

**Schallschutznachweis für die
Trittschalldämmung auf der
Basis der DIN EN 12354-2**

T 3100

T 3100

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2006, ISBN 3-8167-7005-3

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

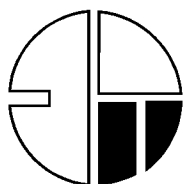
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.IRBbuch.de



**FACHHOCHSCHULE HOCHSCHULE FÜR
STUTT GART TECHNIK**

Joseph-von-Egle-Institut
für Angewandte Forschung

Abschlussbericht

**Schallschutznachweis für die Trittschalldämmung auf der Basis der
DIN EN 12354-2**

Untersuchungen durchgeführt im Auftrag des
Deutschen Institutes für Bautechnik

Projekt Nr. 132-001-03P

Der Bericht umfasst:

102 Seiten Text
3 Anlagen

Stuttgart, den 28. Juli 2005

Bearbeiter:

K. Kohler, Dipl.-Ing.(FH)

M. Schneider, M.Sc. Dipl.-Ing.(FH)

Projektleiter:

Prof. Dr.-Ing. H.M. Fischer

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
2	Danksagung	5
3	Vorwort zum Forschungsumfeld	6
4	Einführung	7
4.1	Handlungsbedarf für den Trittschallschutz	8
5	Aufgabenstellung und Zielsetzung.....	9
6	Berechnungsverfahren und Grundlagen für den Trittschallschutz.....	10
6.1	Übertragungswege bei Trittschallanregung	11
6.2	Beschreibung der Trittschalldämmung.....	12
6.3	Berechnung des Norm-Trittschallpegels	13
6.3.1	Allgemeines zur Berechnung	13
6.3.2	Berechnung nach DIN 4109 Beiblatt 1	14
6.3.3	Berechnung nach DIN EN 12354-2	15
6.3.3.1	Vereinfachtes Berechnungsmodell.....	15
6.3.3.2	Detailliertes Berechnungsmodell.....	17
7	Bauteilkatalog.....	19
8	Äquivalenter bewerteter Norm Trittschallpegel homogener Decken	21
8.1	Norm-Trittschallpegel von Prüfstandsdecken	24
8.1.1	Bezug des Norm-Trittschallpegels auf die Körperschallnachhallzeit.....	24
8.1.2	Bezug des Norm-Trittschallpegels auf einen Referenzwert	25
8.2	Ergebnisse der Untersuchung zum $L_{n,w,eq}$	26
9	Bewertetes Trittschallverbesserungsmaß	28
9.1	Trittschallverbesserung eines schwimmenden Estrichs.....	28
9.2	Prognose der Trittschallverbesserung nach DIN EN 12354-2 u. DIN 4109 .	33
9.3	Trittschallverbesserungsmaß nach DIN EN 12354-2	36
9.3.1	Zement- und Calciumsulfatestriche	37
9.3.1.1	Labormessungen.....	37
9.3.1.2	Baumessungen	38
9.3.2	Gussasphalt- und Trockenestriche.....	40
9.4	Doppel- und Hohlraumböden.....	42
10	Flankierende Übertragung - Korrekturwert K	43

11	Vorsatzschalen und Unterdecken.....	48
11.1	Verbesserungsmaße für Unterdecken	48
11.2	Probleme bei der Untersuchung	52
12	Messungen des Norm-Trittschallpegels in Bauwerken	59
12.1	Häufigkeit der gemessenen Konstruktionen	61
12.2	Messtechnik	63
12.2.1	Messtechnik zur Messung des Norm- Trittschallpegels	64
12.2.2	Messtechnik zur Messung der flankierenden Übertragung	64
12.3	Mess- und auswertetechnische Fragestellungen	66
12.4	Messergebnisse des Norm-Trittschallpegels in Bauwerken.....	67
13	Verifizierung des Vereinf. Berechnungsverf. nach DIN EN 12354-2	68
13.1	Vertikale Übertragung	68
13.2	Einfluss der flankierenden Übertragung.....	73
13.2.1	Flankierende Übertragung an einem Demonstrationsobjekt	74
13.2.2	Flankierende Übertragung im vereinfachten Berechnungsmodell.....	81
13.3	Vorschlag für horizontale und diagonale Übertragung	84
14	Prognosen zum Trittschallschutz nach DIN EN 12354-2 und DIN 4109.....	86
14.1	Prognose nach dem vereinfachten und detaillierten Modell.....	87
14.2	Messwerte und prognostizierte Werte der drei Berechnungsmethoden.....	91
15	Sicherheitsbeiwerte und Empfehlungen	96
15.1	Sicherheitsbeiwerte beim Trittschallschutznachweis	96
15.1.1	Äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel	96
15.1.2	Bewertetes Trittschallverbesserungsmaß	96
15.1.3	Flankierende Übertragung - Korrekturwert K	97
15.2	Empfehlungen für die neue DIN 4109.....	98
16	Weiterer Handlungsbedarf	100
17	Literatur	101

Anlagen

1 Zusammenfassung

Die Vorgaben der europäischen Normung führen zu gravierenden Eingriffen in das bestehende deutsche Normungskonzept des baulichen Schallschutzes. Vom zuständigen NABau-Arbeitsausschuss zu DIN 4109 (Schallschutz im Hochbau) [9] wurde deshalb die komplette Überarbeitung der DIN 4109 mit seinen Ausführungsbeispielen und den Vorgaben für den schalltechnischen Nachweis in die Wege geleitet. Der Schallschutznachweis in Deutschland soll künftig nach dem vereinfachten Verfahren der DIN EN 12354-2 [10] geführt werden. Das vorliegende Vorhaben soll die Vorgaben zur Berechnung des Trittschallschutzes im Massivbau der europäischen Normung überprüfen und die dafür vorgesehenen informativ vorgeschlagenen Eingangsdaten mit Prüfwerten (Laborwerten) absichern.

Dazu wurden umfangreiche Messungen in ausgeführten massiven Bauten aus Kalksandstein, Leichtbeton, Porenbeton und Ziegelmauerwerk mit massiven Stahlbetondecken und schwimmend verlegten Estrichen durchgeführt. Neben dem resultierenden Norm-Trittschallpegel wurde auch an einigen Bauten der Anteil der flankierenden Übertragung durch Körperschallmessungen ermittelt.

Der Trittschallschutz zwischen übereinanderliegenden Wohnungen im mehrgeschossigen Wohnungsbau wird neben der akustischen Qualität der trennenden Decke und des schwimmenden Estrichs wesentlich durch die akustischen Eigenschaften der flankierenden Bauteile bestimmt. Der Einfluss der flankierenden Übertragung wurde detailliert untersucht.

Eingangsdaten in den Anhängen der DIN EN 12354 Teil 2 [10] sind informativ vorgeschlagen und wurden mit Laborwerten (Prüfwerte) abgeglichen. Der Abgleich des äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegels $L_{n,w,eq}$ von massiven Decken fand mit dem $L_{n,w,eq}$ von Normdecken aus schalltechnischen Prüfinstituten statt; das Trittschallverbesserungsmaß ΔL_w von schwimmend verlegten Estrichen mit Prüfwerten von Herstellern gängig verwendeter Trittschalldämmstoffe. Unterdecken werden bislang im vereinfachten CEN-Rechenverfahren nicht berücksichtigt. Eingangsdaten werden neu vorgeschlagen.

Der Trittschallschutz der messtechnisch untersuchten Objekte wurde rechnerisch überprüft.

Der nach Anhang B der DIN EN 12354-2 prognostizierte äquivalente bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,w,eq}$ entspricht im wesentlichen dem bislang als Rechenwert in DIN 4109, Beiblatt 1 verwendeten Wert $L_{n,w,eq,R}$. Messwerte des äquivalenten bewerteten Normtrittschallpegels auf Rohdecken in Prüfständen ohne Nebenwege zeigen ebenfalls eine gute Übereinstimmung zu dem im Anhang B der DIN EN 12354-2 berechneten Wert. Die Berechnung des

äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegel $L_{n,w,eq}$ sollte für den zukünftigen Nachweis des Trittschallschutzes von Massivdecken deshalb gemäß Anhang B aus der flächenbezogenen Masse erfolgen. Für Prüfungen sollte analog zur derzeit gültigen DIN 4109 [9] beim äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegel gemäß Anhang B.2 kein Abschlag (Abschnitt 6.4.1 der DIN 4109) vorgesehen werden.

Die Rechenwerte für das bewertete Trittschallverbesserungsmaß ΔL_w von bauüblichen schwimmend verlegten Estrichen errechnen sich nach DIN 4109 Beiblatt 1 und DIN EN 12354-2 Anhang C in der gleichen Größenordnung mit nur sehr geringen Abweichungen. Dies gilt für schwimmend verlegte Zement- und Calciumsulfatestriche sowie auch für schwimmend verlegte Gussasphalt- und Trockenestrichen wenn für die Berechnung nach DIN EN 12354-2 von heute üblichen Massen der Estrichplatten ausgegangen wird. DIN 4109 dagegen rechnet für eine minimale Last, da bei den Werten in Tabelle 17 von Estrichplatten mit $m' = 70 \text{ kg/m}^2$ (Zement- und Calciumsulfatestriche) bzw. 45 kg/m^2 (Gussasphaltstriche) ausgegangen wird.

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen wurde das bewertete Trittschallverbesserungsmaß ΔL_w von schwimmend verlegten Estrichen gemäß Anhang C.2 der DIN EN 12354-2 [2] mit Prüfzeugnissen namhafter Hersteller verglichen. Dabei wird für schwimmend verlegte Zement- und Calciumsulfatestriche ein um 2 dB niedrigeres ΔL_w prognostiziert. Bei Gussasphalt- und Trockenestrichen ergibt sich gemäß Anhang C ein um 4 dB niedrigeres prognostiziertes ΔL_w . Werden bei der Umrechnung in Rechenwerte auch zukünftig die ermittelten Laborwerte um 2 dB vermindert, so entsprechen die Rechenwerte für Zement- und Calciumsulfatestriche aus dem Labor den Werten gemäß den Werten aus Bild C.1 der DIN EN 12354-2 [2]. Aufgrund der größeren Streuung bei den Gussasphalt- und Trockenestrich, die Standardabweichung zwischen Rechenwert und Messwert beträgt hier 2.7 dB, gegenüber einer Standardabweichung bei Zement- und Calciumsulfatestrichen von 1.2 dB, ist diese um 2 dB erhöhte Sicherheit durchaus sinnvoll.

Werden Prüfwerte aus dem Labor verwendet, so sind diese Prüfwerte gemäß Abschnitt 6.4.1 der derzeit gültigen DIN 4109 um 2 dB abzumindern, um sie als Rechenwerte anzuwenden.

Die Verbesserung des Trittschallschutzes durch biegeeweiche Unterdecken am trennenden Bauteil wird im vereinfachten Berechnungsverfahren der DIN EN 12354-2 bislang nicht berücksichtigt. Dies sollte künftig im vereinfachten Berechnungsverfahren nach DIN EN 12354-2 [10] berücksichtigt werden. Die Berücksichtigung von Unterdecken kann dabei innerhalb der Korrektur zur flankierenden Übertragung erfolgen. Werte für eine Korrektur K_{FL+UD} für flankierende Übertragung mit biegeweichen Unterdecken in Abhängigkeit von der

flächenbezogenen Masse des trennenden Bauteils und der mittleren flächenbezogenen Masse der flankierenden Bauteile wurde ermittelt.

Wird für übliche Grundrisse und Bauweisen der Anteil der flankierenden Übertragung mittels einer detaillierten Untersuchung ermittelt, konnte der Korrekturfaktor K in Abhängigkeit des Verhältnisses der flächenbezogenen Masse des trennenden und der mittleren flächenbezogenen Masse der flankierenden Bauteile nachgewiesen werden. Die Werte in Tabelle 1 in Abschnitt 4.3.1 der DIN EN 12354-2 [10] sollte für die Berechnung künftig verwendet werden.

Zur einfacheren Handhabung der Tabellenwerte in Computerprogrammen sollten Gleichungen für das Trittschallverbesserungsmaß (Anhang C) sowie für die Korrekturwerte K für die flankierende Übertragung (Abschnitt 4.3.1 normativer Teil) nach DIN EN 12354-2 angegeben werden.

Die messtechnische Untersuchung zeigt, dass Messwerte einen breiteren Streubereich aufweisen als Rechenwerte nach DIN EN 12354-2 und DIN 4109 Beiblatt 1. Dies ist vermutlich auf die Qualität der handwerklichen Ausführung der Estrichkonstruktion zurück zu führen.

Die flankierende Übertragung beeinflusst den Trittschallpegel erheblich. Die Schallübertragung erfolgt bei den mittels Körperschallmesstechnik untersuchten sieben Übertragungssituationen zu 65 % über die flankierenden Bauteile. Berechnet man den Anteil der flankierenden Übertragung für diese untersuchten Übertragungssituationen ergibt sich nach dem vereinfachten Verfahren der DIN EN 12354-2 ein Anteil der flankierenden Übertragung von 30%. Diese Differenz entspricht einem Pegelunterschied von ca. 3 dB.

Das detaillierte Berechnungsverfahren DIN EN 1254-2 errechnet gegenüber dem vereinfachten Verfahren einen um 5.5 dB höheren Norm-Trittschallpegel. Beide Berechnungsverfahren prognostizieren gegenüber den Messwerten eine zu hohe Direktschallübertragung und eine zu geringe die flankierende Übertragung. Diese ‚gegensätzliche‘ Prognosen kompensieren sich bei der Berechnung des Gesamt-Norm-Trittschallpegels weitgehend.

Das vereinfachte Modell des CEN-Rechenverfahrens liefert eine gute Übereinstimmung mit in-situ Messwerten, sodass die Verwendung des zeitaufwendigen detaillierten Modell nicht sinnvoll erscheint. Im Mittel wird gegenüber den am Bau ermittelten Werte ein um 1.4 dB niedrigerer Trittschallpegel mit einer Standardabweichung von 4 dB prognostiziert. Obwohl das Berechnungsmodell der DIN 4109 Bl.1 (1989) die flankierende Übertragung nicht explizit berücksichtigt (flankierende Übertragung ist bereits in den Bauteilkenndaten enthalten), kann diese Berechnungsmethode für den typisch deutschen Mehrgeschosswohnungsbau (mit nicht zu leichten Flanken)

angewendet werden. Hierbei liegen die berechneten Werte gegenüber den Messwerten um 0.4 dB niedriger, wobei die Standardabweichung 3.9 dB beträgt.

Das Trittschallverbesserungsmaß ΔL_w für Deckenauflagen wird beim vereinfachten Modell zu gering bewertet, als bei sachgemäßer Ausführung am Bau vorhanden ist. Die Genauigkeit der Prognose ist dabei einerseits abhängig von den Angaben zum Konstruktionsaufbaus des schwimmenden Estrichs, andererseits von der Qualität der handwerklichen Ausführung. An ausgeführten Bauten treten durch unsachgemäße Verlegung des Estrichs Schallbrücken und Randschallbrücken auf, sodass häufig der zu erwartende Trittschallschutz vermindert wird.

Die durchgeführten messtechnischen und rechnerischen Untersuchungen haben gezeigt, dass der Trittschallschutznachweis mit den Einzahlangaben aus den Anhängen der DIN EN 12354-2 geführt werden kann. Das vereinfachte CEN-Rechenmodell kann, durch die separate Berücksichtigung der flankierenden Übertragung, den Trittschallschutz unter Berücksichtigung leichter Flanken nachbilden. Um Kontinuität mit dem derzeit gültigen Sicherheitsniveau im Trittschallschutz in massiven Mehrgeschoss-Wohnungsbauten zu schaffen, sollte ein Sicherheitsabschlag von 3 dB zwischen Rechenwert und Anforderung in die neue DIN 4109 eingeführt werden.

Die Umsetzung des vereinfachten CEN-Rechenverfahren für den Trittschallschutz ist somit gewährleistet.

2 Danksagung

Die vorliegenden Untersuchungen wurden im Auftrag des Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt) durchgeführt. Ihm sei an dieser Stelle für die Bewilligung und Finanzierung des Vorhabens gedankt.

Ein herzlicher Dank geht an die schalltechnischen Prüfstellen, welche uns die Norm-Trittschallpegel ihrer Prüfstandsdecken zur Verfügung gestellt haben.

Ein herzlicher Dank geht ebenfalls an die Firmen Knauf Gips KG, Knauf Perlite GmbH, Pavatex GmbH, Saint-Gobain Isover G+H AG und Xella Trockenbau-Systeme GmbH, welche mit Prüfdaten zum Trittschallverbesserungsmaß von Estrichen zum Gelingen dieses Vorhabens beigetragen haben.

3 Vorwort zum Forschungsumfeld

Die vorliegenden Untersuchungen wurden im Auftrag des Deutschen Institutes für Bautechnik DIBt durchgeführt.

In den Jahren 1998-2000 wurden von der Hochschule für Technik Forschungsvorhaben durchgeführt, welche sich mit der Umsetzung der europäischen Normen des baulichen Schallschutzes nach DIN EN 12354 Teil 1 [1] „Luftschalldämmung zwischen Räumen“ befassen. Es handelt sich um die Vorhaben zur Umsetzung der europäischen Normen des baulichen Schallschutzes für die Kalksandsteinindustrie, Leichtbetonindustrie, Porenbetonindustrie und Ziegelindustrie [2,3,4,5]. Innerhalb dieser Forschungsvorhaben wurden Schallmessungen zur Luftschalldämmung, Stoßstellendämmung und Trittschalldämmung in Massivbauten durchgeführt. Die Werte der gemessenen Luftschall- und Stoßstellendämmung wurden zur Überprüfung des Teils 1 der DIN EN 12354 verwendet. Auf die Werte der Trittschalldämmung wurde zur Bearbeitung dieses Forschungsvorhabens zurück gegriffen.

4 Einführung

Die für den Bausektor geltenden Voraussetzungen zum Europäischen Binnenmarkt wurden in der so genannten Bauproduktenrichtlinie (1988) [6] niedergelegt. Danach sind harmonisierte Normen für Bauprodukte in all denjenigen Bereichen, die so genannte "wesentliche Anforderungen" an Bauwerke enthalten, zu erstellen. Zu diesen wesentlichen Anforderungen zählt auch der Schallschutz. Im "Grundlegendokument Schallschutz" [7] werden die den baulichen Schallschutz betreffenden Vorgaben konkretisiert. Der Geltungsbereich wird dort über das einzelne Bauprodukt hinaus auch auf die Eigenschaften fertiger Gebäude ausgedehnt. Drei Bereiche werden durch die CEN-Normen (CEN: Europäisches Komitee für Normung) abgedeckt:

1. Prüfverfahren zur Ermittlung der schalltechnischen Eigenschaften von Bauteilen, aber auch kompletter Gebäude.
2. Bewertungsverfahren, mit denen die messtechnisch ermittelten Eigenschaften von Bauteilen und Gebäuden durch einen einzigen Wert ("Einzahlwert") charakterisiert werden können.
3. Berechnungsverfahren, mit deren Hilfe die bauakustische Qualität eines Gebäudes - z. B. im Rahmen der Prognose oder eines Nachweisverfahrens - rechnerisch ermittelt werden kann.

Das CEN-Berechnungsmodell soll Eingang in die zukünftige DIN 4109 finden. Die anstehenden Änderungen führen zu gravierenden Eingriffen in das bestehende deutsche Normungskonzept des baulichen Schallschutzes. Dies betrifft insbesondere das Beiblatt 1 zu DIN 4109 (Schallschutz im Hochbau) [8] mit seinen Ausführungsbeispielen und den Vorgaben für den schalltechnischen Nachweis. Vom zuständigen NABau-Arbeitsausschuss zu DIN 4109 (Schallschutz im Hochbau) wurde deshalb die komplette Überarbeitung der DIN 4109 [9] in die Wege geleitet. Diese Vorgänge zeigen einen für den baulichen Schallschutz bisher noch nicht gekannten Handlungsbedarf auf. Vom Änderungsdruck am stärksten betroffen ist dabei der Bereich des Massivbaus. Die bei CEN/TC 126 erarbeiteten Berechnungsverfahren für den baulichen Schallschutz lassen eine weitere Verwendung des derzeitigen DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau“ [9] nicht mehr zu. Für die Anwendung der neuen CEN-Berechnungsverfahren fehlen dem Massivbau aber die notwendigen Grundlagen und die zur Berechnung vorgeschlagenen Eingangsdaten müssen verifiziert werden.

Für den Massivbau bedeutet dies, dass die Voraussetzungen für die neuen Regelungen nicht erfüllt sind.

4.1 Handlungsbedarf für den Trittschallschutz

Die beschriebene Ausgangssituation verdeutlicht, dass Handlungsbedarf beim Trittschallschutz vorhanden ist. In Forschungsvorhaben der Hochschule für Technik Stuttgart [2,3,4,5] wurde bereits eine Umsetzung der europäischen Normen des baulichen Schallschutzes massiver Bauteile/Bauwerke nach DIN EN 12354 Teil 1 [1] für den Luftschallschutz erarbeitet.

Dieses Forschungsvorhaben soll sich nun mit der Verifizierung des 2. Teiles der DIN EN 12354 „Trittschalldämmung zwischen Räumen“ [10] befassen. Das vorliegende Forschungsvorhaben nimmt folgende zentrale Probleme zum Anlass:

- Die CEN-Rechenmodelle verfolgen neue Ansätze, die der Nachweis nach DIN 4109 bislang nicht kennt. Im Gegensatz zur DIN 4109 wird beim europäischen Berechnungsverfahren die flankierende Übertragung getrennt berücksichtigt. Hierfür liegen bislang weder ausreichende Erfahrungen noch die neuen zusätzlichen Kenngrößen vor. Zusätzlich ist in den CEN-Verfahren für das detaillierte Modell eine sog. in-situ-Anpassung der im Prüfstand ermittelten Kennwerte an die tatsächliche Bausituation vorgesehen. Auch hier ist für Massivdecken noch völlig unklar, wie sie anzuwenden ist. Die Trittschalldämmung steht im beschriebenen Kontext vor der Frage, wie die Rechenverfahren für diese Art von Schallübertragung angewendet werden können und ob sich die spezifischen Eigenschaften in den Rechenverfahren in adäquater Weise wiedergeben lassen.
- Im bisherigen Normungskonzept stützt sich der baurechtlich geforderte Schallschutznachweis auf Ausführungsbeispiele für bestimmte Bauteile und Konstruktionen. Im Sinne eines Bauteilkatalogs sind sie in das Beiblatt 1 zu DIN 4109 [8] aufgenommen und baurechtlich eingeführt. Auch für das zukünftige Konzept ist eine praktikable Vorgehensweise nur mit einem solchen Bauteilkatalog möglich. Im Zusammenhang mit den neuen CEN-Berechnungsverfahren hat ein solcher Bauteilkatalog die Aufgabe, die benötigten Eingangsdaten für die Berechnung zur Verfügung zu stellen. Anderenfalls kann der geforderte Schallschutznachweis nicht geführt werden. Für die Handlungsfähigkeit des Trittschallschutzes heißt das, dass die Eingangsdaten in den informativen Anhängen der DIN EN 12354-2 mit derzeit gängigen verwendeten Materialien abgeglichen werden müssen und Daten für die flankierende Übertragung in den zukünftigen Bauteilkatalog einzubringen sind.

5 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Das Forschungsziel des vorliegenden Vorhabens besteht darin, im Trittschallschutz die Handlungsfähigkeit herzustellen. Vom zuständigen Normenausschuss NABau-Arbeitsausschuss zu DIN 4109 wurde festgelegt, dass der Schallschutznachweis in Deutschland künftig nach dem vereinfachten CEN-Rechenverfahren der DIN EN 12354-2 [10] geführt werden soll. Dieses Berechnungsmodell wird Eingang in die neue DIN 4109 finden. Folgende Aufgabenstellungen werden diskutiert:

- Die Verfügbarkeit abgesicherter, europäisch konformer Bauteildaten für die Trittschalldämmung und die flankierende Schallübertragung sicherzustellen.
- Die Eingangsdaten in den informativen Anhängen der DIN EN 12354-2 [10] mit Labormesswerte gängigen verwendeter Materialien im deutschen Massivbau abzugleichen.
- Das vereinfachte CEN-Berechnungsverfahren des baulichen Schallschutzes für den Trittschallschutz zwei übereinander liegender Räume zu verifizieren.
- Vergleich zwischen dem CEN-Rechenverfahren zu dem Rechenverfahren nach Beiblatt 1 der DIN 4109 [8] und Schaffung von Kontinuität im Trittschallschutznachweis.
- Betrachtung von Sicherheitsbeiwerte (Vorhaltemaße) in den Eingangsdaten der informativen Anhängen und in der Berechnung des Trittschallschutznachweises der DIN EN 12354-2 [10]. Empfehlungen für die neue DIN 4109 werden ausgesprochen.
- Den Aufwand für das rechnerische Nachweisverfahren durch Berechnungsbeispiele zu verringern.

Zur Bearbeitung dieses Forschungsvorhabens wurde die DIN EN 12354 Ausgabe Dezember 2000 (Teil 1) und September 2000 (Teil 2) sowie DIN 4109 mit dem Beiblatt 1 und Beiblatt 2 (Ausgabe November 1989) herangezogen.

6 Berechnungsverfahren und Grundlagen für den Trittschallschutz

Der Trittschallschutz zwischen Wohnungen im mehrgeschossigen Wohnungsbau wird neben der akustischen Qualität der trennenden Decke und des schwimmenden Estrichs auch durch die akustischen Eigenschaften der flankierenden Bauteile bestimmt. Diese Erkenntnis ist in bauakustischen Kreisen bekannt, wird aber bislang im Beiblatt 1 zu DIN 4109 [8] bei der Berechnung der Trittschalldämmung in Gebäuden nicht berücksichtigt.

Die Berechnung der Trittschalldämmung nach DIN EN 12354-2 [10] erfolgt in vielen Punkten analog dem 1. Teil in DIN EN 12354 [1]. Das Berechnungsverfahren folgt im wesentlichen den physikalisch nachvollziehbaren Gegebenheiten [11]. Das Grundprinzip ist einfach - berücksichtigt werden alle Schallübertragungswege.

In DIN EN 12354-2 wird zwischen zwei Berechnungsverfahren unterschieden. Zum einen wird ein frequenzabhängiges Verfahren aus bauteilspezifischen Eigenschaften (detailliertes Modell) und ein frequenzunabhängiges Verfahren mit Einzahlwerten (vereinfachtes Modell) beschrieben. Das detaillierte Modell überführt die akustischen Daten der Bauteile vor Ermittlung der Schallübertragung in Werte am Bau (in-situ). Jeder einzelne Übertragungsweg wird berücksichtigt, wobei die Flankendämmung aus der Direktdämmung und der Stoßstellendämmung bestimmt wird. Das vereinfachte Berechnungsmodell der DIN EN 12354-2 hingegen beschreibt ein frequenzunabhängiges Verfahren mit Einzahlwerten, welches eine Reihe von Vereinfachungen beinhaltet, um den Rechenaufwand und die Datenbeschaffung zu reduzieren. Die flankierende Übertragung wird separat mit einem Einzahlwert berücksichtigt.

Die Anforderungen für den Trittschallschutz werden in DIN 4109 [9] angegeben und müssen nachgewiesen und eingehalten werden. Vorschläge für den erhöhten Schallschutz befinden sich im Beiblatt 2 zu DIN 4109 [12]. In Mehrgeschosswohnungsbauten in üblicher Bauweise (schwimmender Estrich auf einer 180 mm starken Stahlbeton) ist bei sachgemäßer Ausführung des Estrichs in der Regel ein erhöhter Trittschallschutz erreichbar.

6.1 Übertragungswege bei Trittschallanregung

Bei Trittschall findet die Anregung durch Körperschalleinleitung (Gehgeräusche) in das Bauteil statt.

Das Bild unten zeigt die zu berücksichtigenden Wege für die Trittschallübertragung zwei übereinander liegender Räume über das Trennbauteil (Decke) und die flankierenden Bauteile (Wände).

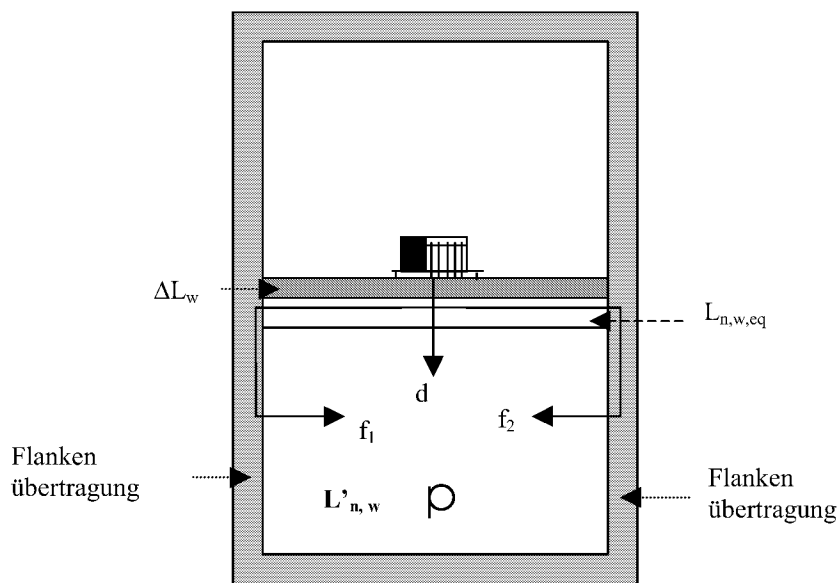


Bild 6.1: Übertragungswege bei Trittschallanregung zwei übereinander liegender Räume

Besondere Beachtung wird der flankierenden Übertragung beigemessen. Bei einer üblichen Übertragungssituation (ein Trennbauteil, vier flankierende Bauteile) sind insgesamt fünf verschiedene Übertragungswege zu berücksichtigen. Davon entfallen vier Wege auf die flankierende Übertragung.

Die Bezeichnungen der einzelnen Übertragungswege geht aus folgender Tabelle 6.1 hervor. Dabei gelten Grossbuchstaben D für den Senderraum (angeregtes Bauteil), Kleinbuchstaben d bzw. f für den Empfangsraum (abstrahlendes Bauteil). Das trennende Bauteil wird dabei mit dem Buchstaben d (D), flankierende Bauteile mit dem Buchstaben f gekennzeichnet.

angeregtes Bauteil	abstrahlendes Bauteil	Übertragungsweg
Trennbauteil (D)	Trennbauteil (d)	Dd
Trennbauteil (D)	Flankenbauteil (f)	Df

Tabelle 6.1: Bezeichnung der Übertragungswege bei Trittschallübertragung

6.2 Beschreibung der Trittschalldämmung

Die Kennzeichnung der Trittschalldämmung zwischen Räumen in Bauwerken erfolgt durch Schallpegel. Die Trittschalldämmung in Gebäuden wird nach DIN EN ISO 140-7 [13] ermittelt und beschreibt die Gebäudeeigenschaften. Die Ermittlung der Einzahlwerte erfolgt nach DIN EN ISO 717-2 [14] aus Messwerten, die in Gebäuden in Oktav- oder Terzbändern ermittelt wurden. Dabei handelt es sich um keine Dämmung wie beim Luftschall, sondern um einen Schallpegel, der den Trittschall beschreibt. Deshalb bedeuten hohe Pegel einen schlechten Trittschallschutz. Der Trittschallpegel wird auf die äquivalente Schallabsorptionsfläche im Empfangsraum bezogen.

Der Norm-Trittschallpegel wird durch Anregung mit dem Normhammerwerk nach DIN EN ISO 140-7 [13] beschrieben durch einen gemessenen Trittschallpegel im Empfangsraum L_i , der äquivalenten Schallabsorptionsfläche A im Empfangsraum bezogen auf die Bezugsabsorptionsfläche A_0 ($A_0 = 10 \text{ m}^2$ für Wohnungen)

$$L'_n = L_i + 10 \lg \frac{A}{A_0} [\text{dB}] \quad (6.1)$$

Der Standard-Trittschallpegel wird nicht auf den Wert der äquivalenten Schallabsorptionsfläche wie der Norm-Trittschallpegel bezogen, sondern auf die Nachhallzeit T im Empfangsraum. Der Standard-Trittschallpegel wird beschrieben mit

$$L'_{nT} = L_i + 10 \lg \frac{T}{T_0} [\text{dB}] \quad (6.2)$$

wobei T_0 die Bezugsnachhallzeit (für Wohnungen $T_0 = 0,5 \text{ s}$) ist.

Um den Norm-Trittschallpegel und den Standard-Trittschallpegel bestimmen zu können, ist es ausreichend eine dieser beiden Größen messtechnisch zu erfassen. Es ist somit möglich, die eine Größe aus der anderen Größe zu ermitteln. Die Beziehung zwischen L'_{nT} und L'_n ist.

$$L'_{nT} = L'_n - 10 \lg \frac{0,16V}{A_0 T_0} [\text{dB}] \quad (6.3)$$

Für die Beschreibung des Trittschallverhaltens von Holz- und Betondecken mit wirkungsvollen Deckenauflagen hat sich die Bewertung durch $L'_{n,w}$ oder $L'_{nT,w}$ als geeignet erwiesen. Hierbei sind unter wirkungsvollen Deckenauflagen Teppichböden oder schwimmende Estriche zu verstehen. Mit dieser Art der Bewertung werden aber nur ungenügend spektrale Maxima, wie sie beispielsweise bei Stahlbetonrohdecken auftreten berücksichtigt.

Zur Berücksichtigung dieses Effektes ist daher ein Spektrumanpassungswert CI eingeführt worden. Dieser wird als getrennter Wert angegeben und kann somit nicht mit dem Wert für $L'_{n,w}$ verwechselt werden. Die Festlegung dieses Wertes ist so, dass für massive Decken mit wirkungsvollen Deckenauflagen dieser in etwa 0 dB beträgt. Für Stahlbetonrohdecken ohne Deckenauflage oder mit nur wenig wirkungsvollen Deckenauflagen liegt dieser Wert zwischen -15 bis 0 dB.

Bestehen Anforderungen, so können zur Berücksichtigung dieser Einflüsse diese als Summe von $L'_{n,w}$ oder $L'_{n,T,w}$ und CI angegeben werden.

Der Spektrumanpassungswert wird für zwei Frequenzbereiche angegeben. Hierbei handelt es sich um CI und um CI,50-2500. CI beschreibt den Messbereich von 100 Hz bis 2500 Hz und CI,50-2500 berücksichtigt zusätzlich noch den erweiterten Frequenzbereich bei tiefen Frequenzen.

6.3 Berechnung des Norm-Trittschallpegels

Nachfolgend ist die Berechnung des Norm-Trittschallpegels nach DIN 4109 Bl. 1 [8] und nach DIN EN 12354-2 [10] erläutert. In DIN EN 12354-2 wird ein detailliertes und vereinfachtes Modell vorgestellt. Der Hauptunterschied der Berechnungen nach den beiden Normen besteht darin, dass nach DIN 4109 die Nebenwegsübertragung bereits in den Bauteilkennwerten enthalten ist, nach DIN EN 12354-2 die Nebenwegsübertragung dagegen separat errechnet wird.

6.3.1 Allgemeines zur Berechnung

In allen Berechnungsverfahren ist die flächenbezogene Masse der an der Schallübertragung beteiligten Bauteile eine wesentliche Größe die zur Berechnung der Schalldämmung notwendig ist. Wie die flächenbezogene Masse eines Bauteils zu ermitteln ist, ist in der DIN EN 12354-2 [10] nicht festgelegt. Lediglich nach Beiblatt 1 zur DIN 4109 [8] kann die flächenbezogene Masse m' eines biegesteifen Bauteils gemäß Abschnitt 2.2.1 errechnet werden.

Die Bestimmung einer mittleren flächenbezogenen Masse massiver flankierender Wände $m'_{L,mittel}$ wird ebenfalls im Beiblatt 1 zu DIN 4109 beschrieben. Für massive, nicht mit Vorsatzschalen verkleidete, biegesteife Wände gilt für n Bauteile

$$m'_{L,Mittel} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m'_{L,i} \quad (6.4)$$

wobei $m'_{L,i}$ die flächenbezogene Masse jeder einzelnen Flanke darstellt.

Diese einfache und in Deutschland angewandte Verfahren zur Bestimmung der flächenbezogenen Masse jedes einzelnen Bauteils und der mittleren flächenbezogenen Masse der flankierenden Bauteile wird ebenfalls in DIN EN 12354 angewandt.

Mit der Einführung der DIN 4109 im Jahr 1989 wurden die Bezeichnungen der Grössen im Trittschallschutz verändert. Die vor 1989 verwendeten Grössen waren das Trittschallschutzmaß. Zu den heute gültigen Grössen gelten folgende Beziehungen:

Äquivalentes Trittschallschutzmaß TSM_{eq} bzw. äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel $L_{n,w,eq}$

$$L_{n,w,eq} = 63 \text{ dB} - TSM_{eq} \quad (6.5)$$

Trittschallschutzmaß TSM bzw. Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$

$$L'_{n,w} = 63 \text{ dB} - TSM \quad (6.6)$$

Verbesserungsmaß VM bzw. Trittschallverbesserungsmaß ΔL_w von Deckenauflagen

$$VM = \Delta L_w; \quad (6.7)$$

6.3.2 Berechnung nach DIN 4109 Beiblatt 1

Nach DIN 4109 Bl. 1 [8] wird der Trittschallschutz als Einzahlangabe auf Grundlage der Einzahlangaben der Eigenschaften der Deckenkonstruktion ohne separate Berücksichtigung der flankierenden Übertragung berechnet nach

$$L'_{n,w,R} = L_{n,w,eq,R} - \Delta L_{w,R} \quad [\text{dB}] \quad (6.8)$$

wobei $L_{n,w,eq,R}$ der äquivalente bewertete Norm-Trittschallpegel der Rohdecke ist, welcher nach Beiblatt 1, Tabelle 16 ermittelt wird aus der flächenbezogenen Masse m' der Rohdecke. $\Delta L_{w,R}$ ist das Trittschallverbesserungsmaß nach Beiblatt 1 Tabelle 17, ermittelt aus den Eigenschaften des Estrichs und der

dynamischen Steifigkeit s' der Trittschalldämmplatte. Die dynamische Steifigkeit ist begrenzt auf 10 MN/m^3 . Dadurch ist ein maximales Trittschallverbesserungsmaß von $\Delta L_{w,R} = 30 \text{ dB}$ möglich. Biegeeweiche Unterdecken an massiven Decken werden in Tabelle 16 im Beiblatt 1 mit einem Abschlag des äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegels $L_{n,w,eq,R}$ zwischen 11 und 2 dB berücksichtigt. Die Verbesserung durch eine biegeeweiche Unterdecke wirkt sich bei geringer flächenbezogener Masse der Massivdecke (135 kg/m^2) mit 11 dB höher aus und sinkt mit steigender flächenbezogener Masse von 530 kg/m^2 auf 2 dB. Das reduzierte Verbesserungsmaß einer Unterdecke bei schweren Decken ist im Anstieg der flankierenden Übertragung begründet. Vorsatzschalen an den flankierenden Wänden werden im Nachweisverfahren im Beiblatt 1 zu DIN 4109 nicht berücksichtigt.

Der Index R steht für Rechenwert. Die Bewertung von Messungen in Prüfständen nach der alten DIN 52210-2 [15] ist in DIN 4109 in Abschnitt 6.4.1 diskutiert. Dabei wird in Tabelle 12 die Umrechnung des Prüfwertes (Index P) in den Rechenwert (Index R) beschrieben. Der Rechenwert des äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegels $L_{n,w,eq}$ entspricht dem Prüfwert (keine Addition von 2 dB Vorhaltemaß). Dagegen bei Deckenauflagen von Massivdecken wird beim Trittschallverbesserungsmaß ΔL_w bei der Umrechnung zum Rechenwert der Prüfwert um 2 dB abgemindert.

Der so errechneten Norm-Trittschallpegel einer Decke im gebrauchsfertigen Zustand $L'_{n,w,R}$ muss gemäß Abschnitt 4.1.1 zu Beiblatt 1 2 dB niedriger sein als die in DIN 4109 genannten Anforderungen.

6.3.3 Berechnung nach DIN EN 12354-2

6.3.3.1 Vereinfachtes Berechnungsmodell

Das vereinfachte Modell berechnet den Trittschallschutz mit Hilfe von Einzahlangaben nach dem Bewertungsverfahren von DIN EN ISO 717-2 [14] mit einer separaten Betrachtung der Nebenwegsübertragung durch einen Korrekturwert K nach

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K \quad [\text{dB}] \quad (6.9)$$

wobei $L_{n,w,eq}$ der äquivalente bewertete Norm-Trittschallpegel der Rohdecke ist, ΔL_w die bewertete Trittschallminderung durch eine Deckenauflage und K die Korrektur für die Trittschallübertragung über die homogenen flankierenden Bauteile ist. Die Flankenübertragung basiert auf Grundlage der Berechnung des detaillierten Modells der DIN EN 12354-2 und wird hier global mit einem

Einzahlwert berücksichtigt. Die Korrektur wird in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse des trennenden Bauteiles (Decke) und der mittleren flächenbezogenen Masse der massiven flankierenden Bauteile berechnet. Hierbei werden nur kraftschlüssig mit dem Bauteil verbundene und nicht mit Vorsatzschalen (mit einer Resonanzfrequenz $f_0 < 125$ Hz) belegte Bauteile berücksichtigt. Die Korrekturwerte K sind tabellarisch im normativen Teil in Tabelle 1 Abschnitt 4.3 festgelegt. Vorsatzschalen werden in dieser Berechnung nur insoweit berücksichtigt, dass die flächenbezogene Masse der mit einer Vorsatzschale bekleideten Wand bei der Berechnung der mittleren flächenbezogenen Masse nicht berücksichtigt wird. In DIN EN 12354-2 heißt es: „Der Einfluss der Körperschalldämpfung wird im Mittel berücksichtigt.“ In üblichen Bausituationen beläuft sich die Anzahl der flankierenden Bauteile bei vertikalem Übertragungsweg auf $n = 4$.

Das Rechenverfahren verwendet als Eingangsdaten diejenigen Kenngrößen, die auch in den Bauteilprüfungen nach harmonisierten Prüfverfahren ermittelt werden können. Die Eingangsdaten ($L_{n,w,eq}$, ΔL_w) für das vereinfachte Verfahren können auch aus den informativen Anhängen der DIN EN 12354-2 genommen werden. Die Eingangsdaten für den $L_{n,w,eq}$ befinden sich im Anhang B und lassen sich berechnen mit

$$L_{n,w,eq} = 164 - 35 \lg \frac{m'}{m'_0} \quad [\text{dB}] \quad (6.10)$$

Das Trittschallverbesserungsmaß ΔL_w für schwimmend verlegte Estriche ist im Anhang C gegeben. ΔL_w wird ermittelt aus der flächenbezogenen Masse m' der Estrichplatte und der dynamischen Steifigkeit s' der Dämmplatte. Für Doppel- und Hohlräumböden werden für das Verbesserungsmaß der Trittschalldämmung in den Anhängen keine Eingangsdaten vorgeschlagen. Diese müssen durch Prüfzeugnisse nachgewiesen werden. Die Berücksichtigung einer Vorsatzschale in Form einer Unterdecke ist in Formel (6.9) nicht mit einem Formelzeichen explizit ausgedrückt.

DIN EN 12354-2 [10] nennt für das vereinfachte Modell Einschränkungen. Diese lauten:

- „Das Modell ist nur für homogene Baukonstruktionen (Mauerwerk und/oder Beton) mit schwimmend verlegten Fußböden oder weichen Deckenauflagen auf einer homogenen Deckenkonstruktion anwendbar.“
- „Es ist nur für übereinander liegende Räume und Räume üblicher Größe in Wohngebäuden anwendbar.“

Es ist anzunehmen, dass unter „homogenen Deckenkonstruktionen“ im akustischen Sinne einschalige Deckenkonstruktionen gemeint sind.

Die horizontale und diagonale Übertragung wird bislang noch nicht explizit berücksichtigt.

6.3.3.2 Detailliertes Berechnungsmodell

Der baurechtlich geschuldete Trittschallschutznachweis nach der neuen DIN 4109 soll, wie schon genannt, nach dem vereinfachten Verfahren der DIN EN 12354-2 [10] durchgeführt werden. Jedoch wurden innerhalb dieses Forschungsvorhaben auch Untersuchungen unter Verwendung des detaillierten Modells durchgeführt.

