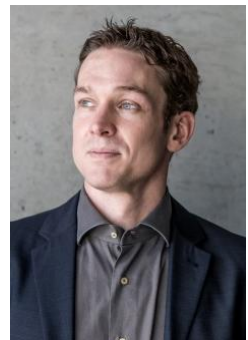


Traue Deinen Ohren (nicht)! – Akustik zwischen Physik und Wahrnehmung

Andreas Liebl
Fraunhofer Institut für Bauphysik
DE-Stuttgart



Traue Deinen Ohren (nicht)! – Akustik zwischen Physik und Wahrnehmung

1. Psychoakustik

Die Psychoakustik befasst sich mit dem Zusammenhang zwischen dem physikalischen Schallreiz und der dadurch hervorgerufenen Hörwahrnehmung. Dabei ist festzuhalten, dass typische physikalische Messgrößen die Hörwahrnehmung in vielen Fällen nicht adäquat abbilden. Auf Grundlage von Hörversuchen mit zahlreichen Versuchspersonen wurden Metriken für die Hörwahrnehmungen entwickelt, wodurch sich quantitative Zusammenhänge zwischen physikalischen Schallreizen und den hervorgerufenen Hörwahrnehmungen abbilden lassen. Zwischen physikalischen Messgrößen (z.B. Pegel, Frequenz) und Hörwahrnehmungen (Lautheit, Tonhöhe) ist ausdrücklich zu unterscheiden.

1.1. Schall und Lärm – Reiz und Urteil

Das menschliche Gehör kann Schallereignisse von enorm unterschiedlicher Intensität wahrnehmen. Die Schallintensität eines gerade eben hörbaren Schallereignisses (Hörschwelle) liegt bei 10^{-12}W/m^2 . Ab einer Schallintensität von 1W/m^2 löst ein Schallereignis hingegen Schmerzen aus (Schmerzschwelle). Die Schallintensität der Hör- und Schmerzschwelle unterscheidet sich demnach um 13 Zehnerpotenzen.

Schall und Lärm sind physikalisch betrachtet identisch, qualitative Unterschiede ergeben sich anhand der Bewertung durch die Betroffenen. Ein und dasselbe Geräusch kann Freude oder Ärger verursachen. Quantität und Qualität eines Geräusches, aber auch die Erwartungshaltung in einer bestimmten Situation, bestimmen unser Hörempfinden. Lärm ist daher nicht durch ein physikalisches Kriterium, sondern durch das subjektive Empfinden definiert. Dies spiegelt sich auch in der Definition von Lärm in der DIN 1320:2009-12 wider.

Lärmschall, Lärm: Unerwünschter Hörschall; Hörschall, der zu Störungen, Belästigungen, Beeinträchtigungen oder Schäden führen kann.

Folglich gilt es, zwischen dem physikalischen Schallreiz und der dadurch hervorgerufenen Reaktion zu unterscheiden. Das physikalische Schallereignis steht oftmals in keinem direkten Zusammenhang zum Urteil bzw. der Reaktion des Zuhörers, da physiologische Prozesse die Empfindung und höhere Verarbeitungsprozesse Wahrnehmung, Urteil und Reaktion beeinflussen. Ein physikalisches Schallereignis (objektiver Reiz) regt das Gehörssystem an und wird durch das menschliche Informationsverarbeitungssystem aufgenommen und weiterverarbeitet (funktionaler Reiz). Im Rahmen der Informationsverarbeitung spielen physiologische (z.B. Reizschwelle) und psychologische Voraussetzungen (z.B. Aufmerksamkeit) eine Rolle. In diesem Zusammenhang gilt es auch zwischen den Begriffen Empfindung und Wahrnehmung zu unterscheiden. Eine Empfindung ist die einfache Detektion einer Reizung eines Sinnesorgans (z.B. Ton mit bestimmter Tonhöhe). Der Begriff Wahrnehmung beschreibt einen komplexen Informationsverarbeitungsvorgang, welcher einerseits Reizfaktoren, aber auch Erfahrungen und Vorwissen, beinhaltet, und der am Ende eine Erkenntnis bedingt (z.B. Ton mit bestimmter Tonhöhe als Signal für fehlerhafte Eingabe eines Passwortes). Direkt beobachtbar ist in der Regel nur das Urteil bzw. die Reaktion auf das physikalische Schallereignis (z.B. Ärger über fehlerhafte Eingabe – Vergessen – des Passwortes). Interpretiert werden jedoch normalerweise die dem Urteil bzw. der Reaktion zugrunde liegenden Empfindungen und Wahrnehmungen. Dementsprechend gilt es, mit großer Sorgfalt diejenigen Einflüsse zu identifizieren, die Urteil und Reaktion beeinflussen können, so dass kein unmittelbarer Zusammenhang zu Empfindung und Wahrnehmung mehr besteht (z.B. Ton mit bestimmter Tonhöhe als Signal für fehlerhafte Eingabe eines Passwortes ist nicht die Ursache für den Ärger über die Erkenntnis vom Vergessen des Passwortes).

1.2. Hören + Akustik= Psychoakustik

Die Hörschwelle ist bei verschiedenen Frequenzen unterschiedlich ausgeprägt und variiert auch von Mensch zu Mensch (~ 12 dB). Abbildung 1 zeigt beispielsweise die statistische Verteilung von Hörschwellen als eine Funktion des Alters für Frauen und Männer gemäß DIN EN ISO 7029. Insbesondere im tieffrequenten Bereich ist unser Gehör weniger sensitiv. Das bedeutet, dass der Schalldruckpegel bei tiefen Frequenzen wesentlich höher sein muss, um eine Hörempfindung auszulösen. Diese Unterschiede bedingen, dass verschiedene Schalldruckpegel in Abhängigkeit der Frequenz unterschiedlich laut empfunden werden. Abbildung 2 zeigt Kurven gleicher Lautstärkepegel (phon) nach ISO 226. Das heißt, dass weder das Gehör eines Individuums alle Schallereignisse in der gleichen Weise verarbeitet, noch die Verarbeitung für alle Individuen absolut gleich ist.

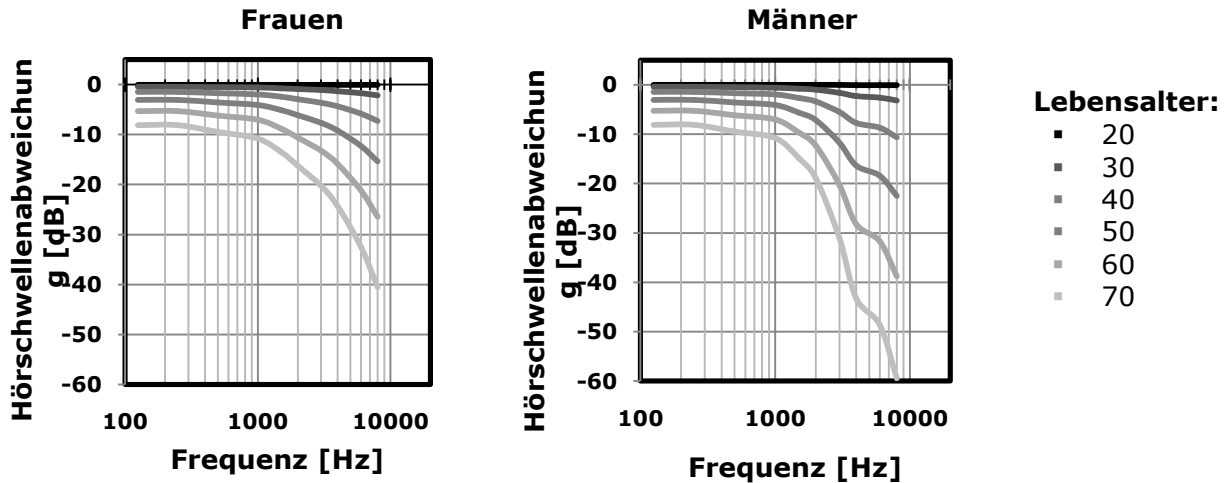


Abbildung 1: Statistische Verteilung von Hörschwellen als eine Funktion des Alters für Frauen und Männer gemäß DIN EN ISO 7029

