den Trittschallschutz in der Schweiz, in Deutschland und in Österreich praktisch keine Aussagekraft betreffend den am häufigsten beanstandeten tieffrequenten Trittschall- bzw. Gehschallübertragungen haben, ist schon sehr lange bekannt.

Untersuchungen haben gezeigt ([3] bis [8]), dass das Maximum der beim Gehen und Hüpfen entstehenden dynamischen Kräfte und die massgebenden Gehgeräusch-Immissionen mehrschaliger Geschossdeckenkonstruktionen in Holz immer im Frequenzbereich unter 100 Hz liegen. Somit besteht eine grosse Diskrepanz zu den Normanforderungen, bei denen ausschliesslich Frequenzen ab 100 Hz berücksichtigt werden.

Zur Veranschaulichung sind in nachfolgender Abbildung die massgeblichen hohen Schalldruckpegel im erweiterten, tieffrequenten Messbereich von 20 – 100 Hz umrahmt gezeigt. Auch wenn in diesem sehr tiefen Frequenzbereich die Reproduzierbarkeit der Messung und der Anregung durch einen Geher sehr kritisch zu beurteilen sind, zeigen unsere regelmässig durchgeführten Gehschallmessungen wichtige Informationen. Zur Optimierung des tieffrequenten Trittschallschutzes sind der relative Vergleich der Übertragungsspektren noch fast wichtiger als der Schalldruckpegel.

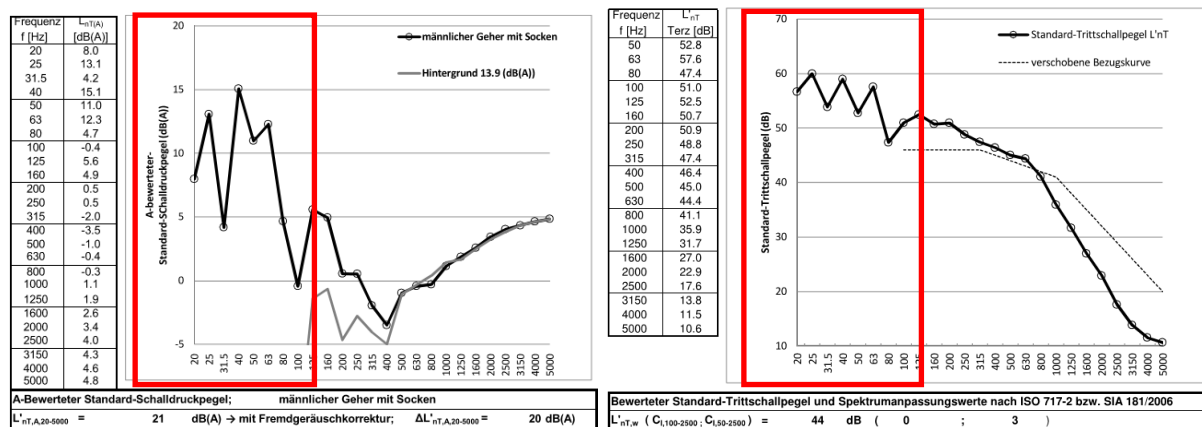


Abbildung 1: A-bewerteter Standard-Schalldruckpegel eines männlichen Gehers in Socken (Abbildung links) und Standard-Trittschallpegel (Abbildung rechts) im Raum unter einer Vollholzdecke mit Kalksplittbeschwerung und mit Trockenestrich.

3.1. Zielwerte für trittschalloptimierte Decken

Betreffend subjektiver Wahrnehmung von Schall und insbesondere der Störf Wirkung von Tritt- (bzw. Geh-) Schall in Gebäuden wurden einige Untersuchungen durch verschiedene Forschungsanstalten durchgeführt [3], [5], [6], [7], wobei nachfolgend die wesentlichen Ergebnisse aus der Schweiz in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-IBP zusammengefasst sind.

Zitat; [4] «Schliesslich interessiert es, welche schallschutztechnische Zielgrösse beim Trittschall bei Holzkonstruktionen erreicht werden muss, damit die grosse Mehrheit der Bewohnerinnen und Bewohner zufrieden ist. Dabei ist eine objektive Bewertung der Trittschalldämmung und eine Mess- und Bewertungsmethode notwendig, die reproduzierbare Ergebnisse auf vergleichbaren Decken liefert, die aber auch die Störf Wirkung von Trittschall in Gebäuden wiedergibt.

In nachfolgender Tabelle sind Anforderungswerte vorgeschlagen, die in Anlehnung an VDI 4100:2012 [11] in drei Qualitätsstufen abgestuft sind.

