

# **Untersuchungen zum Sonderfall des dröhnenden Unterlagsbodens**

BEAT KÜHN  
UND RUDOLF BLICKLE,  
INSTITUT FÜR LÄRMSCHUTZ  
6314 UNTERÄGERI

Schweizer Ingenieur und Architekt  
Sonderdruck aus Heft 46/1992

# Untersuchungen zum Sonderfall des dröhnenden Unterlagsbodens

**Korrekt ausgeführte schwimmende Unterlagsböden haben zum Teil die Eigenschaft, beim Begehen unangenehme Dröhngeräusche hervorzurufen. Der folgende Beitrag befasst sich mit den Ursachen dieses Phänomens und gibt Ratschläge zur Verminderung dieser meist störenden Erscheinung.**

## Einführung

Schwimmende Unterlagsböden stellen im Hochbau eine sehr gebräuchliche Massnahme zur Erhöhung der Trittschalldämmung dar, obwohl sie wegen mangelnder Ausführung allzuoft zu Klagen Anlass geben. Die Ursachen der ungenügenden Trittschalldämmung liegen dann meistens bei ungewollten Schallbrücken im Bereich der Raumecken, Türzargen usw. Im Rohzustand des Unterlagsbodens lässt sich die Trittschalldämmung relativ einfach verbessern, indem die Schallbrücken entfernt werden. Durch einwandfreie Unterlagsböden auf Betongeschossdecken kann eine Trittschalldämmung erzielt werden, die die erhöhten Anforderungen gemäss der SIA-Norm 181 «Schallschutz im Hochbau» bei weitem übersteuert. Zur Erreichung einer genügenden Dämmung sind neben einer schallbrückenfreien Ausführung die schalltechnischen Eigenschaften des Dämmmaterials von ausschlaggebender Bedeutung. Die heute wohl am meisten zum Einsatz kommenden Dämmmaterialien sind Platten aus Mineralwolle und elastifizierten Schaumstoffen. Obwohl die beiden Materialien sehr unterschiedliche Eigenschaften aufweisen, haben sie sich beim Einsatz unter schwimmenden Unterlagsböden sehr gut bewährt.

VON BEAT KÜHN  
UND RUDOLF BLICKLE,  
UNTERÄGERI

Parallel zu den in den letzten Jahren gestiegenen Anforderungen an die Trittschalldämmung, haben auch die Anforderungen ans Dämmmaterial selbst zugenommen. Von einer guten Trittschalldämmung wird heute erst gesprochen, wenn das Herumlaufen des Nachbarn nicht mehr wahrgenommen wird. Mit einwandfrei ausgeführten Unterlagsböden lässt sich dieses Problem im

bauakustisch interessierenden Frequenzbereich ( $f = 100$  bis  $3150$  Hz) gut lösen. Ganz anders sieht es im Frequenzbereich unter  $100$  Hz aus. Da ein Unterlagsboden als Tiefpassfilter wirkt und beim Gehen in erster Linie Schwingungen unterhalb  $100$  Hz angeregt werden, ergeben sich in diesem Frequenzbereich die Hauptkomponenten des Trittschallgeräusches. Dieses dann im Sende- und im Empfangsraum auftretende Trittschall- bzw. Gehgeräusch kann, je nach Aufbau des Unterlagsbodens, derart grosse Luftschallpegel aufweisen, dass es als Dröhnen wahrgenommen wird. Solche Dröhneffekte werden meist als sehr unangenehm und lästig empfunden. Das Ausmass des Dröhneffekts hängt in erster Linie von der Art der Anregung ab. Während beim normalen Begehen des Unterlagsbodens kaum Probleme entstehen, kann bei sehr «kraftvollem» Gehen – zum Beispiel Gehen ohne Schuhe, Herumhüpfen oder Rennen von Kindern – ein ausgeprägtes Dröhnen wahrgenommen werden.

In diesem Bericht wird versucht, diesen in der Literatur kaum behandelten Sonderfall des dröhnenden Unterlagsbodens näher zu durchleuchten. Nach einer allgemeinen theoretischen Betrachtung der Trittschalldämmung folgt eine Versuchsreihe zum Dröhneffekt schwimmender Unterlagsböden. Im vorletzten Abschnitt werden die gewonnenen Versuchsergebnisse näher erläutert. Schliesslich folgen einige Ausführungen und Untersuchungen zur Frage, wie sich das Dröhnen der Unterlagsböden vermindern liesse.

## Theoretische Betrachtungen zum Trittschall

### Theorie der Trittschalldämmung

Über die Theorie der Trittschalldämmung, insbesondere über die Dämmung des Trittschalls mit schwimmenden Unterlagsböden, ist in den letzten Jahr-

zehnten schon sehr viel publiziert worden (1, 2). Dabei haben sich die verschiedenen Autoren meistens auf den bauakustisch wichtigen Frequenzbereich ( $f = 100$  bis  $3150$  Hz) beschränkt. Ein Grund für diese frequenzmässig eingeschränkte Betrachtung mag wohl der sein, dass das Problem des dröhnenden Unterlagsbodens noch nicht in diesem Ausmass wie heute vorhanden war oder erkannt wurde.