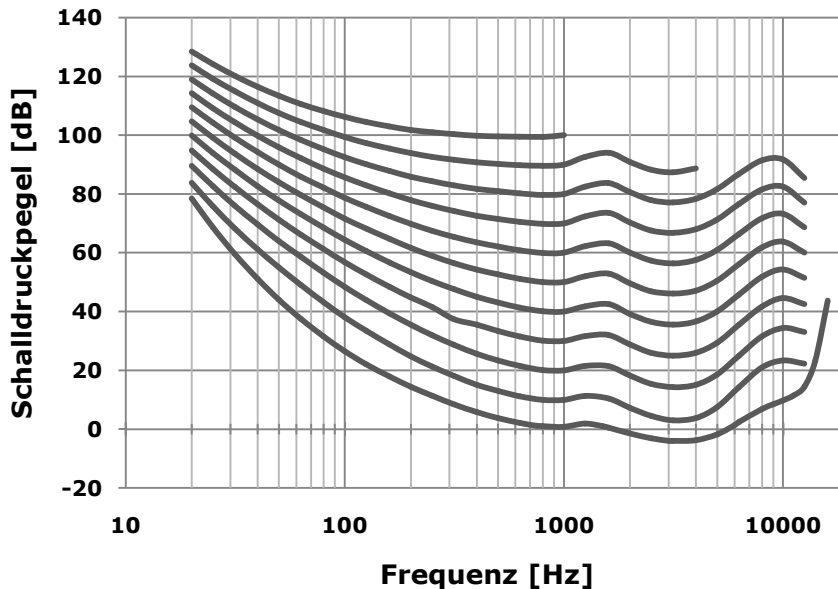


Abbildung 2: Kurven gleicher Lautstärkepegel (phon) nach ISO 226

Das Phon ist die Maßeinheit des sogenannten Lautstärkepegels. Dabei handelt es sich um eine psychoakustische Vergleichsgröße. Sie basiert auf dem Vergleich des Lautstärkeempfindens von Tönen mit einem Referenzton (1000 Hz) und gibt an, welchen Schalldruckpegel der Referenzton haben müsste, damit dieser genauso laut wie der betrachtete Ton empfunden wird. Bei der Interpretation ist hilfreich, dass bei 1000 Hz der Schalldruckpegel – gemessen in Dezibel – und der Lautstärkepegel – gemessen in Phon – übereinstimmen.

Die Sensitivität des Gehörs bei unterschiedlichen Tonhöhen hängt aber nicht nur von der Frequenz, sondern auch vom Schalldruckpegel ab. Je höher der Schalldruckpegel, desto geringer fallen die Unterschiede hinsichtlich der empfundenen Lautstärke in Abhängigkeit der Frequenz aus. In Abbildung 2 ist dies daran zu erkennen, dass der Verlauf der Kurven gleicher Lautstärkepegel bei höheren Pegeln glatter (ähnlicher) wird. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, werden bei Messungen meist Frequenzbewertungen vorgenommen. Für unterschiedlich hohe Schalldruckpegel wurden unterschiedliche Bewertungskurven definiert.

- A-Bewertung (20-40 phon)
- B-Bewertung (50-70 phon)
- C-Bewertung (80-90 phon)
- D-Bewertung (>90 phon)

Das ermittelte Messergebnis wird dann durch einen der Frequenzbewertung entsprechenden Buchstaben gekennzeichnet (A, B, C, D). Besonders häufig trifft man in der Praxis auf A-bewertete Pegel, was allerdings nur dem Hörempfinden bei geringer Lautstärke entspricht.

Über den Lautstärkepegel hinaus gibt es weitere psychoakustische Größen, wie beispielsweise zur Beschreibung des Lautstärkeempfindens durch die Lautheit (sone). Ein Sone entspricht dem Lautstärkepegel von 40 phon. Eine Verdopplung oder Halbierung der empfundenen Lautstärke entspricht einer Verdopplung bzw. Halbierung der Lautheit. Weitere psychoakustische Größen sind Schärfe, Rauigkeit, Schwankungsstärke und Tonalität (Tonhaltigkeit). Schärfe (acum) beschreibt die Wahrnehmung von Schallereignissen, deren energetischer Schwerpunkt im Bereich hoher Frequenzen liegt. Mit zunehmender Schärfe werden Schallereignisse oft als lästiger empfunden. Rauigkeit (asper) entspricht der Wahrnehmung von Frequenz- oder Amplitudenmodulationen bei einer Modulationsfrequenz zwischen 20 Hz und 300 Hz. Schwankungsstärke (facil) entspricht der Wahrnehmung von Frequenz- oder Amplitudenmodulationen bei einer Modulationsfrequenz kleiner als 20 Hz. Tonalität oder Tonhaltigkeit liegt vor, wenn ein Geräusch deutlich wahrnehmbare Töne bzw. tonale Komponenten aufweist.

2. Messung und Wahrnehmung von Trittschall in Gebäuden in Holzbauweise

Gehgeräusche, die in einem Raum entstehen und im darunterliegenden Raum durch die Decke hindurch wahrgenommen werden, nennt man Trittschall. Trittschall kann für die Bewohner sehr lästig sein, wenn sie keine Ruhe finden, weil jeder Schritt der Bewohner im darüber liegenden Stockwerk hörbar ist. Daher sollte die Deckenkonstruktion die Schallübertragung so weit wie möglich unterbinden. Insbesondere bei Gebäuden in Holzbauweise stellt Trittschall ein weit verbreitetes Problem dar, das deren Marktpräsenz einschränkt. Mit AcuWood und AkuLite wurden in jüngerer Zeit zwei internationale Forschungsprojekte bearbeitet. In beiden Projekten wurden vor allem Daten in mehrgeschossigen Gebäuden erhoben.

Die Bewertung der akustischen Qualität von einer Deckenkonstruktion erfolgt anhand von standardisierten Beurteilungsgrößen, in der Regel dem bewerteten Norm-Trittschallpegel ($L'_{n,w}$). Es wurde bereits mehrfach gezeigt, dass der gemessene Normtrittschallpegel die tatsächlich empfundene akustische Qualität nur unzureichend beschreibt. Die Einordnung und Bewertung dieser Größe ist zudem für Kunden, aber auch für die im Vertrieb tätigen Beschäftigten, kaum möglich, da es sich in der Regel um Laien bezüglich bauakustischer Kenngrößen handelt. Für sie ist der Normtrittschallpegel eine abstrakte Größe. Selbst für Experten ist es schwierig, den Normtrittschallpegel in eine konkrete Vorstellung von Gehgeräuschen zu übersetzen, da zu dessen Messung keine Gehgeräusche, sondern von einem Hammerwerk erzeugte Geräusche verwendet werden. Demnach ist eine Bewertungsgröße gefragt, welche die empfundene akustische Qualität adäquat beschreibt.

