

# **Forschungsbericht**

**Vergleich und Bearbeitung von Vorschlägen  
europäischer Berechnungsvorschriften zur  
Bestimmung der akustischen Eigenschaften  
von Gebäuden aus Bauteileigenschaften**

**T 2779/1**

T 2779/1

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

1997, ISBN 3-8167-5403-1

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.fhg.de](mailto:irb@irb.fhg.de)

URL <http://www.irb.fhg.de>



# Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Institutsleiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis  
Amtlich anerkannte Prüfstelle für die Zulassung neuer Baustoffe, Bauteile und Bauarten  
Forschung · Entwicklung · Prüfung · Demonstration · Beratung

**IBP-Bericht B-BA 3/1995**

## **Vergleich und Bearbeitung von Vorschlägen europäischer Berechnungsvorschriften zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus Bauteileigenschaften**

im Auftrag des  
Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin

Az.: IV 1-5-704/93

Projekt-Nr.: 100 935

Dieser Bericht umfaßt:

- 28 Seiten Text
- 9 Tabellen
- 12 Bilder
- 5 Anhänge

Stuttgart, den 30. September 1996

KN/Fs/Hy

Bearbeiter:

Dipl.-Phys. K. Naßhan

Abteilungsleiter:

Dr.-Ing. W. Scholl

Institutsleiter:

Prof. Dr. Dr. h.c. mult.  
Dr. E.h. mult. K. Gertis

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Nobelstr. 12 · D-70569 Stuttgart · Postfach 80 04 69, D-70504 Stuttgart · Telefon (0711) 970-00 · Telefax (0711) 970-3395  
Miesbacher Str. 10 · D-83626 Valley · Postfach 11 52 · D-83601 Holzkirchen · Telefon (08024) 643-0 · Telefax (08024) 643-66  
Caspar-Thyß-Str. 14 A · D-14193 Berlin · Telefon (030) 89133-13 · Telefax (030) 89133-24

# **Fraunhofer-Institut für Bauphysik**

**IBP-Bericht B-BA 3/1995**

## **Vergleich und Bearbeitung von Vorschlägen europäischer Berechnungsvorschriften zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus Bauteileigenschaften**

von

**H.M. Fischer**

(Fachhochschule Stuttgart/Hochschule für Technik,  
ehemals Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart)

**K. Naßhan**

**Fraunhofer-Institut für Bauphysik**  
(Institutsleiter: Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis)

**Inhalt**

1	Einführung	7
1.1	Ausgangssituation	7
1.2	Aufgabenstellung und Ziel	7
1.3	Aktualisierung des vorgesehenen Arbeitsplanes	9
1.4	Art der Bearbeitung	9
1.5	Dokumentation und Berichterstattung	9
2	Europäische Normung im Bereich der Bauakustik	10
3	Tätigkeitsübersicht	11
4	Erläuterungen zu Teil 1 (Luftschalldämmung) und Teil 2 (Trittschalldämmung)	13
4.1	Übersicht	13
4.2	Normbegleitende Erstellung eines Rechenprogramms zu den detaillierten Modellen	14
4.3	Erstellung eines benutzerfreundlichen Demonstrations- programms zur Berechnung der Luft- und Trittschall- dämmung	15
4.4	Fehlerbetrachtung	15
4.5	Verfügbarkeit der Eingangsdaten	16
4.6	Berechnung des Schalldämm-Maßes von Massivbauteilen aus Annex B	17
4.7	Rolle der Körperschallnachhallzeiten	17
4.8	Konsequenzen	18
5	Erläuterungen zu Teil 3 (Schallübertragung von außen nach innen)	19

6	Erläuterungen zu Teil 4 (Schallübertragung von innen nach außen)	20
6.1	Übersicht	20
6.2	Schnittstellendefinition	20
6.3	Vergleich der Rechenverfahren nach CEN, VDI und ÖAL	21
6.4	Bestimmung der Diffusitätskorrektur	22
6.5	Erfassung von Richtwirkungen	22
6.6	Selbstabschirmung von Gebäuden	22
6.7	Vergleichsrechnungen	23
6.8	Vereinfachtes Modell	24
7	Erläuterungen zu Teil 5 (Schallpegel haustechnischer Anlagen)	24
8	Erläuterungen zu Teil 6 (Nachhallzeiten in Räumen)	25
8.1	Übersicht über das Vorgehen	25
8.2	Arbeiten zu Teil 6	26
9	Zusammenfassung und Ausblick	27

## Literatur

## Tabellen und Bilder

## Anhänge

Anhang A

Anhang B

Anhang C

Anhang D

Anhang E

## **1 Einführung**

### **1.1 Ausgangssituation**

In CEN/TC 126 "Acoustic properties of building products and of buildings" wird seit 1990 an einer einheitlichen europäischen Normung zur Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften gearbeitet. Zuständig ist dafür die Arbeitsgruppe WG 2 "Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of products". Vorgesehen sind insgesamt 6 Normenteile, die den gesamten Bereich der Bauakustik abdecken sollen.

Die Arbeiten an diesen 6 Teilen der Norm sollen zeitgestaffelt erfolgen und sind bislang noch nicht abgeschlossen. Zu den Teilen 1 bis 4 liegen Entwürfe vor, die bereits mehrfach beraten wurden und sich im TC/126 in der internen bzw. der offiziellen Abstimmung befinden. Zu den Teilen 5 und 6 sind die bislang vorhandenen Entwurfss Fassungen noch nicht über das Stadium erster Absichtserklärungen hinaus gegangen.

Durch ISO-Normen werden die Berechnungsverfahren nicht abgedeckt. Es existieren jedoch in den einzelnen europäischen Ländern national geprägte, stark divergierende Berechnungs- und Nachweisverfahren, die in unterschiedlichem Maße Eingang in die bislang vorliegenden Entwürfe gefunden haben. Zu Beginn des Forschungsvorhabens konnte nicht abgeschätzt werden, wie verlässlich die vorgesehenen Berechnungsverfahren sind, da bislang keine ausreichenden Erfahrungen vorliegen. Unklar war vor allem, wie sie auf die deutschen Bedingungen angewendet werden können und ob sie mit den bisher üblichen Verfahren kompatibel sind.

### **1.2 Aufgabenstellung und Ziel**

Das Vorhaben zielt darauf ab, Erfahrungen mit den vorgesehenen Berechnungsverfahren zu sammeln, um daraus die sich für die deutsche Normung ergebenden Konsequenzen abzuleiten und eine aktive Mitwirkung in der wei-

teren europäischen Normungsarbeit in CEN/TC 126/WG 2 zu ermöglichen. Wegen des unterschiedlichen Bearbeitungsstandes der o.g. 6 Teile der europäischen Berechnungsmethoden und wegen ihres Bezuges zu verschiedenen deutschen Normen und Richtlinien ergeben sich unter dieser Zielstellung differenzierte Aufgaben zu den einzelnen Teilen.

Von den Teilen 1 bis 5 betroffene Norm ist vor allem die DIN 4109 mit ihrem Beiblatt 1 "Schallschutz im Hochbau; Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren". Bezüglich der Luftschallübertragung haben sich die sehr speziellen Nachweisverfahren der DIN 4109 in den vorliegenden Entwürfen nicht niedergeschlagen. Hier und auch für die Trittschallübertragung ist vor allem die Handhabung des Rechenverfahrens zu erproben, es sind Vergleiche von Rechnungen und Messungen durchzuführen, und es sind Fehlerbetrachtungen anzustellen.

Bei den Entwürfen zu den Teilen 3 und 4, welche die Schalldämmung nach außen betreffen, geht es neben der DIN 4109 auch um Bezüge zur VDI-Richtlinie 2571. Hier ist, aufbauend auf der kritischen Durchsicht erster vorliegender Entwurfsmaterialien, Material zu erarbeiten, das einen gesicherten Standpunkt für die fortschreitende Normungsarbeit ermöglicht.

Gleiches gilt sinngemäß auch für die in Teil 5 zu behandelnden haustechnischen Anlagen. Bezüglich der Installationsgeräusche ist dabei auch der Zusammenhang zu den gleichfalls in CEN/TC 126 als europäische Normen verhandelte Meßvorschriften zu beachten.

Für die in Teil 6 vorgesehenen Nachhallzeitberechnungsverfahren enthält DIN 18041 "Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen" einige Aussagen. Das gesamte Feld wird aber in der deutschen Normung bislang nicht abgedeckt. Hier sollten ebenfalls einschlägige Richtlinien und Publikationen gesichtet, bekannte Verfahren verglichen und Ausgangsmaterial für eigene



Entwürfe beziehungsweise Ergänzungs- und Änderungsvorschläge erarbeitet werden.

### **1.3 Aktualisierung des vorgesehenen Arbeitsplanes**

Angesichts des aktuellen Bearbeitungsfortschritts in der WG 2 mußte die ursprünglich vorgesehene und unter Ziffer 1.2 beschriebene Aufgabenstellung modifiziert werden. Dies betraf im wesentlichen die vorgesehenen Bearbeitungsschritte zu den Teilen 5 und 6, zu denen bis zum heutigen Zeitpunkt nur erste, noch unverbindliche Absichtserklärungen (Teil 6) oder eine nur grob umrissene methodische Erörterung (Teil 5) vorliegt. Die Zuarbeit zu diesen Teilen konnte deshalb situationsbedingt nur knapp ausfallen. Auf Vorschlag des Betreuerkreises und im Einvernehmen mit dem DIBt wurde stattdessen die Bearbeitung der Teile 1 und 2 (Luft- und Trittschalldämmung) intensiviert und insbesondere für diese Teile ein Demonstrations-Rechenprogramm erstellt (siehe hierzu Ziffer 4.3).

### **1.4 Art der Bearbeitung**

Angesichts der besonderen Aufgabenstellung des Vorhabens war von Anfang an klar, daß es sich nicht um die Bearbeitung eines originären Forschungsvorhabens im üblichen Sinne handelt. Vorgegeben durch den jeweiligen Stand der europäischen Normungsarbeit mußte vielmehr aktuell auf die Entwicklung in der Arbeitsgruppe WG 2 reagiert werden. Deshalb nahm die Erarbeitung von Ausgangsmaterialien für die laufende Normungsarbeit, die Erarbeitung von fachlichen Einwendungen, Änderungen und Ergänzungen sowie die Abstimmung und Koordination mit anderen Gremien und anderen Delegierten einen bedeutenden Anteil des Vorhabens ein.

### **1.5 Dokumentation und Berichterstattung**

Die Besonderheiten der Bearbeitung (siehe Ziffer 1.4) und das primäre Ziel, Ergebnisse möglichst schnell in die aktuelle Normung einzubringen, schlugen sich auch in der Berichterstattung und Dokumentation nieder. Im Einvernehmen mit dem DIBt und dem Betreuerkreis wurde deshalb für die Berichterstat-

tung festgelegt, daß die Ergebnisse des Vorhabens nicht als Abschlußbericht üblicher Art präsentiert werden, sondern vielmehr in Ausarbeitungen zur aktuellen Normungsarbeit und in der Information der in Frage kommenden Gremien sowie der Öffentlichkeit (z.B. in Form von Publikationen). Die Berichterstattung erfolgte in diesem Sinne im wesentlichen durch die Zuarbeit zur Normung. Der hier vorgelegte Bericht stellt deshalb eine Übersicht über die wichtigsten Tätigkeiten dar und enthält in seinen Anhängen detailliertere Ausführungen zu einzelnen Themen.

## **2 Europäische Normung im Bereich der Bauakustik**

Drei Bereiche werden in der Bauakustik durch die CEN-Normen abgedeckt:

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

Eine Übersicht über die Auswirkungen der europäischen Normung auf das deutsche Normungskonzept im Bereich der Bauakustik enthält Anhang A. Das dort wiedergegebene Papier ist zugleich Grundlage zur Darstellung in Gremien (NABau-Unterausschuß zu DIN 4109/Beiblatt 1, NABau-Ausschuß DIN 4109, Spiegelausschuß zu CEN/TC 126) und in themenbezogenen Vorträgen geworden.

Nach den Vorgaben des Grundlagendokuments "Schallschutz" sind durch die Berechnungsverfahren die unterschiedlichen Aspekte des baulichen Schallschutzes zu erfassen, die sich in den folgenden zur Normung vorgesehenen Teilen niederschlagen:

- Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen,
- Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen,
- Teil 3: Luftschalldämmung gegen Außenlärm,
- Teil 4: Schallübertragung nach außen,
- Teil 5: Schallpegel von haustechnischen Anlagen und Installationen in Räumen,
- Teil 6: Nachhallzeiten in Räumen.

Wenngleich zu Anfang die Bedeutung der europäischen Rechenverfahren aus deutscher Sicht sicherlich unterschätzt wurde, so ist inzwischen deutlich geworden, daß in der WG 2 Grundlagen erarbeitet werden, die nicht nur unmittelbar Vorgaben für bauakustische Berechnungen festlegen, sondern stark in die Erarbeitung anderer Normen eingreifen. Dies zeigt sich insbesondere in den Papieren von CEN/TC 126/WG 6, in denen Meßmethoden zur flankierenden Übertragung festgelegt werden. Vom theoretischen Hintergrund her knüpfen die dort erarbeiteten Verfahren direkt an die Papiere der WG 2 an. Die nach derartigen Meßverfahren ermittelten Kennwerte sind unmittelbar als Eingangsdaten für die Rechenverfahren der WG 2 vorgesehen. Es zeigt sich, daß durch die neuen Meß- und Rechenverfahren ein aus deutscher Sicht völlig neues Normungskonzept zugrunde gelegt wird, das in starkem Maß das bisherige deutsche Normungskonzept im Bereich der Bauakustik tangiert (siehe Anhang A).

### **3 Tätigkeitsübersicht**

Im Berichtszeitraum war die Normungsarbeit bei CEN/TC126/WG2 geprägt durch die Erarbeitung und Überarbeitung der Rechenverfahren zur Luft- und Trittschallübertragung (Teile 1 und 2) und die Erarbeitung der Verfahren zur Schallübertragung von außen nach innen (Teil 3) und von innen nach außen (Teil 4). Entsprechend konzentrierte sich die Projektarbeit auf die ersten vier

Teile, da zu den Teilen 5 (Geräusche haustechnischer Anlagen) und 6 (Halligkeit) noch keine bzw. nur erste rudimentäre Entwürfe vorlagen.

Die einzelnen Tätigkeiten können stichwortartig wie folgt aufgelistet werden:

- Aktuelle Mitarbeit in CEN/TC126/WG 2
  - Teilnahme an den Arbeitsgruppensitzungen
  - Durchsicht aktueller Normentwürfe und Arbeitspapiere
  - Vorbereitung von Stellungnahmen
  - Einbringen von Einwänden, Ergänzungen, Empfehlungen
- Analyse der Auswirkungen auf das deutsche Normungskonzept im Bereich des baulichen Schallschutzes und Aufzeigen der Konsequenzen (siehe Anhang A).
- Einbringen der aktuellen Diskussionspunkte in die betroffenen deutschen Gremien und Arbeitsgruppen:
  - NABau-DIN 4109
  - NABau-Spiegelausschuß zu CEN/TC126
  - NABau-KOA-05
  - NMP 231
  - Koordinierungsgruppe der deutschen CEN/TC126-Delegierten
  - NABau-Unterausschuß zu DIN 4109/Überarbeitung von Beiblatt 1.

Aufgabe des letztgenannten Ausschusses ist die Überarbeitung von Beiblatt 1 zu DIN 4109 hinsichtlich der durch europäische Normen verursachten Änderungen. Der bisherige Projektleiter des DIBt-Vorhabens, Herr Prof. Dr. H.-M. Fischer, wurde als Obmann dieses Ausschusses benannt.
- Einbeziehung anderer Institutionen oder Verbände, z.B.
  - Umweltbundesamt
  - NALS/VDI
- Anbindung an die Normungsarbeiten bei CEN/TC126/ WG 6 ("Flanking Transmission")
- Recherchen zu rechnerischen und meßtechnischen Ansätzen
- Erstellung von Rechenprogrammen
- Berechnungen zu diversen Angaben oder Festlegungen der Rechenmodelle
- Durchführung von Vergleichsrechnungen anhand von Fallbeispielen

- Methodische Untersuchungen zur Fehlerrechnung (Erarbeitung der theoretischen Grundlagen für eine Fehlerbetrachtung zur Schallübertragung in Gebäuden; Anwendung anhand einfacher Fallbeispiele; Präzisierung der Fehlerbetrachtung für Luft- und Trittschallübertragung)
- Abgleich mit anderen Regelwerken (VDI-Richtlinien)
- Einbindung der Ergebnisse eigener Forschungsvorhaben (insbesondere zur Umrechnung von  $R_w$  - in  $R'_w$  -Werte und umgekehrt; siehe Annex G zu prEN 12354-1 und Beiblatt 3 zu DIN 4109).

#### **4 Erläuterungen zu Teil 1 (Luftschalldämmung) und Teil 2 (Trittschalldämmung)**

##### **4.1 Übersicht**

In Zusammenhang mit den Teilen 1 und 2 wurde vor allem das „Detailed model“ (frequenzabhängige Berechnung) untersucht. Eine umfangreiche Analyse zur Rechengenauigkeit zeigte den Zusammenhang zwischen der Streuung der Eingangsdaten und der Streuung des Endergebnisses der Berechnung auf. Diese Analyse wurde in einer Fachzeitschrift (WKSB) publiziert [1]. In weiteren Untersuchungen wurde der Frage nach der Verfügbarkeit und Gewinnung von Eingangsdaten zur Berechnung nachgegangen.

Einen Schwerpunkt des gesamten Vorhabens stellte die Erarbeitung eines Rechenprogrammes dar, das die detaillierten CEN-Rechenverfahren für die Luftschall- und Trittschallübertragung umsetzt und als Demonstrationsprogramm dem DIBt zur Verfügung gestellt wurde. Mit Hinblick auf einen zukünftigen Bauteilkatalog auf der Basis von  $R_w$  -Werten wurden für Massivwände bei den deutschen Prüfstellen der Gruppe I (bauakustische Eignungsprüfungen) die verfügbaren Prüfergebnisse erfragt und für die Arbeit in der WG2 zusammengestellt. Erwartungsgemäß zeigte sich, daß aufgrund der in Deutschland üblichen Prüfpraxis ( $R'_w$  -Werte für Massiv-Bauteile) eine

aussagekräftige Datenbasis nicht verfügbar und damit ein (erster) Vorschlag für eine "Massekurve" aus deutscher Sicht nicht möglich war.

Von Bedeutung für Teil 1 waren auch die Arbeiten zur Umrechnung von  $R_w$ - in  $R'_w$ - Werte und umgekehrt, da hier unmittelbar das Nachweisverfahren der DIN 4109 betroffen ist. Ausgehend von den grundlegenden Untersuchungen eines Eigenforschungsvorhabens gelang es, die vorgeschlagene Vorgehensweise als Annex G in Teil 1 der CEN- Dokumente (prEN 12354-1) und als Beiblatt 3 zu DIN 4109 unterzubringen. In den Berichtszeitraum fiel auch die erste Abstimmung innerhalb des TC126 über die Entwürfe zu den Teilen 1 und 2. Für die Arbeit im DIBt-Vorhaben bedeutete dies einen detaillierten Abgleich der Papiere mit den bereits vorliegenden Dokumenten und eine intensive Durchsicht der deutschen Übersetzungen.

#### **4.2 Normbegleitende Erstellung eines Rechenprogramms zu den detaillierten Modellen**

Begleitend zu den laufenden Arbeiten in der europäischen Normung wurde ein Rechenprogramm entwickelt, um Erfahrungen bei der Anwendung der CEN-Verfahren auf deutsche Bausituationen zu sammeln. Die Anforderung "normentwurfsbegleitend" setzte enge zeitliche Schranken an die Programmierung und verursachte zum Teil umfangreiche Änderungen am Programm. Unter diesen Randbedingungen ist ein Programm entstanden, das zwar nach den CEN-Normentwürfen (N111 und N112) arbeitet, aber keine benutzerfreundliche Bedienung bietet. Es wurden damit mehrere Bausituationen, die aus einer Umfrage der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt bei Prüfstellen hervorgingen, nachgerechnet. Oft scheiterte die Durchführung der Berechnungen allerdings am Fehlen von passenden Eingabedaten. Um dennoch Berechnungen durchführen zu können, wurden aus Materialeigenschaften (Schallgeschwindigkeit, interner Verlustfaktor, Dicke u.a.) Schalldämm-Maße berechnet. Diese wurden in den CEN-Verfahren verwendet.

Für den Normtrittschallpegel ergaben sich nach den in den Entwürfen enthaltenen Berechnungsverfahren im Vergleich zu Erfahrungswerten Abweichungen von etwa 20 bis 30 dB, so daß eine Durchführung von Vergleichsrechnungen nicht sinnvoll war. Das Schalldämm-Maß konnte für einige Beispiele berechnet werden. Die Bilder 1 bis 7 in Anhang E zeigen Meßwerte und Rechenwerte verschiedener Bausituationen in frequenzabhängiger Darstellung. Vergleicht man die Abweichung Meßwert - Rechenwert, so zeigt sich in den Beispielen, daß das "detaillierte" Modell im Mittel das Bau-Schalldämm-Maß unterschätzt (Bild 1). Ab etwa 250 Hz liegt der Mittelwert unter der Abweichung, die aufgrund einer Fehlerrechnung erwartet wird. Im Vergleich zum "vereinfachten" Modell zeigen sich keine wesentlichen Unterschiede (Bild 2). Die Ergebnisse nach DIN 4109 liegen etwa 2 dB schlechter als die der CEN-Methoden. Es wurde jedoch nicht die in den CEN-Normentwürfen genannten etwa 2 dB Abstand zum Meßwert erreicht. Die Ergebnisse werden zur Veröffentlichung in der Zeitschrift Bauphysik eingereicht; das Manuskript ist im Anhang B abgedruckt.

#### **4.3 Erstellung eines benutzerfreundlichen Demonstrationsprogramms zur Berechnung der Luft- und Trittschalldämmung**

Zur Demonstration, wie ein kommerzielles Programm zur Berechnung der Luft- und Trittschalldämmung arbeiten könnte, wurde ein weiteres Programm erstellt. Das Programm berechnet nach den CEN-Normentwürfen die Luft- und Trittschallübertragung zwischen zwei benachbarten, nicht versetzten Quaderräumen. Es werden weder Fenster noch Türen, noch sonstige Öffnungen berücksichtigt. Dennoch kann das Programm auf die häufigsten Bausituationen angewandt werden. Eine Kopie des Programms wurde dem DIBt zur weiteren Verbreitung zugesandt. Die Kurzbedienungsanleitung und die Hilfetexte sind im Anhang D abgedruckt.

#### **4.4 Fehlerbetrachtung**

Die Frage, wie sich Unsicherheiten in den Eingangsdaten auf das Berechnungsergebnis auswirken, wurde systematisch untersucht. Die Fehlerfort-

pflanzungsberechnung wurde für Luft- und Trittschallübertragung nach dem vereinfachten und dem detaillierten Modell durchgeführt. Unter Zugrundelegung realistischer Unsicherheiten der Eingangsgrößen ergeben sich als Fehler des bewerteten Schalldämm-Maß 2,2 dB für das vereinfachte Modell und 2,5 dB für das detaillierte Modell. Für den Fehler des Normtrittschallpegels ergeben sich 2,0 bzw. 2,3 dB. Dabei wurde der Fall höherer Transmission, also geringerer Schalldämmung betrachtet. Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden in [1] veröffentlicht. Das Manuskript ist in Anhang C abgedruckt.

#### **4.5 Verfügbarkeit der Eingangsdaten**

Die Vorgehensweise der CEN-Berechnungsverfahren unterscheidet sich grundsätzlich von der Berechnung nach DIN 4109. Dies wird aus den benötigten Eingangsdaten deutlich. Während in der DIN 4109 Meßwerte aus Prüfständen mit bauähnlicher Flankenübertragung zugrundegelegt werden, verlangen die CEN-Verfahren Meßwerte aus nebenwegfreien Prüfständen. Daher stellt sich die Frage nach der Verfügbarkeit der notwendigen Eingangsdaten. Eine Übersicht über die notwendigen Eingangsdaten gibt Tabelle 1. Für Berechnungen nach dem detaillierten Modell sind zusätzlich die in Tabelle 2 genannten Größen erforderlich. Die Verfügbarkeit der Eingangsdaten ist in Tabelle 3 dargestellt. Das bewertete Schalldämm-Maß  $R_w$  (ohne Nebenwege) kann hilfswise aus dem bewerteten Schalldämm-Maß  $R'_w$  (bauähnliche Flankenübertragung) nach Annex G des CEN-Normentwurfs oder Beiblatt 3 von DIN 4109 berechnet werden. Für das frequenzabhängige Schalldämm-Maß, das für das detaillierte Modell erforderlich ist, gibt es kein anerkanntes Umrechnungsverfahren. Das Berechnungsverfahren nach Annex B aus Teil I gilt nur für Massivwände, so daß für mehrschalige Bauteile diese Eingangsgröße derzeit nicht allgemein verfügbar ist. Für die Messung der Körperschallnachhallzeit eines Bauteils im Labor und des Stoßstellendämm-Maßes sind die Meßnormen beim CEN/TC 126/WG 6 erst in Vorbereitung, so daß von Ausnahmen abgesehen noch keine Meßwerte vorliegen können.



Im IBP wurden die Stoßstellendämm-Maße von starren T-Stößen ermittelt [2]. Es hat sich dabei gezeigt, daß die in Annex E aus Teil I postulierte Frequenzunabhängigkeit nicht gegeben ist, es sei denn man legt eine Toleranzbandbreite von 20 dB zugrunde. Die bestimmten Stoßstellendämm-Maße weichen zum Teil auch erheblich von den in Annex E angegebenen ab.

Zur Berechnung nach dem detaillierten Modell sind zusätzlich die Angaben zu flächenbezogener Masse, internem Verlustfaktor und Schallgeschwindigkeit erforderlich. Für Massivwände können diese Materialgrößen aus Tabellensammlungen entnommen werden. Jedoch führt die Schwankungsbreite der angegebenen Werte zu zusätzlichen Unsicherheiten, die einige dB Unterschied im berechneten bewerteten Bau-Schalldämm-Maß ausmachen können.

#### **4.6 Berechnung des Schalldämm-Maßes von Massivbauteilen aus Annex B**

Für verschiedene Bauteile wurde das frequenzabhängige Schalldämm-Maß nach Annex B aus Teil I berechnet. Die Ergebnisse sind in den Bildern 8 bis 17 in Anhang E enthalten. Bild 3 zeigt die aus der frequenzabhängigen Rechnung ermittelten Einzahlwerte im Vergleich zu anderen angegebenen Berechnungsverfahren für das bewertete Schalldämm-Maß. Die Ergebnisse der einzelnen Verfahren schwanken um 5 dB um den Mittelwert der Verfahren. Die mittlere Standardabweichung beträgt 2 dB. Es fällt auf, daß das CEN-Einzahlmodell bis 200 kg/m<sup>2</sup> das niedrigste, über 200 kg/m<sup>2</sup> das zweitniedrigste bewertete Schalldämm-Maß liefert. Die Sprünge der aus dem frequenzabhängigen Verfahren errechneten bewerteten Schalldämm-Maße sind auf unterschiedliche Materialien zurückzuführen.

#### **4.7 Rolle der Körperschallnachhallzeit**

Zur Umrechnung von Laborwerten in in-situ-Werte dient im detaillierten Modell die Körperschallnachhallzeit. Sie ist ein Maß für die strukturellen Energieverluste und von zentraler Bedeutung bei der Bestimmung des Schalldämm-Maßes bzw. des Normtrittschallpegels von Bauteilen mit den

Stoßstellendämm-Maßen jeweils in-situ. Im normativen Teil der Entwürfe wird nichts zur Berechnung der in-situ-Körperschallnachhallzeit ausgesagt. Immerhin wird im informativen Annex C ein Berechnungsverfahren angegeben, welches auf Massivbauteile anwendbar ist. Wie Doppelwände und schwere, geschichtete Bauteile zu behandeln sind, bleibt unklar.

#### **4.8 Konsequenzen**

Soweit Berechnungen möglich waren, haben die Luftschalltransmissionsmodelle nach CEN bessere Ergebnisse geliefert als das Verfahren nach DIN 4109. In der Mehrzahl der vorliegenden Fälle waren jedoch nicht alle Eingabedaten verfügbar, um konkrete Fälle nachzurechnen. Die Werte von Materialkonstanten schwankten in der Literatur zum Teil in so großen Bereichen, daß je nach Wahl das Bauschalldämm-Maß um einige dB variiert werden konnte. Um alle Daten für die Berechnung nach dem detaillierten Modell verfügbar zu haben, sollte bei der Messung der Schalldämmung im Labor zusätzlich die Schallgeschwindigkeit, der innere Verlustfaktor und die Dichte des Bauteils bestimmt werden. Wie diese Materialkonstanten bei zusammengesetzten Bauteilen im Hinblick auf Ziffer 4.7 zu bestimmen sind, ist unklar.

Die Untersuchungen [2] im Fraunhofer-Institut für Bauphysik haben gezeigt, daß die Stoßstellendämm-Maße des Annex E für den starren T-Stoß in der vorliegenden Form nicht mit der Realität übereinstimmen. Es muß befürchtet werden, daß auch für andere Stoßstellen die Angaben des Annex E unzureichend sind. Der Aufwand für die Berechnungen nach dem detaillierten Modell ist im Vergleich zur DIN 4109 deutlich höher (Tabelle 4) und ohne Computer nicht mehr akzeptabel. Es stellt sich daher die Frage, ob - wie z.B. im Bereich Schadstoffausbreitung üblich - die Berechnungsfunktionen als Programmbibliotheken zentral zur Verfügung gestellt werden und andere die Nutzerfreundlichkeit herstellen. Die entsprechenden Funktionen des Demoprogramms könnten Kern dieser Programmbibliothek sein.

## 5 Erläuterungen zu Teil 3 (Schallübertragung von außen nach innen)

Da der grundlegende Berechnungsansatz bei Teil 3 unumstritten ist, beschränkten sich die Aktivitäten zu diesem Teil auf die Untersuchung von Detailfragen. Die Ergebnisse flossen in umfangreiche Stellungnahmen ein, die in der WG 2 zur Verhandlung und in das erste TC-interne Abstimmungsverfahren eingebracht wurden. In den sich daran anschließenden Diskussionen konnte in der WG 2 ein Eingehen auf wesentliche Punkte erreicht werden. Die wesentlichen Einwände waren:

- Nicht alle verwendeten Größen sind mit dem ISO-Entwurf 140-5 (zukünftige DIN EN ISO 140-5) konsistent. Alle Größen aus ISO 140-5 zur Beschreibung der Fassadeneigenschaften sind in Teil 3 zu berücksichtigen.
- Die Vorhersage aller in ISO 140-5 genannten Größen soll klarer dargestellt werden.
- Es war kein Rechenverfahren für das in Deutschland übliche  $R'_{45^{\circ}}$  vorgesehen. Es werden nun auch Rechenvorschriften für  $R'_{45^{\circ}}$  und  $R'_{tr}$  aufgeführt.
- Der Einfluß der flankierenden Übertragung wurde nicht berücksichtigt.
- Ein als "safety margin" deklarierter Sicherheitsabschlag von 2 dB hat zu entfallen.
- Zum sog. "facade shape level" sollen zusätzliche Informationen geliefert werden.
- Das Konzept zur Berechnung zusammengesetzter Bauteile unter separater Berücksichtigung von Schlitzfenstern und Dichtungen wird in Frage gestellt.
- Für zusammengesetzte Bauteile ist eine klarere Darstellung erforderlich
- Die genannten Daten zu Türen und Fensterrahmen sind kritisch zu überprüfen.
- Die Bedeutung der in den Anhängen genannten Daten ist grundsätzlich zu diskutieren.

## **6 Erläuterungen zu Teil 4 (Schallübertragung von innen nach außen)**

### **6.1 Übersicht**

Ein wesentlicher Schwerpunkt im Berichtszeitraum waren die Arbeiten zu Teil 4. Ausgehend von einem aus deutscher Sicht indiskutablen ersten Entwurf wurde eine umfangreiche Stellungnahme erarbeitet, derzufolge die Arbeit der WG2 am vorgesehenen Rechenverfahren in wesentlichen Punkten neu aufgenommen werden mußte. Da auf deutscher Ebene die Inhalte des 4. Teiles nicht in den Kompetenzbereich der DIN 4109 fallen, wurden zur weiteren Abstimmung Kontakte zum NALS/VDI hergestellt und in einer gemeinsamen Arbeitssitzung ein abgestimmtes Vorgehen vereinbart. Neben einer generellen Kritik am vorgeschlagenen Verfahren wurden im Rahmen des DIBt- Vorhabens insbesondere die folgenden Punkte erarbeitet:

- Vergleich der Rechenverfahren bei CEN mit VDI- Richtlinie 2571 ("Schallabstrahlung von Industriebauten") und österreichischer Richtlinie ÖAL 28 ("Schallabstrahlung und Schallausbreitung") hinsichtlich verschiedener Kriterien (Innengeräusche, Modellierung der Gebäudehülle, Ausbreitungsrechnung).
- Untersuchung der Richtwirkung von Teilschallquellen
- Berechnungen zur Gebäude-Abschirmung nach verschiedenen Modell-Ansätzen und Vergleich mit CEN-Vorschlag
- Erster Vorschlag für ein „simplified model“
- Vergleichsrechnungen für die Verfahren nach CEN und VDI bei unterschiedlichen Anregespektren
- Klare Schnittstellendefinition (Innenraum, Gebäudehülle, Abstrahlung, Immission)

### **6.2 Schnittstellendefinition**

In Abstimmung mit NALS/VDI wurde folgende Position zum Berechnungskonzept eingebracht:

Das zukünftige Rechenmodell zur Schallabstrahlung von Gebäuden hat Schnittstellen zu definieren, die den Gesamt-Berechnungsvorgang in eigenständige Teilbereiche untergliedern. Diese sind:

- Schallfeld im Gebäudeinneren
- Schalldämmung der Gebäudehülle
- Abstrahlung von der Gebäudehülle
- Schallausbreitung, Ermittlung von Immissionspegeln

Es sollte nicht Zweck der Norm sein, die Innenpegel zu berechnen. Dies kann z.B. nach VDI-Richtlinie 3760 ("Berechnung und Messung der Schallausbreitung in Arbeitsräumen") oder Teil 6 erfolgen. Auch die Berechnung der Schallausbreitung sollte nicht Gegenstand der Norm sein; dies sollte vorzugsweise nach ISO/DIS 9613-2 ("Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors") erfolgen. Ziel sollte es vielmehr sein, aus gegebenen Innenpegeln und den Bauteildaten die für die Abstrahlung benötigten Schalleistungspegel zu bestimmen, so daß sich das Berechnungsverfahren auf diesen Teilbereich beschränken kann. Schalldruckpegel am Immissionsort dagegen sind Ergebnis der Ausbreitungsrechnung; daher sollen die Schalleistungspegel der Quellen bzw. der Außenhaut des Gebäudes die Zielgrößen sein. Mit dieser Schnittstellendefinition folgt die deutsche Position dem für die Überarbeitung der VDI-Richtlinie 2571 vorgesehenen neuen Konzept. Diese Schnittstellendefinition wird in der WG2 als grundsätzlich richtig akzeptiert, jedoch konnte sich die Arbeitsgruppe nicht dazu durchringen, auf die Schallausbreitungsberechnung völlig zu verzichten. Diese ist Gegenstand eines "Simplified model" (siehe hierzu auch Ziffer 6.8).

### **6.3 Vergleich der Rechenverfahren nach CEN, VDI und ÖAL**

Unterteilt nach verschiedenen Kriterien wurden die Berechnungsverfahren nach CEN (Entwurf nach Dokument N121), nach der VDI-Richtlinie 2571 und der österreichischen Richtlinie ÖAL 28 miteinander verglichen. Alle drei Regelwerke behandeln die Schallabstrahlung von Gebäuden. Eine tabellarische Zusammenstellung dieses Vergleichs findet sich in Tabelle 5. Einen detaillierten Vergleich für den Bereich "Innengeräusche" enthält

Tabelle 6, für den Bereich "Schallabstrahlung" Tabelle 7 und für den Bereich "Schallausbreitung " Tabelle 8.

#### **6.4 Bestimmung der Diffusitätskorrektur**

Bei der Bestimmung der von Gebäudeflächen abgestrahlten Schalleistung werden Angaben zur Diffusität im Innenraum benötigt. Aufgrund der Abstimmung mit VDI/NALS konnten die Formulierungen des Normentwurfs durch eine Ausarbeitung aus diesem Kreis präzisiert werden.

#### **6.5 Erfassung von Richtwirkungen**

In den ersten Vorschlägen wurde eine globale Richtwirkung ("directivity term"  $D_{\Theta}$ ) dadurch ermittelt, daß abstrahlungsbeeinflussende Faktoren unterschiedlicher Bereiche zusammengefaßt wurden, nämlich:

- Richtcharakteristik der Einzelquelle gemäß ISO 3745
- Raumwinkel  $\Theta$  und
- Gebäudeabschirmung.

Es wurde dargelegt, daß ein Richtwirkungsmaß in dieser Form nicht akzeptabel ist. Es sollte ausschließlich die Richtwirkung der Schallquelle in dieser Größe enthalten sein. Selbstabschirmung und Raumwinkelmaß dagegen sind Bestandteil der Ausbreitungsrechnung.

#### **6.6 Selbstabschirmung von Gebäuden**

Die Ergebnisse der Berechnung der Selbstabschirmung von Gebäuden nach CEN, ÖAL-28 und ISO-9613-2 wurden verglichen. Die Verfahren nach CEN und ÖAL beinhalten jeweils nur einen richtungsabhängigen Term; Gebäudegröße, Lage der Schallquellen und des Immissionsortes sowie der Frequenzgang der Selbstabschirmung werden dabei vernachlässigt. Einen Vergleich von CEN und ÖAL zeigt Bild 4. Im Schattenbereich sagt der CEN-Entwurf eine deutlich höhere Abschirmung voraus. Nach dem ISO-Verfahren wird die Selbstabschirmung nach den Maekawaschen Umwegformeln berechnet. Den Vergleich CEN, ÖAL und CEN für ein 20 x 20 x 5 m<sup>3</sup> großes Gebäude mit einem Abstand des Immissionsortes von 50 m und mittiger

Schallquelle auf einer Wand zeigt Bild 4. Im Bereich direkter Abstrahlung ergibt sich kein Unterschied zwischen CEN und ISO. Im Schattenbereich zeigt sich aber, daß der CEN-Entwurf bei tiefen Frequenzen eine größere Abschirmung vorhersagt. Die ÖAL gibt in etwa den Verlauf bei 63 Hz wieder. Bei höheren Frequenzen sagen CEN und ÖAL niedrigere Abschirmwerte voraus.

Daß mit wachsender Gebäudegröße auch die Selbstabschirmung wächst, zeigen die Bilder 18 bis 21 in Anhang E. Bei asymmetrischer Lage der Schallquelle (Bild 22, Anhang E) wird die Selbstabschirmung asymmetrisch. Daß die Schirmwirkung auch vom Abstand abhängt, belegen die Bilder 5 bis 11, die die Selbstabschirmung eines quaderförmigen Gebäudes ( $10 \times 10 \times 5 \text{ m}^3$ ) in einem ebenen Gelände zeigen. Die Selbstabschirmung eines Gebäudes wird bestimmt durch Gebäudegröße, Lage von Emissions- und Immissionsort und der Frequenz. Ein Berechnungsverfahren, das nur eine Richtungsangabe benutzt, wird den Verhältnissen nicht gerecht. Angesichts der Tatsache, daß mit der ISO 9613-2 ein bewährtes, genaueres Berechnungsverfahren zur Verfügung steht, bedeutet der CEN-Entwurf einen Rückschritt.

## **6.7 Vergleichsrechnungen**

Um zu untersuchen, wie sich die Berechnungsergebnisse des CEN-Entwurfs im Vergleich zu den Ergebnissen nach der VDI-Richtlinie 2571 verhalten, wurde das Beispiel aus Anhang B der VDI-Richtlinie mit dem CEN-Verfahren nachgerechnet. Da im VDI-Beispiel keine frequenzabhängigen Eingabedaten vorhanden sind, wurden aus Anhang C der VDI-Richtlinie die Betriebsarten mit Schalldruckpegel 95 dB zur Vergleichsrechnung gewählt. Die Ergebnisse sind in Bild 12 dargestellt. Man sieht deutlich, daß die frequenzabhängigen Berechnungen nach CEN und die anschließende Bewertung zum Teil recht deutliche Unterschiede zur Einzahlberechnung nach VDI 2571 aufweisen. Die frequenzabhängig unterschiedlichen Emissionspegel führen auch zu

frequenzabhängig unterschiedlichen Immissionspegeln (Bilder 23 bis 34 in Anhang E). Daher ist eine frequenzabhängige Berechnung notwendig.

### **6.8 Vereinfachtes Modell**

In Analogie zu den vereinfachten Modellen der Teile 1 und 2 wurde für Teil 4 die Aufnahme eines vereinfachten Modells von deutscher Seite vorgeschlagen. Ein vereinfachtes Modell könnte mit Einzahlwerten rechnen, von konstanten Innenpegeln ausgehen und die Richtwirkung von Quellen vernachlässigen. Nachdem seitens des Convenors der WG 2 lange Zeit ein vereinfachtes Modell auf der Basis von Einzahlwerten abgelehnt wurde, konnte ergänzend zum schon vorhandenen (und von deutscher Seite abgelehnten) "simplified model" vor kurzem doch noch ein solches Modell eingebracht werden, das auf Vorschlägen von H. Metzen beruht.

## **7 Erläuterungen zu Teil 5 (Schallpegel haustechnischer Anlagen)**

Zum Zeitpunkt der Projektbearbeitung war die Arbeit zum Teil 5 in der WG 2 noch nicht aufgenommen worden, so daß eine nähere Beschäftigung mit diesem Teil nicht möglich war. Es ist aber ohne Zweifel davon auszugehen, daß hier der komplexeste Bereich bauakustischer Berechnungen vorliegt. Genormte Rechenverfahren sind weder in Deutschland noch in anderen Ländern verfügbar, so daß Neuland in der Normung betreten wird. Zu unterscheiden sind Schallquellen, die als Körperschallquellen betrachtet werden müssen, und solche Quellen, die als Luftschallquellen auftreten. Prinzipiell sind Fragen der Körperschallübertragung im Gebäude und der Luftschallabstrahlung von Bauteilen nach den bereits in den Teilen 1 und 2 verfügbaren Methoden behandelbar. Zu klären ist die von den Körperschallquellen verursachte Anregung des Baukörpers. Insbesondere ist bei Körperschallquellen eine geeignete Beschreibung der Quelle sowie für die angeregten Bauteile eine Beschreibung der Anregbarkeit (Impedanzen oder dergleichen) erforderlich. Geeignete Eingangsdaten für eine Berechnung sind



im Augenblick im erforderlichen Umfang nicht verfügbar. Auch gibt es zur Zeit keine genormten Meßverfahren, mit denen derartige Daten ermittelt werden könnten. Ein enger Kontakt zu den Normungsarbeiten bei ISO/ TC 43/SC 1 erscheint sinnvoll, da dort an Methoden zur meßtechnischen Erfassung der Körperschallerzeugung technischer Schallquellen sowie zur Beschreibung der Körperschallminderung durch Körperschallisolierende Elemente gearbeitet wird. Die dort in Betracht gezogenen Methoden erscheinen auch für Zwecke der Bauakustik anwendbar. Eine vergleichbare Situation herrscht im Falle der Luftschallübertragung über Lüftungs- und Klimaanlage sowie der Schallübertragung über Rohrleitungen. Aus deutscher Sicht ist im Bereich des Teils 5 insgesamt noch erheblicher Klärungsbedarf vorhanden.