Bewertung für Norm-Hammerwerk	Vorschlag Anforderungswert für Prozentsatz von belästigten Personen (Wert ±Konfidenzintervall für 95% in dB)		
	≤40%	≤20%	≤0%*
$L'_{nT,w} + C_{I,50-2500}$	58 dB (57.8 ±1.5)	53 dB (53.5 ±1.6)	49 dB (49.3 ±2.5)

* Wert aus Extrapolation der linearen Regression, in der Praxis liegt der Wert etwas über 0% belästigter Personen.

Abbildung 2: Vorschläge für Anforderungswerte in drei Stufen für das Norm-Hammerwerk an $L'_{nT,w} + C_{I,50-2500}$, abgeleitet aus der prozentualen Anzahl von belästigten Personen. Quelle: Fraunhofer IBP aus [4]

Daraus schlagen wir als Zielwerte für tieffrequenten Trittschallschutz zwei Schallschutzklassen vor:

<Erhöhte Anforderungen> $L'_{nT,w} + C_{I,50-2500} \leq 49 \text{ dB}$
 <Mindest Anforderungen> $L'_{nT,w} + C_{I,50-2500} \leq 53 \text{ dB}$

Die Wortwahl der Anforderung ist in Anlehnung an die Norm SIA 181 <Schallschutz im Hochbau> für die im Wohnungsbau üblichen Anforderungen bei mässiger Lärmbelastung und mittlerer Lärmempfindlichkeit (z.B. Wohn-, Schlafzimmer).

Diese Zielwerte können auch analog den Anforderungsklassen der VDI 4100 gelten.

4. Holzbaudecken und Estrichaufbau – [9] akustische Faktoren und theoretische Grundlagen

Die akustische Beurteilung eines Estrichaufbaus soll immer im Zusammenhang der ganzen Holzbaudecke erfolgen.

Anhand einer exemplarischen, mehrschaligen Holzdecke werden nachfolgend die akustischen Faktoren stichwortartig zusammengefasst:

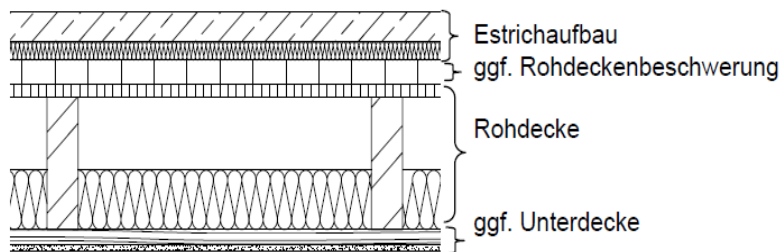


Abbildung 3: Bauteilschichten einer Holzdecke aus [12]

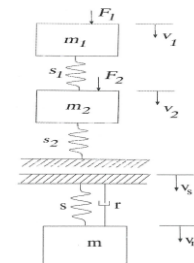


Abbildung 4: Modell Masse-Feder-Masse-Systeme aus [1] S.8+9

4.1. Estrichaufbau

- **Bodenbeläge** sollten grundsätzlich für die akustische Qualität einer Decke nur in Anbetracht möglicher Verschlechterungen berücksichtigt werden. Bei gut entkoppelten Estrichaufbauten werden selbst weiche Teppiche den Trittschallschutz beim relevanten, tieffrequenten Anregungsspektrum durch eine gehende Person kaum verbessern.
- **Estriche** auf Trittschalldämmungen bilden zusammen mit der Rohdecke ein Masse-Feder-Masse-System mit einer Resonanzfrequenz. Die Schalldämmverbesserungen bzw. Einfügungsdämmung für Frequenzen unter 100 Hz können mittels der Theorie der klassischen Schwingungsisolierung gemäss VDI-2062-Blatt-1 [13] berechnet werden. Dabei wird jedoch von einer theoretisch unnachgiebigen Decke ausgegangen was grundsätzlich nie der Fall ist und erst recht nicht bei relativ biegeweichen Decken im Holzbau. Zwar wird in der VDI-2062-Blatt-1 ein Rechnungsmodell zur Schwingungsisolierung auf einer nicht unendlich steifen, massebehafteten Unterlage

behandelt. Dieses berücksichtigt aber lediglich die Massen und nicht die mechanischen Eingangsimpedanzen der Rohdecke und des Estrichaufbaus. In nachfolgender Formel zur Berechnung der Einfügungsdämmung wird diesem Umstand mit dem Impedanz-Verhältnis (Z_1/Z_2) gemäss der elastischen Entkopplung [[2], vgl. Kapitel 2.4.2.3] Rechnung getragen:

$$\Delta L = 20 \cdot \log \left[\frac{\sqrt{1 + 4D^2 \cdot \frac{f^2}{f_r^2} + \left(\frac{Z_1}{Z_2}\right)^2}}{\sqrt{\left(1 - \frac{f^2}{f_r^2}\right)^2 + 4D^2 \cdot \frac{f^2}{f_r^2} + \left(\frac{Z_1}{Z_2}\right)^2}} \right] \quad \text{Formel 1}$$