Im Rahmen des Projekts AcuWood wurde zum einen eine umfangreiche Befragung der Bewohner von Ein- und Mehrfamilien-Wohngebäuden in Holzbauweise vorgenommen. Zum anderen wurden Messungen und Aufnahmen an realen Bauobjekten in Holzbauweise

und an standardisierten Deckenaufbauten im Labor in Holz- und Massivbauweise durchgeführt. Neben der Auswertung verschiedener genormter und nicht genormter objektiver Kriterien, wie z.B. dem bewerteten Norm-Trittschallpegel, wurden Hörversuche mit den Aufnahmen durchgeführt, so dass ein Abgleich der Messgrößen mit den subjektiven Bewertungen vorgenommen werden konnte.

2.1. Befragung der Bewohner von Ein- und Mehrfamilien-Wohngebäuden in Holzbauweise

Insgesamt nahmen 414 Bewohner von Einfamilien-Wohngebäuden in Deutschland sowie von Mehrfamilien-Wohngebäuden in der Schweiz an der Befragung teil. Die Befragung der Bewohner wurde mittels internetbasierter Fragebögen durchgeführt. Zusätzlich zu Aussagen bezüglich der Wahrnehmung von Trittschall liefert die Befragung weitere Informationen, zum Beispiel zur Einordnung der Wichtigkeit der Akustik im Vergleich zu anderen Aspekten des Wohnens oder zur Gewichtung verschiedener akustischer Störungen im Vergleich zum Trittschall. Die Befragung wurde in einer Vielzahl von Gebäuden unterschiedlicher Bauweise durchgeführt, so dass auch ein Vergleich der Bewertungen verschiedener Deckentypen möglich ist. Der Fragebogen wurde in Anlehnung an die Vorgaben für das Erheben von Fragebogendaten im Bereich der Bauakustik konzipiert, die im Rahmen von COST Action TU0901 erarbeitet wurden. Damit soll erreicht werden, dass die erhobenen Daten verschiedener Studien in Europa vergleichbar sind. Folglich können Ergebnisse aus unterschiedlichen Studien besser miteinander verglichen und eventuell in Zukunft auch gemeinsam ausgewertet werden. Über die vorgeschlagenen Fragen hinaus wurden noch weitere Fragen in den Fragebogen integriert, die zum einen das gesamte Wohnumfeld beleuchten sollten, und zum anderen den Befragten die Möglichkeit eröffneten, die Akustik insgesamt und im Kontext weiterer relevanter Aspekte der Wohnumgebung einzuordnen. Die Anwendung desselben Fragebogens für Ein- und Mehrfamilien-Wohngebäude bedingte die Unterscheidung von Nachbarn und Mitbewohnern als Verursacher von Wohngeräuschen.

Die Befragung ergab, dass die Bewertung der Akustik durch die Bewohner im Ganzen sehr zufriedenstellend ausfällt. Die Urteile bezüglich der Lästigkeit von Geräuschen sind relativ niedrig ausgeprägt. Trotzdem ergab die Studie, dass Gehgeräusche von Nachbarn bzw. Mitbewohnern die höchste Lästigkeit im Vergleich zu andern Geräuschquellen besitzen. Die Abbildungen 3 bis 5 zeigen den Mittelwert der Lästigkeitsbewertung verschiedener Wohngeräusche in Mehrfamilien-Wohngebäuden in der Schweiz und in Einfamilien-Wohngebäuden in Deutschland.

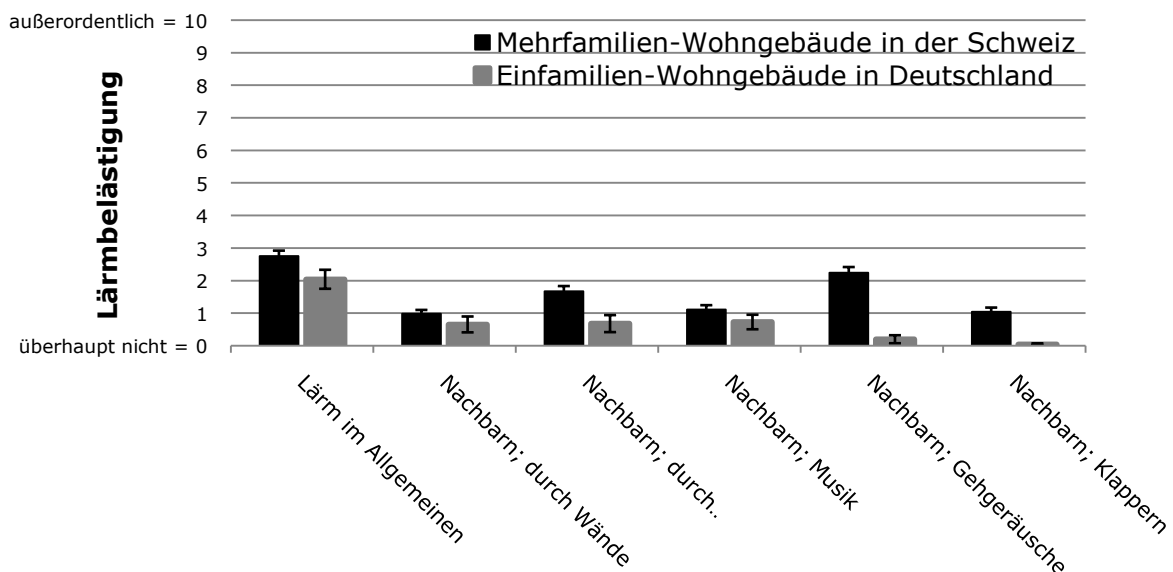


Abbildung 3: Mittelwert der Lästigkeitsbewertung verschiedener Wohngeräusche in Mehrfamilien-Wohngebäuden in der Schweiz und in Einfamilien-Wohngebäuden in Deutschland.

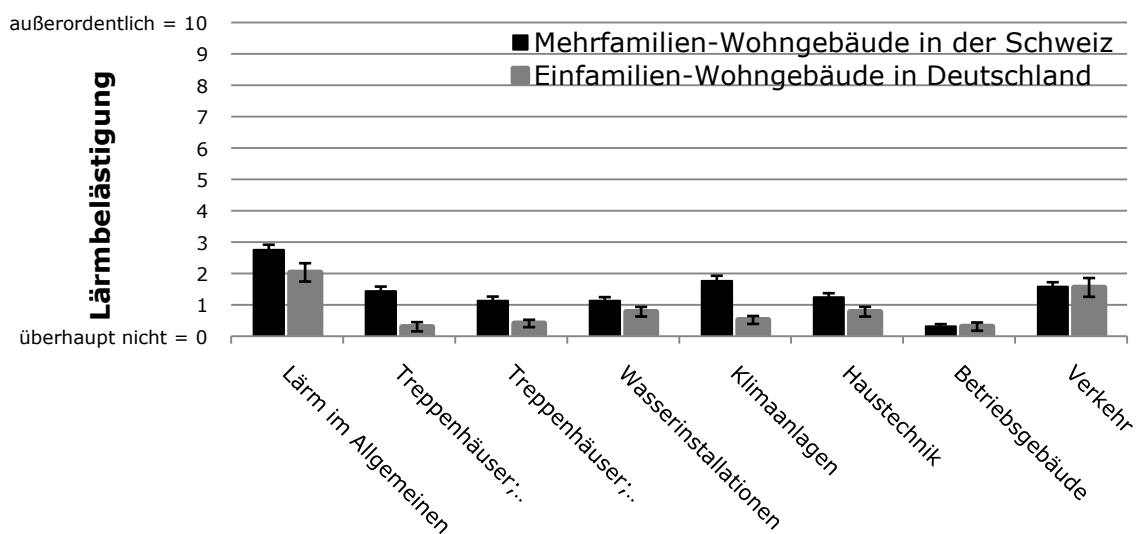


Abbildung 4: Mittelwert der Lästigkeitsbewertung verschiedener Wohngeräusche in Mehrfamilien-Wohngebäuden in der Schweiz und in Einfamilien-Wohngebäuden in Deutschland.