Das detaillierte Modell berechnet die einzelnen Schallübertragungswege (direkte Übertragung und flankierende Übertragung) frequenzabhängig. Dazu benötigt man den frequenzabhängigen Norm-Trittschallpegel einer unendlich grossen homogenen Deckenplatte, die sich nach der Theorie von Cremer, Heckel auch für endlich grösse Platten [16] berechnen lässt. Mit dem Kraftpegel eines Normhammerwerks nach DIN EN ISO 140-6 [17] ergibt sich nach Cremer/Heckel [18] für Terzbänder

$$L_n \approx 155 - 30 \lg \left(\frac{m'}{\left[\frac{1 \text{ kg}}{\text{m}^2} \right]} \right) + 10 \lg \left(\frac{T_s}{[1 \text{ s}]} \right) + 10 \lg(\sigma) + 10 \lg \left(\frac{f}{f_{\text{ref}}} \right) \quad [\text{dB}] \quad (6.11)$$

- Mit: m' flächenbezogene Masse [kg/m^2]
 T_s Körperschallnachhallzeit
 σ Abstrahlgrad für freie BiegeWellen
 f Terzbandmittenfrequenz [Hz]
 f_{ref} Bezugsfrequenz $f_{\text{ref}}=1000$ Hz

Zur Berechnung des Trittschallschutzes werden angepassten Werten am Bau (in-situ Werte) verwendet. Die Überführung in in-situ Werte basiert auf der Körperschallnachhallzeit der Bauteile. Bei Vorsatzkonstruktionen und Deckenauflagen kann laut DIN EN 12354-2 [10] für die Werte am Bau näherungsweise vom Laborwert ausgegangen werden. Stoßstellendämm-Maße werden mittels Körperschallnachhallzeiten in richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenzen \overline{D}_{vij} unter Baubedingungen überführt.

Für die Direktübertragung gilt:

$$L_{n,d} = L_{n,situ} - \Delta L_{situ} - L_{d,situ} \quad [\text{dB}] \quad (6.12)$$

wobei $L_{n,situ}$ der Normtrittschallpegel, ΔL_{situ} die Trittschallminderung einer Deckenauflage und $\Delta L_{d,situ}$ die Trittschallminderung durch eine Unterdecke auf der Empfangsraumseite des trennenden Bauteiles ist. Das Trittschallverbesserungsmaß nimmt nach der Theorie von Cremer [19] oberhalb der Resonanzfrequenz des schwimmenden Estrichs sehr stark mit der Frequenz zu.

Für die flankierende Übertragung unter Verwendung der in-situ angepassten Werte der Direktübertragung $L_{n,situ}$, des frequenzabhängigen Verbesserungsmaßes ΔL_{situ} für Deckenauflagen, des Schalldämmmaßes R_{situ} des trennenden Bauteils und der flankierenden Bauteile, der richtungsgemittelten Schnellepegeldifferenz, dem Luftschallverbesserungsmaß für Vorsatzschalen an den Flanken $\Delta R_{j,situ}$ und dem Flächenverhältnis der trennenden zur flankierenden Fläche ergibt sich

$$L_{n,ij} = L_{n,situ} - \Delta L_{situ} - \Delta R_{j,situ} + \frac{R_{i,situ} - R_{j,situ}}{2} - \overline{D_{v,ij,situ}} - 10 \lg \sqrt{\frac{S_i}{S_j}} \text{ dB} \quad (6.13)$$

Der eingekreiste Term entspricht der Schnellepegeldifferenz $-D_{vij,situ}$ (Schnellepegeldifferenz zwischen angeregter Deckenplatte und flankierenden Bauteilen)

Die Werte für Direktübertragung und flankierender Übertragung werden beim vertikalen Übertragungsweg mit einer Anzahl der Flanken von üblicherweise $n = 4$ energetisch summiert zu

$$L'_n = 10 \lg \left(10^{L_{n,d}/10} + \sum_{j=1}^n 10^{L_{n,ij}/10} \right) \quad [\text{dB}] \quad (6.14)$$

7 Bauteilkatalog

Zur Berechnung des Trittschallschutzes in Gebäuden wird der Norm-Trittschallpegel benötigt, welcher sich aus dem Norm-Trittschallpegel des trennenden Bauteils mit oder ohne Vorsatzschalen und einem Anteil der flankierenden Übertragung zusammensetzt.

Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Berechnung hängen wesentlich von diesen Eingabedaten zur Trittschalldämmung ab. Nach DIN EN 12354-2 [10] kann der Norm-Trittschallpegel der Rohdecke und das Trittschallverbesserungsmaß von Deckenauflagen/Vorsatzschalen Messwerten aus Prüfständen entnommen werden, wenn sie in Rechenwerte umgewandelt werden. Andererseits können die Eingangsdaten für einschalige Decken gemäß den informativen Anhängen der DIN EN 12354-2 aus Deckendicke, Rohdichte, Abstrahlgrad und Verlustfaktor (frequenzabhängige Berechnung nach Anhang B1) sowie aus der flächenbezogenen Masse (Berechnung einer bewerteten Einzahlangabe nach Anhang B2) ermittelt werden. Die Verbesserung der Trittschalldämmung durch einen schwimmenden Estrich kann ebenfalls aus den informativen Anhängen unter Verwendung der dynamischen Steifigkeit s' und der flächenbezogenen Masse m' der Estrichplatte frequenzabhängig (Berechnung nach Anhang C1) und mit Einzahlangaben (Berechnung nach Anhang C2) bestimmt werden. Vorsatzschalen an den flankierenden Bauteilen und Unterdecken am trennenden Bauteil können aus Laborwerten oder nach den informativen Anhängen des 1. Teil der DIN EN 12354 [1] bestimmt werden.

Die Daten in den informativen Anhängen der DIN EN 12354-2 finden Anlehnung an Bauteildaten aus der derzeit gültigen DIN 4109 Beiblatt 1 Ausgabe 1989 [8]. Diese Eingangsdaten entsprechen Materialien und deren Eigenschaften die vor 1989 im gängigen Massivbau verwendet worden sind. Eine Weiterentwicklung auf dem Markt der verwendeten Materialien zum Trittschallschutz hat stattgefunden.

Die Daten aus den Anhängen der DIN EN 12354-2, welche zur Berechnung des Trittschallschutzes nach dem vereinfachten Verfahren benötigt werden, sollen im Rahmen dieses Forschungsvorhabens auf ihre Gültigkeit in Deutschland mit Hilfe von Laborwerten (Prüfwerte) abgeglichen werden. Des weiteren sollen gegebenenfalls fehlende Eingangsdaten informativ in den Anhängen der DIN EN 12354-2 ergänzt werden und im Rahmen der neuen DIN 4109 als Ausführungsbeispiele in Form eines Bauteilkatalogs zur Verfügung stehen. Der neu eingeführte Korrekturwert K zur separaten Berechnung der flankierenden Übertragung in DIN EN 12354-2 soll detailliert betrachtet werden.

Im informativen Anhang B befinden sich die Berechnungsgleichungen für den äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegel $L_{n,w,eq}$, welcher im vereinfachten Modell zur Berechnung des gesamten Norm-Trittschallpegels erforderlich ist. Eine messtechnische Überprüfung der Formel zum $L_{n,w,eq}$ (6.10) erfolgt in Abschnitt 8.

Eingangsdaten für die Trittschallminderung von schwimmend verlegten Nass- und Trockenestrichen sind im informativen Anhang C gegeben. Die Einzahlangaben zur Trittschallminderung werden mit Werten aus Prüfzeugnissen von Dämmstoffherstellern in Abschnitt 9 abgeglichen. Doppel- und Hohlraumböden werden in diesem Abschnitt ebenfalls diskutiert.

In Anhang E sind Rechenbeispiele für eine vertikale Übertragungssituation zwischen zwei Räumen gegeben. Ein Rechenbeispiel mit Einzahlwerten nach dem vereinfachten Modell ist mit den modifizierten Eingangsdaten (ermittelt innerhalb dieses Projektes) im Anhang A1 diskutiert.

Nachfolgend werden die informativen Anhänge der DIN EN 12354-2 auf ihre Anwendbarkeit überprüft. Dabei werden die Daten der Einzahlangaben $L_{n,w,eq}$ und ΔL_w überprüft und gegebenenfalls modifiziert. Die Eingangsdaten für den Korrekturwert K für die Berücksichtigung der flankierenden Übertragung aus dem normativen Teil (Abschnitt 4.3.1 normativer Teil) werden diskutiert. Eingangsdaten für biegeeweiche Unterdecken werden neu vorgeschlagen. Für Eingangsdaten von Vorsatzschalen an den Wänden wird im 2. Teil der DIN EN 12354-2 auf Teil 1 verwiesen.

8 Äquivalenter bewerteter Norm Trittschallpegel homogener Decken

In dieser Teiluntersuchung soll die Berechnungsgleichung des äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegels $L_{n,w,eq}$ nach dem vereinfachten Modell der DIN EN 12354-2 [10] messtechnisch untersucht werden.

Nach Gösele [36] kann der äquivalente bewertete Norm-Trittschallpegel einer Massivplatte nach der Gleichung

$$L_{n,w,eq} = 77 \text{ dB} - 35 \cdot \log\left(\frac{m'}{m'_0}\right) \quad [\text{dB}]. \quad (8.1)$$

mit $m'_0 = 300 \text{ kg/m}^2$ berechnet werden. Diese Gleichung ist identisch mit der im Anhang B der DIN EN 12354-2 angegebenen Gleichung

$$L_{n,w,eq} = 164 \text{ dB} - 35 \cdot \log\left(\frac{m'}{m'_0}\right) \quad [\text{dB}]. \quad (8.2)$$

wobei $m'_0 = 1 \text{ kg/m}^2$ beträgt.

Der äquivalente bewertete Norm-Trittschallpegel berücksichtigt keine Nebenwegsübertragung. Die flankierende Übertragung wird separat mit dem „Korrekturwert K für Flankenübertragung“ wiedergegeben. Hingegen kann aus der Tabelle 16 in Beiblatt 1 zu DIN 4109 geschlossen werden, dass im dortigen Rechenwert des äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegel die flankierende Übertragung bereits beinhaltet ist. Eine Unterscheidung in Tabelle 16 der DIN 4109 Beiblatt 1 zwischen einer homogenen Decke ohne Unterdecke und homogenen Deckenkonstruktionen mit Unterdecke zeigt, dass bei leichten Decken eine geringe flankierende Übertragung berücksichtigt wird, während bei schweren Decken die flankierende Übertragung überwiegt.

Trotz dieses systematischen Unterschiedes zwischen den Berechnungsverfahren nach DIN EN 12354-2 und nach DIN 4109, Beiblatt 1 sind die Rechenwerte des äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegels nahezu identisch. Im nachfolgendem Diagramm sind diese Rechenwerte gegenübergestellt.

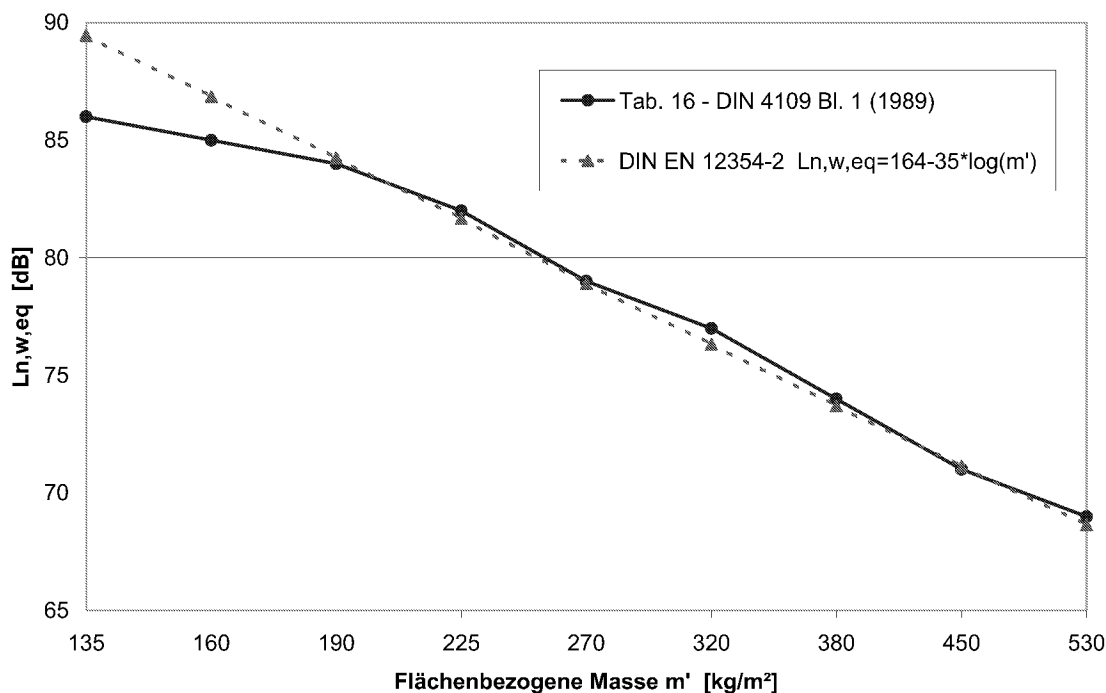


Bild 8.1: Äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel $L_{n,w,eq}$ in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse – berechnet nach DIN 4109 Beiblatt 1 (Werte ohne Unterdecke) und nach DIN EN 12354-2 vereinfachtes Verfahren.

Nur bei leichten Deckenkonstruktionen zeigt sich eine Differenzen von 2 bis 3 dB zwischen den beiden Berechnungsvarianten. Solche leichte Decken finden in Gebäuden mit Schallschutzanforderungen normalerweise keine Anwendung, da die Mindestanforderungen nicht eingehalten werden können. Bei gängigen Beton-Deckenkonstruktion (160 mm bis 220 mm - $m'_{\text{Beton}} = 368 \text{ kg/m}^2$ bis 506 kg/m^2) tritt zwischen den beiden Kurven eine Differenz von max. 0.3 dB auf.

Diese Übereinstimmung beider Rechenmethoden lässt vermuten, dass die flankierende Übertragung von schweren Bauteilen mit $m' \geq 190 \text{ kg/m}^2$ schon in der Berechnung nach DIN 4109 Beiblatt 1 [8] und in DIN EN 12354-2 [10] beinhaltet ist. Die flankierende Übertragung im vereinfachten Verfahren der 12354-2 würde somit doppelt berücksichtigt – einmal im $L_{n,w,eq}$ und einmal im Korrekturwert K für Flankenübertragung. Diese Feststellung führte zu einer messtechnischen Untersuchung der Gleichung

$$L_{n,w,eq} = 164 \text{ dB} - 35 \cdot \log\left(\frac{m'}{m'_0}\right) \text{ [dB]}. \quad (8.2)$$

indem ein messtechnisch ermittelter äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel von homogenen Deckenkonstruktionen ohne flankierende Übertragung mit den Rechenwerten verglichen wurde.

Messwerte von Norm-Trittschallpegeln von massiven homogenen Decken ohne flankierende Übertragung sind im allgemeinen nur durch Messungen in entsprechenden Prüfständen verfügbar. Deshalb wurden im Laufe des Vorhabens von diversen Prüfstellen die hierzu verfügbaren Norm-Trittschallpegel der Prüfdecken mit Körperschallnachhallzeiten angefordert. Ebenfalls fanden für diese Untersuchung Werte des äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegels aus Prüfzeugnissen zur Bestimmung der Trittschallverbesserungsmaße von schwimmenden Estrichen bzw. Trittschalldämmplatten Verwendung. Diese Prüfzeugnisse stammen aus älteren Jahren, wo in Deckenprüfständen mit bauähnlicher Flankenübertragung getestet wurde.

Wir erhielten Prüfberichte für Stahlbetondecken sowie auch für Ziegel-, Spannbeton-Hohlplatten- und Porenbetondecken. Die Vielzahl der Prüfberichte wurde systematisiert und klassifiziert. Dabei wurden die vorgelegten Berichte in Relevanzkategorien eingruppiert. Besonderer Wert wurde auf Werte der Norm-Trittschallpegel von Rohdecken ohne Einfluss flankierender Übertragung gelegt. Wenn möglich sollte noch die Körperschallnachhallzeit der Deckenplatte gemessen worden sein. Diese Relevanzkategorien unterteilen sich in „hoch“, „mittel“ und „niedrig“. Die Zuordnung in die jeweilige Relevanzstufe erfolgte mittels des nachfolgenden Kriterienkatalogs:

Relevanz	Folgende Kriterien müssen erfüllt sein	Deckenart und Anzahl
hoch	<ul style="list-style-type: none"> - Prüfungen in Prüfständen ohne Flankenübertragung nach DIN EN ISO 140-6 [17] - Körperschallnachhallzeiten liegen vor 	5 Stahlbeton
mittel	<ul style="list-style-type: none"> - Prüfungen in Prüfständen ohne Flankenübertragung nach DIN EN ISO 140-6 [17] - keine Körperschallnachhallzeiten 	7 Stahlbeton 2 Spannbeton-Hohlplatten
niedrig	<ul style="list-style-type: none"> - Prüfungen in Prüfständen mit Flankenübertragung nach DIN 52210 [20] - Körperschallnachhallzeiten liegen nicht vor - Prüfberichte von Verbesserungsmaße von Deckenauflagen 	10 Stahlbeton 4 Ziegel 2 Porenbeton 3 Beton-Hohlkörper

Tabelle 8.1: Einteilung der Prüfberichte zum Norm-Trittschallpegel von Rohdecken in Relevanzkategorien

War eine der genannten Kriterien nicht erfüllt, wurde der Bericht in die nächst niedrigere Relevanzklasse eingestuft.

Für einen Prüfstand ohne Nebenwege gibt es eine ganze Reihe von Realisierungsmöglichkeiten. Dies führt dazu, dass viele Prüfstellen verschieden konstruierte Prüfstände ohne Nebenwege besitzen. Die Energieableitung des Prüfkörpers an die umgebenden Bauteile hat analog zum Luftschall möglicherweise auch einen Einfluss auf die gemessene Trittschalldämmung [21,22,23,24]. Daher ist es notwendig, die in verschiedenen Prüfständen gemessenen Norm-Trittschallpegel auf eine einheitliche Energieableitung zu beziehen.

8.1 Norm-Trittschallpegel von Prüfstandsdecken

Die Prüfzeugnisse wurden ausgewertet und nach folgenden Gesichtspunkten bearbeitet:

- Korrektur des frequenzabhängigen Norm-Trittschallpegels der Prüfstandsdecken mit der Körperschallnachhallzeit und Bezug auf einen Referenzwert der Körperschallnachhallzeit
- Bezug des frequenzabhängigen Norm-Trittschallpegels aller Prüfstandsdecken auf eine 140 mm starke Decke ($m' = 322 \text{ kg/m}^2$). Dies wurde bezeichnet mit „Bezugsdecke 322“
- Bewertung des Norm-Trittschallpegels nach DIN EN ISO 717-2 [14] für die „Bezugsdecke 344“ und Bestimmung des äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegels
- Erstellen einer neuen Berechnungsgleichung des äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegels für Rohdecken ohne flankierende Übertragung und Abgleich mit der DIN EN 12354-2 [10] und der derzeit gültigen DIN 4109 Beiblatt 1 [8].

8.1.1 Bezug des Norm-Trittschallpegels auf die Körperschallnachhallzeit

Die frequenzabhängigen gemessenen Norm-Trittschallpegel der Rohdecken in den Prüfständen wurden, unter Verwendung der Körperschallnachhallzeit der Decken, auf eine einheitliche Energieableitung bezogen. Der Norm-Trittschallpegel $L_{n,ref}$ wurde wie folgt ermittelt:

$$L_{n,ref} = L_{n,lab} + 10 \lg \frac{T_{s,ref}}{T_{s,Lab}} \quad [\text{dB}]. \quad (8.3)$$

Die Körperschallnachhallzeit der Decke $T_{s,Decke}$ wurde gemessen. Der Mindestverlustfaktor η_{\min} des Prüfgegenstandes nach DIN EN ISO 140-1 [25] auf

$$\eta_{\min} = 0,01 + \frac{0,3}{\sqrt{f}} \quad (8.4)$$

bezogen. Aus dem Mindestverlustfaktor errechnet sich die Referenz-Nachhallzeit $T_{s,ref}$ nach

$$T_{s,ref} = \frac{2,2}{\eta_{\min} \cdot f} \quad [\text{s}]. \quad (8.5)$$

8.1.2 Bezug des Norm-Trittschallpegels auf einen Referenzwert

Die Decken in den Prüfständen sind zwischen 140 mm und 180 mm stark. Die Abhängigkeit des Norm-Trittschallpegels als Funktion der flächenbezogenen Masse konnte mit diesem begrenzten Messwertkollektiv nicht ermittelt werden. Die in der DIN EN 12354-2 [10] angegebene Steigung mit $35 \log(m')$, die auch in der Literatur immer wieder genannt wird, wird deshalb als fest angenommen. Um einen zuverlässigen Mittelwert über alle Prüfstände zu ermitteln, wurden alle Prüfstandsdecken auf eine 140 mm starke, 322 kg/m^2 schwere „Referenzdecke“ ($0.14 \text{ m} \cdot 2300 \text{ kg/m}^2$) bezogen

$$L_{n322} = L_{n\text{Prüfs tan dsdecke}} + 35 \cdot \log\left(\frac{m'}{322}\right) \quad [\text{dB}]. \quad (8.6)$$

Die daraus sich ergebenden frequenzabhängigen Pegel wurden energetisch gemittelt. Diese frequenzabhängigen Werte des Norm-Trittschallpegel werden nach DIN EN ISO 717-2 [14] in einen äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegel umgerechnet.

8.2 Ergebnisse der Untersuchung zum $L_{n,w,eq}$

Dieser äquivalente bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,w,eq,322}$ ergibt unter Berücksichtigung der Relevanzkategorien im Mittel der Messwerte der Prüfstandsdecken folgende Werte (Spalte 4):

Relevanz	Flankierende Übertragung	Bezug auf Körperschall-nachhallzeit	Äquivalenter bewerteter Norm Trittschallpegel einer $m'=322 \text{ kg/m}^2$ schweren Decke $L_{n,w,eq,322} \text{ [dB]}$
hoch	nein	ja	75
mittel	nein	Nein	76
niedrig	ja	Nein	77

Tabelle 8.2: Äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel von Massivdecken (Prüfstandsdecken) gruppiert in Relevanzkategorien

Für den äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegel $L_{n,w,eq}$ einer Decke ergibt sich damit folgende Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse:

Relevanz	Flankierende Übertragung	Bezug auf Körperschall-nachhallzeit	Berechnungsgleichung $L_{n,w,eq}=x-35*\log m'/m'_0 \text{ [dB]}$
hoch	nein	ja	$163-35*\log(m'/m'_0)$
mittel	nein	Nein	$164-35*\log(m'/m'_0)$
niedrig	ja	Nein	$165-35*\log(m'/m'_0)$
DIN EN 12354-2			$164-35*\log(m'/m'_0)$

Tabelle 8.3: Berechnungsgleichungen zum äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegel von Massivdecken (Prüfstandsdecken) gruppiert in Relevanzkategorien

Die Berechnungsgleichung ohne flankierende Übertragung und einheitlichen Bezug der Energieableitung (Relevanzkategorie „hoch“) ergibt gegenüber DIN EN 12354-2 [10] eine um 1 dB verschobene Kurve. Der äquivalente bewertete Trittschallpegel wird nach DIN EN 12354-2 um 1 dB geringer prognostiziert.

Bei einem Prüfstand mit bauähnlicher Flankenübertragung nach der früher gültigen DIN 52210 [20] (Relevanzkategorie „niedrig“) wird ein 2 dB höherer äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel im Vergleich zu einem Prüfstand

ohne Flankenübertragung (mit Bezug auf die Energieableitung) prognostiziert. Die $L_{n,w,eq}$ bei Prüfungen in Prüfständen ohne flankierende Übertragung und ohne Bezug auf die Körperschallnachhallzeit (Relevanzkategorie „mittel“) entspricht der Berechnung nach DIN EN 12354-2.

Aufgrund der schweren Flanken in einem Prüfstand nach DIN 52210 zeigt sich ein geringer Einfluss der Flankenübertragung. Daher ist es nicht verwunderlich, dass die Werte aus DIN 4109 Beiblatt 1 [8] Tabelle 16 mit den Werten DIN EN 12354-2 [10] übereinstimmen.

Der äquivalente bewertete Norm-Trittschallpegel einer homogenen massiven Deckenkonstruktion kann aus der flächenbezogenen Masse nach Anhang B2 der DIN EN 12354-2 [10] wie folgt berechnet werden $L_{n,w,eq} = 164dB - 35 \cdot \log\left(\frac{m'}{m'_0}\right)$. Bei der Berechnung nach Anhang B.2 der DIN EN 12354-2 und DIN 4109 Beiblatt 1 [8] Tabelle 16 ergeben sich keine Unterschiede in den Werten zum $L_{n,w,eq}$. Für Prüfungen sollte analog zur derzeit gültigen DIN 4109 beim äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegel gemäß Anhang B.2 kein Abschlag (Abschnitt 6.4.1 der DIN 4109) vorgesehen werden.

9 Bewertetes Trittschallverbesserungsmaß

Um die Anforderung an den Trittschallschutz im Mehrgeschosswohnungsbau einzuhalten, wird auf die tragende Konstruktion (Decke) ein Estrich auf Dämmschicht (genannt schwimmender Estrich) verlegt. Dabei ist die Dämmplatte die körperschallisolierende elastische Schicht, die Estrichplatte die Masse. Schwimmende Estriche nach DIN 18560-2 [26] gehören schalltechnisch in den Bereich der Vorsatzschalen und verbessern neben der Trittschalldämmung auch die Luftschalldämmung.

Die Trittschallverbesserung eines schwimmenden Estrichs wird charakterisiert durch das Trittschallverbesserungsmaß ΔL . ΔL wird bestimmt durch die dynamische Steifigkeit des Trittschalldämmstoffes s' und der flächenbezogene Masse m' der Estrichplatte. Je geringer die dynamische Steifigkeit eines Dämmstoffes und je schwerer die Estrichplatte desto höher ist das Dämmvermögen. Das Dämmvermögen eines Estrichs ist stark abhängig von der Qualität der handwerklichen Ausführung. Mangelhafte Bauausführung führt zu Schallbrücken zwischen Estrich und Rohdecke und Randschallbrücken zwischen Estrich und Wand. Schon eine kleine Schallbrücke kann eine Verminderung der Trittschallverbesserung von 5 bis 8 dB zur Folge haben [36].

Doppel- und Hohlräumböden gehören schalltechnisch ebenfalls in den Bereich der Bodenbeläge und verbessern hauptsächlich die Trittschalldämmung. Diese Art von Bodenaufbau wird in Abschnitt 9.4 diskutiert.

9.1 Trittschallverbesserung eines schwimmenden Estrichs

Die Trittschallverbesserung eines Estrichs auf Dämmschicht wird gemäß der Theorie der unendlichen Platte [19] oberhalb der Resonanzfrequenz f_0 frequenzabhängig mit

$$\Delta L = 40 \cdot \log\left(\frac{f}{f_0}\right) \quad [\text{dB}]. \quad (9.1)$$

berechnet.

Die Resonanzfrequenz f_0 eines Systems ergibt sich aus der dynamischen Steifigkeit s' des Dämmmaterials und der flächenbezogenen Masse m' der Estrichplatte mit

$$f_0 = 160 \cdot \sqrt{\frac{s'}{m'}} \quad [\text{dB}]. \quad (9.2)$$

In DIN EN 12354-2 [10] wird bei der Bestimmung des Trittschallverbesserungsmaßes ΔL unterschieden zwischen schwimmend verlegten Zement- und Calciumsulfatestriche und schwimmend verlegten Gussasphalt- und Trockenestrichen. Ohne Quellenangabe wird in DIN EN 12354-2 auf experimentell ermittelte Daten verwiesen, die für Zement- und Calciumsulfatestriche unter üblichen Baubedingungen ein Trittschallverbesserungsmaß von

$$\Delta L = 30 \cdot \log\left(\frac{f}{f_0}\right) \quad [\text{dB}]. \quad (9.3)$$

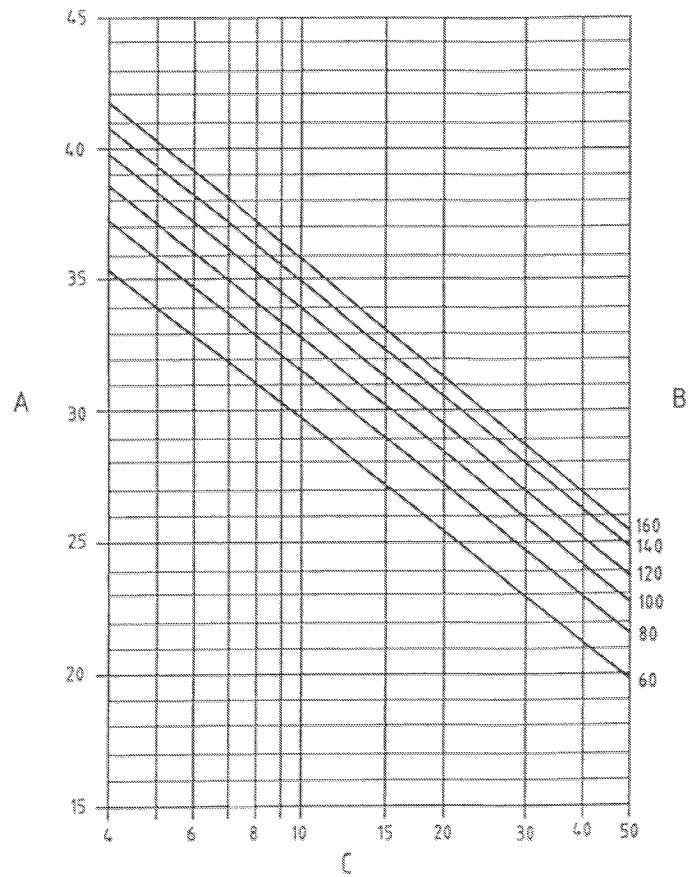
angeben.

Für Gussasphalt- und Trockenestrichen soll aufgrund des höheren inneren Verlustfaktors mit

$$\Delta L = 40 \cdot \log\left(\frac{f}{f_0}\right) \quad [\text{dB}]. \quad (9.4)$$

gerechnet werden.

Eine Bestimmung von Einzahlangaben der Trittschallminderung von Estrichkonstruktionen ist nach dem informativen Anhang C 2 der DIN EN 12354-2 möglich. Diese Einzahlwerte können im vereinfachten Modell zur Berechnung des Trittschallschutzes verwendet werden. Dabei wird in zwei Graphen unterschieden zwischen schwimmend verlegten Zement- und Calciumsulfatestrichen und schwimmend verlegten Gussasphalt- und Trockenestrichen. Die Einzahlwerte werden in Abhängigkeit von der dynamischen Steifigkeit s' und der flächenbezogenen Masse m' der Estrichplatte abgelesen. Die dynamische Steifigkeit der Trittschalldämmung soll laut Anhang C nach DIN EN 29052-1 [27] ermittelt werden.



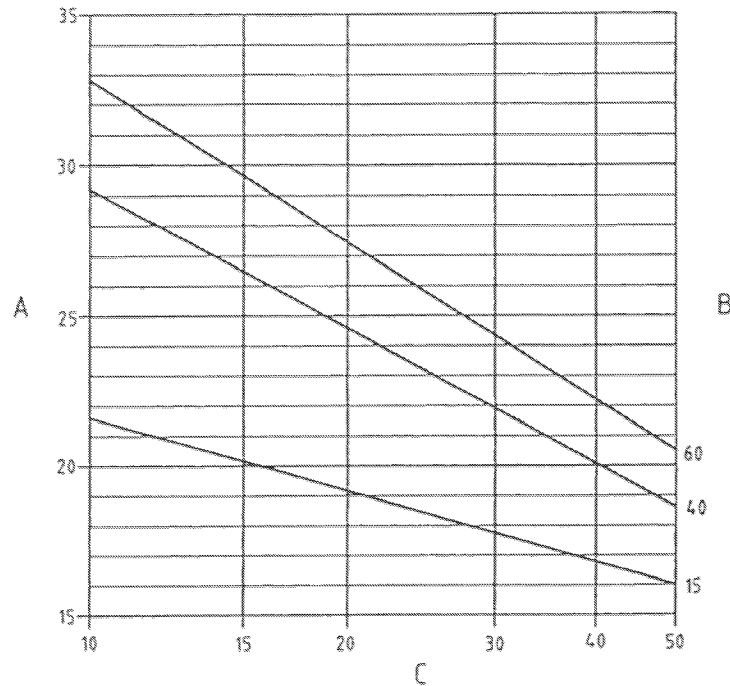
Legende:

A: bewertete Trittschallminderung ΔL_w [dB]

B: flächenbezogene Masse der Estrichplatte m' [kg/m^2]

C: flächenbezogene dynamische Steifigkeit s' der Dämmschicht [MN/m^3]

Bild 9.1: Bewertete Trittschallminderung für schwimmend verlegte Estriche aus Zement oder Calciumsulfat. Dieses Bild stammt aus dem informativen Anhang C.2 der DIN EN 12354-2 - dort bezeichnet mit Bild C.1.



Legende:

A: bewertete Trittschallminderung ΔL_w [dB]

B: flächenbezogene Masse der Estrichplatte m' [kg/m²]

C: flächenbezogene dynamische Steifigkeit s' der Dämmschicht [MN/m³]

Bild 9.2: Bewertete Trittschallminderung für schwimmend verlegte Gussasphaltestriche oder schwimmend verlegte Trockenestrichkonstruktionen. Dieses Bild stammt aus dem informativen Anhang C.2 der DIN EN 12354-2 – dort bezeichnet mit Bild C.2

Anmerkung: DIN EN 12354-2 macht keine Aussage darüber, ob Zwischenwerte in den Bild 9.1 und Bild 9.2 interpoliert werden sollen/dürfen.

In Bild 9.1 und Bild 9.2 wird deutlich, je schwerer die Estrichplatte und je geringer die dynamische Steifigkeit der Trittschalldämmplatte, desto grösser ist das bewertete Trittschallverbesserungsmaß. Die Werte in den Bildern sind laut DIN EN 12354-2 [10] Anhang C anzuwenden, wenn „jede Dämmschicht die gesamte Fläche des Fussbodens ohne Trenn- oder Schnittstellen z.B. durch Heizungsrohre oder Wasserleitungsrohre, elektrische Einrichtungen usw. bedeckt.“ Diese Aussage ist missverständlich, da in gängigen Estrichkonstruktionen Installationsleitungen in der Regel in einer Wärmedämmschichtebene verlegt sind. Werden jedoch Rohrleitungen in der Trittschalldämmschicht verlegt, so sind diese durch geeignete Massnahmen (Ummantelung der Rohre mit Dämmmaterial) schalltechnisch von der Decke als auch von der Estrichplatte zu entkoppeln. Eine akustisch wirksame Trittschalldämmschicht muss gewährleistet sein.

Die Verhältnisse in Bild 9.1 und Bild 9.2 können durch eine Zahlengleichung ersetzt werden. Dies führt zu einer einfacheren Handhabung durch Wegfall der Interpolation der Zwischenwerte und Ungenauigkeiten beim Ablesen der Werte. Ebenfalls kann eine Berechnung alternativ den Bildern Bild 9.1 und Bild 9.2 in einem Rechenprogramm ermöglicht werden. Folgende Zahlengleichungen wurden mittels einer Regressionsanalyse ermittelt.

Für Zement- und Calciumsulfatestriche

$$\Delta L_w = 13 \cdot \log(m') - 14.2 \cdot \log(s') + 20.8 \quad [\text{dB}]. \quad (9.5)$$

Für Gussasphaltestriche oder trocken verlegte Fußbodenkonstruktionen

$$\Delta L_w = (-0.21 \cdot m' - 5.45) \cdot \log(s') + 0.46 \cdot m' + 23.8 \quad [\text{dB}]. \quad (9.6)$$

wobei m' die flächenbezogene Masse [kg/m^2] der Estrichplatte und s' die dynamische Steifigkeit [MN/m^3] der Trittschalldämmplatte ist.

Bei Zement- oder Calciumsulfatestrichen treten maximale Abweichungen zwischen der Zahlengleichung und der Tabelle (wobei Ablese-Ungenauigkeiten bei den Tabellenwerten auftreten) von ± 0.1 dB auf, -0.5 dB bis $+0.9$ dB bei Gussasphaltestrichen oder trocken verlegten Fußbodenkonstruktionen.

Die DIN EN 12354-2 [10] macht im normativen Teil sowie auch in dem Anhang C zum Trittschallverbesserungsmaß keine Aussagen darüber, welche Art von Dämmmaterialien verwendet werden bzw. für welche Art von Dämmmaterialien Bild 9.1 und Bild 9.2 gelten sollen. Auch für die Art der Estriche werden keine normativen Angaben unternommen. Dagegen definiert die derzeit gültige DIN 4109 (1989) in ihrem Beiblatt 1 [8] in Tabelle 16 zum Trittschallverbesserungsmaß die Art der Dämmschichten und der Estriche wie folgt: „Dämmschichten aus Dämmstoffen DIN 18164 Teil 2 [28] oder DIN 18165 Teil 2“ [29]. „Gussasphaltestriche“ ... oder „Estriche nach DIN 18560 Teil 2“ [26].

In der neuen DIN 4109 sollten die Dämmstoffe und Estriche durch einen Normenverweis gekennzeichnet werden.

9.2 Prognose der Trittschallverbesserung nach DIN EN 12354-2 u. DIN 4109

Die Berechnung des Trittschallverbesserungsmaßes nach der derzeit gültigen DIN 4109 Beiblatt 1 [8] sowie nach DIN EN 12354-2 [10] erfolgt in Abhängigkeit der flächenbezogenen Masse der Estrichplatte m' und der dynamischen Steifigkeit des Trittschalldämmstoffes s' . In DIN 4109 Beiblatt 1 werden in Tabelle 17 bewertete Trittschallverbesserungsmaße für Unterböden aus Holzspanplatten sowie von weichfedernden Bodenbelägen angegeben. Diese Rechenwerte setzen eine flächenbezogene Masse bei Zement- und Calciumsulafestriche von $m' \geq 70 \text{ kg/m}^2$, bei Gussasphaltestrichen von $m' \geq 45 \text{ kg/m}^2$ voraus. Die unterschiedlichen Steifigkeiten der Dämmschicht werden durch Steifigkeitsgruppen berücksichtigt. Das Trittschallverbesserungsmaß ist nach DIN 4109 Beiblatt 1 auf 30 dB (Zement- und Calciumsulfatestriche) bzw. 29 dB (Gussasphaltestriche) begrenzt. In DIN EN 12354-2 Anhang C Bild C.1 und C.2 dagegen kann das Trittschallverbesserungsmaß für unterschiedliche flächenbezogene Massen der Estrichplatte und unterschiedliche Steifigkeiten der Dämmschicht bestimmt werden. Das Trittschallverbesserungsmaß ist dabei als kontinuierlich steigende Gerade angegeben. Die Steifigkeit der Dämmschicht ist nicht in Steifigkeitsgruppen angegeben.

Das folgende Bild zeigt eine Gegenüberstellung der Berechnung des bewerteten Trittschallverbesserungsmaßes ΔL_w nach DIN 4109 Beiblatt 1 [8] und nach DIN EN 12354-2 [10] berechnet für eine $m' = 70 \text{ kg}$ schwere Zement- oder Calciumsulafestrichplatte und eine 45 kg/m^2 schwere Gussasphaltestrichplatte in Abhängigkeit der dynamischen Steifigkeit s' .

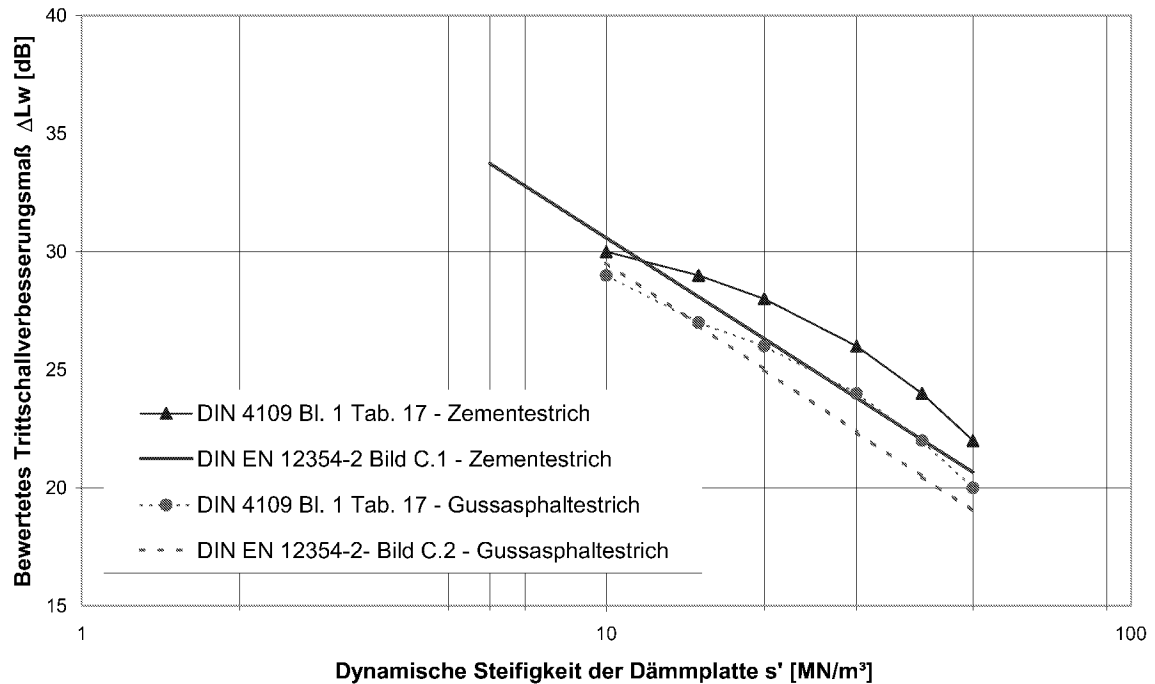


Bild 9.3: Bewertetes Trittschallverbesserungsmaß ΔL_w in Abhängigkeit der dynamischen Steifigkeit des Trittschalldämmstoffes prognostiziert nach DIN 4109 Beiblatt 1 und DIN EN 12354-2 Anhang C. (Zementestrich $m' = 70 \text{ kg/m}^2$, Gussasphaltestrich 45 kg/m^2)

Gegenüber DIN 4109 Beiblatt 1 liegen bei der DIN EN 12354-2 Anhang C für Zement- und Calciumsulfatestriche die Trittschallverbesserungsmaße im Mittel um 1,5 dB niedriger. Für Gussasphalt- und Trockenestriche wird nach DIN EN 12354-2 gegenüber DIN 4109 Beiblatt 1 im Mittel ein um 1 dB niedrigeres Trittschallverbesserungsmaß errechnet.

Die Rechenwerte des Trittschallverbesserungsmaßes für heute bauübliche schwimmende Estriche mit Zementestrichplatten von $m' = 100 \text{ kg/m}^2$ und Gussasphaltestrichplatten von $m' = 60 \text{ kg/m}^2$ weisen nach DIN EN 12354-2 Anhang C höhere Werte auf. Werden diese Rechenwerte nach DIN EN 12354-2 Anhang C mit den Werten nach DIN 4109 Beiblatt 1 verglichen, liegen die Ergebnisse beider Berechnungsvarianten in der gleichen Größenordnung und zeigen nur sehr geringe Abweichungen.