Akustisch gesehen stellt der schwimmende Unterlagsboden einen Schwingkreis bzw. ein Masse-Feder-System mit einer Eigenfrequenz  $f_0$  dar. Die Masse des Schwingkreises wird durch die Unterlagsbodenplatte gebildet, während sich die Feder aus den dynamischen Eigenschaften des Dämmmaterials ergibt. Für die Eigenfrequenz bzw. Resonanzfrequenz  $f_0$  des Unterlagsbodens gilt die Beziehung:

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{s'}{m'}} \text{ [Hz]} \quad (1)$$

Dabei bedeuten:

$m'$ : flächenbezogene Masse der Unterlagsbodenplatte in  $\text{kg/m}^2$

$s'$ : flächenbezogene dynamische Steifigkeit des Dämmmaterials in  $\text{MN/m}^3$

Bemerkung:

Der Faktor 160 in der obigen Beziehung ergibt sich aus der Wahl der Einheiten [ $\text{kg/m}^2$ ] und [ $\text{MN/m}^3$ ]

Die Eigenfrequenz ist nun die wichtigste Grösse bei der Dimensionierung des Unterlagsbodens. Wie schon weiter oben erwähnt, stellt ein Unterlagsboden ein Tiefpassfilter dar, welches erst bei Frequenzen oberhalb der Eigenfrequenz  $f_0$  zu dämmen beginnt. Im Bereich der Eigenfrequenz und darunter lässt das Filter die Signale ungehindert passieren. Im ungünstigsten Fall – dieser tritt dann ein, wenn die inneren Körperschallverluste bzw. Reibung im Dämmmaterial klein sind – ist sogar mit einer Verstärkung der übertragenen Signale in der Grössenordnung von 10 bis 15 dB zu rechnen.

Für die Berechnung der erzielbaren Trittschallminderung bzw. der Einfügungsdämmung  $L_n$  eines Unterlagsbodens in Terzbandbreite kann die folgende, allgemein gültige Beziehung herangezogen werden:

$$\Delta L_n = 10 \lg \frac{\left[1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right]^2 + d}{1 + d} \text{ [dB]} \quad (2)$$

Für die Frequenzen  $f$  weit oberhalb der Eigenfrequenz  $f_0$  des Unterlagsbodens lässt sich die obige Beziehung vereinfachen zu:

$$\Delta L_n = 40 \lg \left( \frac{f}{f_0} \right) \text{ [dB]} \quad (3)$$

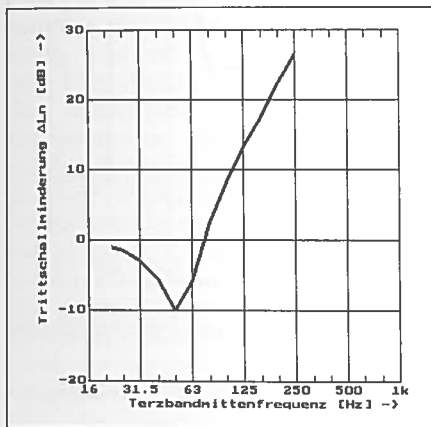
Darin sind:

- $f$ : betrachtete Frequenz in Hz
- $f_0$ : Eigenfrequenz des Unterlagsbodens in Hz gemäss obiger Beziehung (1)
- $d$ : innere Dämpfung bzw. Verlustfaktor des Dämmmaterials unter der Unterlagsbodenplatte

Voraussetzung für die Gültigkeit der beiden obigen Beziehungen (2) und (3) ist, dass sich im Dämmmaterial keinerlei Dickenresonanzen ausbilden. Bei den üblichen Dämmmaterialien ist mit solchen ab  $f = 400$  bis  $500$  Hz zu rechnen.

Im folgenden Diagramm ist der grundsätzliche Verlauf der Trittschallminderung  $\Delta L_n$  eines Unterlagsbodens mit dem folgenden Aufbau dargestellt:

**Aufbau:** Bodenplatte mit  $m' = 110$  kg/m<sup>2</sup>, Dämmmaterial aus 15 mm dicken Mineralwolleplatten mit  $s' = 12,0$  MN/m<sup>3</sup>, Stahlbetondecke



Darstellung der nach Beziehung (2) errechneten Trittschallminderung  $\Delta L_w$  des Unterlagsbodens (Der Verlustfaktor des Dämmmaterials wurde zu  $d = 0,10$  angenommen)

### Entstehung des Trittschalls

Bei den trittschalltechnischen Untersuchungen wird normalerweise ein Trittschallhammerwerk nach ISO 140 verwendet, welches auf den zu untersuchenden Unterlagsboden aufgelegt und betrieben wird. Dabei wird die Unterlagsbodenplatte durch die frei fallenden Hämmer des Trittschallhammerwerks in Schwingung versetzt. Die beim Aufprall der Hämmer entstehenden effektiven Kräfte  $\tilde{F}$  errechnen sich gemäss (1) zu:

$$\tilde{F} = 2 m v \sqrt{f_s \Delta f} \text{ [N]} \quad (4)$$

Dabei bedeuten:

$m$ : Masse eines Hammers in kg

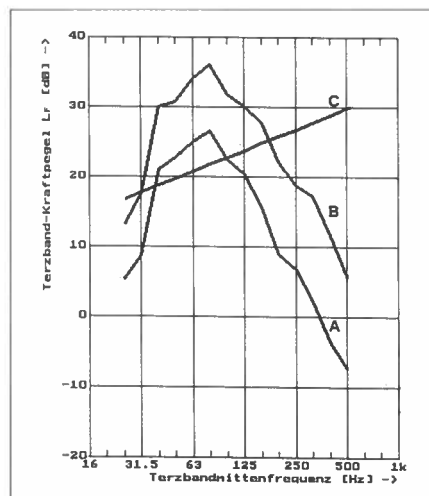
$v$ : Geschwindigkeit beim Aufprall des Hammers auf die Unterlage in m/s

$f_s$ : Schlagfrequenz des Hammerwerks in Hz

$\Delta f$ : betrachteter Frequenzbereich bzw. Frequenzbandbreite in Hz

Aus der obigen Beziehung (4) lässt sich erkennen, dass die vom Trittschallhammerwerk erzeugten Kräfte mit zunehmender Frequenz ansteigen. Der Grund dafür ist die bei den verwendeten elektrischen Terzbandfiltern mit zunehmender Messfrequenz wachsende Frequenzbandbreite  $\Delta f$ .