## **8 Erläuterungen zu Teil 6 (Nachhallzeiten in Räumen)**

### **8.1 Übersicht über das Vorgehen**

Zu diesem Teil liegen bislang keine Entwürfe vor. Zur Klärung der grundsätzlich beabsichtigten Vorgehensweise wurde eine schriftliche Anfrage an den Convenor der WG2 gerichtet, die in der Arbeitsgruppe verhandelt wurde. Einmütig wurde dabei festgestellt, daß bei diesem Normungsteil keine raumakustischen Parameter zu berechnen seien, sondern lediglich die Nachhallzeiten in einfachen Raumsituationen. Insgesamt wurde die Bedeutung dieses Teils der Rechenverfahren nicht als sonderlich groß betrachtet. Ein Bezug wird zu Teil 5 gesehen, wo bei der Berechnung haustechnischer Anlagen auch die Immissionspegel in Räumen zu ermitteln sind.

Da zuvor schon vom Betreuerkreis des Vorhabens die Dringlichkeit der Arbeiten zu Teil 6 angezweifelt worden war, wurde im Einvernehmen mit den Betreuern und mit Zustimmung des DIBt eine starke Reduzierung der Arbeiten zu Teil 6 zugunsten einer verstärkten Bearbeitung in den Teilen 1 und 2 (Demo-Programm) vorgenommen.

## 8.2 Arbeiten zu Teil 6

Im Rahmen der Arbeiten zu Teil 6 wurden zunächst die maßgeblichen Bauteil- und Raumparameter (Tabelle 9) klassifiziert. Je nach Raumabmessungen und Raumnutzung müssen unterschiedliche Berechnungsmethoden angewendet werden. Ferner wird man je nach Zielgrößen, die ebenfalls in Tabelle 9 klassifiziert sind, angepaßte Berechnungsverfahren wählen.

Ein Vergleich verschiedener Normen (VDI 3760, DIN 18041, Ö-Norm 38115 und Richtlinie zur Berechnung der Lärmimmissionen in Räumen [3]) zeigte, daß mit [3] eine Verfahrensweise zur Verfügung steht, die Grundlage für einen entsprechenden Normentwurf sein könnte. In der Richtlinie werden für kubische, Flach- und Langräume Berechnungsverfahren zur Ermittlung des Abwerteten Schalldruckpegels an einem Ort im Raum angegeben. Die Verteilung von Absorbern und Streukörpern im Raum wird berücksichtigt; Frequenzgänge finden jedoch keine Berücksichtigung. Für Produktionsanlagen wurde eine Genauigkeit von 2 dB erreicht [3].

Bevor aus der Richtlinie ein Normentwurf werden kann, sind noch einige Fragen zu klären, nämlich:

- Bleiben die Verfahren bei frequenzabhängiger Rechnung gültig?
- Welche Einschränkungen gibt es bezüglich der im Vergleich zu Produktionsanlagen kleineren Wohnräume?
- Sollen bzw. unter welchen Bedingungen müssen die Abmaße von Schallquellen berücksichtigt werden?
- Können bewertete Absorptionsgrade nach DIN EN ISO 11654 verwendet werden?

Da nach Empfehlung der Betreuer mehr Aufwand für die Bearbeitung der Teile 1 und 2 verwendet werden sollte, war eine Beantwortung dieser Fragen im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht möglich.

## **9 Zusammenfassung und Ausblick**

In zahlreichen Einzelschritten - von der aktuellen Normungsmitarbeit über rechnerische Untersuchungen bis hin zur Erstellung eines Demonstrations-Programmes - konnte im Rahmen dieses Vorhabens an der Erarbeitung und Umsetzung der europäischen Rechenverfahren mitgewirkt werden. Wenn auch die insgesamt anstehenden Aufgaben, die aus deutscher Sicht zu lösen sind, den Rahmen dieses Vorhabens bei weitem überfordert hätten, gelang es doch, wesentliche Positionen in den Normungsfortgang einzubringen und wesentliche Aspekte der Normentwürfe einer Überprüfung zu unterziehen.

Aus heutiger Sicht stellt sich eine intensive Beschäftigung mit den Berechnungsmethoden als notwendiger Schritt zum zukünftigen deutschen Normungskonzept der Bauakustik dar. Zum Zeitpunkt der Berichterstellung wurde in den NABau-Ausschüssen zu DIN 4109 und zu CEN/TC 126 (Spiegelausschuß) im Rahmen des offiziellen Abstimmungsverfahrens über die Verabschiedung der Normteile 1 (prEN 12354-1) und 2 (prEN 12354-2) beraten und abgestimmt. Beide Ausschüsse haben - mit Kommentaren - der Verabschiedung als europäische Normen zugestimmt. Dies geschah in dem Bewußtsein, daß das deutsche Normungskonzept unter den europäischen Vorgaben in geschlossener Form keinen Bestand haben wird und über ein in sich stimmiges Gesamtkonzept der DIN 4109 nachgedacht werden muß.

**Literatur**

- [1] Naßhan, K.: Wie genau läßt sich das akustische Verhalten von Gebäuden aus Beuteildaten berechnen? wksb, Neue Folge (1994), H. 34, S. 10-14.
- [2] Scholl, W.; Nicolai, M.: Studie zur Ermittlung von Stoßstellendämm-Maßen. Bericht des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik B-BA 1/1996.
- [3] Gruhl, S.: Richtlinie zur Berechnung der Lärmimmission in Räumen. Beiträge für die Praxis. (1983), H. 1, S. 1-56.

**Tabelle 1** Nach DIN 4109 und vereinfachtem und detailliertem CEN-Modell zu berücksichtigende Eingangsgrößen

Eingangsgrößen	Modell		
	DIN 4109	CEN Simplified	CEN Detailed
bewertetes Schalldämm-Maß	ja	ja	nein
bewertetes Schall-Längsdämm-Maß	ja	nein	nein
(frequenzabhängiges) Schalldämm-Maß	nein	nein	ja
Koppellänge	ja	ja	ja
Fläche der Trennwand	ja	ja	ja
Fläche der flankierenden Wände	nein	ja	ja
bewertetes Verbesserungsmaß	ja	ja	nein
(frequenzabhängiges) Verbesserungsmaß	nein	nein	ja
Stoßstellendämm-Maß	nein	ja	ja
Körperschall-nachhallzeit im Labor	nein	nein	ja

**Tabelle 2** Nach DIN 4109 und vereinfachtem bzw. detailliertem CEN-Modell zur Berechnung zusätzlich erforderliche Eingangsdaten

Eingangsgrößen	Modell		
	DIN 4109	CEN Simplified	CEN Detailed
interner Verlustfaktor	nein	nein	ja
Koinzidenz- grenzfrequenz	nein	nein	ja
Abstrahlgrad	nein	nein	ja

**Tabelle 3** Verfügbarkeit der zur Berechnung nach CEN erforderlichen Eingangsdaten

Eingangsgröße	Luftschall		Trittschall	
	simplified	detailed	simplified	detailed
Schalldämm-Maß	ja, z.B. DIN 4109	Berechnungsverfahren in N111, Annex B angegeben	ja, z.B. DIN 4109	Berechnungsverfahren in Annex B angegeben
(Luftschall-) Verbesserungsmaß (trennendes Element)	ja, z.B. DIN 4109	Tabelle mit 8 Einträgen in N111, Annex B	ja, z.B. DIN 4109	Tabelle mit 8 Einträgen in N111, Annex B
(Luftschall-) Verbesserungsmaß (flankierende Elemente)	Tabelle mit 4 Einträgen in N111, Annex B	Tabelle mit 4 Einträgen in N111, Annex B	Tabelle mit 4 Einträgen in N111, Annex B	Tabelle mit 4 Einträgen in N111, Annex B
Körperschallnachhallzeit eines Elementes im Labor	nein, Berechnungsverfahren angegeben	nein, Berechnungsverfahren angegeben	nein, Berechnungsverfahren angegeben	nein, Berechnungsverfahren angegeben
Stoßseldämm-Maß	nein, Berechnungsverfahren angegeben	nein, Berechnungsverfahren angegeben	nein, Berechnungsverfahren angegeben	nein, Berechnungsverfahren angegeben
Flächen der Elemente	ja	ja	ja	ja
Koppellängen	ja	ja	ja	ja
Norm-Trittschallpegel	-	-	ja, z.B. DIN 4109	nein, angegebenes Berechnungsverfahren liefert dubiose Ergebnisse
(Trittschall-) Verbesserungsmaß			ja, z.B. DIN 4109	?

**Tabelle 4** Angaben, die zur Berechnung der Luftschallübertragung bei quaderförmigen Räumen erforderlich sind

Benötigte Angaben		Modell		
		DIN 4103	CEN simplified	CEN detailed
Wände	Trennwand	1	1	1
	Senderraum	0	4	4
	Empfangsraum	4	4	4
	Nachbarräume	0	0	36
	Summe	5	9	45
Übertragungsparameter	Stoßstellen	0	4	4
	Übertragungswege	5	13	13
	Körperschall-nachhallzeit	0	0	9
	Summe	5	17	26



**Tabelle 5** Vergleich einiger Kriterien bei den verschiedenen Verfahren  
(x = vorhanden, - = nicht vorhanden)

Kriterien	CEN	VDI 2571	ÖAL 28
Außenhautelemente	x	x	x
große Öffnungen	(x) R = 0	(-) R = 0	(-) R = 0
Einzelquellen	x	x	x
frequenzabhängige Rechnung	x	x	x
vereinfachtes Verfahren	x	(x) Rechnung mit Mittelwerten	-
Fehlerangaben	noch offen	"für Gesamtrechnung i. allg. unter $\pm 5$ dB(A)"	-
Bauteilkatalog	dänisch holländisch deutsch (VDI 2571)	Abschnitt 3.2, Anhang B	aus VDI 2571
Richtwirkung von Quellen			
<u>Gebäudeflächen</u>	x	-	x analyt.
<u>Einzelquellen</u>	allg.	-	allg.
<u>Öffnungen</u>	allg.	-	analyt.
Angaben zur Bestimmung des Innenpegels	-	x Rechnung, x Anhang C	wie VDI 2571
Diffusität im Innenraum	Tabelle	-	-
Ausbreitungsrechnung	nicht festgelegt → $A_{tot}$	vereinfacht ( $\Delta L_S, \Delta L_Z$ )	festgelegt in "Übertragungsmaß" (angelehnt an ISO 9613); Bestandteil der Richtlinie!
Gebäudeabschirmung	analytisch, → zu $D_\phi$	Beispiele → zu Ausbreitung	analytisch
Abschirmung durch Hindernisse	- → zu $A_{tot}$	(x) → VDI 2714/2720	x
$R_{max}$ für Außenbauteile	x (Tabelle)	(-)	(-)
Körperschallanregung	(-)	-	-

**Tabelle 6** Vergleich der Verfahren CEN 121, VDI 2571, ÖAL 28 in Bezug auf Innengeräusch-Parameter

Innengeräusch-Parameter	CEN	VDI	ÖAL
Innenschalldruckpegel	Eingabegröße, die lt. Annex A aus Messung, Messung in ähnlichen Situationen oder Berechnungen gewonnen werden kann. Ein Verfahren wird nicht angegeben.	Größe, die aus dem Schalleistungspegel der Maschinen gemäß $L_1 + L_w + 14 + 10 \lg \left( \frac{T}{V} \right)$ (Gl. 6) berechnet werden kann oder aus Erfahrungswerten hergeleitet wird	Rechnung in Oktavbändern. Vorgehen nicht eindeutig festgelegt a) Anhang 2: Richtwerte für Schallpegel im Raum (wie VDI, Anhang C) b) Anhang 8: (Beispiel) Berechnung wie in VDI 2572
Diffusitätsterm $C_d$	Tabelle im Annex A. $0 \leq C_d \leq 6$ dB sowohl für frequenzabhängige als auch frequenzunabhängige Rechnung	4 dB wenn mit Mittelwerten gerechnet wird bzw. 6 dB wenn in Oktavbändern gerechnet wird	6 dB

**Tabelle 7** Vergleich der Verfahren CEN 121, VDI 2571, ÖAL 28 in Bezug auf die Schallabstrahlung der Bauteile

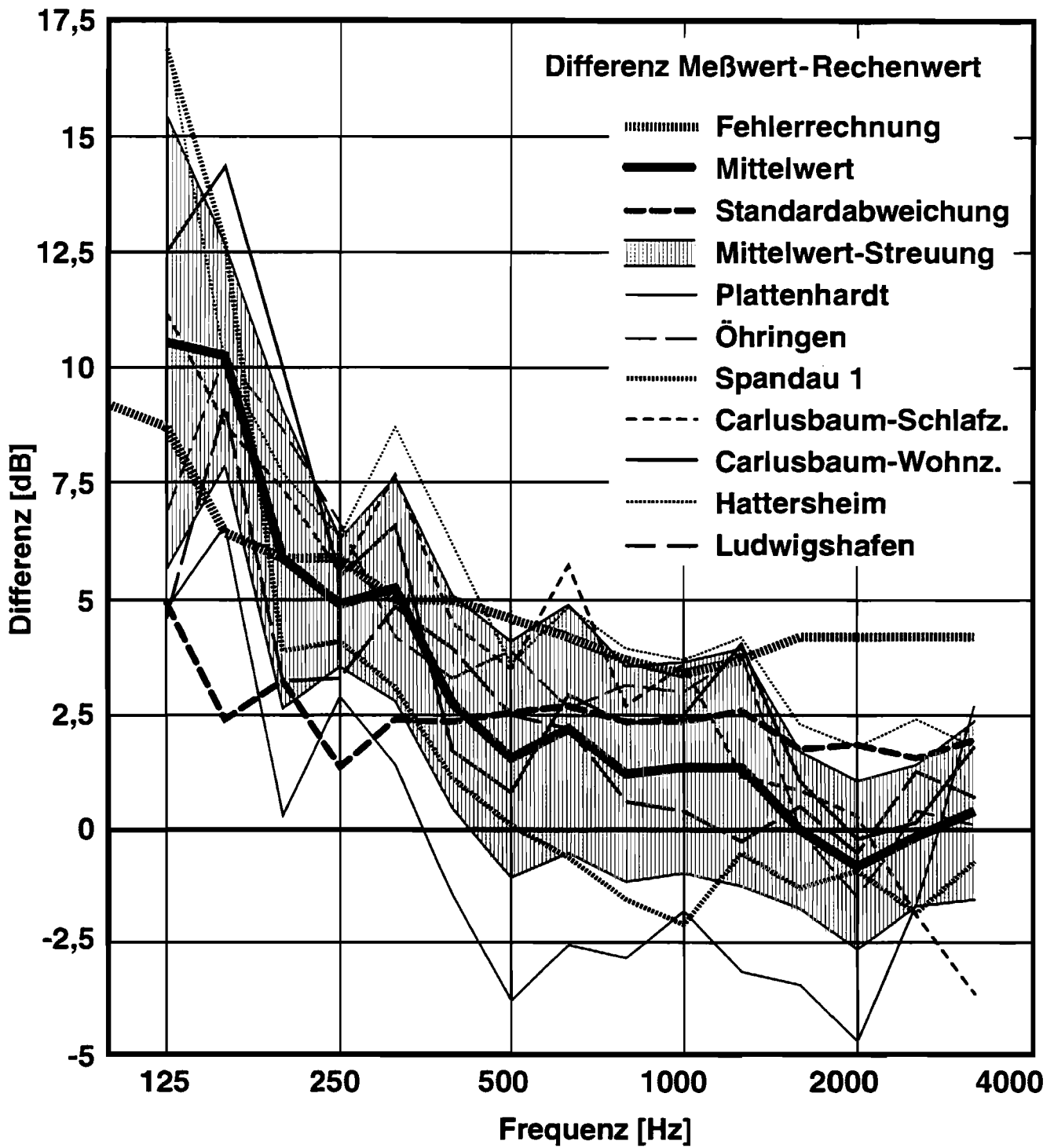
Parameter der Schallabstrahlung	CEN	VDI	ÖAL
Schalleistungspegel eines Teils der strukturellen Hülle	$L_{wd,j} = L_{p,in,j} - C_{d,j} - R_j + 10 \lg(S_j) + D_{\phi j}$ (Gl. 2)	$L_w = L_i - R' - 6 + 10 \lg \frac{S}{S_0}$ (Gl. 9a) bzw. $L_{WA} = L_i - R'_w - 4 + 10 \lg \frac{S}{S_0}$ (Gl. 9b)	$L_w(\phi) = L_p - R - 6 + 10 \lg \frac{S}{1m^2} + \Delta L_\phi$ (Gl. 4)
Schalleistungspegel einer Öffnung	$L_{wd,j} = L_{p,in,j} - C_{d,j} + 10 \lg(S_j) + D_{\phi j}$	nicht explizit geregelt; mit $R = 0$ : $L_w = L_i - 6 + 10 \lg \frac{S}{S_0}$ $L_{WA} = L_i - 4 + 10 \lg \frac{S}{S_0}$	generell $R = 0$ für alle Oktavbänder $L_w(\phi) = L_p - 6 + 10 \lg \frac{S}{1m^2} + \Delta L_\phi$
Schalleistungspegel einer Schallquelle	$L_{wd,j} = L_{w,j} + D_{\phi j}$	$L_w$	$L_w(\phi)$ (siehe Gl. 1)

**Tabelle 8** Vergleich CEN 121, VDI 2571, ÖAL 28 (Schalldruckpegel am Immissionsort)

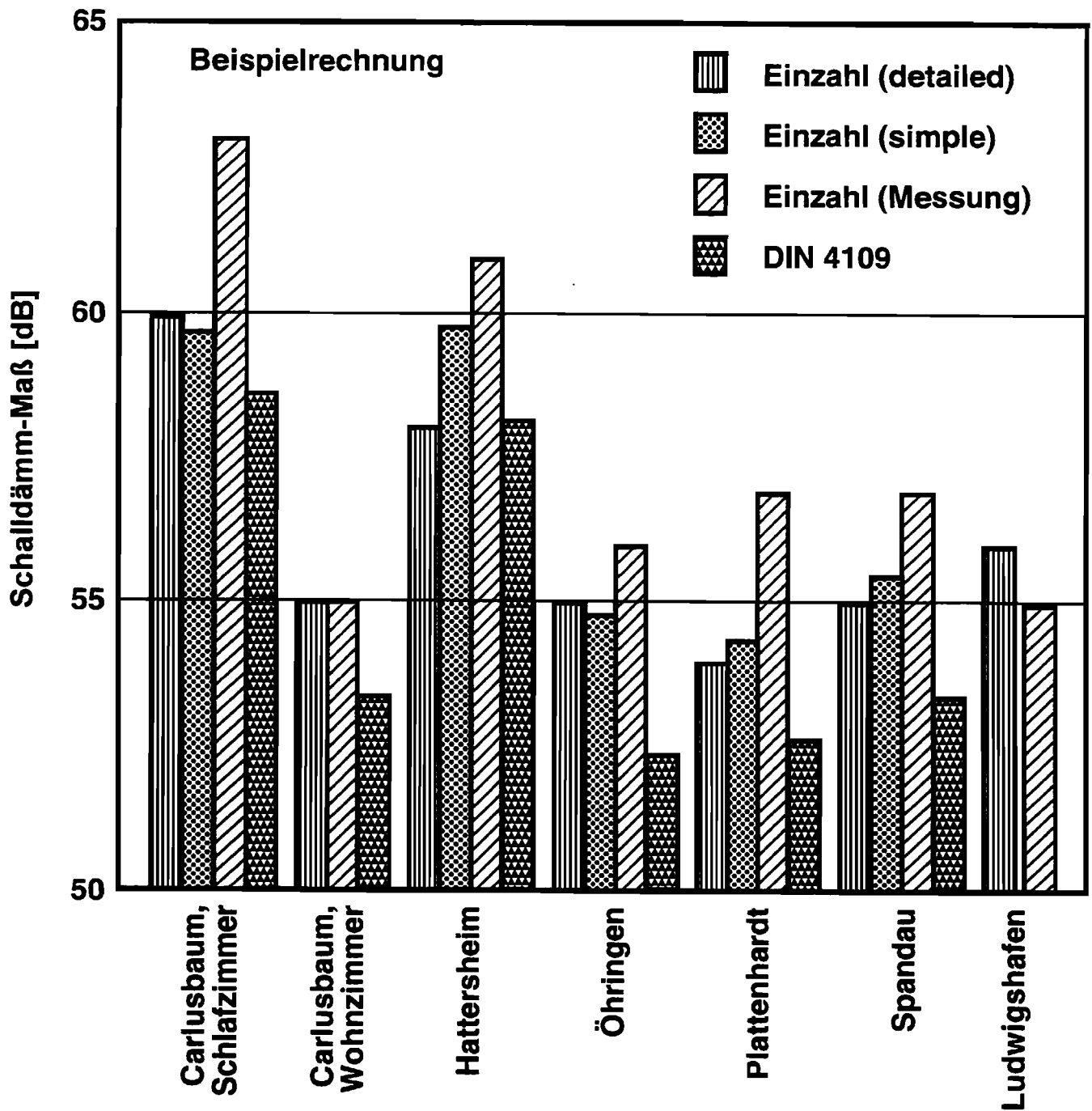
Schalldruckpegel	CEN	VDI	ÖAL
Schalldruckpegel am Immissionsort	$L_{p,d} = L_{WD,j} - A_{tot,j}$ (Gl. 1) (Leistungspegel-Ausbreitung) Zur Berechnung des $A_{tot}$ wird auf Berechnungsverfahren, z.B. ISO 9613, verwiesen.	$L_s = L_w - \Delta L_s - \Delta L_z$ Leistungspegel-Abschirmsmaß - Abschirmsmaß	$L_p = L_w + \left( \Delta L_d + \Delta L_a + \Delta L_{rx} + \Delta L_s + \Delta L_v + \Delta L_b \right)$ (Gl. 1) (Leistungspegel - geometr. Entfernung - Luftabsorption - Reflexionen - Abschirmung - Vegetationsdämpfung - Bodendämpfung). Die Ausbreitungsrechnung der ÖAL 28 ist an ISO 9613 angelehnt.

**Tabelle 9** Klassifizierung nach raumakustischen Kriterien

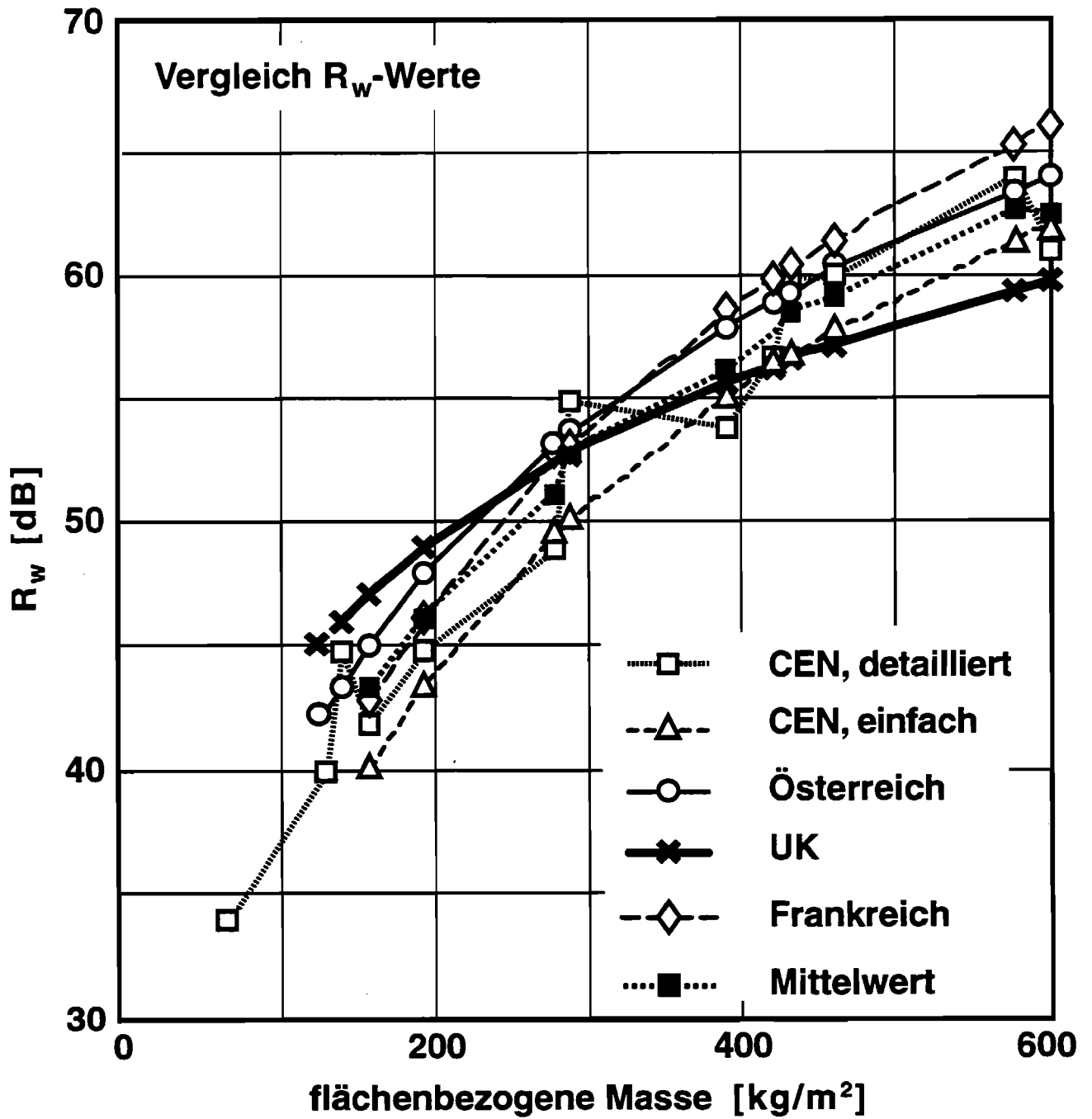
Klassifizierbarkeit	Kriterien
Bauteil- und Gebäudeparameter	Raumform (Quader oder nicht, weitgehend konvex oder nicht)
	Raumvolumen (klein oder groß)
	Raumabmessungen (Quaderabmessungen ähnlich oder verschieden)
	mittlerer Absorptionsgrad (klein oder groß)
	räumliche Verteilung der Absorptionsgrade (gleichförmig oder ungleichförmig)
	diffus (normalerweise) oder geometrisch reflektierende Oberflächen
	innere Streukörper? (kleine oder große Streuflächendichte)
	Einzahl- statt frequenzabhängige Schalleistungen oder Absorber vorgegeben
Zielgrößen	Berechnung eines mittleren Raumpegels oder der räumlichen Pegelverteilung
	Berechnung von Nachhallzeiten
	frequenzabhängige oder Einzahlwerte erwünscht



**Bild 1** Vergleich der Differenz von Meßwert und Rechenwert nach dem detaillierten Modell von CEN

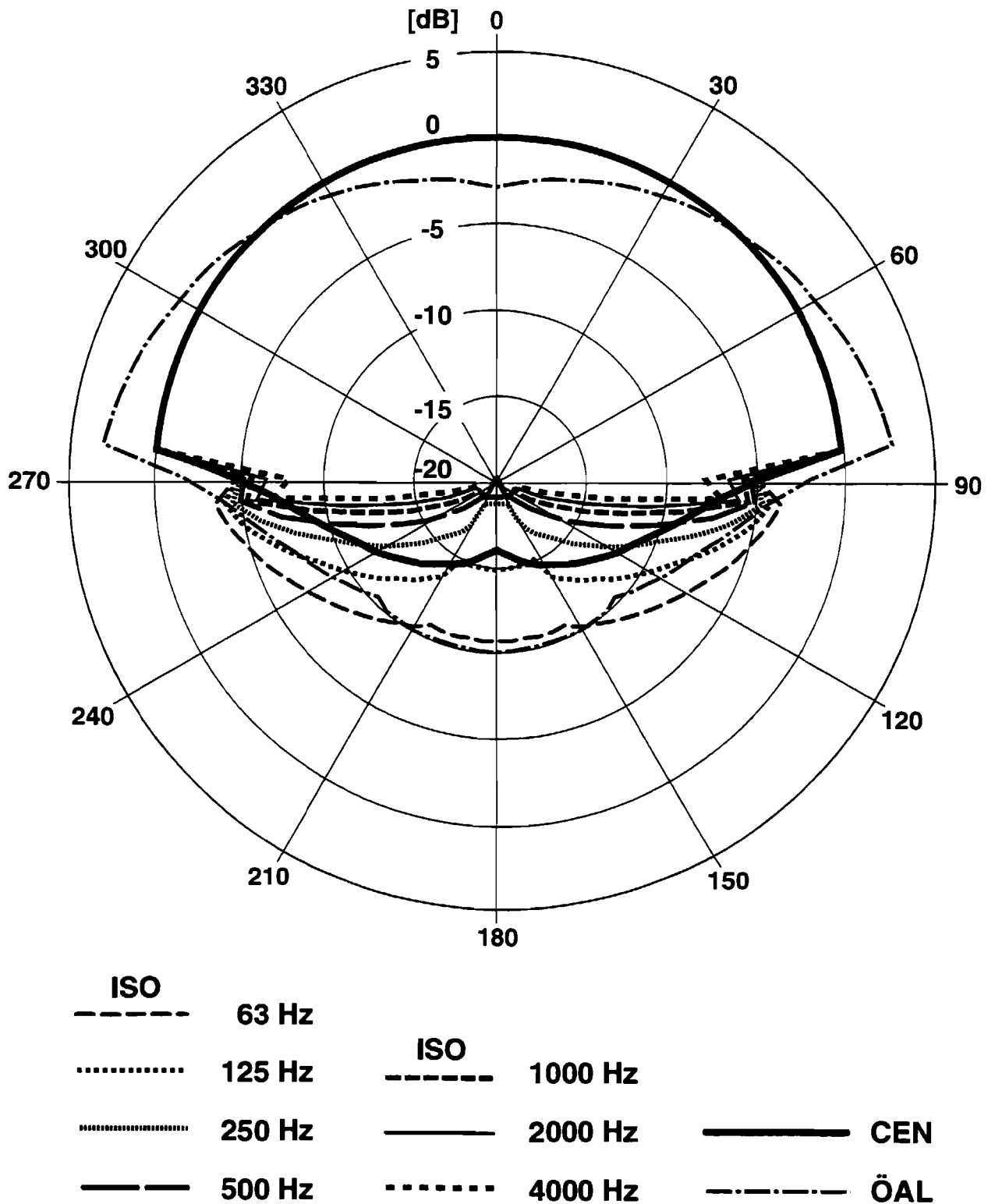


**Bild 2** Vergleich der Einzahlwerte des Schalldämm-Maßes von Messung, Berechnung nach DIN 4109 sowie dem detaillierten und vereinfachten CEN-Modell.

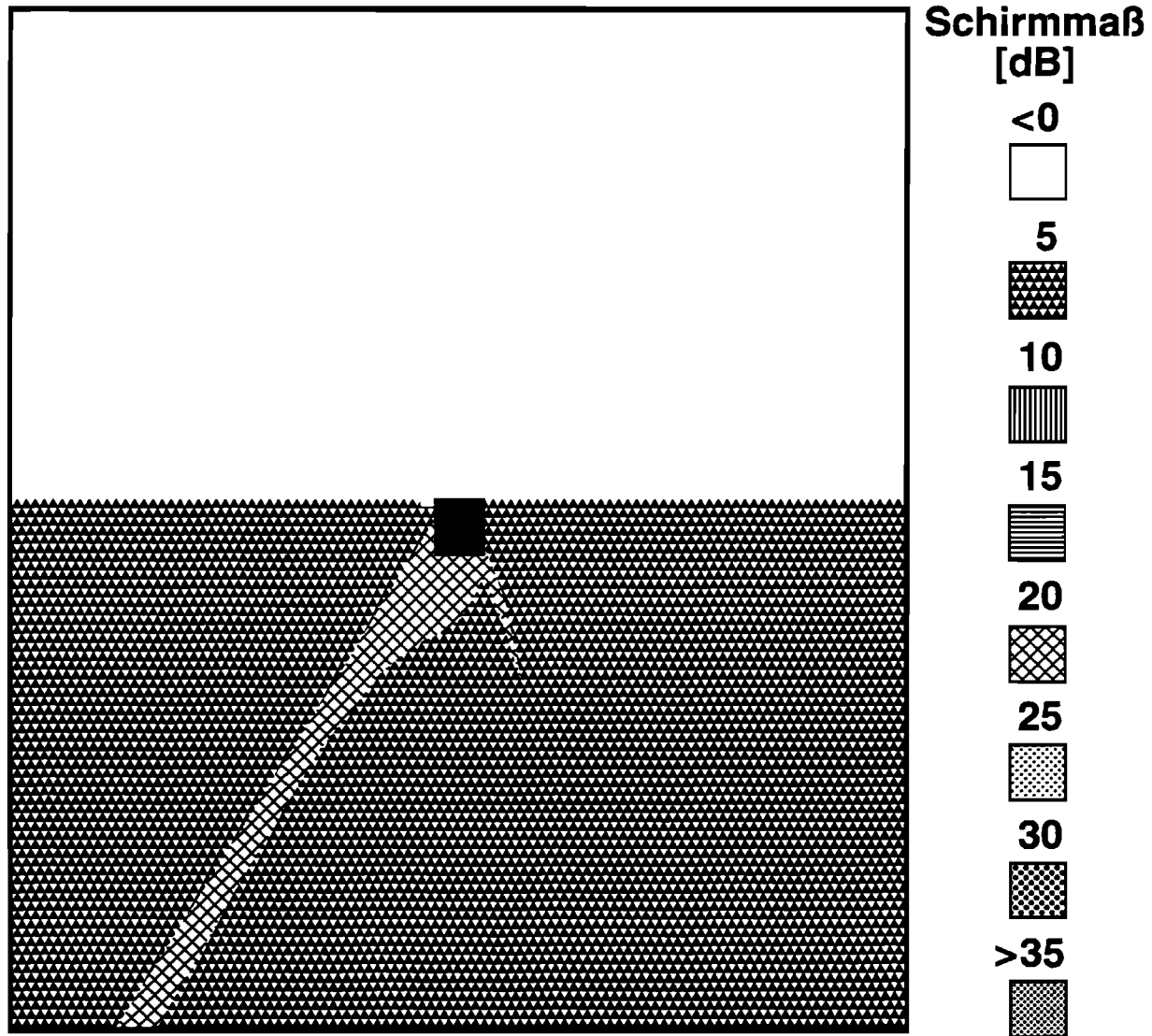


**Bild 3** Vergleich der berechneten  $R_w$ -Werte nach dem detaillierten und vereinfachten CEN-Modell sowie den in Anhang B angegebenen Rechenverfahren aus Frankreich, Großbritannien und Österreich.



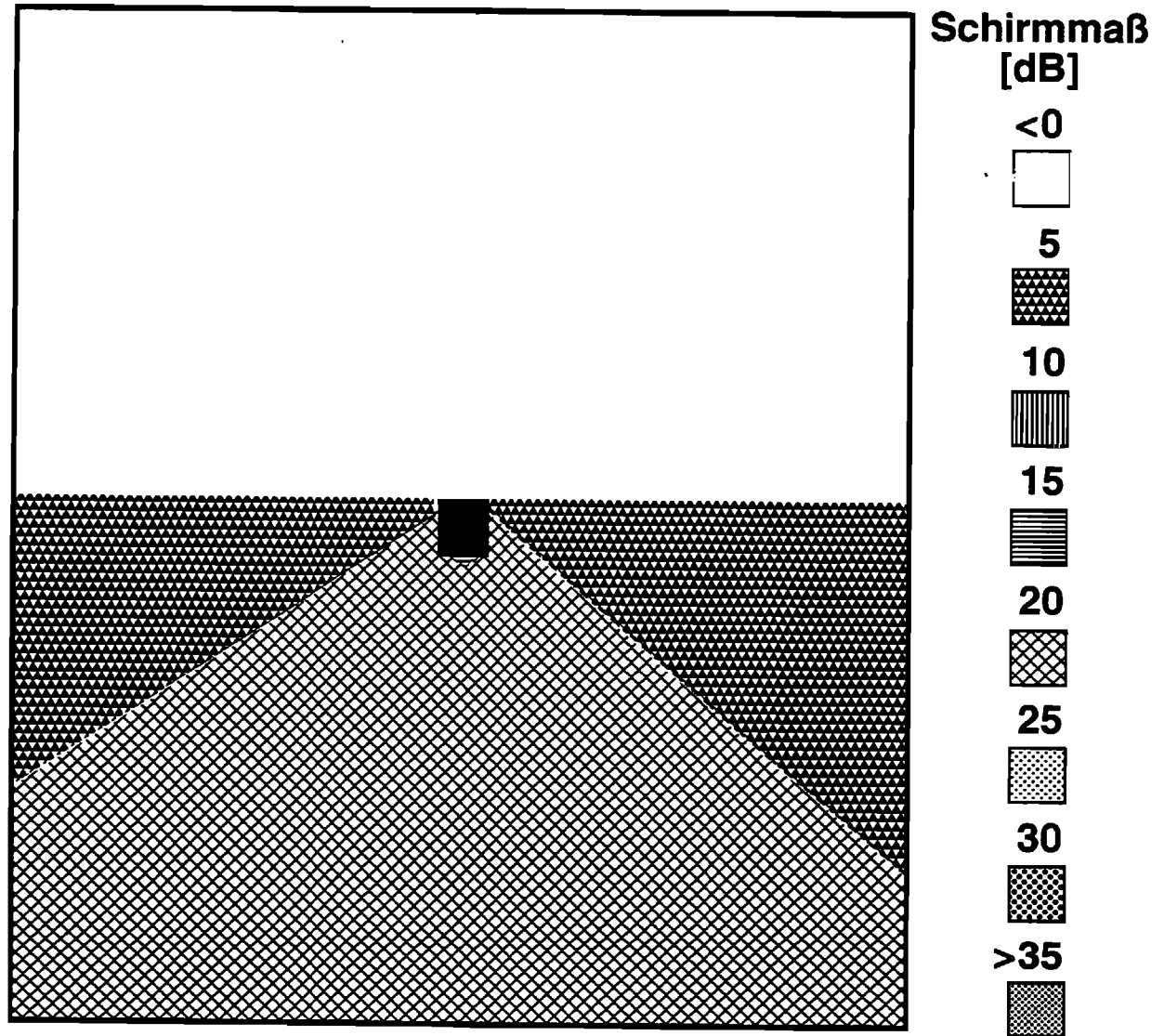


**Bild 4** Frequenzabhängige Richtcharakteristik der Selbstabschirmung eines Gebäudes nach CEN, ÖAL und ISO für ein Gebäude von 20 x 20 x 5 m<sup>3</sup>.