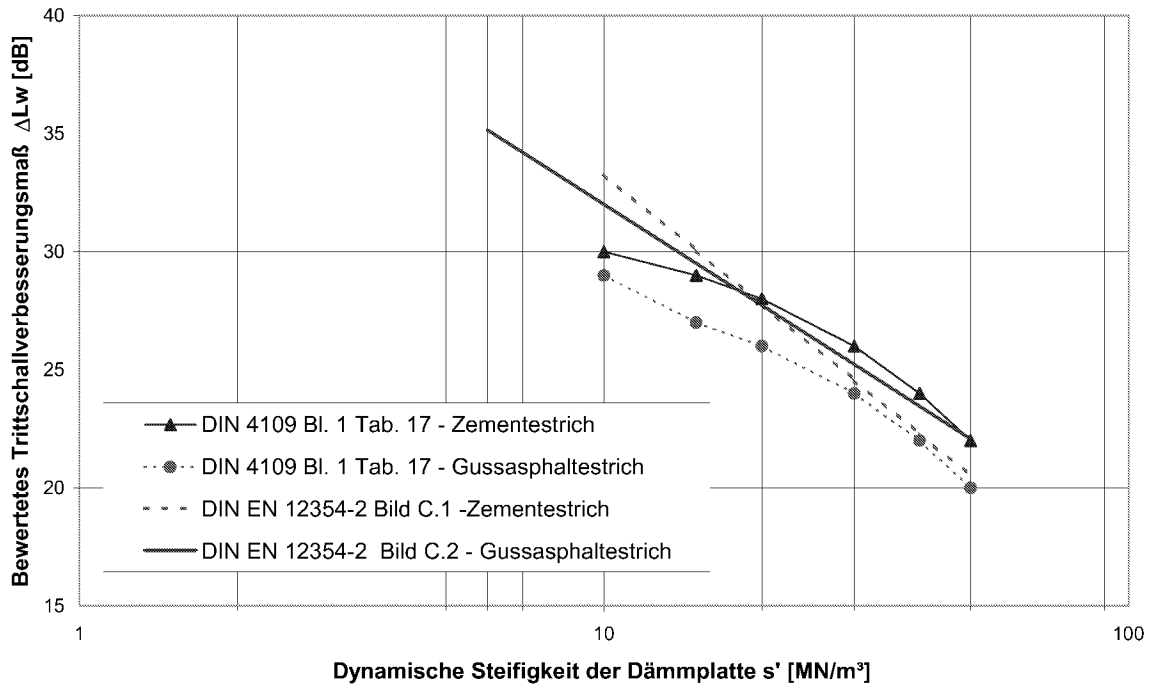


Bild 9.4: Bewertetes Trittschallverbesserungsmaß ΔL_w in Abhängigkeit der dynamischen Steifigkeit des Trittschalldämmstoffes prognostiziert nach DIN 4109 Beiblatt 1 und DIN EN 12354-2 Anhang C. (Zementestrich $m' = 100 \text{ kg/m}^2$, Gussasphaltestrich 60 kg/m^2)

Die Rechenwerte für das bewertete Trittschallverbesserungsmaß ΔL_w von bauüblichen schwimmend verlegten Estrichen errechnen sich nach DIN 4109 Beiblatt 1 und DIN EN 12354-2 Anhang C in der gleichen Größenordnung mit nur sehr geringen Abweichungen. Dies gilt für schwimmend verlegte Zement- und Calciumsulfatestriche sowie auch für schwimmend verlegte Gussasphalt- und Trockenestrichen wenn für die Berechnung nach DIN EN 12354-2 von heute üblichen Massen der Estrichplatten ausgegangen wird. DIN 4109 dagegen rechnet für eine minimale Last, da bei den Werten in Tabelle 17 von Estrichplatten mit $m' = 70 \text{ kg/m}^2$ (Zement- und Calciumsulfatestriche) bzw. 45 kg/m^2 (Gussasphaltestriche) ausgegangen wird.

Werden Prüfwerte aus dem Labor verwendet, so sind diese Prüfwerte gemäß Abschnitt 6.4.1 der derzeit gültigen DIN 4109 um 2 dB abzumindern, um sie als Rechenwerte anzuwenden.

9.3 Trittschallverbesserungsmaß nach DIN EN 12354-2

Der Einzahlwert des Trittschallverbesserungsmaßes nach Anhang C 2 der DIN EN 12354-2 [10] (Bild 9.1 und Bild 9.2) sollen mit gängig verwendeten Trittschalldämmprodukte namhafter Hersteller im Mehrgeschoss-Wohnungsbau abgeglichen werden.

Gängig verwendete Trittschalldämmplatten im Mehrgeschoss-Wohnungsbau sind Dämmstoffe aus Schaumkunststoffe nach DIN 18164-2 [28] wie expandiertes Polystyrol EPS, Dämmstoffe aus Faserdämmstoffe nach DIN 18165-2 [29] wie Glaswolle und Steinwolle und Holzfaserdämmstoffe nach DIN 68755-2 [30].

Im Bereich der Wärme- und Trittschalldämmprodukte wurde die DIN 18165-2 [29] und DIN 18164-2 [28] überarbeitet. Hauptveränderungen aus akustischer Sicht waren die Einführung der Steifigkeitsgruppe 7 mit der Anforderung an den Mittelwert der dynamischen Steifigkeit s' von $\leq 7 \text{ MN/m}^3$. Bei EPS-Dammmaterialien wurde die Steifigkeitsgruppe 40 und 50 neu eingeführt.

Zur Überprüfung der Einzahlwerte des Trittschallverbesserungsmaßes in DIN EN 12354-2 [10], wurden namhafte Firmen angeschrieben und Prüfzeugnisse mit Datenblätter ihrer angebotenen Trittschalldämmprodukte angefordert. Dabei fanden Prüfzeugnisse von Trittschalldämmprodukten unter Trocken- und Nassestrichen auf massiven Decken im massiven Mehrgeschoss-Wohnungsbau Verwendung. Eine Zusammenstellung der Materialdaten und Prüfzeugnisse ist im Anhang A 3.2 zu finden.

Ein Problem bei der Zusammenstellung der Prüfdaten war, dass viele Firmen keine Prüfzeugnisse ihrer Trittschalldämmprodukte zur Verfügung stellen konnten bzw. bereit waren welche zur Verfügung zu stellen. Solche Firmen vermeiden vermutlich den Kostenaufwand einer Prüfung ihrer Trittschalldämmprodukte im Prüfstand. Eine messtechnische Ermittlung der dynamischen Steifigkeit nach DIN EN 29052-1 [27] ist für den Schallschutznachweis ausreichend, da anhand dieser Größe das Trittschallverbesserungsmaß nach DIN 4109 Bl. 1 (1989) Tabelle 17 bestimmt werden kann. Deshalb kann auf den kostspieligen Einbau der Trittschalldämmplatten mit schwimmendem Estrich verzichtet werden.

Der Abgleich zwischen Prüfwerte und Angaben der DIN EN 12354-2 sind in den folgenden Abschnitten erklärt. Dabei wird in den Ergebnisse unterschieden zwischen Zement- und Calciumsulfatestriche und Gussasphalt- und Trockenestriche. Prüfwerte von Estrichen mit Dämmmaterialien wie Mineralwolle, Polystyrol und Holzweichfaser standen zu Verfügung.

9.3.1 Zement- und Calciumsulfatestriche

Bei der Untersuchung von Zement- und Calciumsulfatestrichen wird unterschieden zwischen Labor- und Baumesungen. Bild C 1 im Anhang C der DIN EN 12354-2 [10] gibt informative Werte für das bewertete Trittschallverbesserungsmaß von Zement- und Calciumsulfatestriche an.

9.3.1.1 Labormessungen

Im Folgenden ist die Differenz des bewerteten Trittschallverbesserungsmaßes zwischen Prüfwert ΔL_{WP} im Labor und Eingangsdaten aus dem informativen Anhang C der DIN EN 12354-2 dargestellt. Eine positive Abweichung bedeuten ein höheres bewertetes Trittschallverbesserungsmaß der Estrichkonstruktion im Gegensatz zu dem Wert aus dem Anhang C. Zur Untersuchung lagen Trittschalldämmmaterialien aus Mineralwolle (10 Prüfwerte) und Holzweichfaser (1 Prüfwert) vor.

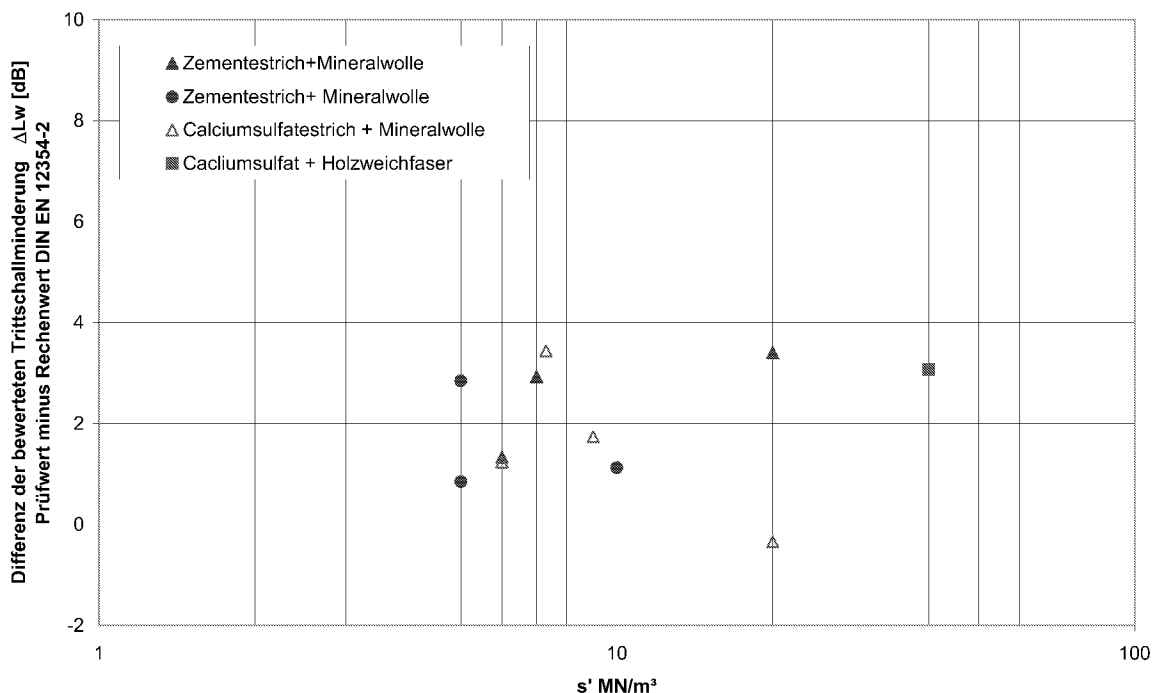


Bild 9.5: Differenz des bewerteten Trittschallverbesserungsmaßes ΔL_w für Zement- und Calciumsulfatestriche zwischen Prüfwert im Labor und Eingangsdaten aus Anhang C nach DIN EN 12354-2 - Die Werte der Trittschalldämmprodukte der Firma Saint-Gobain Isover G+H AG sind als Dreiecke dargestellt.

Bei Zement- und Calciumsulfatestrichen wird bei einer Prüfung im schalltechnischen Prüflabor ein im Mittel um 2.4 dB höheres

Trittschallverbesserungsmaß als nach Werten aus Anhang C erreicht. Die Standardabweichung der Prüfung im Labor ist mit 1.2 dB errechnet. Dies zeigt eine geringe Streuung.

Für gängig verwendete Polystyrolämmmaterialien standen keine Werte zur Verfügung. Es können keine Aussagen gemacht werden.

9.3.1.2 Baumessungen

Bei eingebauten Estrichkonstruktionen in massiven Mehrgeschoss-Wohnungsbauten konnte das Trittschallverbesserungsmaß der Dämmschicht ebenfalls bestimmt werden. Dazu wurde innerhalb eines Forschungsvorhabens an der Hochschule für Technik [2,3,4,5] in sieben vertikalen Übertragungssituationen der Norm-Trittschallpegel L_n der Stahlbetonrohdecke mit eingebautem Zement- oder Gussasphaltestrich messtechnisch (Schnellepegel) bestimmt. Der Norm-Trittschallpegel L_n der Rohdecke ohne Deckenauflage wurde nach dem detaillierten Modell der DIN EN 12354-2 [10] errechnet und das Trittschallverbesserungsmaß aus der Differenz des errechneten L_n und des gemessenen Schnellepegels der Decke mit Estrich bestimmt. Dieses ΔL_w wurde auf die Bezugsdecke nach DIN EN ISO 717-2 [14] gelegt und folglich der Einzahlwert bestimmt. In den sieben Fällen waren in 5 Fällen die Trittschalldämmstoffen aus Mineralwolle und in 2 Fällen aus Polystyrol.

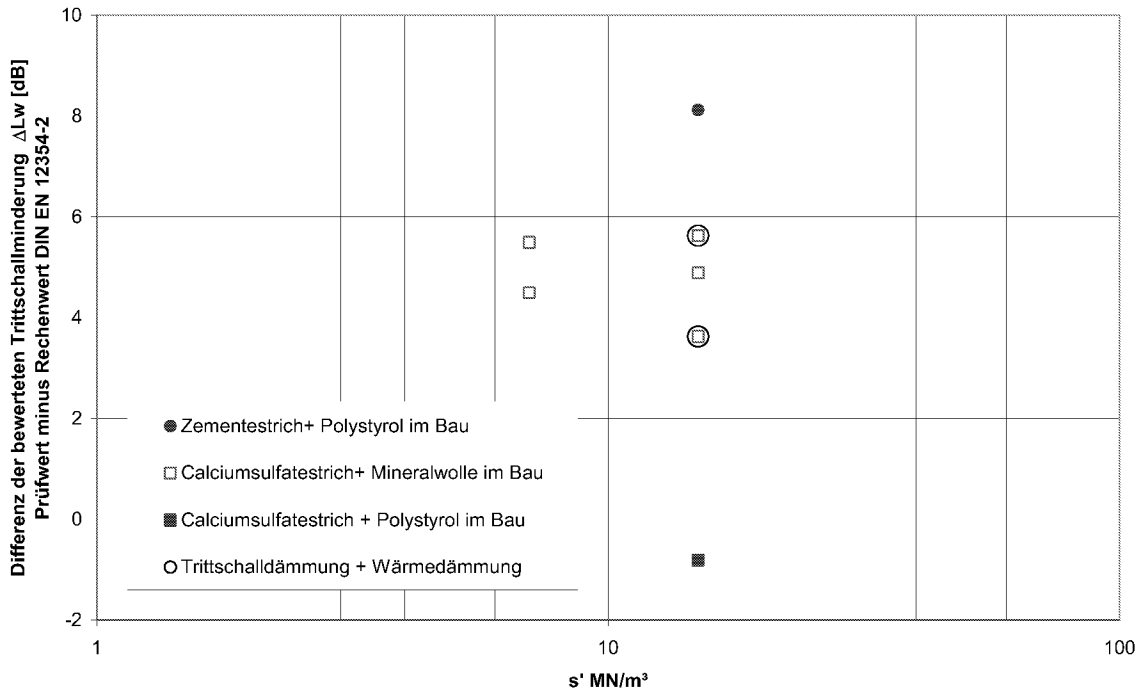


Bild 9.6: Differenz des bewerteten Trittschallverbesserungsmaßes ΔL_w für Zement- und Calciumsulfatestriche zwischen Prüfwert im Bau und Eingangsdaten Anhang C nach DIN EN 12354-2

Bei den Estrichkonstruktionen in Bauwerken wird das Trittschallverbesserungsmaß gemäß Anhang C der DIN EN 12354-2 im Mittel um 4.5 dB niedriger prognostiziert gegenüber den Werten in Bauwerken. Eine Standardabweichung der Differenz zwischen Prüfwert und Wert nach Anhang C von 2.7 dB wurde errechnet. Die Baumessungen zeigen eine weitaus breitere Streuung, als die Labormessungen. Dies deutet auf eine weitaus breitere Streuung der handwerklichen Ausführung im Bau zurück. Unsicherheiten bei der Angabe der Steifigkeitsgruppen der Trittschalldämmstoffe von Seiten der Bauleitung können ebenfalls als einen Grund für den breiten Streubereich genannt werden.

Gegen die Erwartung fallen die Trittschallverbesserungsmaße bei gleicher dynamischer Steifigkeit s' und flächenbezogenen Masse m' der Estrichplatte im Bau höher aus, als bei den Laboruntersuchungen im Abschnitt zuvor. Begründet könnte dies in den unterschiedlichen Energieverlusten zu den flankierenden Bauteilen in-situ gegenüber den in Prüflaboren sein. Ein weitere mögliche Erklärung könnte die Verwendung einer zusätzlichen Wärmedämmschicht unter der Trittschalldämmschicht sein. In zwei der untersuchten Fällen war eine Wärmedämmschicht unter der Trittschalldämmschicht eingebaut worden (Werte im Diagramm mit Kreise gekennzeichnet). Diese Wärmedämmschicht führt zu einer Verringerung der dynamischen Steifigkeit s' der Dämmebene. Möglicherweise kann es auch durch eine grössere Unebenheit der Oberfläche der Rohdecke in Bauwerken gegenüber den Oberflächen der Prüfstandsdecken zu

einer Verminderung der Steifigkeit der Trittschalldämmschicht durch die Kontaktsteife kommen. Die endgültige Ursache für dieses Ergebnis konnte im Rahmen diese Vorhabens nicht endgültig geklärt werden.

Diese Untersuchungen lassen vermuten, dass in Bauwerken eine fehlerfreie Ausführung des schwimmenden Estrichs möglich sein kann und dadurch Prüfstandswerte erreicht werden können.

9.3.2 Gussasphalt- und Trockenestriche

Bei Gussasphalt- und Trockenestrichen wird nur auf Prüfwerte aus dem Labor zurück gegriffen. Baumessungen lagen dazu nicht vor. Die verwendeten Trittschalldämmstoffe waren aus Mineralwolle (11 Prüfwerte) und aus Holzweichfaser (8 Fälle).

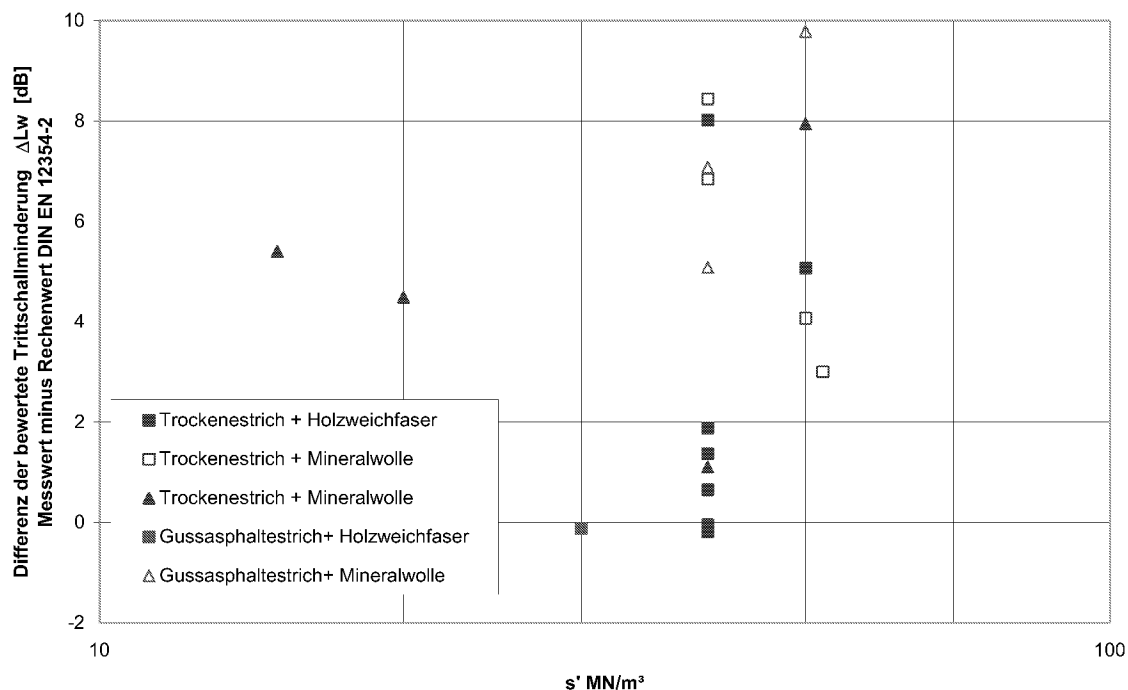


Bild 9.7: Differenz der Trittschallverbesserung für Gussasphalt- und Trockenestriche zwischen Prüfwert im Labor und Eingangsdaten im Anhang C der DIN EN 12354-2. Die Werte der Trittschalldämmprodukte der Firma Saint-Gobain Isover G+H AG sind als Dreiecke dargestellt.

Im Mittel liegt der Prüfwert um 4.2 dB höher gegenüber den Angaben im Anhang C. Die Standardabweichung der Differenz zwischen Prüfwert und Wert nach Anhang C beträgt 3.2 dB. Die Streuung bei dieser Art von Estrich liegt höher als bei den Zement- und Calciumsulfatestrichen. Die Streuung von 10 dB könnte in Materialeigenschaften wie z.B. unterschiedliche Verlustfaktoren des Materials

der Estrichplatten (Spanplatten, Gipsfaserplatten, trockene zementgebundene Estrichplatten..) und in den verschiedenen Ausführungsvarianten der Platten (Plattengröße, Verlegung der Platten 1- oder 2 lagig) begründet sein.

Das geprüfte bzw. messtechnisch ermittelte Trittschallverbesserungsmaß von verschiedenen Estrichkonstruktionen ist im allgemeinen höher, als die informativen Angaben im Anhang C der DIN EN 12354-2. Bei Gussasphalt- und Trockenestrichen wird ein um 4 dB höherer Prüfwert bestimmt, bei Zement- und Calciumsulfatestrichen ein um 2 dB höherer Wert. Eine Abhängigkeit von den Materialien der Dämmstoffe (Mineralwolle, Polystrol oder Holzweichfaserdämmstoff) im Trittschallverbesserungsmaß konnte nicht ermittelt werden. Werden auch zukünftig von den ermittelten Laborwerten 2 dB abgezogen – im Sinne der derzeit gültigen DIN 4109 (1989) Abschnitt 6.4.1 – werden für Zement- und Calciumsulfatestriche die Werte gemäß Bild C.1 im Anhang C erreicht. Bei Gussasphalt- und Trockenestrich hingegen verbleiben 2 dB Sicherheit. Aufgrund der grösseren Streuung bei Gussasphalt- und Trockenestrichen, die Standardabweichung zwischen Rechenwert und Messwert beträgt hier 2.7 dB, gegenüber einer Standardabweichung bei Zement- und Calciumsulfatestrichen von 1.2 dB, ist diese um 2 dB erhöhte Sicherheit durchaus sinnvoll.

Um Rechenwerte zu erhalten, sollte auch künftig vom Laborwerten des Trittschallverbesserungsmaßes ΔL_w 2 dB abgezogen werden. Dies sollte in die neue DIN 4109 (in Anlehnung an Abschnitt 6.4.1 der derzeit gültigen DIN 4109) eingeführt werden.

Eine Streuung der Trittschallverbesserungsmaße von bis zu 10 dB spiegelt die Schwierigkeit einer fachlich korrekten Konstruktionsausführung von schwimmend verlegten Estrichen wider.

9.4 Doppel- und Hohlräumböden

Doppel- und Hohlräumböden gehören schalltechnisch ebenfalls in den Bereich der Bodenbeläge und verbessern hauptsächlich die Trittschalldämmung. Anhang D der DIN EN 12354-2 [10] beschäftigt sich mit dem Fall, wenn die flankierende Übertragung überwiegt. In diesem Zusammenhang werden Doppel- und Hohlräumböden angesprochen.

Doppel – und Hohlräumböden finden generell in mehrgeschossigen Büro- und Geschäftshäusern Verwendung, die meist in Skelettbauweise, d.h. tragende Bauteile mit vorgesetzter leichter Gebäudehülle, ausgeführt sind. Doppel- und Hohlräumböden werden auf die massive Stahlbetondecke aufgebracht, um Installationsraum für Stromversorgung, Datenübertragung per Kabel, Klimatisierung, Wasserver- und Entsorgung usw. zu schaffen.

Im detaillierten Berechnungsmodell der DIN EN 12354-2 werden Doppel- und Hohlräumböden durch die in-situ angepasste Trittschallminderung ΔL_{wsitu} berücksichtigt. Im vereinfachten Modell werden diese nicht berücksichtigt, da das vereinfachte Verfahren bisher nur für massive Bauwerke mit schwimmend verlegten oder weichen Deckenauflagen angewendet wird. In den Anhängen der DIN EN 12354-2 werden keine Eingangsdaten für Doppel- und Hohlräumböden angegeben.

Eine Zusammenstellung der Trittschallverbesserung von Doppel- und Hohlräumböden als Eingangsdaten für einen Bauteilkatalog (gültig für allgemeine Fälle) stellt sich als relativ schwierig heraus, da auf dem Markt eine Vielzahl dieser Böden vorhanden ist. Eine Datenbank für akustische Kennwerte von Doppel- und Hohlräumböden wird im Umfang dieses Forschungsvorhabens nicht erstellt. Eingangsdaten für einen Bauteilkatalog der neuen DIN 4109 wird als weiterer Handlungsbedarf gesehen. Dies könnte in Anlehnung an die VDI- Richtlinie 3762: 1998-11 „Schalldämmung von Doppel- und Hohlräumböden“ [31] durchgeführt werden.

Die Schalldämmung von Betondecken im Skelettbau kann aufgrund der tatsächlichen Grösse der Decken deutlich über den Werten im Massivbau liegen. In wieweit „Grosse“ Decken eine Verbesserung im Trittschallschutz erhalten, ist noch zu klären.

10 Flankierende Übertragung - Korrekturwert K

Der neu eingeführte Korrekturwert K im vereinfachten CEN-Rechenverfahren soll einen Zuwachs an Genauigkeit bei der Prognose der Trittschalldämmung bringen. Eine Korrektur für die flankierende Übertragung wird angewendet, wenn die mittlere flächenbezogene Masse der flankierenden Bauteile gleich oder geringer als die flächenbezogene Masse des Trennbauteiles ist. Dieser Korrekturwert wird nach Tabelle 1, Absatz 4.3.1 im normativen Teil der DIN EN 12354-2 in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse des Trennbauteils und der mittleren flächenbezogenen Masse der flankierenden Bauteile bestimmt.

Flächenbezogene Masse des trennenden Bauteils (Decke)	Mittlere flächenbezogene Masse der homogenen flankierenden Bauteile, die nicht mit Vorsatzkonstruktionen belegt sind								
	[kg/m ²]								
[kg/m ²]	100	150	200	250	300	350	400	450	500
100	1	0	0	0	0	0	0	0	0
150	1	1	0	0	0	0	0	0	0
200	2	1	1	0	0	0	0	0	0
250	2	1	1	1	0	0	0	0	0
300	3	2	1	1	1	0	0	0	0
350	3	2	1	1	1	1	0	0	0
400	4	2	2	1	1	1	1	0	0
450	4	3	2	2	1	1	1	1	1
500	4	3	2	2	1	1	1	1	1
600	5	4	3	2	2	1	1	1	1
700	5	4	3	3	2	2	1	1	1
800	6	4	4	3	2	2	2	1	1
900	6	5	4	3	3	2	2	2	2

Tabelle 10.1: Korrekturwert K für die flankierende Übertragung aus DIN EN 12354-2 normativer Teil Abschnitt 4.3.2 – dort gekennzeichnet mit Tabelle 1

Die mittlere flächenbezogene Masse setzt sich zusammen aus der Summe der flächenbezogenen Massen aller Flanken dividiert durch die Anzahl der berücksichtigten Flanken. Definiert als flankierende Bauteile sind Wände die nicht mit einer Vorsatzschale (Resonanzfrequenz $f_0 < 125$ Hz) belegt sind und kraftschlüssig mit dem trennenden Bauteil verbunden sind.

In den Untersuchungen in Abschnitt 13.2 wird in gängigen deutschen massiven Mehrfamilienwohnbauten (trennende Decke: $m' = 350 \text{ kg/m}^2 - 500 \text{ kg/m}^2$; flankierende Bauteile $m' = 100 \text{ kg/m}^2 - 400 \text{ kg/m}^2$) ein Korrekturwert nach Tabelle 10.1 zwischen 1 dB und 5 dB ermittelt. $K = 1 \text{ dB}$ erhält man, wenn die mittlere flächenbezogene Masse der flankierenden Bauteile geringfügig leichter ist als diese der trennenden Decke, 5 dB wenn die flankierenden Bauteile um das 5-fache leichter sind.

Mittels Regressionsanalyse wurde eine Gleichung ermittelt, welche die Korrekturwerte in Tabelle 10.1 ersetzen könnte. Dies führt zu einer einfacheren Handhabung bei der Bestimmung von K durch Wegfall der Interpolation der Zwischenwerte. Ebenfalls kann eine Berechnung alternativ zur Tabelle in einem Rechenprogramm ermöglicht werden. Folgende Zahlengleichungen wurde mittels einer Regressionsanalyse ermittelt.

$$K_{Tab.1-12354-2} = 0.6 + 5.5 \cdot \lg\left(\frac{m'_{Trenn}}{m'_{Flanken_mittel}}\right) \quad [\text{dB}] \quad \text{für } m'_{Flanken_mittel} \leq m'_{Trenn} \quad (10.1)$$

wobei $m'_{Trennbauteil}$ die flächenbezogene Masse des Trennbauteils ist und $m'_{Flanken_mittel}$ die mittlere flächenbezogene Masse der flankierenden Bauteile in kg/m^2 ist. Mittels linearer Regression über die Korrekturwerte aus Tabelle 10.1 konnte eine starke Abstufung der einzelnen Werte verhindert werden und somit eine bessere Anpassung der Gleichung (10.1) erfolgen. Gleichung (10.1) stimmt im Mittel gut mit den Korrekturwerten aus der Tabelle überein (0 dB Abweichung) bei maximalen Differenzen von $\pm 0.7 \text{ dB}$.

Der Korrekturwert K aus DIN EN 12354 Teil 2 [10] kann nach dem detaillierten Trittschallmodell unter Verwendung von bewerteten Einzahlwerten berechnet werden. Dabei wurde ein Testraum mit den Abmessungen 4 m * 4 m und verschiedenen Stoßarten (RC: Kreuzstoss, RT: T-Stoss) eingegeben. Ein Excel-Programm der Hochschule für Technik wurde verwendet.

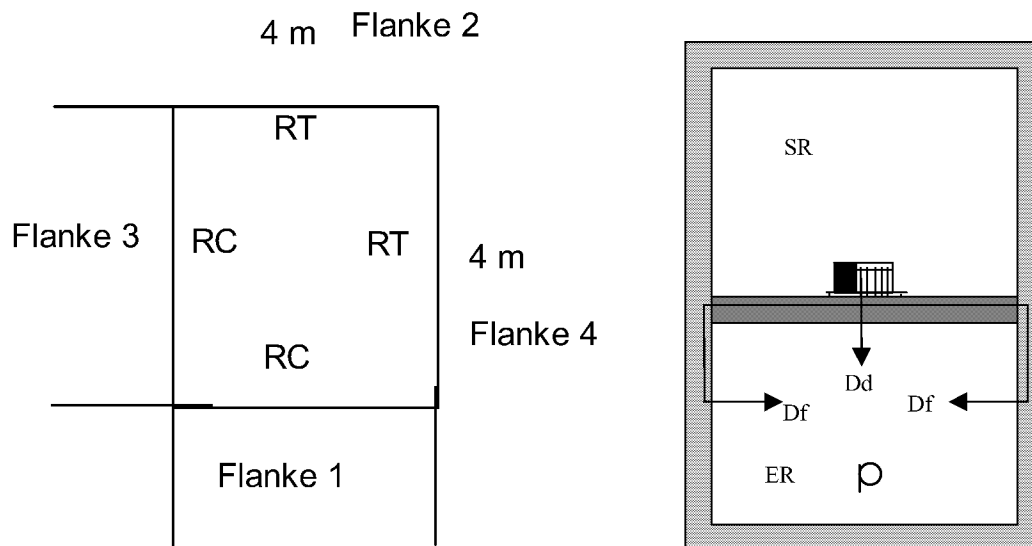


Bild 10.1: Testraum zur Eingabe in das detaillierte Modell mit Einzahlwerten der DIN EN 12354 Teil 2

Die Angaben zum bewerteten Norm-Trittschallpegel der Direktübertragung $L_{n,d,w}$ liegen der Gleichung (6.10) nach Anhang B.2 im 2. Teil der DIN EN 12354 zugrunde, die bewerteten Luftschalldämm-Maße R_w zur Berechnung des Norm-Trittschallpegel der flankierenden Übertragung $L_{n,ij}$ dem Anhang B.2 im 1. Teil (Luftschall) der DIN EN 12354 [1]. Bei Trittschallanregung sind die Wege D_d und D_f 1 bis D_f 4 an der Schallübertragung beteiligt. Wege F_f 1 bis F_f 4 werden bei reiner Trittschallanregung nicht angeregt und sind nicht berücksichtigt (siehe Bild 10.1). Für diese fünf Übertragungswege wurden die Energieanteile der Gesamtübertragung berechnet. Aus der Differenz zwischen Gesamtübertragung und flankierender Übertragung kann der Korrekturwert K berechnet werden.

Die Berechnungen wurde mit Eingangsparametern geführt, die den in Deutschland üblichen Konstruktionsweisen entsprechen. Folgende Eingangsparameter wurden verwendet:

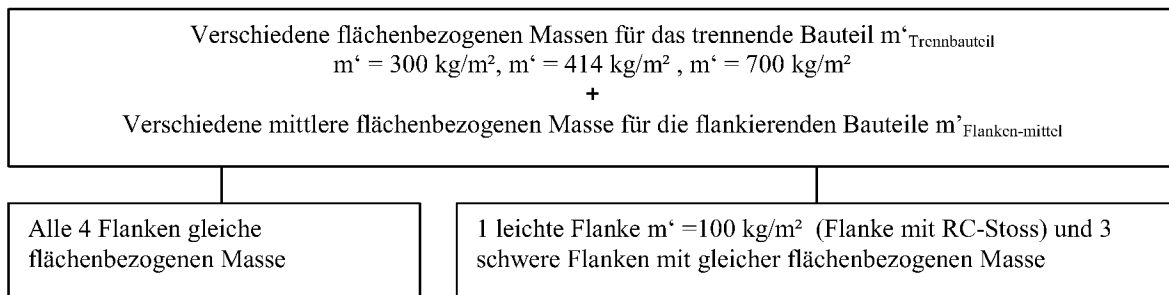


Bild 10.2: Schaubild der Eingabeparameter zur Berechnung mit bewerteten Einzahlwerten nach dem detaillierten Modell der DIN EN 12354-2

Die einzelnen Ergebnisse der unterschiedlichen Eingangsparametern wurden mittels Regressionsanalyse in eine Linie mit der Gleichung

$$K_{\text{Einzahlwerte}} = 1.39 + 3.9 \cdot \lg\left(\frac{m'_{\text{Trenn}}}{m'_{\text{Flankenmittel}}}\right) \quad \text{für } m'_{\text{Flanken-mittel}} \leq m'_{\text{Trenn}} \quad (10.2)$$

gebracht.

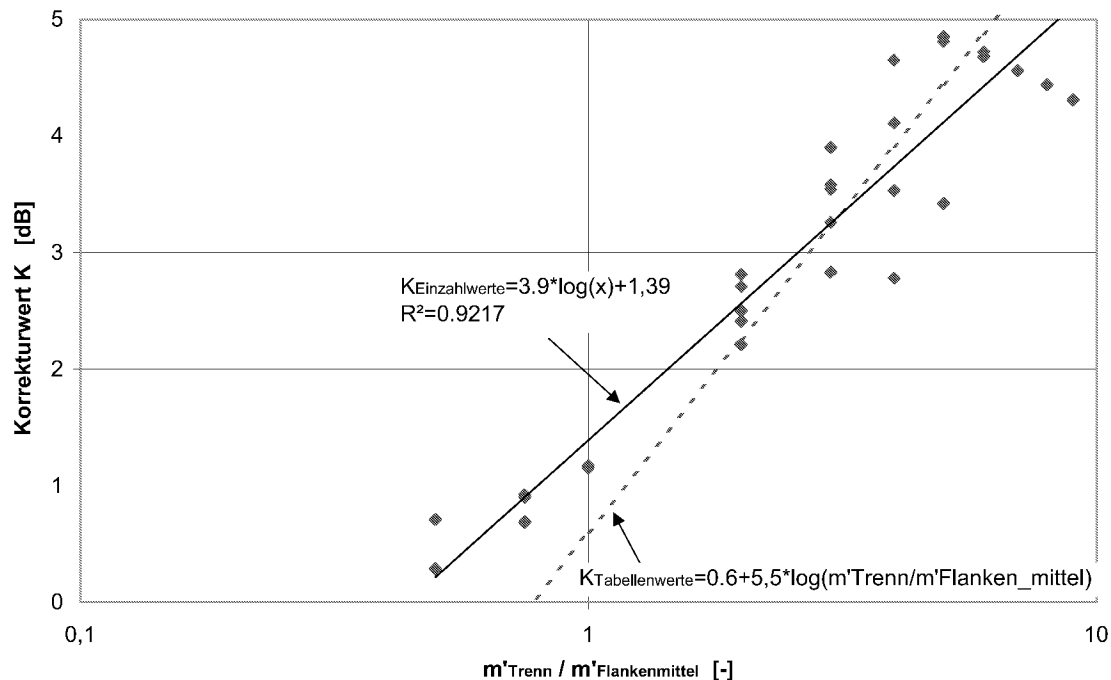


Bild 10.3: Korrekturwert K für flankierende Übertragung mit bewerteten Einzahlwerten nach dem detaillierten Modell (Regression durchgezogene Linie) und nach Tabelle 1 (gestrichelte Linie) aus Abschnitt 4.3.1 der DIN EN 12354-2.

Die Rauten zeigen die einzelnen Korrekturwerte K nach den Eingangsparametern aus Bild 10.2, die durchgezogene Linie die Regressionsgerade dazu und die gestrichelte Linie die Korrekturwerte K nach Gleichung (10.1).

Die Berechnung nach dem detaillierten Modell mit Einzahlwerten und die errechneten Korrekturwerte nach dem vereinfachten Modell sind in der gleichen Grössenordnung und zeigen nur sehr geringe Abweichungen.

Neben den Tabellenwerten der Korrekturwerte K im normativen Teil der DIN EN 12354-2 sollte eine Gleichung für die Korrekturwerte K für die flankierende angegeben werden. Dies führt zu einer einfacheren Handhabung im besonderen bei Computerprogrammen. Für die flächenbezogenen Massen

$m'_{\text{Flanken-mittel}} \leq m'_{\text{Trenn}}$ gilt $K_{\text{Tab.1-12354-2}} = 0.6 + 5.5 \cdot \lg\left(\frac{m'_{\text{Trenn}}}{m'_{\text{Flanken_mittel}}}\right)$ [dB]. Es erscheint

sinnvoll, die Tabelle für flankierende Übertragung im normativen Teil der DIN EN 12354-2 mit Kommawerten (gerundet auf 0.5 dB) anzugeben.

Die Berechnung des Korrekturwertes K mit bewerteten Einzahlwerten nach dem detaillierten Modell der DIN EN 12354-2 sind in der gleichen Grössenordnung und zeigen nur sehr geringe Abweichungen als nach dem vereinfachten Verfahren. Die Werte in Tabelle 1 sollte für die Berechnung künftig verwendet werden.

11 Vorsatzschalen und Unterdecken

Biegeeweiche Vorsatzschalen werden meist an den Wänden im Empfangsraum angebracht und verringern die flankierende Übertragung durch das Luftschallverbesserungsmaß ΔR der Vorsatzkonstruktion. Biegeeweiche Unterdecken hingegen werden an das trennende Bauteil (hier die Decke) im Empfangsraum angebracht und verbessern den Trittschallschutz. Unterdecken werden mittels eines Ständerwerk abgehängt von der Decke. Der entstehende Hohlraum kann als Raum für Kabelleitungen verwendet werden und mit Dämmstoff ausgefüllt werden. Unterdecken sowie auch Vorsatzschalen finden hauptsächlich in Verwaltungs- und Bürobauten Verwendung und seltener im Mehrgeschoss-Wohnungsbau. Trotz der seltenen Verwendung im Mehrgeschoss-Wohnungsbau wird untersucht, wie die Trittschallverbesserung von biegeweichen Unterdecken in Form von bewerteten Einzahlangaben in den Bauteilkatalog der neuen DIN 4109 mit eingebracht werden kann.

11.1 Verbesserungsmaße für Unterdecken

Die Berechnungsgleichung zur Bestimmung des bewerteten Norm-Trittschallpegels $L'_{n,w}$ nach dem vereinfachten Modell befindet sich im normativen Teil der DIN EN 12354-2 [10] und berücksichtigt die Trittschallverbesserung einer Unterdecke nicht explizit mit einem Formelzeichen. Die Formel lautet:

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K \quad [\text{dB}] \quad (11.1)$$

Es erscheint sinnvoll, die Trittschallverbesserung einer Unterdecke mit einem Korrekturwert K_{FL+UD} (Korrekturwert K_{FL+UD} für Flankenübertragung mit Unterdecke an dem trennenden Bauteil) zu berücksichtigen. Hierbei spielt die flankierende Übertragung die zentrale Rolle. Diese Tabelle soll nach Vorlage der Tabelle K (Korrekturwert K für die Flankenübertragung) entstehen. Dies hat zur Folge, dass die Berechnungsgleichung (11.1) unangetastet bleibt.

Bestimmung der Eingangsdaten für Unterdecken

Prüfwerte für das Trittschallverbesserungsmaß ΔL_d von Unterdecken von Herstellern wurde im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nicht angefordert. Aufgrund der Vielfalt und Komplexibilität der aktuell angebotenen Vorsatzschalen und Unterdecken auf dem Markt, wurde für die Untersuchung auf Literaturwerte zurückgegriffen [1,32]. Einerseits wurde auf Werte aus dem 1. Teil der DIN EN 12354 zurückgegriffen, da der 2. Teil der DIN EN 12354 bei der

Beschaffung von Eingangsdaten für Verbesserungsmaße von Vorsatzschalen auf den 1. Teil verweist. Im Teil 1 Anhang D werden Werte für das Luftschallverbesserungsmaß in Oktavbändern und Einzahlwerte für typische Vorsatzkonstruktionen angegeben. Für Vorsatzkonstruktionen hängt die Verbesserung der Schalldämmung von der Art des Grundbauteils ab an dem die Vorsatzkonstruktion angebracht ist sowie auch vom Übertragungsweg (Flanken- oder Direktübertragung). Ebenfalls wird im Anhang D Teil 1 eine Bestimmung des bewerteten Luftschallverbesserungsmaßes einer Vorsatzkonstruktion in Abhängigkeit von der Resonanzfrequenz angegeben.

Bei der Bestimmung des Trittschallverbesserungsmaßes von biegeweichen Unterdecken wurden folgende Annahmen und Näherungen getroffen:

- Das frequenzabhängige Verbesserungsmaß von biegeweichen Unterdecken ΔR an üblichen Deckenkonstruktionen (unterschiedlich starke Decken, Decken mit schwimmenden Estrichen...) stand nicht zur Verfügung. Deshalb wurde auf frequenzabhängige Verbesserungsmaße ΔR ermittelt auf unterschiedlichen Grundbauteilen (Wände, Decken) zurückgegriffen.
- Es wird die Vereinfachung getroffen, dass das Verbesserungsmaß unabhängig von der Art der Anregung (Luftschall oder Trittschall) ist. Das frequenzabhängige Luftschallverbesserungsmaß ΔR wird gleich einer frequenzabhängigen Trittschallminderung ΔL_d gesetzt. DIN EN 12354-2 weist in Abschnitt 4.2.2 wie folgt darauf hin: „Stehen für die Trittschallminderung ΔL_d durch Unterdecken auf der Empfangsraumseite der trennenden Decke keine geeigneten Daten zur Verfügung, so kann die Verbesserung des Schalldämmmaßes ΔR bei Luftschallanregung als Abschätzung benutzt werden.“
- Die Bestimmung des Einzahlwertes aus den frequenzabhängigen Werten ist unabhängig von der Bewertung nach der Luftschall- oder Trittschallbezugskurve. Detaillierte Untersuchungen sind dazu in Abschnitt 11.2 dargestellt.

Die theoretische Grundlage für die derzeit bestehende Tabelle 1 (Korrektur K für flankierende Übertragung) bildet der Summenpegel aus dem bewerteten Norm-Trittschallpegel am trennenden Bauteil $L_{n,w,Trennbauteil}$ und den bewerteten Norm-Trittschallpegeln an den flankierenden Bauteilen $L_{n,w,Flanken}$. Dieser Summenpegel ist gleich dem bewerteten Norm-Trittschallpegel am trennenden Bauteil $L_{n,w,Trennbauteil}$ mit einem addierten Korrekturwert K.

$$L_{n,w,Trennbauteil} "+" L_{n,w,Flanken} = L_{n,w,Trennbauteil} + K \quad [\text{dB}] \quad (11.2)$$

("+" energetische Addition von Pegeln).