Die Erfahrung zeigt, dass der hier interessierende Dröhneffekt vor allem dann auftritt, wenn auf dem Unterlagsboden in einem kraftvollen Schritt herumgegangen wird. Ein besonders ausgeprägtes Dröhnen lässt sich beim Gehen ohne Schuhe feststellen. Zur Klärung des Einflusses der Anregungsart auf das Trittschallgeräusch wurde versucht zu ermitteln, welche Kräfte beim Gehen in die Unterlage induziert werden. Dazu wurde ein Vergleichsmessverfahren angewandt, bei dem zum einen eine Betondecke zwischen zwei Messräumen mit einem Normtrittschallhammerwerk angeregt wurde und zum andern auf derselben Decke herumgegangen wurde. Aus den bei den beiden Anregungsarten sich im Empfangsraum ergebenden Trittschallpegeln und dem bekannten Kräftespektrum des Normhammerwerks wurden die dynamischen Kräfte errechnet, die beim Gehen entstehen. Das Ergebnis der Untersuchung ist im folgenden Diagramm eingetragen.



Darstellung des Kräftespektrums bei verschiedenen Anregungsarten. Kurve A: Gehen im Fersengang, ohne Schuhe; Kurve B: Hüpfen, ohne Schuhe; Kurve C: Normtrittschallhammerwerk nach ISO 140 (errechnet mit obiger Beziehung 4). Die Versuchsperson war männlich und hatte eine Masse von 75 kg

Aus dem obigen Diagramm ist zu erkennen, dass das Maximum der beim Gehen und Hüpfen entstehenden dynamischen Kräfte im Bereich  $f = 63$  bis  $80$  Hz liegt (siehe Kurven A und B). Im weitern sieht man, dass die vom Trittschallhammerwerk erzeugten Kräfte mit zunehmender Frequenz ansteigen, wogegen beim Gehen die Kräfte mit steigender Frequenz stark abnehmen. Dies hat wohl mit dem anatomischen Aufbau des Erregers bzw. des Fusses zu tun, dessen Haut- und Gewebeschicht zwischen dem Fersenbein und der Unterlage wie eine Feder wirkt. Federn haben die Eigenschaft, die auf die Unterlage einwirkenden Kräfte mit zunehmender Frequenz zu sperren.

### Laboruntersuchungen an Unterlagsböden

Bei den Untersuchungen ging es darum, den Einfluss des Dämmmaterials unter der Unterlagsbodenplatte auf den Verlauf des Trittschallpegels näher zu durchleuchten. Die Messungen wurden dabei in einem nach tieferen Frequenzen hin verschobenen Bereich durchgeführt, nämlich von 25 Hz bis 500 Hz, da ja das in der Praxis beobachtete Dröhnen normalerweise unterhalb einer Frequenz von 100 Hz auftritt. Untersucht wurden insgesamt sechs 50 bis 55 mm dicke Zement-Unterlagsböden mit Dämmmaterial aus Glaswolle (Trittschalldämmplatten «ISOVER PS 81») und elastifiziertem Schaumkunststoff (Trittschalldämmplatten «Gopor T/SE») in verschiedenen Dicken. Die Anregung der Unterlagsböden erfolgte sowohl mittels eines Normtrittschallhammerwerks als auch mittels Gehen im Fersengang.

Die Betondecke, auf die die Unterlagsböden aufgebracht wurden, befand sich zwischen zwei Messräumen und wies eine Fläche von 18 m<sup>2</sup> auf. Das Volumen des Empfangsraums bzw. des Raums unterhalb der Betondecke betrug rund 55 m<sup>3</sup>. Die Nachhallzeit bzw. die Raumabsorption entsprach der eines normal möblierten Wohnzimmers ( $T_{60} = 0,5$  bis  $0,6$  s).

Die gesamten Untersuchungen bestanden aus verschiedenen Teilen:

- Bestimmung des Trittschallpegels im Empfangsraum bei Anregung der Betondecke und der Unterlagsböden mit einem Normhammerwerk
- Bestimmung des Trittschallpegels im Empfangsraum bei Anregung der Betondecke und der Unterlagsböden mittels Gehen im Fersengang
- Bestimmung der Eigenfrequenzen  $f_0$  der schwimmenden Unterlagsböden, der dynamischen Steifigkeiten  $s'$  und

der Verlustfaktoren  $d$  der verschiedenen verwendeten Dämmmaterialien.