ΔL [dB], Einfügungsdämmung des Estrichaufbaus

(Schwingungsisolierung / Verbesserungsmass durch elastische Körperschallentkopplung)

D [-], Dämpfungsgrad (Lehr'sches Dämpfungsmass) bestimmt durch:

$$D = \frac{\eta}{2} [-] \quad \text{Formel 2}$$

η [-], Verlustfaktor des gesamten Fussbodenaufbaus bzw. sämtlicher schwingungsdämpfender Mechanismen; z.B. Estrich/Unterlagsboden, Trittschalldämmung, Beschwerung (Splitt), Verlustfaktoren wesentlicher dämpfender Materialien: aus [1], [3], [7]

- elastifizierter EPS-Trittschalldämmung (d=20-40mm): $\eta \approx 0.04 - 0.08$
- Mineralfaser-Trittschalldämmung (d=20-40mm): $\eta \approx 0.08 - 0.16$
- Kalksplittschüttung-Sand bzw. mit Latexmilch gebunden: $\eta \approx 0.08 - 0.12$ bzw. \approx bis 0.20

f [Hz], Terzmittenfrequenz

f_r Resonanzfrequenz des Estrichaufbaus [Hz] bestimmt durch:

$$f_{r-UB} = \frac{1000}{2\tau} \times \sqrt{s' \times \left(\frac{1}{m_{UB}} + \frac{1}{m_{Decke}} \right)} \approx 160 \times \sqrt{s' \times \left(\frac{1}{m_{UB}} + \frac{1}{m_{Decke}} \right)} \quad \text{Formel 3}$$

s' [MN/m³], flächenbezogene dynamische Steifigkeit der Trittschalldämmungen

m_{UB} [kg/m²], flächenbezogene Masse des Estrichs inkl. Bodenbelag

m_{Decke} [kg/m²], flächenbezogene Masse der Rohdecke inkl. Beschwerung

Z_1 [Ns/m], mechanische Eingangs-Impedanz des Fussbodenaufbaus / Estrich / Unterlagsboden

Z_2 [Ns/m], mechanische Eingangs-Impedanz der Rohdecke und Beschwerung

→ Idealisierte Impedanzgleichungen sind im Buch «Körperschall, Tabelle 4.1» [1] aufzufinden.

- Die dynamische Steifigkeit s' von **Trittschalldämmungen** ist die wichtigste Kenngrösse für eine optimale akustische Entkopplung eines Estrichs. Diese physikalische Eigenschaft beschreibt die Federkonstante unter dynamischer Beanspruchung. Sehr gute, handelsübliche Glasfaser-Trittschalldämmungen erreichen bei 27mm-Stärke eine dynamische Steifigkeit von 6 MN/m³, welche jedoch, wegen der Setzungsproblematik, nur bei Nassestrichen verwendet werden sollen. Für **Trockenestriche** optimierte gekreppte Glasfaser-Trittschalldämmungen mit 20mm-Stärke haben eine deklarierte dynamische Steifigkeit von 12 MN/m³ und sind je nach Estrichsystem und Bodenbelag betreffend Deformation vertretbar.
- Durch einen möglichst grossen **Verlustfaktor** im Masse-Feder-Masse-System des Fussbodenaufbaus wird eine hohe Dämpfung der Resonanzspitze angestrebt. Die Resonanzüberhöhung sollte derart vermindert werden, dass das tieffrequente Gehgeräusch durch das Aufbringen eines Estrichs nicht bzw. kaum verstärkt wird und auch das subjektiv empfundene Dröhnen nicht auftritt.

Trittschalldämmungen aus Faserdämmstoffen und auch Splitt oder segmentierte, biegeeweiche **Trockenestrichsysteme** weisen grosse Verlustfaktoren auf. Der Verlustfaktor gibt an, wie gross die innerhalb einer Schwingungsperiode in Wärme umgewandelte („verloren gegangene“) Energie im Verhältnis zur wiedergewinnbaren mechanischen Energie ist. Bei den für die Trittschalldämmung interessierenden tiefen Resonanzfrequenzen, werden diese Verlustfaktoren näherungsweise als konstant angenommen.

Erst oberhalb der Frequenzen von $1,6 \times$ Resonanzfrequenz sind Schalldämmverbesserungen zu erwarten. Weil unterhalb der Resonanzfrequenz nicht mit Schalldämmverbesserungen durch die Einfügungsdämmung zu rechnen ist, sollte die Resonanzfrequenz möglichst tieffrequent liegen. Diese sollte bei Nassestrichen unter 45 Hz liegen, da der Resonanzeinbruch ausgeprägt ist.