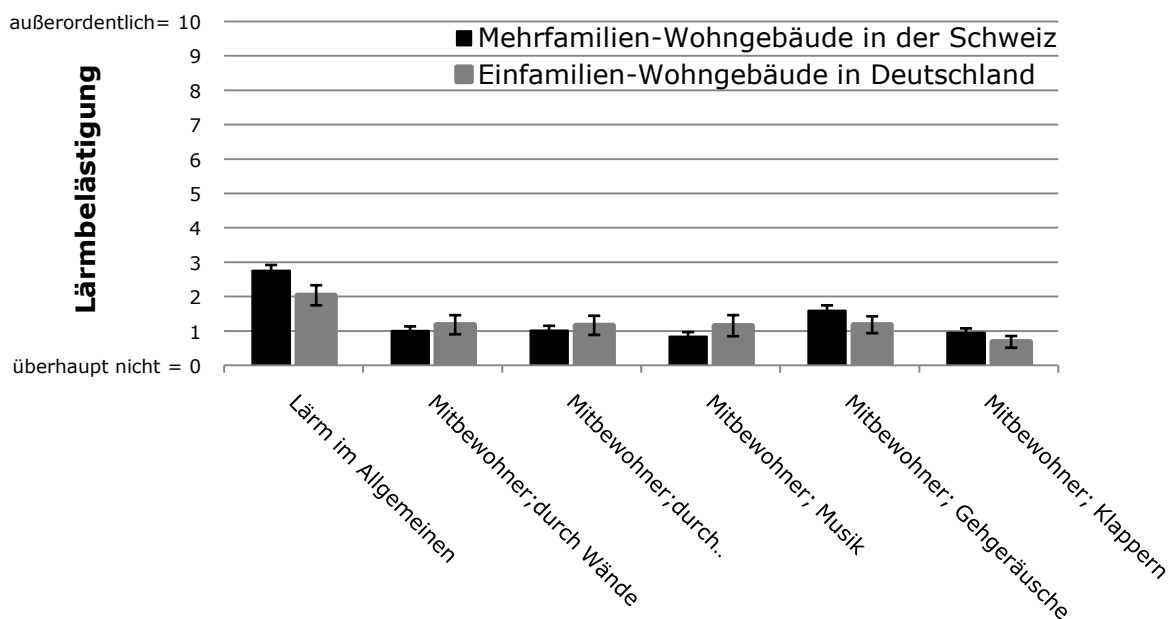


Abbildung 5: Mittelwert der Lästigkeitsbewertung verschiedener Wohngeräusche in Mehrfamilien-Wohngebäuden in der Schweiz und in Einfamilien-Wohngebäuden in Deutschland.

Die Bewertungen von Bewohnern von Einfamilien-Wohngebäuden fallen etwas unterschiedlich zu Bewertungen von Bewohnern von Mehrfamilien-Wohngebäuden aus. Dabei war in Mehrfamilien-Wohngebäuden die Lärmbelastung durch Mitbewohner insgesamt deutlich niedriger als durch Nachbarn. Bei Einfamilien-Wohngebäuden kann man davon ausgehen, dass Wohngeräusche von Nachbarn kaum eine Rolle spielen, dementsprechend fielen hier die Werte sehr gering aus. Bei den Einfamilien-Wohngebäuden kann man davon ausgehen, dass die Bewertung von Trittschall weniger störend wirkt, da die Verursacher in der Regel Mitglieder der eigenen Familie sind. Weiterhin besteht hier leicht die Möglichkeit, bei zu großer Störung einzugreifen. Für beide Gebäudetypen und damit für die Befragung in der Schweiz sowie in Deutschland waren Verkehrsgeräusche nach Trittschallgeräuschen die am meisten störenden Geräusche.

Innerhalb der Mehrfamilien-Wohngebäude in der Schweiz wurden die verschiedenen Deckenkonstruktionen deutlich unterschiedlich bezüglich der Lästigkeit von Gehgeräuschen bewertet. Diese Unterschiede sind statistisch signifikant, was bedeutet, dass es sich nicht um zufällige individuelle Schwankungen der Urteile handelt, sondern dass die wahrgenommenen Unterschiede belastbar sind und von der Mehrheit der Befragungsteilnehmer in gleicher Weise wahrgenommen werden. Dies ist in den Abbildungen 6 bis 8 dargestellt.

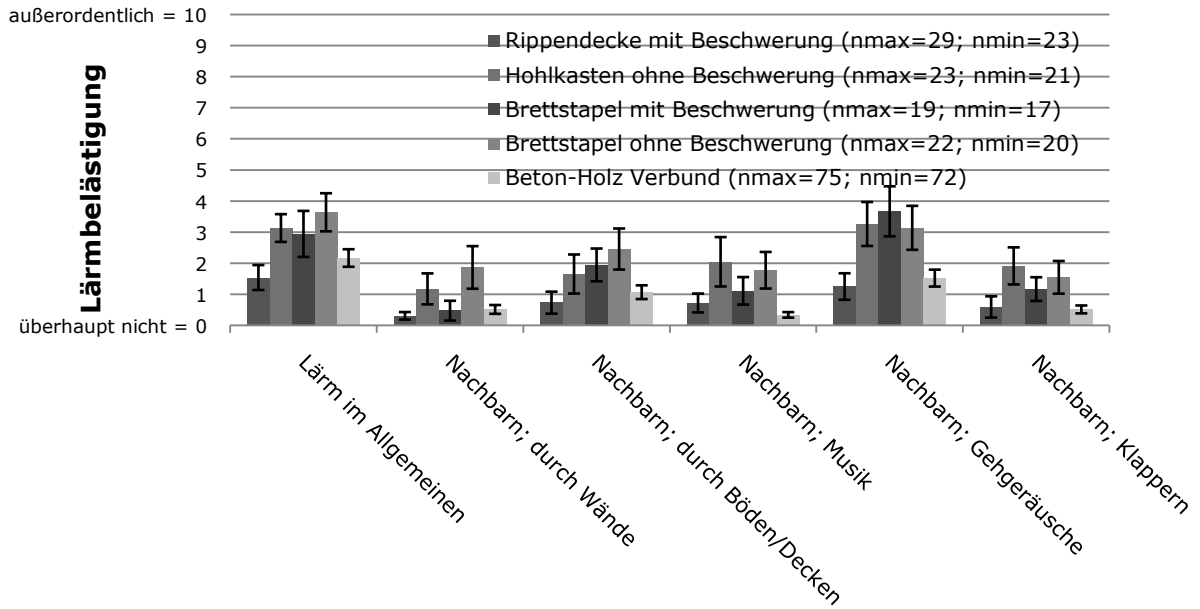


Abbildung 6: Mittelwert der Lästigkeitsbewertung verschiedener Wohngeräusche in Mehrfamilien-Wohngebäuden in der Schweiz.