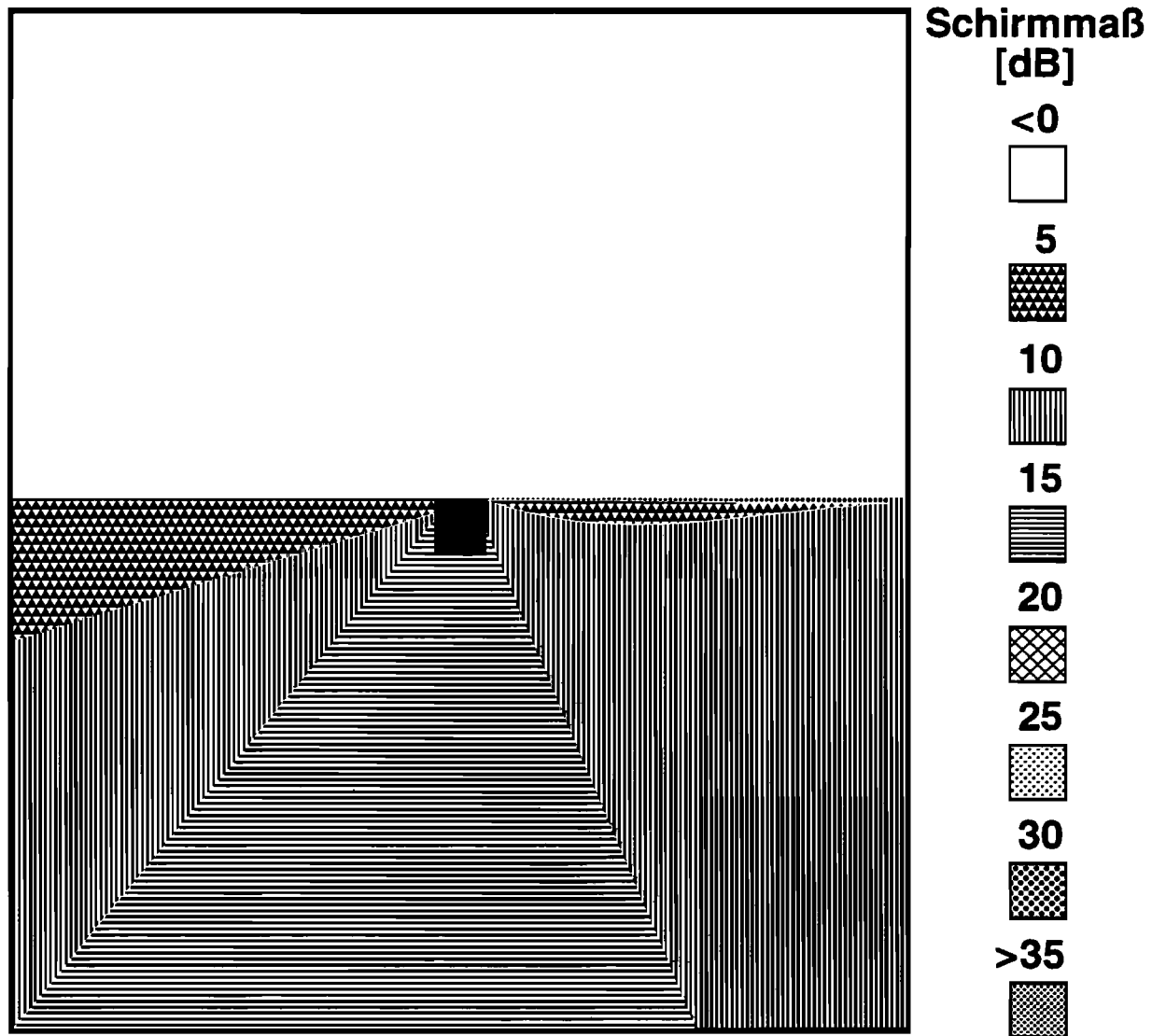
**Gebäudegröße:** (10,00 m; 10,00 m; 10,00 m)  
**Schallquelle:** (1,70 m; 5,00 m; 3,00 m)  
**Frequenz:** 63 Hz

**Bild 5** Karte der Selbstabschirmung eines Gebäudes bei 63 Hz, berechnet nach ISO.



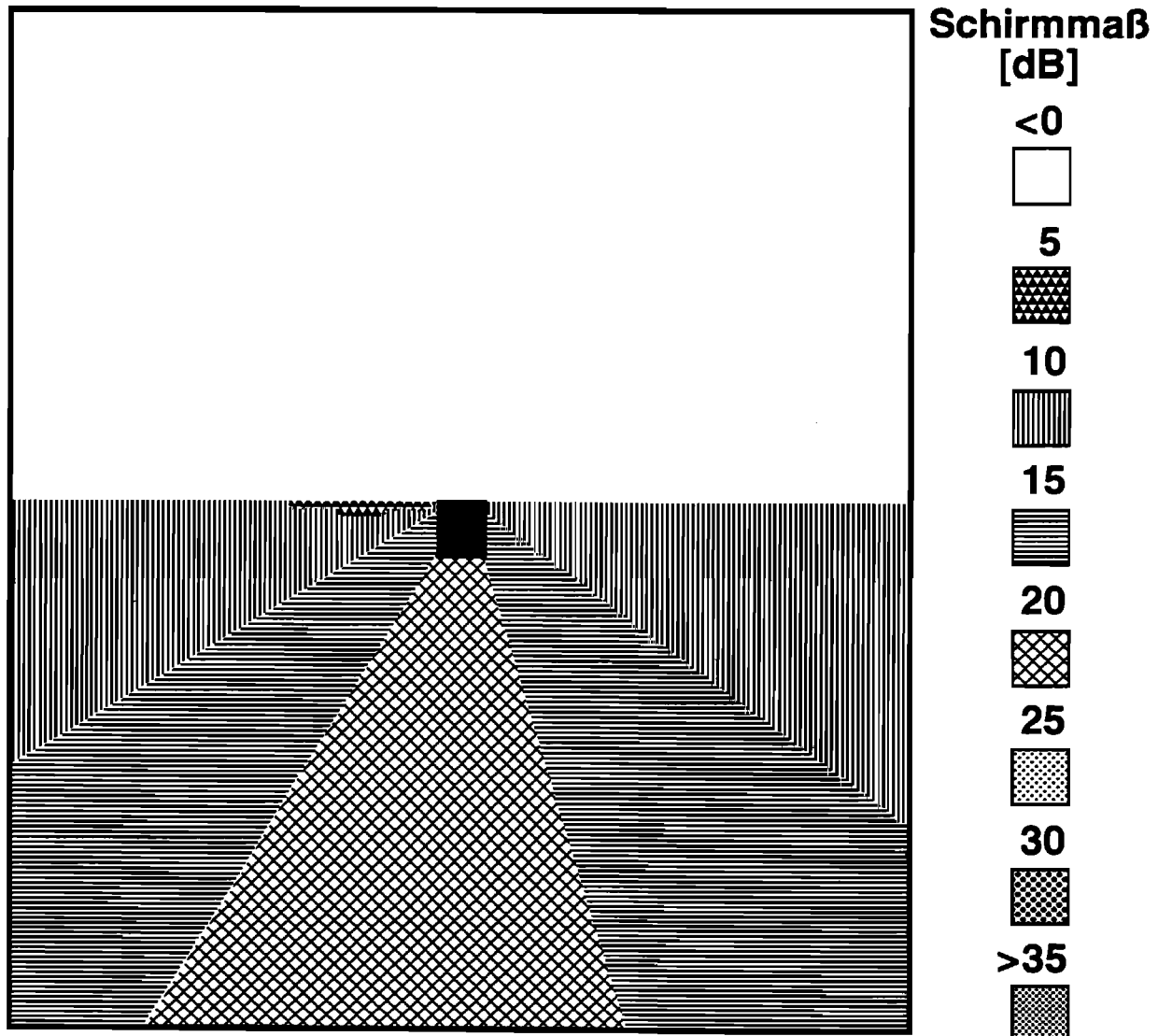
**Gebäudegröße:** (10,00 m; 10,00 m; 10,00 m)  
**Schallquelle:** (1,70 m; 5,00 m; 3,00 m)  
**Frequenz:** 125 Hz

**Bild 6** Karte der Selbstabschirmung eines Gebäudes bei 125 Hz, berechnet nach ISO.



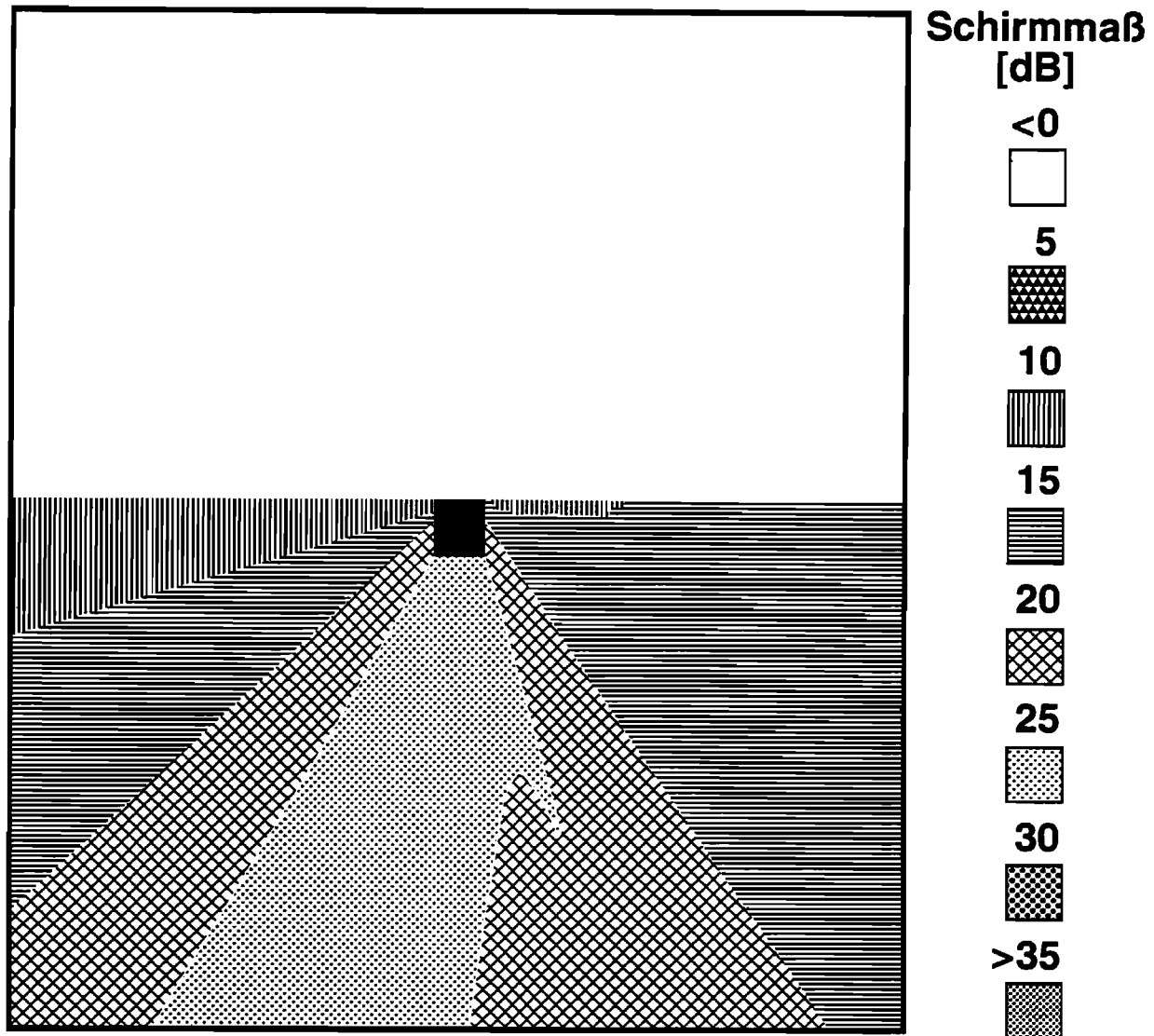
**Gebäudegröße:** (10,00m; 10,00 m; 10,00 m)  
**Schallquelle:** (1,70 m; 5,00 m; 3,00 m)  
**Frequenz:** 250 Hz

**Bild 7** Karte der Selbstabschirmung eines Gebäudes bei 250 Hz, berechnet nach ISO.



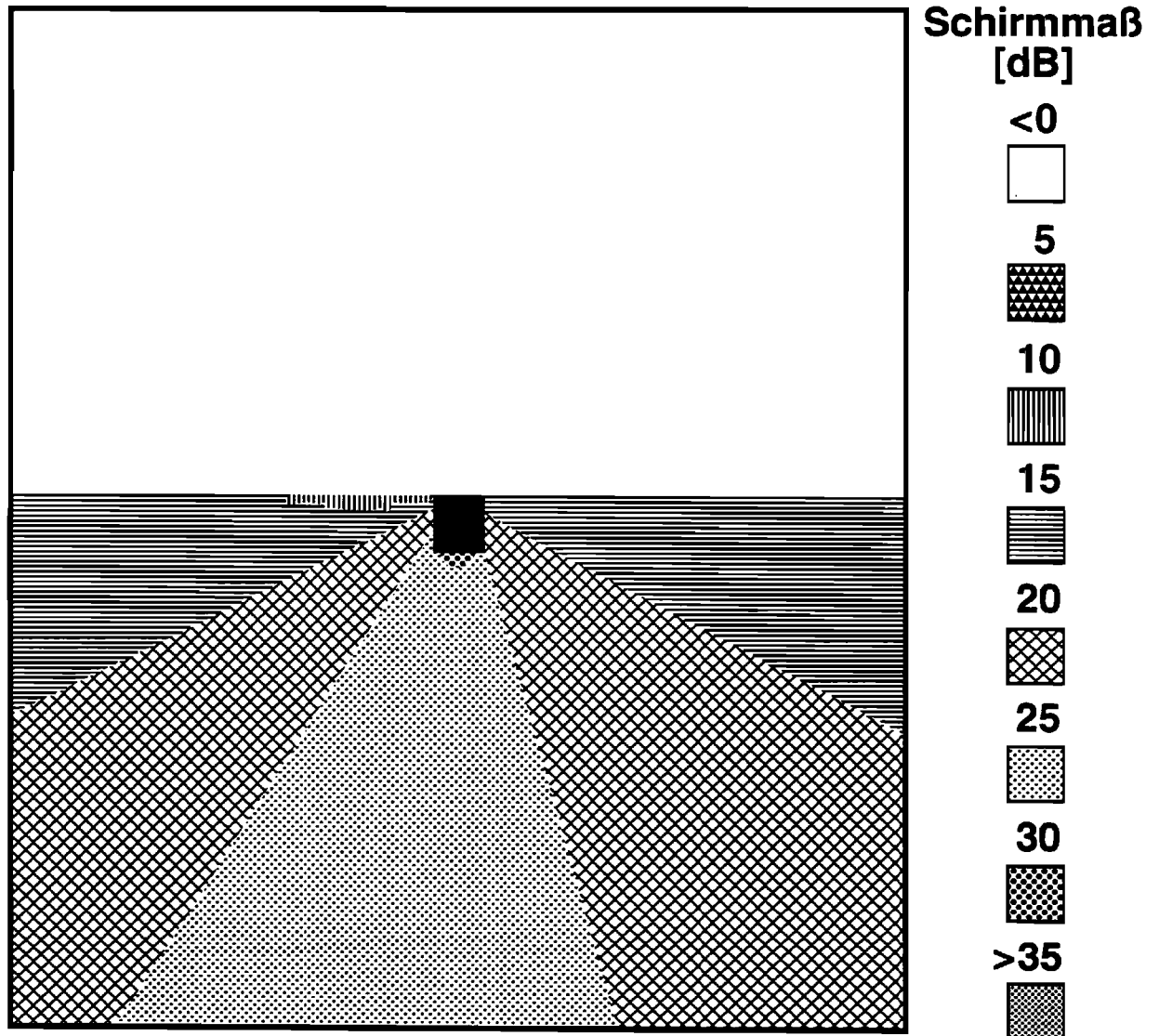
**Gebäudegröße:** (10,00m; 10,00 m; 10,00 m)  
**Schallquelle:** (1,70 m; 5,00 m; 3,00 m)  
**Frequenz:** 500 Hz

**Bild 8** Karte der Selbstabschirmung eines Gebäudes bei 500 Hz, berechnet nach ISO.



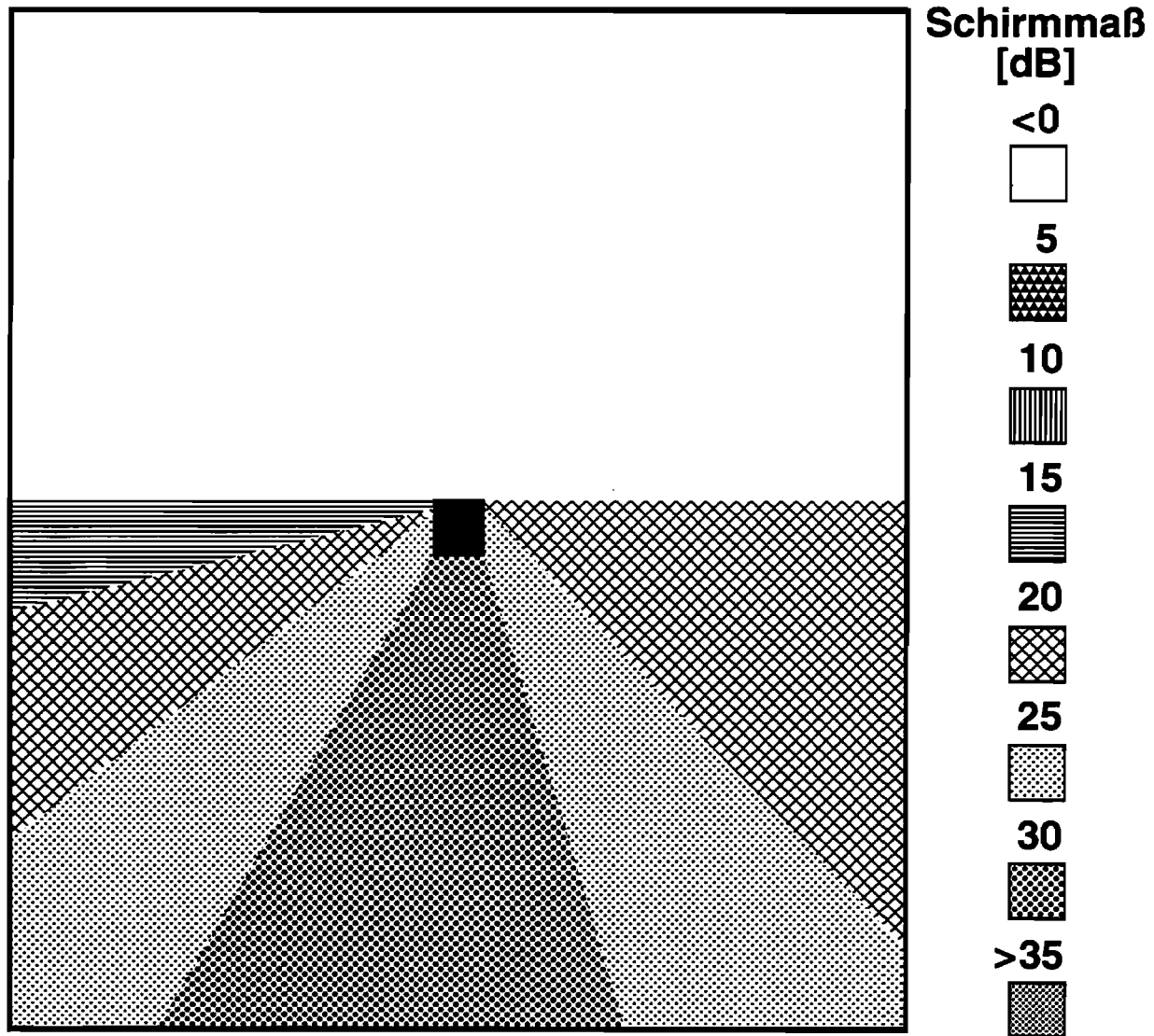
**Gebäudegröße:** (10,00 m; 10,00 m; 10,00 m)  
**Schallquelle:** (1,70 m; 5,00 m; 3,00 m)  
**Frequenz:** 1000 Hz

**Bild 9** Karte der Selbstabschirmung eines Gebäudes bei 1000 Hz, berechnet nach ISO.



**Gebäudegröße:** (10,00 m; 10,00 m; 10,00 m)  
**Schallquelle:** (1,70 m; 5,00 m; 3,00 m)  
**Frequenz:** 2000 Hz

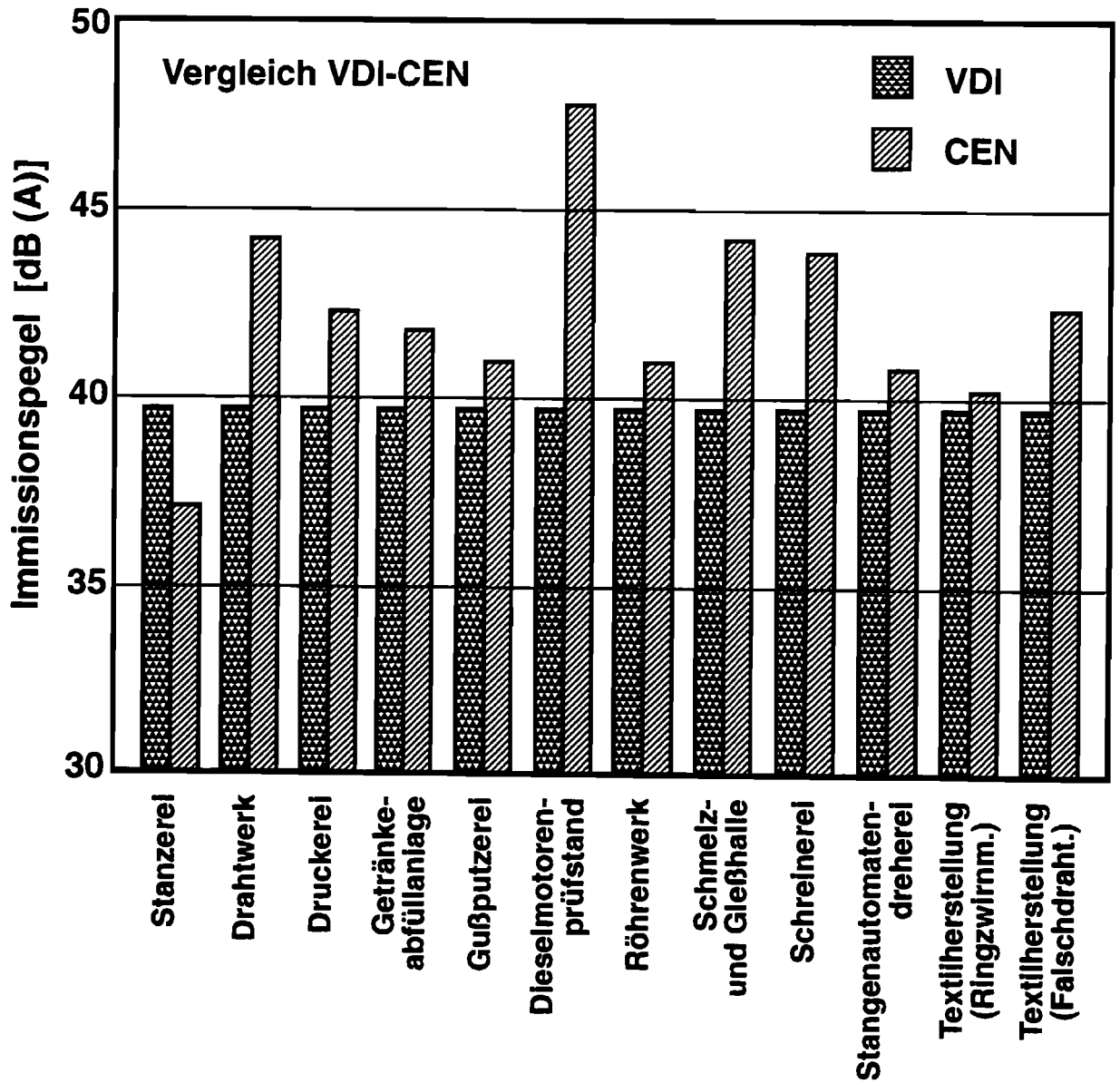
**Bild 10** Karte der Selbstabschirmung eines Gebäudes bei 2000 Hz, berechnet nach ISO.



**Gebäudegröße:** (10,00m; 10,00 m; 10,00 m)  
**Schallquelle:** (1,70 m; 5,00 m; 3,00 m)  
**Frequenz:** 4000 Hz

**Bild 11** Karte der Selbstabschirmung eines Gebäudes bei 4000 Hz, berechnet nach ISO.





**Bild 12** Vergleich der Immissionspegel verschiedener Anlagen gleichen Emissionspegels, berechnet nach CEN und VDI.

## **Anhang A**

### **Deutsche Regelwerke und die europäische Schallschutznormung - Aktueller Stand und mögliche Auswirkungen**

von

Prof. Dr. Ing. Heinz-Martin Fischer

#### **1. Einführung**

Auch im Bereich der Bauakustik ist die europäische Normung auf CEN-Ebene weit vorangeschritten, einige Normenblätter wurden bereits als DIN-EN-Normen eingeführt, andere (der größere Teil) stehen noch vor ihrer Verabschiedung und Einführung. Inwiefern die deutsche Normensituation im Bereich der Bauakustik, insbesondere die DIN 4109, hiervon betroffen sind, soll gemäß dem derzeitigen Stand der Entwicklung in diesem Beitrag erörtert werden.

Es sei schon an dieser Stelle betont, daß die Festlegung von Anforderungswerten von den auf EU-Ebene verbindlichen Vorgaben nicht tangiert wird. Die Höhe von Anforderungsniveaus bleibt damit in nationaler Hoheit, so daß unterschiedlichen nationalen Gegebenheiten Rechnung getragen werden kann. Insofern kann schon vorab festgehalten werden, daß die im Kontext mit Beiblatt 2 zu DIN 4109 und VDI 4100 geführte Diskussion um die Einführung bzw. Festlegung von Schallschutzniveaus durch europäische Vorgaben nicht direkt berührt wird. Es wäre aber falsch, daraus ableiten zu wollen, daß damit - im europäischen Umfeld betrachtet - "die Welt für die DIN 4109 in Ordnung wäre". So wurde beispielsweise im Auftrag des NA-Bau-Ausschusses zu DIN 4109 vom Normenausschuß NMP 231 (Schalldämmung und Schallabsorption; Messung und Bewertung) ein neues

Beiblatt 3 zu DIN 4109 erarbeitet, das kurz vor seiner Veröffentlichung steht und voraussichtlich im kommenden Jahr baurechtlich eingeführt werden soll. Dieses neue Beiblatt trägt dem Umstand Rechnung, daß ein Prüfstand mit "bauähnlicher" Flankenübertragung, wie er von DIN 4109 für den Eignungsnachweis von Bauteilen im Massivbau vorausgesetzt wird, auf europäischer Ebene zukünftig nicht mehr zur Verfügung steht. Des weiteren wurde bereits im vergangenen Jahr innerhalb des NA-Bau- Ausschusses zu DIN 4109 ein Unterausschuß (Obmann H.-M. Fischer) gegründet, dessen Aufgabe in einer Anpassung des Beiblatts 1 zu DIN 4109 an die zukünftigen europäischen Regelungen besteht. Es wird damit deutlich, daß die DIN 4109 in ihrer derzeitigen Gestalt im europäischen Umfeld nicht als "konsolidiert" dasteht. Der Grund liegt in der spezifischen Eigenart der DIN 4109, neben den *Anforderungswerten* auch *Nachweisverfahren* und *Ausführungsbeispiele* zu nennen. Rechenverfahren, wie sie zur Zeit auf europäischer Ebene für die bauakustische Prognose erarbeitet werden, und Prüf- und Bewertungsverfahren, wie sie (größtenteils) bereits erarbeitet wurden, lassen deshalb Rückwirkungen auf die baurechtlich relevanten Teile der DIN 4109 erkennen. Dies wird noch dadurch verstärkt, daß die DIN 4109 zahlreiche Querverbindungen zu Prüfverfahren enthält, die zur Zeit mehrheitlich in der DIN 52 210 enthalten sind und damit dem direkten europäischen Einfluß unterliegen. Es kann deshalb schon jetzt mit Sicherheit festgehalten werden, daß für die DIN 4109 eine Anpassung an die europäischen Gegebenheiten erforderlich ist.

## **2. Derzeitiger Stand der europäischen Normung**

Mit Hinblick auf den gemeinsamen Europäischen Binnenmarkt wurden auch für den Bausektor Voraussetzungen geschaffen, die in der sogenannten Bauproduktenrichtlinie des Jahres 1988 niedergelegt wurden [1]. Danach sind harmonisierte Normen für Bauprodukte in all denjenigen Bereichen, die sogenannte "wesentliche Anforderungen" an Bauwerke enthalten, zu

erstellen. Hierzu gehört auch der bauliche Schallschutz. Im "Grundlagendokument Schallschutz" [2] werden die den baulichen Schallschutz betreffenden Anforderungen konkretisiert. Es bildet u.a. die Grundlage für die Mandate an die Europäische Normungskommission CEN zur Erarbeitung harmonisierter Normen. Im vorliegenden Zusammenhang ist nochmals zu betonen, daß die Grundlagendokumente nicht das Anforderungsniveau an Bauwerke regeln. Wenn auch die Normungsvorhaben im Bereich des baulichen Schallschutzes bis zum heutigen Tag nicht endgültig mandatiert wurden, wurde in der Zwischenzeit intensiv an der Erstellung harmonisierter Normen gearbeitet. Obwohl noch nicht alle Normungsvorhaben abgeschlossen sind, lassen sich bereits die wesentlichen Änderungen und die möglichen bzw. sicheren Auswirkungen auf die deutsche Normensituation erkennen. Auf die wichtigsten sei im folgenden eingegangen.

## **2.1 Änderungen bei Meß- und Prüfverfahren**

Folgende Änderungen sind bei den Meß- und Prüfverfahren zu erwarten:

- Die meßtechnische Ermittlung von Kennwerten für luft- und trittschalldämmende Bauteile erfolgt ausschließlich in Wand- und Deckenprüfständen ohne Flankenübertragung (zukünftig nur noch  $R$  statt  $R'$ ,  $L_n$  statt  $L'_n$  als Meßgrößen im Labor).
- Die Prüfung der Luft- und Trittschalldämmung wird auf den Frequenzbereich 100...5000 Hz ausgedehnt (bislang: 100...3150 Hz). Zusätzlich kann dieser verbindliche Frequenzbereich ergänzend zu tiefen Frequenzen hin erweitert werden (Terzen 50, 60 und 80 Hz).
- Zur Charakterisierung der Einbausituation wird bei der Laborprüfung an schweren Bauteilen über die Körperschallnachhallzeiten des Prüfobjektes der Gesamtverlustfaktor bestimmt (bislang vorerst noch nicht verbindlich). Ein minimaler Verlustfaktor der Prüfanordnung soll nicht unterschritten werden.

- Die Kennwertermittlung für Gebäude kann alternativ in Oktav- oder Terzbändern erfolgen.
- Bei Messungen in Gebäuden kann bei der Luftschalldämmung als Kenngröße außer  $R'$  auch  $D_{nT}$  und bei der Trittschalldämmung außer  $L'_n$  auch  $L'_{nT}$  ermittelt werden.
- Ergänzend zu den Präzisionsprüfverfahren ("engineering methods") stehen für Messungen in Gebäuden demnächst auch Kurzprüfverfahren ("survey methods") zur Verfügung. Entwürfe liegen vor für Luft- und Trittschalldämmung in Gebäuden, Luftschalldämmung von Außenbauteilen und Geräusche haustechnischer Anlagen.
- Zur meßtechnischen Charakterisierung der Schallängsdämmung wird z.Zt. ein völlig neues Normenkonzept mit neuen Prüfständen, Prüfverfahren und Kenngrößen erarbeitet. Als wichtigste Kenngröße fungiert das Stoßstellendämm-Maß  $K_{ij}$ , das auch bei den neuen Rechenverfahren (siehe Abschnitt 2.3) eine wichtige Rolle spielt.

## 2.2 Änderungen bei Bewertungsverfahren

Bei der Ermittlung von Einzulangaben treten folgende Änderungen auf:

- Bauteile werden (wie bislang bereits bei ISO) nur durch  $R_w$  und  $L_{n,w}$  gekennzeichnet.  $R'_w$  und  $L'_{n,w}$  gibt es nur noch bei Gebäuden.
- Der Schallschutz in Gebäuden kann außer durch  $R'_w$  und  $L'_{n,w}$  auch mit anderen Einzulangaben ( $D_{nT,w}$ ,  $L'_{nT,w}$ ) gekennzeichnet werden.
- Durch zusätzliche sogenannte "Spektrum-Anpassungswerte" können bei der Ermittlung von Einzulangaben verschiedene Schallpegelspektren unterschiedlicher Lärmquellen berücksichtigt werden. Bei der Kenn-

zeichnung der Luftschalldämmung von Bauteilen sind neben  $R_w$  obligatorisch die Spektrum-Anpassungswerte  $C$  (für eine Anregung mit A-bewertetem rosa Rauschen) und  $C_{tr}$  (für eine Anregung mit A-bewertetem städtischen Straßenverkehrslärm) anzugeben. Bei der Bewertung der Trittschalldämmung kann zusätzlich ein Anpassungswert  $C_l$  ermittelt werden, der die tatsächliche Anregung von Decken durch Gehen besser berücksichtigt. Die Angabe von  $C_l$  ist allerdings nicht verbindlich.

### 2.3 Änderungen bei Berechnungsverfahren

Für die Prognose des Schallschutzes in Gebäuden werden bei CEN/TC 126/WG2 Rechenverfahren erarbeitet, die gemäß Grundlagendokument "Schallschutz" folgende Teile abzudecken haben:

- Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen,
- Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen,
- Teil 3: Luftschalldämmung gegen Außenlärm,
- Teil 4: Schallübertragung nach außen,
- Teil 5: Schallpegel von haustechnischen Anlagen und Installationen in Räumen,
- Teil 6: Nachhallzeiten in Räumen.

Die Arbeiten an den Teilen 1 bis 3 sind weitgehend abgeschlossen, Teil 4 befindet sich in Arbeit und die Teile 5 und 6 sind in Vorbereitung. Die Rechenverfahren folgen im wesentlichen den physikalisch nachvollziehbaren Gegebenheiten (Berücksichtigung aller Übertragungswege unter Einbeziehung des Stoßstellenverhaltens) und verwenden als Eingangsdaten diejenigen Kenngrößen, die auch in den Bauteilprüfungen nach harmonisierten Prüfverfahren ermittelt werden [3]. In sogenannten "Detailed models" wird die Rechnung frequenzabhängig durchgeführt. Benötigt werden deshalb auch frequenzabhängige Eingangsdaten. Zusätzlich zu diesen frequenzabhängigen Berechnungen gibt es alternativ (bislang nur für die Berechnung der Luftschall- und Trittschallübertragung) sogenannte "Simplified models", in

denen die Berechnung auf Einzahlangaben basiert. *Vorhaltemaße* im Sinne der DIN 4109, wonach die im Prüfstand ermittelten Kennwerte abgemindert werden, gibt es in den europäischen Rechenverfahren nicht. Bauteilsammlungen, die wie in Beiblatt 1 zu DIN 4109 eine umfangreiche Zusammenstellung von Ausführungsbeispielen beinhalten, sind in diesen Rechenverfahren nicht vorgesehen. Jedoch enthalten sogenannte "informative Anhänge" eine Anzahl von Beispielen, die aber nicht den Anspruch auf repräsentative Darstellung erheben wollen und können. Ein "Europäischer Bauteilkatalog" ist somit nicht verfügbar.

### **3. Auswirkungen auf die deutsche Normensituation im baulichen Schallschutz**

Bei der Einführung europäischer Normen sind nationale Normen desselben Anwendungsbereichs zurückzuziehen. Im Bereich des baulichen Schallschutzes betrifft dies insbesondere die DIN 52 210. Da die DIN 52 210 und die DIN 4109 wechselseitig vielfach aufeinander Bezug nehmen, greift das Zurückziehen der DIN 52 210 direkt in die DIN 4109 ein. Die Folgen im einzelnen werden zur Zeit im Unterausschuß des NABau (Überarbeitung Beiblatt 1 zu DIN 4109) analysiert. Da Kennwerte für luft- und trittschalldämmende Bauteile in Zukunft nur noch in Prüfständen ohne "bauähnliche" Flankenübertragung ermittelt werden, entfallen die bisherigen Bauteilkennwerte  $R'$  ( $R'_w$ ) und  $L'_n$  ( $L'_{n,w}$ ).  $R'_w$  und  $L'_{n,w}$ -Werte werden dann nur noch zur Kennzeichnung des Schallschutzes in Gebäuden verwendet. Damit wird eine klare Unterscheidung getroffen zwischen Bauteilkennwerten und Werten zur Kennzeichnung des Schallschutzes in Gebäuden. Da künftig keine Meßgröße für Bauteile existiert, die den Schallschutz zwischen Räumen durch "Mit-hineinmessen" der flankierenden Übertragung zu beschreiben sucht, ist der Schallschutz im Planungsstadium nur noch durch Berechnung zu ermitteln. Durch den Wegfall der  $R'_w$ - und  $L'_{n,w}$ -Kennzeichnung für Bauteile ergeben sich aus deutscher Sicht zwei Probleme:

1. "Alte" Prüfzeugnisse auf der Basis von  $R'_W$  und  $L'_{n,W}$  sind mit Hinblick auf europäische, harmonisierte Prüfverfahren und Einzahlangaben für Bauteile nicht mehr konform.
2. Neue Prüfergebnisse auf der Basis europäischer, harmonisierter Prüfverfahren mit  $R_W$  - oder  $L_{n,W}$ -Werten als Einzahlangaben sind für den Nachweis nach DIN 4109 nicht verwendbar (dies gilt so zumindest für die Nachweise im Massivbau).

Um für eine Übergangszeit Handlungsfähigkeit in diesem Dilemma herzustellen, wurde im Fraunhofer-Institut für Bauphysik ein Verfahren verifiziert, das die Umrechnung von  $R'_W$  in  $R_W$  und umgekehrt erlaubt [4]. Dieses Umrechnungsverfahren fand Eingang in einen Anhang zum CEN-Rechenverfahren für Luftschallübertragung und bildet die Grundlage des bereits erwähnten neuen Beiblatts 3 zur DIN 4109. Für Bauteilhersteller entfällt damit der Zwang, ihre Produkte gleich zweifach prüfen zu lassen: in Prüfständen mit "bauähnlicher" Flankenübertragung, um den für den deutschen Nachweis nach DIN 4109 erforderlichen  $R'_W$ - bzw.  $L'_{n,W}$ -Wert zu erhalten, und in Prüfständen mit unterdrückter Flankenübertragung, um gemäß neuer EN-Normen  $R_W$ - bzw.  $L_{n,W}$ -Werte zu ermitteln. Kurzfristiges Ziel sollte die alleinige Prüfung gemäß neuer europäischer Prüfverfahren sein. Deshalb sollte das neue Beiblatt 3 zu DIN 4109 schnellstmöglich auch baurechtlich eingeführt werden, um den betroffenen Kreisen schon vor der offiziellen Zurückziehung des "deutschen" Prüfstands mit "bauähnlicher" Flankenübertragung (voraussichtlich 1996) die Möglichkeit zur europakonformen Prüfung zu geben, ohne dabei die Nachweisfähigkeit im deutschen Nachweisverfahren nach DIN 4109 zu verlieren.



#### 4. Mittelfristiger Handlungsbedarf

Mittelfristig kann die durch das Beiblatt 3 zu DIN 4109 gegebene Möglichkeit nur als Übergangslösung betrachtet werden, die im europäischen Umfeld auf lange Sicht keine tragfähige Basis darstellt. Selbst wenn die europäischen Rechenverfahren nicht verbindlich eingeführt würden, wäre es schwer vorstellbar, daß der real nicht mehr existierende deutsche Prüfstand mit "bauähnlicher" Flankenübertragung quasi auf rechnerischem Wege (Umrechnung von  $R_w$  in  $R'_w$ ) auf Dauer am Leben erhalten bliebe. Die Konsequenz kann hier letztlich nur die Umstellung auf solche Rechenverfahren sein, die als Eingangsgrößen auf europäisch harmonisierte Prüfgrößen zurückgreifen. Mit letzter Sicherheit kann zur Zeit noch nicht angegeben werden, mit welcher Verbindlichkeit die in CEN/TC 126/WG2 erarbeiteten Rechenverfahren eingeführt werden. Nach dem jetzigen Stand der Dinge (siehe "Scope" aller WG2-Papiere) sind die bei WG2 erarbeiteten Dokumente als Rahmendokumente ("framework paper") deklariert, die an nationale Gegebenheiten angepaßt werden können. Falls dies tatsächlich der Fall ist, besteht die Möglichkeit zur Erarbeitung einer "nationalen Handlungsanleitung", die die Grundsätze der harmonisierten Rechenverfahren unter den spezifischen nationalen Bedingungen der Bauverhältnisse, der Normensituation und des Baurechts anwendbar macht. Im einzelnen ergäben sich folgende Konsequenzen:

- Generell entfällt der "Nachweis der Eignung der Bauteile", wie er derzeit im Wortlaut der DIN 4109 benannt wird. Er ist dem wirklichen Sinn entsprechend zu ersetzen durch einen "Nachweis des Schallschutzes in Gebäuden". Zu überdenken ist in diesem Zusammenhang der Begriff der „Eignungsprüfung“ für Bauteile.
- Alle Berechnungsverfahren beziehen sich auf Kennwerte aus europäisch harmonisierten Prüfverfahren.

- Deshalb sind die Berechnungsverfahren zur Luft- und Trittschalldämmung in Massivbauten durch CEN-konforme Berechnungsmethoden zu ersetzen.
- Die Berechnungsverfahren zur Luft- und Trittschalldämmung in Skelett- und Holzbauten können vermutlich beibehalten werden, da sie im grundsätzlichen Ansatz der CEN-Methodik entsprechen.
- Alle Rechenverfahren sind hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit auf deutsche Bauverhältnisse zu verifizieren. Die Übertragbarkeit auf die hiesige Bau-situation muß sichergestellt sein. Festlegungen sind zu treffen, ob die "detailed models" (d.h. frequenzabhängige Berechnungen) oder "simplified models" (d.h. Rechnung mit Einzulangaben) zugrunde gelegt werden. Insgesamt besteht noch erheblicher Forschungsbedarf, der allerdings nicht als eine "von Europa aufgezwungene Verpflichtung" fehlgedeutet werden darf, sondern als spezifisch deutscher Nachholbedarf verstanden werden muß (in den meisten anderen Ländern ist der Anpassungsdruck wesentlich geringer). Vom BMBau und DIBT bereits zur Verfügung gestellte und weitere, in Aussicht gestellte Mittel haben erste Schritte zur Bearbeitung der dringendsten Fragen ermöglicht.
- Bauteilsammlungen im Sinne der Ausführungsbeispiele im Beiblatt 1 zu DIN 4109 haben sich in der deutschen Baupraxis bewährt und sollten grundsätzlich auch zukünftig verfügbar sein. Rechenverfahren sind nur in dem Maße praxistauglich, wie die dafür benötigten Eingangsdaten zur Verfügung stehen. Da (wenigstens zum jetzigen Zeitpunkt) keine repräsentative und "autorisierte" europäische Bauteilsammlung zu erwarten ist, muß aufbauend auf der derzeitigen Sammlung in Beiblatt 1 zu DIN 4109 ein überarbeiteter "nationaler" Bauteilkatalog erstellt werden. Überarbeitungsbedarf besteht in dreierlei Hinsicht:
  1. Anpassung an harmonisierte Normen (nur noch  $R_w$ - und  $L_{n,w}$ -Werte); betroffen sind hiervon die Ausführungsbeispiele für den Massivbau.

2. Ergänzung durch zusätzliche Kenngrößen (insbesondere Angaben zu Stoßstellenverhalten und zur Schallängsdämmung).
  3. Aktualisierung der vorhandenen Ausführungsbeispiele (in Teilbereichen spiegelt die derzeitige Sammlung nicht mehr den Stand des aktuellen Baugeschehens wider).
- In Übereinstimmung mit der europäischen Praxis kann ein nach harmonisierten Prüfverfahren ermittelter Bauteilkennwert nicht durch ein Vorhaltemaß abgemindert werden. Vorhaltemaße sind nicht Gegenstand der Bauteilkennzeichnung sondern der Nachweise und sollten ggf. durch "Sicherheitsabschläge" im Rechenverfahren selbst berücksichtigt werden.

## 5. Mögliche Optionen

Über den zuvor genannten Handlungsbedarf hinaus sollte nicht vergessen werden, daß der im Grundlegendokument "Schallschutz" vorgegebene Rahmen auch zusätzlichen Spielraum und Entwicklungsmöglichkeiten bietet. Der Vollständigkeit halber soll auf die wichtigsten Optionen stichpunktartig eingegangen werden:

- Die Kennzeichnung des Schallschutzes in Gebäuden kann außer durch  $R'_w$  bzw.  $L'_{n,w}$  auch durch nachhallzeitbezogene Größen ( $D_{nT,w}$ ,  $L'_{nT,w}$ ) erfolgen. Die grundsätzlichen Vorteile sind bekannt. Die harmonisierten Rechenverfahren sind bezüglich der Zielgröße nicht festgelegt, sind also ohne weiteren Regelungs- oder Umstellungsbedarf in der Lage, alternativ  $R'_w/L'_{n,w}$ -Werte oder  $D_{nT,w}/L'_{nT,w}$ -Werte zu bestimmen. Eine derartige Flexibilität besteht bei den derzeitigen Nachweisverfahren der DIN 4109 nicht. Weiterentwicklungsmöglichkeiten sind ausgeschlossen.