## Untersuchungsergebnisse

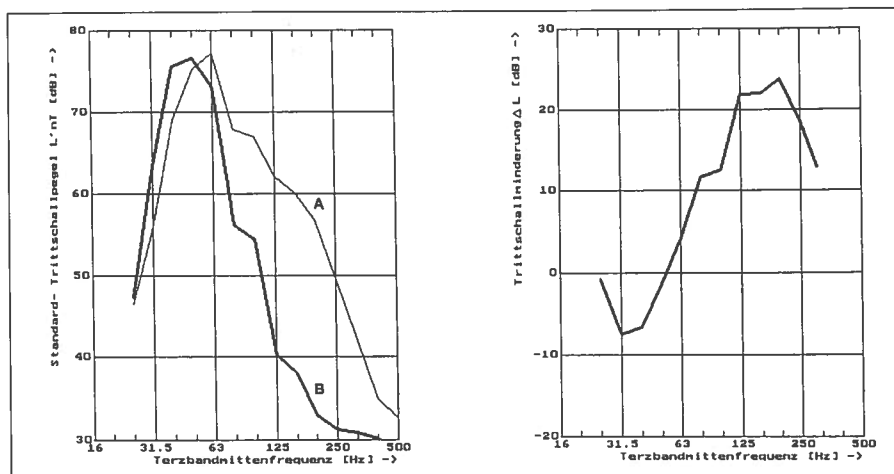
Im folgenden sind die an den einzelnen Unterlagsböden gesamthaft gewonnenen Untersuchungsergebnisse in Kurvenform und in Tabellenform zusammengestellt. Auf die Darstellung der mit dem Normtrittschallhammerwerk erhaltenen Messkurven wird im folgenden aus Platzgründen bzw. aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet.

## Diskussion der Untersuchungsergebnisse

Gemäss akustischer Terminologie bedeutet Dröhnen «Das verstärkte Mitschwingen von Bauteilen bei der Anregung von Eigenfrequenzen, insbesondere bei tiefen Frequenzen» (3).

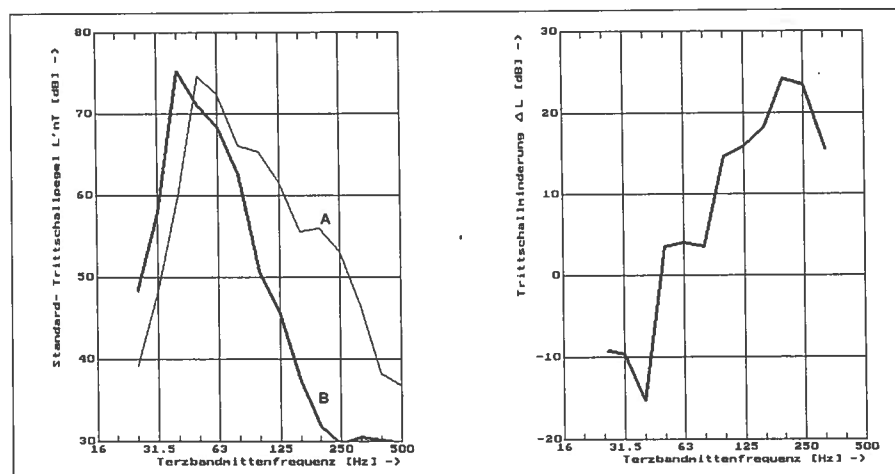
Beim Studium der Untersuchungsergebnisse wird ersichtlich, dass die Anregungsart der Betondecke einen grossen Einfluss auf den Verlauf des Trittschallpegels hat. Bei Anregung mit einem Hammerwerk ergibt sich ein mit zunehmender Frequenz ansteigender Trittschallpegel, während bei einer Anregung mittels Gehen der Trittschallpegel nur bis zu einer Terzbandmittenfrequenz von 63 Hz ansteigt, um dann steil abzufallen. Zur Klärung dieses sehr unterschiedlichen Kurvenverlaufs wird auf den Abschnitt «Entstehung des Trittschalls» verwiesen. Das dort dargestellte Diagramm zeigt die auf die Unterlage wirkenden Kräfte bei den beiden Anregungsarten «Hammerwerk» und «Gehen». Ihre Verläufe entsprechen etwa den im Empfangsraum ermittelten Trittschallpegeln, was an sich nicht überraschend ist, sind doch diese Kräfte letztendlich die Ursache des Trittschalls.

Für die subjektiv empfundene Klangfarbe eines Geräusches ist der spektrale Verlauf desselben massgebend. Geräusche mit grossen Luftschallanteilen im Hochtonbereich tönen «hell», während Geräusche mit ausgeprägten Komponenten im Tieftonbereich «dumpf» oder «dunkel» erscheinen. Daraus ergibt sich für das Hammerwerk mit grossen Luftschallpegeln im Mittel- und Hochtonbereich ein helles Geräusch, wogegen das Gehgeräusch sehr dumpf anzuhören ist. Bei sehr kraftvollem Gehen, Herumrennen oder Hüpfen steigen die Luftschallpegel im Frequenzbereich zwischen 40-160 Hz weiter an, was dann als Dröhnen wahrgenommen werden kann, ohne dass dabei irgendwelche Resonanzerscheinungen vorhanden sind. Diese treten erst dann auf, wenn die Rohdecke mit einem Unterlagsboden versehen