Umgestellt nach dem Korrekturwert K ergibt die obige Formel

$$10 \cdot \log(10^{K \cdot 0.1} - 1) = L_{Flanken,w} - L_{Trennbauteil,w} \quad [\text{dB}] \quad (11.3)$$

Basierend auf der theoretischen Grundlage des Korrekturwertes K für Flankenübertragung lässt sich für ein K mit einer biegeweichen Unterdecke K_{FL+UD} folgende Gleichung ermitteln

$$(L_{n,w,Trennbauteil} - \Delta L_{UD,w}) + L_{n,w,Flanken} = L_{n,w,Trennbauteil} + K_{FL+UD} \quad [\text{dB}] \quad (11.4)$$

Gleichung (11.4) umgestellt nach K_{FL+UD} mit einem Verbesserungsmaß einer biegeweichen Unterdecke $\Delta L_{UD,w}$ ergibt

$$K_{FL+UD} = 10 \cdot \log \left(\left(10^{\Delta L_{UD,w} \cdot 0.1} \right)^{-1} + 10^{(L_{n,w,Flanken} - L_{n,w,Trennbauteil}) \cdot 0.1} \right) \quad [\text{dB}] \quad (11.5)$$

Errechnete Pegeldifferenzen $L_{n,w,Flanken} - L_{n,w,Trennbauteil}$ für die verschiedenen Korrekturwerte K aus Gleichung (11.3) ergeben in Gleichung (11.5) eingesetzt die Werte für K_{FL+UD} .

Werte für K_{FL+UD} in der neuen DIN 4109 sollen nach Vorbild der Tabelle K für Flankenübertragung in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse des Trennbauteils und der mittleren flächenbezogenen Masse der flankierenden Bauteile angegeben werden. Dabei sollen Verbesserungsmaße von biegeweichen Unterdecken für $\Delta L_{w,UD} = 5 \text{ dB}$, $\Delta L_{w,UD} = 10 \text{ dB}$ und $\Delta L_{w,UD} = 15 \text{ dB}$ in Betracht gezogen werden.

Für $\Delta L_{w,UD} = 5$ dB ergibt sich:

Flächenbezogene Masse des trennenden Bauteils (Decke) mit Unterdecke in kg/m ²	Mittlere flächenbezogene Masse der homogenen flankierenden Bauteile, die nicht mit Vorsatzkonstruktionen belegt sind in kg/m ²								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
100	-2	-4	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
150	-1	-3	-4	-4	-5	-5	-5	-5	-5
200	-1	-2	-3	-4	-4	-4	-5	-5	-5
250	0	-2	-3	-3	-4	-4	-4	-4	-4
300	1	-1	-2	-3	-3	-4	-4	-4	-4
350	1	-1	-2	-2	-3	-3	-4	-4	-4
400	2	0	-1	-2	-2	-3	-3	-4	-4
450	2	0	-1	-1	-2	-3	-3	-3	-3
500	3	1	0	-1	-2	-2	-3	-3	-3
600	3	2	1	0	-1	-2	-2	-3	-3
700	4	3	1	1	0	-1	-2	-2	-2
800	5	3	2	1	0	-1	-1	-2	-2
900	6	4	3	2	1	0	-1	-1	-1

Tabelle 11.1: Korrekturwert K_{FL+UD} für Flankenübertragung mit biegeweicher Unterdecke $\Delta L_{w,UD} = 5$ dB am trennenden Bauteil in dB

Für $\Delta L_{w,UD} = 10$ dB ergibt sich:

Flächenbezogene Masse des trennenden Bauteils (Decke) mit Unterdecke in kg/m ²	Mittlere flächenbezogene Masse der homogenen flankierenden Bauteile, die nicht mit Vorsatzkonstruktionen belegt sind in kg/m ²								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
100	-3	-6	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9
150	-3	-5	-7	-8	-9	-9	-9	-9	-9
200	-2	-4	-6	-7	-8	-8	-9	-9	-9
250	-1	-3	-5	-6	-7	-7	-8	-8	-8
300	0	-2	-4	-5	-6	-7	-7	-8	-8
350	0	-2	-3	-4	-5	-6	-6	-7	-7
400	1	-1	-2	-3	-5	-5	-6	-6	-6
450	1	0	-2	-3	-4	-5	-5	-6	-6
500	2	0	-1	-2	-3	-4	-5	-5	-5
600	3	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-5
700	4	2	1	0	-2	-3	-3	-4	-4
800	5	3	2	0	-1	-2	-2	-3	-3
900	6	4	2	1	0	-1	-2	-3	-3

Tabelle 11.2: Korrekturwert K_{FL+UD} für Flankenübertragung mit biegeweicher Unterdecke $\Delta L_{w,UD} = 10$ dB am trennenden Bauteil in dB

Für $\Delta L_{w,UD} = 15$ dB ergibt sich:

Flächenbezogene Masse des trennenden Bauteils (Decke) mit Unterdecke in kg/m ²	Mittlere flächenbezogene Masse der homogenen flankierenden Bauteile, die nicht mit Vorsatzkonstruktionen belegt sind in kg/m ²									
	100	150	200	250	300	350	400	450	500	
100	-4	-8	-12	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13
150	-3	-6	-9	-10	-13	-13	-13	-13	-13	-13
200	-2	-5	-7	-8	-10	-11	-12	-13	-13	-13
250	-1	-4	-6	-7	-9	-9	-10	-11	-11	-11
300	-1	-3	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-10	-10
350	0	-2	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-9	-9
400	1	-1	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-8	-8
450	1	-1	-2	-3	-5	-6	-6	-7	-7	-7
500	2	0	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-7	-7
600	3	1	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-6	-6
700	4	2	1	-1	-2	-3	-4	-5	-5	-5
800	5	3	1	0	-1	-2	-3	-4	-4	-4
900	6	4	2	1	0	-2	-2	-3	-3	-3

Tabelle 11.3: Korrekturwert K_{FL+UD} für Flankenübertragung mit biegeweicher Unterdecke $\Delta L_{w,UD} = 15$ dB am trennenden Bauteil in dB

Grundlage für die Tabelle K_{FL+UD} ist die Tabelle K der flankierenden Übertragung aus dem normativen Teil Abschnitt 4.3.1 der DIN EN 12354-2 (hier Tabelle 10.1). Mittels einer lineare Regression über die Korrekturwerte K konnte eine starke Abstufung der einzelnen Werte verhindert werden.

Folglich bleibt die Berechnungsgleichung für den Trittschallschutz unangetastet, jedoch wird für K entweder Tabelle 10.1 verwendet oder im Fall einer Unterdecke Tabelle 11.2 -Tabelle 11.3 (K_{FL+UD}).

11.2 Probleme bei der Untersuchung

Zur Berechnung des Trittschallschutzes einer trennenden Decke mit Unterdecke nach dem vereinfachten Modell der DIN EN 12354-2 [10] wird vorgeschlagen, Eingangsdaten aus dem Teil 1 der DIN EN 12354 [1] zu nehmen. Um die Werte aus Teil 1 übernehmen zu können, muss folgende Vereinfachung getätigt werden:

Die Einzahlbewertung einer Vorsatzschale bzw. Unterdecke nach der Luftschallbezugskurve nach DIN EN ISO 717-1 [33] ist gleich oder um einen konstanten Faktor verschoben zur Trittschallbezugskurve nach DIN EN ISO 717-2 [14]. Bei der Bewertung einer Unterdecke im Luftschall sind meist die tiefen bis mittleren Frequenzen für die negative Abweichung verantwortlich, beim Trittschall

die tiefen und hohen Frequenzen. Der resultierende Einzahlwert ist folglich unterschiedlich. Im Folgenden wird untersucht, wie stark die Einzahlwerte des Verbesserungsmaßes bei unterschiedlichen Bezugskurven abweichen.

Untersuchungsobjekte

Die Frequenzverläufe von drei unterschiedlichen Vorsatzschalen und vier unterschiedlichen Unterdecken wurden ausgedacht. Es wurde auf frequenzabhängige Literaturwerte zurückgegriffen [1,32]. Die Vorsatzschalen bzw. Unterdecken aus der Literatur können als gängige jedoch ältere Konstruktionen (siehe das Buch Fasold, Winkler, Sonntag von 1987) angesehen werden. Die Frequenzverläufe der Vorsatzschalen bzw. Unterdecken zeigen oberhalb ihrer Resonanzfrequenz einen Anstieg mit der Frequenz, wobei das Maximum zwischen 500 Hz und 1600 Hz liegt.

Untersuchungshergang

Sieben Vorsatzkonstruktionen wurden ausgewählt, welche auf neun unterschiedliche Deckenkonstruktionen aus Tabelle 11.4 (unterschiedliche Dicken der Decken mit oder ohne schwimmenden Estrich) angebracht wurden. Nach dem detaillierten Modell der DIN EN 12354-2 [10] wurde der Norm-Trittschallpegel frequenzabhängig ermittelt und die Einzahlbewertung mit der Trittschallbezugskurve nach DIN EN ISO 717-2 [14] durchgeführt. Die Differenz aus dem bewerteten Norm-Trittschallpegel der Deckenkonstruktion ohne Unterdecke und des bewerteten Norm-Trittschallpegels mit Unterdecke ergibt das bewertete Verbesserungsmaß $\Delta L_{d,w}$ der Vorsatzkonstruktion.

Folgende Deckenkonstruktionen wurden ausgewählt:

Massivdecke					
	Deckenstärke [mm]	Flächen- bezogene Masse m' [kg/m ²]	Schwimmender Estrich	m' Estrich	Dynamische Steifigkeit s' der Dämmschicht [MN/m ³]
1	150	345	nein		
2	200	460	nein		
3	300	690	nein		
4	150	345	Zementestrich	100	10
5	200	460	Zementestrich	100	10
6	300	690	Zementestrich	100	10
7	150	345	Zementestrich	80	20
8	200	460	Zementestrich	80	20
9	300	690	Zementestrich	80	20

Tabelle 11.4: Deckenkonstruktionen an die Vorsatzschalen bzw. Unterdecken angebracht wurden

Die ausgewählten Vorsatzkonstruktionen wiesen folgende frequenzabhängigen Luftschallverbesserungswerte ΔR auf:

f [Hz]	Literaturwerte [1,32]						
	ΔR [dB]	ΔR [dB]	ΔR [dB]	ΔR [dB]	ΔR [dB]	ΔR [dB]	ΔR [dB]
	VS 1	UD 2	UD 3	UD 4	UD 5	VS 6	VS 8
100	10	2	3	7	2	5	7
125	12	2	1	8	18	6	8
160	13	5	1	9	14	9	3
200	13	7	3	14	15	8	6
250	14	10	4	15	16	8	2
315	14	10	4	11	19	8	6
400	15	10	3	8	18	10	8
500	15	10	2	9	20	12	11
600	16	9	2	11	20	14	11
800	16	7	3	12	19	16	12
1000	17	6	3	12	18	18	11
1250	17	6	2	12	18	16	11
1600	16	5	3	11	19	12	11
2000	15	5	5	10	18	11	8
2500	15	6	7	9	19	9	10
3150	14	5	7	8	19	9	11
Ergebnisse der Berechnung - bewertete Einzulangaben							
ΔR_w nach Literaturangaben [dB]	15	7	3	6	18	14	6
$\Delta L_{d,w}$ Decke errechnet ohne schwimmenden Estrich [dB]	15	5	5	9	17	10	10
$\Delta L_{d,w}$ Decke errechnet mit schwimmenden Estrich [dB]	13	4	4	9	15	8	7

Tabelle 11.5: Vorsatzschalen und Unterdecken – Frequenzabhängige und bewertete Verbesserungsmaße VS: Vorsatzschale, UD: Unterdecke

Ein Beispiel der unterschiedlichen Bewertung nach Luft- und Trittschallbezugskurve einer Vorsatzkonstruktion an einer Decke (mit schwimmendem Estrich und ohne schwimmendem Estrich) sollen folgende Diagramme verdeutlichen. Als Beispiel wurde die Vorsatzschale „VS 8“ aus Tabelle 11.5 ausgewählt ($f_0 \approx 200$ Hz).

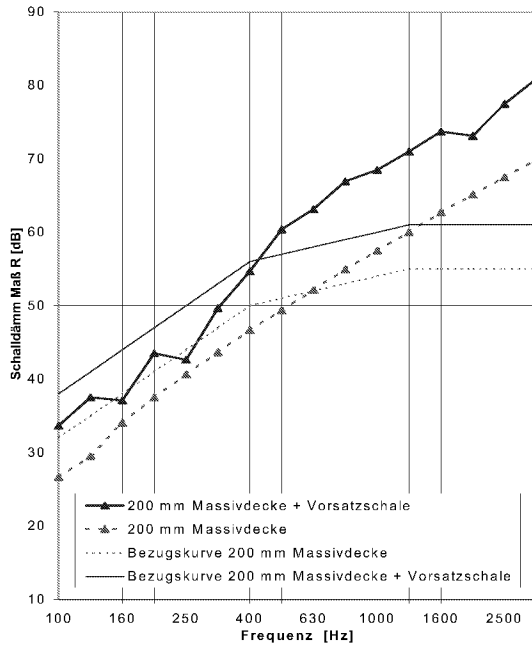


Bild 11.1: Schalldämm-Maß R einer 200 mm Massivdecke $R_w = 51$ dB (gestrichelte Linie) und einer 200 mm Massivdecke mit Unterdecke $R_w = 57$ dB (durchgezogenen Linie)

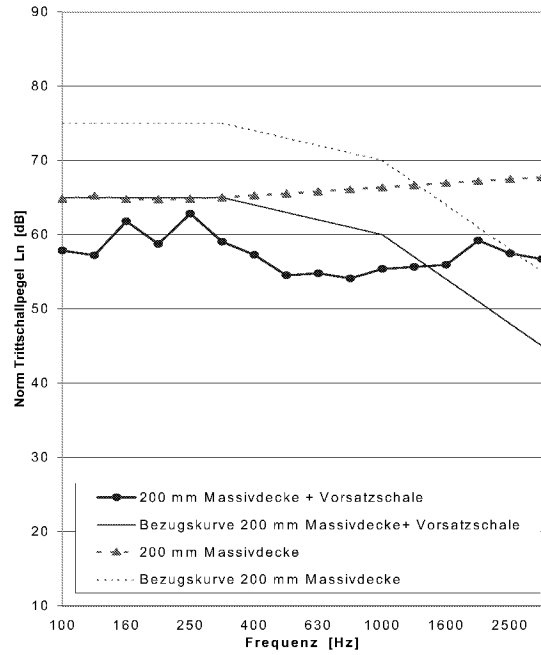


Bild 11.2: Norm-Trittschallpegel L_n einer 200 mm Massivdecke $L_n = 73$ dB (gestrichelte Linie) und einer 200 mm Massivdecke mit Unterdecke $L_n = 63$ dB (durchgezogenen Linie)

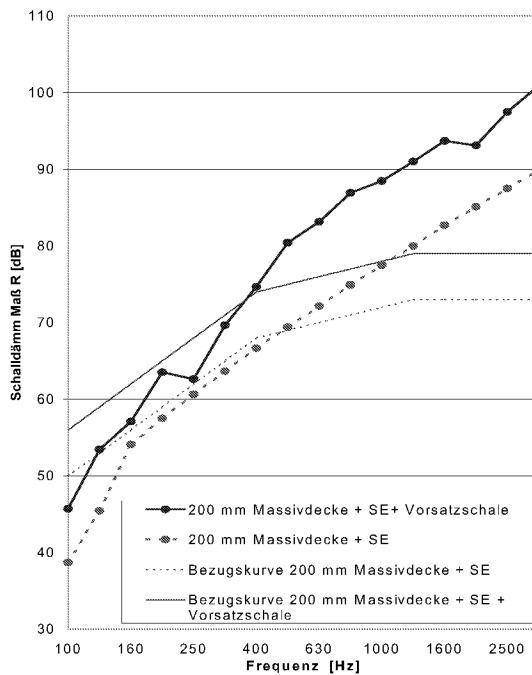


Bild 11.3: Schalldämm-Maß R einer 200 mm Massivdecke mit schwimmendem Zementestrich ($s' = 10$ MN/m³, $m'_{\text{Estrich}} = 100$ kg/m²) $R_w = 69$ dB (gestrichelte Linie) und einer 200 mm Massivdecke mit Schwimmendem Estrich (SE) und Unterdecke $R_w = 75$ dB (durchgezogenen Linie)

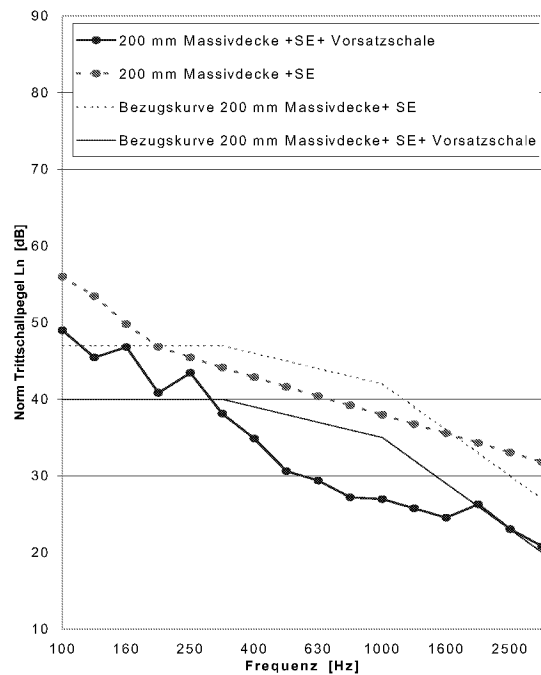


Bild 11.4: Norm-Trittschallpegel L_n einer 200 mm Massivdecke mit schwimmendem Zementestrich ($s' = 10$ MN/m³, $m'_{\text{Estrich}} = 100$ kg/m²) $L_n = 45$ dB (gestrichelte Linie) und einer 200 mm Massivdecke mit schwimmendem Estrich (SE) und Unterdecke $L_n = 38$ dB (durchgezogenen Linie)

Das bewertete Luftschallverbesserungsmaß ΔR_w ergibt in beiden Fällen 6 dB, unabhängig von der Art des Grundbauteils (rohe Massivdecke oder Massivdecke mit schwimmendem Estrich). Dagegen scheint das bewertete Trittschallverbesserungsmaß ΔL_w der Vorsatzkonstruktion abhängig von der Art des Grundbauteils zu sein. An die rohe Massivdecke angebracht errechnet sich ein $\Delta L_w = 10$ dB, an die Massivdecke mit schwimmendem Estrich angebracht ein $\Delta L_w = 7$ dB.

In Bild 11.5 wird die Abweichung zwischen dem Literaturwert ΔR_w und dem errechneten $\Delta L_{d,w}$ (nach der Bewertung mit der Trittschallbezugskurve) für den Fall einer 200 mm starken Decke mit einem Zementestrich ($m' = 100$ kg/m²) und einer Trittschalldämmschicht von $s' = 10$ MN/m³ dargestellt. Die anderen untersuchten Deckenkonstruktionen aus Tabelle 11.4 zeigen ähnliche Ergebnisse auf.

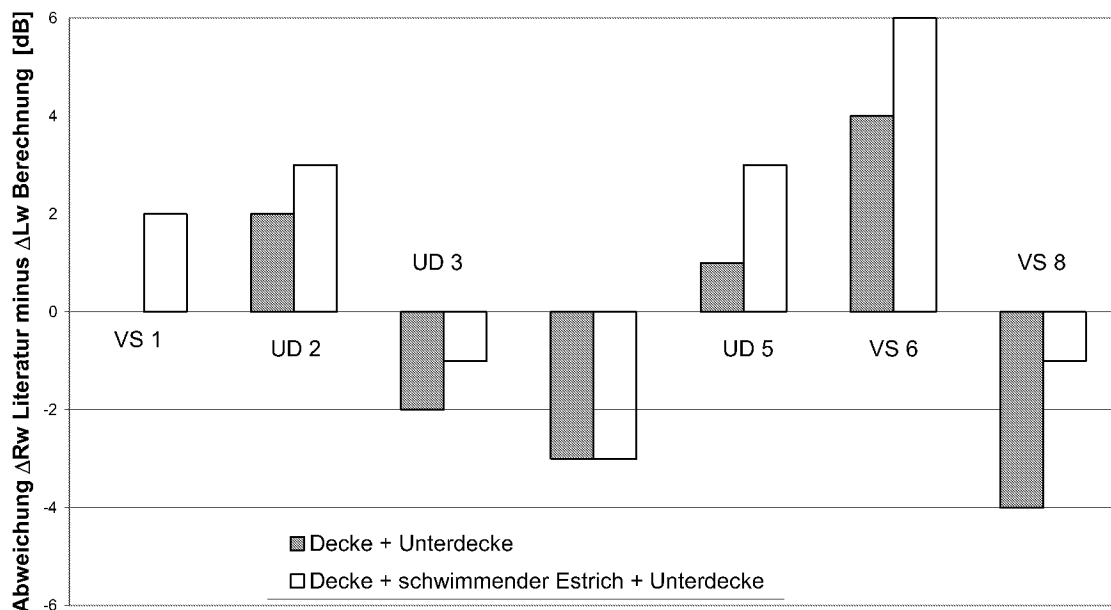


Bild 11.5: Abweichung ΔR_w aus Datenblatt minus ΔL_w nach Bewertung mit der Trittschallbezugskurve. Dunkle Balken: 200 mm Decke + Unterdecke, Helle Balken: 200 mm Decke + schwimmender Estrich + Unterdecke; VS: Vorsatzschale, UD: Unterdecke

Die x-Achse zeigt die Vorsatzkonstruktionen (VS 1, UD 2, UD 3, UD 4, UD 5, VS 6, VS 8) angebracht an eine 200 mm starke Deckenkonstruktion mit oder ohne schwimmendem Estrich nach Tabelle 11.4.

Abweichungen zwischen -4 dB und $+6$ dB treten auf. Eine negative Abweichung bedeutet, dass die Literaturangabe des Luftschallverbesserungsmaßes höher ist,

als der Einzahlwert $\Delta L_{d,w}$, welcher bei der Bewertung nach der Trittschallbezugskurve errechnet wurde. Es wird deutlich, dass das Verbesserungsmaß $\Delta L_{d,w}$ einer Unterdecke bei einer Decke mit schwimmendem Estrich stets kleiner ist (im Mittel um 1.6 dB), als bei einer Decke ohne schwimmendem Estrich.

Aufgrund der positiven und negativen Abweichung der Verbesserungsmaße ist keine klare Aussage möglich, um welchen Faktor die Luft- und Trittschallbewertungskurven beim Einzahlwert des ΔR_w und des $\Delta L_{d,w}$ auseinander liegen. Deshalb können keine fundierten und sicheren Angaben für Eingangswerte zur Erstellung der Tabelle für die Korrektur für flankierende Übertragung mit Unterdecke K_{FL+UD} gemacht werden. Die Tabelle K_{FL+UD} wurde mit Annahmewerten von $\Delta L_w = 5$ dB, $\Delta L_w = 10$ dB und $\Delta L_w = 15$ dB erstellt. Wird eine genauere Berechnung gefordert, muss die Verbesserung einer Unterdecke frequenzabhängig mit dem detaillierten Modell der DIN EN 12354-2 [10] berechnet werden. Das vereinfachte Rechnen mit Einzahlangaben führt bei den Unterdecken zu höheren Ungenauigkeiten.

Die Verbesserung des Trittschallschutzes durch biegeweiche Unterdecken werden im vereinfachten Berechnungsverfahren der DIN EN 12354-2 bislang nicht berücksichtigt. Diese Untersuchung schlägt die Berücksichtigung von biegeweichen Unterdecken innerhalb der flankierende Übertragung vor. Neue Werte für eine Korrektur K_{FL+UD} für flankierende Übertragung mit Unterdecken in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse des trennenden Bauteils und der mittleren flächenbezogenen Masse der flankierenden Bauteile wurden ermittelt. Hierbei spielt die flankierende Übertragung einen zentrale Rolle.

Die Tabellenwerte für die flankierende Übertragung unter Berücksichtigung der Trittschallverbesserung von biegeweichen Unterdecken am trennenden Bauteil sind Luftschallverbesserungsmaße von Vorsatzschalen. Problematisch ist, dass der Einzahlwert des Luftschallverbesserungsmaßes ΔR_w nicht mit dem Verbesserungsmaß $\Delta L_{d,w}$ bei Trittschallanregung übereinstimmt, da die Vorsatzschalen eine ausgeprägte Frequenzabhängigkeit aufweisen, die bei der Bewertung unterschiedliche Einzahlwerte ergeben.

12 Messungen des Norm-Trittschallpegels in Bauwerken

Als Gebäudeart für die messtechnische Untersuchung wurde der Geschosswohnungsbau ausgewählt, da hier erstens massive Bauteile vorhanden sind, zweitens Anforderungen an den Schallschutz bestehen und drittens das vereinfachte Berechnungsmodell der DIN EN 12354-2 [10] nur für „...Wohngebäude anwendbar“ ist. Einfache Grundrisse mit übereinander liegenden Wohnungen mit identischen oder nahezu identischen Grundrissen erleichtern dabei die Berechnung. Für die messtechnische Erfassung der Bausituation sollten die Bauteile eine ausreichende Größe aufweisen. Häufig wurde in Eckzimmern gemessen, wobei die Aussenwände meist aus hochwärmedämmenden Mauerwerk waren und mindestens eine schwere tragende Innenwand vorhanden war. Messtechnisch wurde der Norm-Trittschallpegel ermittelt und in einigen Bauten auch die Trittschallflankendämm-Maße. Die Messergebnisse wurden ausgewertet und mit prognostizierten Werten nach DIN 4109 Beiblatt 1 [8] und DIN EN 12354-2 (vereinfachtes und detailliertes Modell) verglichen.

Es wurden Gebäude mit massiven Stahlbetondecken (ein Objekt mit Stahlbeton-Hohlplattendecke, ein Objekt mit Ziegeldecke und Aufbeton) und flankierenden Wänden aus Kalksandstein, Ziegel, Leichtbeton, Porenbeton und Gipsdielen untersucht. Die Geschoßdecken waren vorwiegend mit schwimmenden Zementestrichen und zum Teil mit Calciumsulfatestrichen ohne Fussbodenbelag versehen.

Die Messungen wurden in noch unbezogenen Neubauten durchgeführt. Der Zeitpunkt der Messung wurde so gewählt, dass der Innenputz und der schwimmende Estrich eingebaut und getrocknet waren. Decken, Wand und Fußboden wiesen jedoch noch keine fertigen Oberflächen auf. Dadurch konnten auf allen Oberflächen Körperschallaufnehmer (zur Bestimmung der Trittschall-Flankendämm-Maße) aufgebracht werden. Ebenso ist die Überprüfung des Trittschallschutzes ohne weichfedernden Bodenbelag sinnvoller. Die gemessenen in-situ Trittschallpegel wurden Luftschall korregiert, sofern Luftschallübertragung durch das Hammerwerk vorhanden war.

Die Verwendung von Trockenestrichen bzw. Gussasphaltestrichen findet im Mehrgeschosswohnungsbau derzeit selten Anwendung. Diese Art von Estrichen konnte messtechnisch nicht untersucht werden. Es kann kein Abgleich mit der Berechnung nach DIN EN 12354-2 [10] stattfinden.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde keine Untersuchung der Trittschalldämmung in Gebäuden in Skelettbauweise (z.B. Geschäftshäuser) durchgeführt. Auf Messungen in solchen Gebäuden konnte nicht zurück gegriffen werden. Es ist anzustreben, den Schallschutznachweis für diese Gebäudeart ebenfalls mit dem vereinfachten Berechnungsmodell der DIN EN 12354-2 [10] zu führen. Eine Untersuchung ist in diesem Forschungsvorhaben nicht enthalten.

Handwerkliche Ausführung

Der zu erwartende Trittschallschutz hängt in nicht unerheblichen Umfang von der Qualität der handwerklichen Ausführung ab. Die schalltechnisch untersuchten Objekte wiesen in einem gewissen Maße handwerkliche Ausführungsfehler auf, die in Form von Schallbrücken und Randschallbrücken am Estrich auftraten. Durch ‚Augenkontrolle‘ vor Ort wurden in seltenen Fällen Schallbrücken im Bodenaufbau entdeckt. Ebenso kann bei „Nicht-Einhaltung“ des Mindestschallschutzes nach DIN 4109 (1989) [9], welcher problemlos bei den verwendeten Fussbodenaufbauten erreicht werden könnte, von Schallbrücken im Estrich ausgegangen werden.

12.1 Häufigkeit der gemessenen Konstruktionen

Es wurden 40 vertikale Übertragungssituationen gemessen und ausgewertet. Davon waren 4 Übertragungssituationen in Bauten aus Kalksandstein, 12 in Bauten aus Porenbeton, 11 in Bauten aus Leichtbeton und schliesslich 13 Übertragungssituationen in Bauten aus Ziegelmauerwerk. Die Eingangsdaten für die Berechnung sind Materialdaten der Decke und der flankierenden Wänden, welche in der Regel seitens der Bauleitung angegeben wurden.

In den meisten Übertragungssituationen waren die Wohnungstrenndecken 180 mm bzw. 200 mm starke Stahlbetondecken (414 kg/m^2 bzw. 460 kg/m^2). Desweiteren gab es zwei Übertragungssituationen mit Stahlbeton-Hohlplattendecke mit einer flächenbezogenen Masse von $m' = 290 \text{ kg/m}^2$ und einem äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegel $L_{n,w,eq,P} = 74 \text{ dB}$ (nach Prüfzeugnis) sowie eine Ziegeldecke mit Aufbeton ($m' = 400 \text{ kg/m}^2$).

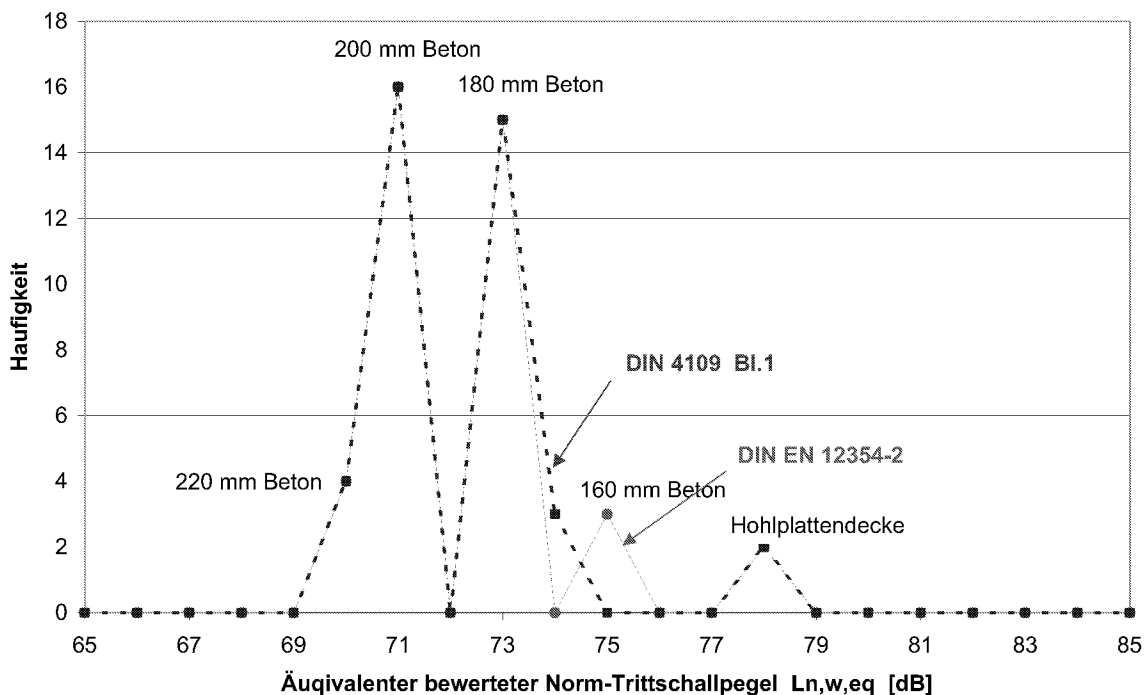


Bild 12.1: Häufigkeit des äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegels $L_{n,w,eq}$ der Rohdecken – berechnet nach DIN 4109 BI.1 und nach DIN EN 12354-2 (vereinfachtes Modell)

Die schwimmend verlegten Estriche waren hauptsächlich als 45 mm bis 50 mm starke Zement- oder Anhydritestriche mit Dämmschichten aus Mineralwolle oder expandiertes Polystyrol (EPS) ausgeführt worden. Die Dämmschichten wiesen laut Angaben der Bauleitung Steifigkeiten s' von 10, 15 oder 20 MN/m³ auf.

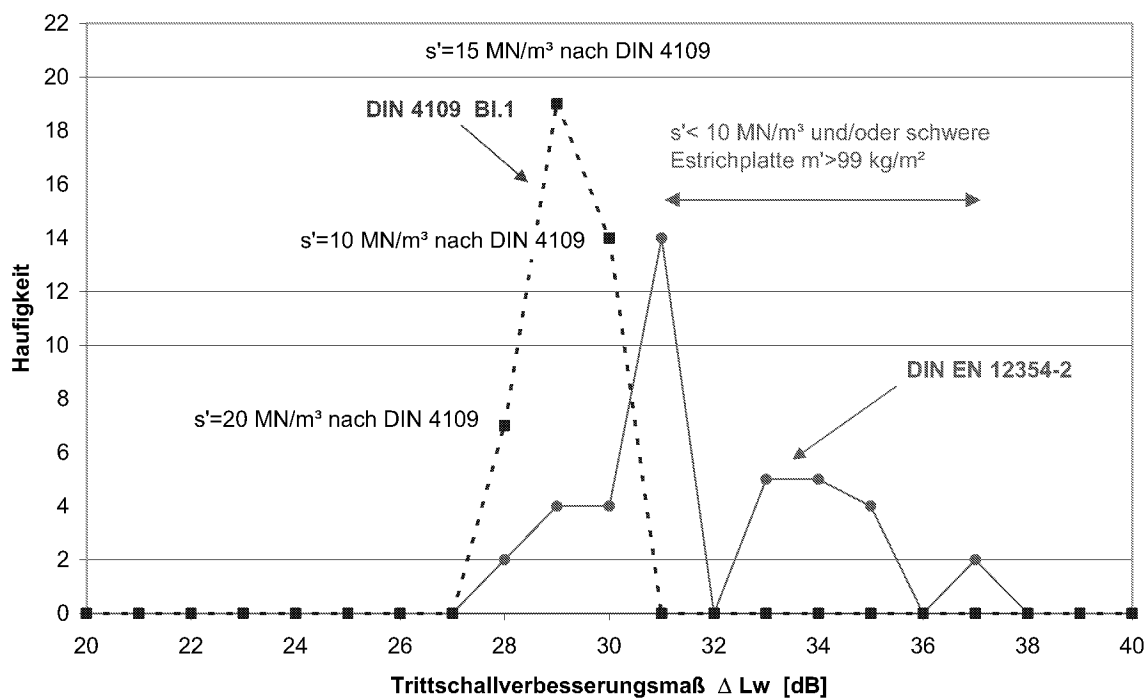


Bild 12.2: Häufigkeit des Trittschallverbesserungsmaßes ΔL_w der schwimmend verlegten Estrichkonstruktion – berechnet nach DIN 4109 BI.1 und nach DIN EN 12354-2 (vereinfachtes Modell).

Die flankierenden Wände waren aus Mauerwerk mit einer flächenbezogenen Masse von $95 \text{ kg/m}^2 < m'_{\text{Flanken}} < 418 \text{ kg/m}^2$. Eine mittlere flächenbezogene Masse der Flanken von $130 \text{ kg/m}^2 < m'_{\text{Flanken mittel}} < 370 \text{ kg/m}^2$ wurde ermittelt. Ein Verhältnis der flächenbezogenen Masse des trennenden Bauteils zu der mittleren flächenbezogenen Masse der flankierenden Bauteile ist im folgenden Diagramm dargestellt.

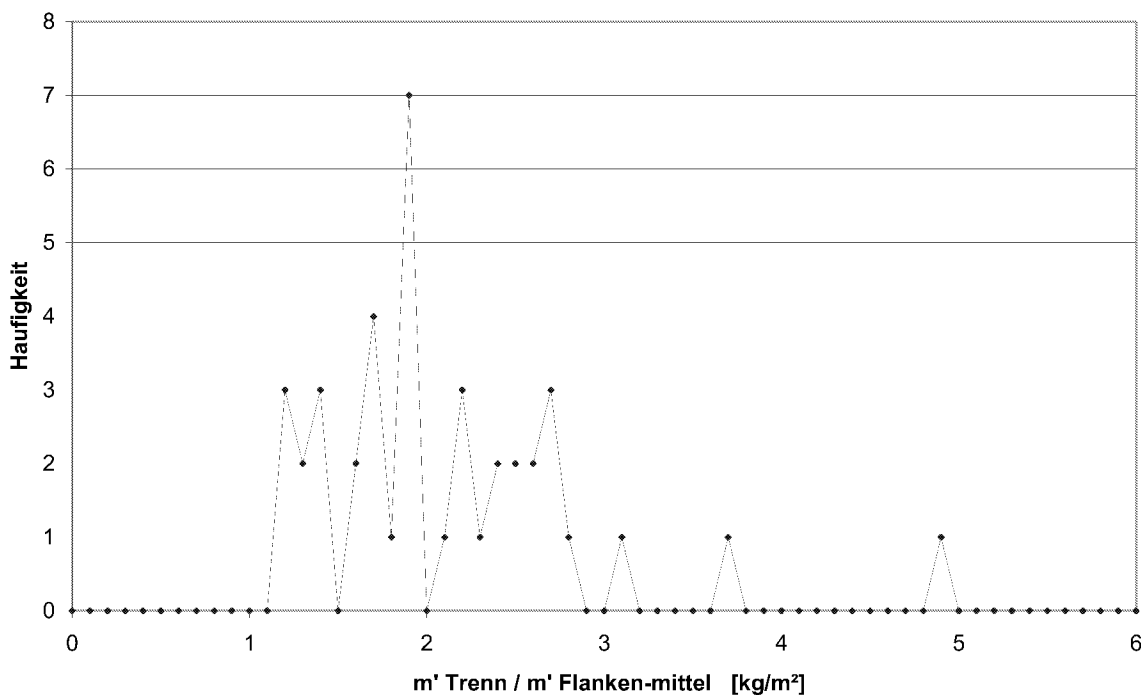


Bild 12.3: Häufigkeit des Verhältnisses von $m'_{\text{Trennbauteil}}$ zu $m'_{\text{Flanken-mittel}}$

Die Auswahl der gemessenen Übertragungssituationen stellen eine repräsentative Auswahl der Konstruktionsweise im deutschen Mehrgeschosswohnungsbau dar.

12.2 Messtechnik

Die Messungen fanden einem Frequenzbereich von 50 Hz – 5000 Hz statt. Die trennende Decke wurde mit dem Norm-Hammerwerks nach DIN EN ISO 140-7 [13] angeregt.

12.2.1 Messtechnik zur Messung des Norm- Trittschallpegels

Die Messungen des Norm-Trittschallpegels L'_n in den Bauwerken wurden nach DIN EN ISO 140-7 [13] durchgeführt. Hierbei wurde das trennende Bauteil (hier die Decke mit schwimmendem Estrich) mit dem Normhammerwerk angeregt und die Schallpegel mittels Mikrofon im Empfangsraum gemessen. Die Nachhallzeit im Empfangsraum wurde nach DIN EN ISO 354 [34] bestimmt. Mit der gemessenen Nachhallzeit A und den gemessenen Schalldruckpegeln L_i kann der Norm-Trittschallpegel L'_n bestimmt werden nach

$$L'_n = L_i + 10 \log \left(\frac{A}{A_0} \right) \quad [\text{dB}] \quad A_0 = 10 \text{ m}^2 . \quad (6.1)$$

12.2.2 Messtechnik zur Messung der flankierenden Übertragung

Der Einfluss der flankierenden Übertragung wurde messtechnisch so untersucht, indem das Trittschall-Flankendämm-Maß und das Trittschalldämm-Maß der Direktübertragung bestimmt wurde. Dabei wurde das trennende Bauteil (hier die Decke mit schwimmendem Estrich) mit dem Normhammerwerk angeregt, die Körperschallschnellen mittels Körperschallaufnehmer auf den flankierenden Bauteilen (Bauteil j) und auf dem trennenden Bauteil (Bauteil d) gemessen.

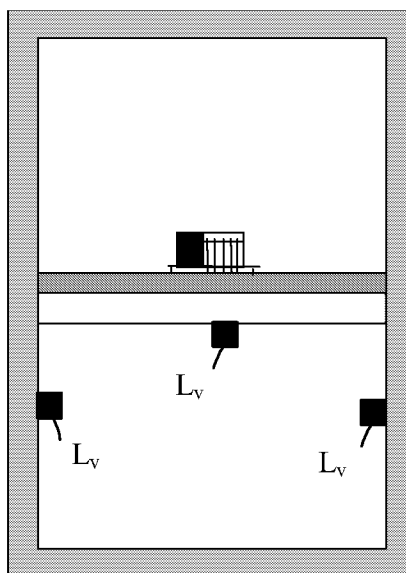


Bild 12.4: Messung der Körperschallschnellen auf dem trennenden und auf den flankierenden Bauteilen.

Die gemessenen Schnellen auf den Bauteilen wurden in Schalldruckpegel umgerechnet nach

$$L_p = L_v + 10 \cdot \log\left(\frac{4 \cdot S}{A}\right) + 10 \cdot \log \sigma \quad (12.1)$$

wobei L_v der Schnellepegel auf dem Bauteil [dB], S die Fläche des abstrahlenden Bauteiles [m^2], A die Absorptionsfläche [m^2] und σ der Abstrahlgrad ist. Um mit Rechenwerten nach DIN EN 12354-2 [10] vergleichen zu können, wurde der Schalldruckpegel in den Norm-Trittschallpegel umgerechnet mit

$$L_n = L_p + 10 \cdot \log\left(\frac{A}{A_0}\right) \quad (12.2)$$

. Gleichung (12.1) in Gleichung (12.2) eingesetzt (mit der Annahme $\sigma = 1$) ergibt den Norm-Trittschallpegel durch Direktübertragung $L_{n,d}$ und den Norm-Trittschallpegel durch Flankenübertragung $L_{n,ij}$

$$L_{n,d} = L_{v,d} + 10 \cdot \log\left(\frac{4 \cdot S_d}{A_0}\right) \quad (12.3) \quad L_{n,ij} = L_{v,i} + 10 \cdot \log\left(\frac{4 \cdot S_j}{A_0}\right) \quad (12.4)$$

Die Flankenpegel jedes einzelnen flankierenden Bauteils wurden gemessen. Wird der Anteil der Trittschallübertragung aller an der Schallübertragung beteiligten Bauteile aufsummiert, sollte der mittels Körperschall ermittelte Trittschallpegel dem Wert aus einer Luftschallmessung entsprechen (siehe Bild 13.5).

12.3 Mess- und auswertetechnische Fragestellungen

Die Annahme des Abstrahlgrades $\sigma = 1$ gilt oberhalb der Grenzfrequenz eines Bauteils. Zur Vereinfachung der Messauswertung wird deshalb unterhalb dieser Frequenz der Abstrahlgrad ebenfalls mit $\sigma = 1$ angenommen. Dies führt zu einem höheren berechneten Trittschallpegel unterhalb der Grenzfrequenz als tatsächlich vorhanden. In der Einzahlbewertung des Norm-Trittschallpegels $L'_{n,w}$ ergibt sich in den untersuchten Situationen innerhalb dieses Projekts ein um 1.8 dB höherer Norm-Trittschallpegel bei der Körperschallmessung.