- Die obligatorische Ermittlung der Spektrum-Anpassungswerte gestattet insbesondere bei Außenbauteilen eine praxisnähere Beurteilung.
- Kurzprüfverfahren oder Messungen in Oktavbandbreite, wie sie zur Überprüfung des Schallschutzes in Gebäuden in vielen EU-Ländern akzeptiert sind, stehen auf der Grundlage harmonisierter Normen demnächst zur Verfügung.
- Die in CEN/TC126/WG2 erarbeiteten Rechenverfahren decken auch solche Bereiche ab, die bislang in der DIN 4109 nicht berücksichtigt wurden (siehe hierzu Abschnitt 2.3). Von Interesse ist insbesondere Teil 5 (Schallpegel haustechnischer Anlagen), zu denen es bislang auf nationaler und internationaler Ebene kein Pendant gibt.

## **6. Zusammenfassung**

Die europäische Normung greift in die derzeitige deutsche Normungspraxis im baulichen Schallschutz ein. Zwar sind die Anforderungswerte davon ausdrücklich nicht betroffen, doch berühren insbesondere harmonisierte Prüfverfahren und Rechenmethoden Konzept und Inhalt der DIN 4109 und deren Beiblatt 1. Dabei sollte jedoch der aufgezeigte Handlungsbedarf keinesfalls nur als Zwang zur Anpassung interpretiert werden. Vielmehr sollte bewußt werden, daß hiermit auch Chancen zu konstruktiven Änderungen bestehen, die mit Blick auf die Zukunft genutzt werden sollten.

## 7. Literatur

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Gerretsen, E.: European development in prediction models for building acoustics, *Acta Acustica* 2 (1994), S. 205-214.
- [4] Scholl, W., Maysenhölder, W., Fischer, H.M.: Neue Schalldämm-Prüfzeugnisse im Europäischen Binnenmarkt; *wksb/Neue Folge*, Heft 34, Oktober 1994, S. 14-22.

## **Anhang B**

### **Untersuchung der CEN-Normentwürfe zur Luft- und Trittschallübertragung**

von  
Dipl.-Phys. K. Naßhan

#### **1. Einleitung**

Von der Harmonisierung der europäischen Normung sind auch die Rechenverfahren, die aus Bauteildaten das akustische Verhalten von Gebäuden prognostizieren, betroffen. Die auf europäischer Ebene vorgeschlagenen Rechenverfahren zur Luft- bzw. Trittschallübertragung [1,2] unterscheiden sich von der Prognosemethode der in der Bundesrepublik Deutschland eingeführten Schallschutznorm im Hochbau [3]. Es fragt sich daher, ob der Entwurf der Europannorm auf deutsche Bausituationen anwendbar ist und welche Genauigkeit der Ergebnisse erreicht werden kann bzw. erreicht wird. Theoretische Überlegungen zur Fehlerfortpflanzung und die Anwendung der Berechnungsverfahren für Luftschallübertragung auf einige konkrete Bausituationen geben erste Antworten .

Nach Abschluß der Arbeiten wurden leicht geänderte Normentwürfe [4, 5] vorgelegt. Diese Änderungen wirken sich auf die Fehlerbetrachtung und die Aussagen zu den einfachen Modellen nicht aus. Lediglich im detaillierten Modell können in Fällen, in denen die Flankenübertragung dominiert, bis zu

0,4 dB größere Schalldämm-Maße berechnet werden. Die qualitativen Aussagen zum detaillierten Modell bleiben unverändert gültig.

## 2. Grundlagen des Berechnungsverfahrens zur Luftschallübertragung

Betrachtet man die Schallübertragungswege innerhalb eines Gebäudes, so läßt sich für jeden Übertragungsweg ein Transmissionsgrad  $\tau_x$  als das Verhältnis der über diesen Weg in den Empfangsraum transmittierten Leistung  $W_x$  und der auf das trennende Bauteil einfallenden Leistung  $W_1$ , definieren:

$$\tau_x = \frac{W_x}{W_1}. \quad (1)$$

Somit ergibt sich der Gesamttransmissionsgrad  $\tau_{\text{tot}}$  zu

$$\tau_{\text{tot}} = \sum_{\text{Übertragungswege}} \tau_x = \tau_d + \sum_f \tau_f + \sum_e \tau_e + \sum_s \tau_s \quad (2)$$

und ein Bauschalldämmmaß  $R'$  von

$$R' = -10 \log(\tau_{\text{tot}}). \quad (3)$$

Die möglichen Übertragungswege sind in Bild 1 dargestellt; die dort aufgeführte Indizierungskonvention wird auch in den Gleichungen verwendet. Die einzelnen Transmissionsanteile werden zusammengefaßt zu  $\tau_d$  (Abstrahlung durch das Trennbauteil) und  $\tau_f$  (Abstrahlung durch ein flankierendes Bauteil)

$$\tau_d = \tau_{Dd} + \sum_F \tau_{Fd}, \quad (4)$$

$$\tau_f = \tau_{Df} + \tau_{Ff}. \quad (5)$$

Die direkte Luftschallübertragung durch Elemente des trennenden Bauteils ( $\tau_e$ ) sowie die indirekte Luftschallübertragung über Nebenwege ( $\tau_s$ ) wird ebenfalls berücksichtigt. Für die zugehörigen Schalldämmeße  $R$  bzw. Normschallpegeldifferenzen  $D_n$  gelten die Beziehungen

$$\begin{aligned}\tau_{Dd} &= 10^{-R_{Dd}/10}, \\ \tau_{ij} &= 10^{-R_{ij}/10}, \\ \tau_e &= \frac{A_0}{S_s} 10^{-D_{n,e}/10}, \\ \tau_s &= \frac{A_0}{S_s} 10^{-D_{n,s}/10}.\end{aligned}\tag{6}$$

Dabei steht  $A_0$  für die Referenzabsorptionsfläche und  $S_s$  für die Fläche des trennenden Bauteils. Im Falle bewerteter Größen ist jeweils ein Index  $w$  zu ergänzen.

Im detaillierten Modell finden sämtliche Berechnungen in Oktav- oder Terzbändern statt. Zunächst werden die Laborschalldämmeße in In-situ-Schalldämmeße gemäß

$$R_{\text{situ}} = R - 10 \log \frac{T_{s,\text{situ}}}{T_{s,\text{lab}}}\tag{7}$$

unter Berücksichtigung der Körperschallnachhallzeit im Labor  $T_{s,\text{lab}}$  bzw. in situ  $T_{s,\text{situ}}$  umgerechnet. Für die Verbesserung der Luftschalldämmung durch Vorsatzschalen wird angenommen, daß das Verbesserungsmaß im Labor und in situ gleich ist:

$$\Delta R_{\text{situ}} = \Delta R.\tag{8}$$

Die in-situ-Schalldämmeße für die Übertragungswege ergeben sich dann zu



$$R_{Dd} = R_{s,situ} + \Delta R_{D,situ} + \Delta R_{d,situ} \quad (9)$$

für die Schalldämmung durch die Trennwand. Für flankierende Übertragungswege gilt

$$R_{ij} = \frac{R_{i,situ}}{2} + \Delta R_{i,situ} + \frac{R_{j,situ}}{2} + \Delta R_{j,situ} + \overline{D_{v,ij,situ}} + 10 \log \left( \frac{S_s}{\sqrt{S_i S_j}} \right) \quad (10)$$

mit den Flächen  $S$ , wobei die Indizes  $s$  auf die Trennwand,  $i$  bzw.  $j$  auf eine sende- bzw. empfangsraumseitige Wand hinweisen. Die mittlere In-situ-Schnellepegeldifferenz  $\overline{D_{v,ij,situ}}$  berechnet sich nach

$$\overline{D_{v,ij,situ}} = K_{ij} - 10 \log \frac{I_{ij} l_0}{\sqrt{S_i S_j}} - 10 \log \frac{\sqrt{T_{s,i,situ} T_{s,j,situ}}}{T_{s,ref}} \geq 0, \quad (11)$$

wobei  $K_{ij}$  das Stoßstellendämmmaß,  $I_{ij}$  die Koppellänge zwischen den Wänden  $i$  und  $j$ ,  $l_0$  die Referenzlänge (1 m) und  $T_{s,ref}$  die Referenzkörperschallnachhallzeit sind.

Im vereinfachten Modell wird mit bewerteten Eingangsgrößen gerechnet, und es wird davon ausgegangen, daß die Laborsituation sich nicht wesentlich von der Bausituation unterscheidet. Daher werden keine Körperschallnachhallzeitkorrekturen durchgeführt. Das bewertete Bauschalldämmmaß  $R'_w$  ergibt sich dann zu

$$R'_w = -10 \log \left[ 10^{-R_{Dd,w}/10} + \sum_{F,f} 10^{-R_{Ff,w}/10} + \sum_f 10^{-R_{Df,w}/10} + \sum_F 10^{-R_{Fd,w}/10} \right] \quad (12)$$

mit

$$R_{Dd,w} = R_{s,w} + \Delta R_{Dd,w}$$

bzw.

$$R_{ij,w} = \frac{R_{i,w} + R_{j,w}}{2} + \Delta R_{ij,w} + K_{ij} + 10 \log \left( \frac{S_s}{l_0 l_f} \right), \quad (13)$$

wobei der Index w auf "bewertet" hinweist. Die Indizes i und j stehen für die Bauteile F oder D und f oder d.  $l_f$  bezeichnet die Koppellänge des Bauteils mit der Trennwand. Für die Verbesserung durch Vorsatzschalen gilt

$$\Delta R_{ij} = \begin{cases} \Delta R_i & \text{falls nur eine senderraumseitige Vorsatzschale} \\ \Delta R_j & \text{falls nur eine empfangsraumseitige Vorsatzschale} \\ \max(\Delta R_i, \Delta R_j) + \frac{\min(\Delta R_i, \Delta R_j)}{2} & \text{falls beiderseitig Vorsatzschalen} \end{cases} \quad (14)$$

### 3. Auswirkungen der Unsicherheiten der Eingangsgrößen

In der Akustik sind die Anforderungen zur Messung der Luft- und Trittschalldämmung im Labor z.B. in der DIN 52 210, Teil 1 und 2 [6,7], oder der Normenreihe ISO 140 [8,9,10] festgelegt. Ringversuche [11] haben ergeben, daß in Prüfeinrichtungen, die diesen Vorschriften genügen, die Meßwerte für das Luftschalldämm-Maß und den Norm-Trittschallpegel in verschiedenen Laboratorien für identisches Prüfmaterial bei einer Terzmittenfrequenz von 1000 Hz mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% um weniger als 2,5 dB schwanken. Sind die Unsicherheiten der Eingabedaten bekannt, so kann durch eine Fehlerbetrachtung die Unsicherheit einer Berechnung abgeschätzt werden [12]. Stellen  $x_1, \dots, x_n$  Meßgrößen, die mit den Meßfehlern  $\Delta x_1, \dots, \Delta x_n$  behaftet sind, und  $f(x_1, \dots, x_n)$  ein Berechnungsverfahren dar, so ergibt sich nach dem Satz von Taylor als Näherung für um  $\Delta x_1, \dots, \Delta x_n$  verschobene Eingabewerte

$$f(x_1 + \Delta x_1, \dots, x_n + \Delta x_n) = f(x_1, \dots, x_n) + \sum_{i=1}^n \left. \frac{\partial f}{\partial x_i} \right|_{x_1, \dots, x_n} \Delta x_i$$

+ Glieder mindestens in quadratischer Ordnung in  $\Delta x_i$

(15)

Für kleine Meßfehler ergibt sich eine Differenz von

$$\Delta f = f(x_1 + \Delta x_1, \dots, x_n + \Delta x_n) - f(x_1, \dots, x_n) \approx \sum_{i=1}^n \left. \frac{\partial f}{\partial x_i} \right|_{x_1, \dots, x_n} \Delta x_i$$
(16)

Da die Vorzeichen der Meßfehler  $\Delta x_i$  nicht bekannt sind, wird der Gesamtfehler letztlich abgeschätzt durch

$$|\Delta f| \leq \sum_{i=1}^n \left| \left. \frac{\partial f}{\partial x_i} \right|_{x_1, \dots, x_n} \Delta x_i \right|.$$
(17)

Zum nachfolgenden Gebrauch der Fehlerangaben im Pegelmaß (d.h. unter Befolgung der logarithmischen Rechenvorgänge) ist eine Vorbemerkung erforderlich. Sei  $x$  eine physikalische Meßgröße, behaftet mit einem Meßfehler  $\Delta x$ , so läßt sich der größt- bzw. kleinstmögliche wahre Wert  $y$  darstellen als

$$y = x \left( 1 \pm \left| \frac{\Delta x}{x} \right| \right).$$
(18)

Umgerechnet ins Pegelmaß ergibt sich

$$\begin{aligned}
 10 \log(y) &= 10 \log \left[ x \left( 1 \pm \left| \frac{\Delta x}{x} \right| \right) \right] \\
 &= 10 \log(x) + 10 \log \left( 1 \pm \left| \frac{\Delta x}{x} \right| \right), \quad (19)
 \end{aligned}$$

$$Y = X + \Delta X.$$

Dabei wurden Großbuchstaben für die entsprechende Größe im Pegelmaß verwendet. Kleine griechische Buchstaben stehen für delogarithmierte Größen, die den akustischen Größen im Pegelmaß entsprechen (siehe Tabelle 1). Ferner kennzeichnet ein vorangestelltes  $\diamond$  den Fehler der jeweiligen Größe. Nachfolgend wird mit dem positiven Vorzeichen, also mit  $\Delta X = 10 \log \left( 1 + \left| \frac{\Delta x}{x} \right| \right)$  gearbeitet.

Im detaillierten Modell ergibt sich danach für die Transmissionsgrade in situ (Gleichung 7) ein Fehler von

$$\left| \frac{\diamond \tau_{\text{situ}}}{\tau_{\text{situ}}} \right| = \left| \frac{\diamond \tau}{\tau} \right| + \left| \frac{\diamond T_{\text{s,situ}}}{T_{\text{s,situ}}} \right| + \left| \frac{\diamond T_{\text{s,lab}}}{T_{\text{s,lab}}} \right|. \quad (20)$$

Der Fehler der Transmission durch die Trennwand (Gleichung 9) wird nach

$$\left| \frac{\diamond \tau_{\text{Dd}}}{\tau_{\text{Dd}}} \right| = \left| \frac{\diamond \tau_{\text{s,situ}}}{\tau_{\text{s,situ}}} \right| + \left| \frac{\diamond \Delta \tau_{\text{D,situ}}}{\Delta \tau_{\text{D,situ}}} \right| + \left| \frac{\diamond \Delta \tau_{\text{d,situ}}}{\Delta \tau_{\text{d,situ}}} \right| \quad (21)$$

bzw. über einen flankierenden Pfad (Gleichung 10) gemäß

$$\left| \frac{\diamond \tau_{ij}}{\tau_{ij}} \right| = \left| \frac{\diamond \tau_{i,\text{situ}}}{2 \tau_{i,\text{situ}}} \right| + \left| \frac{\diamond \Delta \tau_{i,\text{situ}}}{\Delta \tau_{i,\text{situ}}} \right| + \left| \frac{\diamond \tau_{j,\text{situ}}}{2 \tau_{j,\text{situ}}} \right| + \left| \frac{\diamond \Delta \tau_{j,\text{situ}}}{\Delta \tau_{j,\text{situ}}} \right| + \left| \frac{\diamond \overline{\delta_{v,ij,\text{situ}}}}{\overline{\delta_{v,ij,\text{situ}}}} \right| + \left| \frac{\diamond S_s}{S_s} \right| - \left| \frac{\diamond S_i}{2 S_i} \right| - \left| \frac{\diamond S_j}{2 S_j} \right| \quad (22)$$

berechnet, wobei für die Unsicherheit der delogarithmierten mittleren Schnellepegeldifferenz

$$\frac{|\delta_{v,ij,situ}|}{\delta_{v,ij,situ}} = \frac{|\delta\kappa_{ij}|}{\kappa_{ij}} + \frac{|\delta l_{ij}|}{l_{ij}} + \frac{1}{2} \frac{|\delta S_i|}{S_i} + \frac{1}{2} \frac{|\delta S_j|}{S_j} + \frac{1}{2} \frac{|\delta T_{s,i,situ}|}{T_{s,i,situ}} + \frac{1}{2} \frac{|\delta T_{s,j,situ}|}{T_{s,j,situ}} \quad (23)$$

einzusetzen ist. Da die Flächen der flankierenden Wände ( $S_i, S_j$ ), die zur Bestimmung der Schnellepegeldifferenz in Gleichung (11) verwendet wurden, in Gleichung (10) wieder herausgerechnet werden, gleichen sich die entsprechenden Fehlerterme in Gleichung (22) beim Einsetzen von Gleichung (23) wieder aus. Somit ergibt sich als Fehlerformel für den Gesamttransmissionsgrad unter Vernachlässigung der Luftschallübertragung durch Öffnungen in der Trennwand und über andere Luftschallnebenwege

$$|\delta\tau'| = |\delta\tau_{Dd}| + \sum_{\substack{\text{flank.} \\ \text{Wände}}} |\delta\tau_{Fd}| + \sum_{\substack{\text{flank.} \\ \text{Wände}}} (|\delta\tau_{Ff}| + |\delta\tau_{Df}|) \quad (24)$$

oder durch relative Fehler ausgedrückt

$$|\delta\tau'| = \frac{|\delta\tau_{Dd}|}{\tau_{Dd}} \tau_{Dd} + \sum_{\substack{\text{flank.} \\ \text{Wände}}} \frac{|\delta\tau_{Fd}|}{\tau_{Fd}} \tau_{Fd} + \sum_{\substack{\text{flank.} \\ \text{Wände}}} \left( \frac{|\delta\tau_{Ff}|}{\tau_{Ff}} \tau_{Ff} + \frac{|\delta\tau_{Df}|}{\tau_{Df}} \tau_{Df} \right). \quad (25)$$

Schätzt man die relativen Fehler durch deren Maximum  $\frac{\delta\tau_{\max}}{\tau_{\max}} = \max_{ij} \left| \frac{\delta\tau_{ij}}{\tau_{ij}} \right|$  ab,

folgt

$$\frac{|\delta\tau'|}{\tau'} \leq \frac{\delta\tau_{\max}}{\tau_{\max}}. \quad (26)$$

Der größte relative Fehler der einzelnen Transmissionsfaktoren bildet also eine obere Schranke für den relativen Fehler des gesamten Transmissionsfaktors.

Da sich das vereinfachte Modell aus dem detaillierten Modell herleitet, ist die Fehlerrechnung auch weitgehend analog dazu. Für den Fehler der Transmission durch die Trennwand ergibt sich der Ausdruck

$$\left| \frac{\Delta \tau_{Dd,w}}{\tau_{Dd,w}} \right| = \left| \frac{\Delta \tau_{s,w}}{\tau_{s,w}} \right| + \left| \frac{\Delta \tau_{Dd,w}}{\tau_{Dd,w}} \right|, \quad (27)$$

und für den Fehler der Transmission über flankierende Wände gilt:

$$\left| \frac{\Delta \tau_{ij,w}}{\tau_{ij,w}} \right| = \frac{1}{2} \left( \left| \frac{\Delta \tau_{i,w}}{\tau_{i,w}} \right| + \left| \frac{\Delta \tau_{j,w}}{\tau_{j,w}} \right| \right) + \left| \frac{\Delta \tau_{ij,w}}{\tau_{ij,w}} \right| + \left| \frac{\Delta \kappa_{ij}}{\kappa_{ij}} \right| + \left| \frac{\Delta S_s}{S_s} \right| + \left| \frac{\Delta l_f}{l_f} \right|. \quad (28)$$

Die Berechnung des bewerteten Schalldämm-Maßes erfolgt in Analogie zu Gleichung (2), so daß die Fehlerformeln (24-26) weiterhin gelten, wobei jeweils ein Index w für "bewertet" hinzuzufügen ist.

In nachfolgendem Beispiel wird von zwei benachbarten, quaderförmigen Räumen ausgegangen, bei denen sämtliche Wände einschließlich Boden und Decke aus identischem homogenen Material bestehen. Die Grundfläche mißt 4x4 m<sup>2</sup>, die Höhe beträgt 2,5 m. Sämtliche Stoßstellen sind Kreuzstöße. Vorsatzschalen und trittschalldämmende Bodenbeläge sind nicht vorhanden. Für die Ungenauigkeit der Schalldämm-Maße und Norm-Trittschallpegel werden die Vergleichsgrenzen für Laborversuche aus [11] zugrunde gelegt. Sofern nichts anderes beschrieben wird, beziehen sich die Berechnungen auf eine Terzmittenfrequenz von 1000 Hz.

Der Fehler der Berechnung der in-situ-Werte des Schalldämm-Maßes erfolgt nach Gleichung (20). Wird für die Ungenauigkeit der Berechnung der In-situ-Körperschallnachhallzeit bzw. der Messung im Labor jeweils 10% angenommen (was angesichts vorliegender Erfahrungen eher als zu gering betrachtet wird), ergibt sich ein Fehler der in-situ-Werte des Schalldämm-Maßes und des Norm-Trittschallpegels bei 1000 Hz von 3,0 dB.

Der Fehler der mittleren Schnellepegeldifferenz wird nach Gleichung (23) bestimmt. Da es noch keine Meßvorschrift zur Bestimmung der Stoßstellendämmung gibt, liegen keine Erfahrungen zur erreichbaren Genauigkeit vor. Wird die Stoßstellendämmung nach Gleichung (E3) im Annex E von [1] berechnet und eine Ungenauigkeit der Waddichte von 5% und der Waddicke von 1,5% angenommen, so erhält man für durchgehende Übertragung im Kreuzstoß bei gleichen Flächenmassen der Wände 1,0 dB Ungenauigkeit, für die Übertragung um die Ecke 0,0 dB. Wird ferner eine Genauigkeit der Längenmessung von 2% und daraus folgend eine Genauigkeit der Flächenbestimmung von 4% sowie 10% Ungenauigkeit bei der Bestimmung der Körperschallnachhallzeiten angenommen, so ergibt sich eine Unsicherheit der mittleren Schnellepegeldifferenz von 1,7 dB im Falle der durchgehenden Übertragung und 0,9 dB im Falle der Übertragung um die Ecke.

Der Fehler des Flankendämm-Maßes für die flankierende Übertragung wird nach Gleichung (22) berechnet. Legt man die zuvor genannten Unsicherheiten zugrunde, ergeben sich Fehler von 4,7 dB für die Flankendämmung durch den Kreuzstoß bzw. 4,3 dB für die Flankendämmung um die Ecke.

Faßt man die Einzelergebnisse des detaillierten Modells zusammen, ergeben sich die in den Tabellen 2 und 3 dargestellten Gesamtfehler für die Luft- bzw. Trittschallübertragung. Der Fehler des Schalldämm-Maßes beträgt bei einer Terzmittenfrequenz von 1000 Hz 3,4 dB. Um einen Fehler des Einzahlwertes zu ermitteln, wurden innerhalb der Fehlergrenzen der Terzwerte uniform verteilte Schalldämm-Maße bzw. Norm-Trittschallpegel erzeugt. Danach wurden die Einzahlwerte berechnet, deren Standardabweichung 2,5 dB beträgt. Der Fehler des nach dem vereinfachten Modell berechneten bewerteten Schalldämm-Maßes beträgt unter den gleichen Randbedingungen 2,4 dB, so daß detailliertes Modell und vereinfachtes Modell nahezu gleiche Werte liefern.

#### 4. Anwendung auf die deutsche Bausituation

Um die Anwendbarkeit der Europeanorm auf die deutsche Bausituation zu prüfen, wurden Praxisbeispiele sowohl nach dem detaillierten als auch nach dem vereinfachten Modell berechnet. Die Messungen und Baupläne zu den Beispielen wurden auf Anfrage der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) von Prüfstellen zur Verfügung gestellt. Die Berechnungen nach dem detaillierten Modell erfolgten mittels eines eigens dafür entwickelten Programms, die Berechnungen nach dem vereinfachten Modell erfolgten mittels eines Tabellenkalkulationsprogramms. Eine Schwierigkeit bestand darin, daß für das detaillierte Modell wesentliche Eingangsdaten nicht zur Verfügung stehen. Dies liegt zum einen daran, daß die CEN-Norm nebenwegsfreie Eingangsgrößen verlangt. Zum anderen gibt es für das Stoßstellendämm-Maß noch keine Prüfnorm, so daß dafür noch keine Prüfdaten vorliegen. Daher wurden die frequenzabhängigen Schalldämmmaße für Massivwände nach Annex B von [1] aus Materialdaten (Dichte, longitudinale Schallgeschwindigkeit, interner Verlustfaktor und Dicke) errechnet und bewertet. Im Vergleich der so erhaltenen bewerteten Schalldämmmaße mit den Ergebnissen des vereinfachten Modells und den Massegesetzen aus Annex B von [1] zeigen sich Abweichungen von 2 bis 3 dB vom Mittelwert der verschiedenen Ansätze. Die aus den frequenzabhängigen Schalldämmmaßen errechneten bewerteten Schalldämmmaße weichen im Mittel vom Mittelwert um 1,5 dB ab, bewegen sich also innerhalb der aus Messungen zu erwartenden Vergleichsgrenze nach [11]. Diese Genauigkeit kann für die Rechnung als ausreichend angesehen werden.

Die Körperschallnachhallzeiten im Labor und in situ wurden aus den totalen Verlustfaktoren ( $\eta_{\text{tot}}$ ) nach

$$T_s = \frac{2,2}{f \eta_{\text{tot}}} \quad (29)$$



berechnet, wobei  $f$  für die Frequenz steht. Für die Laborsituation wurde der totale Verlustfaktor gemäß

$$\eta_{\text{tot}} = \eta_{\text{int}} + \frac{m'}{435 \sqrt{f}} \quad (30)$$

bestimmt. Dabei steht  $m'$  für die flächenbezogene Masse der Wand und  $\eta_{\text{int}}$  für den internen Verlustfaktor. Die Stoßstellendämm-Maße, für die es bisher noch keine Prüfnorm gibt, wurden nach Annex E von [1] errechnet.

Ein typisches Ergebnis einer Berechnung zeigt Bild 2. Bei tiefen Frequenzen liegt das errechnete Bauschalldämmmaß erheblich unter dem gemessenen. Erst bei mittleren und hohen Frequenzen stellt sich eine ansprechende Übereinstimmung ein. Die über die untersuchten Beispiele gemittelte Abweichung von Meß- und Rechenwert (Bild 3) zeigt das gleiche Verhalten. Diese liegt jedoch innerhalb der Fehlergrenzen, die durch die Fehlerrechnung ermittelt wurde, bei mittleren und höheren Frequenzen erheblich darunter, so daß das detaillierte Modell in diesem Bereich gute Ergebnisse liefert. Zur großen Abweichung bei tiefen Frequenzen tragen auch Unsicherheiten in der Berechnung des Schalldämmmaßes bei. Da hier der Abstrahlgrad in der dritten Potenz eingeht, resultiert daraus bei einer Unsicherheit von 50% bereits ein Fehler von ca. 4 dB. Dieser Fehlerbeitrag kann durch Verwendung von Meßwerten reduziert werden. Da die Meßungenaugigkeit in der Bestimmung der Schalldämmmaße in diesem Frequenzbereich nach der Fehlerrechnung aber zu Abweichungen von 5 bis 10 dB führt, erscheint dennoch eine wesentlich genauere Prognose eher unwahrscheinlich.

Wie gut ist nun das detaillierte Modell im Vergleich zum vereinfachten Modell und zur DIN 4109? Bild 4 zeigt, daß detailliertes und vereinfachtes Modell in etwa vergleichbare Ergebnisse liefern: Unterschätzung des bewerteten Schalldämmmaßes um etwa 2 dB, im Fall Ludwigshafen wird das Ergebnis um 1 dB überschätzt. Im Vergleich zu den beiden CEN-Modellen sagt das DIN

4109-Verfahren um 1 bis 2 dB geringere bewertete Schalldämmeße voraus. In den untersuchten Fällen lieferten die CEN-Verfahren also bessere Ergebnisse als das Verfahren nach DIN 4109. In Vergleich der beiden CEN-Verfahren läge es nahe, wegen des deutlich geringeren Aufwandes bei vergleichbarer Genauigkeit der Ergebnisse, dem vereinfachten CEN-Modell den Vorzug zu geben. Es muß jedoch berücksichtigt werden, daß in den betrachteten Beispielen alle Bauteile in etwa den gleichen Frequenzgang der Schalldämmung hatten. Daher war nicht zu erwarten, daß zwischen frequenzabhängiger und Einzahlberechnung des bewerteten Gesamtschalldämm-Maßes wesentliche Unterschiede auftreten. Unter Beachtung dieser Einschränkung, die als Voraussetzung für die Anwendbarkeit des vereinfachten Modells genannt ist, scheint der deutlich höhere Aufwand für das detaillierte Modell nicht gerechtfertigt.

## 5. Berechnungsverfahren zur Trittschallübertragung

Ähnlich dem Berechnungsverfahren für Luftschallübertragung werden für Trittschallübertragung die Energieflüsse über die verschiedenen Wege adiiert, ebenfalls unterschieden nach frequenzabhängigem und vereinfachtem Modell. Im frequenzabhängigen Modell errechnet sich der Norm-Trittschallpegel für die Direktübertragung zu:

$$L_{n,d} = L_{n,situ} - dL_{situ} - dL_{d,situ} \quad (31)$$

wobei  $dL_{situ}$ , bzw.  $dL_{d,situ}$  für die Verbesserung des Norm-Trittschallpegels durch Bodenauflagen bzw. Vorsatzschalen auf der empfangsraumseitigen Fläche des trennenden Bauteils steht.

Für den durch Flankenübertragung verursachten Norm-Trittschallpegel gilt:

$$L_{n,ij} = L_{n,situ} - dL_{situ} + \frac{R_{i,situ} - R_{j,situ}}{2} - dR_{j,situ} - \overline{D_{v,ij,situ}} - 10 \log \sqrt{\frac{S_i}{S_j}}, \quad (32)$$

wobei sich die Indizes  $i$  bzw.  $j$  auf den Boden bzw. die jeweilige flankierende Wand beziehen. Der In-situ-Norm-Trittschallpegel wird aus dem (Labor-) Norm-Trittschallpegel ( $L_n$ ) gemäß

$$L_{n,situ} = L_n + 10 \log \left( \frac{T_{s,situ}}{T_{s,lab}} \right) \quad (33)$$

berechnet. Der gesamte Normtrittschallpegel im Empfangsraum ergibt sich somit zu

$$L_n = \begin{cases} 10 \log \left( 10^{L_{n,d}/10} + \sum_{j=1}^n 10^{L_{n,j}/10} \right) & \text{für vertikale Übertragung} \\ 10 \log \sum_{j=1}^n 10^{L_{n,j}/10} & \text{für horizontale Übertragung.} \end{cases} \quad (34)$$

Nach dem vereinfachten Modell ergibt sich der bewertete Norm-Trittschallpegel  $L'_{n,w}$  für die vertikale Übertragung zu

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - dL_w + K \quad (35)$$

mit dem bewerteten Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w,eq}$  des Bodens, dem Trittschallverbesserungsmaß  $dL_w$  durch Bodenbeläge und einem tabellierten Korrekturterm  $K$  für die Flankenübertragung. Auf die horizontale Übertragung ist das vereinfachte Modell nicht anwendbar.

Eine in Analogie zur Luftschalltransmission durchgeführte Fehlerbetrachtung [12] liefert für die gleichen Randbedingungen die in Tabelle 3 aufgelisteten Gesamtfehler. Reduziert auf bewertete Größen ergeben sich 2,3 dB bzw. 3,1

dB Fehler des nach dem frequenzabhängigen Modell berechneten Norm-Trittschallpegels für horizontale bzw. vertikale Übertragung. Das vereinfachte Modell liefert einen Fehler von 2,0 dB.

Eine Untersuchung der Anwendbarkeit des frequenzabhängigen Modells auf deutsche Bausituationen konnte nicht erfolgen, da für die vorhandenen Messungen die benötigten frequenzabhängigen Eingangsdaten nicht verfügbar waren. Ein aus Materialkonstanten berechneter Norm-Trittschallpegel erwies sich als so unsicher, daß keine Schlüsse auf die Güte des Rechenverfahrens gezogen werden konnten.

## **6. Zusammenfassung**

Eine Betrachtung der Fehlerfortpflanzung für die CEN-Modelle für Luft- und Trittschalltransmission hat gezeigt, daß in den frequenzabhängigen Modellen in den einzelnen Terzbändern erhebliche Unsicherheiten für die berechnete Luft- bzw. Trittschalldämmung zu erwarten sind. Nach einer numerischen Berechnung, die von der statistischen Unabhängigkeit der einzelnen Terzwerte ausging, betrug die erwartete Abweichung 2,5 dB für das bewertete Schalldämm-Maß bzw. 2,3 dB (vertikale Übertragung) und 3,1 dB (horizontale Übertragung) für den bewerteten Norm-Trittschallpegel. Die vereinfachten Modelle liefern geringfügig bessere Fehlerwerte (2,4 dB bzw. 2,0 dB).

In den gerechneten Beispielen zur Luftschalltransmission wurden in der frequenzabhängigen Rechnung bei tiefen Frequenzen erhebliche Abweichungen von den Meßwerten festgestellt, die durch Unsicherheiten in der Berechnung der erforderlichen Eingabedaten verursacht sein könnten. Bei mittleren und hohen Frequenzen war die Übereinstimmung besser. Beim Vergleich der Einzahlwerte nach dem detaillierten bzw. vereinfachten Modell wurden keine wesentlichen Unterschiede festgestellt. Die Abweichungen zwischen den berechneten Einzahlwerten und den Meßwerten liegen im Rahmen der berech-

neten Fehlergrenzen. Der höhere Aufwand für das detaillierte Modell scheint im Falle ähnlichen Frequenzgangs der Schalldämmung der Bauteile nicht gerechtfertigt. Zur Trittschallübertragung konnten mangels zuverlässiger Eingabedaten keine Vergleichsrechnungen durchgeführt werden.

### **Dank**

Der Autor dankt dem Deutschen Institut für Bautechnik, das durch finanzielle Unterstützung diese Arbeiten ermöglichte, sowie der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt und den Prüfstellen der Gruppe II für die Überlassung von Meßergebnissen praktischer Bauausführungen.

### **Literatur**

- [1] Dokument CEN/TC126/WG2 N111: Building Acoustics - Estimation of acoustic Performance of Buildings from the performing of products, Part 1: Airborne sound insulation between Rooms; 7. draft, January 1994.
- [2] Dokument CEN/TC126/WG2 N112: Building Acoustics - Estimation of acoustic Performance of Buildings from the performing of products, Part 2: Impact sound insulation between Rooms; 6. draft, January 1994.
- [3] Gerretsen, E.: Europäische Entwicklungen zur Prognose des Schallschutzes in Bauten. wksb Zeitschrift für Wärmeschutz, Kälteschutz, Schallschutz, Brandschutz, Neue Folge (1994), H. 34, S. 1-9.
- [4] prEN 12354-1 D/E: Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil1: Luftschalldämmung zwischen Räumen/Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of products - Part 1: Airborne sound insulation between rooms. April 1996

- [5] prEN 12354-2 D/E: Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil.2: Trittschalldämmung zwischen Räumen/Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of products - Part 2: Impact sound insulation between rooms. April 1996.
- [6] DIN 52 210 Bauakustische Prüfungen: Luft- und Trittschalldämmung, Teil 1, Meßverfahren, August 1984.
- [7] DIN 52 210 Bauakustische Prüfungen: Luft- und Trittschalldämmung, Teil 2, Prüfstände für Schalldämm-Messungen an Bauteilen, August 1984.
- [8] ISO 140/1-1978: Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Requirements for laboratories (1985) z.Zt. in Überarbeitung.
- [9] ISO 140/3-1978: Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 3: Laboratory measurements of airborne insulation of building elements (1985) z.Zt. in Überarbeitung.
- [10] ISO 140/4-1978: Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms (1985) z.Zt. in Überarbeitung.
- [11] DIN EN 20 140 Messung der Schalldämmung in Gebäuden und an Bauteilen, Teil 2: Angaben von Genauigkeitsanforderungen, März 1993.
- [12] Naßhan, K.: Wie genau läßt sich das akustische Verhalten von Gebäuden aus Bauteildaten berechnen? wksb Zeitschrift für Wärmeschutz, Kälteschutz, Schallschutz, Brandschutz, Neue Folge 39 (1994), H. 34, S. 10-14.

**Tabelle 1** Formelzeichen für logarithmierte und delogarithmierte Größen

Größe	Formelzeichen	
	Im Pegelmaß (logarithmiert)	Als Transmissionsgrad (delogarithmiert)
Schalldämm-Maß	R	$\tau$
mittlere Schnellepegeldifferenz	D	$\delta$
Stoßstellendämm-Maß	K	$\kappa$

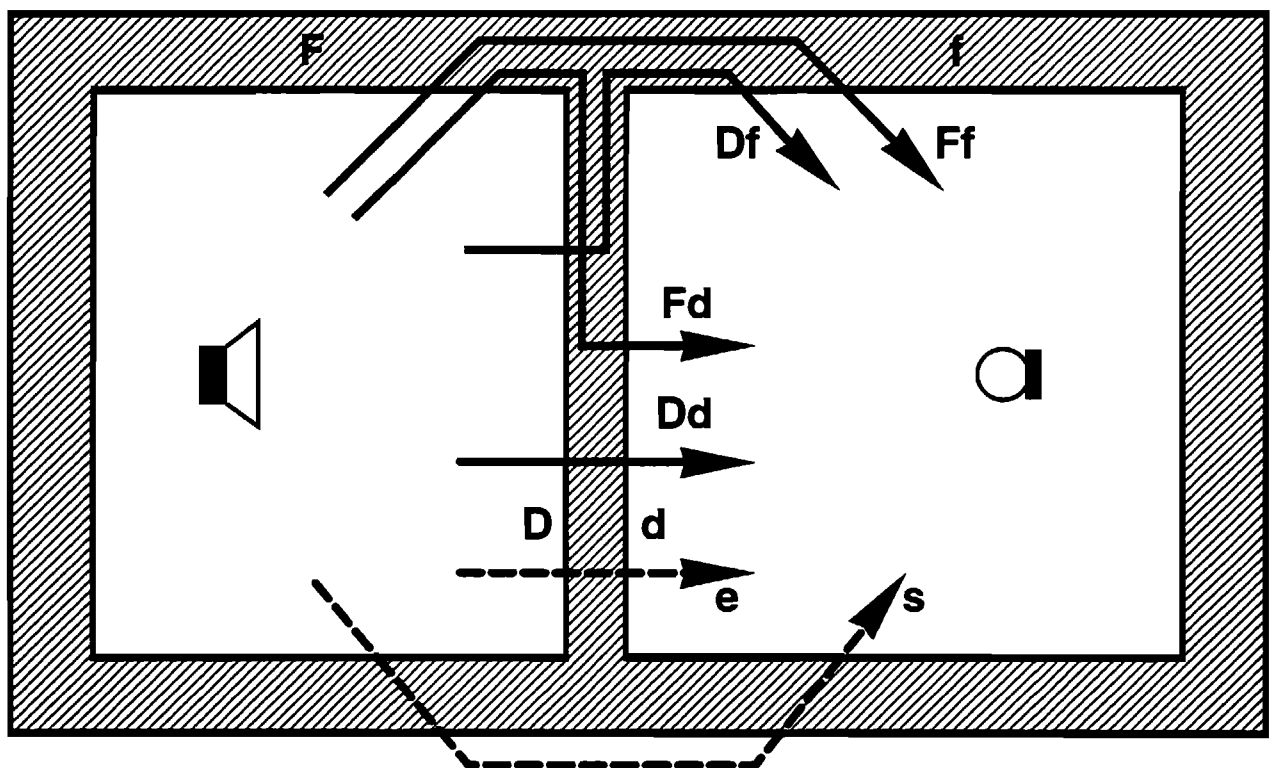
**Tabelle 2** Berechnung des Schalldämm-Maßes R' und seiner Unsicherheit  $\Delta R'$

Berechnungsparameter	Terzmittelfrequenzen [Hz]															
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
R <sub>Dd</sub>	33,0	36,0	39,0	42,0	45,0	48,0	51,0	52,0	53,0	54,0	55,0	56,0	56,0	56,0	56,0	56,0
$\Delta R_{Dd}$	9,1	8,6	6,2	5,7	5,7	4,8	4,8	4,3	3,9	3,4	3,0	3,4	3,9	3,9	3,9	3,9
$\Delta R_{Dd, situ}$	9,2	8,7	6,3	5,8	5,8	4,9	4,9	4,5	4,1	3,6	3,2	3,6	4,1	4,1	4,1	4,1
R <sub>SEITEseite</sub>	47,7	52,5	55,5	58,5	61,5	64,5	67,5	68,5	69,5	70,5	71,5	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5
$\Delta R_{SEITEseite}$	9,3	8,8	6,5	6,1	6,1	5,2	5,2	4,8	4,4	4,0	3,6	4,0	4,4	4,4	4,4	4,4
$\Delta R_{SEITEseite, situ}$	9,4	8,9	6,7	6,3	6,3	5,5	5,5	5,1	4,7	4,3	4,0	4,3	4,7	4,7	4,7	4,7
R <sub>SEITEid, R<sub>Dseite</sub></sub>	47,7	52,5	55,5	58,5	61,5	64,5	67,5	68,5	69,5	70,5	71,5	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5
$\Delta R_{SEITEid, R_{Dseite}}$	9,1	8,6	6,3	5,8	5,8	4,9	4,9	4,4	4,0	3,5	3,1	3,5	4,0	4,0	4,0	4,0
$\Delta R_{SEITEid, situ, R_{Dseite, situ}}$	9,2	8,8	6,5	6,0	6,0	5,2	5,2	4,7	4,3	3,9	3,5	3,9	4,3	4,3	4,3	4,3
R <sub>BODENboden</sub>	45,7	48,7	51,7	54,7	57,7	60,7	63,7	64,7	65,7	66,7	67,7	68,7	68,7	68,7	68,7	68,7
$\Delta R_{BODENboden}$	9,3	8,8	6,5	6,1	6,1	5,2	5,2	4,8	4,4	4,0	3,6	4,0	4,4	4,4	4,4	4,4
$\Delta R_{BODENboden, situ}$	9,4	8,9	6,7	6,3	6,3	5,5	5,5	5,1	4,7	4,3	4,0	4,3	4,7	4,7	4,7	4,7
R <sub>BODENid, R<sub>Dboden</sub></sub>	45,7	48,7	51,7	54,7	57,7	60,7	63,7	64,7	65,7	66,7	67,7	68,7	68,7	68,7	68,7	68,7
$\Delta R_{BODENid, R_{Dboden}}$	9,1	8,6	6,3	5,8	5,8	4,9	4,9	4,4	4,0	3,5	3,1	3,5	4,0	4,0	4,0	4,0
$\Delta R_{BODENid, situ, R_{Dboden, situ}}$	9,2	8,8	6,5	6,0	6,0	5,2	5,2	4,7	4,3	3,9	3,5	3,9	4,3	4,3	4,3	4,3
R'	31,2	34,4	37,4	40,4	43,4	46,4	49,4	50,4	51,4	52,4	53,4	54,4	54,4	54,4	54,4	54,4
$\Delta R'$	9,2	8,7	6,4	5,9	5,9	5,0	5,0	4,6	4,2	3,7	3,4	3,7	4,2	4,2	4,2	4,2

