

# AcuWood: Korrelation der subjektiven und objektiven Bewertung von Trittschall in Wohngebäuden

Moritz Späh, Andreas Liebl, Lutz Weber, Philip Leistner

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 70569 Stuttgart

E-Mail: moritz.späh@ibp.fraunhofer.de

## Einleitung

Für den mehrgeschossigen Wohnungsbau ergeben sich zwischen den genormten Mess- und Bewertungsverfahren und der menschlichen Wahrnehmung wohnüblicher Geräusche zum Teil erhebliche Diskrepanzen. Vor allem der Trittschallschutz ist dabei problematisch. Trotz Einhaltung der gesetzlichen Schallschutzanforderungen kann es zu erheblichen Störungen und Beschwerden, vor allem in Gebäuden in Holz- und Leichtbauweise kommen. Hier kann die Abweichung der subjektiven zur technischen Bewertung durch den Norm-Trittschallpegel vor allem bei tiefrequentem Trittschall teilweise groß sein.

Im Projekt AcuWood wurde untersucht, mit welchen technischen Anregungsquellen und mit welchen Bewertungsmaßstäben eine hohe Korrelation zwischen Einzahlwert und der subjektiven Bewertung des Trittschalls erreicht wird. Dabei wurden gängige bzw. in der Vergangenheit vor-geschlagene Bewertungsmethoden herangezogen. Vorliegend wird über die wesentlichen Ergebnisse für das Norm-Hammerwerk berichtet, weitere Ergebnisse sind z.B. [1] zu entnehmen.

## Messungen

Trittschallmessungen mit dem Norm-Hammerwerk, dem modifizierten Hammerwerk, dem Japanischen Gummiball und mit verschiedenen Gehern (männliche und weibliche Geher mit unterschiedlichem Schuhwerk und in Socken) wurden sowohl im Labor als auch in ausgeführten Gebäuden durchgeführt. Dabei wurden einfache Holzbalkendecken mit unterschiedlichen Deckenauflagen, Holzbalkendecken in Einfamilienhäusern, Holzdecken in Mehrfamilienhäusern und eine Betondecke mit schwimmendem Zementestrich im Labor untersucht. Bei allen Messungen wurden auch Aufnahmen mit einem Kunstkopf vor-genommen, so dass die Geräusche für einen Hörversuch im Labor bereitstanden. Die Messungen an Holzdecken in Mehrfamiliengebäuden wurden in der Schweiz durchgeführt, da dort die Anzahl von Bauten in Holzbauweise deutlich größer als in Deutschland ist und somit unterschiedliche Deckenkonstruktionen untersucht werden konnten. Die Messungen erfolgten mit Unterstützung und Vorbereitung von Lignum Holzwirtschaft Schweiz, Zürich. Hierfür sei herzlich gedankt.

## Hörversuche

Die Hörversuche wurden in zwei Serien mit derselben Vorgehensweise durchgeführt (n=18; n=22). Die binauralen Signale mit einer Länge zwischen 5 und 20 s wurden über kalibrierte Kopfhörer den Probanden vorgespielt. Die Bewertung erfolgte über PC-Eingabe. Beide Hörversuche

wurden miteinander abgeglichen, so dass die Ergebnisse beider Hörversuche kombiniert werden konnten [2].

## Korrelation der subjektiven und objektiven Bewertung

Aus den Messungen wurden Einzahlangaben nach genormten und weiteren Verfahren gebildet. Einen Überblick über die verwendeten Verfahren gibt Tabelle 1. Die Einzahlwerte aller Messungen wurden über der mittleren subjektiven Lästigkeit (auf einer Skala von 0 bis 10) aus den Hörversuchen aufgetragen. Hierbei wurde von einem linearen Zusammenhang beider Größen ausgegangen und eine lineare Regression vorgenommen. Für den Norm-Trittschallpegel ist die Gegenüberstellung in Abbildung 1 dargestellt.