Trittschallmessungen in leeren, nicht möblierten Räumen bei der Anregung mit dem Normhammerwerk können Luftschallübertragung über die flankierenden Bauteile aufweisen. Der vom Normhammerwerk angeregte Estrich strahlt Luftschall ab, welcher die flankierenden Wände im Senderraum zu Schwingung anregt, diese Energie wird über die Stoßstelle auf die Wand im Empfangsraum weitergeleitet. Dieser Energieanteil (durch Luftschallanregung) der Flanken wird bei den Körperschallmessung ‚mitgemessen‘ und ergibt einen höheren Pegel als tatsächlich durch die Trittschallanregung verursacht wird. Dieser Luftschallanteil kann prinzipiell bei Schnellepegelmessungen mit Körperschallaufnehmern ‚herauskorrigiert‘ werden. Dieses Verfahren ist sehr aufwendig und wurde in diesen Untersuchungen nicht durchgeführt. Bei den Luftschallmessung wurde die Luftschallübertragung herausgerechnet. In der Einzahlangabe des Norm-Trittschallpegels $L'_{n,w}$ ergibt sich bei den Körperschallmessungen ein um 4 dB höherer Einzelwert als bei den Luftschallmessungen mit Luftschall-Korrektur.

Zum Zeitpunkt der Messungen in den Bauwerken waren in den meisten Fällen die Zimmer- und Wohnungseingangstüren noch nicht eingebaut. Die vorhandenen Öffnungen in den Prüfräumen wurden bei den Messungen mit Sperrholzplatten verschlossen. Dies führte in fast allen Fällen zu einer ausreichenden Unterdrückung der Schallübertragung auf dem Weg über die Türöffnungen.

Als generelles Problem bei Luftschallmessungen ist die Diffusität des Schallfeldes bei tiefen Frequenzen zu nennen. Diese kann in Wohnräumen gängiger Grösse nicht gewährleistet werden.

12.4 Messergebnisse des Norm-Trittschallpegels in Bauwerken

Die Messungen von 40 Übertragungssituationen in den Bauwerken weisen einen erhöhten Schallschutz (Vorschläge nach DIN 4109 Bl.2 [12]) in 82,5 % (33 Fälle) auf, in 100 % (40 Fälle) wird der Mindestschallschutz nach DIN4109 (1989) [9] erreicht. Dies ist Bild 12.5 dargestellt.

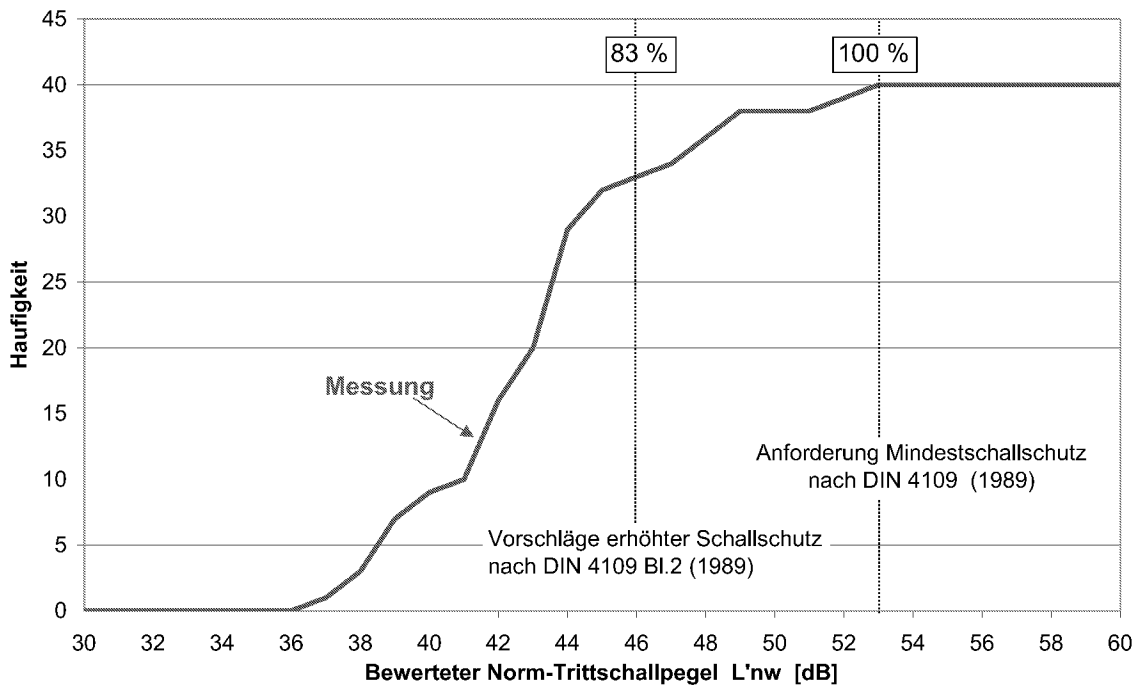


Bild 12.5: Summenhäufigkeit des gemessenen bewerteten Norm-Trittschallpegels in deutschen massiven Mehrgeschoss-Wohnungsbauten (40 vertikale Übertragungssituationen)

Der bewertete Norm-Trittschallpegel nach Messwerten liegt zwischen 36 dB und 53 dB.

Gängig verwendete Konstruktionen im massiven Mehrgeschoss-Wohnungsbau genügen in 80 % der Bauten den Vorschlägen an den erhöhten Schallschutz nach DIN 4109 (1989) Beiblatt 2.

13 Verifizierung des Vereinf. Berechnungsverf. nach DIN EN 12354-2

Nachfolgend werden die Messergebnisse mit den Berechnungen verglichen. Hierbei wird als erstes die vertikale Übertragungsrichtung in Mehrgeschoss-Wohnungsbauten betrachtet. Ein Vergleich zwischen Messung und Rechnung nach der derzeit gültigen DIN 4109 Beiblatt 1 [8] und der DIN EN 12354-2 [10] vereinfachtes Verfahren wird aufgestellt.

Desweiteren wird die flankierende Übertragung detailliert betrachtet. Ein Vergleich zwischen Mess- und Rechenwerten nach DIN EN 12354-2 (vereinfachtes Modell) wird ebenfalls aufgestellt.

Die Berechnungen des Norm-Trittschallpegels nach dem CEN-Verfahren sowie nach DIN 4109 Beiblatt 1 (1989) sind in Abschnitt 6.3 beschrieben. Die Eingangsdaten für die Berechnung nach DIN 4109 Beiblatt 1 sind Rechenwerte des $L_{n,w,eq,R}$ aus Tabelle 16 und des $\Delta L_{w,R}$ aus Tabelle 17 des Beiblattes 1 zu DIN 4109. Die Berechnung nach dem vereinfachten Verfahren der DIN EN 12354-2 sind Einzahlwerte aus deren Anhängen B und C. Der Sicherheitsabschlag von 2 dB zwischen Rechenwert und Anforderung aus Abschnitt 4.1.1 der derzeit gültigen DIN 4109 Beiblatt 1 sind in den folgenden Berechnungen nicht enthalten.

13.1 Vertikale Übertragung

In diesem Abschnitt werden die gemessenen in-situ Trittschallpegel innerhalb der Forschungsvorhaben [2,3,4,5] mit den berechneten Trittschallpegeln nach der derzeit gültigen DIN 4109 Bl. 1 [8] und nach DIN EN 12354-2 [10] (vereinfachtes Modell) verglichen. Dies wurde an 40 vertikalen Übertragungssituationen durchgeführt. Die Eingangsdaten für die Berechnung sind Materialdaten der Decke und der flankierenden Wände. Diese sind in Abschnitt 12.1 aufgelistet.

Eine Häufigkeitsverteilung des bewerteten Norm-Trittschallpegels $L'_{n,w}$ der 40 untersuchten Übertragungssituationen von Messwerten und Rechenwerten nach DIN 4109 Beiblatt 1 und nach DIN EN 12354-2 ist im folgenden Diagramm dargestellt.

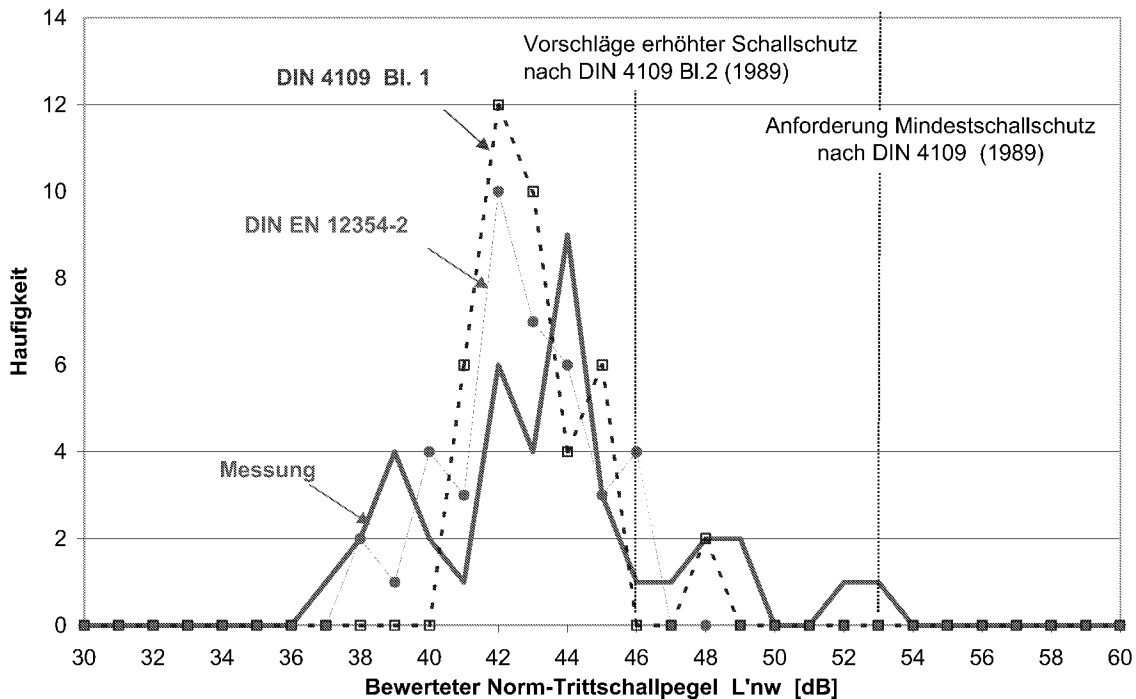


Bild 13.1: Häufigkeit des bewerteten Norm-Trittschallpegels – Messwert und Rechenwerte nach DIN 4109 BI. 1 und DIN EN 12354-2 vereinfachtes Modell (Betrachtung von 40 Übertragungssituationen)

Nach DIN EN 12354-2 vereinfachtes Modell (Linie mit ausgefüllten Kreisen) werden die Empfehlungen des erhöhten Schallschutzes bei den untersuchten Bauteilaufbauten in allen 40 Fällen erreicht. Nach DIN 4109 BI.1 (gestrichelte Linie) findet in lediglich 2 Fällen eine Unterschreitung des erhöhten Schallschutzes statt. Dagegen weisen die gemessenen Norm-Trittschallpegel (dicke Linie) eine Unterschreitung des erhöhten Schallschutzes in 7 Fällen auf. Gegenüber den errechneten Werte weisen die gemessenen Werte ein weitaus breiterer Wertebereich auf. Die Häufigkeitsverteilung zeigt ein Maximum beim $L'_{n,w}$ der errechneten Werte von 42 dB, der gemessenen Werte von 44 dB.

Die unterschiedlichen Wertebereiche von Messung und Rechnung wird im folgendem Diagramm erneut deutlich. Hier ist der Messwert (x- Achse) gegen den Rechenwert nach DIN 4109 Beiblatt 1 und DIN EN 12354-2 vereinfachtes Verfahren (y-Achse) aufgetragen.

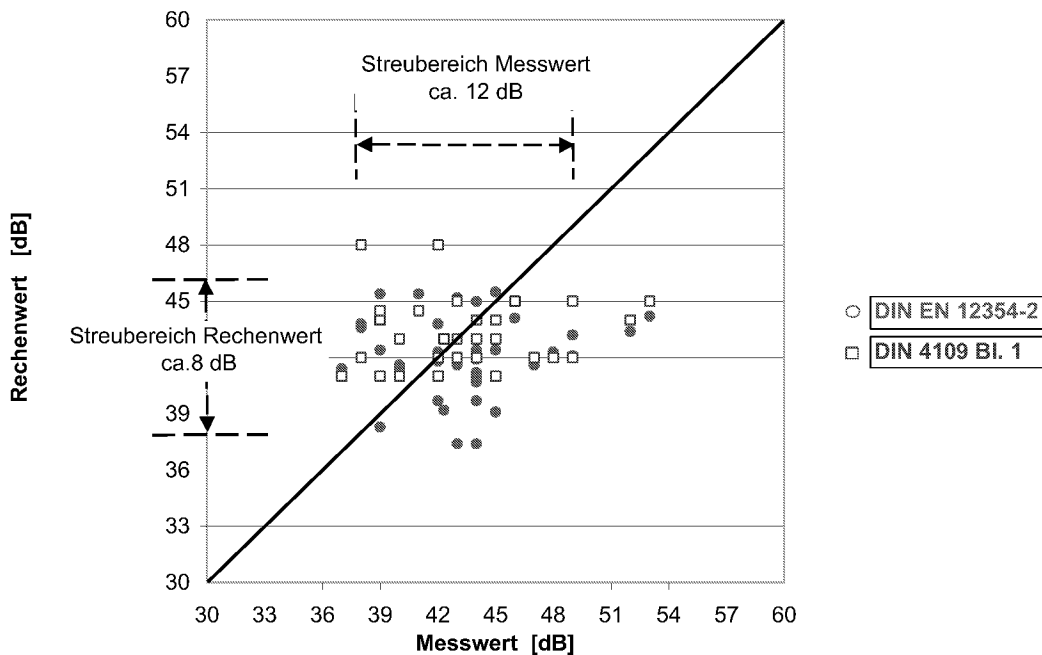


Bild 13.2: Bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$. Vergleich der in-situ Messung und der Berechnung nach DIN 4109 Bl. 1 und DIN EN 12354-2 vereinfachtes Modell (40 Übertragungssituationen).

Eine Streuung der Rechenwerte von 5 dB im Gegensatz zu einer 12 dB-Streuung bei den Messwerten wird deutlich. Dieser breitere Streubereich bei den Messwerten könnte durch eine mangelhafte Ausführung des Estrichs und/oder durch verkleben von Fugen (Silikon/ Bodenbeläge etc) am Bau verursacht sein (siehe Abschnitt 12).

Der Mittelwert der Abweichung zwischen Messwert und Rechnung (Abweichung = Messwert - Rechenwert) nach DIN EN 12354-2 beträgt 1.4 dB, 0.4 dB nach DIN 4109 Bl. 1. Eine positive Abweichung bedeutet in diesem Fall einen niedrigeren prognostizierten Norm-Trittschallpegel als der Messwert (Prognose zur „unsicheren“ Seite). Eine Standardabweichung der Abweichung zwischen Messwert und Rechenwert von 4.0 dB nach DIN EN 12354-2, 3.9 dB nach DIN 4109 Bl.1 wurde ermittelt. Mit einer statistischen Sicherheit von $P = 95\%$ ergibt sich $1.4 \text{ dB} \pm 7,9 \text{ dB}$ für die Berechnung nach DIN EN 12354-2, $0.4 \text{ dB} \pm 7.6 \text{ dB}$ für die Berechnung nach DIN 4109 Bl. 1.

Die Bestimmung der Abweichung zwischen in-situ Messwert und dem Rechenwert nach der Berechnungsvariante nach DIN EN 12354-2 und DIN 4109 Bl. 1 zeigt, dass in 10 Fällen die Berechnung nach DIN EN 12354-2 näher am Messwert liegt, in 28 Fällen die Berechnung nach DIN 4109 Bl.1. Lediglich in 2 Fällen wurden gleiche Rechenwerte für beide Berechnungsverfahren ermittelt.

Eine Übereinstimmung zwischen Messwert und Rechenwert wurde in 6 Fällen nach DIN 4109 Bl. 1 erreicht (auf den Messwert/Rechenwert von 42 dB fallen im Graph vier Situationen), in 4 Fällen nach DIN EN 12354-2.

Wird der Sicherheitsabschlag von 2 dB zwischen Rechenwert und Anforderung nach der derzeit gültigen DIN 4109 Beiblatt 1 (1989) Abschnitt 4.1.1 zu den Werten nach DIN 4109 hinzugerechnet, so „rutschen“ diese Werte nach oben und die bewerteten Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ werden im Mittel um 1.6 dB höher prognostiziert als die Messwerte. Um Kontinuität mit dem derzeit gültigen Sicherheitsniveau beim Trittschallschutz zu gewährleisten, sollte deshalb ein Sicherheitsabschlag von 3 dB zwischen Rechenwert und Anforderung in die neue DIN 4109 eingeführt werden. Hierbei wird ein um 1.5 dB höherer Norm-Trittschallpegel prognostiziert (Prognose zur sicheren Seite). (Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass bei einigen wenigen gemessenen Bauten Ausführungsfehler zu Verringerung des Trittschallschutzes im Mittel beigetragen haben und Unsicherheiten durch die teilweise ungenauen Angaben der dynamischen Steifigkeiten s' der verlegten Trittschalldämmung von Seiten der Bauleitung auftraten).

Folglich lautet die Formel des Norm-Trittschallpegels zur Einhaltung der Trittschallanforderungen

$$\text{erf. } L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K + 3dB \quad (13.1)$$

Die Messwerte des bewerteten Norm-Trittschallpegels $L'_{n,w}$ zeigen einen um 4 dB breiteren Streubereich als die Rechenwerte der derzeit gültigen DIN 4109 Beiblatt 1 und DIN EN 12354-2. Dieser weitaus breitere Streubereich der Messwerte ist vermutlich auf die Qualität der handwerklichen Ausführung der Estrichkonstruktion zurückzuführen.

Mit den Daten aus den Anhängen wird gegenüber DIN 4109 ein um 1 dB höherer Trittschallschutz als nach DIN EN 12354-2 prognostiziert. Das CEN-Rechenverfahren prognostiziert einen um 1.4 dB niedrigeren bewerteten Norm-Trittschallpegel als in massiven Mehrgeschosswohnbauten tatsächlich vorhanden (Prognose zur unsicheren Seite).

Um Kontinuität mit dem derzeit gültigen Sicherheitsniveau beim Trittschallschutz zu gewährleisten, sollte deshalb ein Sicherheitsabschlag von 3 dB zwischen Rechenwert und Anforderung (in Anlehnung an den Sicherheitsabschlag von 2 dB in der derzeit gültigen DIN 4109 Beiblatt 1 Abschnitt 4.1.1) in die neuen DIN 4109 eingeführt werden.

Eine weitere Überlegung war das Verhalten einzelner Materialgruppen der flankierenden Wände wie Porenbeton, Leichtbeton, Kalksandstein oder Ziegel beim bewerteten Norm-Trittschallpegel zu diskutieren. Dafür wird das obige Diagramm erneut für die Messwerte und die Rechenergebnisse nach DIN EN 12354-2 aufgetragen, mit dem Unterschied, dass die einzelnen Materialien der Flanken gekennzeichnet sind.

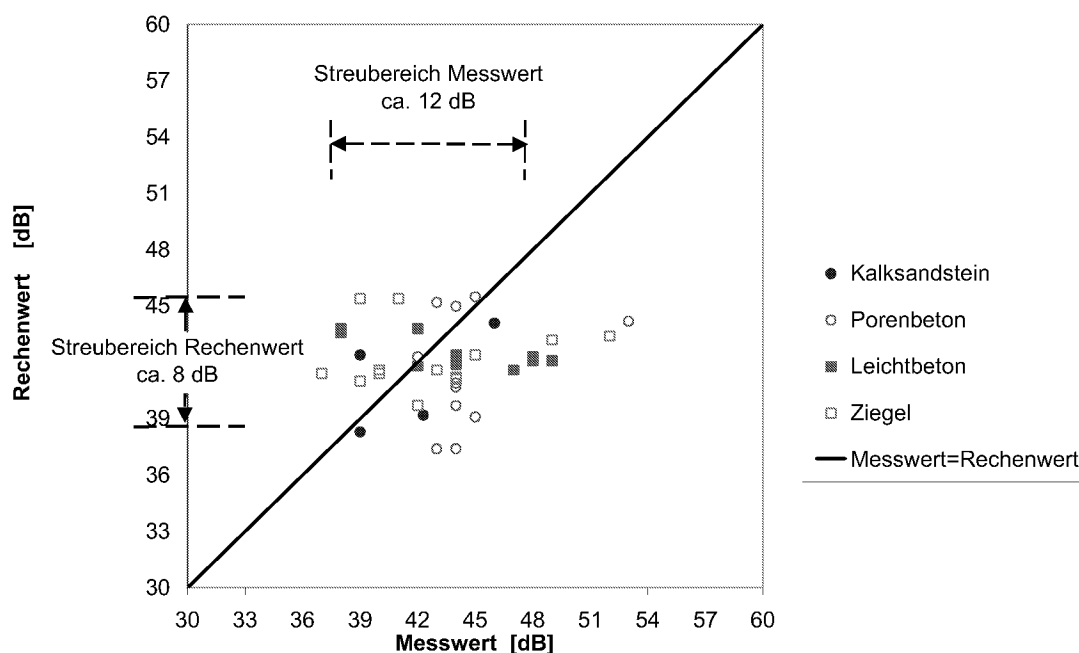


Bild 13.3: Bewerteter Norm-Trittschallpegel. Vergleich der in-situ Messung und der Berechnung nach DIN EN 12354-2 vereinfachtes Modell für einzelne Materialgruppen der flankierenden Wände.

Im Diagramm wird deutlich, dass die unterschiedlichen Materialien der flankierenden Wände (Porenbeton, Leichtbeton, Kalksandstein und Ziegel) keinen erkennbaren Einfluss auf den Prognosewert haben. Dadurch ist ein Unterscheiden der flankierenden Übertragung hinsichtlich der Mauerwerkmaterialien nicht von Nöten.

Gleiche Aussagen wurden für die Berechnung nach DIN 4109 Beiblatt 1 gewonnen und sind hier nicht dargestellt.

13.2 Einfluss der flankierenden Übertragung

Nach der Untersuchung in Abschnitt 13.1 blieb offen, ob die Berücksichtigung der flankierenden Übertragung nach DIN EN 12354-2 [10] einen Zuwachs an Genauigkeit gegenüber der Berechnung nach DIN 4109 Beiblatt 1 [8] bei der Prognose der Trittschalldämmung bringt. Dies soll durch eine detaillierte Betrachtung der Schallabstrahlung der flankierende Bauteile geklärt werden.

Innerhalb der Trittschallmessungen in den Mehrfamilienwohnhäusern in Massivbauweise wurden in sieben Übertragungssituationen zusätzlich zu der vertikalen Trittschallübertragung auch Messungen von Trittschall-Flankenpegeln durchgeführt. In fünf Fällen war das trennende Bauteil als massive Stahlbetondecke, in zwei Fällen als Stahlbeton-Hohlplattendecke ausgeführt. Die Decken waren in einem Fall mit einem schwimmend verlegten Zementestrich und in den anderen sechs Fällen mit Calciumsulfatestrichen ausgestattet. Alle Estriche waren ohne Bodenbelag versehen. Die flankierenden Wände waren als monolitische Mauerwerkswände (Aussenwände ohne zusätzliche Wärmedämmschichten) mit einer flächenbezogenen Masse von 100 kg/m^2 bis 400 kg/m^2 ausgeführt. Die Wände weisen keine für Lochsteine typischen Dickenresonanzen auf. Häufig wurde in Eckzimmern gemessen, mit zwei Aussenwänden und einer schweren tragenden Innenwand. Die Grundrisse mit den Bauteilangaben der untersuchten Objekte sind in Anlage A2 dargestellt.

Bei den Messungen der Flankenpegel am Bau wurde das trennende Bauteil (hier die Decke mit schwimmendem Estrich) mit dem Normhammerwerk nach DIN EN ISO 140-7 [13] angeregt, die Körperschallschnellen mittels Körperschallaufnehmern auf den flankierenden Bauteilen im Empfangsraum und auf dem trennenden Bauteil gemessen. Die Messtechnik ist detailliert in Abschnitt 12.2 beschrieben.

Im folgenden wird eine detaillierte Betrachtung der Schallübertragung der flankierenden Bauteile unternommen. Gemessene in-situ Trittschallpegel werden berechneten Werten bei sieben vertikalen Übertragungssituationen gegenübergestellt. Es wird unterschieden zwischen gemessenen Pegeln auf den einzelnen Flanken $L_{n,ij}$, Pegel auf dem trennenden Bauteiles $L_{n,d}$ und der Gesamt-Norm-Trittschallpegels L'_n (Summe aus Norm-Trittschallpegel aller Flanken $L_{n,ij}$ und Norm-Trittschallpegel des trennenden Bauteils $L_{n,d}$)

$$L'_n = L_{n,i} + \sum_{n=1}^4 L_{n,ij} \quad (13.2)$$

Als erster Diskussionspunkt werden die gemessenen Pegelverläufe am trennenden Bauteil und an allen Flanken am Beispiel eines Demonstrationsobjektes dargestellt und mit dem Rechenwert des detaillierten Modells der DIN EN 12354-2 [10] verglichen. Als zweiter Diskussionspunkt wird der Einfluss der flankierenden Übertragung in Bauwerken in den sieben Übertragungssituationen den Ergebnissen nach dem vereinfachten CEN-Berechnungsmodell (Korrekturwert K , $L_{n,ij}$) gegenüber gestellt.

13.2.1 Flankierende Übertragung an einem Demonstrationsobjekt

Gemessene Pegel auf den flankierenden und auf dem trennenden Bauteil sind an einer beispielhaften Übertragungssituation in einem Massivbau mit einer Stahlbetondecke mit schwimmendem Estrich und massiven flankierenden Wänden im Folgenden dargestellt. Messwerte werden Rechenwerten nach dem detaillierten Modell der DIN EN 12354-2 [10] gegenüber gestellt. Die Berechnungen nach dem detaillierten Modell erfolgten mit einem Microsoft-Excel basierten Programm, welches im Rahmen einer Diplomarbeit an der Hochschule für Technik Stuttgart [35] erstellt wurde. Ein Vergleich mit dem detaillierten Modell erscheint hier sinnvoll, da dies frequenzabhängig möglich ist. Bild 13.4 zeigt den Grundriss mit Materialangaben des Demonstrationsobjektes.

- Aufbau Decke:
 - 50 mm Anhydritestrich $m' = 110 \text{ kg/m}^2$
 - 25/20 Mineralfaser Trittschalldämmplatte $s' = 15 \text{ MN/m}^3$ und 40 mm PU-Hartschaum
 - 200 mm Stahlbeton $m' = 460 \text{ kg/m}^2$
- Aufbau flankierende Wände (Mauerwerk)
 - Aussenwand 1
 - 365 mm Leichtbeton $m' = 246 \text{ kg/m}^2$
 - Aussenwand 2
 - 365 mm Leichtbeton $m' = 246 \text{ kg/m}^2$
 - Innenwand 1
 - 240 mm Leichtbeton $m' = 294 \text{ kg/m}^2$
 - Innenwand 2
 - 115 mm Leichtbeton $m' = 204 \text{ kg/m}^2$

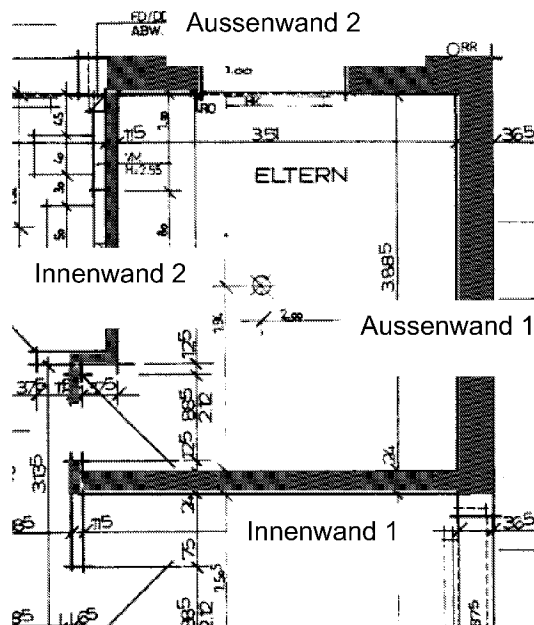


Bild 13.4: Grundriss des Demonstartionsobjektes

Die Flankenpegel wurden mittels Körperschallaufnehmer gemessen und in Schalldruckpegel umgerechnet (Umrechnung siehe Abschnitt 12.2.2). Um aussagekräftige Ergebnisse liefern zu können, wird in Bild 13.5 die Übereinstimmung zwischen Körperschallmesstechnik und Luftschallmesstechnik am Norm-Trittschallpegel des Demonstartionsobjektes dargestellt.

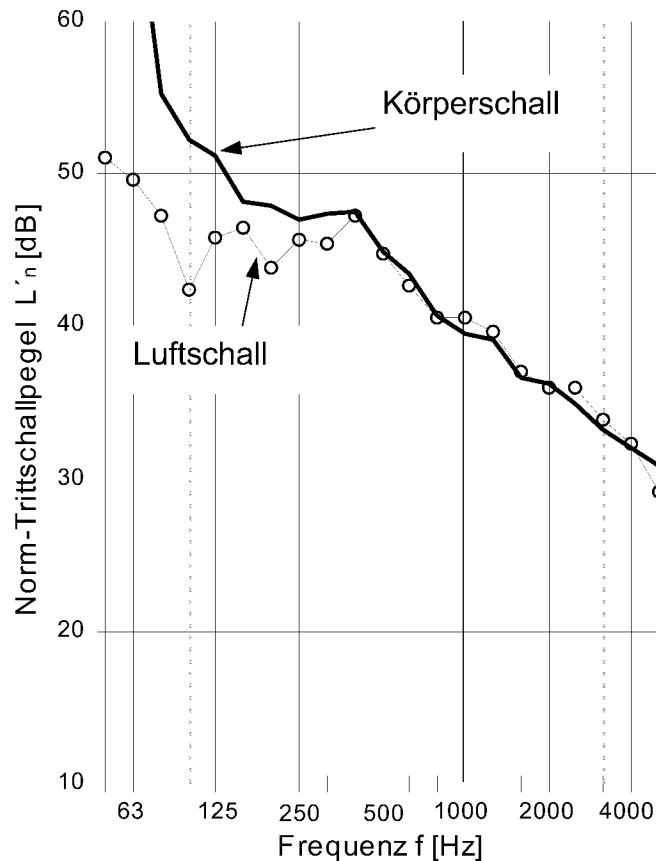
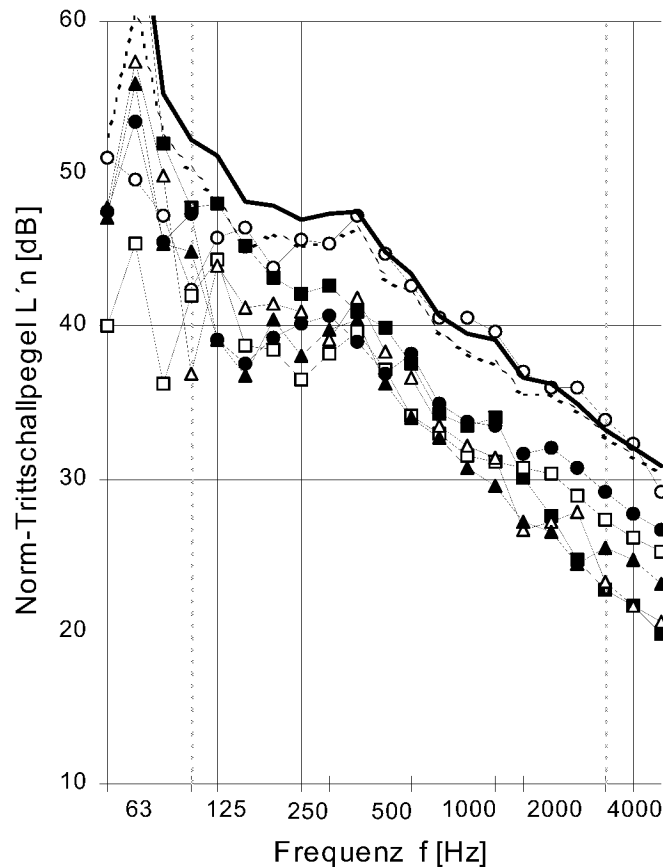


Bild 13.5: Frequenzverlauf des Norm-Trittschallpegels gemessen mit Luftschall- und Körperschall-Messtechnik

Eine gute Übereinstimmung im mittleren und hohen Frequenzbereich zwischen den beiden Messtechniken ist anhand diesem Demonstrationsobjekt wiedergegeben und wird bei allen sieben untersuchten Situationen erreicht. Die Differenz zwischen Körperschall- und Luftschallmesstechnik in tiefen Frequenzen ist begründet in der Annahme des Abstrahlgrades $\sigma = 1$ auch unterhalb der Grenzfrequenz der Wand (siehe Abschnitt 12.3).

Im folgenden Bild 13.6 sind die frequenzabhängigen Pegel bei Anregung mit dem Normhammerwerk gemessen auf allen Bauteile (Decke mit schwimmendem Estrich und die 4 Flanken) mittels Körperschall-Messtechnik für das Demonstrationsobjekt dargestellt.

Das Diagramm stellt neben dem gemessenen frequenzabhängigen Norm-Trittschallpegel auf allen Bauteilen auch die Einzahlgaben des bewerteten Norm-Trittschallpegels dar. Die Übertragung über jedes Bauteil in Prozent sowie auch das Massenverhältnis $m'_{\text{Trenn}}/m'_{\text{Flanke-mittel}}$ ist ebenfalls gegeben.



Bauteil	Übertragung in Prozent	$m^{\text{Trenn}} / m^{\text{Flanke}}$	
— $L'_{vn,w}$ - Körperschall-Messtechnik	$L'_{vn,w} = 44.8$ dB	100 %	
-○- $L'_{n,w}$ - Luftschall-Messtechnik	$L'_{n,w} = 43.5$ dB		
■ Decke	$L'_{vn,w} = 38.8$ dB	26 %	
● Aussenwand 1	$L'_{vn,w} = 38.6$ dB	25 %	1.9
▲ Innenwand 1	$L'_{vn,w} = 35.8$ dB	13 %	1.6
△ Innenwand 2	$L'_{vn,w} = 36.9$ dB	17 %	2.3
□ Aussenwand 2	$L'_{vn,w} = 37.2$ dB	18 %	1.9
..... $L'_{nij,w}$	$L'_{n,w} = 43.2$ dB	74 %	1.9

Bild 13.6: Frequenzverlauf des Norm-Trittschallpegels gemessen am Trennbauteil und an den einzelnen Flanken mittels Körperschall-Messtechnik. Angabe der Einzahlwerte, der Übertragung in Prozent und des Massenverhältnisses $m^{\text{Trenn}}/m^{\text{Flanken-mittel}}$.

Der Frequenzverlauf für die Decke mit schwimmendem Estrich zeigt einen typischen Abfall zu hohen Frequenzen [36]. Die Pegel der flankierenden Wände fallen ebenfalls zu hohen Frequenzen.

Die Übertragung über die Decke beträgt 26 % (ausgefüllte Quadrate), über alle vier Flanken (gestrichelte Linie) werden zusammen 74 % der Schallenergie übertragen. Alle Bauteile tragen zur Gesamtübertragung bei. Dieses Beispiel zeigt deutlich, dass die flankierende Übertragung in diesem Objekt nicht vernachlässigt werden darf.

Diese gemessene Direktübertragung $L'_{vn,d}$, die Summe der flankierenden Übertragung $L'_{vn,ij}$ und der gemessene Norm-Trittschallpegel L'_{vn} am Demonstrationsobjekt werden errechneten Werten nach dem detaillierten Modell der DIN EN 12354-2 in den folgenden zwei Diagramm gegenübergestellt. In Bild 13.7 wird die Rechnung und Messung der Direktübertragung über die Decke und der gesamte Norm-Trittschallpegel gegenübergestellt, in Bild 13.8 die Summe der flankierenden Übertragung sowie ebenfalls der gesamte Norm-Trittschallpegel.

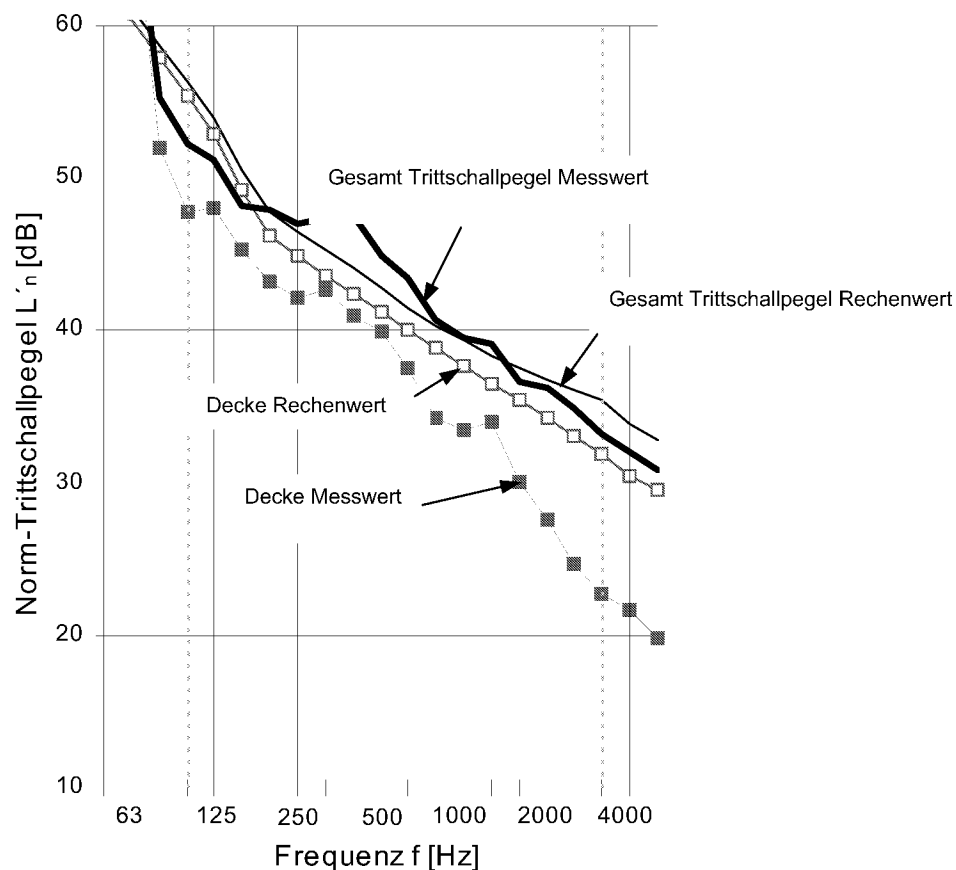


Bild 13.7: Gemessene und errechnete (detailliertes Modell) Norm-Trittschallpegel für die Übertragung über die Decke $L'_{n,d}$ und die Gesamtübertragung L'_n

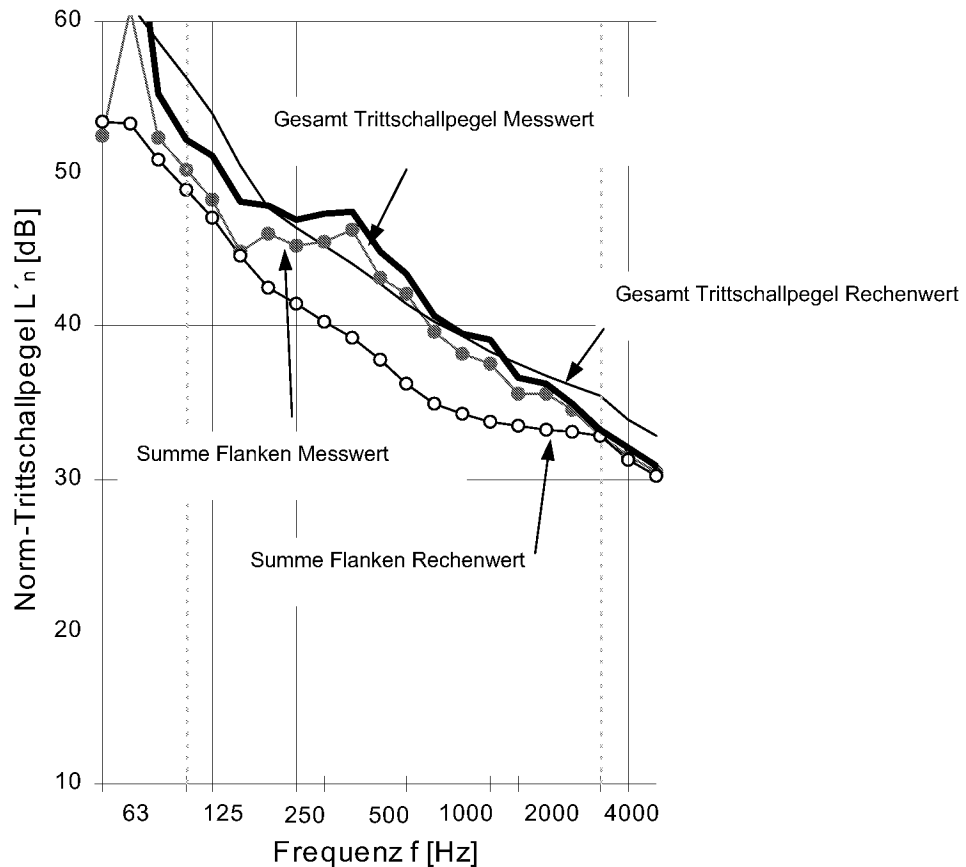


Bild 13.8: Gemessene und errechnete (detailliertes Modell) Norm-Trittschallpegel für die Summe der Übertragung $L'_{n,ij}$ über alle Flanken und der Gesamtübertragung L'_{n}

Die dicken Linien bzw. Linien mit ausgefüllten Markierungen stellen die Messwerte dar, dünne Linien und nicht ausgefüllte Markierungen die Rechenwerte.

Der Verlauf des Norm-Trittschallpegels über der Frequenz der schallübertragenden Bauteile wird nach dem detaillierten Modell im wesentlichen richtig prognostiziert. Die Direktübertragung (Quadrate) wird im Einzahlwert um 5.3 dB höher berechnet, dagegen die Summe der flankierenden Übertragung (Kreise) um 1.8 dB niedriger. Diese ‚zu hoch‘ und ‚zu niedrig‘ errechneten Werte werden dann beim Einzahlwert des Gesamt-Trittschallpegel (Linie ohne Markierung) ‚aufgehoben‘, sodass eine gute Übereinstimmung, mit einem um 1.3 dB höheren Norm-Trittschallpegel, prognostiziert wird. Gegenüber dem Messwert wurden die hohen Pegel auf dem trennenden Bauteil und geringe Pegel auf den flankierenden Bauteilen auch bei der Berechnung der Luftschalldämmung nach dem detaillierten Modell festgestellt.

Diese Diskrepanz an dem Demonstrationsobjekt– Übertragung über flankierende Bauteile geringer berechnet als tatsächlich vor Ort – tritt in allen sieben untersuchten Übertragungssituationen auf. Die flankierende Übertragung darf deshalb nicht vernachlässigt werden darf.

Die physikalische Überlegung, dass das leichteste flankierende Bauteil am besten zu Schwingungen angeregt werden kann und folglich der grösste Teil der flankierenden Übertragung über die leichteste Flanke stattfindet, zeigen im folgenden Diagramm für alle sieben Situationen die hellen runden Kreise.