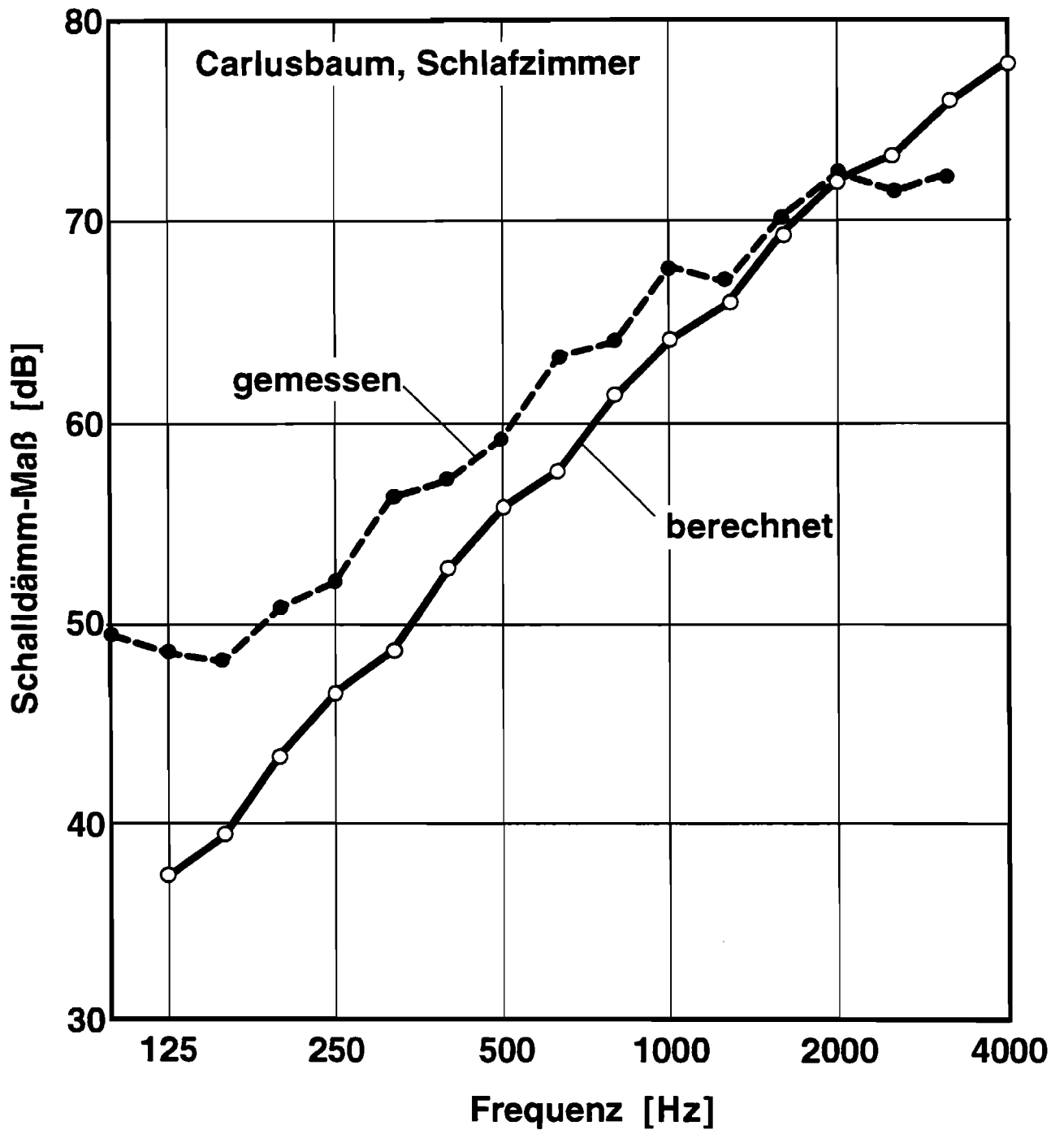


**Tabelle 3** Ungenauigkeit der Berechnung des normierten Trittschallpegels

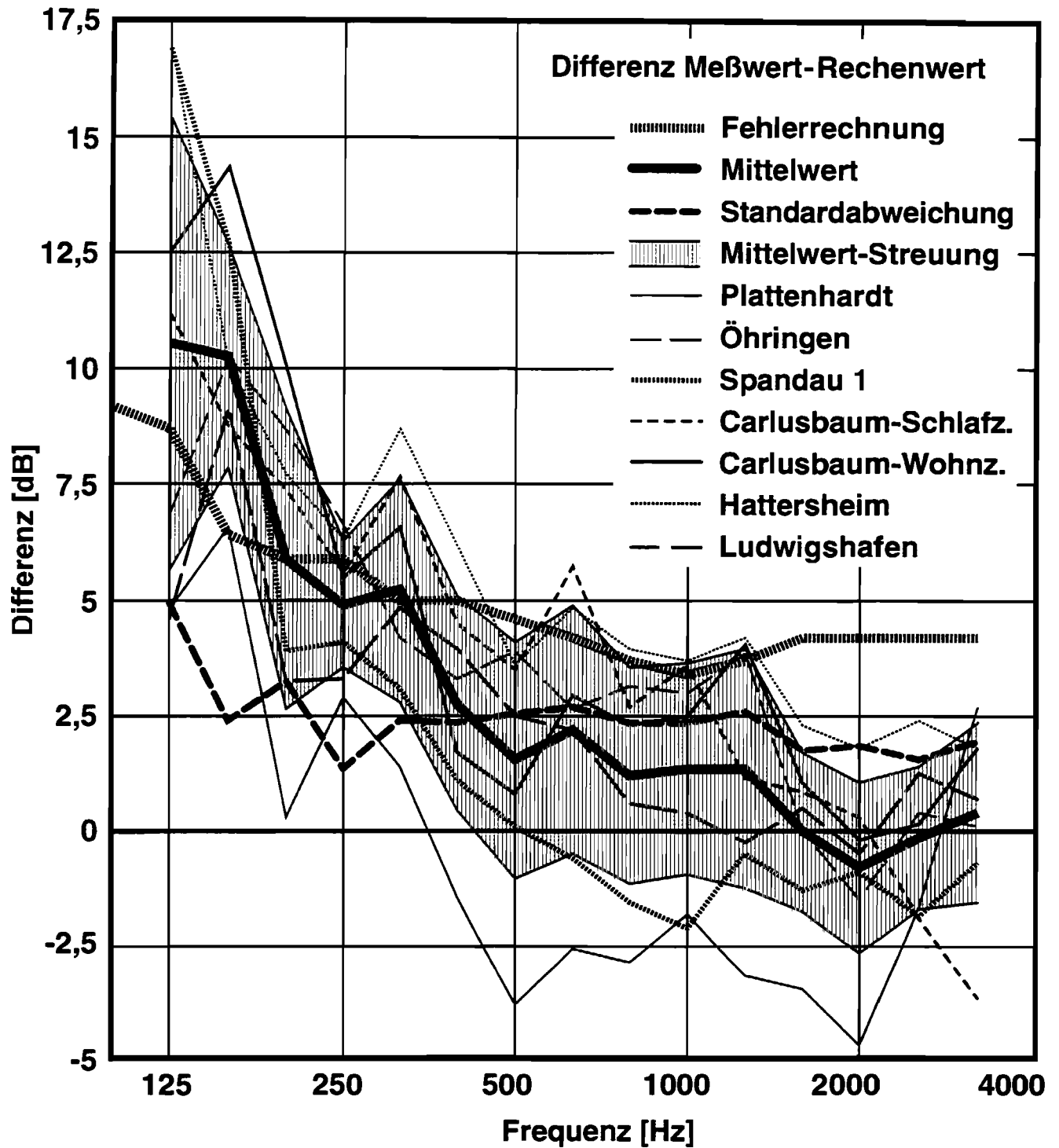
Terz	$\Delta L_n$	$\frac{\Delta T_{lab}}{T_{lab}}$	$\frac{\Delta T_{situ}}{T_{situ}}$	$\Delta L_{n,situ}$	$\frac{\Delta T_{lab}}{T_{lab}}$	$\frac{\Delta T_{situ}}{T_{situ}}$	$\Delta L_{n,situ}$	$\frac{\Delta T_{lab}}{T_{lab}}$	$\frac{\Delta T_{situ}}{T_{situ}}$	$\Delta L_{n,situ}$
Hz	dB			dB			dB			dB
100	5,0	0,1	0,1	5,3	0,25	0,25	5,9	0,05	0,05	6,0
125	4,0	0,1	0,1	4,3	0,25	0,25	5,1	0,05	0,05	5,2
160	3,0	0,1	0,1	3,4	0,25	0,25	4,3	0,05	0,05	4,5
200	3,0	0,1	0,1	3,4	0,25	0,25	4,3	0,05	0,05	4,5
250	3,0	0,1	0,1	3,4	0,25	0,25	4,3	0,05	0,05	4,5
315	3,0	0,1	0,1	3,4	0,25	0,25	4,3	0,05	0,05	4,5
400	3,0	0,1	0,1	3,4	0,25	0,25	4,3	0,05	0,05	4,5
500	2,5	0,1	0,1	3,0	0,25	0,25	3,9	0,05	0,05	4,1
630	2,5	0,1	0,1	3,0	0,25	0,25	3,9	0,05	0,05	4,1
800	2,5	0,1	0,1	3,0	0,25	0,25	3,9	0,05	0,05	4,1
1000	2,5	0,1	0,1	3,0	0,25	0,25	3,9	0,05	0,05	4,1
1250	2,5	0,1	0,1	3,0	0,25	0,25	3,9	0,05	0,05	4,1
1600	2,5	0,1	0,1	3,0	0,25	0,25	3,9	0,05	0,05	4,1
2500	2,5	0,1	0,1	3,0	0,25	0,25	3,9	0,05	0,05	4,1
3150	2,5	0,1	0,1	3,0	0,25	0,25	3,9	0,05	0,05	4,1



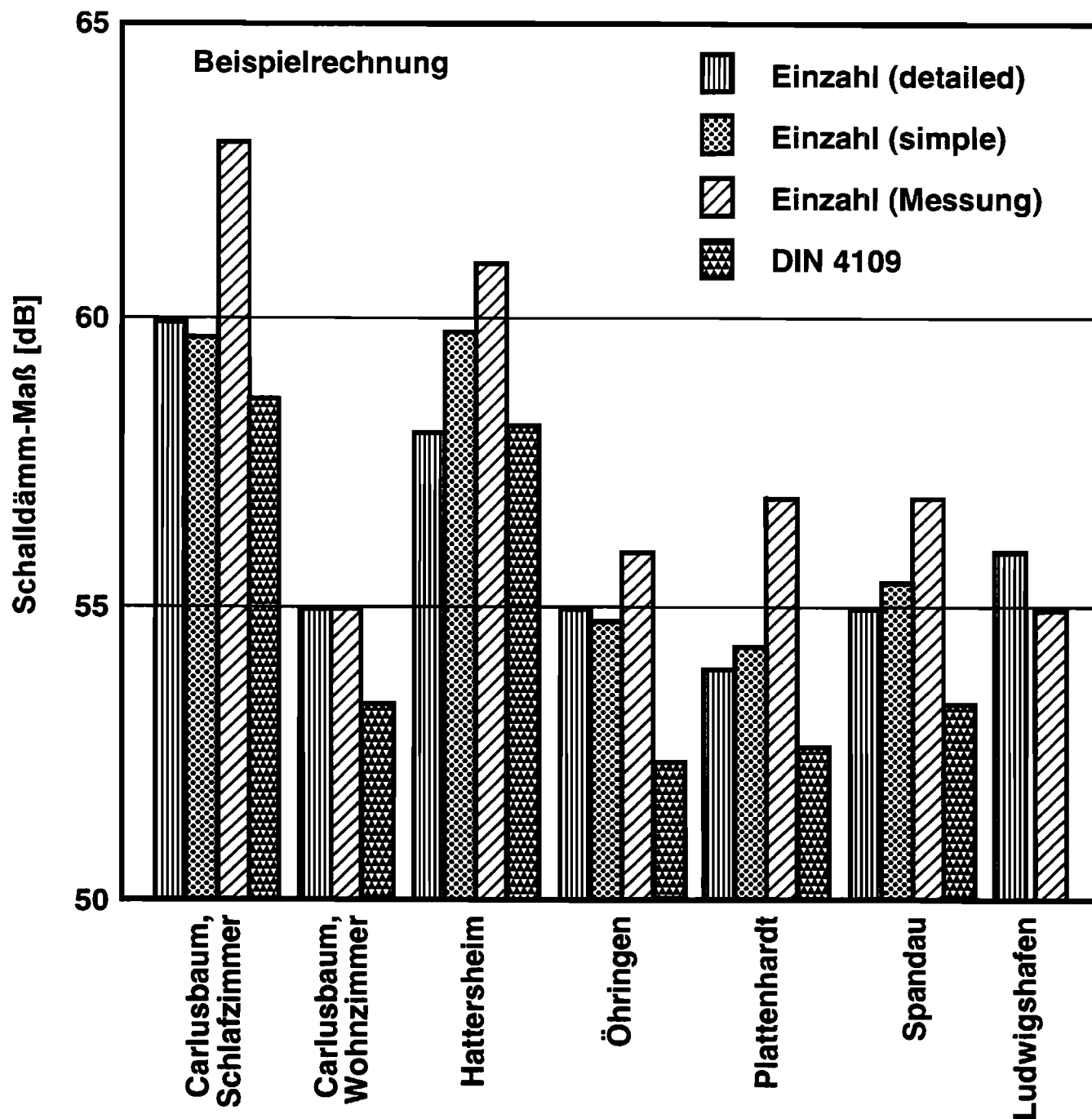
**Bild 1** Schematische Darstellung der Übertragungswege



**Bild 2** Vergleich gemessener und nach dem detaillierten Modell von CEN berechneten frequenzabhängigen Schalldämm-Maße im Falle Carlusbaum, Schlafzimmer



**Bild 3** Vergleich der Differenz von Meßwert und Rechenwert nach dem detaillierten Modell von CEN



**Bild 4** Vergleich der Einzahlwerte des Schalldämm-Maßes von Messung, Berechnung nach DIN 4109 sowie dem detaillierten und vereinfachten CEN-Modell.

## **Anhang C**

**Sonderdruck aus wksb**

ÜBERREICHT VON:

**Karl Gertis**

Lehrstuhl Konstruktive Bauphysik

Universität Stuttgart, Postfach 80 11 40, D-70511 Stuttgart

**Fraunhofer-Institut für Bauphysik**

Postfach 80 04 69 | Postfach 11 52 | Caspar-Theyß-Str. 14A  
D - 70504 Stuttgart | D - 63601 Holzkirchen | D - 14193 Berlin

# **Wie genau läßt sich das akustische Verhalten von Gebäuden aus Bauteildaten berechnen?**

Dipl.-Phys. K. Naßhan

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

(Leiter: o. Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Dr. E. h. mult. Karl Gertis)

Postfach 80 04 69 · 70504 Stuttgart

Nobelstraße 12 · 70569 Stuttgart

# Wie genau läßt sich das akustische Verhalten von Gebäuden aus Bauteildaten berechnen?

Dipl.-Phys. Klaus Naßhan

## 1. Einleitung

Derzeit werden in der Arbeitsgruppe 2 des Technischen Komitees CEN/TC 126 (Acoustic properties of building products and of buildings) neue Berechnungsverfahren zur Schallausbreitung zwischen Räumen beraten. Die Verfahren zur Berechnung der Luft- und Trittschallübertragung [1, 2] zwischen Räumen beinhalten jeweils einen frequenzabhängigen (detailed model) und einen frequenzunabhängigen (simplified model) Ansatz. Die Modelle selbst werden in einem anderen Beitrag dargestellt [3]. Die Frage, welche Genauigkeit die Berechnung der Luft- und Trittschallübertragung unter Berücksichtigung der Unsicherheiten der Eingabedaten erreichen kann, soll nachfolgend erörtert werden. Dabei wird vorausgesetzt, daß die vorgeschlagenen Modelle die Physik der Schallübertragung zwischen benachbarten Räumen korrekt beschreiben.

## 2. Fehler und deren Auswirkungen

Jeder Meßprozeß ist mit Fehlern behaftet, Meßgeräte sind nur begrenzt genau, Randbedingungen schwanken usw. In der Akustik sind die Anforderungen zur Messung der Luft- und Trittschalldämmung im Labor z. B. in der DIN 52 210, Teil 1 und 2 [4, 5] oder der Normenreihe ISO 140 [6, 7, 8] festgelegt. Ringversuche [9] haben ergeben, daß in Prüfeinrichtungen, die diesen Vorschriften genügen, die Meßwerte für das Luftschalldämm-Maß und den Norm-Trittschallpegel im selben Prüfstand für identisches Prüfmaterial bei einer Terzmittenfrequenz von 1000 Hz mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % um weniger als 1,5 dB schwanken (Wiederholgrenze, siehe Tabelle 1).

Zugleich zeigt jeder Prüfstand systematische Abweichungen, identisches Prüfmaterial führt in verschiedenen Prüfständen zu verschiedenen Meßwerten. Das führt dazu, daß die Meßwerte für das Luftschalldämm-Maß und den Norm-Trittschallpegel verschiedener Laboratorien für identisches Prüfmaterial bei einer Terzmittenfrequenz von 1000 Hz mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % um weniger als 2,5 dB schwanken (Vergleichsgrenze, siehe Tabelle 1). Eine numerische Berechnung, die davon ausgeht, daß die Fehler zwischen zwei Terzen paarweise statistisch unabhängig und innerhalb der Fehlerbreite uniform verteilt sind, liefert für die Schwankung des bewerteten Luftschalldämm-Maßes 2,3 dB, für den Norm-Trittschallpegel 1,7 dB. Eine höhere Genauigkeit der Eingabedaten könnte nur durch mehrere Messungen in mehreren Laboratorien erreicht werden.

Sind die Unsicherheiten der Eingabedaten bekannt, so kann durch eine Fehlerbetrachtung die Unsicherheit einer Berechnung abgeschätzt werden. Stellen  $x_1, \dots, x_n$  Meßgrößen, die mit den Meßfehlern  $\Delta x_1, \dots, \Delta x_n$  behaftet sind, und  $f(x_1, \dots, x_n)$  ein Berechnungsverfahren dar, so ergibt sich nach dem Satz von Taylor der Rechenwert für um  $\Delta x_1, \dots, \Delta x_n$  verschobene Eingabewerte

$$f(x_1 + \Delta x_1, \dots, x_n + \Delta x_n) = f(x_1, \dots, x_n) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} \Big|_{x_1, \dots, x_n} \Delta x_i \quad (1)$$

+ Glieder mindestens quadratischer Ordnung in  $\Delta x_i$

Für kleine Meßfehler ergibt sich eine Differenz von

$$\Delta f = f(x_1 + \Delta x_1, \dots, x_n + \Delta x_n) - f(x_1, \dots, x_n) \approx \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} \Big|_{x_1, \dots, x_n} \Delta x_i \quad (2)$$

Dipl.-Phys. Klaus Naßhan, Fraunhofer-Institut für Bauphysik (Leiter: Prof. Dr. Dr. h.c. Dr. E.h. K.A. Gertis), Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart

Tabelle 1: Wiederhol- und Vergleichsgrenzen für Luft- und Trittschalldämm-Maße nach DIN EN 20140-2

Terzband-Mittenfrequenz [Hz]	Wiederholgrenzen für Laborversuche		Vergleichsgrenzen für Laborversuche	
	Luftschalldämmmaße nach ISO 140-3 [dB]	Norm-Trittschallpegel nach ISO 140-6 [dB]	Luftschalldämmmaße nach ISO 140-3 [dB]	Norm-Trittschallpegel nach ISO 140-6 [dB]
100	4,5	3,0	9,0	5,0
125	4,0	2,5	8,5	4,0
160	3,5	2,0	6,0	3,0
200	3,5	2,0	5,5	3,0
250	2,5	2,0	5,5	3,0
315	2,5	2,0	4,5	3,0
400	2,0	2,0	4,5	3,0
500	2,0	1,5	4,0	2,5
630	1,5	1,5	3,5	2,5
800	1,5	1,5	3,0	2,5
1000	1,5	1,5	2,5	2,5
1250	1,5	1,5	3,0	2,5
1600	1,5	1,5	3,5	2,5
2000	1,5	1,5	3,5	2,5
2500	1,5	1,5	3,5	2,5
3150	1,5	1,5	3,5	2,5

Da das Vorzeichen der Meßfehler  $\Delta x_i$  nicht bekannt ist, wird der Gesamtfehler letztlich abgeschätzt durch

$$|\Delta f| \leq \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right| \Delta x_i \quad (3)$$

Man kann sich leicht davon überzeugen, daß sich bei der Addition

$$f = \sum_i \pm x_i \quad |\Delta f| = \sum_i |\pm \Delta x_i| \quad (4)$$

die absoluten Fehler und bei der Multiplikation

$$f = \prod_i x_i \quad \left| \frac{\Delta f}{f} \right| = \sum_i \left| \frac{\Delta x_i}{x_i} \right| \quad (5)$$

sich die relativen Fehler addieren.

Zum nachfolgenden Gebrauch der Fehlerangaben im Pegelmaß (d. h. unter Befolgung der logarithmischen Rechenregeln) ist eine Vorbemerkung erforderlich. Sei  $x$  eine physikalische Meßgröße, behaftet mit einem Meßfehler  $\Delta x$ , so läßt sich der größt- bzw. kleinstmögliche wahre Wert  $y$  darstellen als

$$y = x \left( 1 \pm \frac{\Delta x}{x} \right) \quad (6)$$

Umgerechnet in Pegelmaß ergibt sich

$$\begin{aligned} 10 \log(y) &= 10 \log \left[ x \left( 1 \pm \frac{\Delta x}{x} \right) \right] \\ &= 10 \log(x) + 10 \log \left( 1 \pm \frac{\Delta x}{x} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

$$Y = X + \Delta X$$

Dabei wurden Großbuchstaben für die entsprechende Größe im Pegelmaß verwendet. Nachfolgend wird der Fall

$$\Delta x = 10 \log \left( 1 + \frac{\Delta x}{x} \right) \text{ betrachtet.}$$



### 3. Luftschallübertragung zwischen Räumen

#### 3.1 Frequenzabhängiges Modell

Um die Berechnungen nach diesem Modell durchführen zu können, ist eine Überführung der Laborwerte in in-situ-Werte erforderlich, in denen die je nach Einbausituation unterschiedlichen Körperschallnachhallzeiten eines Bauteils berücksichtigt werden. Dies geschieht für das Luftschalldämm-Maß  $R = -10 \log(\tau)$  durch

$$R_{\text{situ}} = R - 10 \log \frac{T_{\text{s,situ}}}{T_{\text{s,lab}}} \Leftrightarrow \tau_{\text{situ}} = \tau * \frac{T_{\text{s,situ}}}{T_{\text{s,lab}}} \quad (8)$$

$\tau$  wird auch Transmissionsfaktor genannt. Für den daraus resultierenden relativen Fehler ergibt sich damit

$$\frac{|\Delta \tau_{\text{situ}}|}{\tau_{\text{situ}}} = \frac{|\Delta \tau|}{\tau} + \left| \frac{\Delta T_{\text{s,situ}}}{T_{\text{s,situ}}} \right| + \left| \frac{\Delta T_{\text{s,lab}}}{T_{\text{s,lab}}} \right| \quad (9)$$

Dabei bedeuten  $R_{\text{situ}} = -10 \log(\tau_{\text{situ}})$  das Luftschalldämm-Maß in-situ,  $T_{\text{s,lab}}, T_{\text{s,situ}}$  die Körperschallnachhallzeiten des Bauteils im Labor bzw. in-situ; hier und nachfolgend kennzeichnet ein vorangestelltes  $\Delta$  die Unsicherheit der jeweiligen Meßgröße. Ebenso stehen kleine griechische Buchstaben für delogarithmierte Größen, die den akustischen Größen in dB entsprechen. Die Körperschallnachhallzeit in-situ ist nach [1] rechnerisch zu bestimmen.

Die mittlere Schnellepegeldifferenz in-situ ( $\overline{D_{v,ij,situ}} = 10 \log(\overline{\delta_{v,ij,situ}})$ ) wird nach [1] gemäß

$$\overline{D_{v,ij,situ}} = K_{ij} - 10 \log \frac{l_{ij} l_0}{\sqrt{S_i S_j}} - 10 \log \frac{\sqrt{T_{s,i,situ} T_{s,j,situ}}}{T_{s,ref}} \geq 0 \quad (10)$$

berechnet, wobei der Index  $i$  das angeregte, Index  $j$  das abstrahlende Element bezeichnet. Die mittlere Schnellepegeldifferenz wird in [1] als das arithmetische Mittel der Schnellepegeldifferenzen definiert, wenn einmal Element  $i$  und einmal Element  $j$  angeregt wurden. Daraus resultiert der relative Fehler

$$\frac{|\Delta \overline{D_{v,ij,situ}}|}{\overline{D_{v,ij,situ}}} = \frac{|\Delta \kappa_{ij}|}{\kappa_{ij}} + \left| \frac{\Delta l_{ij}}{l_{ij}} \right| + \frac{1}{2} \left| \frac{\Delta S_i}{S_i} \right| + \frac{1}{2} \left| \frac{\Delta S_j}{S_j} \right| + \frac{1}{2} \left| \frac{\Delta T_{s,i,situ}}{T_{s,i,situ}} \right| + \frac{1}{2} \left| \frac{\Delta T_{s,j,situ}}{T_{s,j,situ}} \right| \quad (11)$$

wobei  $K_{ij} = -10 \log(\kappa_{ij})$  das in [1] definierte normierte Stoßstellendämm-Maß (vibration reduction index),  $l_{ij}$  die Koppellänge,  $l_0$  die Referenzlänge (1 m),  $S_i, S_j$  die Fläche der  $i$ -ten bzw.  $j$ -ten Wand,  $T_{s,i,situ}, T_{s,j,situ}$  die Körperschallnachhallzeit des  $i$ -ten bzw.  $j$ -ten Elements in-situ sind.

Die Bestimmung der Direktdämmung  $R_{Dd} = -10 \log(\tau_{Dd})$  erfolgt nach

$$R_{Dd} = R_{s,situ} + dR_{D,situ} + dR_{d,situ} \quad (12)$$

mit dem Luftschalldämm-Maß der Trennwand in situ  $R_{s,situ} = -10 \log(\tau_{s,situ})$  und den Verbesserungsmaßen eventuell vorhandener Vorsatzschalen im Sendebereich ( $dR_{D,situ} = -10 \log(d\tau_{D,situ})$ ) und Empfangsraum ( $dR_{d,situ} = -10 \log(d\tau_{d,situ})$ ). Die Indices  $D, d$  und nachfolgend  $F, f$  benennen Sendebzw. Empfangsseite der Trennwand oder der flankierenden Wände. Für die Verbesserungsmaße der Vorsatzschalen in-situ sind als Näherung die entsprechenden Laborwerte anzusetzen. Für den Fehler folgt dann:

$$\frac{|\Delta \tau_{Dd}|}{\tau_{Dd}} = \frac{|\Delta \tau_{s,situ}|}{\tau_{s,situ}} + \left| \frac{\Delta d\tau_{D,situ}}{d\tau_{D,situ}} \right| + \left| \frac{\Delta d\tau_{d,situ}}{d\tau_{d,situ}} \right| \quad (13)$$

Das Flankendämm-Maß  $R_{ij} = -10 \log(\tau_{ij})$  wird nach

$$R_{ij} = \frac{R_{i,situ}}{2} + dR_{i,situ} + \frac{R_{j,situ}}{2} + dR_{j,situ} + \overline{D_{v,ij,situ}} + 10 \log \left( \frac{S_s}{\sqrt{S_i S_j}} \right) \quad (14)$$

berechnet, wobei der Index  $i$  die senderaumseitige Flanke und der Index  $j$  die empfangsraumseitige Flanke bezeichnet. Daraus folgt der Flankenübertragungsfehler

$$\frac{|\Delta \tau_{ij}|}{\tau_{ij}} = \frac{|\Delta \tau_{i,situ}|}{2 \tau_{i,situ}} + \left| \frac{\Delta d\tau_{i,situ}}{d\tau_{i,situ}} \right| + \frac{|\Delta \tau_{j,situ}|}{2 \tau_{j,situ}} + \left| \frac{\Delta d\tau_{j,situ}}{d\tau_{j,situ}} \right| + \frac{|\Delta \overline{D_{v,ij,situ}}|}{\overline{D_{v,ij,situ}}} + \left| \frac{\Delta S_s}{S_s} \right| - \left| \frac{\Delta S_i}{2 S_i} \right| - \left| \frac{\Delta S_j}{2 S_j} \right| \quad (15)$$

Da die Flächen der flankierenden Wände ( $S_i, S_j$ ), die zur Bestimmung der Schnellepegeldifferenz in Gleichung (10) verwendet wurden, in Gleichung (14) wieder herausgerechnet werden, werden die entsprechenden Fehlerterme aus Gleichung (15) durch das negative Vorzeichen in obiger Gleichung wieder ausgeglichen.

Der Transmissionsfaktor für die resultierende Luftschallübertragung von einem Raum in einen Nachbarraum  $\tau'$ , ergibt sich durch Summation der Transmissionsfaktoren der vorhandenen Übertragungswege

$$\tau' = \tau_{Dd} + \sum_{\text{flank. Wände}} \tau_{Fd} + \sum_{\text{flank. Wände}} (\tau_{Ff} + \tau_{Df}) \quad (16)$$

Dabei wurde die Luftschallübertragung durch Öffnungen in der Trennwand oder den flankierenden Wänden außer acht gelassen. Somit ergibt sich als Fehlerformel

$$|\Delta \tau'| = |\Delta \tau_{Dd}| + \sum_{\text{flank. Wände}} |\Delta \tau_{Fd}| + \sum_{\text{flank. Wände}} (|\Delta \tau_{Ff}| + |\Delta \tau_{Df}|) \quad (17)$$

oder durch relative Fehler ausgedrückt

$$|\Delta \tau'| = \frac{|\Delta \tau_{Dd}|}{\tau_{Dd}} \tau_{Dd} + \sum_{\text{flank. Wände}} \frac{|\Delta \tau_{Fd}|}{\tau_{Fd}} \tau_{Fd} + \sum_{\text{flank. Wände}} \left( \frac{|\Delta \tau_{Ff}|}{\tau_{Ff}} \tau_{Ff} + \frac{|\Delta \tau_{Df}|}{\tau_{Df}} \tau_{Df} \right) \quad (18)$$

Schätzt man die relativen Fehler durch deren Maximum

$$\frac{\Delta \tau'_{\text{max}}}{\tau'_{\text{max}}} = \max_{ij} \frac{|\Delta \tau_{ij}|}{\tau_{ij}} \quad \text{ab, folgt}$$

$$\frac{|\Delta \tau'|}{\tau'} \leq \frac{\Delta \tau'_{\text{max}}}{\tau'_{\text{max}}} \quad (19)$$

Der größte relative Fehler der einzelnen Transmissionsfaktoren bildet also eine obere Schranke für den gesamten Transmissionsfaktor.

#### 3.2 Vereinfachtes Modell

Das in [1] vorgesehene Modell folgt aus dem frequenzabhängigen Modell, wobei folgende Vereinfachungen vorgenommen werden:

- Es erfolgt keine frequenzabhängige Berechnung, es wird mit bewerteten Schalldämm-Maßen gerechnet.
- Es werden keine Körperschallnachhallzeitkorrekturen durchgeführt.

Daher ist die Fehlerrechnung auch weitgehend analog zu der des frequenzabhängigen Modells. Die bewertete Direktdämmung des trennenden Elements  $R_{Dd,w} = -10 \log(\tau_{Dd,w})$  wird nach

$$R_{Dd,w} = R_{s,w} + dR_{Dd,w} \quad (20)$$

mit dem bewerteten Schalldämm-Maß des trennenden Elements  $R_{s,w} = -10 \log(\tau_{s,w})$  und der Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes durch Vorsatzschalen auf der Sendebzw. Empfangsseite des trennenden Elements  $dR_{Dd,w} = -10 \log(d\tau_{Dd,w})$  berechnet. Somit ergibt sich als Fehlerformel

$$\frac{|\Delta \tau_{Dd,w}|}{\tau_{Dd,w}} = \frac{|\Delta \tau_{s,w}|}{\tau_{s,w}} + \left| \frac{\Delta d\tau_{Dd,w}}{d\tau_{Dd,w}} \right| \quad (21)$$

Die bewertete Flankendämmung  $R_{ij,w} = -10 \log(\tau_{ij,w})$  wird nach

$$R_{ij,w} = \frac{R_{i,w} + R_{j,w}}{2} + dR_{ij,w} + K_{ij} + 10 \log \left( \frac{S_s}{l_0 l_f} \right) \quad (22)$$

berechnet, wobei  $R_{i,w} = -10 \log(\tau_{i,w})$  für das Schalldämm-Maß des  $i$ -ten Elementes,  $dR_{ij} = 10 \log(d\tau_{ij})$  für die Verbesserung des Schalldämm-Maßes durch Vorsatzschalen auf den Elementen  $i$  und/oder  $j$  und  $l_i$  für die gemeinsame Kopplungslänge zwischen den Elementen  $i$  und  $j$  und den trennenden Element stehen. Es folgt daraus die Fehlerformel

$$\frac{\Delta \tau_{ij,w}}{\tau_{ij,w}} = \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta \tau_{i,w}}{\tau_{i,w}} + \frac{\Delta \tau_{j,w}}{\tau_{j,w}} \right) + \frac{\Delta d\tau_{ij,w}}{d\tau_{ij,w}} + \frac{\Delta \alpha_{ij}}{\alpha_{ij}} + \frac{\Delta S_s}{S_s} + \frac{\Delta l_i}{l_i} \quad (23)$$

Die Berechnung des bewerteten Schalldämm-Maßes erfolgt in Analogie zu Gleichung (16), so daß die Fehlerformeln (17–19) weiterhin gelten, wobei jeweils ein Index  $w$  für «bewertet» hinzuzufügen ist.

#### 4. Trittschallübertragung zwischen Räumen

##### 4.1 Frequenzabhängiges Modell

In diesem Modell sind, in Analogie zur Luftschallübertragung, der Norm-Trittschallpegel  $L_n = 10 \log(\lambda_n)$  gemäß

$$L_{n,situ} = L_n + 10 \log \left( \frac{T_{s,situ}}{T_{s,lab}} \right) \quad (24)$$

mit der Fehlerformel

$$\frac{\Delta \lambda_{n,situ}}{\lambda_{n,situ}} = \frac{\Delta \lambda_n}{\lambda_n} + \frac{\Delta T_{s,situ}}{T_{s,situ}} + \frac{\Delta T_{s,lab}}{T_{s,lab}} \quad (25)$$

und die Schalldämm-Maße gemäß Gleichung (8) und der zugehörigen Fehlergleichung (9) in in-situ-Werte umzurechnen. Dabei steht  $L_{n,situ} = 10 \log(\lambda_{n,situ})$  für den Norm-Trittschallpegel in-situ.

Die Fehlerrechnung für die Ermittlung der mittleren Schnellepegeldifferenz wurde bereits oben (Gleichungen 10–11) dargestellt. Für die Bestimmung des Norm-Trittschallpegels für Direktübertragung  $L_{n,d} = 10 \log(\lambda_{n,d})$  gilt:

$$L_{n,d} = L_{n,situ} - dL_{situ} - dL_{d,situ} \quad (26),$$

wobei  $dL_{situ} = 10 \log d\lambda_{situ}$ , bzw.  $dL_{n,situ} = 10 \log d\lambda_{d,situ}$  für die Verbesserung des Norm-Trittschallpegels durch Deckenauflagen (schwimmender Estrich oder Bodenbelag) bzw. Unterdecken auf der empfangsraumseitigen Fläche des trennenden Bauteils steht. Es folgt die Fehlerformel:

$$\frac{\Delta \lambda_{n,d}}{\lambda_{n,d}} = \frac{\Delta \lambda_{n,situ}}{\lambda_{n,situ}} + \frac{\Delta d\lambda_{situ}}{d\lambda_{situ}} + \frac{\Delta d\lambda_{d,situ}}{d\lambda_{d,situ}} \quad (27).$$

Für den Norm-Trittschallpegel für die Flankenübertragung  $L_{n,ij} = 10 \log \lambda_{n,ij}$  gilt:

$$L_{n,ij} = L_{n,situ} - dL_{situ} + \frac{R_{i,situ} - R_{j,situ}}{2} - dR_{j,situ} - \overline{D_{v,ij,situ}} - 10 \log \sqrt{\frac{S_i}{S_j}} \quad (28),$$

wobei sich die Indizes  $i$  bzw.  $j$  auf den Boden bzw. die jeweilige flankierende Wand beziehen. Somit folgt für den Fehler

$$\frac{\Delta \lambda_{n,ij}}{\lambda_{n,ij}} = \frac{\Delta \lambda_{n,situ}}{\lambda_{n,situ}} + \frac{\Delta d\lambda_{situ}}{d\lambda_{situ}} + \frac{\Delta \tau_{i,situ}}{2\tau_{i,situ}} + \frac{\Delta \tau_{j,situ}}{2\tau_{j,situ}} + \frac{\Delta d\tau_{i,situ}}{d\tau_{i,situ}} + \frac{\Delta \overline{\delta_{v,ij,situ}}}{\overline{\delta_{v,ij,situ}}} - \frac{\Delta S_i}{2S_i} + \frac{\Delta S_j}{2S_j} \quad (29)$$

Dabei wurde der relative Fehler für die Deckenfläche mit einem negativen Vorzeichen versehen, da dieser Term den entsprechenden Flächenterm in der Bestimmung der mittleren Schnellepegeldifferenz kompensiert.

Der gesamte Norm-Trittschallpegel im Empfangsraum ergibt sich zu

$$L'_n = \begin{cases} 10 \log \left( 10^{L_{n,c}/10} + \sum_{j=1}^n 10^{L_{n,w}/10} \right) & \text{im Falle vertikaler Übertragung} \\ 10 \log + \sum_{j=1}^n 10^{L_{n,w}/10} & \text{im Falle horizontaler Übertragung.} \end{cases} \quad (30)$$

Somit erhält man die Fehlerformel

$$|\Delta \lambda'_n| = \begin{cases} |\Delta \lambda_{n,d} + \sum_{j=1}^n \Delta \lambda_{n,ij}| & \text{im Falle vertikaler Übertragung} \\ \sum_{j=1}^n \Delta \lambda_{n,ij} & \text{im Falle horizontaler Übertragung.} \end{cases} \quad (31)$$

Mit den analogen Umformungen zu der Gleichung (18) läßt sich auch hier der relative Gesamtfehler durch

$$\frac{|\Delta \lambda'_n|}{\lambda'_n} \leq \max_{ij} \left\{ \frac{|\Delta \lambda_{n,d}|}{\lambda_{n,d}}, \frac{|\Delta \lambda_{n,ij}|}{\lambda_{n,ij}} \right\} \quad (32)$$

abschätzen, wobei im Falle der horizontalen Übertragung der

Term  $\frac{|\Delta \lambda_{n,d}|}{\lambda_{n,d}}$  entfällt.

##### 4.2 Vereinfachtes Modell

Nach dem vereinfachten Modell ergibt sich der bewertete Norm-Trittschallpegel  $L'_{n,w} = 10 \log \lambda'_{n,w}$  für die vertikale Übertragung zu

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - dL_w + K \quad (33)$$

mit dem bewerteten Norm-Trittschallpegel

$L_{n,w,eq} = 10 \log \lambda_{n,w,eq}$  des Bodens, dem Trittschallverbesserungsmaß  $dL_w = 10 \log \lambda_w$  durch Deckenauflagen und einem tabellierten Korrekturterm  $K$  für die Flankenübertragung. Auf die horizontale Übertragung ist dieses Modell nicht anwendbar. Es folgt die Fehlerformel

$$\frac{\Delta \lambda'_{n,w}}{\lambda'_{n,w}} = \frac{\Delta \lambda_{n,w,eq}}{\lambda_{n,w,eq}} + \frac{\Delta d\lambda_w}{d\lambda_w} + \frac{\Delta K}{K} \quad (34).$$

#### 5. Beispielfehlerrechnung

Für die Beispielrechnung wird von zwei benachbarten, quaderförmigen Räumen ausgegangen, bei denen sämtliche Wände einschließlich Boden und Decke aus identischem monolithischen Material bestehen. Die Grundfläche mißt  $4 \times 4 \text{ m}^2$ , die Höhe beträgt  $2,5 \text{ m}$ . Sämtliche Stoßstellen sind Kreuzstöße. Vorsatzschalen und trittschalldämmende Deckenauflagen sind nicht vorhanden. Für die Ungenauigkeit der Schalldämm-Maße und Norm-Trittschallpegel werden die Vergleichsgrenzen für Laborversuche aus Tabelle 1 zugrunde gelegt [9]. Sofern nichts anderes beschrieben wird, beziehen sich die Berechnungen auf eine Terzmittenfrequenz von  $1000 \text{ Hz}$ .

##### 5.1 Fehler der Berechnung der in-situ-Werte

Der Fehler der Berechnung der in-situ-Werte des Schalldämm-Maßes erfolgt nach Gleichung (9), der des Norm-Trittschallpegels nach Gleichung (25). Wird für die Ungenauigkeit der Berechnung der Körperschallnachhallzeit in-situ bzw. der Messung im Labor jeweils  $10\%$  angenommen (was angesichts vorliegender Erfahrungen eher als zu gering betrachtet wird), ergibt sich ein Fehler der in-situ-Werte des Schalldämm-Maßes und des Norm-Trittschallpegels von  $3,0 \text{ dB}$ .