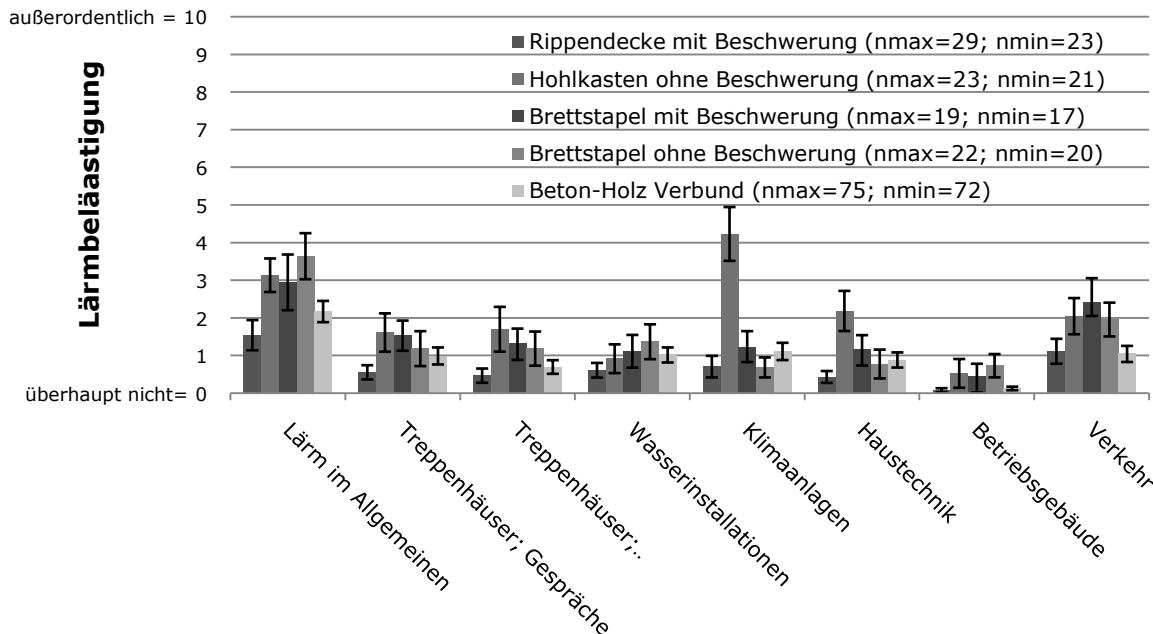


Abbildung 7: Mittelwert der Lästigkeitsbewertung verschiedener Wohngeräusche in Mehrfamilien-Wohngebäuden in der Schweiz

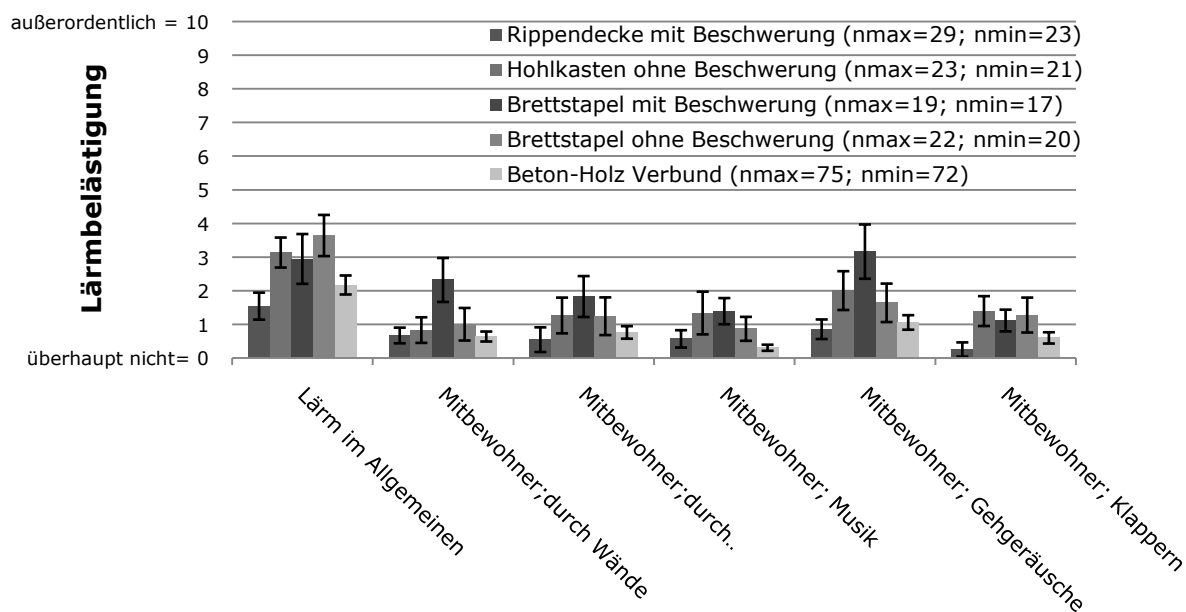


Abbildung 8: Mittelwert der Lästigkeitsbewertung verschiedener Wohngeräusche in Mehrfamilien-Wohngebäuden in der Schweiz

Die Befragungen wurden unter anderem in drei Gebäuden in der Schweiz durchgeführt, von denen ebenfalls akustische Messungen und Aufnahmen sowie Daten aus Hörversuchen vorliegen. Die Ergebnisse der subjektiven Bewertungen durch Hörversuche unter Laborbedingungen und der Befragung im Feld können damit gegenübergestellt werden. Dabei ist hervorzuheben, dass bei beiden subjektiven Bewertungen dieselbe Skala eingesetzt wurde und somit ein direkter Vergleich der Ergebnisse möglich ist. Die Gegenüberstellung ist in Abbildung 10 dargestellt. In einem Hörversuch wurde zum einen die Quelle (Faktor I: QUELLE) der Geräuschanregung in 6 Stufen variiert. Zum anderen wurden Aufnahmen aus drei verschiedenen Gebäuden (Faktor II: Gebäude) berücksichtigt. Tabelle 1 zeigt die verschiedenen Quellen und Gebäude. Abbildung 9 zeigt die Ergebnisse des Hörversuchs.

Tabelle 1: Zusammenfassung der im Hörversuch beurteilten Quellen und Gebäude

Quelle	Abkürzung	Gebäude	Abkürzung
Japanischer Gummiball	GB	Winterthur	WI
Männlicher Geher mit hartem Schuhwerk	GMH		
Männlicher Geher ohne Schuhwerk	HMW	Zürich I	ZUI
Modifiziertes Trittschallhammerwerk	MOHW		
Normtrittschallhammerwerk	NHW	Zürich II	ZUII
Stuhlrücken	SR		