Zu leichte **Trockenestriche** haben meist Resonanzfrequenzen um die 100 Hz oder höher und weisen weniger ausgeprägte Resonanzeinbrüche als Nassestriche auf. Zwar werden mit bauüblichen relativ leichten Trockenestrichaufbauten die normativen Schalldämmwerte verbessert, jedoch ist gerade bei den relevanten tiefen Frequenzen keine Verbesserung durch die Einfügungsdämmung zu erwarten.

Akustisch noch besser oder gleichwertig wie Nassestriche sind tieffrequent abgestimmte, schwere und segmentierte Trockenestriche wie sie in nachfolgenden Kapiteln vorgestellt werden.

Generell haben Fussbodenheizungen, wenn diese einwandfrei ohne Schallbrücken montiert wurden, keinen Einfluss auf die Schallschutzeigenschaften des Estrichsystems.

4.2. Rohdecken und Beschwerung

- Eine Erhöhung der Deckensteifigkeit hat nicht generell höhere Trittschalleigenschaften zur Folge. Vielmehr müssen die Steifigkeitseigenschaften und Eigenmoden im Zusammenhang des Estrichaufbaus mit dessen Resonanzfrequenz aufeinander abgestimmt werden.
- Bei Holztragwerken wird die Eingangsimpedanz und somit die Schalldämmung gerade auch bei den tiefen Frequenzen durch eine Rohdeckenbeschwerung wesentlich erhöht.
- Die Rohdeckenbeschwerung hat ganz wesentlichen Einfluss auf die Resonanzerscheinung des Estrichaufbaus. Je steifer die Rohdeckenbeschwerung und im Allgemeinen die Deckenkonstruktion ist, desto ausgeprägter wird auch die Resonanzüberhöhung des Estrichaufbaus sein. Dies bedeutet, dass im Frequenzbereich der Estrichresonanz mit Schalldämmverschlechterungen zu rechnen ist.
- Biegeweiche Rohdeckenbeschwerungen wie z.B. Kalksplitt, sind betreffend den Dämpfungseigenschaften den biegesteifen Materialien wie z.B. Beton vorzuziehen.

4.3. Unterdecke

- Eine Unterdecke bildet bei mehrschaligen Konstruktionen ein weiteres Masse-Feder-Masse-Resonanzsystem mit ausgeprägter Resonanzüberhöhung. Die Resonanzfrequenz von optimal entkoppelten oder freitragenden Unterdecken kann analog des Estrichs berechnet werden.
- Mit optimal federnd abgehängten Gipsdecken können Resonanzfrequenzen unter 40 Hz erreicht werden. Liegt die Resonanzfrequenz des Estrichaufbaus im gleichen Frequenzbereich, so ist mit einer ungünstigen Überlagerung der beiden Resonanzüberhöhungen zu rechnen. Die Unterdecke wird zwar jedenfalls die normativ bewerteten Schalldämmwerte beim Luft- und Trittschallschutz verbessern, jedoch wird sie den relevanten tieffrequenten Trittschallschutz kaum verbessern.
- Vom Deckentragwerk ganz entkoppelte, freitragende Gipsdecken mit sehr grossen Luftpolsterdicken und einer Hohraumbedämpfung können auch günstige Resonanzfrequenzen unter 30 Hz erreichen. Schalldämmverluste durch Nebenwegübertragungen und durch Wand-Randkopplung werden hier noch grösser sein als bei federnd abgehängten Gipsdecken.

5. Trockenestrichsysteme für tieffrequenten Trittschallschutz

In diesem Kapitel werden einige Trockenestrichsysteme gezeigt welche bei unseren Beratungsaufgaben (gem. Kap.2) für die Anforderungs-Zielwerte (gem.Kap.3) des tieffrequenten Trittschallschutzes optimiert sind.

5.1. Trockenestrichsysteme ohne Fussbodenheizung im Bestand

Bei bestehenden Gebäuden mit beschränkten Tragsicherheitsreserven sind Trockenestrichsysteme gegenüber viel schwereren Nassestrichen bevorzugt. Bei den nachfolgenden Objekten mussten keine Deckenverstärkungen vorgenommen werden und auch die Gips-schilf-Unterdecken konnte man belassen.

Die für den Trittschallschutz optimierten Trockenestrichsysteme bestehen im Wesentlichen aus «Silencium-Gold» (Quarzsandplatte), einer lastabtragenden Ausgleichschüttung «Cemwood CW 1000 bzw. CW 2000» und einer betreffend akustischer Eigenschaft und dem Setzungsverhalten optimierten Trittschalldämmung.