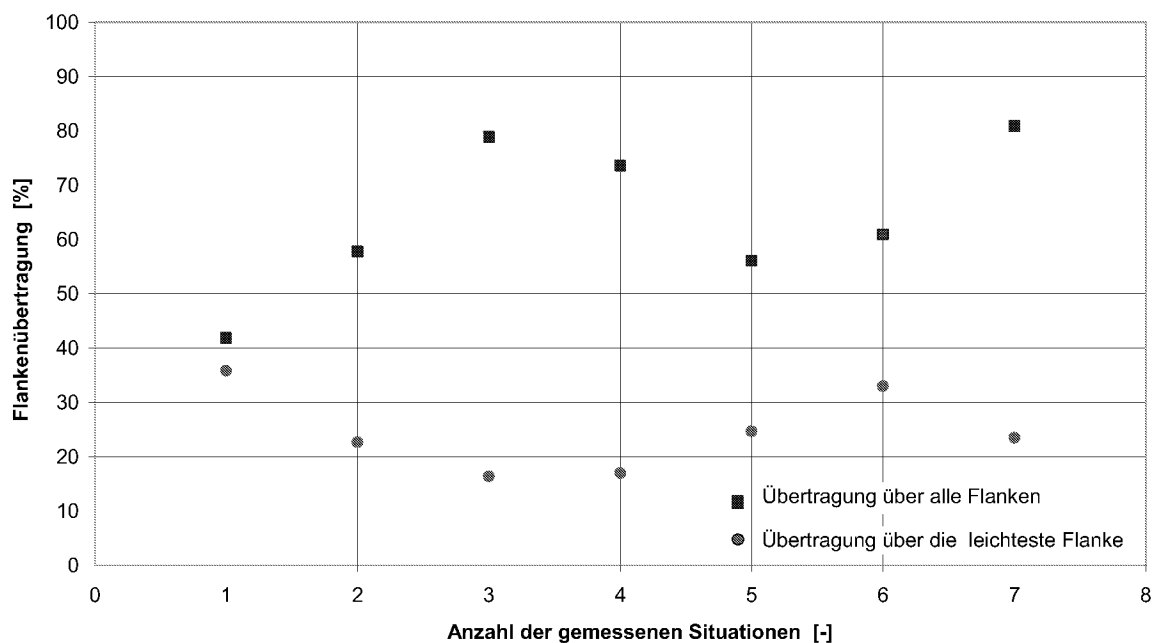


Bild 13.9: Messwert der Summe der Schallübertragung aller flankierenden Bauteile (Quadrate) und Messwert der Übertragung über die leichteste Flanke (Kreise)

Die dunklen Quadrate zeigen die Summe der flankierenden Übertragung über alle Flanken mit einem Mittelwert in allen sieben Situationen von 65 %. Dagegen werden im Mittel 25% über die leichteste Flanke übertragen. Damit wurde die physikalische Überlegung bestätigt, jedoch kann von der Übertragung des leichtesten Bauteils nicht auf die Gesamtübertragung geschlossen werden.

Bei der heute häufigen Bauweise im Mehrgeschoss-Wohnungsbau mit leichten Flanken kann eine Schallabstrahlung über flankierende Bauteile von 65 % auftreten. In solchen Fällen bestimmt die flankierende Übertragung den Hauptteil der Übertragung. Der Gesamt-Norm-Trittschallpegel wird nach dem detaillierten Modell des CEN-Rechenverfahrens im Kurvenverlauf richtig prognostiziert. Der errechnete Anteil der flankierenden Übertragung wird im Pegel unterschätzt, die Direktübertragung im Pegel überschätzt. Alle Bauteile tragen zur Gesamtübertragung bei.

Damit wird deutlich, dass die separate Betrachtung der flankierenden Übertragung in CEN-Rechenverfahren richtig erscheint.

13.2.2 Flankierende Übertragung im vereinfachten Berechnungsmodell

Der vorige Abschnitt zeigt, dass der Anteil der flankierenden Übertragung in Bauwerken vom detaillierten frequenzabhängigen Berechnungsmodell nicht ausreichend genau prognostiziert wird. Wird der Anteil der flankierenden Übertragung auch vom vereinfachten Modell der DIN EN 12354-2 [10] unterschätzt?

Die gemessenen bewerteten Summenpegel der flankierenden Übertragung $L_{n,ij,w}$ in allen sieben Situationen ist gegen das Massenverhältnis der flächenbezogenen Massen von $m'_{Trenn} / m'_{Flanken-mittel}$ aufgetragen. Der Korrekturwert K im vereinfachten Verfahren der DIN EN 12354-2 Tabelle 1 wird aus dem Verhältnis der flächenbezogenen Massen ermittelt. Die Korrekturwerte K werden in Werte in Prozent (%) umgerechnet und den Messwerten des $L_{n,ij,w}$ gegenübergestellt. Umrechnung des Korrekturwertes in Prozent:

$$\text{ÜbertragungTrennbauteil}\% = 10^{-K[dB] \cdot 0,1} \cdot 100 \quad (13.3)$$

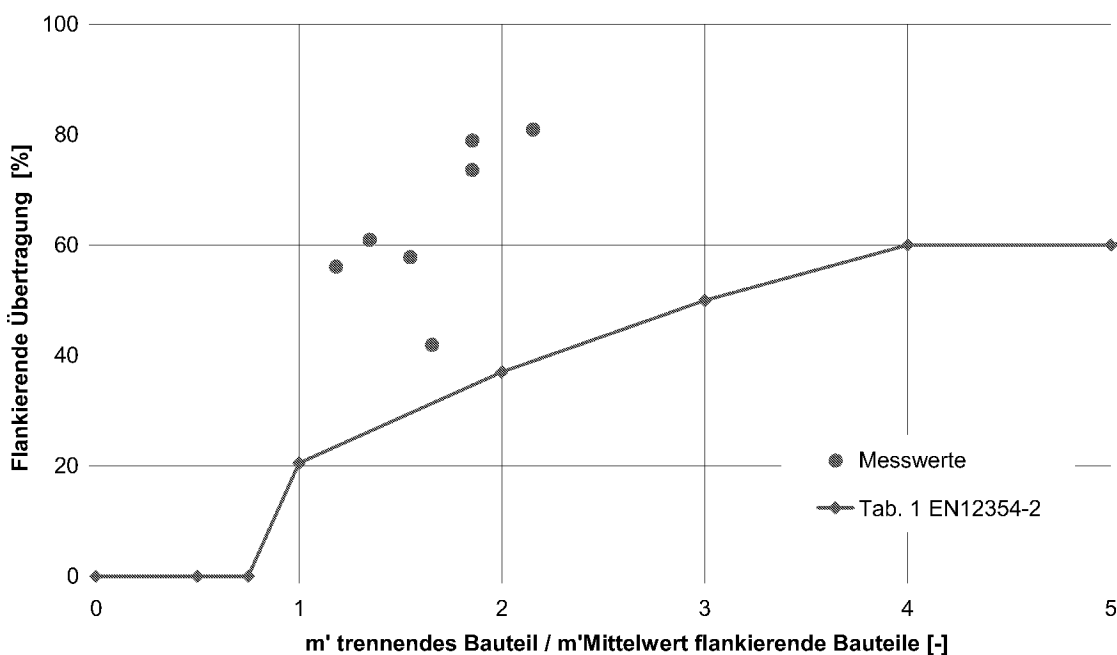


Bild 13.10: Schallübertragung über die flankierenden Bauteile (Summenpegel) in Prozent aufgetragen gegen das Massenverhältnis $m'_{Trenn}/m'_{Flanken-mittel}$. Messwerte und Tabellenwerte (Tabelle 1, Abschnitt 4.3) der DIN EN 12354-2 vereinfachtes Modell

Ein Mittelwert von 65 % flankierender Übertragung in den Messungen wurde ermittelt, die Tabelle 1 der DIN EN 12354-2 hingegen geht von einem Wert von 30 % aus, welches einen Unterschied von ungefähr 3 dB zur Messung bedeutet.

Das vereinfachte Modell prognostiziert die flankierende Übertragung, wie das detaillierte Modell, in gleichem Maße nicht ausreichend genau. Das Massenverhältnis $m'_{Trenn} / m'_{Flanken-mittel}$ der untersuchten Konstruktionen bewegt sich in allen sieben Situationen zwischen 1 und 2.

Die flankierende Übertragung - eben dargestellt in % - wird nach dem vereinfachten Modell der DIN EN 12354-2 mit einem Einzahlwert „Korrekturwert K für die Flankenübertragung“ beurteilt. Im detaillierten Modell wird die flankierende Übertragung frequenzabhängig durch den Summenpegel des Norm-Trittschallpegels jeder einzelnen Flanke angegeben. Aus den bewerteten Einzulangaben des Gesamt-Norm-Trittschallpegels $L'_{n,w}$ minus dem Einzahlwert des Norm-Trittschallpegels der Direktübertragung (Decke) $L_{n,d,w}$ kann ein Einzahlwert für die flankierende Übertragung („entspricht“ dem Korrekturwert K) bestimmt werden nach

$$K_{\text{Detailliertes Modell}} = L'_{n,w} - L'_{n,d,w} \quad (13.4)$$

Die Ergebnisse des errechneten Korrekturwertes K nach dem vereinfachten und detaillierten Modell und die Messergebnisse aufgetragen über das Massenverhältnis $m'_{Trenn} / m'_{Flanken-mittel}$ werden im folgenden Diagramm dargestellt.

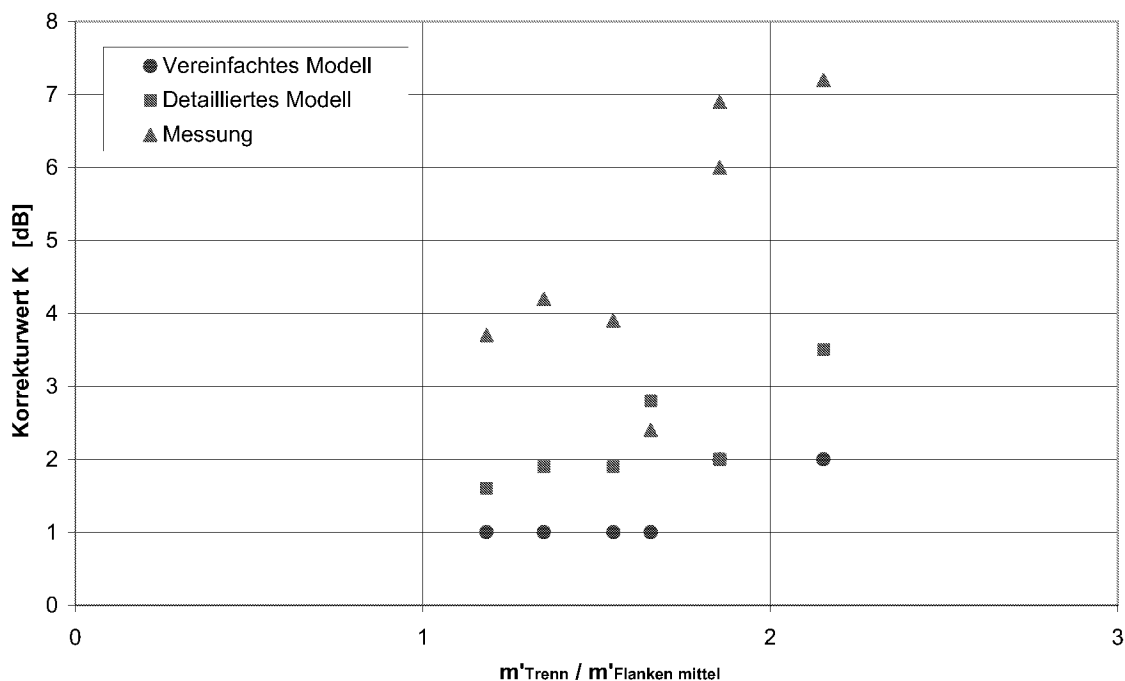


Bild 13.11: Korrekturwert K für die flankierende Übertragung aufgetragen über dem Verhältnis der flächenbezogenen Masse $m'_{Trenn} / m'_{flanken-mittel}$. Messwert und Rechenwert nach dem vereinfachten und detaillierten Modell der DIN EN 12354-2.

Die flankierende Übertragung wird nach dem detaillierten Modell (Quadrate) und nach dem vereinfachten Modell (Kreise) im Mittel um 2.7 dB (detailliertes Modell) und 3.5 dB (vereinfachtes Modell) zu niedrig prognostiziert. Das detaillierte Modell prognostiziert die flankierende Übertragung etwas näher am Messwert als das vereinfachte Modell, jedoch ebenfalls nicht ausreichend genau. Dies bestätigt wiederum das Ergebnis in Abschnitt 13.2.1, dass bei dem detaillierten Modell die flankierende Übertragung auch unterschätzt wird.

Die Untersuchung der flankierenden Übertragung an sieben Bauten (mit hauptsächlich Aussenwand-Flanken aus wärmedämmenden Mauerwerk) zeigt, dass die flankierende Übertragung nach dem vereinfachten Modell als auch nach dem detaillierten Modell nicht ausreichend die gemessenen Werte in Bauwerken prognostiziert wird. Die flankierende Übertragung wird in beiden Modellen in gleichem Maße um etwa 35 % d.h. ca. um 3 dB unterschätzt. Die Grenzfrequenz leichter Bauteile liegt in dem für die Bewertung zur Einzahlangabe interessanten Frequenzbereich. Dadurch ergibt sich für die verminderte Abstrahlung unterhalb der Grenzfrequenz einen Differenz zwischen Luft- und Körperschallmessungen. Des weiteren können Trittschallmessungen in leeren, nicht möblierten Räumen bei Anregung mit dem Normhammerwerk Luftschallübertragung über die flankierenden Bauteile aufweisen.

Die Bestimmung der flankierenden Übertragung mit dem Massenverhältnis m'_{Trenn} zur mittleren flächenbezogenen Masse der flankierenden Bauteile wird vorgeschlagen beizubehalten. Die Verwendung der leichtesten flächenbezogenen Masse im Massenverhältnis $m'_{Trenn} / m'_{leichteste-Flanke}$ erzielt keine nennenswerte Verbesserung der Prognosegenauigkeit.

13.3 Vorschlag für horizontale und diagonale Übertragung

Nach DIN EN 12354-2 [10] (vereinfachtes Berechnungsmodell) ist das Nachweisverfahren der Trittschalldämmung zwischen Räumen nur für die vertikale Übertragung anwendbar. Es ist anzustreben dieses Berechnungsmodell mit Hilfe eines Korrekturwertes auch für die horizontale und diagonale Übertragung anwenden zu können.

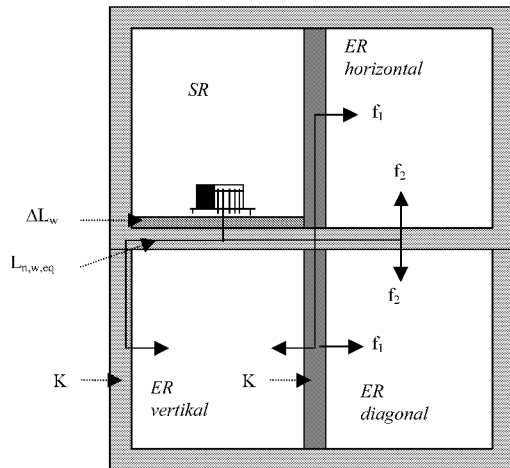


Bild 13.12: Übertragungswege der vertikalen, horizontalen und diagonalen Trittschallübertragung

DIN 4109 Beiblatt 1 Tabelle 36 gibt für neben oder schräg unter dem ‚besonders lauten‘ Raum einen Abschlag von 5 dB an.

Spalte	1	2
Zeile	Lage der schutzbedürftigen Räume (SR)	K_T dB
1	<p>Brenn-Holzwerkwerk nach DIN EN 1218 Teil 1</p> <p>„unmittelbar unter dem ‚besonders lauten‘ Raum (L,R)“</p> <p>Mikrofon</p>	0
2	<p>„neben oder schräg unter dem ‚besonders lauten‘ Raum (L,R)“</p>	+ 5
3	<p>„wie Zeile 2, jedoch ein Fliesen- oder keramische-Fliesenboden“</p>	+ 10
4	<p>„über dem ‚besonders lauten‘ Raum (L,R)“ (einbaufähig mit beidseitigen Wänden)</p>	+ 10
5	<p>„über dem ‚besonders lauten‘ Raum (L,R)“ (Stiegebau)</p>	+ 20
6	<p>„über dem ‚besonders lauten‘ Raum (L,R)“ Kellerraum</p>	1)
7	<p>„neben oder schräg unter dem ‚besonders lauten‘ Raum (L,R) jedoch durch Glaswolle- oder Mineralwolle-Decke (L 1200mm) getrennt“</p>	+ 15

1) Angabe ohne K_T -Pfeil nicht möglich, da für $L'_{n,w,R} = \Delta L_{w,R} - 15$ dB ($L'_{n,w,R} = Y_{n,w} + 10$ dB, $\Delta L_{w,R} = (Y_{n,w})$) ist das Trittschallübertragungsgeräusch des im Kellerraum verorteten Fußbodens.

Bild 13.13: Tabelle 36 der derzeit gültigen DIN 4109 Beiblatt 1: Korrekturwert K_T zur Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels $L'_{n,w,R}$ für verschiedene räumliche Zuordnung „besonders lauter“ Räume (LR) zu schutzbedürftigen Räumen (SR).

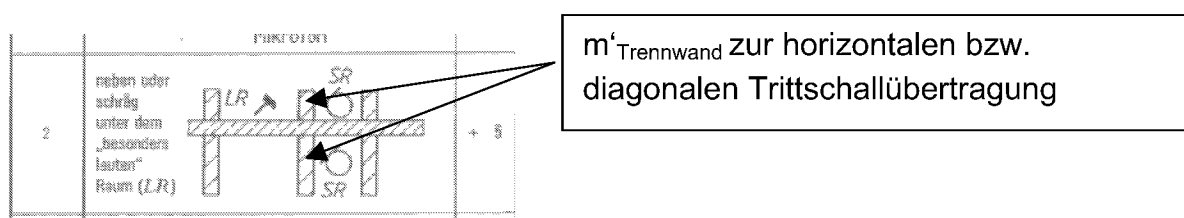
Dieser Korrekturwert könnte an den in der derzeitigen gültigen DIN 4109, Beiblatt 1, Tabelle 36 („Korrekturwert K_T zur Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels $L'_{n,w,R}$ für verschiedene räumliche Zuordnung ...“) Anlehnung

finden (siehe Bild 13.3). Die Berechnungsgleichung des bewerteten Norm-Trittschallpegel würde mit dem Korrekturwert K_T erweitert werden zu

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K - K_T \text{ [dB]}. \quad (13.5)$$

Die Bestimmung des Korrekturwertes K aus Gleichung (6.9) kann entweder aus den Bauteildaten der flankierenden Bauteile von dem vertikal darunterliegenden Raum bestimmt werden. (Bestimmung von K wie bei Berechnung des vertikalen Trittschallschutzes mit der mittleren flächenbezogenen Masse der flankierenden Wänden).

Andererseits könnte K nur aus der flächenbezogenen Masse m' der Trennwand zum Nachbarraum bestimmt werden.



Diese Vorschläge zur Handlungsanleitung bei der horizontalen und diagonalen Übertragung sollte auf ihre Genauigkeit überprüft werden. Ebenso sollte für die anderen Fälle (ausser der horizontalen und diagonalen Übertragung) wie aus Zeile 3-7 Bild 13.13 überprüft werden, in wieweit der Korrekturwert K_T in diesen Situationen anzuwenden ist.

14 Prognosen zum Trittschallschutz nach DIN EN 12354-2 und DIN 4109

Die Genauigkeit des vereinfachten Berechnungsmodells und der Berechnung nach der derzeit gültigen DIN 4109 Beiblatt 1 [8] mit Messwerten wurde in Abschnitt 13.1 mit einem um 1.4 dB zu niedrig prognostizierten Trittschallpegel nach DIN EN 12354-2 [10] und einen um 0.4 dB zu niedrigen Pegel nach DIN 4109 Beiblatt 1 (ohne 2 dB Sicherheitsmaß) ermittelt. Obwohl das vereinfachte Verfahren für den rechtlich geschuldeten Trittschallschutznachweis verwendet werden soll, soll in dieser Teiluntersuchung nachgeprüft werden, ob nicht das detaillierte Modell eine bessere Übereinstimmung mit Messwerten liefert und deshalb ein erhöhter Rechenaufwand durch die frequenzabhängige Berechnung gerechtfertigt wäre.

Zu dieser Untersuchung wurden sechs der sieben detailliert gemessenen Übertragungssituationen herangezogen. Der bewertete Norm-Trittschallpegel der Direktübertragung $L_{n,d,w}$, der flankierenden Übertragung $L_{n,ij,w}$, der bewertete Gesamt-Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ und das bewertete Trittschallverbesserungsmaß ΔL_w werden nach dem vereinfachten und detaillierten Modell berechnet. Die Ergebnisse beider Rechenmethoden werden verglichen (siehe Abschnitt 14.1). In Abschnitt 14.2 werden dann die Messwerte den prognostizierten Werten nach dem vereinfachten, detaillierten Modell und nach DIN 4109 Beiblatt 1 gegenübergestellt. Die Einzahlbewertung wurde nach DIN EN ISO 717-2 [14] durchgeführt.

In vier der sechs Übertragungssituationen sind Stahlbetondecken, in zwei Situationen Stahlbeton-Hohlplattendecken jeweils mit schwimmendem Estrich eingebaut worden. Die flankierenden Wände waren monolitische Mauerwerkswände (Aussenwände ohne zusätzliche Wärmedämmschichten). Detaillierte Bauteilbeschreibung ist in Abschnitt 13.2 dargestellt. Die $L_{n,d}$ und $L_{n,ij}$ wurden mittels Körperschallmessung ermittelt, der Gesamt-Normtrittschallpegel wurde mittels Mikrofon gemessen. Die Berechnungen nach dem detaillierten Modell erfolgten mit einem Microsoft-Excel basierten Programm, welches im Rahmen einer Diplomarbeit an der Hochschule für Technik Stuttgart [37] erstellt wurde.

14.1 Prognose nach dem vereinfachten und detaillierten Modell

Nachfolgende Graphen zeigen die Berechnung des bewerteten Norm-Trittschallpegels der Direktübertragung, der flankierende Übertragung, der gesamten Übertragung und das bewertete Trittschallverbesserungsmaß nach dem detaillierten Modell aufgetragen gegen die Ergebnisse aus der Berechnung nach dem vereinfachten Verfahren. Stimmen die detaillierte und die vereinfachte Berechnung überein, liegt der Punkt auf der Diagonalen.

In Bild 14.1 ist der äquivalente bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,w,eq}$ der frequenzabhängigen Berechnung gegenüber der Berechnung aus Einzulangaben aufgetragen.

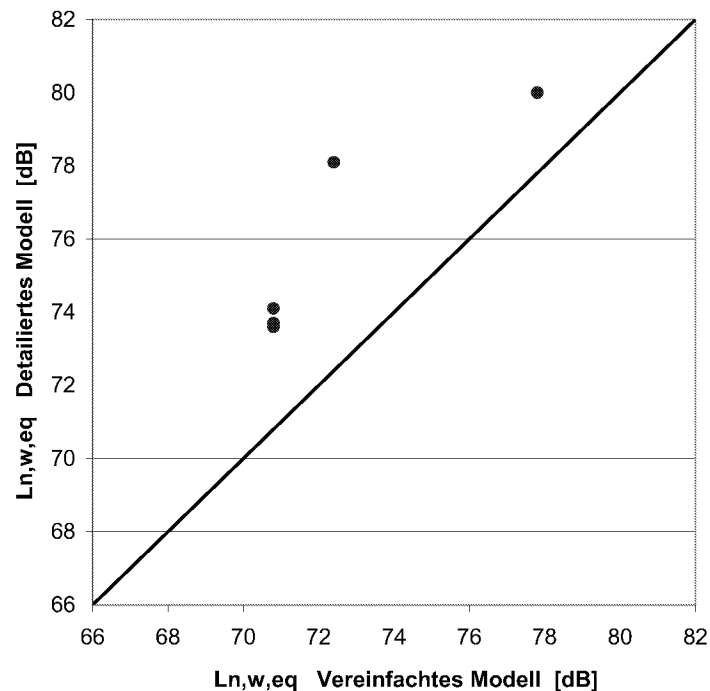


Bild 14.1: Äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel $L_{n,w,eq}$ errechnet nach dem vereinfachten und detaillierten Modell der DIN EN 12354-2

Nach dem detaillierten Modell wird in allen sechs Situationen (auf eine Situation fällt 2 mal der gleiche Wert) der Trittschallpegel der Rohdecke $L_{n,w,eq}$ im Mittel um 3.2 dB höher berechnet als nach dem vereinfachten Modell.

Hingegen wird der Einzahlwert des Trittschallverbesserungsmaß ΔL_w nach dem vereinfachten Modell im Mittel um 1.5 dB höher berechnet als nach dem detaillierten Modell wie Bild 14.2 dargestellt wird.

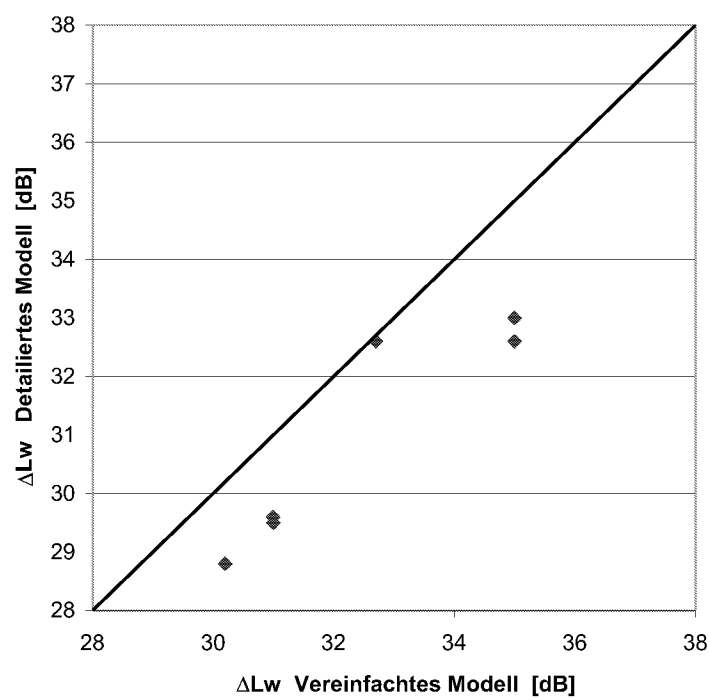


Bild 14.2: Bewertetes Trittschallverbesserungsmaß ΔL_w errechnet nach dem vereinfachten und detaillierten Verfahren der DIN EN 12354-2

Die flankierende Übertragung wird nach dem vereinfachten Modell mit der Einzahlangabe ‚Korrekturwert K‘ berechnet, welche im Mittel aus den sechs Situationen ein K von 1.3 dB ergibt. Aus der Berechnung des Flankenpegels $L_{n,ij}$ nach dem detaillierten Modell kann ein Korrekturwert K ‚umgerechnet‘ werden mit $K = L_{n,w} - L_{n,d,w}$. Ein mittleres K von 2.0 dB wird errechnet.

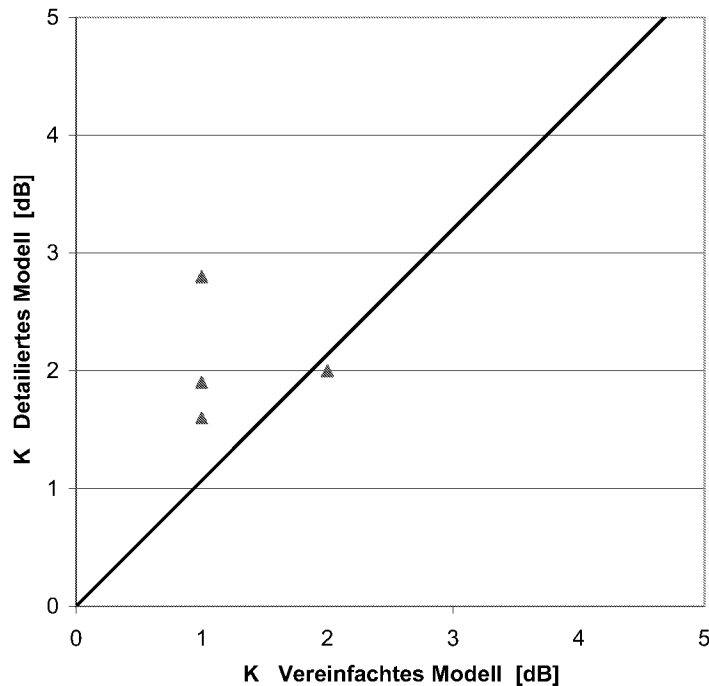


Bild 14.3: Korrekturwert K für flankierende Übertragung errechnet nach dem vereinfachten und detaillierten Modell der DIN EN 12354-2

Nach dem detaillierten Modell wird ein im Mittel von 0.7 dB höheren Korrekturwert K als nach dem vereinfachten Verfahren berechnet (auf die Situation 2/2 fallen 2 Werte). Diese Abweichung ist zu vernachlässigen, da der Korrekturwert sich nach dem detaillierten Modell mit Kommastellen ergibt, nach dem vereinfachten nur aus ganzzahligen Werten.

Aus diesen ‚einzelnen‘ Komponenten $L_{n,w,eq}$, K bzw. $L_{n,ij,w}$ und ΔL_w wird der Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ bestimmt.

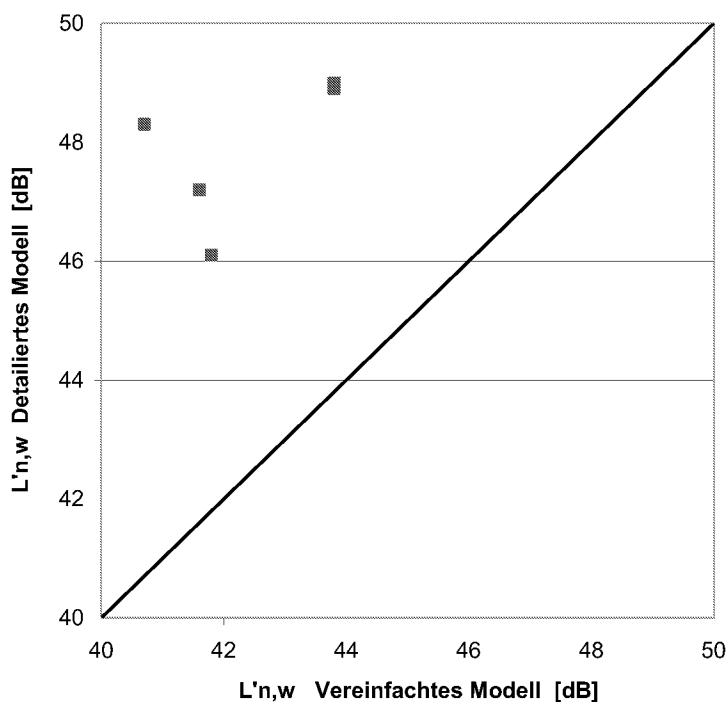


Bild 14.4: Bewerteter Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ errechnet nach dem vereinfachten und nach dem detaillierten Verfahren der DIN EN 12354-2

Der $L'_{n,w}$ wird nach dem detaillierten Modell im Mittel um 5.4 dB höher berechnet als nach der vereinfachten Variante. (Auf den Wert 46/42 fallen 2 Situationen).

In nachfolgender Tabelle sind alle mittleren Abweichungen und Standardabweichungen zwischen den prognostizierten Werten nach dem detaillierten und vereinfachten Modell zur Übersicht aufgetragen. Eine positive Abweichung bedeutet einen höheren errechneten bewerteten Pegel bzw. Wert beim detaillierten Modell im Vergleich zum vereinfachten Modell, eine negative Abweichung einen niedrigen Wert.

	$L_{n,w,eq}$ [dB]	ΔL_w [dB]	$K/L_{n,ij,w}$ [dB]	$L'_{n,w}$ [dB]
Mittlere Abweichung [dB]	3.2	-1.5	0.8	5.4
Standardabweichung [dB]	1.3	0.8	0.7	1.2

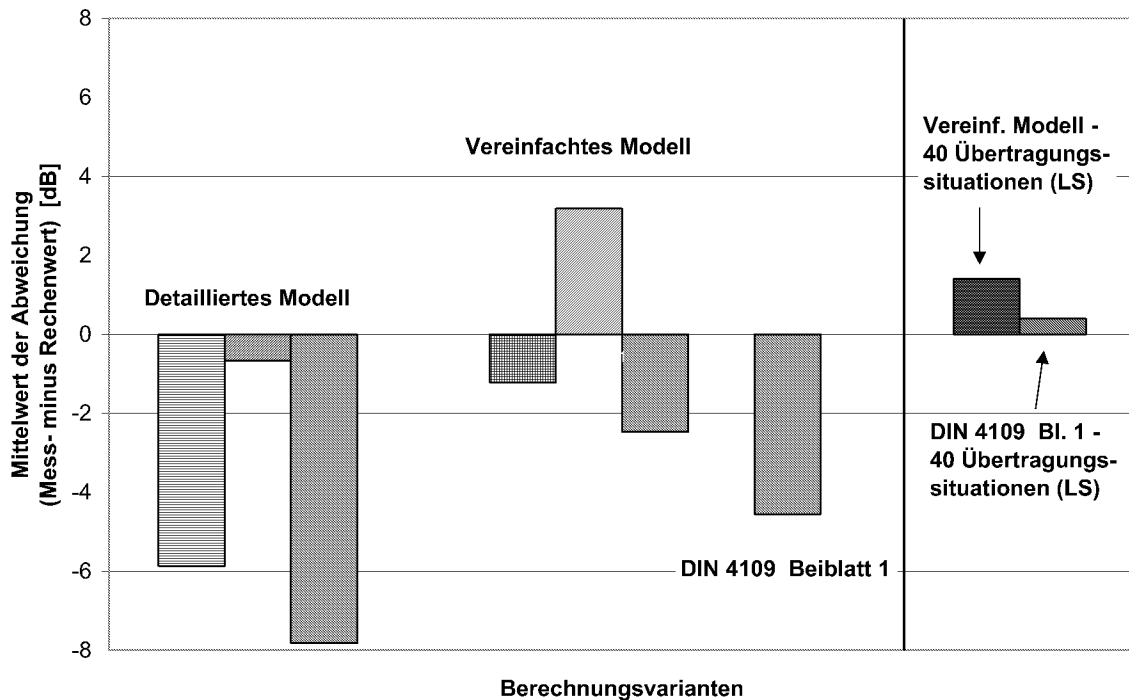
Tabelle 14.1: Mittlere Abweichung und Standardabweichung zwischen prognostizierten Werten nach dem detaillierten und vereinfachten Modell der DIN EN 12354-2 (6 Mitteilungen)

Das detaillierte Modell errechnet bei sechs untersuchten Situationen einen um 5.5 dB höheren bewerteten Norm-Trittschallpegel als nach dem vereinfachten Berechnungsverfahren der DIN EN 12354-2. Dieser höhere Pegel setzt sich aus einem um 3.2 dB höheren Prognosewert bei der Berechnung des äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegels der Rohdecke, einen um 1.5 dB geringer berechnetes Trittschallverbesserungsmaß der schwimmenden Estrichkonstruktion und einen um 0.8 dB höheren Korrekturwert K zusammen.

14.2 Messwerte und prognostizierte Werte der drei Berechnungsmethoden

Weitergehend soll untersucht werden, wie die errechneten Pegel nach den beiden Modellen der DIN EN 12354-2 [10] mit Messwerten übereinstimmen. Die mittlere Abweichung zwischen bewerteten Pegeln aus Messwert und Rechenwert von der Direktübertragung (Decke mit schwimmendem Estrich), der flankierenden Übertragung und des gesamten Norm-Trittschallpegels nach Berechnungen des vereinfachten Modells und detaillierten Modells werden aufgezeigt. Der bewertete Gesamt-Norm-Trittschallpegel nach DIN EN 12354-2 wird mit Werten der DIN 4109 Bl.1 [8] verglichen.

Im linken Teil des Diagramms werden die Mittelwerte der Abweichungen aus den sechs detailliert untersuchten Situationen dargestellt, im rechten Teil des Diagramms die Mittelwerte der Abweichungen der vertikalen Übertragungen aus den 40 Situationen aus Abschnitt 13.1.



- $L'_{n,w,d}$ – Bewerteter Norm- Trittschallpegel durch Direktübertragung
- $L'_{n,w,ij}/K$ – Bewerteter Norm-Trittschallpegel durch Flankenübertragung
- $L'_{n,w}$ – Bewerteter Norm-Trittschallpegel (Luftschall –Messtechnik)

Bild 14.5: Mittelwert der Abweichung zwischen Messwert und Rechenwert nach den Berechnungsvarianten der DIN EN 12354-2 und DIN 4109 BI.1 für 6 Situationen (Abweichung = Messung - Rechnung). Negative Abweichung entsprechen einem höheren Rechenwert als Messwert. LS: Luftschallmessung

Die quadratisch schraffierten Säulen stellen die Abweichungen des bewerteten Norm-Trittschallpegel der Direktübertragung $L'_{n,d,w}$ dar, die diagonal schraffierten Säulen den bewerteten Norm-Trittschallpegel der flankierenden Übertragung $L'_{n,ij,w}$ (Summe aus allen Flanken) bzw. den Korrekturwert K und die grau hinterlegten Säulen den bewerteten Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ (Summe aus Direkt- und flankierender Übertragung). Die $L'_{n,d,w}$ und die $L'_{n,ij,w}$ Werte wurden bestimmt aus Körperschallmessung, die $L'_{n,w}$ Werte aus Luftschallmessungen (Luftschallkorregierte Werte). Für die Differenz zwischen Messwert und Rechenwert beim $L'_{n,w}$ wurden die Werte von den Luftschallmessungen gewählt, damit diese mit dem grösseren Messwertkollektiv von 40 Situationen verglichen werden können.

Beim direkten Übertragungsweg ist der Rechenwert nach der detaillierten Berechnung um 5.9 dB höher, welches durch den Pegelverlauf am Demonstrationsobjekt aus Abschnitt 13.2.1 bestätigt wird. Bei dem vereinfachten Modell wird die Direktübertragung um 1.2 dB zu hoch prognostiziert. Diese hohen Rechenwerte im detaillierten Modell lassen schliessen, dass das Trittschallverbesserungsmaß des schwimmenden Estrichs zu gering prognostiziert wird .

Bei der flankierende Übertragung $L'_{n,ij,w}$ bzw. dem Korrekturwert K liegen die Abweichungen beim vereinfachten Verfahren im positiven Bereich bzw. nahe am Nullwert beim detaillierten Modell. Daraus ist zu schliessen, dass die tatsächliche flankierende Übertragung in DIN EN 12354-2 nicht ausreichend berücksichtigt wird (wiederholt ist der Pegelverlauf des Demonstrationsobjekts in Abschnitt 13.2.1 bestätigt).

Betrachtet man die Abweichung der Rechenwerte des bewerteten gesamten Norm-Trittschallpegel, so liegen in allen drei Berechnungsvarianten die Pegel im negativen Bereich (Det. Modell 7.8 dB, Vereinf. Modell 2.5 dB, DIN 4109 4.6 dB) welches eine Prognose zur sicheren Seite darstellt. Die Messwerte der flankierenden Übertragung können einen Anteil an Luftschallübertragung (bei Anregung mit dem Normhammerwerk) über die flankierenden Bauteile enthalten. In der Einzahlangabe des Norm-Trittschallpegels ergibt sich bei den Körperschallmessungen ein um 4 dB höherer Einzahlwert als bei den Luftschallmessungen mit Luftschallkorrektur. Zur Vereinfachung der Messauswertung wurde unterhalb der Grenzfrequenz der Abstrahlgrad ebenfalls mit $\sigma = 1$ angenommen. Dies führt zu einem höheren berechneten Trittschallpegel unterhalb der Grenzfrequenz als tatsächlich vorhanden.

Betrachtet man einen grösseren Mittelwert aus einer Datenmenge von 40 Situationen (berechnet nach dem vereinfachten Modell und DIN 4109 - rechte Seite Bild 14.3), ergibt sich eine gute Übereinstimmung zwischen Messwert und Rechenwert.

Die Standardabweichung der Abweichungen von Messwert minus Rechenwert sind in folgender Tabelle zusammengefasst.

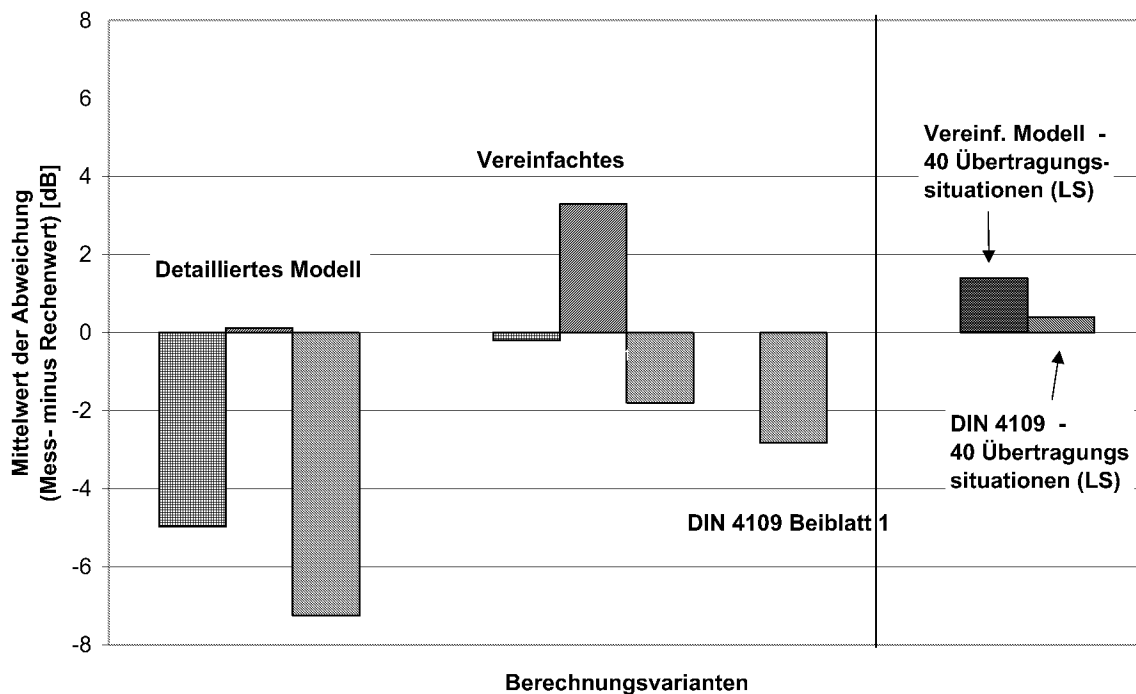
	6 Situationen			40 Situationen	
	Detailliertes Modell	Vereinfachtes Modell	DIN 4109	Vereinfachtes Modell	DIN 4109
$L'_{n,w,d}$ (Körperschallmessung)	3.2 dB	3.1 dB			
$L'_{n,w,ij} / K$ (Körperschallmessung)	4.4 dB	1.2 dB			
$L'_{n,w}$ (Luftschallmessung)	3.5 dB	2.6 dB	4.4 dB	4.0 dB	3.9 dB

Tabelle 14.2: Standardabweichungen der Abweichung zwischen Messwert und Rechenwert für die Direktübertragung, flankierende Übertragung und der Gesamtübertragung

Standardabweichungen in den sechs detailliert untersuchten Situationen von bis zu 4.5 dB treten auf. Bei einem grösseren Mittelwert von 40

Übertragungssituationen bleibt die Standardabweichung unverändert. Sie ist begründet in einer breiten Streuung der Messwerte.

Der soeben diskutierte Graph wird im Folgenden wiederholt dargestellt, jedoch sind die Messwerte der zwei Situationen der Objekte mit Stahlbeton-Hohlplattendecken aus dem Mittelwert herausgenommen. Begründet ist dies im gemessenen Pegelverlauf, welcher nach Messung weitaus besser ist, als aus der Berechnung mittels der flächenbezogenen Masse der Stahlbeton-Hohlplattendecken zu erwarten wäre. Deshalb werden im folgenden Graph die vier Übertragungssituationen mit Stahlbetondecke dargestellt.



-  $L'_{n,w,d}$ – Bewerteter Norm-Trittschallpegel durch Direktübertragung
-  $L'_{n,w,i,j} / K$ – Bewerteter Norm-Trittschallpegel durch Flankenübertragung
-  $L'_{n,w}$ – Bewerteter Norm-Trittschallpegel (Luftschall – Messtechnik)

Bild 14.6: Mittelwert der Abweichung zwischen Messwert und Rechenwert nach den Berechnungsvarianten der DIN EN 12354-2 und DIN 4109 BI.1 für 4 Situationen (Abweichung = Messung - Rechnung). Ohne Werte der Stahlbeton-Hohlplattendecken. LS: Luftschallmessung

Dieses Diagramm zeigt die gleiche Tendenz wie das vorherige Bild. Die Standardabweichungen der Abweichungen ohne die Stahlbeton-Hohlplattendecke liegen in der gleichen Größenordnung wie die in Tabelle 14.2.