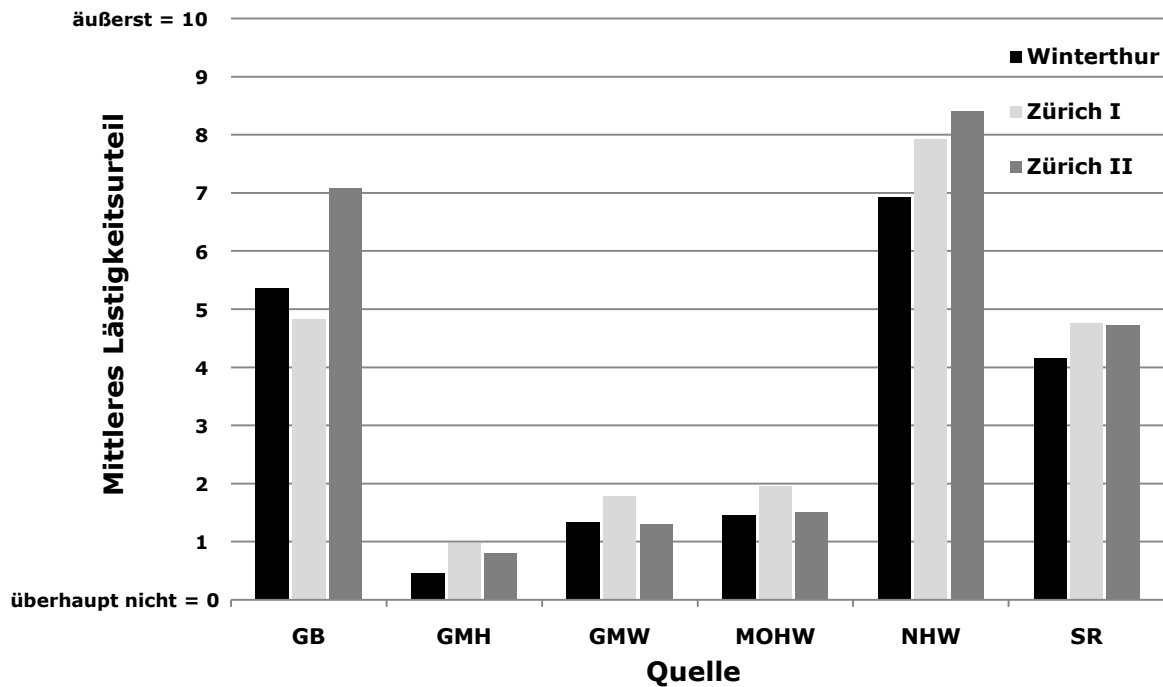


Abbildung 9: Mittlere Lästigkeitsurteile bei Anregung durch unterschiedliche Quellen in verschiedenen Gebäuden

Die statistische Auswertung mittels einer Varianzanalyse belegt signifikante Haupteffekte des Faktors GEBÄUDE ($F(2,38) = 31.81$; $p < .01$; $\eta^2 = 0.627$) und QUELLE ($F(5,95) = 190.27$; $p < .01$; $\eta^2 = 0.909$). Die Interaktion beider Faktoren GEBÄUDE*QUELLE ($F(10,190) = 9.27$; $p < .01$; $\eta^2 = 0.328$) ist ebenfalls signifikant. Das bedeutet, dass die Probanden sowohl die Aufnahmen in den verschiedenen Gebäuden als auch der verschiedenen Quellen als unterschiedlich lästig beurteilen. Die signifikante Wechselwirkung zeigt an, dass die wahrgenommenen Unterschiede in Abhängigkeit der spezifischen Kombination der Faktorstufen der Faktoren GEBÄUDE und QUELLE unterschiedlich ausfallen. Wenn man beispielsweise die Beurteilung bei der Anregung durch den Gummiball mit der Anregung durch das modifizierte Hammerwerk vergleicht, fällt auf, dass die wahrgenommenen Unterschiede bei der Anregung durch den Gummiball deutlich stärker ausgeprägt sind.

In Abbildung 10 werden die Urteile der Felduntersuchung zur empfundenen Lästigkeit von wahrgenommenen Gehgeräuschen der Nachbarn und die gemittelten Urteile zur wahrgenommenen Lästigkeit der Quellen männlicher Geher mit hartem Schuhwerk und männlicher Geher ohne Schuhwerk aus zwei Hörversuchen dargestellt. Während die Urteile zu den Gebäuden Winterthur und Zürich I in der Felduntersuchung und in den beiden Hörversuchen sehr ähnlich ausfallen, zeigt sich ein deutlicher Unterschied bzgl. der Beurteilung des Gebäudes Zürich II im Rahmen der Felduntersuchung und des Hörversuchs II.

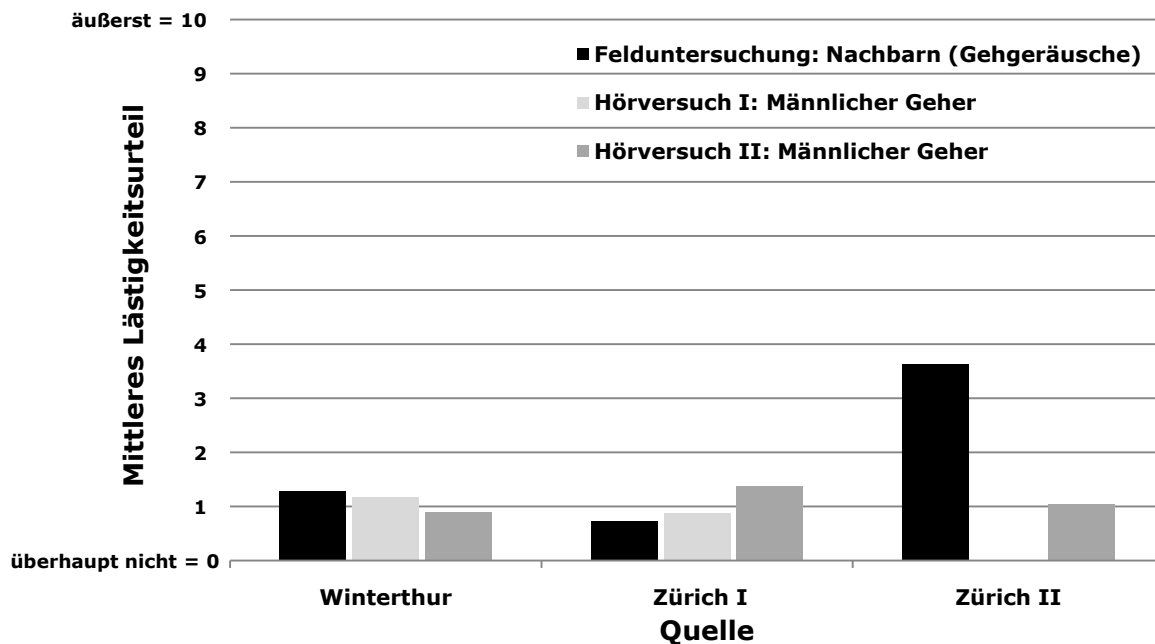


Abbildung 10: Mittlere Lästigkeitsurteile im Rahmen der Felduntersuchung, des Hörversuch I und Hörversuch II bei Anregung durch Gehgeräusche in verschiedenen Gebäuden.

Die Auswertung mittels paarweiser Vergleiche ist in Tabelle 2 dargestellt. Dabei werden zum einen die Urteile der Bewohner der unterschiedlichen Gebäude im Rahmen des Feldversuchs verglichen (Winterthur FELD; Zürich I FELD; Zürich II FELD). Zum anderen werden die Ergebnisse der Felduntersuchung (FELD) denen des Hörversuchs I (HÖRVERSUCH I) und Hörversuchs II (HÖRVERSUCH II) gegenübergestellt. Schließlich werden die Ergebnisse von Hörversuch I und Hörversuch II gegenübergestellt.