##### 5.2 Fehler der Berechnung der mittleren Schnellepegeldifferenz

Der Fehler der mittleren Schnellepegeldifferenz wird nach Gleichung (11) bestimmt. Eine Meßvorschrift zur Bestimmung der Stoßstellendämmung liegt noch nicht vor, so daß dazu auch keine Erfahrungen zur erreichbaren Genauigkeit vorlie-

**Tabelle 2:** Berechnung der Unsicherheit des Schalldämm-Maßes  $\Delta R'$  in Abhängigkeit von der Terz-Mittenfrequenz (alle Angaben in dB)

Terz	[Hz]	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
$R_{Dd}$		33,0	36,0	39,0	42,0	45,0	48,0	51,0	52,0	53,0	54,0	55,0	56,0	56,0	56,0	56,0	56,0
$\Delta R_{Dd}$		9,1	8,6	6,2	5,7	5,7	4,8	4,8	4,3	3,9	3,4	3,0	3,4	3,9	3,9	3,9	3,9
$\Delta R_{Dd, situ}$		9,2	8,7	6,3	5,8	5,8	4,9	4,9	4,5	4,1	3,6	3,2	3,6	4,1	4,1	4,1	4,1
$R_{SEITEseite}$		47,7	52,5	55,5	58,5	61,5	64,5	67,5	68,5	69,5	70,5	71,5	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5
$\Delta R_{SEITEseite}$		9,3	8,8	6,5	6,1	6,1	5,2	5,2	4,8	4,4	4,0	3,6	4,0	4,4	4,4	4,4	4,4
$\Delta R_{SEITEseite, situ}$		9,4	8,9	6,7	6,3	6,3	5,5	5,5	5,1	4,7	4,3	4,0	4,3	4,7	4,7	4,7	4,7
$R_{SEITE, R_{Dd}seite}$		47,7	52,5	55,5	58,5	61,5	64,5	67,5	68,5	69,5	70,5	71,5	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5
$\Delta R_{SEITE, \Delta R_{Dd}seite}$		9,1	8,6	6,3	5,8	5,8	4,9	4,9	4,4	4,0	3,5	3,1	3,5	4,0	4,0	4,0	4,0
$\Delta R_{SEITE, situ, \Delta R_{Dd}seite, situ}$		9,2	8,8	6,5	6,0	6,0	5,2	5,2	4,7	4,3	3,9	3,5	3,9	4,3	4,3	4,3	4,3
$R_{BODENboden}$		45,7	48,7	51,7	54,7	57,7	60,7	63,7	64,7	65,7	66,7	67,7	68,7	68,7	68,7	68,7	68,7
$\Delta R_{BODENboden}$		9,3	8,8	6,5	6,1	6,1	5,2	5,2	4,8	4,4	4,0	3,6	4,0	4,4	4,4	4,4	4,4
$\Delta R_{BODENboden, situ}$		9,4	8,9	6,7	6,3	6,3	5,5	5,5	5,1	4,7	4,3	4,0	4,3	4,7	4,7	4,7	4,7
$R_{BODEN, R_{Dd}boden}$		45,7	48,7	51,7	54,7	57,7	60,7	63,7	64,7	65,7	66,7	67,7	68,7	68,7	68,7	68,7	68,7
$\Delta R_{BODEN, \Delta R_{Dd}boden}$		9,1	8,6	6,3	5,8	5,8	4,9	4,9	4,4	4,0	3,5	3,1	3,5	4,0	4,0	4,0	4,0
$\Delta R_{BODEN, situ, \Delta R_{Dd}boden, situ}$		9,2	8,8	6,5	6,0	6,0	5,2	5,2	4,7	4,3	3,9	3,5	3,9	4,3	4,3	4,3	4,3
$R'$		31,2	34,4	37,4	40,4	43,4	46,4	49,4	50,4	51,4	52,4	53,4	54,4	54,4	54,4	54,4	54,4
$\Delta R'$		9,2	8,7	6,4	5,9	5,9	5,0	5,0	4,6	4,2	3,7	3,4	3,7	4,2	4,2	4,2	4,2

**Tabelle 3:** Unsicherheit der Berechnung des Norm-Trittschallpegels für vertikale und horizontale Übertragung (alle Angaben in dB)

Terz	$\Delta L_{n, iseite}$	$\Delta L_{n, iboden}$	$\Delta L_n$	$\Delta L_{n, situ}$	$\Delta R_{i, situ}$	$\Delta R_{j, situ}$	$L_{d, situ}$	$R_{x, situ}$	$L'_n(vert)$	$L'_n(horiz)$	$\Delta L'_n(vert)$	$\Delta L'_n(horiz)$
100	10,2	10,3	5,0	5,3	9,2	9,2	65,0	33	66,9	59,3	10,3	7,7
125	9,5	9,6	4,0	4,3	8,7	8,7	64,9	36	66,8	59,2	9,6	6,9
160	7,2	7,4	3,0	3,4	6,3	6,3	65,1	39	67,0	59,4	7,3	5,1
200	6,8	7,0	3,0	3,4	5,8	5,8	65,0	42	66,9	59,3	6,9	4,9
250	6,8	7,0	3,0	3,4	5,8	5,8	64,9	45	66,8	59,2	6,9	4,9
315	6,1	6,4	3,0	3,4	4,9	4,9	64,9	48	66,8	59,3	6,2	4,6
400	6,1	6,4	3,0	3,4	4,9	4,9	65,1	51	66,9	59,4	6,2	4,6
500	5,6	5,9	2,5	3,0	4,5	4,5	67,0	52	68,8	61,3	5,7	4,1
630	5,2	5,6	2,5	3,0	4,1	4,1	69,0	53	70,9	63,3	5,4	3,9
800	4,9	5,2	2,5	3,0	3,6	3,6	71,1	54	73,0	65,4	5,0	3,7
1000	4,6	5,0	2,5	3,0	3,2	3,2	73,0	55	74,9	67,3	4,8	3,6
1250	4,9	5,2	2,5	3,0	3,6	3,6	74,9	56	76,8	69,2	5,0	3,7
1600	5,2	5,6	2,5	3,0	4,1	4,1	78,1	56	80,0	72,4	5,4	3,9
2000	5,2	5,6	2,5	3,0	4,1	4,1	81,0	56	82,9	75,3	5,4	3,9
2500	5,2	5,6	2,5	3,0	4,1	4,1	83,9	56	85,8	78,2	5,4	3,9
3150	5,2	5,6	2,5	3,0	4,1	4,1	85,9	57	87,8	78,5	6,7	3,9
<b>Einzahlwert</b>							67,6		69,5	61,9	3,1	2,3

gen. Wird die Stoßstellendämmung nach Gleichung (E3) im Annex E von [1] berechnet und eine Ungenauigkeit der Wanddicke von 5% und der Wanddicke von 1,5% angenommen, so erhält man für durchgehende Übertragung im Kreuzstoß bei gleichen Flächenmassen der Wände 1,0 dB Ungenauigkeit, für die Übertragung um die Ecke 0 dB. Wird ferner eine Genauigkeit der Längenmessung von 2% und daraus folgend eine Genauigkeit der Flächenbestimmung von 4% sowie 10% Ungenauigkeit der Bestimmung der Körperschallnachhallzeiten angenommen, so ergibt sich eine Unsicherheit der mittleren Schnellepegeldifferenz von 1,7 dB im Falle der durchgehenden Übertragung und 0,9 dB im Falle der Übertragung um die Ecke.

### 5.3 Fehler der Flankendämmung

Die Größe der Fehler des Flankendämm-Maßes bzw. des Norm-Trittschallpegels für die flankierende Übertragung wird nach Gleichung (15), bzw. (29) berechnet. Legt man die zuvor genannten Unsicherheiten zugrunde, ergeben sich Fehler von 4,7 dB für die Flankendämmung durch den Kreuzstoß bzw.

4,3 dB für die Flankendämmung um die Ecke. Für die Flankenübertragung des Norm-Trittschallpegels lauten die entsprechenden Werte 5,4 dB bzw. 5,1 dB.

### 5.4 Gesamtfehler nach detailliertem und vereinfachtem Modell

Faßt man die Einzelergebnisse der detaillierten Modelle zusammen, ergeben sich die in Tabellen 2 und 3 dargestellten Gesamtfehler für die Luft- bzw. Trittschallübertragung. Dabei wurden die Formeln (17) und (31) angewandt. Im Falle des Schalldämm-Maßes beträgt der Fehler bei 1000 Hz 3,4 dB. Die numerische Berechnung liefert einen Fehler des Einzahlwertes von 2,5 dB. Für die Trittschallübertragung ergeben sich 3,6 bzw. 4,8 dB Fehler des Norm-Trittschallpegels für horizontale bzw. vertikale Übertragung. Die entsprechenden Einzahlwerte liegen bei 2,3, bzw. 3,1 dB. Die Berechnung des Fehlers des bewerteten Schalldämm-Maßes ist in Tabelle 4 dargestellt. Er beträgt unter den gleichen Randbedingungen 2,4 dB. Für den bewerteten Norm-Trittschallpegel ergibt sich nach Gleichung (34) ein Wert von 2,8 dB für die vertikale Übertragung.

**Tabelle 4:** Berechnung der Unsicherheit des bewerteten Schalldämm-Maßes nach dem vereinfachten Modell (alle Angaben in dB)

$R_{dd}$	52,0	$\Delta R_{dd}$	2,3
$R_{SEITEseite}$	66,7	$\Delta R_{SEITEseite}$	3,0
$R_{Dseite} \cdot R_{SEITEed}$	66,7	$\Delta R_{Dseite} \cdot \Delta R_{SEITEed}$	2,5
$R_{BODENboden}$	64,7	$\Delta R_{BODENboden}$	3,0
$R_{Dboden} \cdot R_{BODENd}$	64,7	$\Delta R_{Dboden} \cdot \Delta R_{BODENd}$	2,5
$R'$	50,2	$\Delta R'$	2,4

Für die horizontale Trittschallübertragung liegt kein vereinfachtes Modell vor.

Sowohl die detaillierten Modelle als auch die vereinfachten Modelle liefern für den Fehler des bewerteten Schalldämm-Maßes bzw. des Norm-Trittschallpegels nahezu gleiche Werte. Die Abweichungen der nach den verschiedenen Modellen berechneten bewerteten Schalldämm-Maße bzw. Norm-Trittschallpegel liegen innerhalb der Fehlergrenzen.

## 6. Zusammenfassung

Selbst unter optimistischen Annahmen bezüglich der Größe der auftretenden Fehler zeigt die Fehlerrechnung, daß in den frequenzabhängigen Modellen in den einzelnen Terzbändern erhebliche Abweichungen – größer 5 dB – für die berechnete Luft- bzw. Trittschalldämmung zu erwarten sind. Nach einer numerischen Berechnung, die von der statistischen Unabhängigkeit der einzelnen Terzwerte ausging, betrug die erwartete Abweichung 2,5 dB für das bewertete Schalldämm-Maß bzw. 2,2 dB für den bewerteten Norm-Trittschallpegel. Die vereinfachten Modelle liefern geringfügig bessere Fehlerwerte (2,3 dB bzw. 2,0 dB). Dies ist im wesentlichen darauf zurückzuführen, daß weniger Parameter in der Fehlerrechnung zu berücksichtigen sind und daher auch weniger Parameter zum Gesamtfehler beitragen. In den gerechneten Beispielen zeigte sich im Rahmen der Fehlergrenzen keine Abweichung der Einzelschallwerte, die nach dem detaillierten bzw. vereinfachten Modell berechnet wurden.

Bei der Durchführung der Fehlerrechnung wird unterstellt, daß die Modelle die physikalischen Prozesse richtig beschreiben. Eine Fehlerbetrachtung kann nicht die Korrektheit eines Modells verifizieren. Die gute Übereinstimmung der Vorhersagen von frequenzabhängigem und vereinfachtem Modell bei der Luftschalldämmung ist ein starkes Indiz, daß in einfachen Fällen beide Verfahren zu den gleichen Ergebnissen führen. Im

Falle der Trittschalldämmung war die Übereinstimmung weniger gut. Es sind allerdings noch weitere Fälle zu untersuchen, ehe eine abschließende Aussage getroffen werden kann.

## Literatur

- [1] Dokument CEN/TC126/WG2 N111: Building Acoustics – Estimation of acoustic Performance of Buildings from the performing of products, Part 1: Airborne sound insulation between Rooms; 7. draft, January 1994.
- [2] Dokument CEN/TC126/WG2 N112: Building Acoustics – Estimation of acoustic Performance of Buildings from the performing of products, Part 2: Impact sound insulation between Rooms; 6. draft, January 1994.
- [3] Gerretsen, E.: Europäische Entwicklungen zur Prognose des Schallschutzes in Bauten. wksb Zeitschrift für Wärmeschutz, Kälteschutz, Schallschutz, Brandschutz, Neue Folge, Heft 34 (1994.) S. 1–9
- [4] DIN 52210 Bauakustische Prüfungen: Luft- und Trittschalldämmung, Teil 1, Meßverfahren, August 1984.
- [5] DIN 52210 Bauakustische Prüfungen: Luft- und Trittschalldämmung, Teil 2, Prüfstände für Schalldämm-Messungen an Bauteilen, August 1984.
- [6] ISO 140/1–1978: Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Requirements for laboratories (1985) z.Zt. in Überarbeitung.
- [7] ISO 140/3–1978: Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 3: Laboratory measurements of airborne insulation of building elements (1985) z.Zt. in Überarbeitung.
- [8] ISO 140/4–1978: Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms (1985) z.Zt. in Überarbeitung.
- [9] DIN EN 20140 Messung der Schalldämmung in Gebäuden und an Bauteilen, Teil 2: Angaben von Genauigkeitsanforderungen, März 1993.

## **Anhang D**

**Demoprogramm zu den Rechenverfahren zur Luft- und Trittschallübertragung**

- 1. Kurzbedienungsanleitung**
- 2. Hilfetexte**
- 3. Bildschirmkopien**

Anhang D1

Kurzbedienungsanleitung

# Fraunhofer-Institut für Bauphysik

## KURZBEDIENUNGSANLEITUNG

Dieses Programm wurde erstellt, um zu zeigen, wie eine Berechnung der Luft- bzw. Trittschallübertragung nach dem frequenzabhängigen Modell der Arbeitsgruppe 2 des Technischen Komitees 126 des CEN erfolgen könnte. Das Programm ist in der vorliegenden Form nicht zum kommerziellen Einsatz in der Beratung gedacht. Daher wurden wesentliche Funktionen, wie Drucker- ausgabe der Ergebnisse oder Ergänzbarkeit des Bauteilekataloges, nicht implementiert. Außerdem wurde die Gebäudegeometrie auf zwei horizontal oder vertikal benachbarte Quaderräume beschränkt. Eine Garantie oder Haftung für die Ergebnisse der Berechnungen mit diesem Programm wird nicht übernommen. Die Arbeiten an diesem Programm wurden vom Deutschen Institut für Bautechnik finanziert.

### **1. Projekte erstellen**

Erstellen Sie zunächst mit dem Windows-Dateimanager ein neues Projektverzeichnis, sinnvollerweise unter C:\CENPROG\PROJEKTE. Nach dem Start des Programms wählen Sie "Projekt - Neu". Tragen Sie im Feld "Projektbezeichnung" ein Kürzel für das Projekt ein. Im Feld "Projektmemo" können Sie eine Beschreibung zum Projekt eingeben. Wenn Sie fertig sind, drücken Sie "OK". Sichern Sie das Projekt, indem Sie "Projekt - Speichern unter" wählen. Wählen Sie in dem Dialogfenster "Datei speichern unter" das

zuvor erstellte Verzeichnis und vergeben einen Dateinamen. Wählen Sie "OK", damit die Projektdateien erstellt werden. Die Comboboxen "Geometrie-Datensatz", "Stoßstellen-Datensatz" und "Bauteile-Datensatz" dienen der Auswahl von existierenden Datensätzen (s. Ziffer 7).

## **2. Geometriedaten eingeben**

Wählen Sie "Bearbeiten - Geometrie". Im Feld "Datensatz" geben Sie einen Namen für den Geometriedatensatz ein. Der Name kann 255 Zeichen lang sein. Wählen Sie "vertikal" oder "horizontal" für die Richtung der Schallausbreitung. Geben Sie anschließend die Maße von Sende- und Empfangsraum ein. Drücken Sie "Speichern", um den Geometriedatensatz zu sichern. Es ist nicht möglich, einen Dateinamen zu vergeben, da dieser vom Programm generiert wird; die Auswahl der Datensätze erfolgt über den Text im Feld "Datensatz". Schließen Sie das Fenster durch Drücken von "OK".

## **3. Stoßstellen zuordnen**

Wählen Sie "Bearbeiten - Stoßstellen". Im Fenster "Grafik" sehen sie eine perspektifische Darstellung der Räume. Mit dem Schieber "Maßstab" können Sie die Abbildungsgröße verändern. Die gewählte Stoßstelle ist durch eine rote Linie gekennzeichnet. Im Fenster "Orientierung der Stoßstelle" ist die Lage der Stoßstelle dargestellt. Geben Sie im Feld "Datensatz" einen Namen ein. Der Name kann 255 Zeichen lang sein.

Mit den roten Pfeilen nach oben bzw. unten können Sie eine Stoßstelle auswählen. Mit den schwarzen Pfeilen können Sie in der Datenbank blättern. Durch Drücken des roten Pfeils nach links ordnen Sie der Stoßstelle den aktuellen Datensatz aus der Datenbank zu. Drücken Sie "Speichern", um den Stoßstellendatensatz zu sichern. Es ist nicht möglich, einen Dateinamen zu



vergeben, da dieser vom Programm generiert wird. Die Auswahl der Datensätze erfolgt über den Text im Feld "Datensatz". Schließen sie das Fenster durch Drücken von "OK".

#### **4. Zuordnen der Luftschalleigenschaften der Bauteile**

Wählen Sie "Bearbeiten - Bauteile - Luftschall". Das Bearbeiten der Luftschalleigenschaften der Bauteile geschieht in Analogie zu der Zuordnung der Stoßstellen.

Mit den vier roten Pfeilen wählen Sie das Bauteil aus. Es wird im Fenster "Grafik" durch eine blaue Umrandung angezeigt. Orte, an denen sich keine für die Berechnung wichtigen Bauteile befinden können, sind in der Tabelle durch "###" gekennzeichnet. Mit den schwarzen Pfeilen blättern Sie durch die Datenbanken. Die Luftschalleigenschaften der Bauteile werden mit der großen "roter-Pfeil-nach-links"-Taste zugeordnet.

Im Feld "Datensatz" geben Sie einen Namen ein. Der Namen kann 255 Zeichen lang sein. Durch Drücken der Taste "Speichern" sichern Sie den Datensatz. Mit "OK" verlassen Sie das Fenster.

#### **5. Zuordnen der Trittschalleigenschaften der Bauteile**

Wählen Sie "Bearbeiten - Bauteile - Trittschall". Mit den schwarzen Pfeilen blättern Sie in den Datenbanken für die jeweiligen Bauteile. Die angezeigten Bauteile sind schon zugeordnet.

Im Feld "Datensatz" steht der Name für den Bauteildatensatz. Er ist immer gleich dem für die Luftschalleigenschaften der Bauteile. Mit "Speichern" sichern Sie den Datensatz, mit "OK" verlassen Sie das Fenster.

## 6. Durchführen der Berechnungen

Wählen Sie "Verfahren". In dem Pop-up-Menü wählen Sie die Berechnungen ("Luftschall" und/oder "Trittschall"), die Sie durchführen wollen. Vor dem gewählten Verfahren erscheint ein  $\checkmark$ .

Wählen Sie danach "Starte Berechnung". Es erscheint das Fenster "Berechnung". Die grauen x zeigen den Fortschritt der Berechnung an. Fehlende Kreuze weisen auf unvollständige Datensätze hin; neben "Fehler" erscheint dann ein Punkt.

Drücken Sie "Weiter" und Sie erhalten die Ergebnisse angezeigt. Mit "Luftschalldämmung"/"Trittschalldämmung" können Sie zwischen den Ergebnissen hin- und herschalten. Nach Doppelklick auf einen Punkt in der Grafik erscheint eine Sprechblase mit dem Rechenwert und der Frequenz. Anhand dieser Werte können Sie in der Tabelle den zugehörigen Übertragungsweg ermitteln. Mit "OK" schließen Sie das Fenster.

## 7. Auswahl von Datensätzen

Die Auswahl der Datensätze erfolgt im Menüpunkt "Projektinfo"

In der Combobox "Geometrie-Datensatz" wird der derzeit gewählte Geometriedatensatz angezeigt. Durch Anklicken eines anderen Geometriedatensatzes können Sie eine andere Geometrie auswählen. Stoßstellen- und Bauteileanordnung werden dabei nicht verändert.

In der Combobox "Stoßstellen-Datensatz" wird der derzeit gewählte Stoßstellendatensatz angezeigt. Durch Anklicken eines anderen Stoßstellendatensatzes können Sie eine andere Stoßstellenanordnung auswählen. Geometrie und Bauteileanordnung werden dabei nicht verändert.

In der Combobox "Bauteile-Datensatz" wird die derzeit gewählte Bauteildatensatz angezeigt. Durch Anklicken eines anderen Bauteildatensatzes können Sie eine andere Bauteileanordnung auswählen. Geometrie und Stoßstellenanordnung werden dabei nicht verändert.

Das Fenster wird durch Anklicken des Schalters "OK" geschlossen.

## **8. Weitere Funktionen**

Zu den weiteren Funktionen.

- Erstellen eines neuen Geometrie-Datensatzes
- Erstellen eines neuen Stoßstellen-Datensatzes
- Erstellen eines neuen Bauteile-Datensatzes
- Laden eines Projektes
- Bearbeiten der Datensätze
- Fehlermeldungen

lesen Sie bitte die entsprechenden Hilfetexte.

Anhang D2

Hilfetexte

## Allgemeine Information zum Programm

Dieses Programm wurde erstellt, um zu zeigen, wie eine Berechnung der Luft- bzw. Trittschallübertragung nach dem frequenzabhängigen Modell der Arbeitsgruppe 2 des Technischen Komitees 126 des CEN erfolgen könnte. Das Programm ist nicht zum Einsatz in der Beratung gedacht. Daher wurden wesentliche Funktionen, wie Druckerausgabe der Ergebnisse oder Ergänzbarkeit des Bauteilekataloges, nicht implementiert. Außerdem wurde die Gebäudegeometrie auf zwei horizontal oder vertikal benachbarte Quaderräume beschränkt. Eine Garantie oder Haftung für die Ergebnisse der Berechnungen mit diesem Programm wird nicht übernommen.

Die Arbeiten an diesem Programm wurden vom Deutschen Institut für Bautechnik finanziert.

## Projektmenu

Im Menu **Projekt** werden alle Funktionen zur Projektverwaltung angeboten. Sie umfassen das Laden und Speichern eines Projektes, das Erstellen eines neuen Projektes, Anzeige von projektspezifischen Informationen und das Beenden des Programms. Die Druckerausgabe und das Speichern des Projektes sind in dieser Demoversion nicht durchgehend realisiert

Laden

Speichern

Speichern unter

Neu

Drucken

Drucker einrichten

Beenden

## Laden eines Projektes

Das Laden eines Projekts erfolgt im Menüpunkt

**Projekt**

**Laden**

Im Fenster **Datei-öffnen** kann durch Anklicken der Verzeichnis-, Laufwerks- und Dateiname eine Projektdatei zum Öffnen gewählt werden. Das Öffnen geschieht durch Doppelklick auf den Dateinamen oder Anklicken des Schalters OK.

Danach werden die Projektinformationsdateien (Projekt-, Geometrie-, Stoßstellen- und Bauteilebeschreibungen) gelesen.

## Speichern eines Projektes

Das Speichern eines Projekts erfolgt im Menüpunkt

**Projekt**

**Speichern**

Im Fenster **Datei-speichern** kann durch Anklicken der Verzeichnis-, Laufwerks- und Dateinamen einer Projektdatei zum Speichern gewählt werden.

Das Speichern erfolgt durch Eingeben eines Dateinamens und anschließendes Anklicken des Schalters OK.

Es wird empfohlen, vor dem Speichern mit dem Windows-Dateimanager ein neues Projektverzeichnis anzulegen und darin das Projekt zu speichern. Bei mehreren Projekten in einem Verzeichnis können inkonsistente Datensätze entstehen.

Danach werden die Projektinformationsdateien (Projekt-, Geometrie-, Stoßstellen- und Bauteilebeschreibungen) gespeichert.



## Erstellen eines neuen Projektes

Das Erstellen eines neuen Projektes erfolgt im Menüpunkt

**Projekt**

**Neu**

Es erscheint das Fenster **Projektinformation**. Dort können Sie eine Projektkurzbezeichnung und eine Projektmemo eintragen.

Das Fenster wird durch Anklicken des Schalters OK geschlossen.

Es wird empfohlen, das Projekt sofort zu speichern. Erst nach Vergabe eines Namens für die Projektdatei werden die Projekt-, Geometrie-, Stoßstellen- und Bauteiledaten zuverlässig gespeichert.

## Informationen über ein Projekt

Informationen über ein Projekt werden im Menüpunkt

### **Projekt**

#### **Info**

dargeboten. Ferner können unter diesem Menüpunkt verschiedene zum Projekt gehörende Geometrien, Stoßstellen- und Bauteileanordnungen ausgewählt werden.

Nach Auswahl von Info erscheint das Fenster **Projektinformation**. Dort können Sie die Projektkurzbezeichnung und eine Projektmemo bearbeiten.

In der Combobox **Geometrie-Datensatz** wird der derzeit gewählte Geometriedatensatz angezeigt. Durch Auswahl eines anderen Geometriedatensatzes können Sie eine andere Geometrie auswählen. Stoßstellen- und Bauteileanordnung werden dabei nicht verändert.

In der Combobox **Stoßstellen-Datensatz** wird der derzeit gewählte Stoßstellendatensatz angezeigt. Durch Auswahl eines anderen Stoßstellendatensatzes können Sie eine andere Stoßstellenanordnung auswählen. Geometrie und Bauteileanordnung werden dabei nicht verändert.

In der Combobox **Bauteile-Datensatz** wird die derzeit gewählte Bauteildatensatz angezeigt. Durch Auswahl eines anderen Bauteildatensatzes können Sie eine andere Bauteileanordnung auswählen. Geometrie und Stoßstellenanordnung werden dabei nicht verändert.

Das Fenster wird durch Anklicken des Schalters OK geschlossen.

## Drucker einrichten

Die Einrichtung eines Druckers erfolgt im Menüpunkt

### **Projekt**

#### **Druckereinrichtung**

Im Fenster **Druckereinrichtung** kann im Kasten **Drucker** ein Drucker für den Ausdruck gewählt werden. Im Kasten **Format** kann der Ausdruck auf Hoch- oder Querformat eingestellt werden. Unter **Papier** kann die Papiergröße und der -einzug gewählt werden. Weitere druckerherstellerabhängige Einstellungen erfolgen über den Schalter **Optionen**.

## **Programm beenden**

Das Beenden des Programms erfolgt im Menüpunkt

**Projekt**

**Beenden**

Eine Überprüfung, ob alle geänderten Daten gesichert sind, erfolgt nicht.

## Bearbeitenmenu

Im Menu **Bearbeiten** werden die Funktionen zum Erstellen, Verändern und Speichern der Geometrie-, Stoßstellen- und Bauteiledaten angeboten.

Geometrie

Stoßstellen

Bauteile

## Geometrie bearbeiten

Das Bearbeiten der Geometrie erfolgt im Menüpunkt

### **Bearbeiten**

#### **Geometrie**

Im Fenster **Geometrie** kann im Feld **Datensatz** eine verbale Beschreibung der geometrischen Gegebenheiten erfolgen. Dieser Datensatzname kann bis zu 255 Zeichen lang sein und wird im Fenster **Projektinfo** zur Festlegung der aktiven Geometrie benutzt. Eine Überprüfung auf doppelte Datensatznamen oder Datensätze erfolgt nicht.

In Feld **Schallausbreitung** wird festgelegt, ob die Räume horizontal nebeneinander oder vertikal übereinander liegen. Die Festlegung geschieht durch Anklicken des entsprechenden Radioknopfes. Entsprechend der Lage der Räume wird die Schallausbreitung berechnet.

Die Abmessungen der Räume werden in den Feldern **Senderraum** und **Empfangsraum** eingegeben. Bei horizontaler Schallausbreitung ist die Trennwand der Räume durch Länge und Höhe bestimmt, bei vertikaler Ausbreitung durch Länge und Tiefe. Die Angaben in den Feldern **Länge**, **Tiefe** und **Höhe** können, nachdem sie angewählt wurden, frei editiert werden. Die Zahlenangaben erfolgen in Metern. Entsprechend der Auswahl im Feld **Schallausbreitung** wird die jeweils zugehörige Maßangabe im Nachbarraum mit verändert

Durch Anklicken des Schalters **Speichern** wird die Geometrie gespeichert. Eine Angabe eines Dateinamens ist nicht erforderlich, da das Programm intern einen Namen erzeugt. Der Text im Feld **Datensatz** wird zur Identifizierung benutzt.

Durch Anklicken des Schalters **Neu** wird eine neue Geometrie erzeugt.

siehe auch

[Geometrie laden](#)

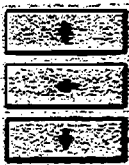
## Stoßstellenanordnung bearbeiten

Das Bearbeiten der Stoßstellenanordnung erfolgt im Menüpunkt

### **Bearbeiten**

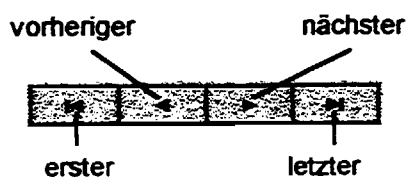
#### **Stoßstellen**

Im Fenster **Stoßstellen** kann im Feld **Datensatz** eine verbale Beschreibung der Stoßstellen erfolgen. Dieser Text wird im Fenster **Projektinfo** zur Festlegung der Stoßstellenanordnung benutzt. Eine Überprüfung auf doppelte Datensätze erfolgt nicht.



Stoßstellennavigator

Neben dem Fenster **Stoßstellen** erscheint das Fenster **Grafik**. Mit Hilfe der Tasten Pfeil nach oben und Pfeil nach unten des Stoßstellennavigators kann eine Stoßstelle ausgewählt werden. Sie wird im Fenster **Grafik** mit einer roten Linie gekennzeichnet. Die Lage der Stoßstelle wird im Fenster **Orientierung der Stoßstelle** angezeigt. Mit Hilfe der Taste Pfeil nach links wird eine Stoßstellenform zugeordnet. Wurde bereits eine Stoßstellen zugeordnet, werden die Auszüge aus der Datenbank entsprechend nachgeführt.



Datenbanknavigator

Die Auswahl der Datensätze erfolgt über den Datenbanknavigator. Dabei kann über die Tasten des Navigators zum ersten, vorherigen, nächsten bzw. letzten Datensatz gesprungen werden.

Durch Anklicken des Schalters **Speichern** wird die Stoßstellenanordnung

gespeichert. Eine Angabe eines Dateinamens ist nicht erforderlich, da das Programm intern einen Namen erzeugt. Der Text im Feld Datensatz wird zur Identifizierung benutzt.

Durch Anklicken des Schalters Neu wird eine neue Stoßstellenanordnung erzeugt.

siehe auch

Datenbank

Stoßstelle laden



## Bauteileanordnung bearbeiten

Das Bearbeiten der Bauteileanordnung erfolgt im Menüpunkt

**Bearbeiten**

**Bauteile**

Es stehen zwei weitere Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung:

Luftschall zur Festlegung der Luftschalleigenschaften und

Trittschall zur Festlegung der Trittschalleigenschaften.

Zur Berechnung der Luftschallausbreitung genügen die Angaben der Luftschalleigenschaften der Bauteile. Zur Berechnung der Trittschallausbreitung sind Angaben von Luft- und Trittschalleigenschaften der Bauteile erforderlich.

siehe auch

Bauteile laden

## Luftschalleigenschaften der Bauteile bearbeiten

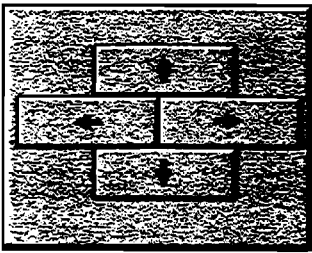
Das Bearbeiten der Luftschalleigenschaften der Bauteile erfolgt im Menüpunkt

**Bearbeiten**

**Bauteile**

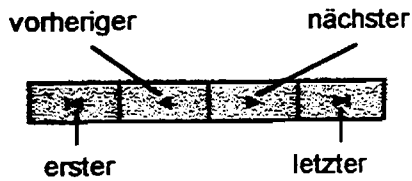
**Luftschall**

Im oberen Feld **Datensatz** des Fensters **Luftschall** kann eine verbale Bauteilebeschreibung eingegeben werden. Dieser Text wird im Fenster **Projektinfo** zur Festlegung der Bauteileanordnung benutzt. Er ist immer identisch mit der Beschreibung der Bauteileanordnung im Fenster **Trittschall**. Eine Überprüfung auf doppelte Datensätze erfolgt nicht.



**Bauteilnavigator**

Mit dem Bauteilnavigator können Sie sich innerhalb der Bauteiletabelle bewegen, wobei die Pfeile die Bewegungsrichtung angeben. Das gewählte Bauteil wird durch eine blaue Umrandung im Fenster **Grafik** dargestellt. In der Spalte Bauteil-Nr der Tabelle steht eine Identifizierungsnummer des betrachteten Bauteils, anhand derer eine Zuordnung aus der Datenbank erfolgt. In den Spalten Zus. BT. SR., Zus. BT. ER. der Tabelle stehen eine Identifizierungsnummer für zusätzliche Bauteile (Vorsatzschalen, Bodenbeläge, Unterdecken) zu den Bauteilen der Spalte Bauteilnummer. In allen Spalten steht k. A. für keine Angabe. Wandseiten, an denen keine für die Rechnung relevanten Bauteile sein können, sind durch ### markiert; eine Zuordnung in diesen Feldern ist nicht möglich. Bauteile und zusätzliche Bauteile werden mit der großen Pfeiltaste zugeordnet. Die topologische Voraussetzung - gleiche durchgehende Wände an Stoßstellen - wird automatisch berücksichtigt. Wurden bereits Bauteile zugeordnet, werden diese in der Datenbankanzeige beschrieben.



Datenbanknavigator

Die Auswahl der Datensätze erfolgt über den Datenbanknavigator. Dabei kann über die Tasten des Navigators zum ersten, vorherigen, nächsten bzw. letzten Datensatz gesprungen werden.

Durch Anklicken des Schalters **Sichern** wird die Bauteileanordnung gespeichert. Die Speicherung umfaßt auch die Trittschalleigenschaften der Bauteile. Eine Angabe eines Dateinamens ist nicht erforderlich, da das Programm intern einen Namen erzeugt. Der Text Feld **Datensatz** wird zur Identifizierung benutzt.

Durch Anklicken des Schalters **Neu** wird eine neue Bauteileanordnung erzeugt. Die neue Bauteileanordnung umfaßt auch die Trittschalleigenschaften der Bauteile.

Durch Drücken des Schalters **Trittschall** wird ins Fester zur Bearbeitung der Trittschalleigenschaften gewechselt.

siehe auch

Datenbank

Bauteile laden

## Trittschalleigenschaften der Bauteile bearbeiten

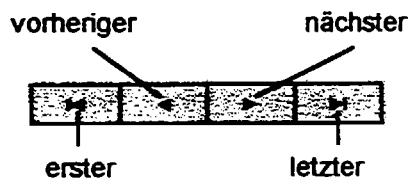
Das Bearbeiten der Trittschalleigenschaften der Bauteile erfolgt im Menüpunkt

**Bearbeiten**

**Bauteile**

**Trittschall**

Im Feld **Datensatz** des Fensters **Trittschall** kann eine verbale Bauteilebeschreibung eingegeben werden. Dieser Text wird im Fenster **Projektinfo** zur Festlegung der Bauteileanordnung benutzt. Er ist immer identisch mit der Beschreibung der Bauteileanordnung im Fenster **Luftschall**. Eine Überprüfung auf doppelte Datensätze erfolgt nicht.



**Datenbanknavigator**

In den Kästen **Boden**, **Deckenauflagen** und **Unterdecke** sind die jeweiligen Bauteile angegeben. Ihre Auswahl erfolgt über den zugehörigen Datenbanknavigator. Dabei kann über die Tasten des Navigators zum ersten, vorherigen, nächsten bzw. letzten Datensatz gesprungen werden. Die gezeigten Datensätze sind jeweils ausgewählt. Die topologische Voraussetzung - gleiche durchgehende Wände an Stoßstellen - wird automatisch berücksichtigt.

Durch Anklicken des Schalters **Sichern** wird die Bauteileanordnung gespeichert. Die Speicherung umfaßt auch die Luftschalleigenschaften der Bauteile. Eine Angabe eines Dateinamens ist nicht erforderlich, da das Programm intern einen Namen erzeugt. Der Text im Feld **Datensatz** wird zur Identifizierung benutzt.

Durch Anklicken des Schalters **Neu** wird eine neue Bauteileanordnung erzeugt. Die neue Bauteileanordnung umfaßt auch die Luftschalleigenschaften der Bauteile.

Durch Drücken des Schalters **Luftschall** wird ins Fenster zur Bearbeitung der

Luftschalleigenschaften gewechselt.

siehe auch

Datenbank

Bauteile laden

## Verfahrenmenu

Im Menu **Verfahren** werden alle Funktionen zur Auswahl der Berechnungsverfahren, der Durchführung der Berechnung und der Darstellung der Ergebnisse angeboten.

Berechnung Luftschall ein/aus

Berechnung Trittschall ein/aus

## Berechnung der Luftschallübertragung ein- / ausschalten

Das Ein- bzw. Ausschalten der Berechnung der Luftschallübertragung erfolgt durch Anklicken von Luftschall in Menüpunkt

### **Verfahren**

Die Berechnung der Luftschallübertragung ist eingeschaltet, wenn vor Luftschall ein Haken erscheint.

siehe auch

[Berechnung Trittschall ein/aus](#)

## Berechnung der Trittschallübertragung ein- / ausschalten

Das Ein- bzw. Ausschalten der Berechnung der Trittschallübertragung erfolgt durch Anklicken von Trittschall im Menüpunkt

### **Verfahren**

Die Berechnung der Trittschallübertragung ist eingeschaltet, wenn vor Trittschall ein Haken erscheint.

siehe auch

[Berechnung Luftschall ein/aus](#)



## Berechnung durchführen

Die Berechnungen nach den gewählten Verfahren wird durch Anklicken von **Starte Berechnung** im Menüpunkt

### **Verfahren**

eingeleitet. Es erscheint das Fenster **Berechnung**, in dem der Fortschritt der Berechnung angezeigt wird. Mögliche Fehlermeldungen weisen auf fehlende oder nicht korrekte Daten hin. Ein Kreuz vor Wanddaten, zusätzl. Bauteile, Stoßstellen und Schalldämm-Maße bzw. Norm-Trittschallpegel weist auf den Abschluß des vollständigen, fehlerfreien Abarbeitens dieser Datengruppe hin. Ein fehlendes Kreuz bedeutet, daß ein Fehler in der entsprechenden Stufe der Berechnung aufgetreten ist. Mögliche Fehlerquelle sind fehlende Bauteile oder Stoßstellen oder ein Raummaß von 0 Metern.

Nach Abschluß der Berechnungen werden nach Anklicken der Taste **Weiter** die Ergebnisse angezeigt. Ergebnisse werden auch angezeigt, wenn Fehlerbedingungen aufgetreten sind. Diese Ergebnisse sind falsch!

## Berechnungsergebnisse anzeigen

Die Anzeige der Berechnungsergebnisse erfolgt im Menüpunkt

**Verfahren**

**Ergebnisse**

**Luftschall**

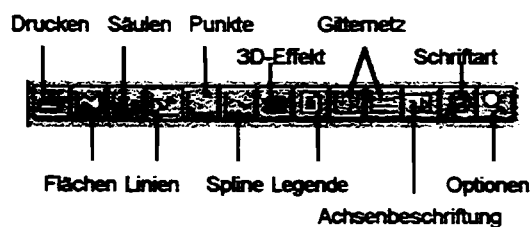
oder

**Verfahren**

**Ergebnisse**

**Trittschall**

Durch Anklicken der Tabs Luftschall, Trittschall oder Kij (für Stoßstellendämm-Maß) bringt man die jeweiligen Ergebnisse zur Ansicht. Für Luft- bzw. Trittschall werden die Schalldämm-Maße bzw. Norm-Trittschallpegel sowohl für die einzelnen Übertragungswege als auch über die Wege summiert numerisch und grafisch angezeigt.

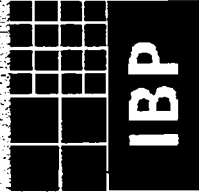


**Werkzeugpalette**

Mit Hilfe der Werkzeugpalette kann die grafische Darstellung verändert und ausgedruckt werden.