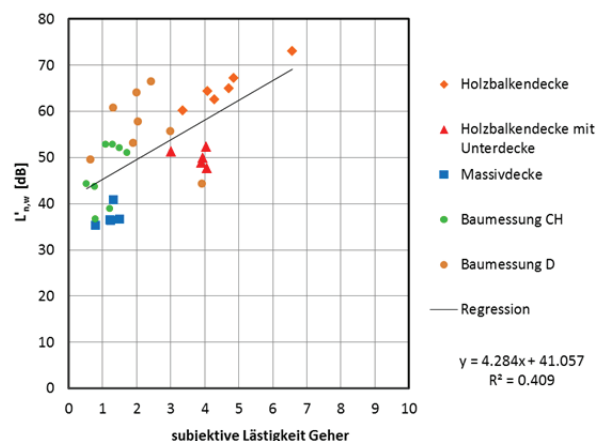


Abbildung 1: Gegenüberstellung von  $L'_{n,w}$  und der subjektiven Lästigkeit von Gehern für die verschiedenen Decken, lineare Regression und Determinationskoeffizient  $R^2$

Die Ergebnisse in Abbildung 1 zeigen eine relative geringe Korrelation mit einem Determinationskoeffizient von  $R^2=0,41$ . Dabei fällt auf, dass bei gleicher subjektiver Lästigkeit die Massivdecken einen deutlich geringeren  $L'_{n,w}$ -Wert aufweisen als viele der Baumessungen in der Schweiz (CH) (die Ausnahme ist eine Holz-Beton-Verbunddecke mit schwimmendem Zementestrich mit geringem  $L'_{n,w}$ ). Auch unter den Baumessungen in Deutschland (D) ergeben sich Unterschiede in  $L'_{n,w}$  von mehr als 10 dB bei ähnlicher subjektiver Lästigkeit. Betrachtet man andere Einzahlbewertungen, so verbessert sich die Korrelation zum Teil deutlich. Eine der besten Bewertungen für das Norm-Hammerwerk war der in ISO 717 beschriebene Norm-Trittschallpegel mit Spektrum-Anpassungswert  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ . Die Gegenüberstellung dieses Einzahlwerts mit der subjektiven Bewertung von Gehern ist in Abbildung 2 gezeigt.

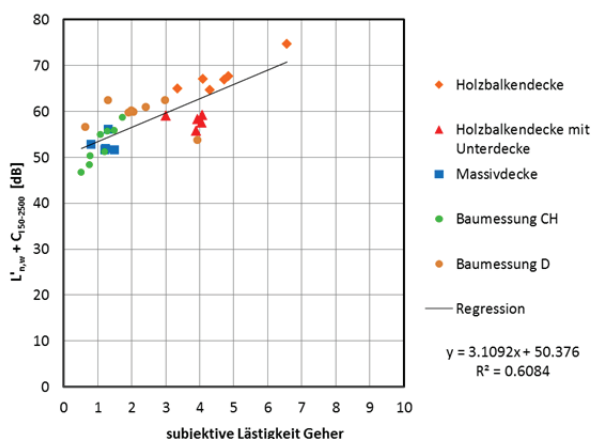


Abbildung 2: Einzahlwerte  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  der verschiedenen Decken gegenüber der subjektiven Lästigkeit von Gehern.

Bei dieser Bewertung wird die Spreizung der Einzahlwerte deutlich geringer und die Messwerte folgen der Regressionsgeraden besser, so dass  $R^2$  mit 0,61 deutlich höher liegt. Alle verwendeten Bewertungen und der erreichte Determinationskoeffizient  $R^2$  sind in Tabelle 1 gezeigt.

Tabelle 1: Bewertungsverfahren und  $R^2$  der linearen Regressionen zwischen Einzahlbewertung und subjektiver Lästigkeit von Gehgeräuschen

Bewertung	$R^2$	Bewertung	$R^2$
$L'_{n,w}$	0.41	$L'_{n,w} + C_{IAkuLite,20-2500}$ , Sweden	0.57
$L'_{n,w} + C_{1,100-2500}$	0.51	$L'_{nT,Gösele}$	0.36
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	0.61	$L'_{nT, reversed A-weighting}$	0.36
$L'_{nT,Hagberg03}$	0.63	$L'_{nT, hearing threshold}$	0.31
$L'_{nT,Hagberg04}$	0.62	JIS $L_{i,A}$	0.35
$L'_{nT,Bodlund}$	0.58	JIS $L_{i,A,F}$	0.29
$L'_{nT,Fasold}$	0.56	JIS $L_{i,w}$	0.29
$L'_{n,w} + C_{IAkuLite,20-2500}$	0.56	$L'_{nT,A 20-2500}$	0.36
$L'_{n,w} + C_{IAkuLite,20-2500, hf}$	0.56	$L'_{nT,A 50-2500}$	0.36