Tabelle 2: Paarweise Vergleiche der Urteile der Bewohner der Gebäude Winterthur, Zürich I und Zürich II im Feldversuch (FELD) und in den Hörversuchen (HÖRVERSUCH I, HÖRVERSUCH II) mittels t-Tests

Vergleich	t	df	p
Winterthur FELD vs. Zürich I FELD	0.91	22.32	> .05
Winterthur FELD vs. Zürich II FELD	-2.46	27.48	< .05
Zürich I FELD vs. Zürich II FELD	-3.44	18.66	< .01
Winterthur FELD vs. Winterthur HÖRVERSUCH I	0.18	38	> .05
Winterthur FELD vs. Winterthur HÖRVERSUCH II	0.67	20.03	> .05
Winterthur HÖRVERSUCH I vs. Winterthur HÖRVERSUCH II	0.73	40	> .05
Zürich I FELD vs. Zürich I HÖRVERSUCH I	-0.40	49	> .05
Zürich I FELD vs. Zürich I HÖRVERSUCH II	-1.78	47	> .05
Zürich I HÖRVERSUCH I vs. Zürich I HÖRVERSUCH II	-1.34	40	> .05
Zürich II FELD vs. Zürich II HÖRVERSUCH II	3.13	17.61	< .01

Die paarweisen Vergleiche belegen, dass es im Rahmen der Felduntersuchung keine signifikanten Unterschiede zwischen den Urteilen der Bewohner von Winterthur und Zürich I gibt. Winterthur und Zürich II, wie auch Zürich I und Zürich II werden aber unterschiedlich beurteilt, wobei Zürich II deutlich schlechter abschneidet. Zusätzlich fällt keiner der Vergleiche von Winterthur und Zürich I durch Bewohner im Feldversuch und Testpersonen in den Hörversuchen signifikant aus. Der paarweise Vergleich belegt allerdings deutliche Unterschiede zwischen den Urteilen im Feld und im Hörversuch II bzgl. des Gebäudes Zürich II.

Eine wichtige Frage im Projekt AcuWood war zudem, wie repräsentativ die technischen Trittschallquellen für reale Gehgeräusche sind. Dafür wurde die subjektive Lästigkeit der Geräusche aus dem Hörversuch als Kriterium herangezogen. Die Gegenüberstellung der subjektiven Lästigkeit des Norm-Hammerwerks mit der subjektiven Lästigkeit der Gehgeräusche ist in Abbildung 11 dargestellt. Dabei sind die verschiedenen Deckenkonstruktionen durch unterschiedliche Markierungen kenntlich gemacht. Bei der Analyse der Daten durch eine Regression wurde von einem linearen Zusammenhang ausgegangen. Als Kriterium für die Übereinstimmung wurde der Determinationskoeffizient R^2 der linearen Regression bestimmt. Die Gegenüberstellung in Abbildung 11 zeigt insgesamt höhere Lästigkeiten des Norm-Hammerwerks, da das Norm-Hammerwerk deutlich lauter ist als die Gehgeräusche.

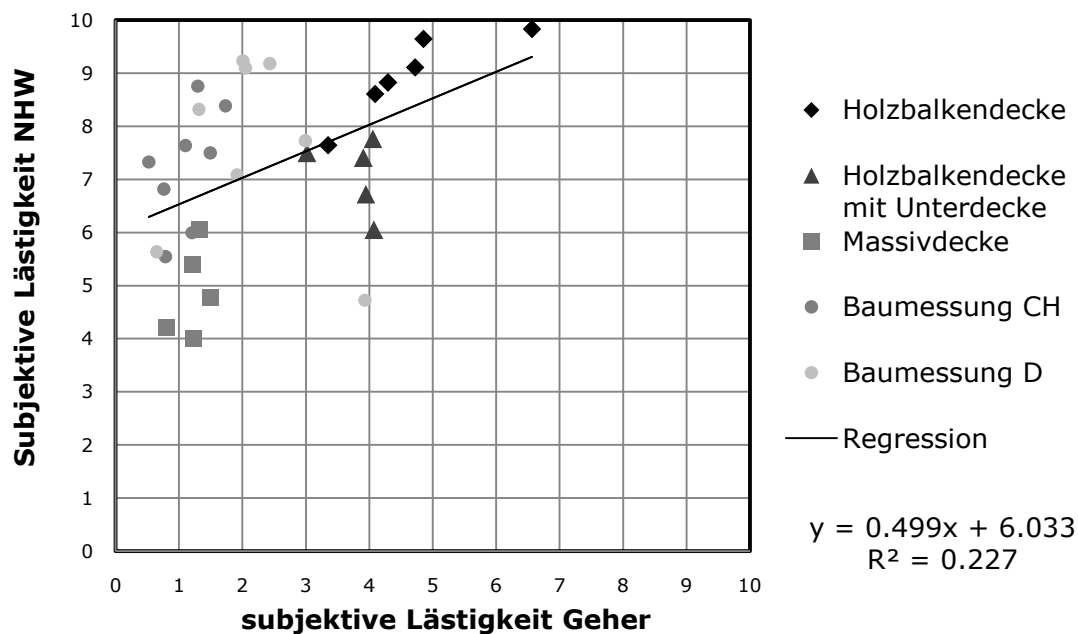


Abbildung 11: Gegenüberstellung der subjektiven Lästigkeit des Norm-Hammerwerks und der subjektiven Lästigkeit der Geher.

Es fällt auf, dass für verschiedene Deckenkonstruktionen, wie z.B. die Massivdecke und die Holzdecken in der Schweiz (Baumessung Schweiz), die Geher ähnliche subjektive Lästigkeiten produzieren, die Lästigkeit des Norm-Hammerwerks auf diesen Decken aber systematisch unterschiedlich und mit hoher Streuung ausfällt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Reproduzierbarkeit des Norm-Hammerwerks deutlich größer ist, als die der Geher. Der Determinationskoeffizient R^2 der linearen Regression liegt bei $R^2 = 0,23$, was bedeutet, dass die subjektive Lästigkeit von Gehern nur sehr wenig durch die subjektive Lästigkeit des Normhammerwerks für die untersuchten Decken zu erklären ist. Daher repräsentiert das Norm-Hammerwerk Gehgeräusche schlecht.

In Abbildung 12 zeigt sich zwischen technischem Einzahlwert und der subjektiven Lästigkeit der Geherauch eine relativ große Streuung von $L'_{nT,w}$ bei ähnlicher subjektiver Lästigkeit. Besonders fällt dies wiederum zwischen Massivdecke und den Messungen in der Schweiz auf. Hier scheinen die meisten Holzkonstruktionen bei sehr ähnlicher subjektiver Bewertung deutlich schlechter beurteilt zu werden als die Massivdecke. Der Determinationskoeffizient R^2 der linearen Regression liegt bei $R^2 = 0,38$, ein ebenfalls nicht zufriedenstellendes Ergebnis.