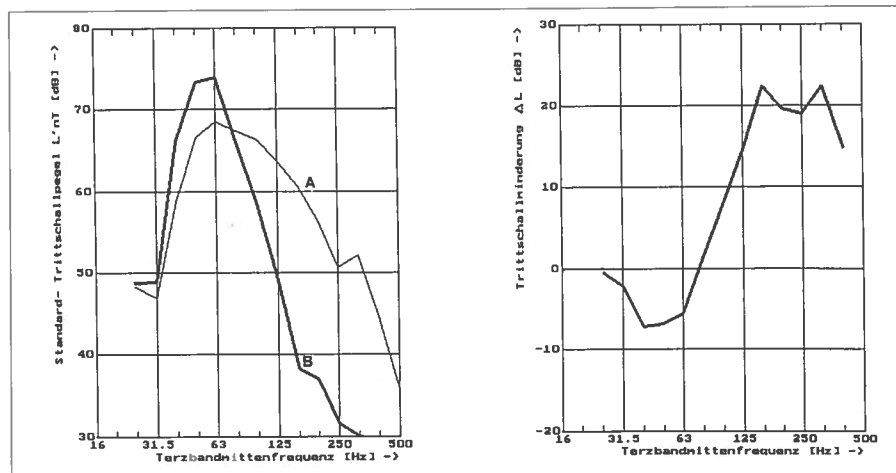
Unterlagsboden-Anordnung 1: Dämmmaterial zweilagig aus 2x15 mm dicken Trittschalldämmplatten (Glaswolle)

Eigenfrequenz  $f_0 = 41$  Hz, dynamische Steifigkeit  $s' = 7,2$  MN/m<sup>3</sup>, Verlustfaktor  $d = 0,16$  (-), Trittschallverbesserungsmass  $\Delta L_w = 38$  dB



Unterlagsboden-Anordnung 2: Dämmmaterial aus 2x22 mm dicken Trittschalldämmplatten (elastifizierter Schaumkunststoff)

Eigenfrequenz  $f_0 = 38$  Hz, dynamische Steifigkeit  $s' = 6,2$  MN/m<sup>3</sup>, Verlustfaktor  $d = 0,04$  (-), Trittschallverbesserungsmass  $\Delta L_w = 38$  dB



Unterlagsboden-Anordnung 3: Dämmmaterial einlagig aus 1x20 mm dicken Trittschalldämmplatten (Glaswolle)

Eigenfrequenz  $f_0 = 58$  Hz, dynamische Steifigkeit  $s' = 14,0$  MN/m<sup>3</sup>, Verlustfaktor  $d = 0,12$  (-), Trittschallverbesserungsmass  $\Delta L_w = 35$  dB

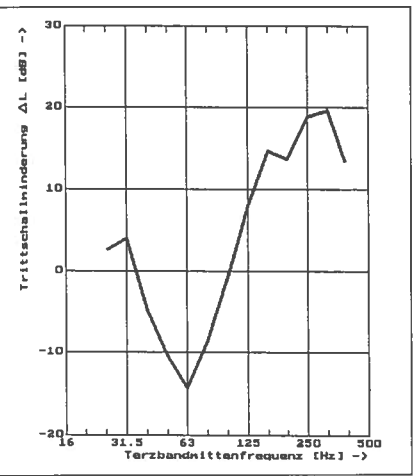
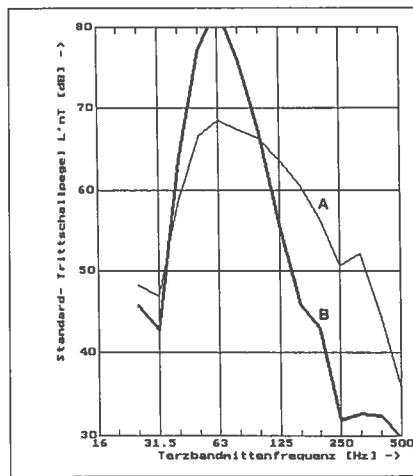
Figuren links: Anregung mittels Gehen im Fersengang. Kurve A: Gehen auf Rohdecke, Kurve B: Gehen auf Unterlagsboden

Figuren rechts: Darstellung der erreichbaren Trittschallminderung durch Unterlagsboden, Anregung mittels Gehen im Fersengang

wird (vergleiche dazu jeweils die Kurven A und B der Diagramme im Abschnitt «Untersuchungsergebnisse». Es zeigt sich, dass durch die Auflage eines Unterlagsbodens der Trittschallpegel im Bereich seiner Eigenfrequenz  $f_0$  zunimmt. Die Schallpegelzunahme hängt dabei in erster Linie vom Verlustfaktor des verwendeten Dämmmaterials ab. Bei Materialien mit grossem Verlustfaktor ist diese sogenannte Resonanzüberhöhung weniger stark ausgeprägt als bei Materialien mit kleinem Verlustfaktor. Der Einfluss der untersuchten Unterlagsböden auf den Verlauf der Trittschalldämmung ist jeweils im unteren Diagramm der verschiedenen Anordnungen als «Trittschallminderung  $\Delta L$ » dargestellt. Die Lage des Kurvenminimums ist dort identisch mit der Eigenfrequenz  $f_0$  des Unterlagsbodens. Diese hängt, wie im Abschnitt 2.1 schon dargestellt, von der dynamischen Steifigkeit  $s'$  des Dämmmaterials und von der Masse der Unterlagsbodenplatte ab. Da sich die Dicke üblicher Unterlagsböden meist zwischen 60 und 80 mm bewegt, bleibt bei der Auslegung als einziger Parameter die dynamische Steifigkeit  $s'$  übrig. Um mit Unterlagsböden eine gute Trittschalldämmung zu erzielen, ist die dynamische Steifigkeit  $s'$  des Dämmmaterials möglichst klein zu wählen. Bei einer Halbierung der dynamischen Steifigkeit kann mit einer Vergrößerung des Trittschallverbesserungsmasses  $\Delta L_W$  des Unterlagsbodens von theoretisch maximal 6 dB gerechnet werden. Diese Verbesserung der Trittschalldämmung führt nun aber nicht automatisch zu einer Verringerung des Dröhnens. Das Weichermachen der Lagerung führt lediglich zu einer Verlagerung der Eigenfrequenz des Unterlagsbodens zu tieferen Frequenzen, während das Dröhnen nach wie vor mit fast gleichbleibendem Schallpegel erhalten bleibt. Eine merkbare Verbesserung der Situation lässt sich, wie es im Moment aussieht, nur über den Verlustfaktor des Dämmmaterials erzielen. Gemäss der Beziehung (2) ist der Verlustfaktor die alleinige Grösse, mit welcher das Dämmungsmilieu bei der Eigenfrequenz des Unterlagsbodens beeinflusst werden kann. Durch die Wahl eines Dämmmaterials mit möglichst grossem Verlustfaktor wäre es theoretisch denkbar, die Resonanzüberhöhung derart zu vermindern, dass das tieffrequente Gehgeräusch durch das Aufbringen eines Unterlagsbodens nicht verstärkt wird.