Anhang D3

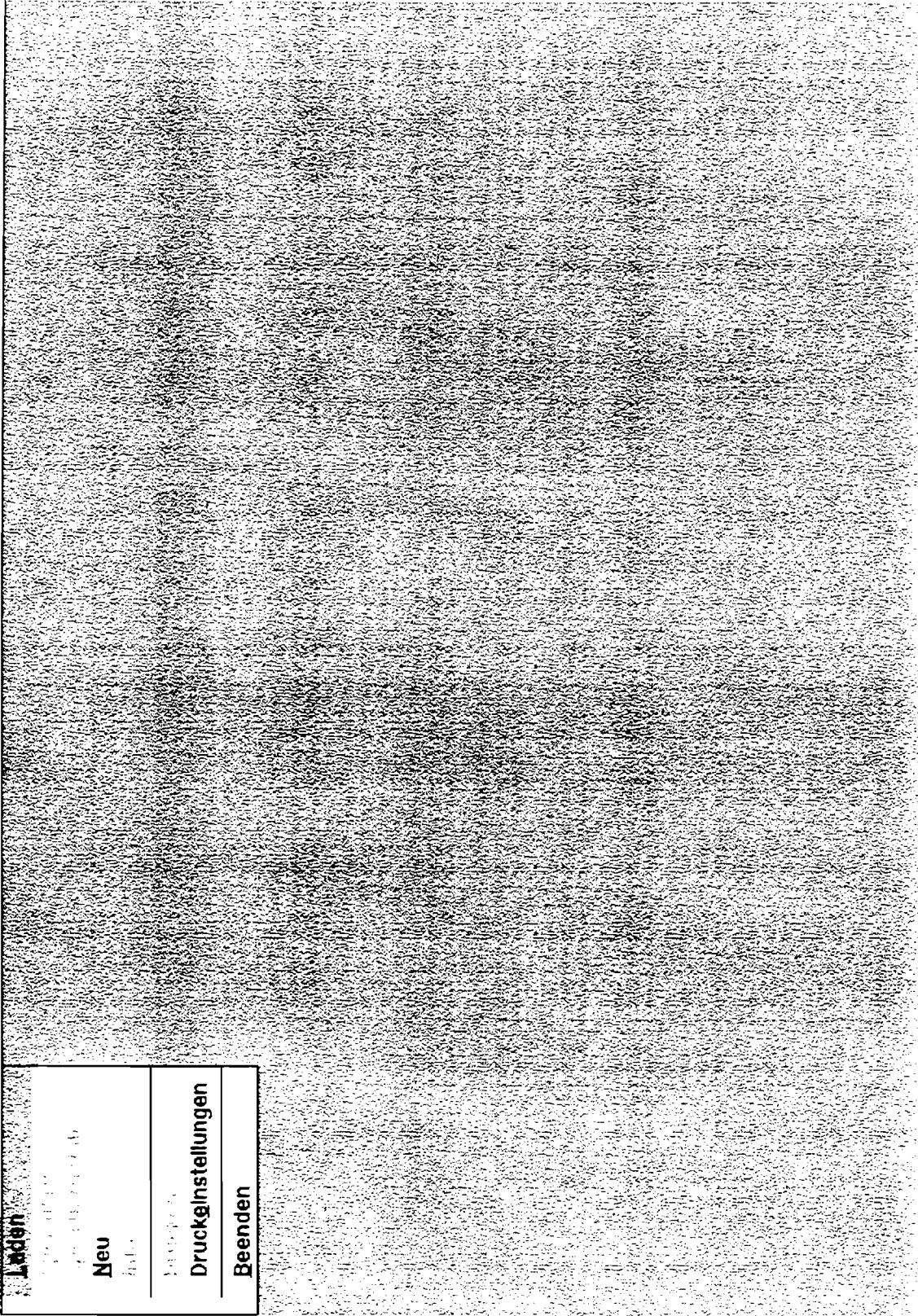
Bildschirmkopien

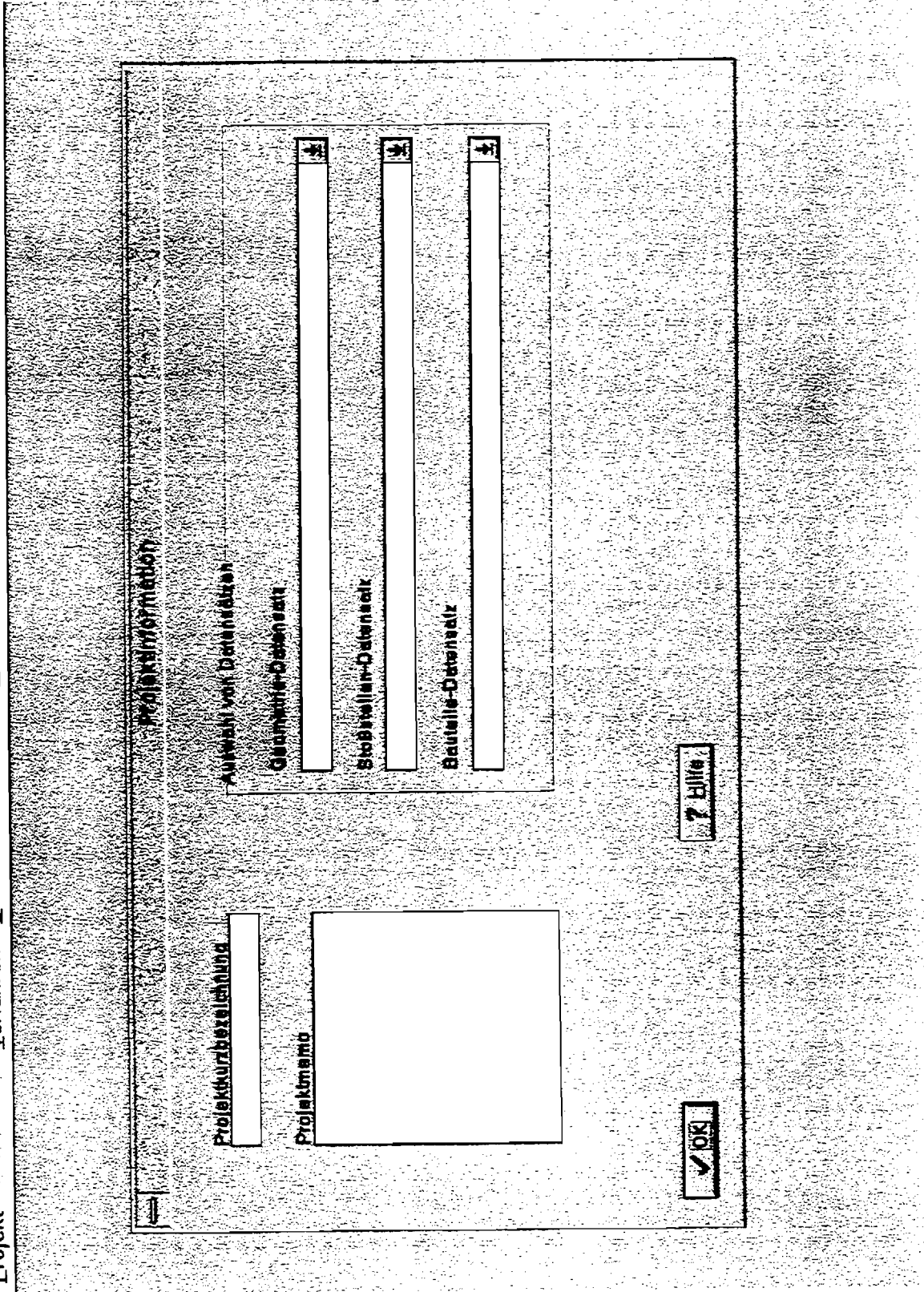


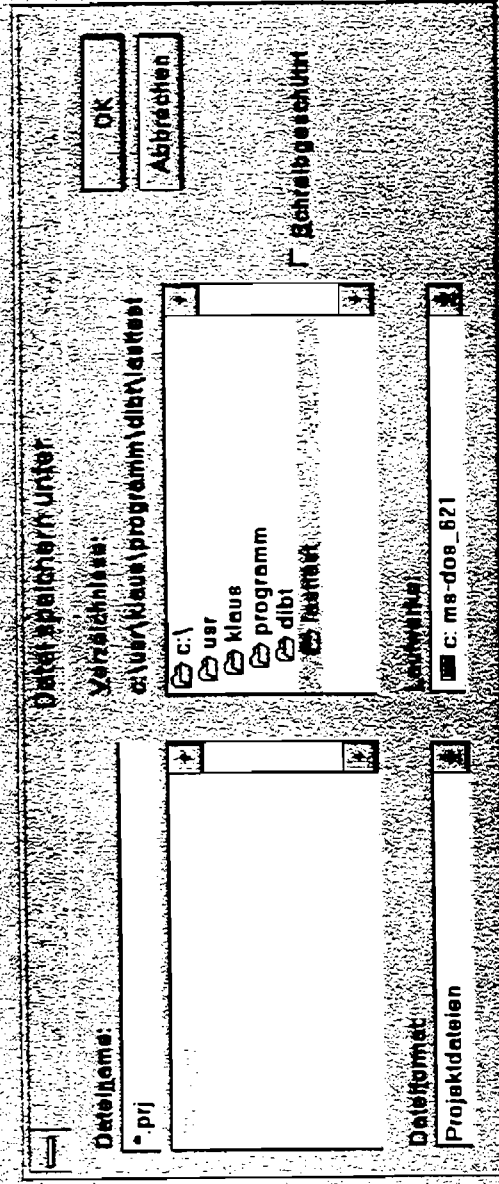
**Fraunhofer**

**Institut  
Bauphysik**

Laden
Neu
Druckeinstellungen
Beenden



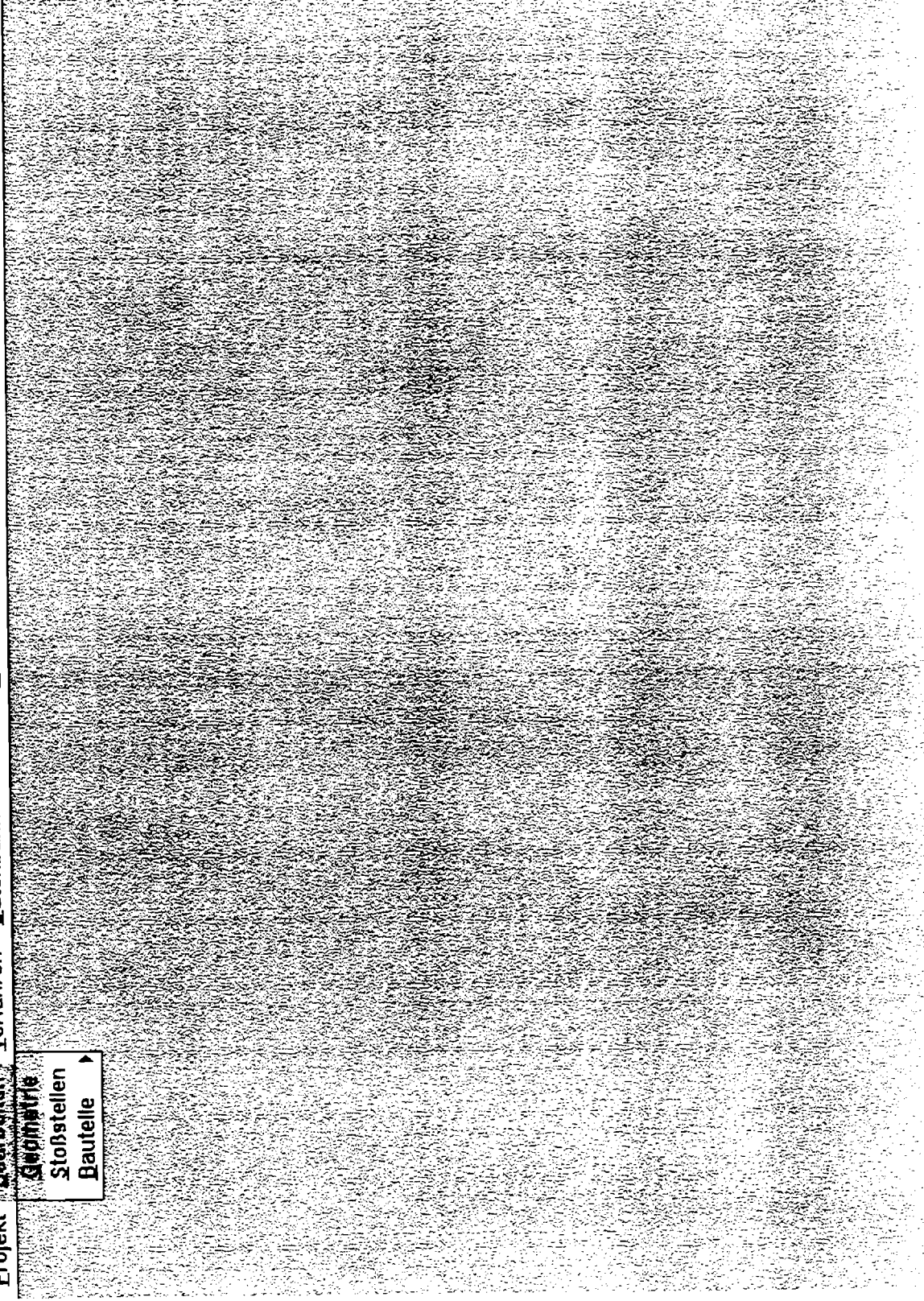




DEMOPROGRAMM ZUM BERECHNUNGSVERFAHREN DEMOPRO

Projekt Bearbeiten Verfahren Datenbank Ansicht Hilfe

- Geometrie
- Stoßstellen
- Bauteile ▶





**Geometrie**

Datensatz

Senderraum		Empfangsraum	
Länge	<input type="text" value="0"/> m	Länge	<input type="text" value="0"/> m
Tiefe	<input type="text" value="0"/> m	Tiefe	<input type="text" value="0"/> m
Höhe	<input type="text" value="0"/> m	Höhe	<input type="text" value="0"/> m

Schallausbreitung

Vertikal  
 Horizontal

Geometrie

Datensatz  
Wohnzimmer EG, Schlafzimmer EG

Senderraum		Empfangsraum	
Länge	5.5 m	Länge	5.5 m
Tiefe	4.7 m	Tiefe	3 m
Höhe	2.75 m	Höhe	2.75 m

Schallausbreitung  
 Vertikal  
 Horizontal

OK  
 Abbrechen  
 Schließen  
 Neu

**Projektdaten**

**Projektname**  
DEMO

**Projektinfo**  
Kleines Demoprojekt zur Bedienung des Demoprogramms zu den CEN-Berechnungsverfahren

**Auswahl von Datenfeldern**

**Geometrie-Datenfeld**

Wohnzimmer EG, Schlafzimmer EG
Wohnzimmer 1. OG, Wohnzimmer EG
<del>Wohnzimmer EG, Schlafzimmer EG</del>
Wohnzimmer EG, Schlafzimmer EG, Trennwand elastisch angebunden

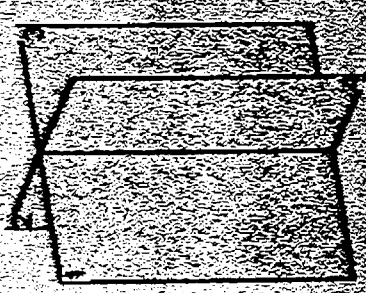
**Bauteile-Datenfeld**

Wohnzimmer EG, Schlafzimmer EG, alle Bauteile Kalkandatains, Bauteile
---

OK  Hilfe

**Maßstab**

**Orientierung der Stoßstelle**



**Stoßstellen**

Datensatz

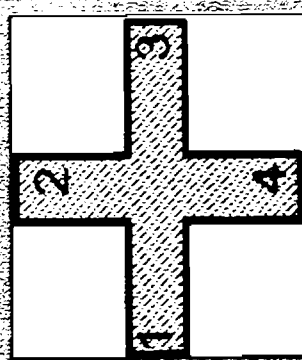
Stoß-Nr.	Typ	Bezeichnung
1	0	k.A.
2	0	k.A.
3	0	k.A.
4	0	k.A.
5	0	k.A.
6	0	k.A.
7	0	k.A.
8	0	k.A.
9	0	k.A.
10	0	k.A.
11	0	k.A.
12	0	k.A.
13	0	k.A.

**Stoß-Typen**


Typ

Bezeichnung **starrs Kreuz**

Beschreibung **starrer Kreuzstoß**  
m1=m3  
m2=m4



**Ansicht**



**Maßstab**

**Stoßstellen**

**Datenansatz**  
Demoprojekt, Stöße elastisch

Stoß-Nr.	Typ	Bearbeitung
1	5	elast. T
2	5	elast. T
3	5	elast. T
4	5	elast. T
5	5	elast. T
6	5	elast. T
7	5	elast. T
8	5	elast. T
9	5	elast. T
10	5	elast. T
11	5	elast. T
12	5	elast. T
13	4	elast. Kreuz 2

**OK**
 **Speichern**

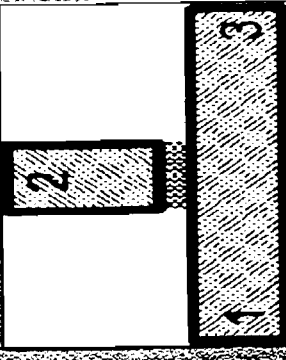
**Abbrechen**
 **Neu**

**Stoß-Typen**

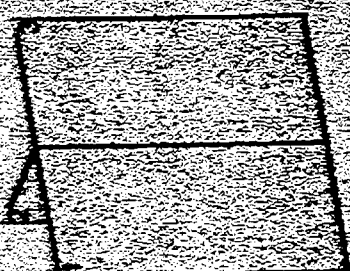
**Typ**

**Bearbeitung**  
elast. T

**Bearbeitung**  
T-Stoß mit elastischer  
Wandabbindung  
nach CEN TC126 WG2



**Orientierung der Stoßstelle**



**Grafik**

Maßstab

**Datenbank**

Wand	Typ	ZUM BT	SR	ZUM BT	ER
1 (Türschw.)	k.A.	k.A.		k.A.	
2	k.A.	k.A.		###	
3	k.A.	k.A.		###	
4	k.A.	k.A.		###	
5	k.A.	k.A.		###	
6	k.A.	###		k.A.	
7	k.A.	###		k.A.	
8	k.A.	###		k.A.	
9	k.A.	###		k.A.	
10	k.A.	k.A.		###	
11	k.A.	###		k.A.	

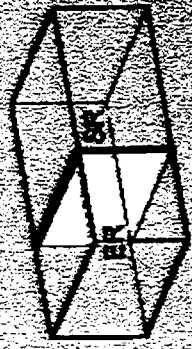
**Beauftragte**

Typ:  Bezeichnung:

Beschreibung:

OK  Speichern  Neu  Schließen

Graphik



Maßstab



Bauteileanordnung Luftschall

Datensatz

Wohnzimmer EG, Schlafzimmer EG, alle Bauteile

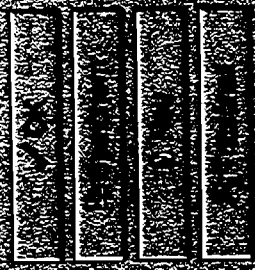
Wand	Typ	Zu	BT	SR	Zu	BT	ER
1 (Türschw.)	3		9				k.A.
2	4		k.A.				###
3	4		k.A.				###
4	4		k.A.				###
5	1		k.A.				###
6	4		###				k.A.
7	4		###				k.A.
8	4		###				k.A.
9	1		###				k.A.
10	3		k.A.				###
11	4		###				k.A.

Bauteile

Typ:

Bezeichnung:

Bezeichnung:   
 Angaben nach  
 GENTC126/MG2/N111

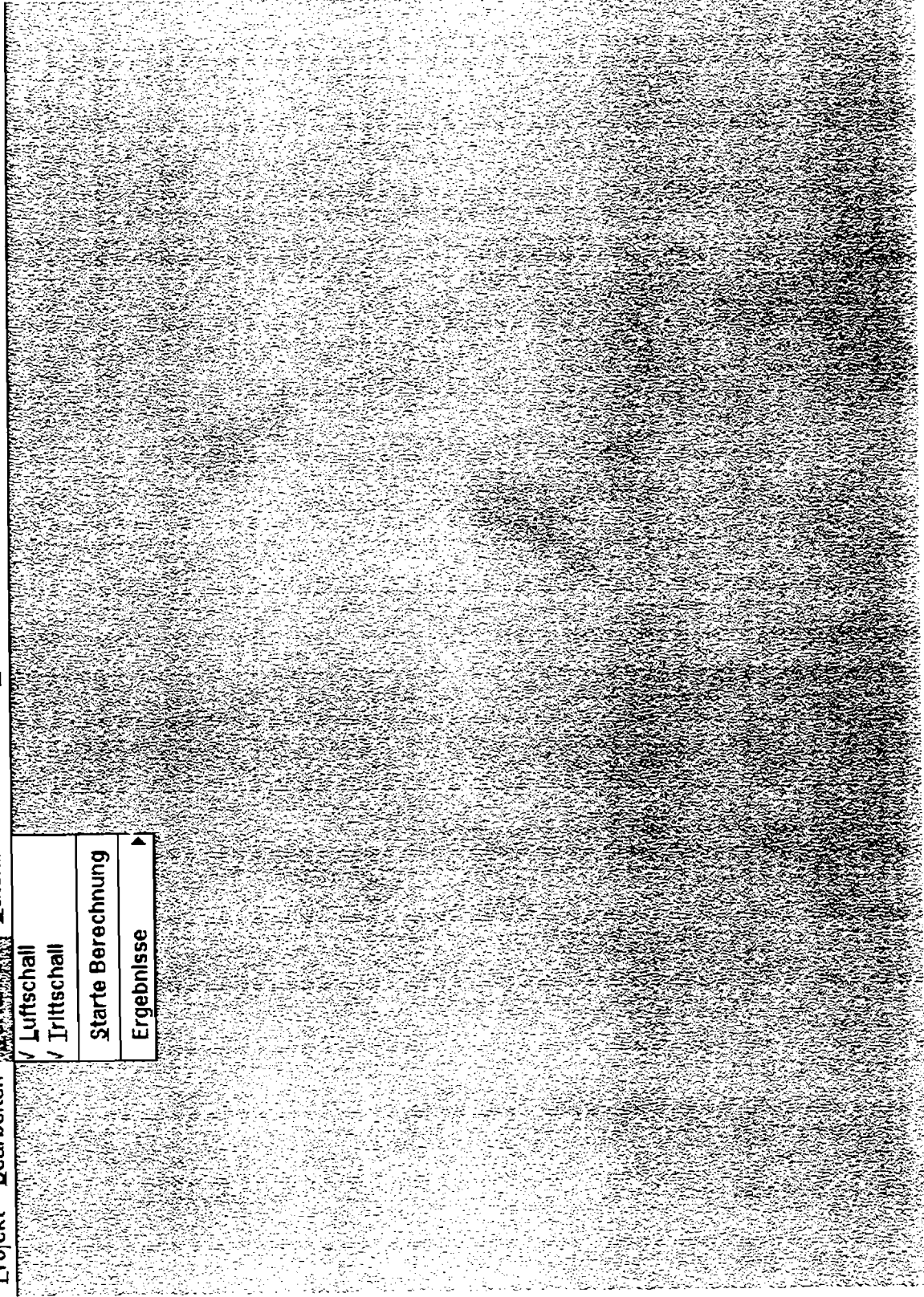


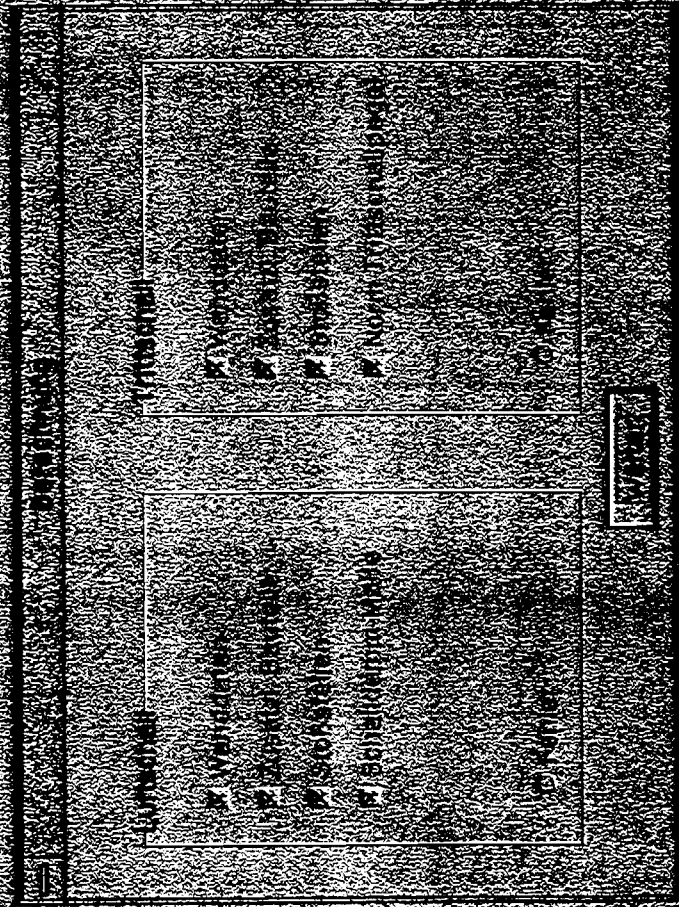
Wohnzimmer EG, Schlafzimmer EG, alle Bauteile Kalksandsteine, Boden Beton

Boden	Deckenablagen	Wandabschl.
<b>Beschreibung</b> Bet 180/ln50 <b>Beschreibung</b> Decke aus 180 mm Beton und 50 mm Verbundestrich	<b>Beschreibung</b> k.A. <b>Beschreibung</b>	<b>Beschreibung</b> k.A. <b>Beschreibung</b>
<input checked="" type="checkbox"/> Luftschall	<input type="checkbox"/> Kett	<input type="checkbox"/> Speichern
		<input checked="" type="checkbox"/> OK



<input checked="" type="checkbox"/> Luftschall
<input checked="" type="checkbox"/> Trittschall
<input checked="" type="checkbox"/> Starke Berechnung
<input type="checkbox"/> Ergebnisse ▶

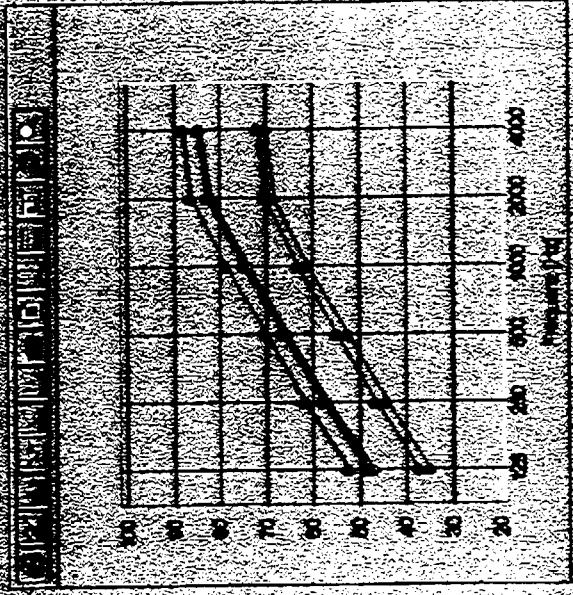




Lufteinströmung

Schallleistung: Mes. (dB)

Weg	125	200	300	500	1000	2000	3000	4000
Gesamt	35,1	44,3	52,6	61,0	68,4	70,0		
1>1	37,5	46,6	54,8	63,0	70,3	71,7		
1>6	52,2	61,4	69,8	78,4	86,1	87,9		
1>7	48,1	57,4	65,9	74,6	82,4	84,4		
1>8	52,2	61,4	69,8	78,4	86,1	87,9		
1>9	48,1	57,4	65,9	74,6	82,4	84,4		
2>1	52,4	61,7	70,0	78,6	86,2	88,1		
3>1	48,5	57,8	66,2	74,9	82,7	84,6		
4>1	52,4	61,7	70,0	78,6	86,2	88,1		
5>1	48,5	57,8	66,2	74,9	82,7	84,6		
2>6	52,3	61,6	69,9	78,5	86,1	88,0		
3>7	47,1	56,5	65,1	73,8	81,8	83,9		
4>8	52,3	61,6	69,9	78,5	86,1	88,0		
5>9	47,1	56,5	65,1	73,8	81,8	83,9		



OK

? Hilfe

Ergebnisse

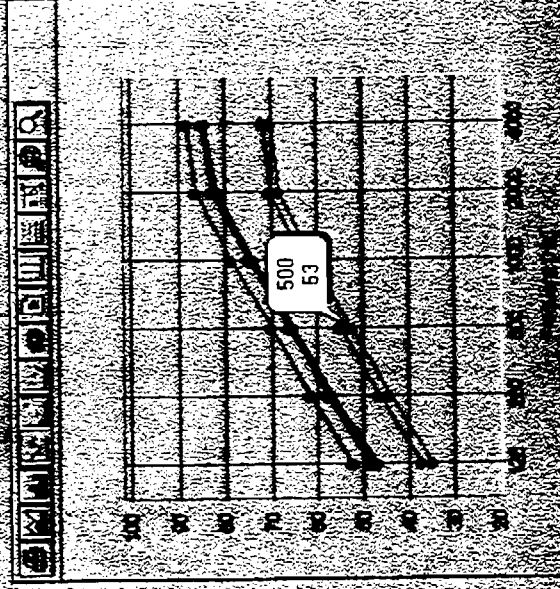
Luftschalldämmung

Trittschalldämmung

K11

Schalldämm-Maß (dB)

Weg	125	250	500	1000	2000	4000
Gesamt	35,1	44,3	52,6	61,0	68,4	70,0
1->1	37,5	46,6	54,8	63,0	70,3	71,7
1->6	52,2	61,4	69,8	78,4	86,1	87,9
1->7	48,1	57,4	65,9	74,6	82,4	84,4
1->8	52,2	61,4	69,8	78,4	86,1	87,9
1->9	48,1	57,4	65,9	74,6	82,4	84,4
2->1	52,4	61,7	70,0	78,6	86,2	88,1
3->1	48,5	57,8	66,2	74,9	82,7	84,6
4->1	52,4	61,7	70,0	78,6	86,2	88,1
5->1	48,5	57,8	66,2	74,9	82,7	84,6
2->6	52,3	61,6	69,9	78,5	86,1	88,0
3->7	47,1	56,5	65,1	73,8	81,8	83,9
4->8	52,3	61,6	69,9	78,5	86,1	88,0
5->9	47,1	56,5	65,1	73,8	81,8	83,9



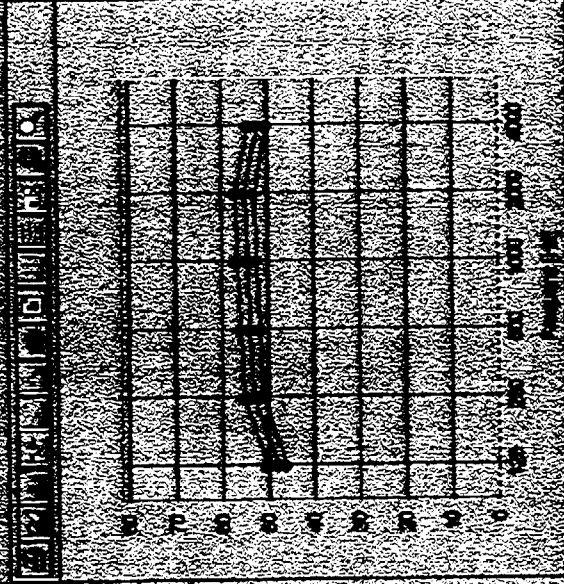
OK

Luftschalleistung

Ergebnisdatenbank

Norm-Trittschallpegel (dB)

Weg	126	250	500	1000	2000	4000
Gesamt	50,2	55,0	55,7	56,4	56,9	54,2
B>1	46,2	51,0	51,7	52,3	52,8	50,1
B>9	48,0	52,9	53,6	54,2	54,7	52,0



OK

Hilfe

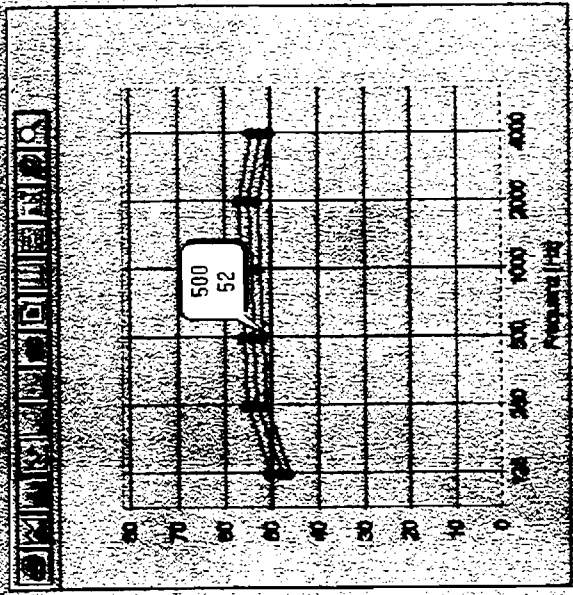
Ergebnisse

Laufzeitberechnung

Wasserdurchmischung

Norm-Trittschallpegel (dB)

Weg	125	250	500	1000	2000	4000
Gesamt	50,2	55,0	55,7	56,4	56,9	54,2
5>1	46,2	51,0	51,7	52,3	52,8	50,1
5>9	48,0	52,9	53,6	54,2	54,7	52,0

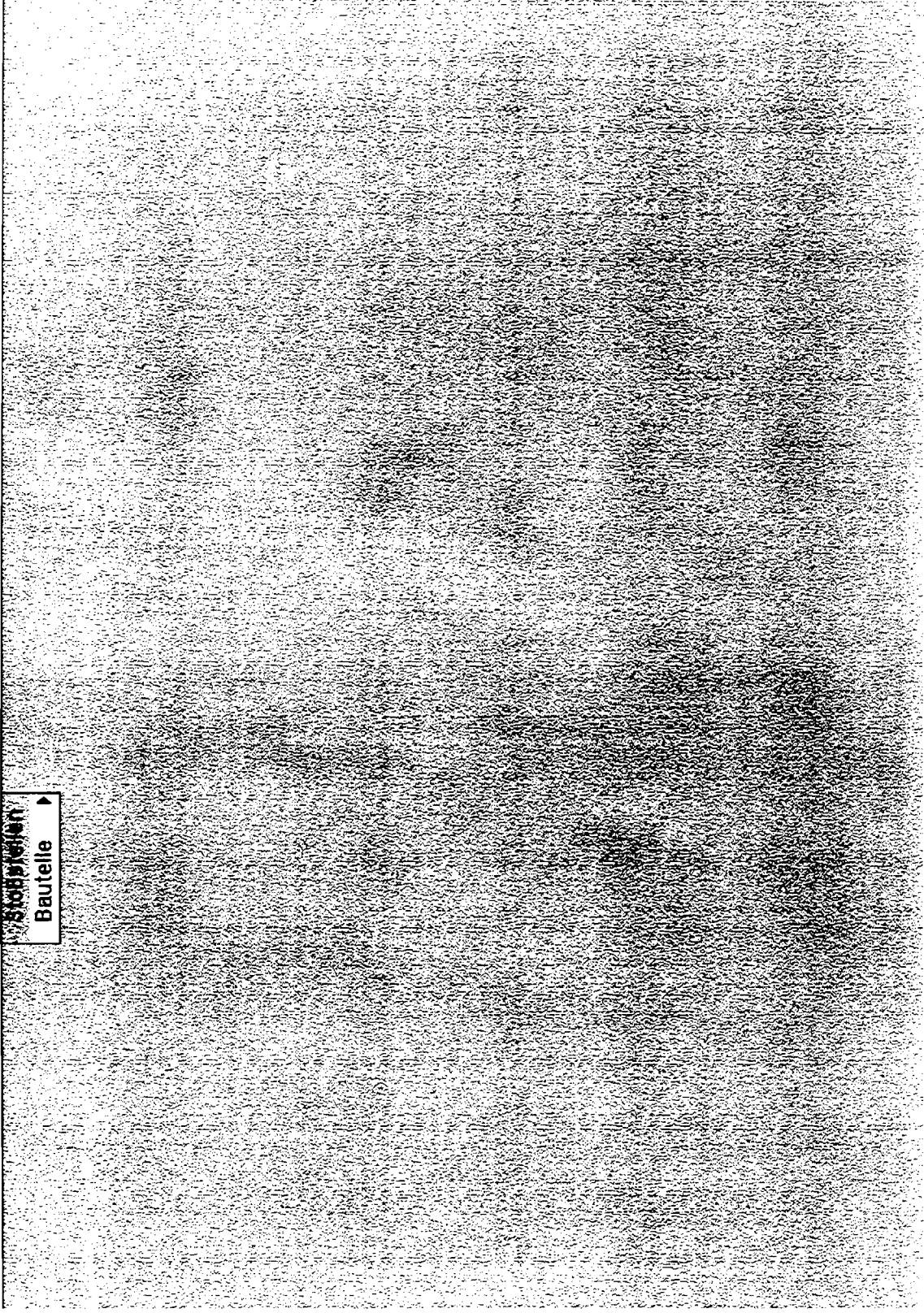


OK

? Hilfe

- Projekt
- Bearbeiten
- Verfahren
- Datenbank
- Ansicht
- Hilfe

Stoßstellen  
Baufelle ▶







Stoßstellen  
5 Bauteile

Luftschall
Schalldämm-Maß Verbesserungsmaß (trennende Bauteile) Verbesserungsmaß (flankierende Bauteile)
Trittschall
Norm-Trittschallpegel Trittschallverbesserungsmaß

1	2	3	4
---	---	---	---

**Bauteildaten**

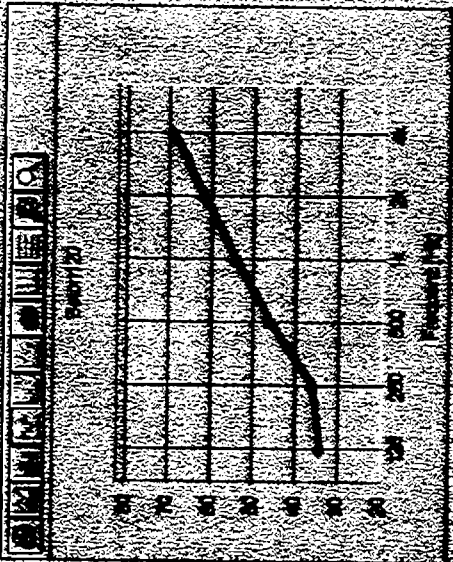
Beurteil-Nr.	1
Bezeichnung	Beton120
Beschreibung	120 mm Betonwand Angaben nach CEN/TC126/AVG2/N111
Material-Nr.	1
Dicke	120 mm
Flächenbezugswert	276 kg/m <sup>2</sup>

**Materialdaten**

Material-Nr.	1
Material	Beton2300
Beschreibung	Angaben nach CEN/TC126/AVG2
Dichte	2300 kg/m <sup>3</sup>
Schallgeschwindigkeit	3500 m/s
Prismenverlängerfaktor	0.006

**Schalldämm-Maß**

100 Hz	34 dB
200 Hz	36 dB
300 Hz	46 dB
1000 Hz	54 dB
2000 Hz	62 dB
4000 Hz	69 dB



OK

**Bestellung** GP12.5MW25

**Bauteilnr.** 9

**Bestandswertung**

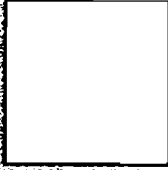
125 mm Gipsplatte  
44 mm Luft mit 25 mm Mineralwolle  
auf 100 mm Gipsbausteinen, 80 kg/m<sup>3</sup>

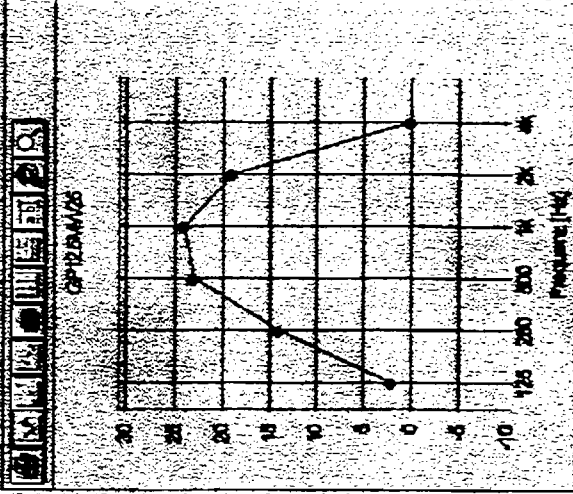
OK

**Luftschall-Verbesserungsmaß**

125 Hz	2 dB
250 Hz	14 dB
500 Hz	23 dB
1000 Hz	24 dB
2000 Hz	19 dB
4000 Hz	0 dB

**Sturze**





**Bauteille: Luftschalldämmungsmaß (flankierende Bauteile)**

Bezeichnung: GP12.5MW25

Bauteil-Nr.: 9

Beschreibung: 12.5 mm Gipsplatte  
44 mm Luft mit 25 mm Mineralwolle  
auf 100 mm Gipsbausteinen, 80 kg/m<sup>3</sup>

Luftschall-  
Verbesserungsmaß

125 Hz	2 dB
250 Hz	14 dB
500 Hz	23 dB
1000 Hz	24 dB
2000 Hz	19 dB
4000 Hz	0 dB

Skizze

GP12.5MW25

Prof... Norm-Trittschallpegel

### Bauteildaten

Bauteil-Nr.	2
Beschreibung	Bet180in50
Beschreibung	Decke aus 180 mm Beton und 50 mm Verbundestrich
Material-Nr.	1
Dicke	180 mm
Nächsterbet-Masse	509 kg/m <sup>3</sup>

### Materialdaten

Material-Nr.	1
Material-Beschreibung	Beton2300
Beschreibung	Angaben nach CEN/TC126/WG2
Dichte	2300 kg/m <sup>3</sup>
Seitengasdurchlässigkeit	3500 m/s
Interne Verlustfaktor	0,006

Norm-Trittschallpegel	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
125 Hz	60 dB					
250 Hz		65 dB				
500 Hz			66 dB			
1000 Hz				67 dB		
2000 Hz					68 dB	
4000 Hz						66 dB

OK

**35 mm Beten Trittschallverbesserungsmaß**

Beispiel-Nr:

Berechnung: s6m80

Beschreibung: 35 mm Beten auf 20 mm Mineralwolle, m<sup>2</sup>-80, s<sup>-6</sup> Berechnet nach CT aus CEN TC126 WG2 N112

**Trittschallverbesserungsmaß**

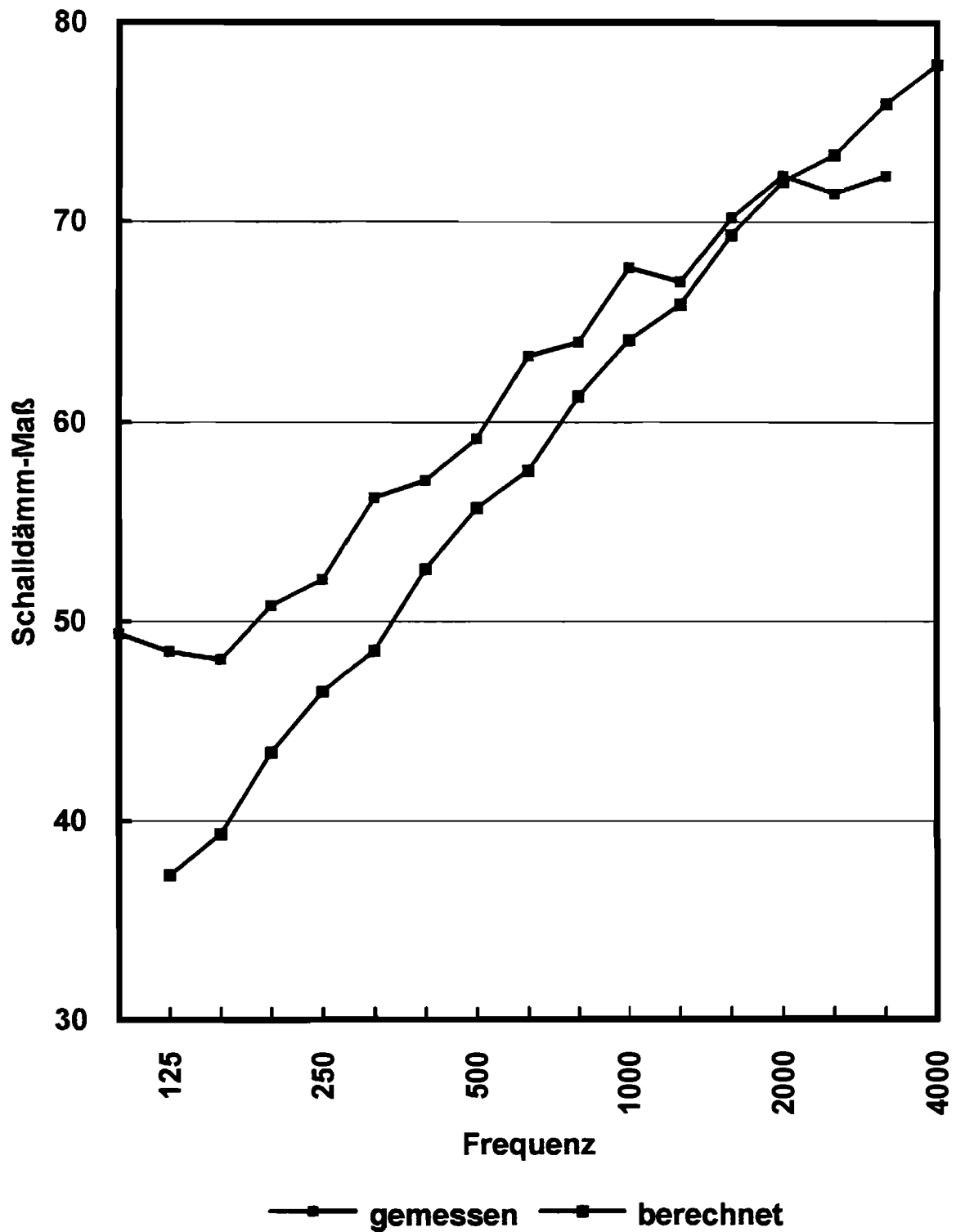
125 Hz	11,8 dB
250 Hz	20,8 dB
500 Hz	29,4 dB
1000 Hz	38,9 dB
2000 Hz	47,9 dB
4000 Hz	56,7 dB