Beim folgenden Objekt mit einer relativ schweren Bestanddecke und dem optimierten Trockenestrichsystem konnten die Zielwerte für «Erhöhten tieffrequenten Trittschallschutz» erreicht werden. Zur akustischen Optimierung wurden diverse Trockenestrichsysteme und Trittschalldämmungen berechnet und am Bau gemessen.

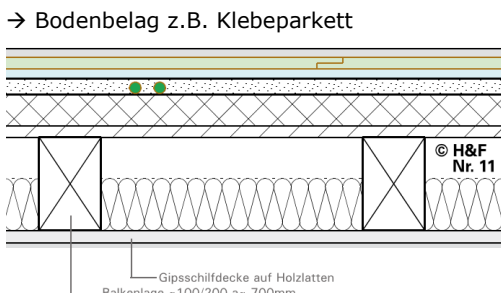
Trockenestrich auf bestehender Decke Objektmessungen, MFH in Basel (Schweiz)	Estrich- bzw. Deckenaufbau;	Stärke; (mm)	Masse; (kg/m ²)
 <p>→ Bodenbelag z.B. Klebeparkett</p> <p>→ In den Estrich-Randbereichen ist zur Setzungsminimierung eine Holzfasertritt-schalldämmung ($s' < 28 \text{ MN/m}^3$) erforderlich.</p>	Gipsfaserplatte im Verbund verlegt	18	21
	«Silencium-Gold» (Quarzsandplatte)	21	30
	Gekreppte Glasfaser Trittschallmatte dynamische Steifigkeit $s' = 12 \text{ MN/m}^3$	20	2
	Lastabtragende Ausgleichschüttung «Cemwood CW 1000»	30	11
	bestehender Zementüberzug	60	130
bestehende Holzschalung	25	12	
bestehende Balkenlage	200	13	
bestehender Gips-schilf-Decke	25	20	
$L'_{nT,w} (C_I; C_{I 50-2500} = 39 \text{ dB (1; 9)})$ $L'_{n,w} (C_I; C_{I 50-2500} = 41 \text{ dB (1; 9)})$			ca.239

Abbildung 5: Trockenestrich-Silencium Gold + Cemwood, Objektmessung, MFH in Basel (Schweiz)

Beim folgenden Objekt mit einer relativ leichten, klassischen Altbaudecke und dem optimierten Trockenestrichsystem konnten die nach Schweizer-Norm geforderten «Mindestanforderungen» sehr gut eingehalten werden. Der tieffrequente Trittschallschutz ist für die geringe Deckenmasse und mit einer bestehenden Gips-schilf-Decke als gut zu bewerten, was auch durch die Gehschall-Messungen bestätigt wurde.

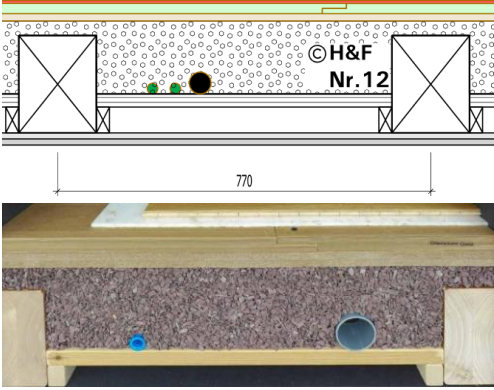
Trockenestrich auf bestehender Decke Objektmessungen, MFH in Zürich (CH)	Estrich- bzw. Deckenaufbau;	Stärke; (mm)	Masse; (kg/m ²)
	Klebeparkett	12	7
	Entkopplungsmatte geklebt auf	4	4
	«Silencium-Gold» (Quarzsandplatte)	21	30
	Holzfaser Trittschall- und Ausgleich- Platte, $\rho \sim .250 \text{ kg/m}^2$ dynamische Steifigkeit $s' \sim .60 \text{ MN/m}^3$	15	2
	lastabtragende Ausgleichschüttung «Cemwood CW 2000» auf Schiebbo- den, Balken ca. 30mm überschüttet	150	57
	Best. Balkenlage mit tragfähigem Schiebboden	25	25
	Best. Gipschilfdecke		20
$L'_{nT,w} (C_I; C_{I 50-2500} = 49 \text{ dB (1; 6)})$			ca.100
$L'_{n,w} (C_I; C_{I 50-2500} = 51 \text{ dB (1; 5)})$			

Abbildung 6: Trockenestrich-Silencium Gold +Cemwood, Objektmessung, MFH in Zürich (Schweiz)

5.2. Trockenestriche – Lithotherm mit Fussbodenheizung mit optimiertem tieffrequenten Tritt- und Geh- Schallschutz

Sämtliche folgende Trockenestriche wurden an Neubau-Objekten und im Labor mit dem System – «Lithotherm» geprüft. Dieses System besteht aus Formplatten in Ton oder auch in Kalkstein und erlauben ein einfaches Verlegen von Aluverbundrohren für die Fussbodenheizung. Zur akustischen Optimierung wurden Lithotherm- Trockenestriche mit diversen Trittschalldämmungen am Bau an verschiedenen Mehrfamilienhäusern in der Schweiz in Appenzell, Gais, Speicher und in Engelberg gemessen.