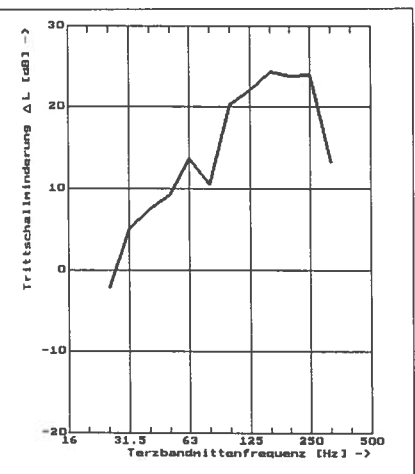
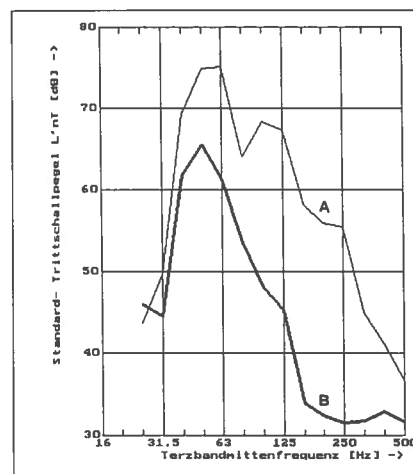
### Massnahmen und Untersuchungen zur Minderung des Dröhnens

Bei der Auslegung schwimmender Unterlagsböden stellt sich nun die Frage,



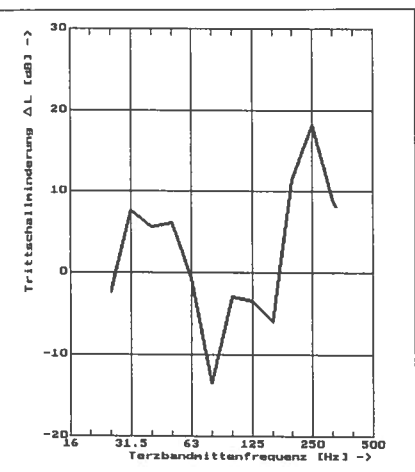
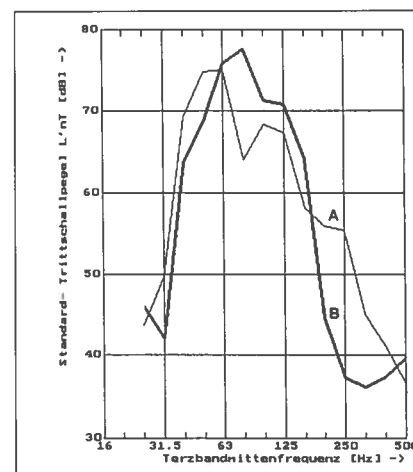
Unterlagsboden-Anordnung 4: Dämmmaterial einlagig aus 1x22 mm dicken Trittschalldämmplatten (elastifizierter Schaumkunststoff)

Eigenfrequenz  $f_0 = 60$  Hz, dynamische Steifigkeit  $s' = 15,5$  MN/m<sup>3</sup>, Verlustfaktor  $d = 0,06$  (-), Trittschallverbesserungsmass  $\Delta L_W = 29$  dB



Unterlagsboden-Anordnung 5: Dämmmaterial dreilagig aus 1x20 mm und 2x15 mm dicken Trittschalldämmplatten (Glaswolle)

Eigenfrequenz  $f_0 = 29$  Hz, dynamische Steifigkeit  $s' = 3,7$  MN/m<sup>3</sup>, Verlustfaktor  $d = 0,14$  (-), Trittschallverbesserungsmass  $\Delta L_W = 42$  dB



Unterlagsboden-Anordnung 6: Dämmmaterial zweilagig aus 1x20 mm dicken Schaumkunststoffplatten (nicht elastifiziert) und 1x11 mm dicken Trittschalldämmplatten (elastifizierter Schaumkunststoff)

Eigenfrequenz  $f_0 = 88$  Hz, dynamische Steifigkeit  $s' = 33,2$  MN/m<sup>3</sup>, Verlustfaktor  $d = 0,08$  (-), Trittschallverbesserungsmass  $\Delta L_W = 21$  dB

Figuren links: Anregung mittels Gehen im Fersengang. A: Gehen auf Rohdecke, B: Gehen auf Unterlagsboden