Bei den Bewertungsverfahren für das Norm-Hammerwerk wurde  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  nur durch  $L'_{nT,Hagberg03}$  und  $L'_{nT,Hagberg04}$  übertroffen. Beide Verfahren nach Hagberg haben eine sehr steile Bewertungskurve zu tiefen Frequenzen bis 50 Hz. Die Bewertung nach AcuLite bis 20 Hz, die aus modernen schwedischen Gebäuden in Leichtbauweise stammt, war bei dieser Untersuchung nicht so erfolgreich.

Die subjektive Lästigkeit von Gehern korreliert hoch mit der Anzahl von gestörten bzw. belästigten Personen, die im Hörversuch durch ja/nein Frage ermittelt wurde. Daher konnten die Einzahlwerte direkt der Anzahl gestörter Personen durch Geher gegenübergestellt werden. Für  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ist dies in Abbildung 3 dargestellt.

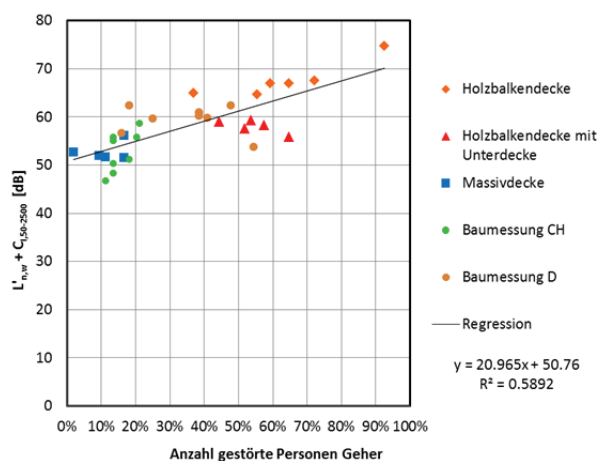


Abbildung 3: Einzahlwerte  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  gegenüber der prozentualen Anzahl gestörter bzw. belästigter Personen.

### Anforderungswerte

Aus dem in Abbildung 3 gezeigten Zusammenhang können Anforderungswerte für die entsprechende Einzahlbewertung hergeleitet werden. Vorgeschlagen wird z.B. ein dreistufiges System mit verschiedenen Qualitätsstufen (ähnlich VDI 4100), dargestellt in Tabelle 2.

Tabelle 2: Vorgeschlagene Anforderungswerte für  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  in drei Stufen

Abstufung	Prozentzahl durch Gehen gestörte Personen	Anforderungswert für $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ aus Regression $y = 21,0x + 50,8$
Stufe I	40%	59 dB
Stufe II	20%	55 dB
Stufe III	0%*	51 dB

\* Wert aus Extrapolation der linearen Regression, in der Praxis liegt der Wert voraussichtlich etwas über 0%

### Zusammenfassung

Durch den Vergleich von technischen mit subjektiven Bewertungen aus Hörversuchen konnten verschiedene Anregungsquellen untersucht, die besten zur Zeit vorliegenden Bewertungsverfahren für die Trittschallübertragung ermittelt und Anforderungswerte, basierend auf der subjektiven Bewertung, vorgeschlagen werden.

### Literatur

[1] Späh, M., Liebl, A., Weber, L., Leistner, P.: AcuWood – Entwicklung verbesserter Mess- und Bewertungsverfahren für den Schallschutz im Holzbau. Abschlussbericht des vom BMBF geförderten Projekts 033R056.  
 [1] Liebl, A., Späh, M., Bartlomé, O., Kittel, M.: Evaluation of acoustic quality in wooden buildings. In: Proc. INTER-NOISE 2013

SPONSORED BY THE