Die Zielvorgaben für «Erhöhten tieffrequenten Trittschallschutz» und auch mindestens die akustische Gleichwertigkeit im Vergleich zu viel schwereren Nassestrichen wurden erfüllt. Letztendlich bestätigten auch die EMPA-Labormessungen die sehr guten Werte für einen tieffrequenten Tritt- und Luft- Schallschutz. Grundsätzlich sind die Estrichaufbauten mit einer Trittschalldämmung aus gekreppter Glasfaser im Vergleich zur Holzfaser betreffend den akustischen Eigenschaften besser.

Nachfolgend sind einige Trockenestrichsysteme mit Werten zu den Baumessungen und zur EMPA-Labormessung dargestellt.

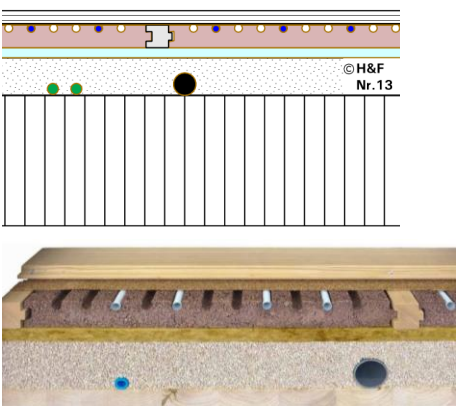
Trockenestrich – «Lithotherm» Objektmessungen, MFH in Engelberg (CH)	Estrich- bzw. Deckenaufbau;	Stärke; (mm)	Masse; (kg/m ²)
	Massivholzdielen verschraubt in Lithotherm-Profilholzleisten	23	14
	Korkrolle als Zwischenlage	2	0.5
	«Lithotherm» - Tonelemente mit Holzleisten inkl. Fussbodenheizung	45	50
	Gekreppte Glasfaser Trittschallmatte dynamische Steifigkeit $s' = 12 \text{ MN/m}^3$	20	2
	Lastabtragender Kalksplitt	75	105
	Vollholzdecke mit sichtbarer Unter- sicht	260	117
$L'_{nT,w} (C_I; C_{I 50-2500} = 44 \text{ dB (0; 4)})$			ca.289
$L'_{n,w} (C_I; C_{I 50-2500} = 44 \text{ dB (0; 4)})$			

Abbildung 7: Trockenestrich-Lithotherm + Kalksplitt, Objektmessung, MFH in Engelberg (Schweiz)

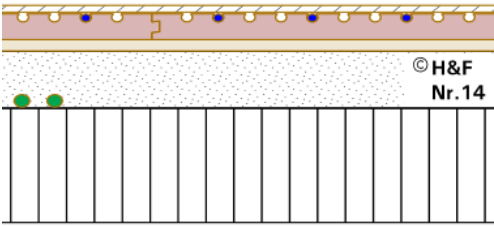
Trockenestrich – «Lithotherm» Objektmessungen , MFH in Appenzell (CH)	Estrich- bzw. Deckenaufbau;	Stärke; (mm)	Masse; (kg/m ²)
→ als Bodenbelag sind auch Vliesen möglich	Klebparkett	15	9
	Gipsfaserplatte verschraubt in Lithotherm-Profilholzleisten	15	17
	«Lithotherm» - Tonelemente mit Holzleisten inkl. Fussbodenheizung	45	50
	Gekreppte Glasfaser Trittschallmatte dynamische Steifigkeit $s' = 12 \text{ MN/m}^3$	20	2
	Lastabtragender Kalksplitt	110	154
→ In den Estrich-Randbereichen ist zur Setzungsminimierung eine Holzfasertritt-schall-dämmung ($s' < 28 \text{ MN/m}^3$) erforderlich.	Gipsfaserplatte (zur Aussteifung)	15	17
	Vollholzdecke	200	94
$L'_{nT,w} (C_I; C_{I 50-2500} = 44 \text{ dB (0; 3)})$			ca.343
$L'_{n,w} (C_I; C_{I 50-2500} = 48 \text{ dB (0; 3)})$			

Abbildung 8: Trockenestrich-Lithotherm + Kalksplitt, Objektmessung, MFH in Appenzell (Schweiz)