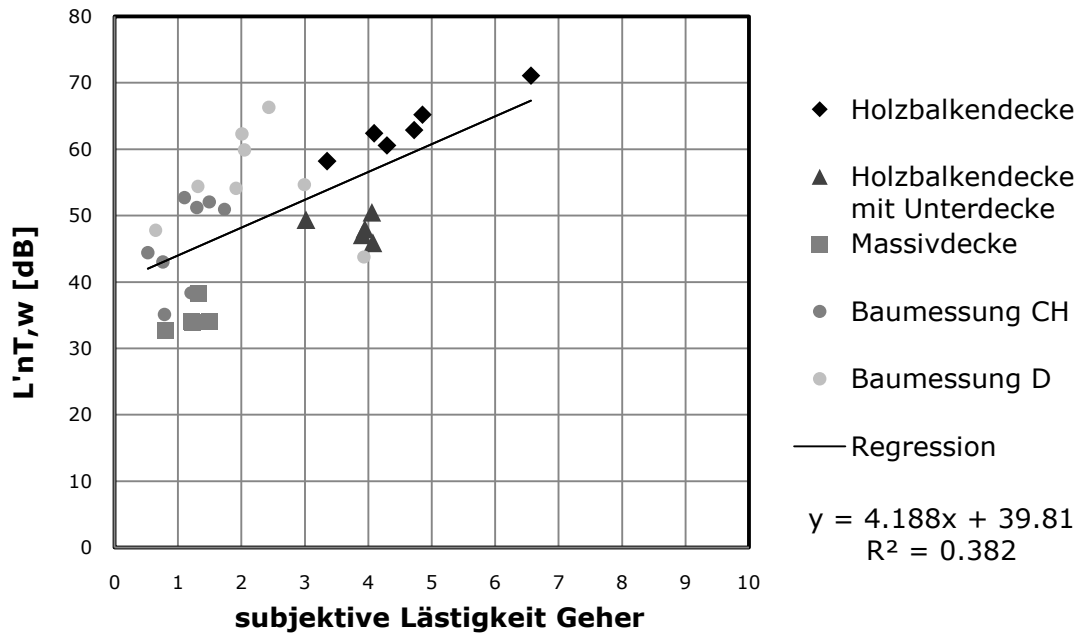


Abbildung 12: Gegenüberstellung des gemessenen Standard-Trittschallpegels $L'_{nT,w}$ und der subjektiven Lästigkeit von Gehern.

Abbildung 13 zeigt beispielhaft, dass auch deutlich bessere Korrelationen zwischen technischen Messwerten und subjektiven Urteilen erzielt werden können. Dafür ist die beste Einzahlbewertung des japanischen Gummiballs der subjektiven Lästigkeit von Gehern gegenübergestellt. Hier zeigt sich ein guter linearer Zusammenhang zwischen Einzahlwert und subjektiver Lästigkeit. Der Determinationskoeffizient R^2 der linearen Regression liegt bei $R^2 = 0,74$.

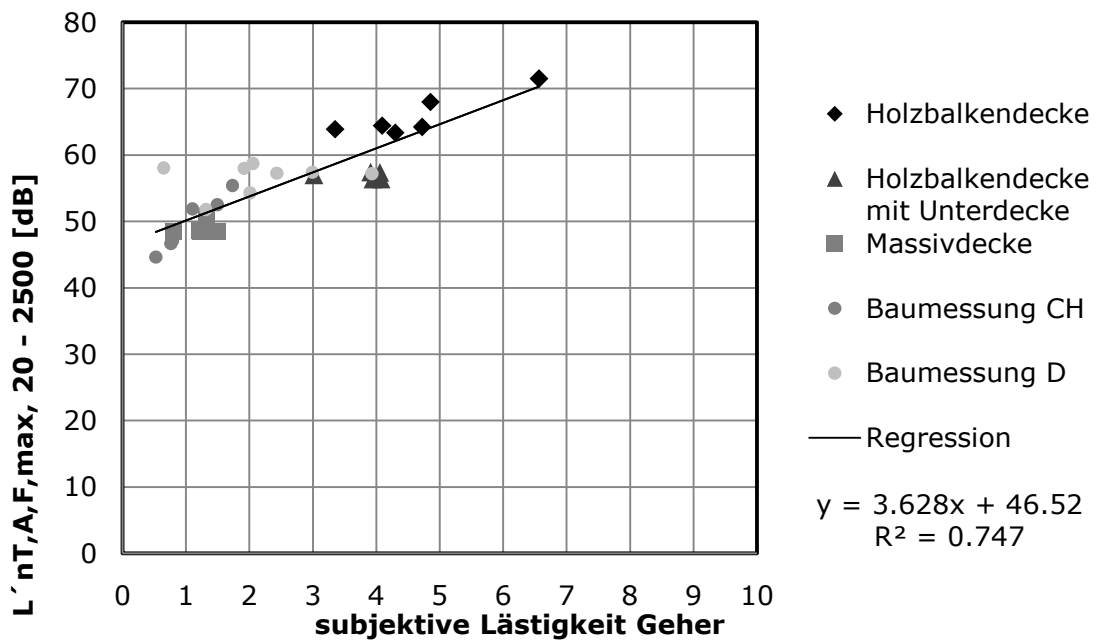


Abbildung 13: Gegenüberstellung des gemessenen A-bewerteten Summenpegel $L_{nT,A,F,max, 20 - 2500}$ des japanischen Gummiballs und der subjektiven Lästigkeit von Gehern.

3. Ausblick

Die Wahrnehmung von und die Reaktion bzw. das Urteil auf Schallereignisse lassen sich häufig nicht allein durch deren Oktav- oder Terzbandpegel erklären. Ein pegelorientiertes Vorgehen greift daher zu kurz. Viele der aktuellen Bewertungsmaßstäbe und bauakustischen Verfahren sind vordergründig messtechnisch begründet und die damit zusammenhängenden Anforderungswerte (meist in dB) erschließen sich in ihrer Bedeutung nur den bauakustischen Fachleuten. So stehen die Anforderungswerte oft nicht in einem direkt interpretierbaren Zusammenhang zu Wahrnehmung, Reaktion und Urteil. Insbesondere für die Bauherren oder potentiellen Bewohner stellt sich daher die Frage, was nun ein Trittschalpegel von beispielsweise $L'_{n,w} = 41$ dB konkret bedeutet. Ist das gut oder schlecht? Wird es den eigenen Ansprüchen oder den Ansprüchen der Mieter genügen oder ist mit vielen Beschwerden zu rechnen? Um diese Einschätzung zu erleichtern, wäre es wünschenswert, einen Bewertungsmaßstab für die Praxis abzuleiten, der sowohl auf technischen Messungen als auch auf in Hörversuchen erfassten subjektiven Urteilen basiert und eine eindeutige, leicht verständliche Klassifizierung der existierenden Konstruktionen ermöglicht. Das Klassifikationssystem sollte den zu erwartenden prozentualen Anteil von sich durch Trittschall belästigt fühlenden bzw. zufriedenen Personen prognostizieren. Die Aussage lautet dann beispielsweise, dass eine bestimmte Deckenkonstruktion mit 90% Wahrscheinlichkeit als zufriedenstellend empfunden wird oder nur in 10% der Fälle zum Empfinden von Störungen führt. Dabei ist natürlich darauf hinzuweisen, dass es sich auch bei Beanstandungen nicht um permanentes Empfinden handeln muss, sondern diese von der Anwesenheit der Personen in den darüber liegenden Räumen abhängt. Der Gedanke orientiert sich an der erfolgreichen Etablierung einer ähnlichen Bewertungsgröße im Bereich des Raumklimas. Dort existieren seit Jahrzehnten das sogenannte PredictedMeanVote (PMV) und die PredictedPercentageDissatisfied (PPD) als Beurteilungsgrößen der thermischen Qualität von Gebäuden. Ein solches Verfahren macht den Trittschallschutz für Laien verständlich und bildet die Lebensrealität der Bewohner deutlich besser ab. Dies stellt einen erheblichen Fortschritt und eine Erleichterung für die Bauherren und den Vertrieb dar.