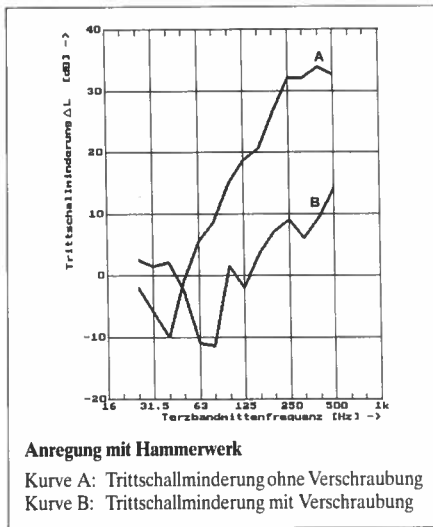
Figuren rechts: Erreichbare Trittschallminderung durch Unterlagsboden, Anregung mittels Gehen im Fersengang

mit welchen realistischen Möglichkeiten ein allfälliges Dröhnen verhindert oder zumindest vermindert werden kann. Nebst der Wahl eines Dämmmaterials mit grossen inneren Verlusten wäre noch denkbar:

1. Verschraubung des schwimmenden Unterlagsbodens mit der Rohdecke.
2. Belegung des schwimmenden Unterlagsbodens mit einem sehr weichen Teppich.
3. Vergrösserung der Dicke beziehungsweise der flächenbezogenen Masse der Unterlagsbodenplatte.

*Möglichkeit 1: Verschraubung des schwimmenden Unterlagsbodens mit der Rohdecke.*

Dazu wurde die im Abschnitt 3.1 beschriebene Unterlagsboden-Anordnung 2 (Grösse:  $S = 2 \text{ m}^2$ ) mit insgesamt 5 Schrauben mit der Rohdecke fest verbunden. Um jegliche Schallbrücken zu verhindern, wurden die Schrauben vollständig mittels Gummischlauchstücken und Gummiunterlagscheiben von der Unterlagsbodenplatte getrennt. Das Ergebnis der Untersuchung ist im folgenden Diagramm eingetragen.

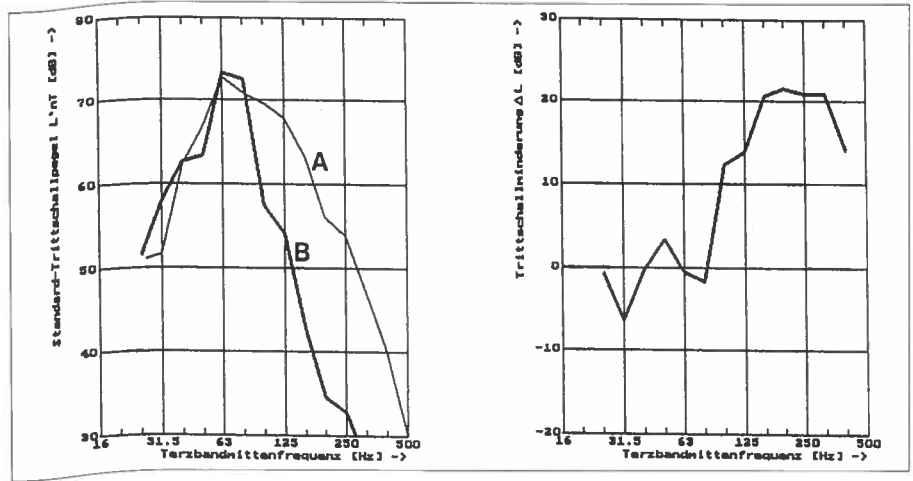


Ein Vergleich der beiden Kurven A und B zeigt, dass die Verschraubung lediglich eine Verschiebung der Eigenfrequenz des Unterlagsbodens von  $f_0 = 40 \text{ Hz}$  (ohne Verschraubung) zu  $f_0 = 80 \text{ Hz}$  (mit Verschraubung) bewirkt. Die resonanzartige Erhöhung des Trittschallpegels im Bereich der Eigenfrequenz des Unterlagsbodens von rund 10 dB bleibt nach wie vor erhalten.

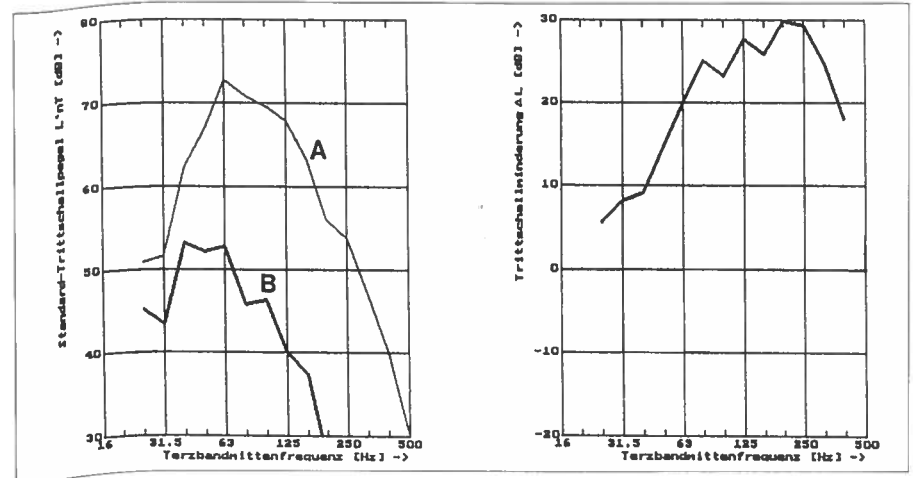
Abhörversuche ergaben im weitem, dass sich der Dröhneffekt kaum merklich verändert hat.