Das vereinfachte Verfahren prognostiziert den Trittschallschutz im massiven Mehr-Geschosswohnungsbau ausreichend genau und kann zur Berechnung des Trittschallschutzes verwendet werden. Mit dem zeitaufwendigen detaillierten Modell konnte bei den durchgeführten Untersuchungen keine höherer Genauigkeit erreicht werden. Obwohl das Berechnungsmodell der DIN 4109 Bl. 1 die flankierende Übertragung nicht explizit berücksichtigt (flankierende Übertragung beinhaltet in den Bauteilkenndaten), kann diese Berechnungsmethode für den typisch deutschen Mehrgeschosswohnungsbau mit nicht zu leichten Flanken angewendet werden.

Leichte Flanken werden heutzutage in Aussenwänden in Form von hochwärmedämmenden Steine häufig verwendet. Im CEN- Rechenverfahren können leichte Flanken berücksichtigt werden. Damit kann das Rechenmodell auch solche „kritische“ Fälle (leichte Flanken) nachbilden.

15 Sicherheitsbeiwerte und Empfehlungen

Aufgrund der Streuung von Mess- und Rechenwerten wird ein Sicherheitsbeiwert (Vorhaltemaß) benötigt, um sicherzustellen, dass ein festgelegter Anteil der Messwerte über den geforderten Rechenwerten liegt. Die Höhe dieses Sicherheitsbeiwertes hängt einerseits von der Streuung der Messwerte, andererseits von der gewünschten Sicherheit (60%, 90% etc.) ab. Sicherheitsbeiwerte können angewandt werden auf Werte aus den informativen Anhängen der DIN EN 12354-2 und auf Werte aus Prüflaboren (Prüfwerte). Die Höhe der Sicherheitsbeiwerte sind für den äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegel und dem bewerteten Trittschallverbesserungsmaß sowie für den Korrekturwert K für flankierende Übertragung in diesem Abschnitt zusammengefasst. Ein Vergleich mit den Werten aus Beiblatt 1 der derzeit gültigen DIN 4109 wird gegeben.

Zusätzliche zu der Sicherheitsbeitrachtung werden Empfehlungen für die neue DIN 4109 ausgesprochen.

15.1 Sicherheitsbeiwerte beim Trittschallschutznachweis

15.1.1 Äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel

Der äquivalente bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,w,eq}$ kann nach Anhang B.2 der DIN EN 12354-2 aus der flächenbezogenen Masse berechnet werden. Bei der Berechnung nach Anhang B.2 der DIN EN 12354-2 und DIN 4109 Beiblatt 1 Tabelle 16 ergeben sich keine Unterschiede in den Werten zum $L_{n,w,eq}$.

Für Prüfungen sollte analog zur derzeit gültigen DIN 4109 beim äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegel gemäß Anhang B.2 kein Abschlag (Abschnitt 6.4.1 der DIN 4109) vorgesehen werden.

15.1.2 Bewertetes Trittschallverbesserungsmaß

Nach DIN 4109 Beiblatt 1 Tabelle 17 errechnet sich das bewertete Trittschallverbesserungsmaß ΔL_w von schwimmend verlegten Estrichen in der gleichen Größenordnung wie nach Anhang C der DIN EN 12354-2 (siehe Bild 9.4). Dies gilt für schwimmend verlegte Zement- und Calciumsulfatestriche sowie

auch für schwimmend verlegte Gussasphalt- und Trockenestrichen. DIN 4109 berechnet für eine minimale Last, da bei den Werten in Tabelle 17 von Estrichplatten mit $m' = 70 \text{ kg/m}^2$ (Zement- und Calciumsulfatestriche) bzw. 45 kg/m^2 (Gussasphaltestriche) ausgegangen wird. Heute übliche Estriche weisen jedoch eine höhere flächenbezogene Masse auf und damit ein höheres Trittschallverbesserungsmaß. DIN 4109 verfügt hierbei über einen indirekten Abschlag beim Trittschallverbesserungsmaß. Werden Prüfwerte aus dem Labor verwendet, so sind diese Prüfwerte gemäß Abschnitt 6.4.1 der derzeit gültigen DIN 4109 um 2 dB abzumindern, um sie als Rechenwerte anzuwenden.

Das bewertete Trittschallverbesserungsmaß ΔL_w von schwimmend verlegten Estrichen kann gemäß Anhang C.2 der DIN EN 12354-2 bestimmt werden. Im Vergleich mit Prüfwerten aus Prüfzeugnissen namhafter Hersteller von gängig verwendeten Trittschalldämmstoffen wird für schwimmend verlegte Zement- und Calciumsulfatestriche ein um 2 dB niedrigeres ΔL_w prognostiziert. Bei Gussasphalt- und Trockenestrichen ergibt sich gemäß Anhang C ein um 4 dB niedriges prognostiziertes ΔL_w . Werden bei der Umrechnung in Rechenwerte auch zukünftig die ermittelten Laborwerten um 2 dB vermindert, so entsprechen die Rechenwerte für Zement- und Calciumsulfatestrichen aus dem Labor den Werten gemäß den Werten aus Bild C.1 der DIN EN 12354-2. Bei Gussasphalt- und Trockenestrich hingegen verbleiben 2 dB Sicherheit. Bei den Gussasphalt- und Trockenestrich beträgt die Standardabweichung zwischen Rechenwert und Messwert von 2.7 dB, bei Zement- und Calciumsulfatestrichen hingegen beträgt die Standardabweichung nur 1.2 dB.

15.1.3 Flankierende Übertragung - Korrekturwert K

Eine Korrektur für die flankierende Übertragung wird angewendet, wenn die mittlere flächenbezogene Masse der flankierenden Bauteile gleich oder geringer als die flächenbezogene Masse des Trennbauteils ist.

Die Tabelle 1 in Abschnitt 4.3.1 der DIN EN 12354-2 sollte für die Berechnung künftig verwendet werden. Dies wird untermauert durch die Untersuchung in Abschnitt 10, in welcher die Korrekturwerte K nach dem detaillierten Modell mit Einzahlwerten der DIN EN 12354-2 bestätigt wurden.

In Abschnitt 10 und Abschnitt 13.2 wird die Untersuchung zu dem Korrekturwert K ausführlich diskutiert.

15.2 Empfehlungen für die neue DIN 4109

Das vereinfachte CEN-Rechenmodell sowie die Daten aus den informativen Anhängen der DIN EN 12354-2 sollen Eingang in die neue DIN 4109 finden. Folgende Empfehlungen für die neue DIN 4109 werden vorgeschlagen:

- Die Daten im Anhang B ($L_{n,w,eq}$) und im Anhang C (ΔL_w) der DIN EN 12354-2 sollten für die Berechnung des Trittschallschutzes verwendet werden. Der Anteil der flankierenden Übertragung, berücksichtigt im Korrekturwert K in Tabelle 1 der DIN EN 12354-2 Abschnitt 4.3.1, sollte ebenfalls verwendet werden.
- Neben den Tabellenwerten bzw. Werte aus Graphen sollten Gleichungen für das Trittschallverbesserungsmaß (Anhang C) sowie für die Korrekturwerte K für die flankierende Übertragung (Abschnitt 4.3.1 normativer Teil) nach DIN EN 12354-2 angegeben werden. Dies führt zu einer einfacheren Handhabung im besonderen bei Computerprogrammen.
- Die Verbesserung des Trittschallschutzes durch biegeeweiche Unterdecken am trennenden Bauteil sollte künftig im vereinfachten Berechnungsverfahren nach DIN EN 12354-2 berücksichtigt werden. Die Berücksichtigung von Unterdecken könnte innerhalb der flankierende Übertragung erfolgen. Werte für eine Korrektur K_{FL+UD} für flankierende Übertragung mit biegeweichen Unterdecken in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse des trennenden Bauteils und der mittleren flächenbezogenen Masse der flankierenden Bauteile wurden ermittelt.
- Um Rechenwerte zu erhalten, sollten auch künftig die Laborwerte des Trittschallverbesserungsmaßes ΔL_w um 2 dB abgemindert werden. Dies sollte in die neue DIN 4109, in Anlehnung an Abschnitt 6.4.1 der derzeit gültigen DIN 4109, eingeführt werden.
- Mit den Daten aus den Anhängen wird gegenüber DIN 4109 ein um 1 dB höherer Trittschallschutz als nach DIN EN 12354-2 prognostiziert. Um Kontinuität mit dem derzeit gültigen Sicherheitsniveau beim Trittschallschutz zu gewährleisten, sollte deshalb ein Sicherheitsabschlag von 3 dB zwischen Rechenwert und Anforderung (in Anlehnung an den Sicherheitsabschlag von 2 dB in der derzeit gültige DIN 4109 Beiblatt 1 Abschnitt 4.1.1) in die neuen DIN 4109 eingeführt werden.

Der Trittschallschutznachweis kann mit den Einzahlangaben aus den Anhängen der DIN EN 12354-2 geführt werden. Das vereinfachte CEN-Rechenmodell kann, durch die separate Berücksichtigung der flankierenden Übertragung, den Trittschallschutz unter Berücksichtigung leichter Flanken nachbilden. Um Kontinuität mit dem derzeit gültigen Sicherheitsniveau im Trittschallschutz in

massiven Mehrgeschoss-Wohnungsbauten zu schaffen, sollte ein Sicherheitsabschlag von 3 dB zwischen Rechenwert und Anforderung in die neuen DIN 4109 eingeführt werden.

16 Weiterer Handlungsbedarf

Das vereinfachte CEN-Berechnungsverfahren der DIN EN 12354 Teil 2 „Trittschalldämmung zwischen Räumen“ im Hinblick auf die neue DIN 4109 konnte für die vertikale Übertragungsrichtung in Mehrfamilien-Wohngebäuden in Massivbauweise verifiziert werden.. Dabei wurde der Anteil der flankierenden Übertragung detailliert untersucht. Die Eingangsdaten für einen Bauteilkatalog wurden mit gängigen verwendeten Baumaterialien abgeglichen und aktualisiert.

Weiterer Handlungsbedarf besteht in folgenden Bereichen:

- Anwendbarkeit des vereinfachten CEN-Berechnungsmodells in Gebäuden in Leichtbauweise und in Skelettbauart z.B. Bürogebäude. Bei dieser Art von Bauten strahlt nur die Decke die Schallenergie ab. Ein Korrekturwert für flankierende Übertragung braucht nicht berücksichtigt zu werden. Dafür muss das Trittschallverbesserungsmaß von Doppel- und Hohlraumböden sowie von Unterdecken genau bestimmt werden.
- Verifizierung des vereinfachten Berechnungsmodells bei Verlegung von schwimmenden Gussasphalt- und Trockenestrichen. Messungen in Bauten mit dieser Art von Estrichen sollten durchgeführt werden.
- Anwendbarkeit des vereinfachten Verfahren für den horizontalen und diagonalen Übertragungsweg. Es ist anzustreben einen Korrekturwert zu ermitteln, eventuell nach Vorlage der derzeit gültigen DIN 4109, Tabelle 36, ‚Korrekturwert K_T zur Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels $L'_{n,w,R}$ für verschiedene räumliche Zuordnung. Die Anwendbarkeit dieses Vorschlages ist zu prüfen.
- Aussagen über das akustische Verhalten von Hohlraumböden. Eine übersichtliche Darstellung mit Eingangsdaten des Trittschallverbesserungsmaßes und Aufnahme in den Bauteilkatalog der zukünftigen DIN 4109 ist anzustreben.
- Vorgeschlagene Eingangsdaten der Trittschallverbesserung von biegeweichen Unterdecken am trennenden Bauteil und der Trittschallverbesserung von Vorsatzschalen an den flankierenden Bauteilen sind theoretisch ermittelte Werte und sollten mit Werten aus Prüfzeugnissen der Hersteller abgeglichen werden.

17 Literatur

- [1] DIN EN 12354-1; Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen, Dezember 2000
- [2] „Ermittlung und Verifizierung schalltechnischer Grundlagendaten für Wandkonstruktionen aus Kalksandstein-Mauerwerk auf der Grundlage neuer europäischer Normen des baulichen Schallschutzes“ der AIF-Mitgliedsvereinigung Forschungsvereinigung Kalk-Sand e.V., AIF-Vorhaben-Nr. 11593/1
- [3] „Umsetzung der europäischen Normen des baulichen Schallschutzes für die Bims- und Leichtbetonindustrie“ der AIF-Mitgliedsvereinigung Forschungsvereinigung Leichtbeton, AIF-Vorhaben-Nr. 11642N/1
- [4] „Umsetzung der europäischen Normen des baulichen Schallschutzes für die Porenbetonindustrie“ der AIF-Mitgliedsvereinigung Forschungsvereinigung Porenbeton, AIF-Vorhaben-Nr. 11640N/1
- [5] „Umsetzung der europäischen Normen des baulichen Schallschutzes für die Ziegelindustrie“ HfT1373
- [6] Richtlinie des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Bauprodukte (Bauproduktenrichtlinie), Dokument 89/106/EWG, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L40/12 vom 11. Februar 1989.
- [7] Draft of Interpretative Document for the Essential Requirement Nr. 5, Protection against Noise, Council Directive 89/106/EEC, Construction Products, Document TC 57019-Rev. 2 dated 15. 07. 1993.
- [8] Beiblatt 1 zur DIN 4109: Schallschutz im Hochbau; Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren; November 1989
- [9] DIN 4109: Schallschutz im Hochbau; Anforderungen und Nachweise; November 1989
- [10] DIN EN 12354-2 Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen, September 2000
- [11] Gerretsen, E.: European development in prediction models for building acoustics, Acta Acustica 2 (1994), S. 205 – 214
- [12] Beiblatt 2 zur DIN 4109: Schallschutz im Hochbau; Hinweise für Planung und Ausführung; Vorschläge für den erhöhten Schallschutz; Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich; November 1989
- [13] DIN EN ISO 140-7: Akustik - Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 7: Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden, Dezember 1998
- [14] DIN EN ISO 717-2, Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen. Teil 2: Trittschalldämmung, Januar 1997
- [15] DIN 52210-2: Bauakustische Prüfungen; Luft und Trittschalldämmung. Norm wurde von der DIN EN ISO 717 Reihe ersetzt.
- [16] Gösele K. , Geiselman K.; Berechnung des Trittschallschutzes von Rohdecken, berichtsband DAGA (1976), VDI Verlag
- [17] DIN EN ISO 140-6: Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 6: Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen, Dezember 1998

-
- [18] Cremer L., Heckl M.; Körperschall; 2. Neu bearb. Auflage, Springer-Verlag 1996
- [19] Cremer L.; Näherungsweise Berechnung der von einem schwimmenden Estrich zu erwartenden Verbesserung; Forschung und Fortschritte im Bauwesen Heft 2 (1952), S. 123
- [20] DIN 52210: Bauakustische Prüfungen; Luft und Trittschalldämmung. Norm wurde von der DIN EN ISO 140 ersetzt.
- [21] Meier, A.: Die Bedeutung des Verlustfaktors bei der Bestimmung der Schalldämmung im Prüfstand. Doktorarbeit an der RWTH Aachen, Berichte aus der Elektrotechnik, Shaker Verlag, August 2000.
- [22] Meier, A., Schmitz, A.: Application of Total Loss Factor Measurements for the Determination of Sound Insulation Journal of Building Acoustics Vol. 6 (2), 1999, S. 71-84
- [23] Schmitz, A., Meier, A., Raabe, G.: Interlaboratory Test of Sound Insulation Measurements on Heavy Walls: Part I - Preliminary Test. Journal of Building Acoustics Vol. 6, 1999, S. 159-169
- [24] Meier, A., Schmitz, A., Raabe, G.: Interlaboratory Test of Sound Insulation Measurements on Heavy Walls: Part II - Results of Main Test. Journal of Building Acoustics Vol. 6, 1999, S. 171-186
- [25] DIN EN ISO 140-1: Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Anforderungen an Prüfstände mit unterdrückter Flankenübertragung, Oktober 1997
- [26] DIN 18560-2 Estriche im Bauwesen – Teil 2: Estriche und Heizestriche auf Dämmschicht (schwimmende Estriche), April 2004
- [27] DIN EN 29052- 1: Akustik – Bestimmung der dynamischen Steifigkeit – Teil 1: Materialien, die unter schwimmenden Estrichen in Wohngebäuden verwendet werden, August 1992
- [28] DIN 18164-2: Schaumkunststoffe als Dämmstoffe für das Bauwesen - Teil 2: Dämmstoffe für die Trittschalldämmung aus expandiertem Polystyrol-Hartschaum, September 2001
- [29] DIN 18165-2: Faserdämmstoffe für das Bauwesen - Teil 2: Dämmstoffe für die Trittschalldämmung, September 2001
- [30] DIN 68755-2 Holzfaserdämmstoffe für das Bauwesen - Teil 2: Dämmstoffe für die Trittschalldämmung, Juni 2000
- [31] VDI- Richtlinie 3762: 1998-11 „Schalldämmung von Doppel- und Hohlräumböden“
- [32] Fasold, Sonntag, Winkler: Bau- und Raumakustik, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1987
- [33] DIN EN ISO 717-2, Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen. Teil 1: Luftschalldämmung, Januar 1997
- [34] DIN EN ISO 354: Akustik: Messung der Schallabsorption in Hallräumen, Dezember 2003
- [35] U. Reinhold: Vergleichende Untersuchung zur Berechnung der Trittschalldämmung zwischen Räumen in Massivbauten nach DIN EN 12354-2, Diplomarbeit Hochschule für Technik Stuttgart 2002
- [36] Gösele, Schüle, Künzel; Schall, Wärme, Feuchte; 10. Auflage, Bauverlag 1997
- [37] U. Reinhold: Vergleichende Untersuchung zur Berechnung der Trittschalldämmung zwischen Räumen in Massivbauten nach DIN EN 12354-2, Diplomarbeit Hochschule für Technik Stuttgart 2002

Verzeichnis der Anhänge

A 1 Berechnungsbeispiel

**A 2 Dokumentation der Messobjekte zur flankierenden
Übertragung**

A 3 Prüfzeugnisse

A 3.1 Prüfzeugnisse von Massivdecken in Prüfständen

A 3.2 Prüfzeugnisse von Trittschalldämmprodukten

A 1 Berechnungsbeispiel nach DIN EN 12354-2

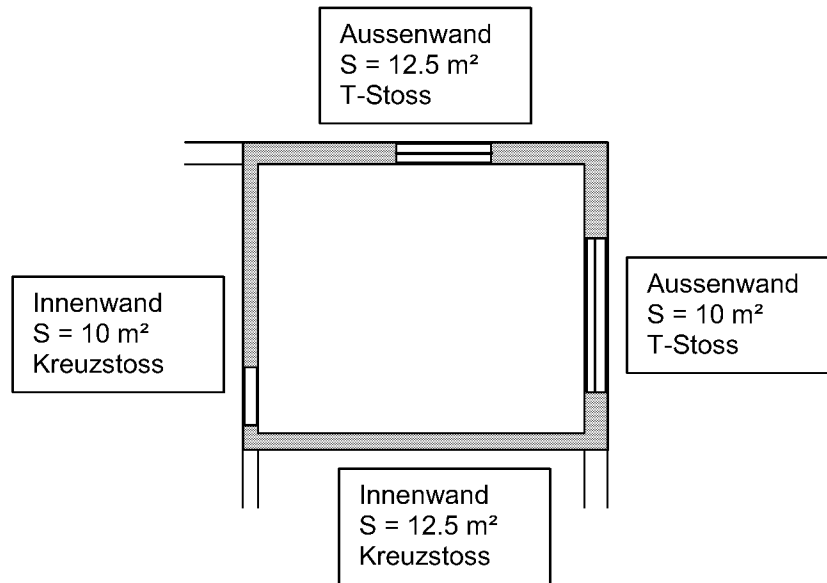
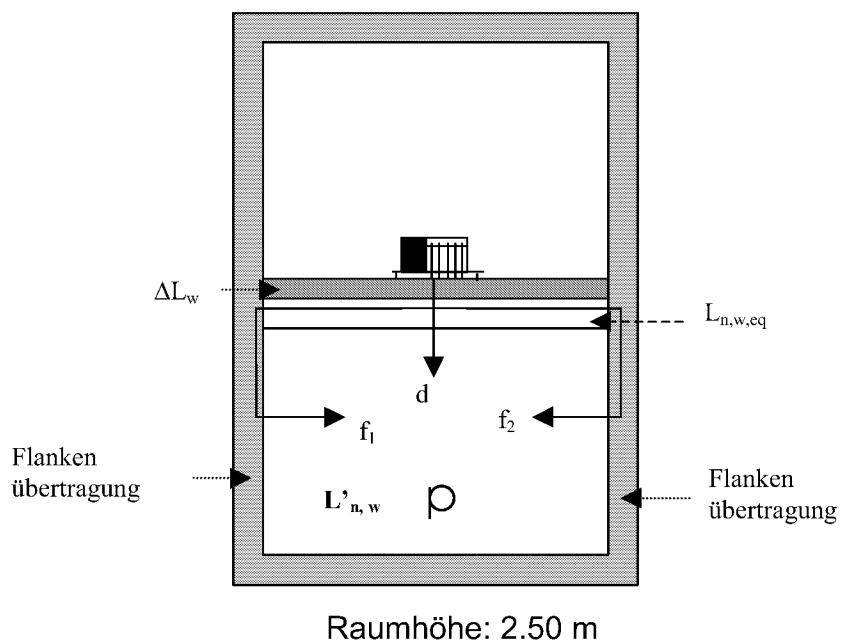
Innerhalb dieses Forschungsvorhabens soll ein Rechenbeispiel zur Erstellung eines Trittschallschutznachweises nach DIN EN 12354-2 ausgeführt werden. Das Berechnungsbeispiel wird für den Trittschallschutznachweis nach dem frequenzunabhängigen Verfahren mit Einzahlwerten (vereinfachtes Modell) erstellt, da der rechtlich geschuldete Trittschallschutznachweis in Zukunft nach dem diesem Verfahren geführt werden soll. Das vereinfachte Verfahren beinhaltet eine Reihe von Vereinfachungen, um den Rechenaufwand und die Datenbeschaffung zu reduzieren.

Die erarbeiteten Modifikationen aus den vorhergegangenen Untersuchungen (Zahlenwertgleichungen anstatt Tabellenwerte, Einführung der Berücksichtigung des Trittschallverbesserungsmaßes von Unterdecken) sind in die Berechnungsbeispiele mit eingearbeitet.

Berechnungsgleichungen und Verweise beziehen sich auf die Ausgabe der DIN EN 12354 Teil 2 von September 2000.

A 1.1 Bausituation

Der bewertete Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ zwischen zwei Wohnungen ist für zwei übereinander gelegenen Räumen zu berechnen, die durch eine Betondecke mit schwimmendem Estrich getrennt sind. Die Rauminhalte der Räume betragen jeweils 50 m^3 , weitere Einzelheiten der Konstruktion sind im Folgenden angeben.

Grundriss und Schnitt der Bausituation:**Bild A1.1: Grundriss der Bausituation****Bild 1.2: Schnitt der Bausituation**

Angaben zu den Bauteilen

Trennendes Bauteil:

Fussboden $S_i = 5.0 \text{ m} * 4.0 \text{ m} = 20 \text{ m}^2$;
(Decke): 180 mm Beton $m' = 0.18 \text{ m} * 2300 \text{ kg/m}^2 = 414 \text{ kg/m}^2$

Schwimmender 45 mm Zementestrich $m' = 100 \text{ kg/m}^2$
Estrich: Trittschalldämmung $s' = 10 \text{ MN/m}^3$

Flankierende Bauteile:

Aussenwände: $S_j = 4.0 \text{ m} * 2.5 \text{ m} = 10 \text{ m}^2$ bzw. $S_j = 5.0 \text{ m} * 2.5 \text{ m} = 12.5 \text{ m}^2$,
starrer T-Stoss; 1 Lage Putz; Rohdichteklasse 1.8
175 mm Mauerwerk
 $m' = (0,175 \text{ m} * 1720 \text{ kg/m}^3) + 10 \text{ kg/m}^2 = 311 \text{ kg/m}^2$

Innenwände: $S_j = 5.0 \text{ m} * 2.5 \text{ m} = 12,5 \text{ m}^2$, starrer Kreuzstoss, 2 Lagen Putz,
Rohdichteklasse 0,8
115 mm Mauerwerk
 $m' = (0,115 \text{ m} * 820 \text{ kg/m}^3) + (2 * 10 \text{ kg/m}^2) = 114 \text{ kg/m}^2$

Die flächenbezogene Masse m' eines biegesteifen Bauteils wird errechnet nach Abschnitt 2.2.1 Beiblatt 1 zu DIN 4109 (1989). Die flächenbezogenen Massen von Wandputz sind nach Tabelle 4 der DIN 4109 Beiblatt 1 (1989) ermittelt.

A 1.2 Ergebnisse

Die Bauteilaufbauten sind wie unter A 1.1 Bausituation genannt.

Die Endergebnisse sind auf den nächsten ganzzahligen Dezibelwert gerundet. Zwischenergebnisse sind in Komma-Dezibelwerten angeben.

Die Ergebnisse in den Klammern zeigen die Berechnung unter Verwendung der ermittelten Zahlenwertgleichungen innerhalb dieses Forschungsvorhabens anstatt der Verwendung von Tabellenwerten. Aus der DIN EN 12354-2.

A 1.2.1 Beispiel 1 (ohne Vorsatzschale und ohne Unterdecke)

Bauteilaufbauten nach Abschnitt A 1.1.

Der bewertete Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ zwischen zwei Räumen errechnet sich nach Gleichung 21 der DIN EN 12354-2 mit $L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K$ [dB]. Für diesen beispielhaften Bauteilaufbau ergibt dies ein $L'_{n,w}$ von

$$72.4 - 33 + 2 \text{ dB} = 41.1 \text{ dB} \approx 42 \text{ dB}$$

$$(72.4 - 32.6 + 2.2 \text{ dB} = 42 \text{ dB})$$

Der bewertete Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$ zwischen zwei Räumen errechnet sich nach Gleichung 3 der DIN EN 12354 mit $L'_{nT,w} = L'_{n,w} - 10 \lg(0,032 \cdot V)$ [dB]

Bei einem Rauminhalt des Empfangsraum von 50 m^3 ergibt dies ein $L'_{nT,w}$ von

$$42 - 10 \cdot \lg(0,032 \cdot 50) = 40 \text{ dB}$$

A 1.2.1.2 Einzelschritte der Berechnung

Der äquivalente bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,w,eq}$ der Rohdecke errechnet sich nach Anhang B mit der Gleichung B.5 $L_{n,w,eq} = 164 - 35 \lg \frac{m'}{m'_0}$ [dB]. Mit

einem $m'_{\text{Rohdecke}} = 414 \text{ kg/m}^2$ und einem $m'_0 = 1 \text{ kg/m}^2$ ergibt dies ein $L_{n,w,eq}$ von

$$164 - 35 \cdot \lg(414/1) = 72.4 \text{ dB} \approx 73 \text{ dB}$$

Die bewertete Trittschallminderung ΔL_w eines schwimmenden Zementestrichs mit $m'_{\text{Estrich}} = 100 \text{ kg/m}^2$ und einer dynamischen Steifigkeit der Trittschalldämmung von $s' = 10 \text{ MN/m}^3$ ergibt nach Bild C.1 Anhang C ein ΔL_w von

$$\Delta L_w = 33 \text{ dB}$$

Das Bild C.1 wurde in Abschnitt 9 in folgende Zahlenwertgleichung umgewandelt

$\Delta L_w = 13 \cdot \log(m') - 14.2 \cdot \log(s') + 20.8$ [dB]. Ein ΔL_w unter Verwendung der

Eingabedaten und der Zahlenwertgleichung errechnet sich von:

$$\Delta L_w = 32.6 \text{ dB}$$

Die Korrektur K für die Flankenübertragung errechnet sich aus der flächenbezogenen Masse des trennenden Bauteils und der mittlere

flächenbezogenen Masse der flankierenden Bauteile (die nicht mit Vorsatzschalen belegt sind) nach Tabelle 1 Abschnitt 4.3.1 der DIN EN 12354-2.

Die mittlere flächenbezogene Masse der homogenen biegesteifen flankierenden

Bauteile ohne Vorsatzschalen errechnet sich nach $m'_{L,Mittel} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m'_{L,i}$ (DIN 4109

Beiblatt 1 Abschnitt 3.2.2 – Ausgabe 1989) mit $m'_{Flanken-mittel} = 213 \text{ kg/m}^2$. Mit einer flächenbezogenen Masse des trennenden Bauteils (Decke) von $m' = 414 \text{ kg/m}^2$ ergibt dies ein Korrekturwert K für flankierende Übertragung von

$$K = 2 \text{ dB.}$$

Tabelle 1 wurde in Abschnitt 10 in folgende Zahlenwertgleichung umgewandelt

$$K_{Tab.1-12354-2} = 0.6 + 5.5 \cdot \lg \left(\frac{m'_{Trenn}}{m'_{Flanken_mittel}} \right) \text{ [dB]}. \text{ Ein K unter Verwendung der}$$

Eingabedaten und der Zahlenwertgleichung errechnet sich von:

$$K = 2.2 \text{ dB}$$

Ein Sicherheitsabschlag von 2 dB zwischen Rechenwert und Anforderung wird in der derzeitigen DIN 4109 (1989) gefordert „Der so erreichte Wert von $L'_{n,w,R}$ muss mindestens 2dB... niedriger sein, als die in DIN 4109 genannten Anforderungen“.

Die Untersuchungen in Abschnitt 13 und 14 ergaben, dass die Einführung eines Sicherheitsabschlag von 2 dB zwischen Rechenwert (aus dem CEN-Rechenverfahren) und Anforderung in der neuen DIN 4109 empfohlen wird.

A 1.2.2 Beispiel 2 (mit Vorsatzschale und Unterdecke)

Ist eine Vorsatzschale mit einer Resonanzfrequenz $f_0 < 125 \text{ Hz}$ vor einer flankierenden Wand angebracht oder ist eine flankierende Wand nicht kraftschlüssig mit dem trennenden Bauteil verbunden (GK-Ständerwände oder Wände welche durch eine elastische Schicht von der Decke akustisch getrennt sind), wird die flächenbezogene Masse dieser Wand in die Berechnung der mittleren flächenbezogenen Massen der flankierenden Bauteile $m'_{Flanken-mittel}$ nicht mit berücksichtigt.

Ist eine Unterdecke an dem trennenden Bauteil angebracht, wurde im Umfang dieses Forschungsvorhabens eine Tabelle für einen „Korrekturwert K_{FL+UD} für Flankenübertragung mit Unterdecke am trennenden Bauteil“ ermittelt (siehe Abschnitt 11).

In diesem Beispiel hier sei eine Vorsatzschale mit $f_0 < 125$ Hz an eine Innenwand angebracht. Sowie sei auch eine Unterdecke am trennenden Bauteil (Decke) mit einem bewerteten Trittschallverbesserungsmaß von $\Delta L_{w,d} = 10$ dB angebracht.

Die sonstigen Bauteilaufbauten sind wie unter A 1.1.

Der bewertete Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ zwischen zwei Räumen errechnet sich mit Gleichung 21 der DIN EN 12354-2 mit $L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K$ [dB]. Für diesen beispielhaften Bauteilaufbau ergibt dies ein $L'_{n,w}$ von

$$72.4 - 33 + -3 \text{ dB} = 36.4 \text{ dB} \approx 37 \text{ dB}$$

$$(72.4 - 32.6 + -3 \text{ dB} = 36.8 \text{ dB} \approx 37 \text{ dB})$$

Der bewertete Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$ zwischen zwei Räumen errechnet sich aus Gleichung 3 der DIN EN 12354 mit $L'_{nT,w} = L'_{n,w} - 10 \lg(0,032 \cdot V)$ [dB]. Bei einem Rauminhalt des Empfangsraum von 50 m^3 ergibt dies ein $L'_{nT,w}$ von

$$37 - 10 \cdot \lg(0,032 \cdot 50) = 35 \text{ dB}$$

A 1.2.2.1 Einzelschritte der Berechnung

Der äquivalente bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,w,eq}$ errechnet sich gleich wie unter Abschnitt A 1.2..2 mit $L_{n,w,eq} = 73$ dB.

Die bewertete Trittschallminderung ΔL_w eines schwimmenden Zementestrichs errechnet sich ebenfalls gleich mit $\Delta L_w = 33$ dB ($\Delta L_w = 32.6$ dB)

Die Korrektur K für die Flankenübertragung mit Unterdecke errechnet sich aus der flächenbezogenen Masse des trennenden Bauteils und die mittlere flächenbezogenen Masse der flankierenden Bauteile (die nicht mit Vorsatzschalen belegt sind) und aus dem Trittschallverbesserungsmaßes $\Delta L_{w,d}$ den Tabellen 12.1-12.3 Abschnitt 12 diesen Berichtes.

Die mittlere flächenbezogene Masse der homogenen biegesteifen flankierenden Bauteile ohne Vorsatzschalen errechnet sich nach $m'_{L,Mittel} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m'_{L,i}$ (DIN 4109

Beiblatt 1 Abschnitt 3.2.2 – Ausgabe 1989). In diesem Fall ist einen Innenwand mit einer Vorsatzschale belegt. Bei der Berechnung der mittleren flächenbezogenen

Masse der Flanken ergibt dies (unter Berücksichtigung der flächenbezogenen Massen der zwei Aussenwandflanken und der einen Innenwandflanke) ein $m'_{\text{Flanken-mittel}} = 245 \text{ kg/m}^2$. Mit einer flächenbezogenen Masse des trennenden Bauteils (Decke) von $m' = 414 \text{ kg/m}^2$ und einem $\Delta L_{w,d} = 10 \text{ dB}$ ergibt sich ein Korrekturwert K für flankierende Übertragung mit Unterdecke von

$$K = -3 \text{ dB.}$$

Ein Sicherheitsabschlag von 2 dB zwischen Rechenwert und Anforderung wird in der derzeitigen DIN 4109 (1989) gefordert „Der so erreichte Wert von $L'_{n,w,R}$ muss mindestens 2dB.... niedriger sein, als die in DIN 4109 genannten Anforderungen“.

Die Untersuchungen in Abschnitt 13 und 14 ergaben, dass die Einführung eines Sicherheitsabschlag von 2 dB zwischen Rechenwert (aus dem CEN-Rechenverfahren) und Anforderung in der neuen DIN 4109 empfohlen wird.

A 2 Dokumentation der Messobjekte zur flankierenden Übertragung

A 2.1 Objekt: Wohngebäude 1

A 2.1.1 Bauteile des Objekts

Geschoßdecke zwischen Obergeschoss und Erdgeschoss

45	mm	Anhydritestrich
-		Trennlage
30	mm	PS-Hartschaum
38/35	mm	Mineralwolle-Trittschalldämmplatten G+H 73T
200	mm	Dennert DX Stahlbeton-Hohlplattendecke

$$m'_{\text{Rohdecke}} = 296 \text{ kg/m}^2$$

Tragende Innenwand und Treppenraumwand

-		Spachtelputz
200	mm	Wandelemente Poraform, Rohdichteklasse 1,6
10	mm	Gipsputz

$$m' = 310 \text{ kg/m}^2$$

Nichttragende Innenwand

-		Spachtelputz
120	mm	Wandelemente Poraform, Rohdichteklasse 1,6
10	mm	Gipsputz

$$m' = 190 \text{ kg/m}^2$$

Außenwand

-		Spachtelputz
375	mm	Wandelemente Poraform, Rohdichteklasse 0,45
20	mm	Kalkzementputz

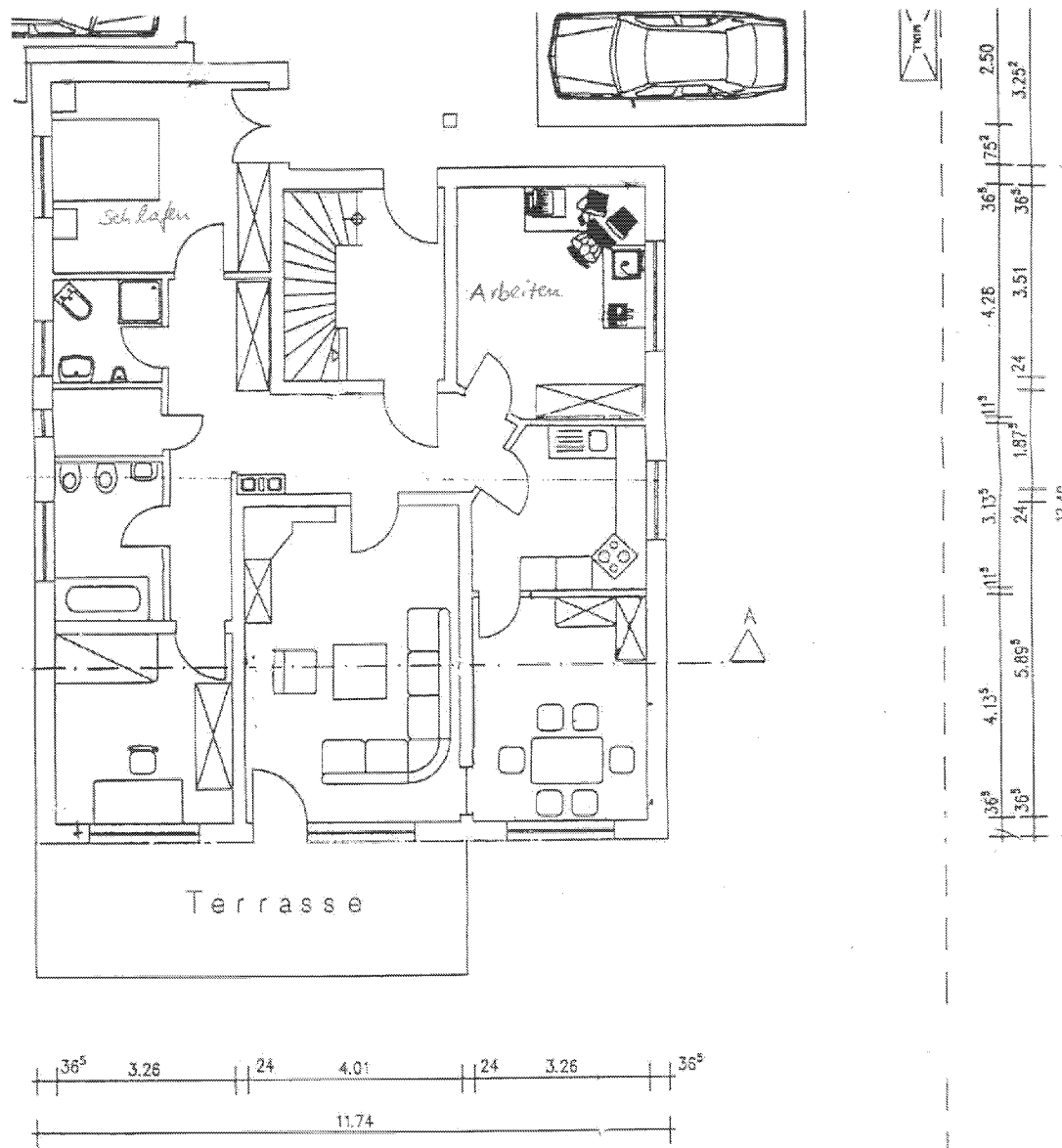
$$m' = 180 \text{ kg/m}^2$$

Die Innenwände sind stumpf an die Außenwand gestoßen und vermörtelt.