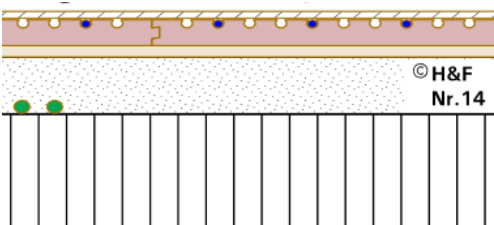
Trockenestrich – «Lithotherm» Labormessungen , EMPA-Zürich (CH)	Estrich- bzw. Deckenaufbau;	Stärke; (mm)	Masse; (kg/m ²)
→ als Bodenbelag sind auch Vliesen möglich	Gipsfaserplatte verschraubt in Lithotherm-Profilholzleisten	15	17
	«Lithotherm» - Tonelemente mit Holzleisten inkl. Fussbodenheizung	45	50
	V1-Variante-1; Gekreppte Glasfaser Trittschallmatte dynamische Steifigkeit $s' = 12 \text{ MN/m}^3$	20	2
	V2-Variante-2; Holzfaser Trittschallmatte dynamische Steifigkeit $s' = 28 \text{ MN/m}^3$	20	3
	Lastabtragender Kalksplitt	90	126
	Vollholzdecke	220	103
V1-Variante-1; Bew. Norm-Trittschall; $L'_{n,w} (C_I; C_{I 50-2500} = 46 \text{ dB (0; 3)})$	V1; Bau-Schalldämm-Mass; $R'_{w} (C; C_{50-5000} = 70 \text{ dB (-2; -8)})$		ca.296
V2-Variante-2; Bew. Norm-Trittschall; $L'_{n,w} (C_I; C_{I 50-2500} = 49 \text{ dB (0; 3)})$	V2; Bau-Schalldämm-Mass; $R'_{w} (C; C_{50-5000} = 66 \text{ dB (-4; -7)})$		

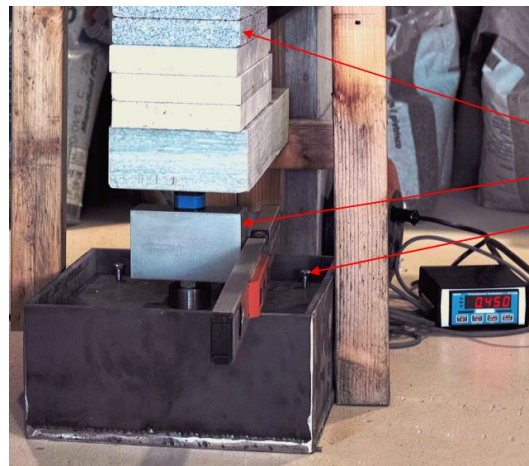
Abbildung 9: Trockenestrich-Lithotherm + Kalksplitt, Labormessung an der EMPA (Schweiz)

5.3. Deformation / Einfederung von Trockenestrichen

Geprüft wurden am Bau und im Labor durch die Firma «Materialtechnik am Bau AG» das Setzungsverhalten von losem Kalksplitt und Deformationen von diversen Estrichsystemaufbauten unter diversen Lasteinflüssen.

Beim Kalksteinsplitt mit 100mm unverdichteter Schütthöhe wurde bei 5 kN/m² Flächenpressung unter Langzeiteinwirkung lediglich 0.11mm Setzung gemessen.

Beim akustisch optimierten Trockenestrichsystem (Variante-1-Abbildung-9) mit einer 20mm gekreppten Glasfasertrittschalldämmung wurden bei den Prüfungen mit einer Einzellast von 300 kg (Stempelfläche von 50x50mm²) lediglich 0.65mm Vertikaldeformationen (bezogen auf eine Abmessung von 60x60cm²) gemessen. Mit Holzfasertrittschalldämmungen wurden noch geringere Deformationen gemessen.



Gewicht

Druckmessdose

Metallplatte mit
Schraubenköpfen
zur Distanzmes-
sung

Abbildung 10: Versuchsanordnung Deformationsmessungen; Punktbelastung auf Estrichsystemen (Abbildung links), Flächenbelastung auf Kalksplitt (Abbildung rechts) [10]

Anhand der Ergebnisse aus den Deformationsmessungen wurden in Zusammenarbeit mit diversen Anbietern von Bodenbelägen und Klebstoffen, insbesondere für grossformatige Fliesen, Verlegemassnahmen vorgeschlagen. Umfassende Informationen sind im Dokument «Trocken-Unterlagsboden, Anwendungen und technische Infos» [10], von der Firma Holz&Funktion AG nachzuschlagen.