*Möglichkeit 2: Belegung des schwimmenden Unterlagsbodens mit einem sehr weichen Teppich.*

Der weitere Versuch, bei dem ein sehr dicker Teppich auf den Unterlagsboden



**Aufbau A:** Unterlagsbodenplatte mit einer Dicke von 110 bis 120 mm; Dämmmaterial einlagig aus 1x22 mm dicker, abrollbarer Trittschalldämmung (elastifizierter Schaumkunststoff)  
 Trittschallverbesserungsmass  $\Delta L_w = 31 \text{ dB}$



**Aufbau B:** Unterlagsbodenplatte mit einer Dicke von 110 bis 120 mm; Dämmmaterial dreilagig aus 1x20 mm und 2x15 mm dicken Trittschalldämmplatten (Glaswolle)

Figuren links: Anregung mittels Gehen im Fersengang. Kurve A: Gehen auf Rohdecke, Kurve B: Gehen auf Unterlagsboden

Figuren rechts: Darstellung der erreichbaren Trittschallminderung durch Unterlagsböden näher untersucht:

aufgelegt wurde, ergab eine markante Verminderung des Dröhrens. Mit der sehr weichen Unterlage zwischen Fuss und Unterlagsbodenplatte wird erreicht, dass die beim Gehen auftretenden Kraftstösse wirksam abgefedert werden. Eine solche Lösung ist allerdings nur dort sinnvoll, wo die gesamte Bodenfläche mit einem weichen Belag abgedeckt werden kann. Beim Vorliegen von Plattenbelägen aus Steinzeug, Marmor, Parkett usw. ist eine solche Verbesserungsmassnahme kaum praktikabel.

*Möglichkeit 3: Vergrösserung der Dicke beziehungsweise der flächenbezogenen Masse der Unterlagsbodenplatte.*

Zur Überprüfung dieser dritten Verbesserungsmassnahme wurden in unse-

rem Institut die folgenden zwei Unterlagsböden näher untersucht:

**Aufbau A:**

- 110-120 mm dicker Zementunterlagsboden über Kunststoffolie auf Dämmmaterial aufgegossen.
- Dämmmaterial einlagig aus 1x22 mm dicker, abrollbarer Trittschalldämmung aus elastifiziertem Schaumkunststoff.
- 160 mm dicke Betondecke.

(Fläche des untersuchten Unterlagsbodens:  $S = 18 \text{ m}^2$ )

**Aufbau B:**

- 110-120 mm dicker Zementunterlagsboden über Kunststoffolie auf Dämmmaterial aufgegossen.

#### Literatur

- (1) *Cremer + Heckl*: Körperschall, erschienen im Springer-Verlag Berlin (1982)
- (2) *K. Gösele*: Trittschall-Entstehung und Dämmung, erschienen in VDI-Berichte Bd. 8 (1956)
- (3) *Helmut Schmidt*: Schalltechnisches Taschenbuch, erschienen im VDI Verlag (1989).

– Dämmmaterial dreilagig aus 1x20 mm und 2x15 mm dicken Trittschalldämmplatten aus Glaswolle

– 160 mm dicke Betondecke

(Fläche des untersuchten Unterlagsbodens:  $S = 2 \text{ m}^2$ )

Die Ergebnisse der trittschalltechnischen Untersuchungen an den beiden Unterlagsbodenaufbauten sind auf der vorderen Seite dargestellt.

Ein Vergleich der beiden Kurven A und B der verschiedenen Diagramme zeigt, dass sich die Resonanzüberhöhung im

Bereich der Eigenfrequenz  $f_0$  der Unterlagsböden nur noch schwach bis gar nicht mehr bemerkbar macht. Anders ausgedrückt heisst das, dass sich eine Verstärkung des Gehgeräusches im Bereich der Eigenfrequenz des Unterlagsbodens dadurch weitgehend vermeiden lässt, indem die Bodenplatte relativ dick dimensioniert wird. Die durch diese Massnahme erreichbare Vergrösserung der Massenträgheit der Bodenplatte hat zur Folge, dass die auf ihr sich ausbildenden Körperschallpegel beim Begehen verringert werden. Gemäss Cremer ergibt sich theoretisch bei einer Verdoppelung der Plattendicke eine Verminderung des Körperschallpegels von rund 10 dB (1). Dies gilt für unendlich grosse Bodenplatten. In der Praxis liegt diese Verminderung allerdings nur bei 5 bis 6 dB je Verdoppelung der Masse. Zusammenfassend sei festgestellt, dass bei stark beanspruchten Unterlagsböden zur Verhinderung eines allfälligen Dröhnens der folgende Aufbau empfehlenswert ist:

Die Forschungsarbeiten wurden von den Firmen Isover AG, Niederhasli, und Gonon AG, Schleithem, finanziell unterstützt.

Unterlagsbodenplatte mit einer Dicke von 120 bis 150 mm; Dämmmaterial einlagig oder mehrlagig mit einer dynamischen Steifigkeit von maximal  $s' = 15 \text{ MN/m}^3$  (mindestens 20 mm dicke Dämmplatten aus Mineralwolle oder elastifizierten Schaumstoffen) und einer hohen inneren Dämpfung.

Es sei an dieser Stelle nochmals betont, dass der Dröhneffekt nichts mit den im Hochbau üblicherweise interessierenden Trittschallgeräuschen zu tun hat. Diese treten im Frequenzbereich zwischen 100 Hz und 3150 auf, während das Dröhnen seine Hauptkomponenten unterhalb 100 Hz hat.