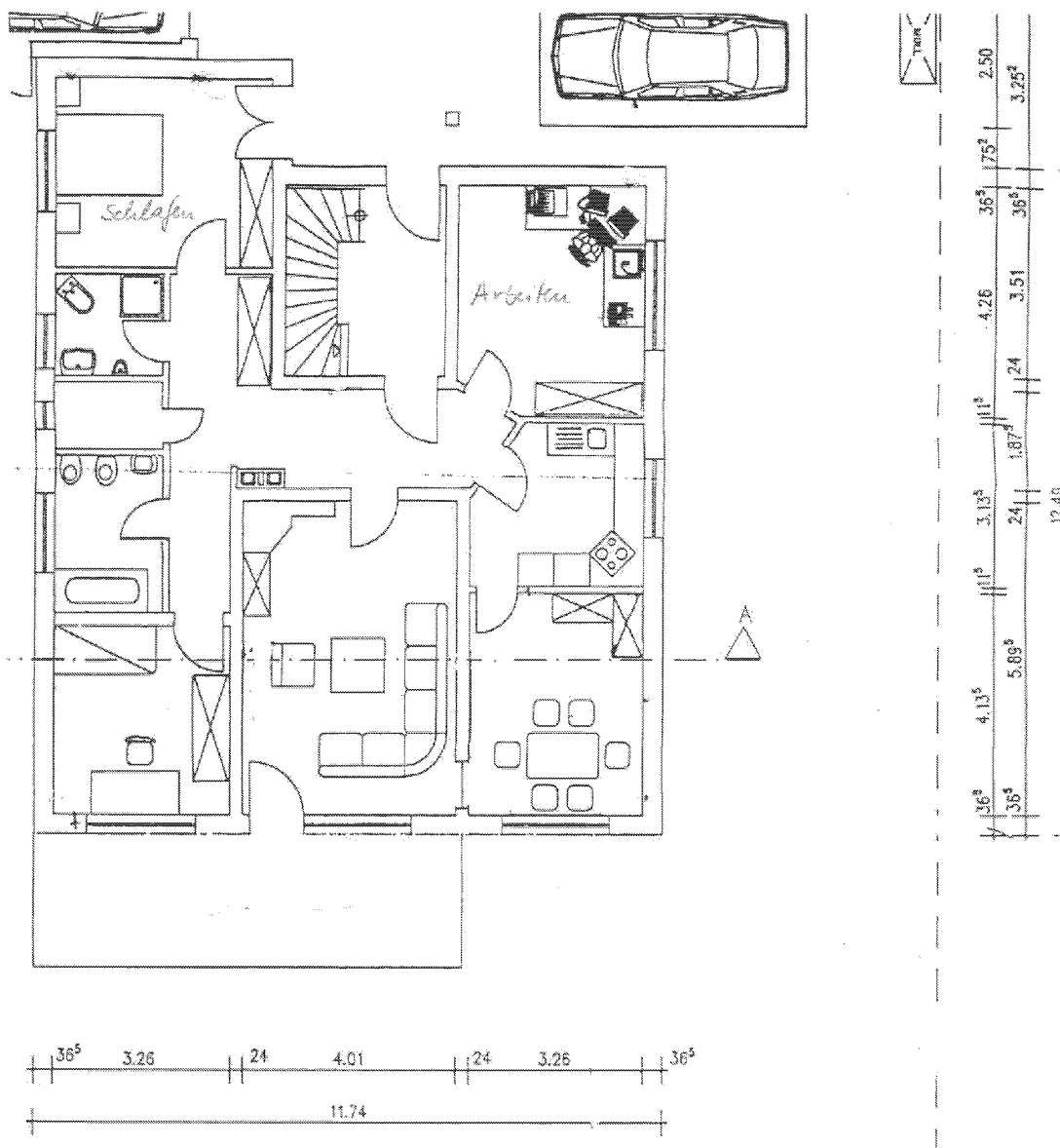
Raumhöhe 2.46 m

Gemessene Übertragungssituationen: 2

A 2.1.2 Grundrisse



Grundriss Erdgeschoss



Grundriss Obergeschoss

A 2.1.3 Messergebnisse

Trittschalldämmung

Nr.	Senderraum	Empfangsraum	Anforderung nach DIN 4109 erf. L'n,w	Meßwert L' _{n,w}
1	Arbeiten, 1. OG	Arbeiten, EG	≤ 53 dB	38 dB
2	Schlafen, 1.OG	Schlafen, EG	≤ 53 dB	42 dB

Trittschall-Flankendämmung

Nr.	Senderraum	Empfangsraum	Bauteil	Flankendämm-Maß L _{L,w}
1	Arbeiten, 1. OG	Arbeiten, EG	Decke Arbeiten 1.OG -> EG	37,5 dB
2	Arbeiten, 1. OG	Arbeiten, EG	Aussenwand mit Fenster Arbeiten, EG	35,8 dB
3	Arbeiten, 1. OG	Arbeiten, EG	Aussenwand Arbeiten, EG	36,7 dB
4	Arbeiten, 1. OG	Arbeiten, EG	Innenwand Treppenhaus Arbeiten, EG	30,8 dB
5	Arbeiten, 1. OG	Arbeiten, EG	Innenwand Küche Arbeiten, EG	29,8 dB
6	Schlafen, 1.OG	Schlafen, EG	Decke Schlafen, 1.OG -> EG	38,5 dB
7	Schlafen, 1.OG	Schlafen, EG	Aussenwand Schlafen, EG	39,2 dB
8	Schlafen, 1.OG	Schlafen, EG	Aussenwand mit Fenster Schlafen, EG	35,8 dB
9	Schlafen, 1.OG	Schlafen, EG	Innenwand Treppenhaus Schlafen, EG	30,9 dB
10	Schlafen, 1.OG	Schlafen, EG	Innenwand Bad Schlafen, EG	32,7 dB

A 2.2 Objekt: Wohngebäude 2

A 2.2.1 Bauteile des Objekts

Geschoßdecke zwischen Obergeschoss und Erdgeschoss

50	mm	Anhydritestrich
-		Trennlage
25/20	mm	Mineralwolle-Trittschalldämmplatten
40	mm	PS-Hartschaum
200	mm	Stahlbetondecke

$$m'_{\text{Rohdecke}} = 460 \text{ kg/m}^2$$

Tragende Innenwand

15	mm	Gipsputz
240	mm	Liapor Wandelemente, Rohdichteklasse 1,2
15	mm	Gipsputz

$$m' = 294 \text{ kg/m}^2$$

Nichttragende Innenwand

15	mm	Gipsputz
115	mm	Mauerwerk aus Liapor, Rohdichteklasse 1,0, im Bad 50% der Wand mit 115mm Vormauerung aus dem selben Material
15	mm	Kalkzementputz

$$m' = 204 \text{ kg/m}^2$$

Außenwand

15	mm	Gipsputz
365	mm	Liapor Wandelemente, Rohdichteklasse 0,6
20	mm	mehrschichtiger Außenputz

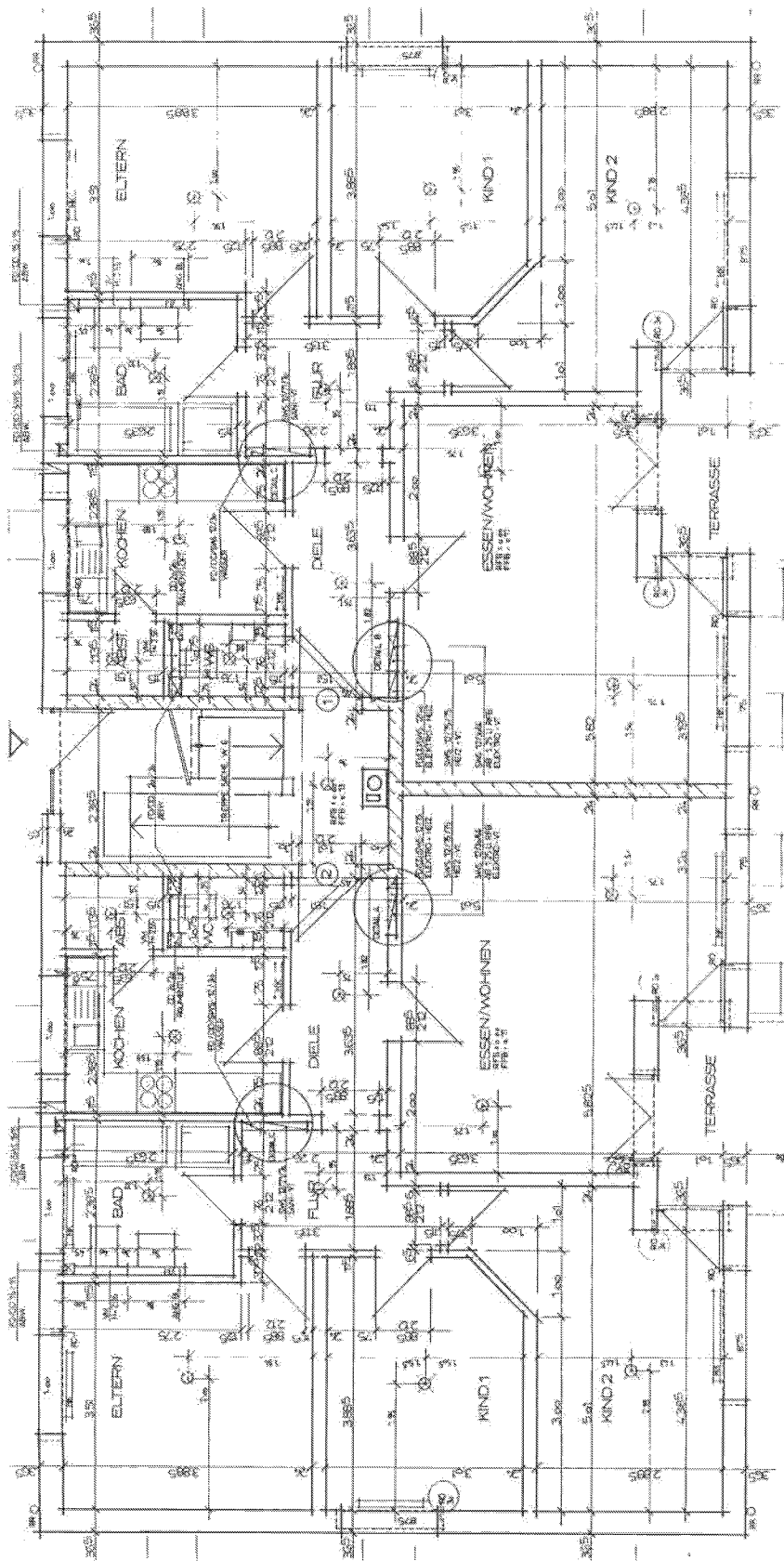
$$m' = 246 \text{ kg/m}^2$$

Die Innenwände sind stumpf an die Aussenwand gestoßen und vermörtelt.

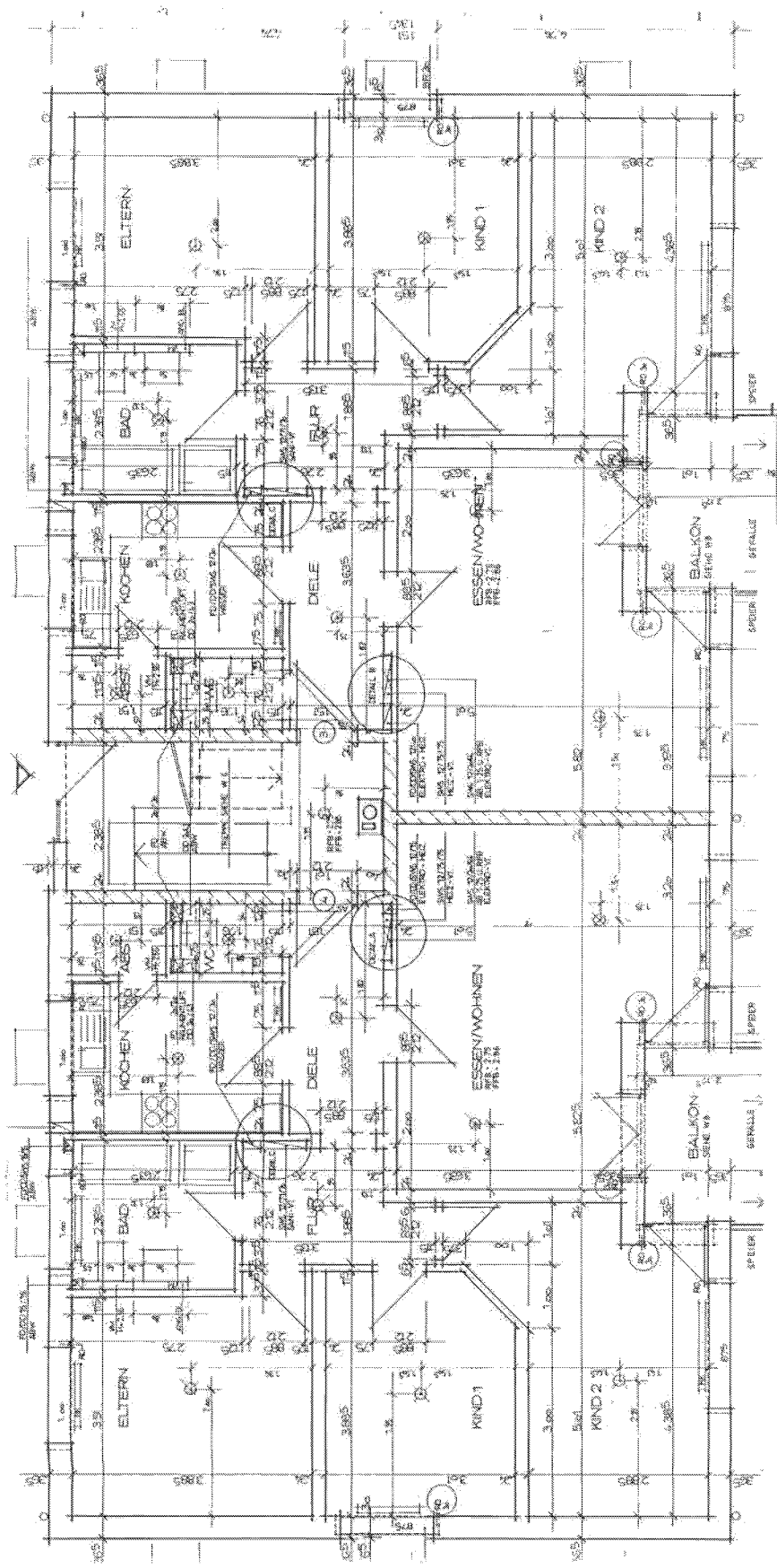
Raumhöhe: 2.43 m

Gemessene Übertragungssituationen: 2

A 2.2.2 Grundrisse



Grundriss Erdgeschoss



Grundriss Obergeschoss

A 2.2.3 Messergebnisse

Trittschalldämmung

Nr.	Senderraum	Empfangsraum	Anforderung nach DIN 4109 erf. $L'_{n,w}$	Meßwert $L'_{n,w}$
1	Eltern, Whg. 4, OG	Eltern, Whg. 2, EG	≤ 53 dB	42 dB
2	Eltern, Whg. 3 OG	Eltern, Whg. 1, EG	≤ 53 dB	42 dB

Trittschall-Flankendämmung

Nr.	Senderraum	Empfangsraum	Bauteil	Flankendämm-Maß $L_{L,w}$
1	Eltern, Whg. 4, OG	Eltern, Whg. 2, EG	Decke Eltern, Whg. 4 - > Whg. 2	35,2 dB
2	Eltern, Whg. 4, OG	Eltern, Whg. 2, EG	Aussenwand Eltern, Whg. 2, EG	37,6 dB
3	Eltern, Whg. 4, OG	Eltern, Whg. 2, EG	Aussenwand mit Fenster Eltern, Whg. 2, EG	36,2 dB
4	Eltern, Whg. 4, OG	Eltern, Whg. 2, EG	Innenwand Bad, Eltern, Whg. 2, EG	35,5 dB
5	Eltern, Whg. 4, OG	Eltern, Whg. 2, EG	Innenwand Kind 1, Eltern, Whg. 2, EG	35,6 dB
6	Eltern, Whg. 3 OG	Eltern, Whg. 1, EG	Decke Eltern, Whg.3 - > Whg. 1,	37,4 dB
7	Eltern, Whg. 3 OG	Eltern, Whg. 1, EG	Aussenwand Eltern, Whg. 1, EG	38,6 dB
8	Eltern, Whg. 3 OG	Eltern, Whg. 1, EG	Aussenwand mit Fenster Eltern, Whg. 1, EG	37,2 dB
9	Eltern, Whg. 3 OG	Eltern, Whg. 1, EG	Innenwand Bad Eltern, Whg. 1, EG	36,9 dB
10	Eltern, Whg. 3 OG	Eltern, Whg. 1, EG	Innenwand Kind 1 Eltern, Whg. 1, EG	35,8 dB

A 2.3 Objekt: Wohngebäude 3

A 2.3.1 Bauteile des Objekts

Geschoßdecke zwischen Obergeschoss und Erdgeschoss

45	mm	Anhydritestrich
-		Trennlage
32/30	mm	Trittschalldämmplatten PST SE
30	mm	PS-Hartschaum PS 20 SE
200	mm	Stahlbetondecke

$$m'_{\text{Rohdecke}} = 460 \text{ kg/m}^2$$

24 cm Innenwand

15	mm	Kalkgipsputz
240	mm	Mauerwerk aus Kalksplittstein, Rohdichteklasse 1,2, vermauert mit Normalmörtel
15	mm	Kalkgipsputz

$$m' = 313 \text{ kg/m}^2$$

Außenwand

15	mm	Kalkgipsputz
365	mm	Mauerwerk aus Liapor Super K, Steinabmessung 365x245x238 mm ³ , Rohdichteklasse 0,7, vermauert mit Normalmörtel
30	mm	mehrschichtiger Wärmedämm-Außenputz, zur Zeit der Messung noch nicht aufgebracht

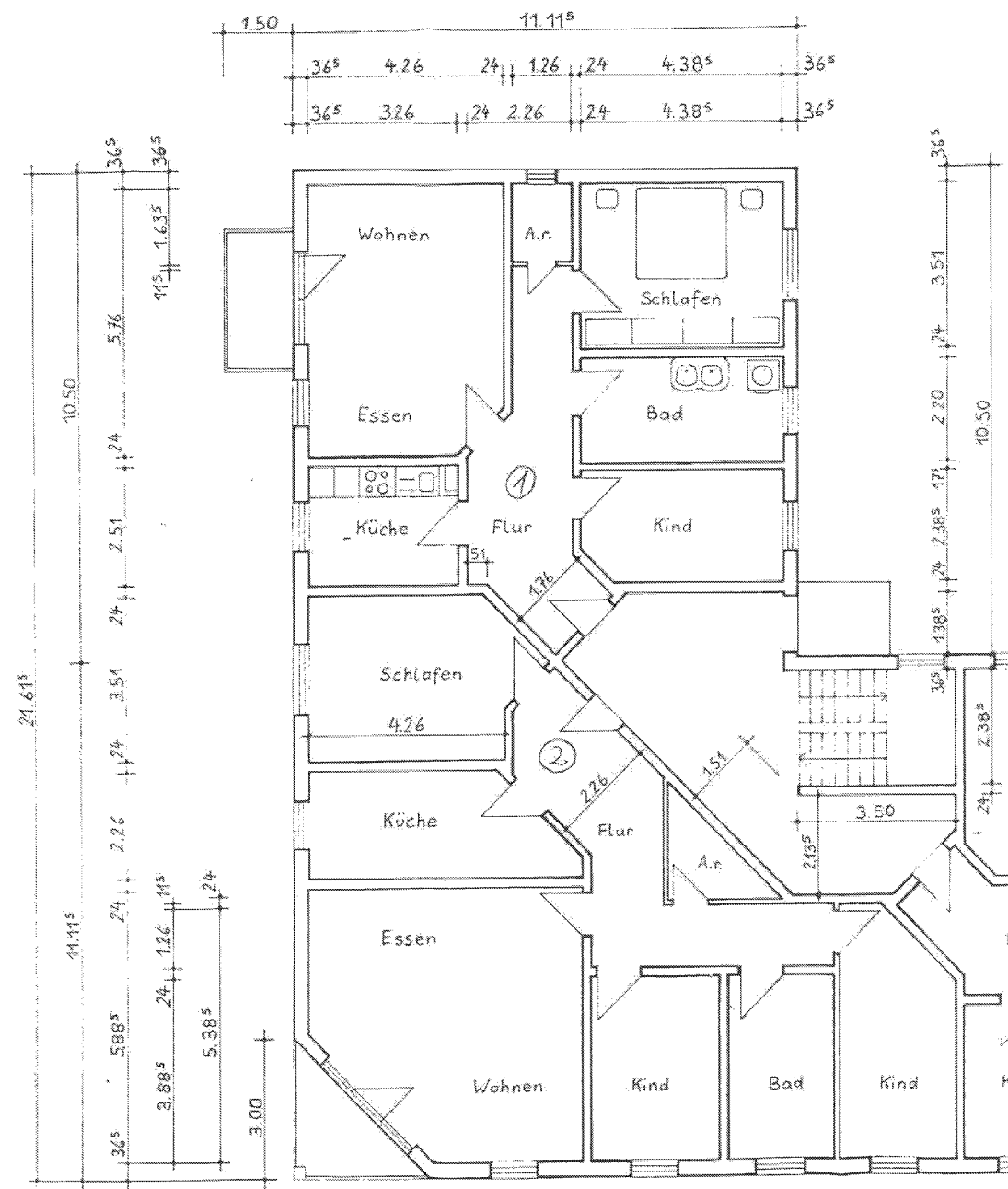
$$m' = 281 \text{ kg/m}^2$$

Die Innenwände sind stumpf an die Aussenwand gestoßen und vermörtelt.

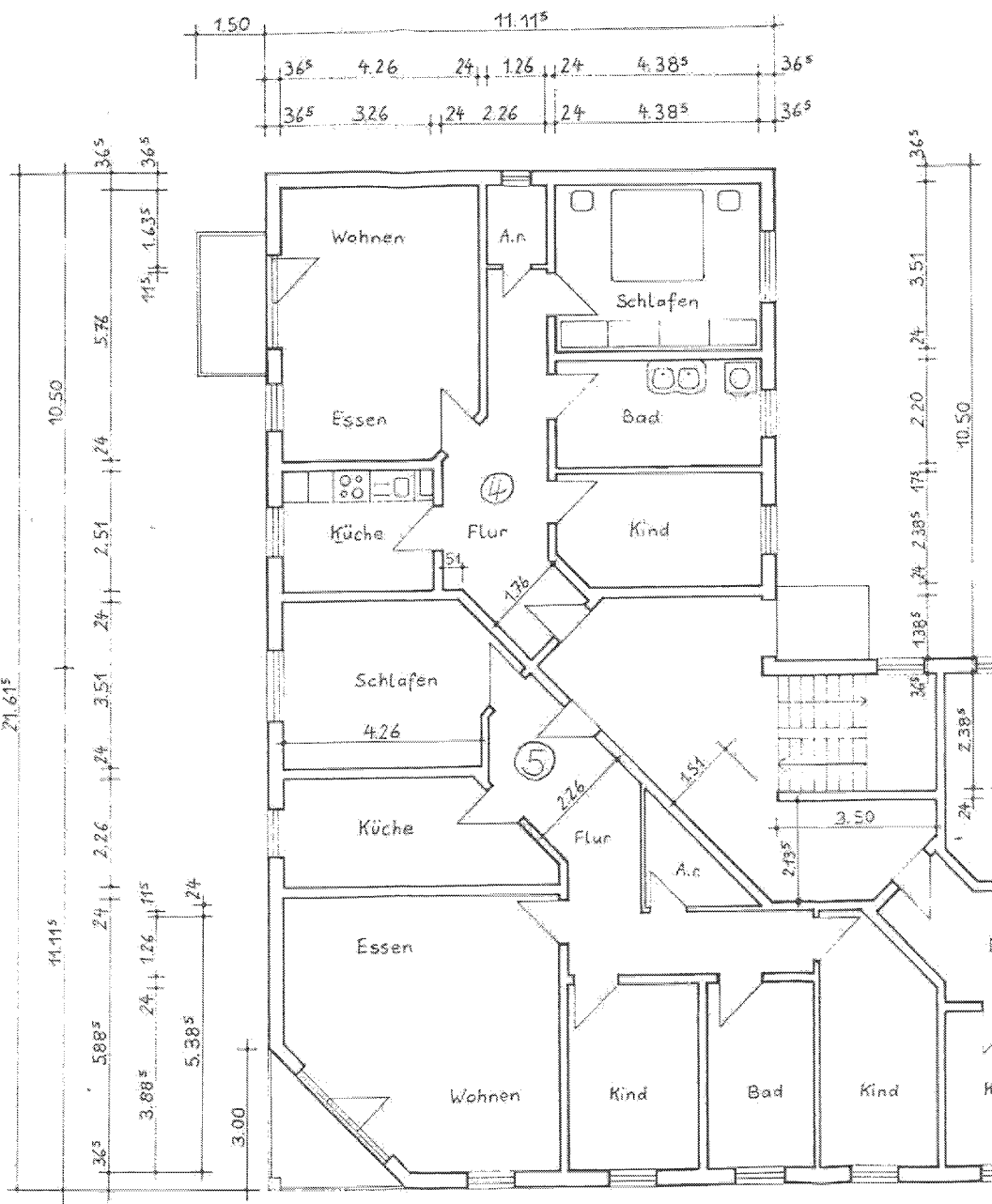
Raumhöhe: 2,53 m

Gemessene Übertragungssituationen: 1

A 2.3.2 Grundrisse



Grundriss Erdgeschoss



Grundriss Obergeschoss

A 2.3.3 Messergebnisse

Trittschalldämmung

Nr.	Senderraum	Empfangsraum	Anforderung nach DIN 4109 erf. $L'_{n,w}$ [dB]	Meßwert $L'_{n,w}$
1	Schlafen, Whg. 4, OG	Schlafen, Whg. 1, EG	≤ 53	41

Trittschall-Flankendämmung

Nr.	Senderraum	Empfangsraum	Bauteil	Flankendämm-Maß $L_{L,w}$
1	Schlafen, Whg. 4, OG	Schlafen, Whg. 1, EG	Decke Schlafen, Whg. 4 -> Whg. 1	43,9 dB
2	Schlafen, Whg. 4, OG	Schlafen, Whg. 1, EG	Aussenwand Schlafen, Whg. 1, EG	43,0 dB
3	Schlafen, Whg. 4, OG	Schlafen, Whg. 1, EG	Aussenwand mit Fenster Schlafen, Whg. 1, EG	40,0 dB
4	Schlafen, Whg. 4, OG	Schlafen, Whg. 1, EG	Innenwand Bad, Schlafen, Whg. 1, EG	41,2 dB
5	Schlafen, Whg. 4, OG	Schlafen, Whg. 1, EG	Innenwand Flur, Schlafen, Whg. 1, EG	38,9 dB

A 2.4 Objekt: Wohngebäude 4

A 2.4.1 Bauteile des Objekts

Geschoßdecke zwischen 2. Obergeschoss und 1. Obergeschoss

65	mm	Heizestrich
38/35	mm	Polystyrol-Trittschalldämmplatte
180	mm	Stahlbetondecke

$$m'_{\text{Rohdecke}} = 414 \text{ kg/m}^2$$

Tragende Innenwände

5	mm	Spachtelputz
240	mm	Mauerwerk aus KS-Quadro-Steinen, Rohdichteklasse 1,8
5	mm	Spachtelputz

$$m' = 418 \text{ kg/m}^2$$

Nichttragende Innenwände

12,5	mm	Gipskartonbauplatte
75	mm	Metallständer CW 75, mit 60 mm Mineralfaserdämmung gefüllt
12,5	mm	Gipskartonbauplatte

Außenwände in den Obergeschossen

5	mm	Spachtelputz
365	mm	Mauerwerk aus Porenbeton PPW 2/04, Rohdichteklasse 0,4
25	mm	Kalkzementputz

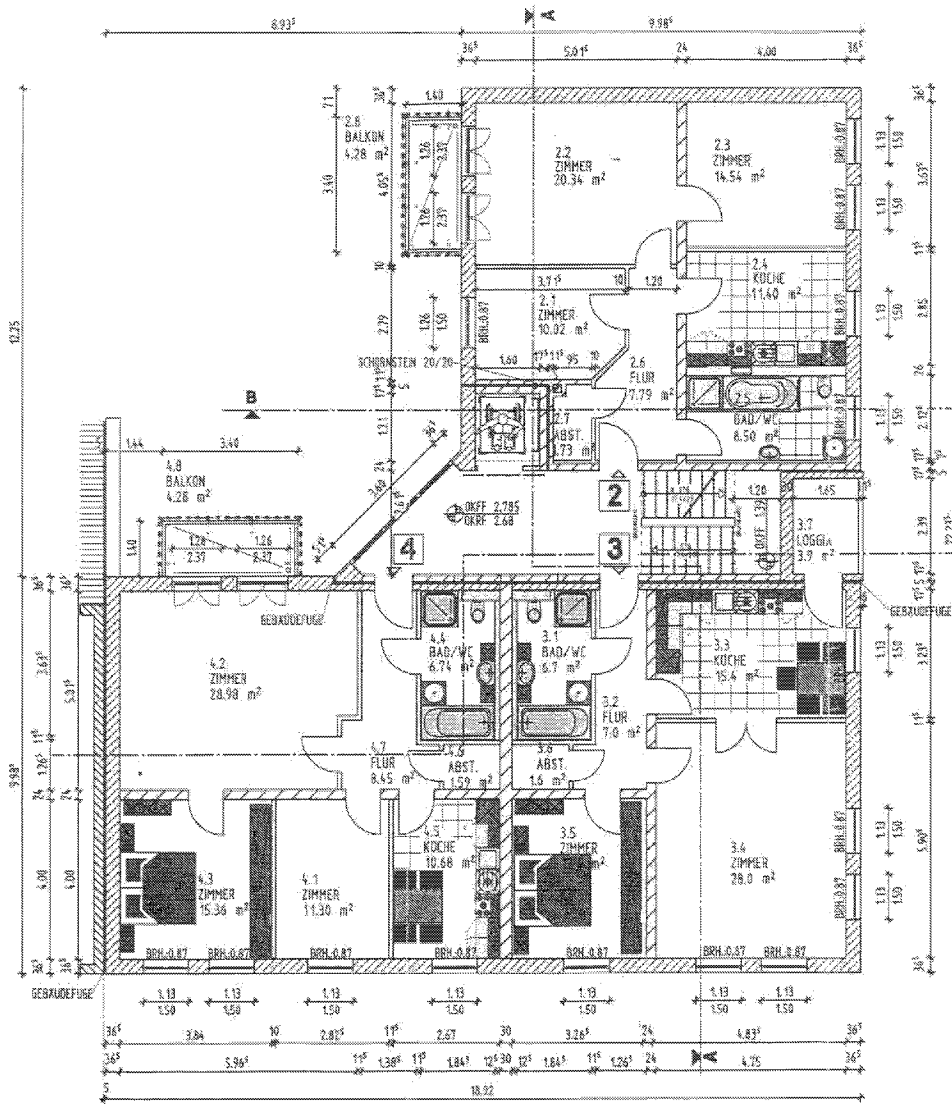
$$m' = 166 \text{ kg/m}^2$$

Die Innenwände sind stumpf an die Aussenwand gestoßen und vermörtelt.

Raumhöhe: 2,49 m

Gemessene Übertragungssituationen: 1

A 2.4.2 Grundrisse



Grundriss 1. OG

A 2.4.3 Messergebnisse

Trittschalldämmung

Nr.	Senderraum	Empfangsraum	Anforderung nach DIN 4109 erf. $L'_{n,w}$ [dB]	Meßwert $L'_{n,w}$
1	Zimmer 5.3, 2. OG	Zimmer 2.3, 1. OG	≤ 53	35

Trittschall-Flankendämmung

Nr.	Senderraum	Empfangsraum	Bauteil	Flankendämm-Maß $L_{L,w}$
1	Zimmer 5.3, 2. OG	Zimmer 2.3, 1. OG	Decke Zimmer 5.3 -> Zimmer 2,3	36,5 dB
2	Zimmer 5.3, 2. OG	Zimmer 2.3, 1. OG	Aussenwand Zimmer 2.3, 1. OG	35,9 dB für diese beiden Wände wurde 1 Flankendämm-Maß bestimmt
3	Zimmer 5.3, 2. OG	Zimmer 2.3, 1. OG	Aussenwand mit Fenster Zimmer 2.3, 1. OG	
4	Zimmer 5.3, 2. OG	Zimmer 2.3, 1. OG	Innenwand Zimmer 2.2, 1. OG	28,2 dB
5	Zimmer 5.3, 2. OG	Zimmer 2.3, 1. OG	Innenwand Küche	GK-Ständerwand

A 2.5 Objekt:Wohngebäude 5

A 2.5.1 Bauteile des Objekts

Geschoßdecke zwischen Erd- und Obergeschoss

40	mm	Fliessestrich
25/22	mm	Mineralfaser-Trittschalldämmplatte
40	mm	Polysyrol-Hartschaum-Dämmplatte PS 20
220	mm	Stahlbetondecke

$$m^{\text{Rohdecke}} = 506 \text{ kg/m}^2$$

Außenwände

10	mm	Gipsputz
240	mm	Mauerwerk aus Hochlochziegel nach DIN 105, T2, Rohdichteklasse 1.2, Typ B, Format : L/B/H [mm]: 300/240/238; Lagerfuge mit Normalmörtel vermauert, Stoßfugen verzahnt
120	mm	Wärmedämm-Verbundsystem aus Polysyrol-Hartschaum

$$m^{\text{}} = 293 \text{ kg/m}^2$$

Die Decke ist im Bereich der Deckenaufleger von den Außenwänden durch eine Bitumendachpappe getrennt.

Innenwände, nicht lastabtragend

10	mm	Gipsputz
115	mm	Mauerwerk aus Hochlochziegel nach DIN 105, T2, Rohdichteklasse 0.8, Typ B, Format : L/B/H [mm]: 490/115/238; Lagerfuge mit Normalmörtel vermauert, Stoßfugen verzahnt
10	mm	Gipsputz

$$m^{\text{}} = 125 \text{ kg/m}^2$$

Treppenhauswand, 2-schalig

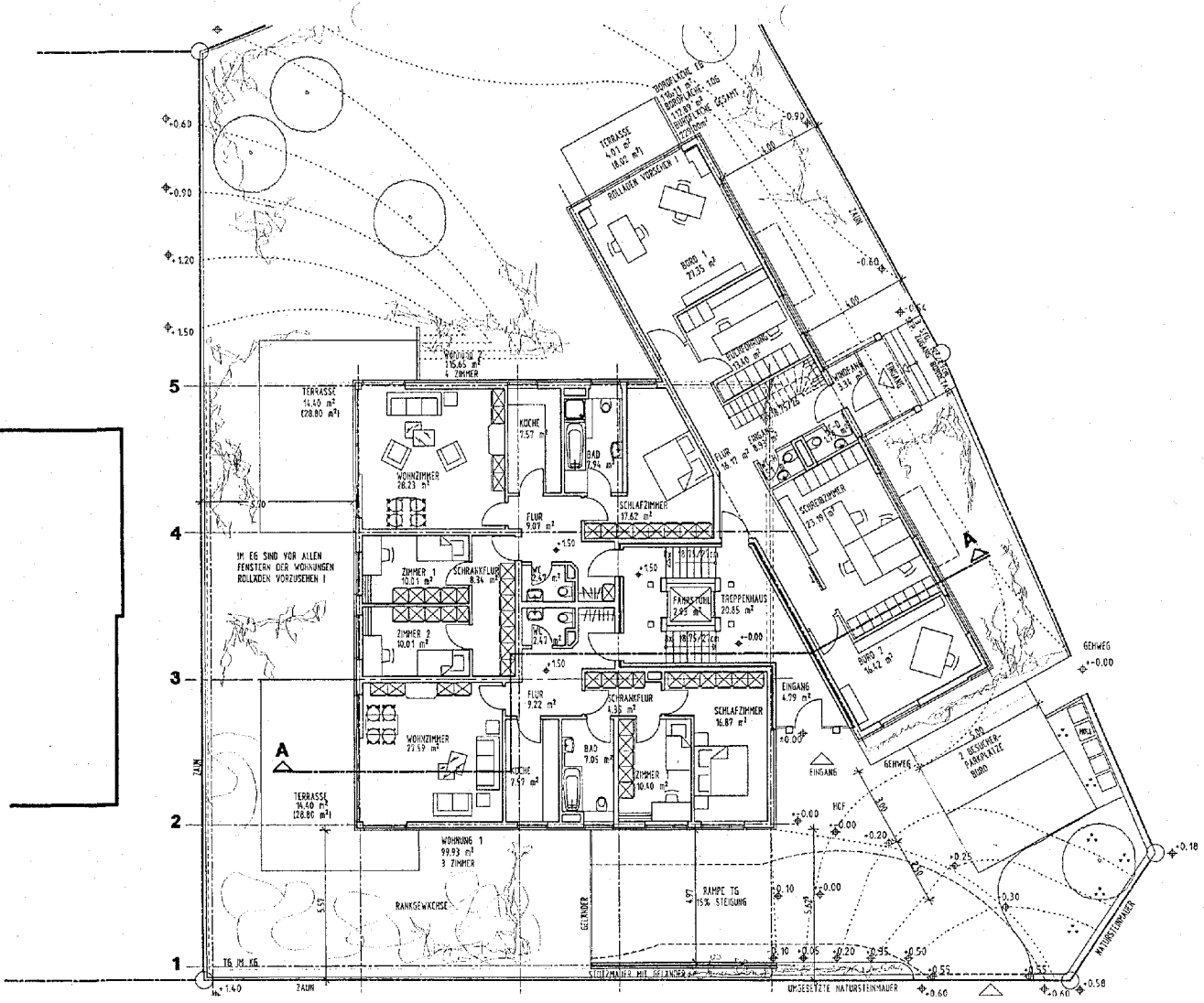
10	mm	Gipsputz
175	mm	Mauerwerk aus Hochlochziegel, wie Innenwände lastabtragend
30	mm	Mineralfaserplatte
115	mm	Mauerwerk aus Hochlochziegel wie Innenwände nichttragend
10	mm	Gipsputz

flächenbezogene Masse beider Schalen: $m^{\text{}} = 332 \text{ kg/m}^2$

Raumhöhe 2,68 m

Gemessene Übertragungssituationen: 1

A.2.5.2 Grundrisse



Grundriss EG

A 2.5.3 Messergebnisse

Trittschalldämmung

Nr.	Senderraum	Empfangsraum	Anforderung nach DIN 4109 erf. $L'_{n,w}$	Meßwert $L'_{n,w}$
1	Schlafzimmer, Whg.3, 1. OG	Schlafzimmer, Whg.1, EG	≤ 53	40

Trittschall-Flankendämmung

Nr.	Senderraum	Empfangsraum	Bauteil	Flankendämm-Maß $L_{L,w}$ [dB]
1	Schlafzimmer, Whg.3, 1. OG	Schlafzimmer, Whg.1, EG	Decke Schlafzimmer, Whg. 3 -> Whg.1	33,7 dB
2	Schlafzimmer, Whg.3, 1. OG	Schlafzimmer, Whg.1, EG	Aussenwand Schlafzimmer, Whg.1, EG	39,4 dB
3	Schlafzimmer, Whg.3, 1. OG	Schlafzimmer, Whg.1, EG	Aussenwand mit Fenster Schlafzimmer, Whg.1, EG	
4	Schlafzimmer, Whg.3, 1. OG	Schlafzimmer, Whg.1, EG	Treppenhauswand, Schlafzimmer, Whg.1, EG	35,1 dB
5	Schlafzimmer, Whg.3, 1. OG	Schlafzimmer, Whg.1, EG	Innenwand Zimer 1, Schlafzimmer, Whg.1, EG	36,9 dB

A 4 Prüfzeugnisse

A 4.1 Prüfzeugnisse von Massivdecken in Prüfständen

	Prüfinstitut	Relevanz-kategorie	Art der Decke	D [mm]	m' [kg/m ²]	Flanken- über- tragung	KSNHZ	L _{n,w,eq} [dB]
1	HfT Stuttgart	hoch	Stahlbeton	140	322	nein	ja	73
2	HfT Stuttgart	hoch	Stahlbeton	180	414	Nein	ja	72
3	IBP	hoch	Stahlbeton	140	322	Nein	Ja	78
4	MPA NRW	hoch	Stahlbeton	145	340	Nein	ja	74
5	MPA NRW	hoch	Stahlbeton	165	380	Nein	ja	70
6	ITA	mittel	Stahlbeton	150	345	nein	nein	71
7	Müller BBM	mittel	Stahlbeton	140	322	Nein	nein	75
8	HfT Stuttgart	mittel	Stahlbeton	140	322	nein	nein	75
9	HfT Stuttgart	mittel	Stahlbeton	180	414	Nein	nein	71
10	IBP	mittel	Stahlbeton	140	322	nein	nein	78
11	MPA NRW	mittel	Stahlbeton	145	340	Nein	nein	76
12	MPA NRW	mittel	Stahlbeton	165	380	Nein	nein	72
13	*	mittel	andere Deckenart	270	426	Nein	nein	72
14	*	mittel	andere Deckenart	350	622	Nein	nein	65
15	*	niedrig	Stahlbeton	140	322	ja	nein	79
16	*	niedrig	Stahlbeton	140	322	Ja	Nein	77
17	*	niedrig	Stahlbeton	150	345	Ja	Nein	73
18	*	niedrig	Stahlbeton	180	414	Ja	nein	76
19	*	niedrig	Stahlbeton	180	414	Ja	nein	78
20	*	niedrig	Stahlbeton	140	322	Ja	nein	77
21	*	niedrig	Stahlbeton	145	334	ja	nein	77
22	*	niedrig	Stahlbeton	140	322	Ja	nein	77
23	*	niedrig	Stahlbeton	180	414	ja	nein	75
24	*	niedrig	Stahlbeton	140	322	ja	nein	78
25	*	niedrig	andere Deckenart	200	330	ja	nein	73
26	*	niedrig	andere Deckenart	120	220	ja	nein	77
27	*	niedrig	andere Deckenart	200	322	ja	nein	74
28	*	niedrig	andere Deckenart	200	145	ja	nein	82
29	*	niedrig	andere Deckenart	230	168	ja	nein	82
30	*	niedrig	andere Deckenart	220	284	ja	nein	80
31	*	niedrig	andere Deckenart	220	248	ja	nein	81
32	*	niedrig	andere Deckenart	205	305	ja	nein	75
33	*	niedrig	andere Deckenart	180	285	ja	nein	79

* keine namentliche Kennzeichnung des Prüfinstitutes. Veröffentlichung mit Prüfinstitut bzw. Auftraggeber nicht abgeklärt.

A 3.2 Prüfzeugnisse von Trittschalldämmprodukten

	Prüfzeugnis Nr.	Prüfung nach	Estrich		Dämmschicht			ΔL_w [dB]
			Art	m' [kg/m ²]	Art	Dicke [mm] ¹	s' [MN/ m ³]	
Messung im Prüfstand								
1	IBP: GS 108/89 vom 22.05.1989	DIN 52210-03- E1-T-PFL-D	Zement	88	MW	35/30	7	37
2	IBP: GS 107/89 vom 22.05.1989	DIN 52210-03- E1-T-PFL-D	Zement	88	MW	13/10	20	31
3	Staatliches Materialprüfungsamt NRW: 420504993-2 vom 01.07.1993	DIN 52210-03- E1-T-P-D	Zement	118	MW	40/35	6	38
4	Müller – BBM: 16011 vom 13.12.1989	DIN 52210-T	Calcium- sulfat	84	MW	13/10	20	27
5	Müller – BBM: 16011 vom 13.12.1989	DIN 52210-T	Calcium- sulfat	84	MW	25/20	9	34
6	Müller – BBM: 16011 vom 13.12.1989	DIN 52210-T	Calcium- sulfat	84	MW	40/35	6	36
7	Müller – BBM: 16011 vom 13.12.1989	DIN 52210-T	Calcium- sulfat	84	MW	25/20	9	37
8	IBMB/MPA TU Braunschweig: 83 1173-1 vom 18.08.83	DIN 52210-PFL	Zement	88	MW	35/30	10 ²	33 ³
9	IBP GS 160/89 vom 17.07.1989	DIN 52210- PFL-D	Zement	88	MW	20/15+ 20/15	7.5 ²	39 ⁴
10	IBP GS 161/89 vom 17.07.1989	DIN 52210- PFL-D	Zement	88	MW	20/15+ 20/15	7.5 ²	37 ⁴
11	Institut für Schall- und Wärmeschutz: 17.437 vom 30.09.93	DIN 52210-03- M-PFL-D	Calcium- sulfat		Holz- weich- faser	22/21	40	26
12	IBP: GS 417/88 vom 10.11.1988	DIN 52210-03- E1-T-PFL-D	Guss- asphalt	57	MW	12/10	40	27
13	IBP: GS 288/88 vom 04.07.1988	DIN 52210-03- E1-T-PFL-D	Guss- asphalt	57	MW	22/20	40	29
14	IBP: GS 368/88 vom 17.10.1988	DIN 52210-03- E1-T-PFL-D	Guss- asphalt	57	MW	72/70	50	30
15	IBP: GS 299/88 vom 05.08.1988	DIN 52210-03- E1-T-PFL-D	Trocken- estrich	15,2	MW	22/20	20	24

16	IBP: GS 301/88 vom 05.08.1988	DIN 52210-03- E1-T-PFL-D	Trocken- estrich	15,2	MW	32/30	15	26
17	IBP: GS 303/88 vom 05.08.1988	DIN 52210-03- E1-T-PFL-D	Trocken- estrich	15,2	MW	72/70	50	24
18	IBP: GS 302/88 vom 05.08.1988	DIN 52210-03- E1-T-PFL-D	Trocken- estrich	15,2	MW	12/10	40	18
19	IBMB/MPA TU Braunschweig: 2129/794-2B vom 09.06.94	DIN 52210-03- E1-T-P-D	Trocken- estrich	24	MW	12/10	50	21
20	IBMB/MPA TU Braunschweig: 2129/794-4 vom 22.06.94	DIN 52210-03- E1-T-P-D	Trocken- estrich	29	MW	22/20	40	27
21	ITA L445.97 – P 273 vom 24.04.1998	DIN 52210-03- E1-T-P-D	Trocken- estrich	34	MW	12/11	40	26
22	ITA: 0231.00 – P 272 vom 20.12.2000	ISO 140-8	Trocken- estrich	37	MW	11/10	52	21
23	Aus Datenblatt des Herstellers		Guss- asphalt	57	Holz- faser	32/30	30	24
24	Institut für Schall- und Wärmeschutz: 17.331 vom 28.05.93	DIN 52210-03- M-T-PFL-D	Trocken- estrich	15,9	Holz- faser	22/21	40	25
25	ITA: 0034.04-P 85 vom 27.04.2004	ISO 140-8	Trocken- estrich	21,3	Holz- faser		40	19
26	ITA: 0034.04-P 85 vom 27.04.2004	ISO 140-8	Trocken- estrich	42,6	Holz- faser		40	20
27	ITA: 0034.04-P 85 vom 27.04.2004	ISO 140-8	Trocken- estrich	27,3	Holz- faser		40	19
28	ITA: 0034.04-P 85 vom 27.04.2004	ISO 140-8	Trocken- estrich	33,7	Holz- faser		40	21
29	ITA: 0034.04-P 85 vom 27.04.2004	ISO 140-8	Trocken- estrich	24,8	Holz- faser		40	18
30	IBMB/MPA TU Braunschweig: 2129/7945 vom 07.07.94	DIN 52210-03- E1-T-P-D	Trocken- estrich	24	Holz- faser	17/16	50	22
Messung im Bau								
31	HfT Stuttgart 1373/04-2/00 vom 05.12.2000		Calcium- sulfat	84	MW	25/22	15 ²	34
32	HfT Stuttgart 1372/05/00 vom 09.02.2001		Calcium- sulfat	95	MW	38/35	7 ²	40
33	HfT Stuttgart 1372/05/00 vom 09.02.2001		Calcium- sulfat	95	MW	38/35	7 ²	39
34	HfT Stuttgart 1372/01/01 vom		Calcium- sulfat	105	MW	25/20	15 ²	36

	20.02.2001								
35	HfT 1372/01/01 20.02.2001	Stuttgart vom		Calcium- sulfat	105	MW	25/20	15 ²	34
36	HfT 1371/01/01 09.02.2001	Stuttgart vom		Zement	137	EPS	38/35	15 ²	40
37	HfT 1372/02/01 08.06.2001	Stuttgart vom		Calcium- sulfat	95	EPS	32/30	15 ²	39

Anmerkung: Alle Estriche waren schwimmend verlegt

Legende:

MW: Mineralwolle

EPS: Expandiertes Polystyrol

¹ Dämmschichtdicke nach Angaben im Prüfzeugnis. Die Dickenbezeichnung wurden mit Überarbeitung der DIN 18164-2 und DIN 18165-2 geändert.

² Die dynamische Steifigkeit der Trittschalldämmstoffe s' beruhen auf Annahmen, da sie im Prüfzeugnis bzw. von der Bauleitung bei den Bau-Messungen nicht angegeben waren.

³ Porenbetondecke;

⁴ Ziegeldecke;

Die Prüfzeugnisse der Positionen 1-7 und 12-18 sind Trittschalldämmprodukte der Firma Saint-Gobain Isover G+H AG.