5.4. Praxisbeispiel Trockenestrichsystem mit Fussbodenheizung



Abbildung 11: Lithotherm-Trockenestrichsystem mit Fussbodenheizung mit elastisch gebundener Cemwood-Schüttung in den Randbereichen [10]

Eine Trockenestrichsystemlösung für Fussbodenheizung wird heute bei vielen Bauobjekten gefordert. Bei der Fussbodenheizung im Trockenestrichsystem sind thermische Argumente und Einflüsse auf die baupraktische Detailausführung weitaus wichtiger als akustische Einflüsse.

Schalltechnisch entscheidend sind ein sauber verlegter Stellstreifen (Empfehlung >10mm-Mineralfaserdämmung) über die ganze Estrich- bzw. Bodenbelag-Aufbauhöhe an angrenzenden Wandbauteile.

In den Bodenrandbereichen werden die Rohrbogen der Fussbodenheizung in einer elastisch gebundenen Cemwood-Schüttung verlegt. Trotz dieser viel leichteren Schüttung im Vergleich zum Lithotherm-Element sind keine Schalldämmeinbussen zu erwarten. Je nach Bodenbelag wird in den Randbereichen zur Minimierung der Estrichdeformation anstatt der akustisch optimalen Glasfaser- eine steifere Holzfaser-Trittschalldämmung erforderlich. Diese hat kaum oder nur geringen Einfluss auf die Schalldämmeigenschaften. Zudem ist in diesen Randbereichen kaum mit Gehschallanregung mit Einbussen des subjektiv bewerteten, tieffrequenten Trittschallschutz zu rechnen.

Folgende Abbildungen zeigen einige Montageschritte eines Trockenestrichaufbaus;



Abbildung 12: Praxisbeispiel MFH in Engelberg; Montierte MF-Stellstreifen, Einbringen und Nivellieren mit «Granubot» (Abbildung links-oben); verlegen von Trittschalldämmung (Abbildung oben-rechts); Verlegen von Lithotherm-Randelementen+Randlatte (Abbildung unten-rechts); Verlegen weiterer Estrich und Fussbodenheizungsrohre (Abbildung unten-rechts) [10]

6. Literatur

- [1] Cremer L.; Heckl M.: Körperschall: Physikalische Grundlagen und technische Anwendungen. Neu bearbeitet von Möser M. und Kropp W., 3. Auflage 2010, Springer-Verlag, ISBN 978-3-540-40336-4
- [2] Henn H.; Sinamari Gh. R.; Fallen M.: Ingenieurakustik: Physikalische Grundlagen und Anwendungsbeispiele. 4. Auflage 2008, Vieweg + Teubner –Verlag, ISBN 978-3-8348-0255-2
- [3] Rabold A.: Anwendung der Finite Element Methode auf die Trittschallberechnung. Dissertation 2010, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Technische Universität München
- [4] Liebl A.; Späh M.: Lignum Holzwirtschaft Schweiz: Schallschutz im Holzbau, Projekt «Subjektive Wahrnehmung von Schall» Schlussbericht, 2015, Kap.6 – «Zielgrösse mit hoher Korrelation zu Nutzerbewertungen»
- [5] Kühn B.; Blickle R.: Berechnung der Gehgeräusche-Immissionen und Trittschalldämmung von Geschossdecken aus Holz im Frequenzbereich von 16 Hz bis 200 Hz. Forschungsarbeit vom Institut für Lärmschutz Kühn+Blickle, 2004
- [6] Kühn B.; Blickle R.: Trittschalldämmung und Gehgeräusche-Immissionen von Geschossdecken aus Holz. Bericht vom Institut für Lärmschutz Kühn+Blickle, 2004
- [7] Kühn B.; Blickle R.: Untersuchung zum Sonderfall des dröhnenden Unterlagsbodens. Bericht vom Institut für Lärmschutz Kühn+Blickle, erschienen in SIA-Sonderdruck aus Heft 46/1992
- [8] Richter B.: Auf der Spur der lauten Sohlen - Trittschalldämmung. Artikel aus der Zeitschrift Trockenbau-Akustik, S. 66-68, 2005
- [9] Ackermann J.; S-Win-Tagungsband, 45. Fortbildungskurs 2013, «Deckensysteme: Aktuelle und zukünftige Lösungen mit Holz», Vortrag; «Schallschutz von der Planung zur Ausführung»
- [10] Holz&Funktion AG, Wauwil-CH; Dokument «H&F Trocken-Unterlagsboden, Anwendungen und technische Infos»
- [11] Verein Deutscher Ingenieure VDI: VDI 4100: 2012, Sound insulation between rooms in buildings-dwellings- Assessment and proposals for enhanced sound insulation between rooms
- [12] Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig: Integration des Holz- und Skelettbbaus in die neue DIN 4109
- [13] Verein Deutscher Ingenieure VDI: VDI 2062 – Blatt 1, Schwingungsisolierung, Begriffe und Methoden.
- [14] SIA 181 /2006, Schallschutz im Hochbau