**dBm80**

OK

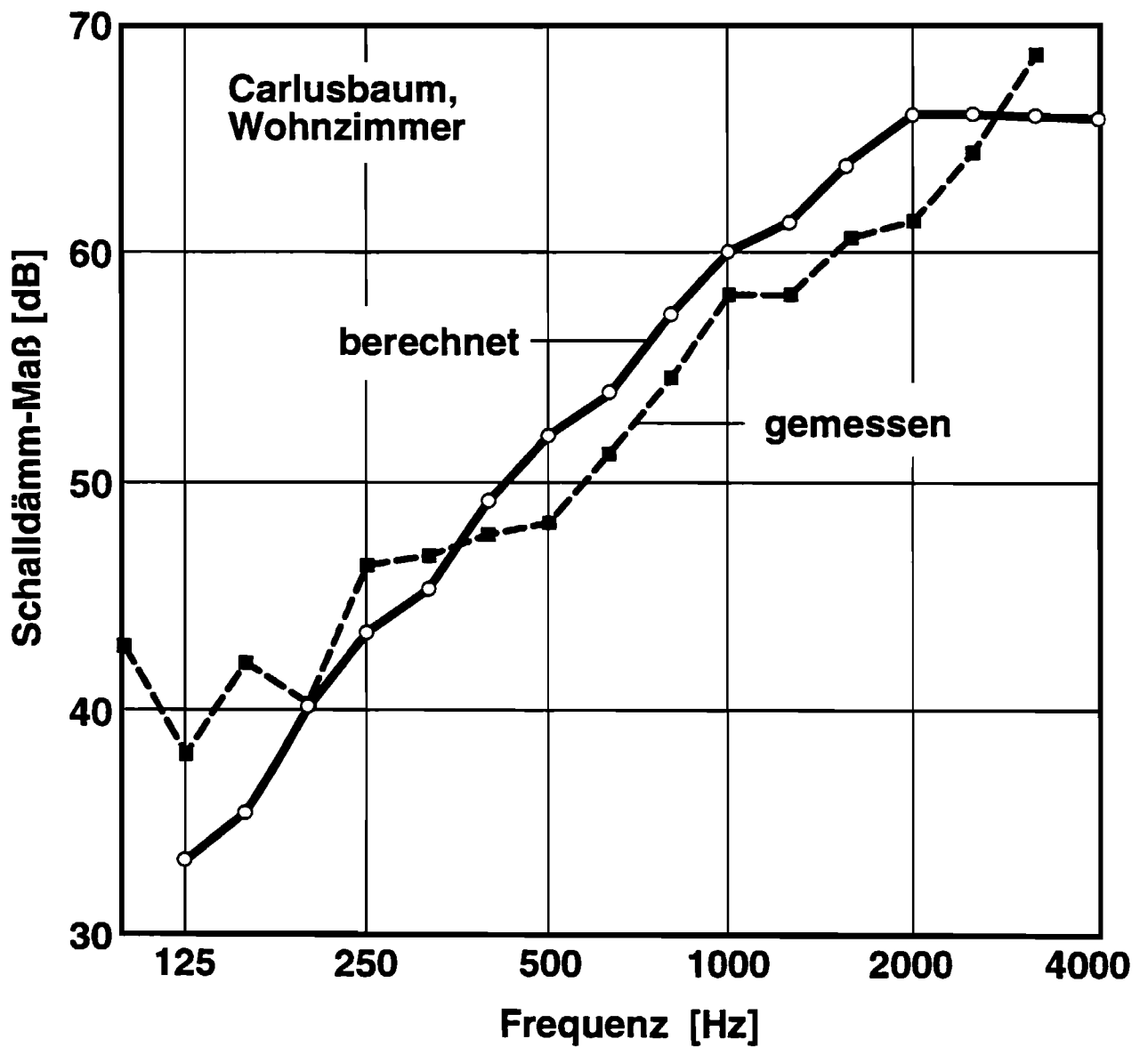
## **Anhang E**

**Computerbilder von Teilergebnissen**

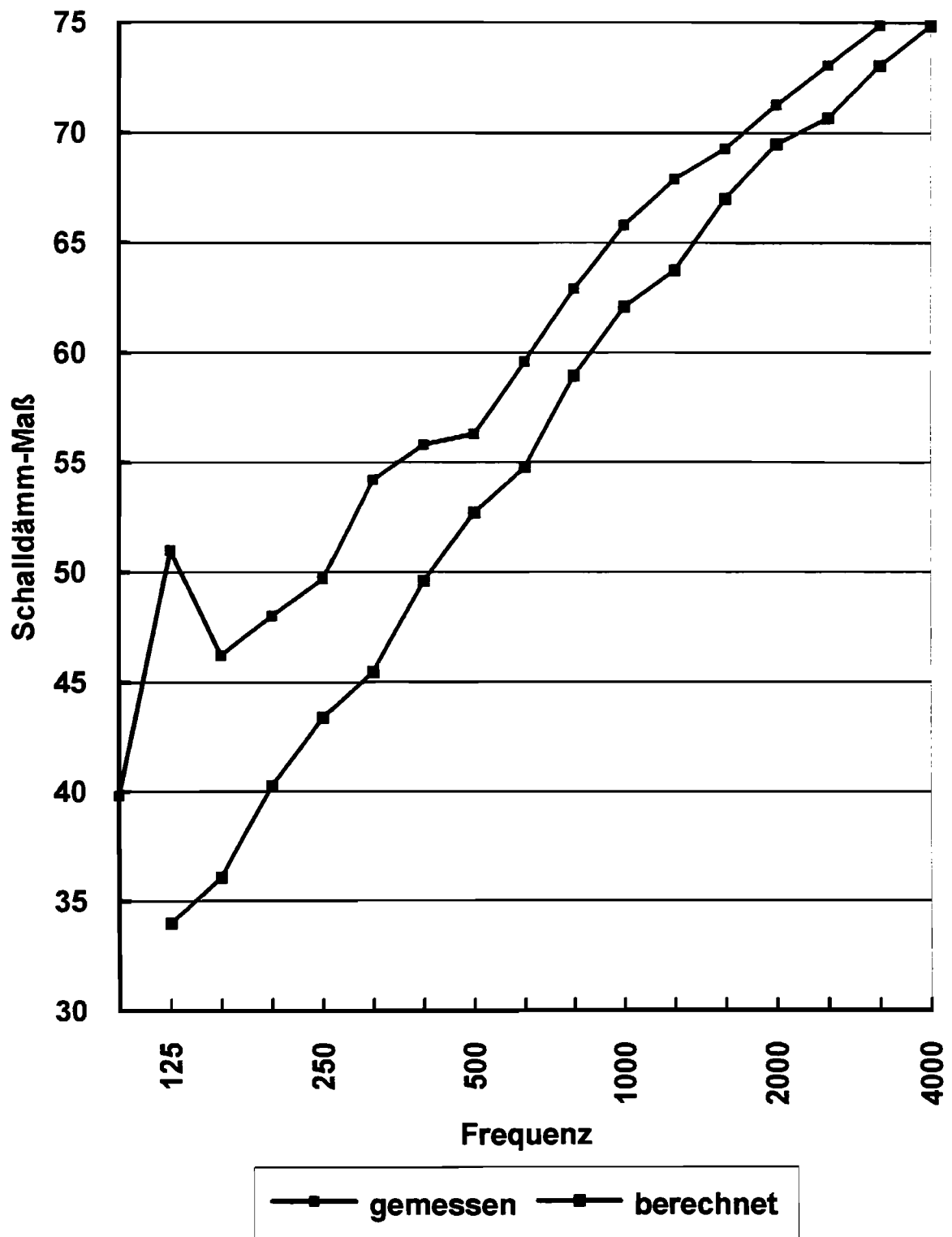


**Bild 1** Vergleich gemessener und nach dem detaillierten Modell von CEN berechneten frequenzabhängigen Schalldämm-Maße im Falle Carlusbaum, Schlafzimmer

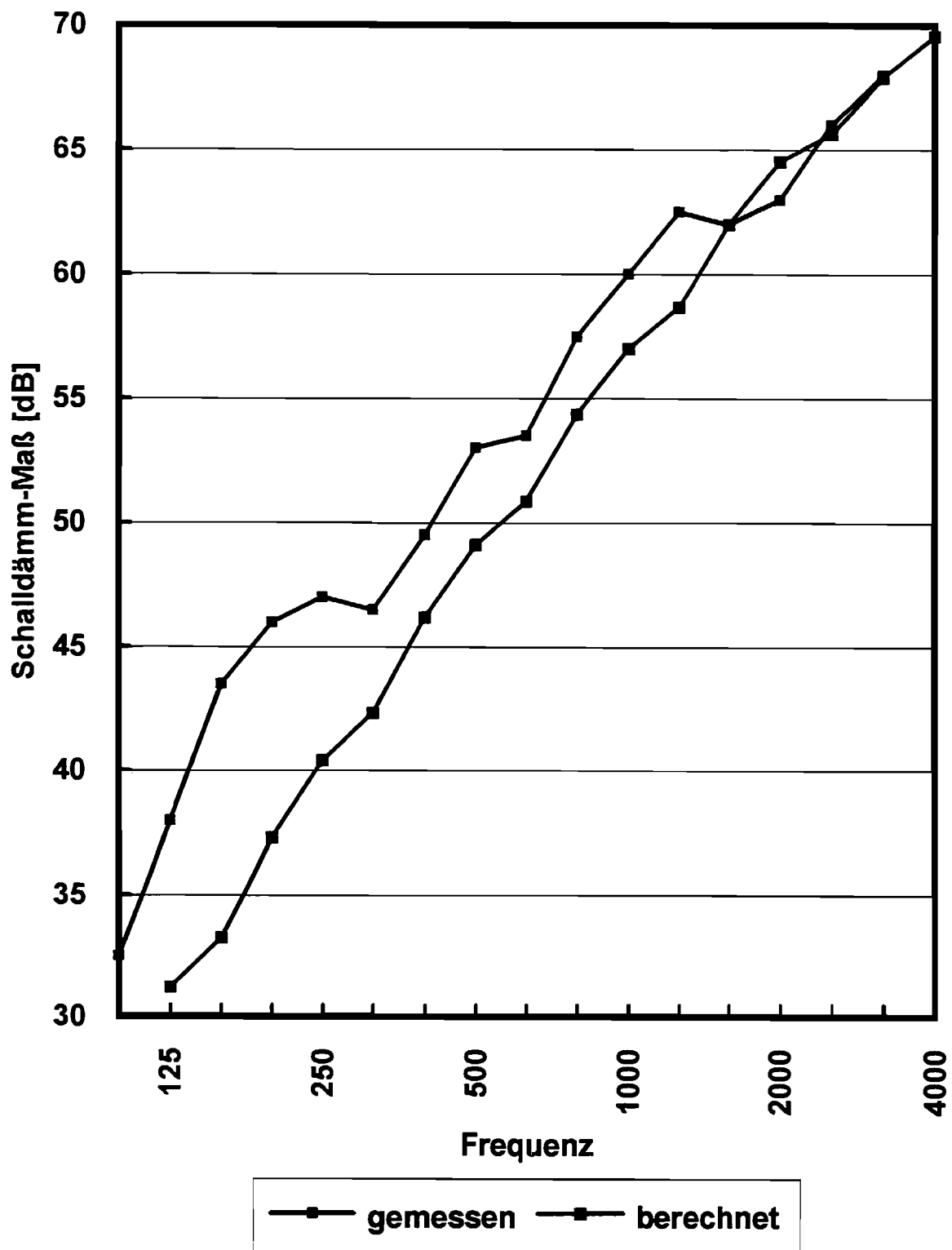




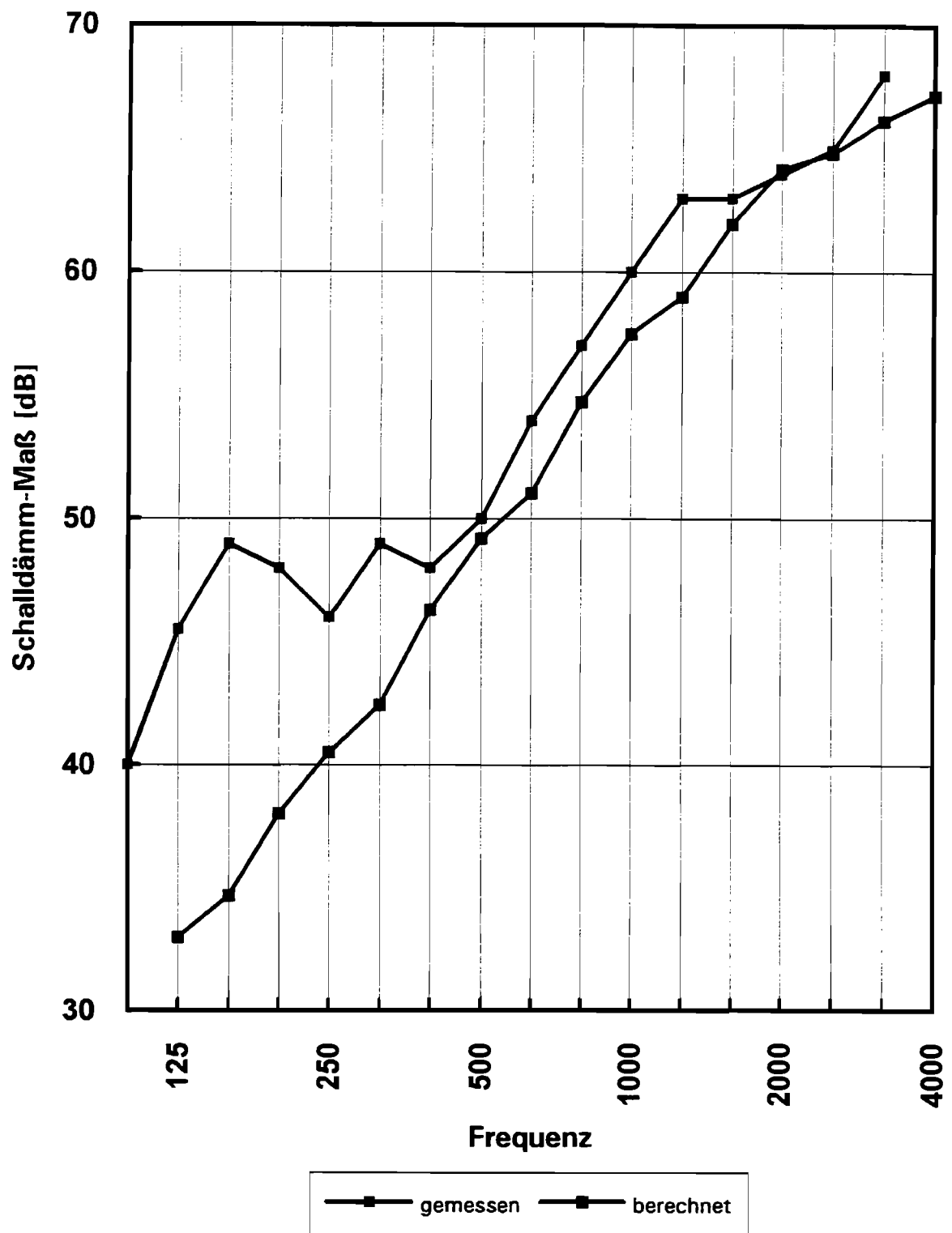
**Bild 2** Vergleich gemessener und nach dem detaillierten Modell von CEN berechneten frequenzabhängigen Schalldämm-Maße im Falle Carlusbaum, Wohnzimmer



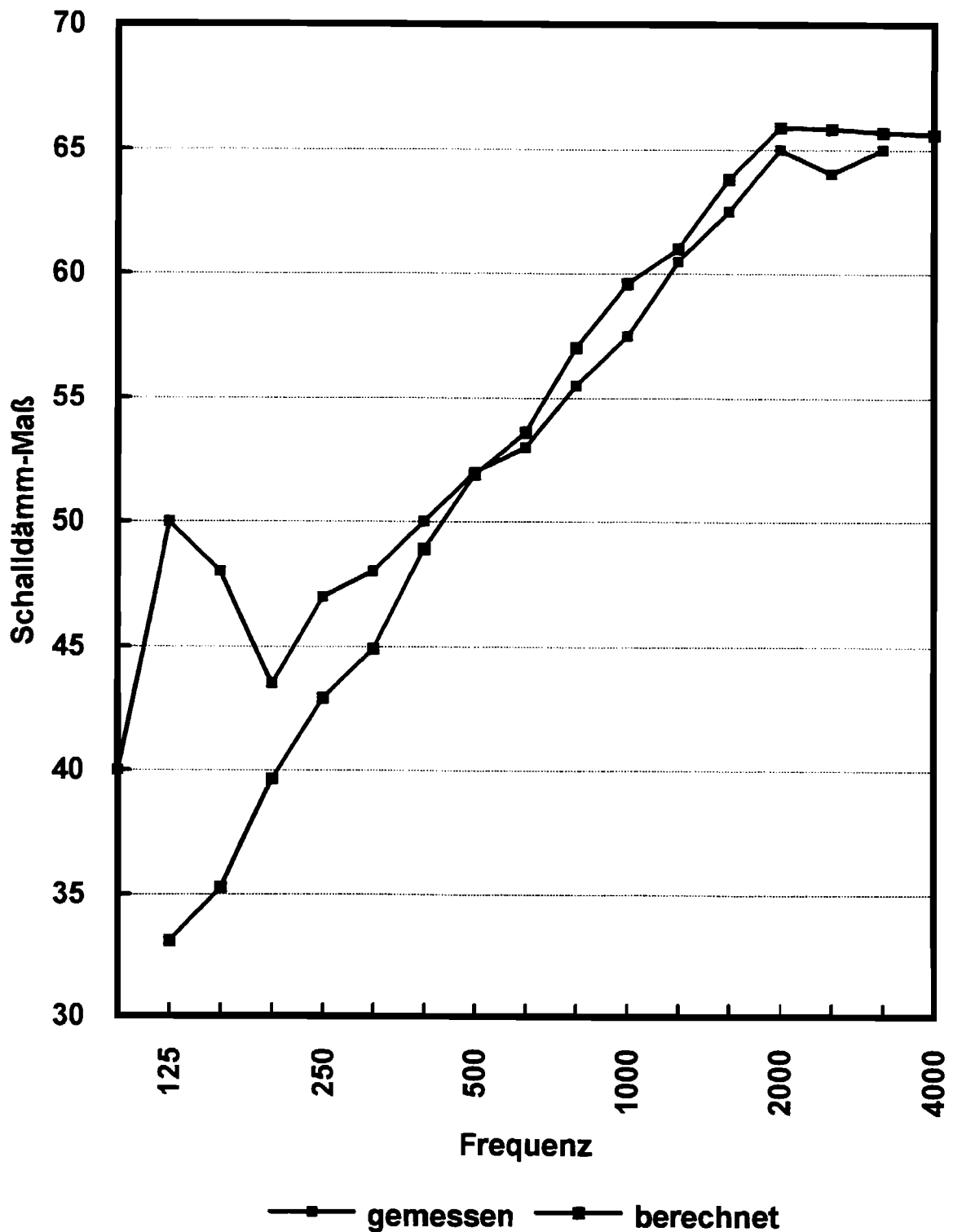
**Bild 3** Vergleich gemessener und nach dem detaillierten Modell von CEN berechneten frequenzabhängigen Schalldämm-Maße im Falle Hattersheim



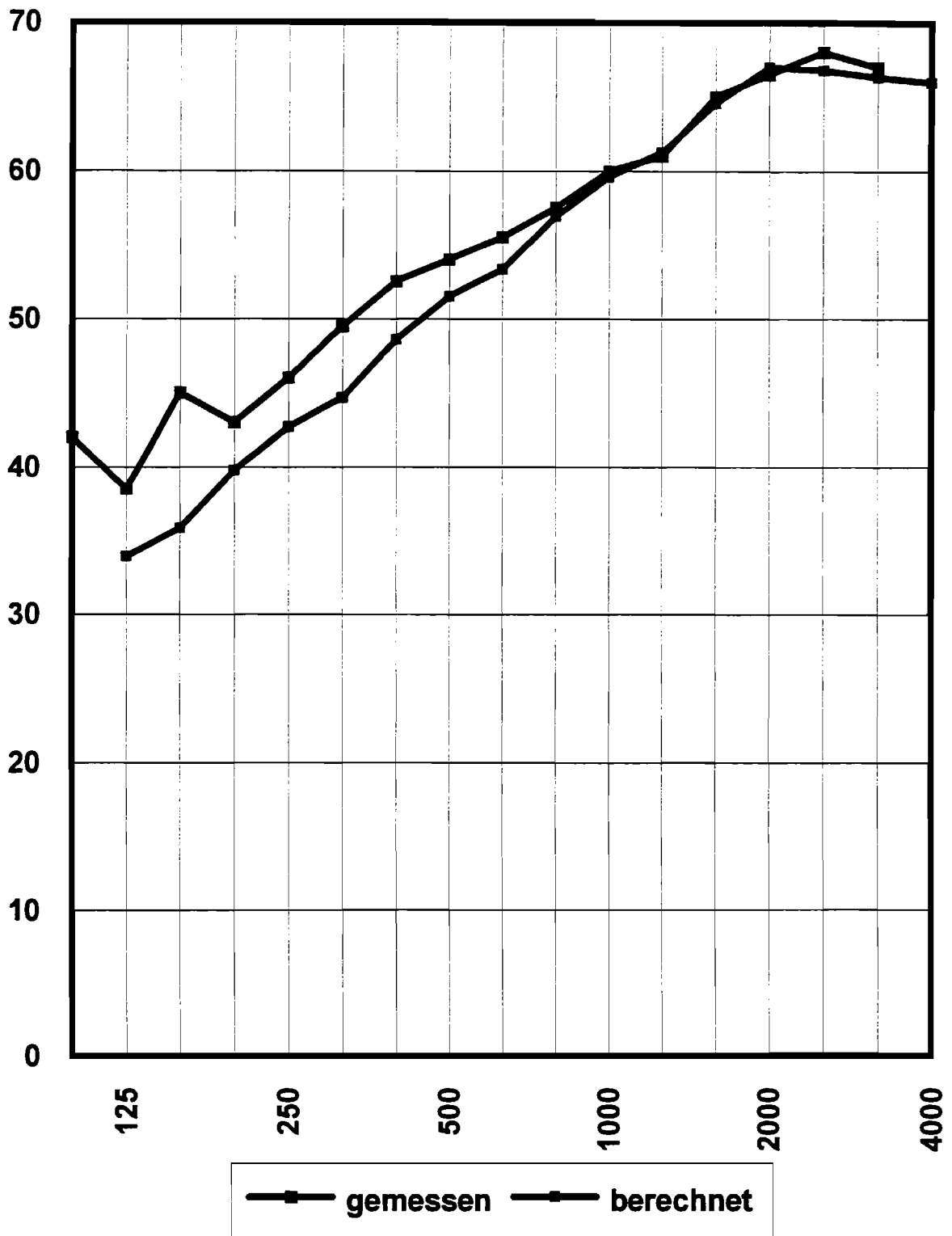
**Bild 4** Vergleich gemessener und nach dem detaillierten Modell von CEN berechneten frequenzabhängigen Schalldämm-Maße im Falle Öhringen



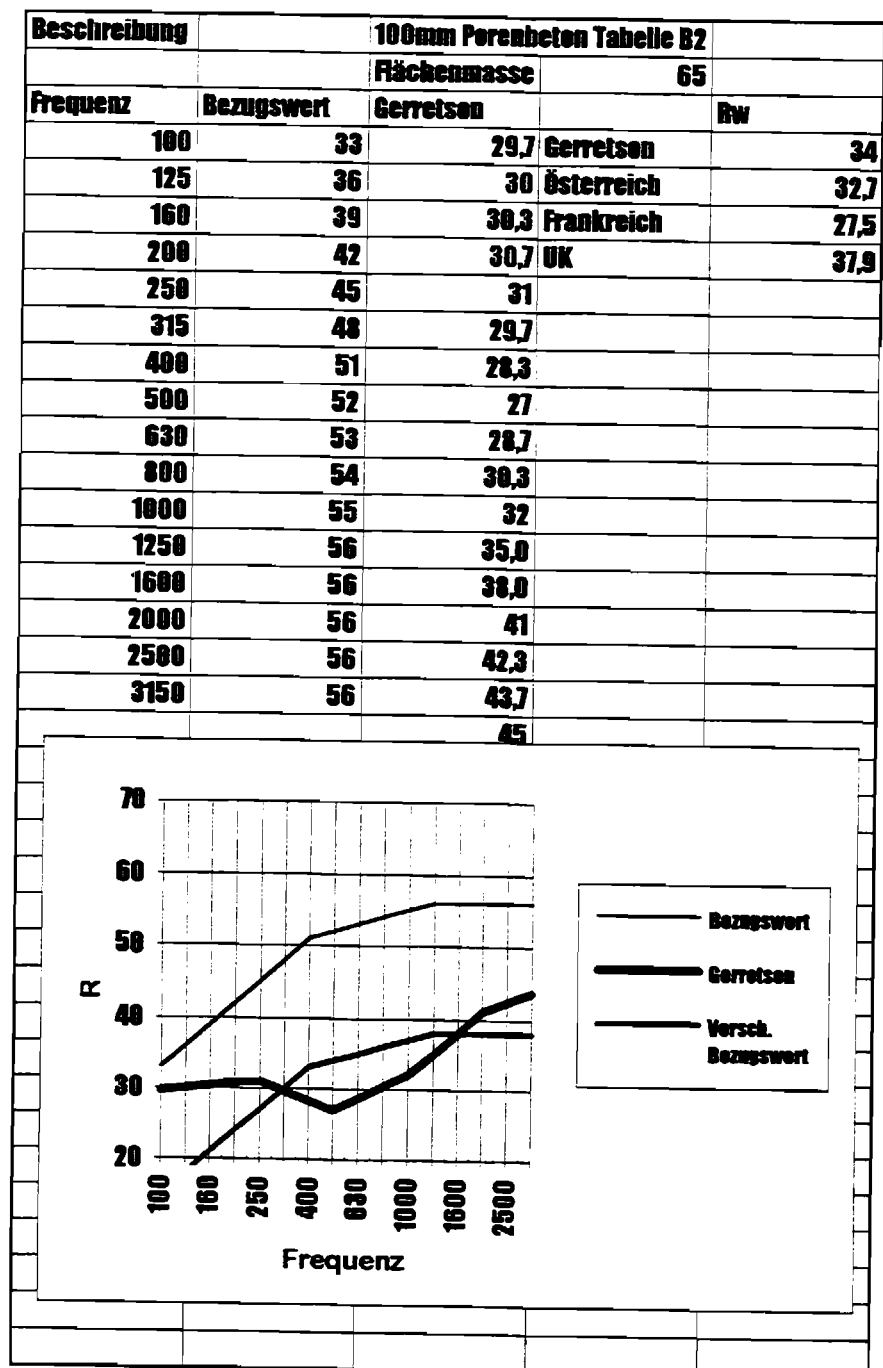
**Bild 5** Vergleich gemessener und nach dem detaillierten Modell von CEN berechneten frequenzabhängigen Schalldämm-Maße im Falle Plattenhardt



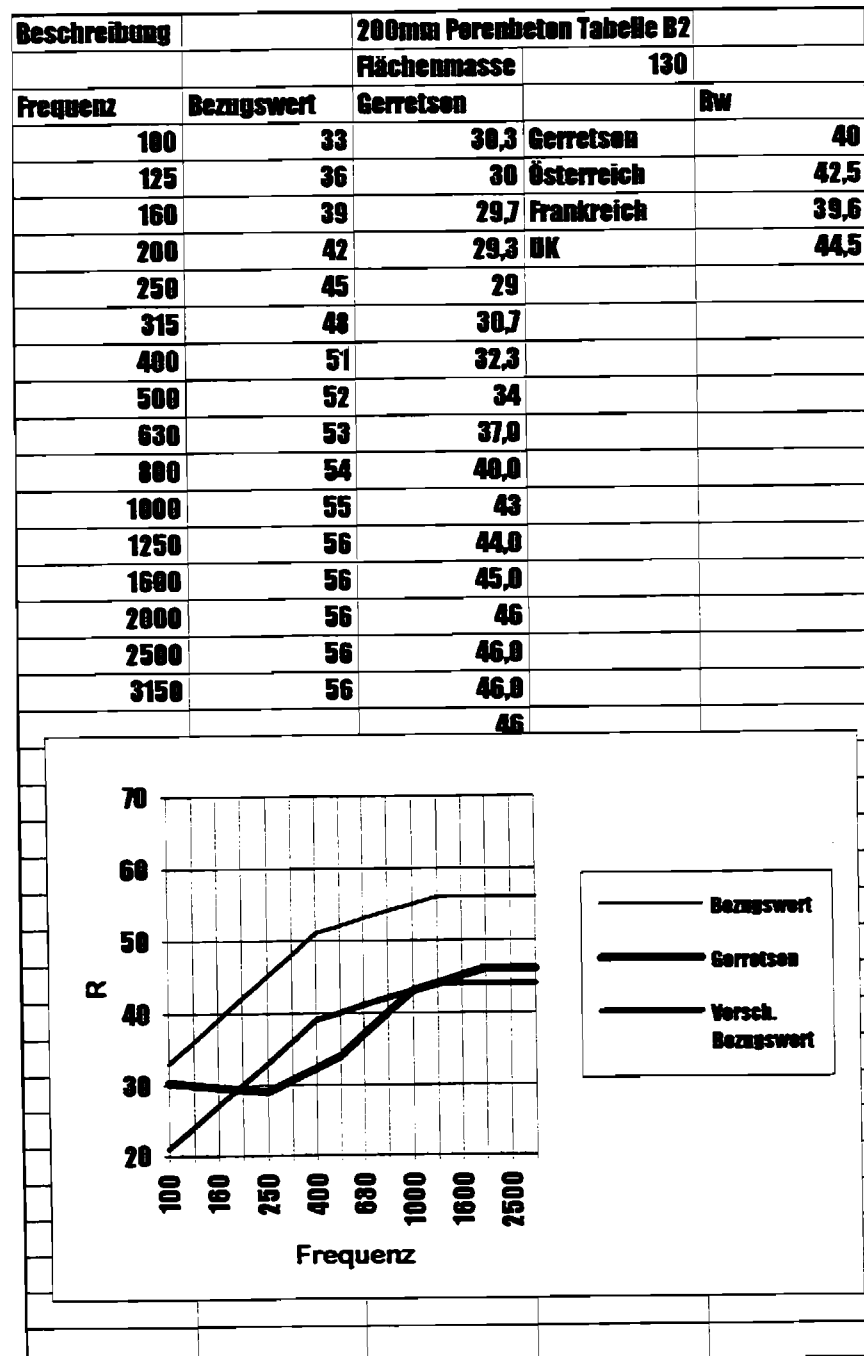
**Bild 6** Vergleich gemessener und nach dem detaillierten Modell von CEN berechneter frequenzabhängiger Schalldämm-Maße im Falle Spandau 1



**Bild 7** Vergleich gemessener und nach dem detaillierten Modell von CEN berechneten frequenzabhängigen Schalldämm-Maße im Falle Ludwigshafen

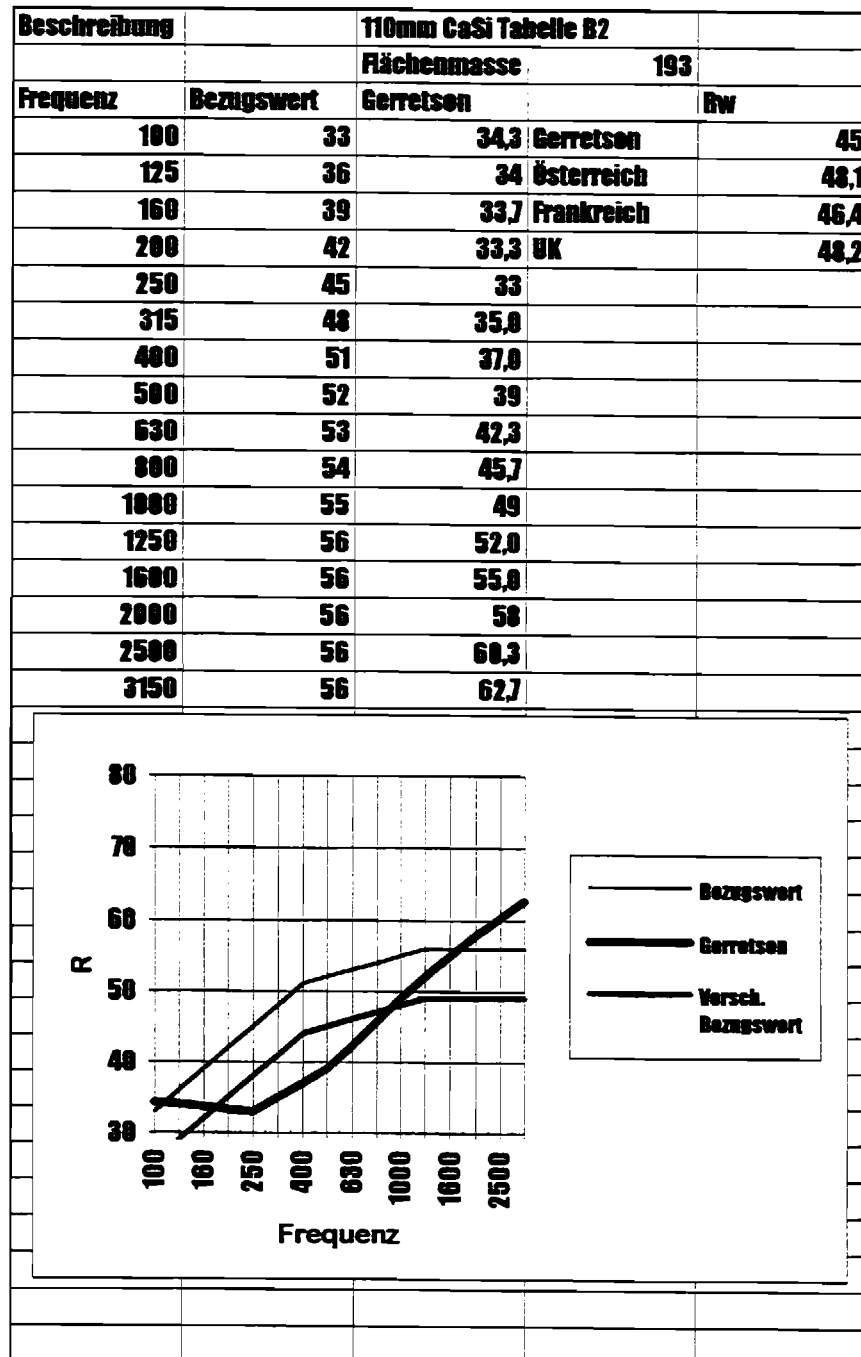


**Bild 8** Schalldämm-Maße für 100 mm Porenbeton nach Annex B von Teil I des CEN-Modells berechnet.

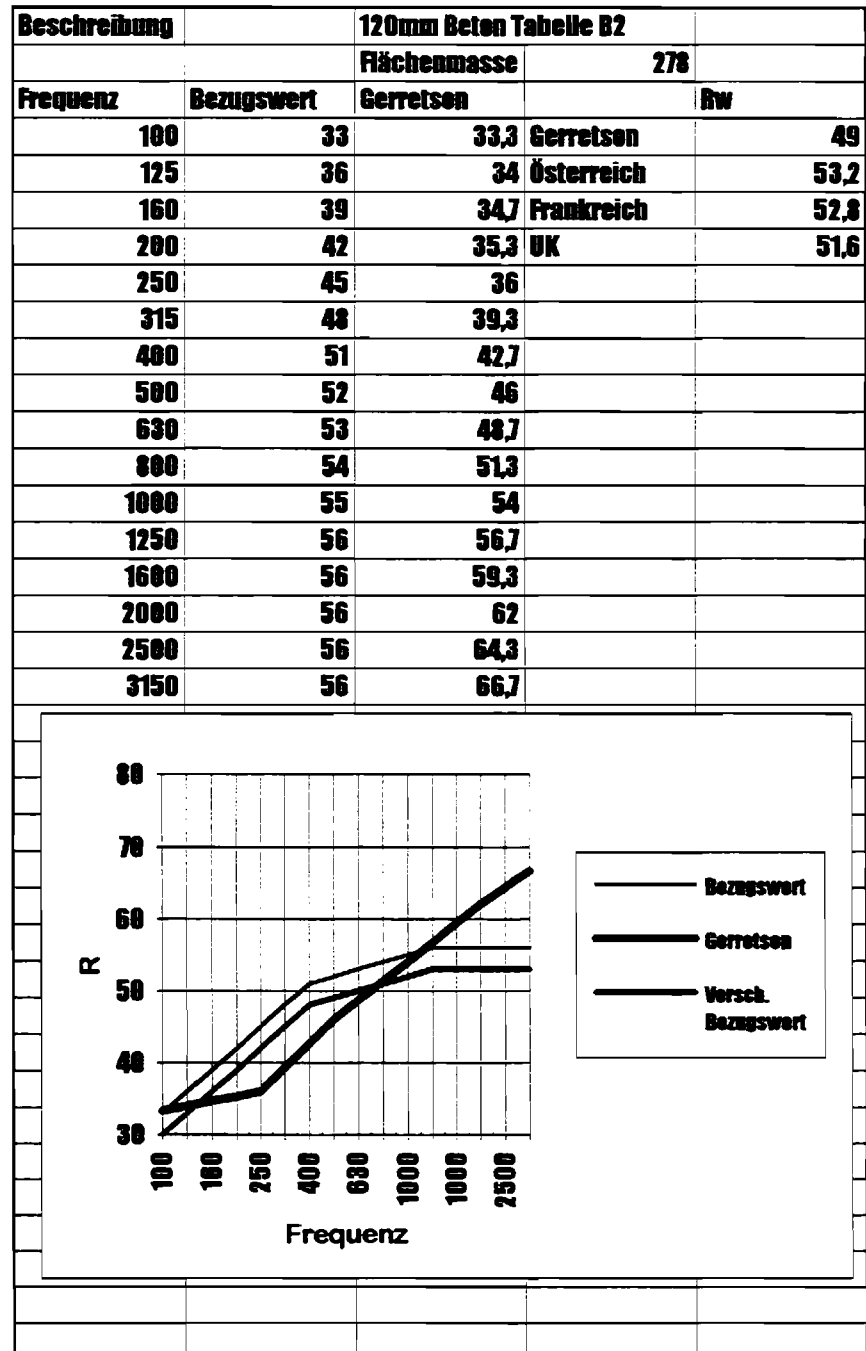


**Bild 9** Schalldämm-Maße für 200 mm Porenbeton nach Annex B von Teil I des CEN-Modells berechnet.

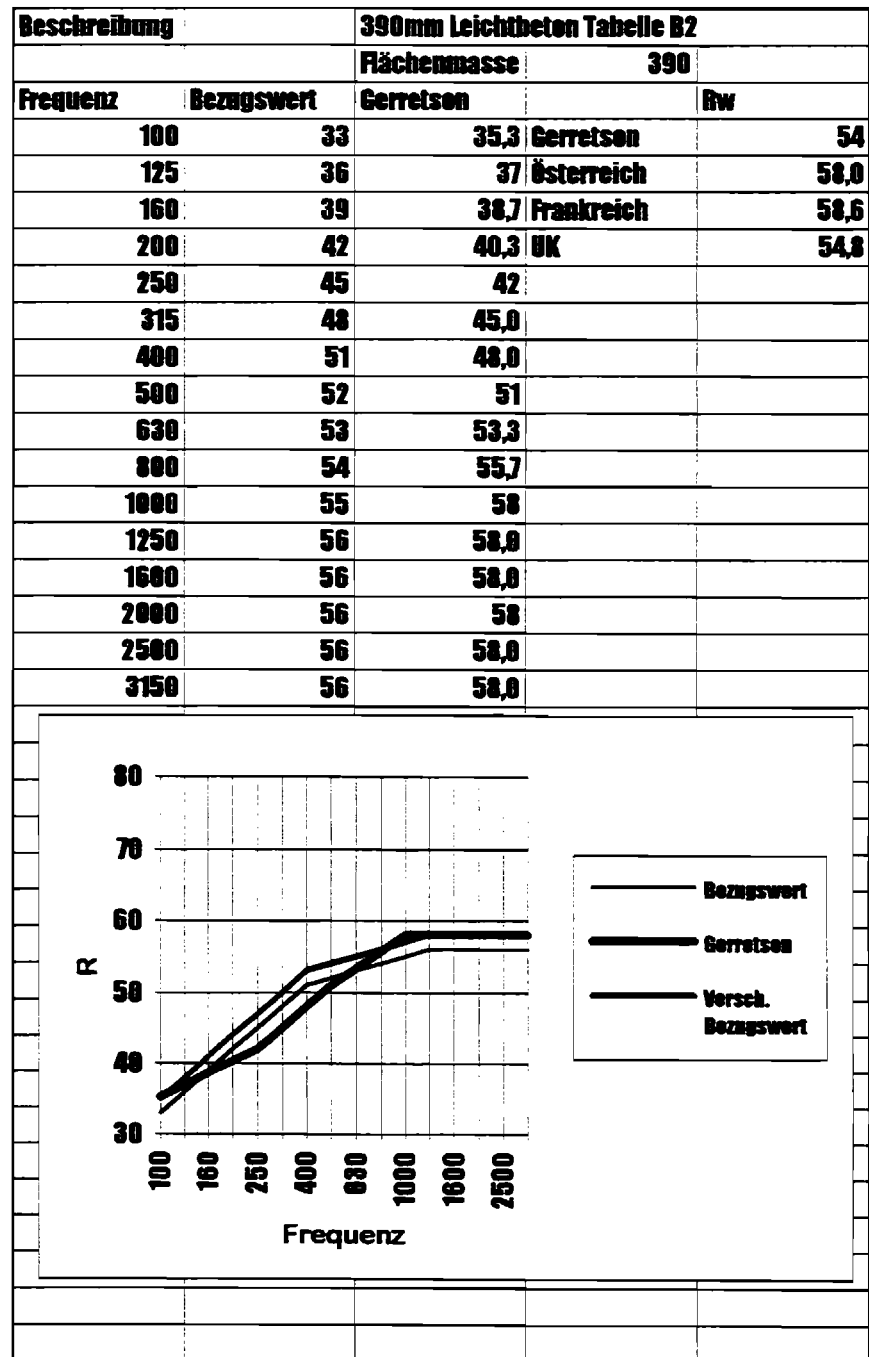




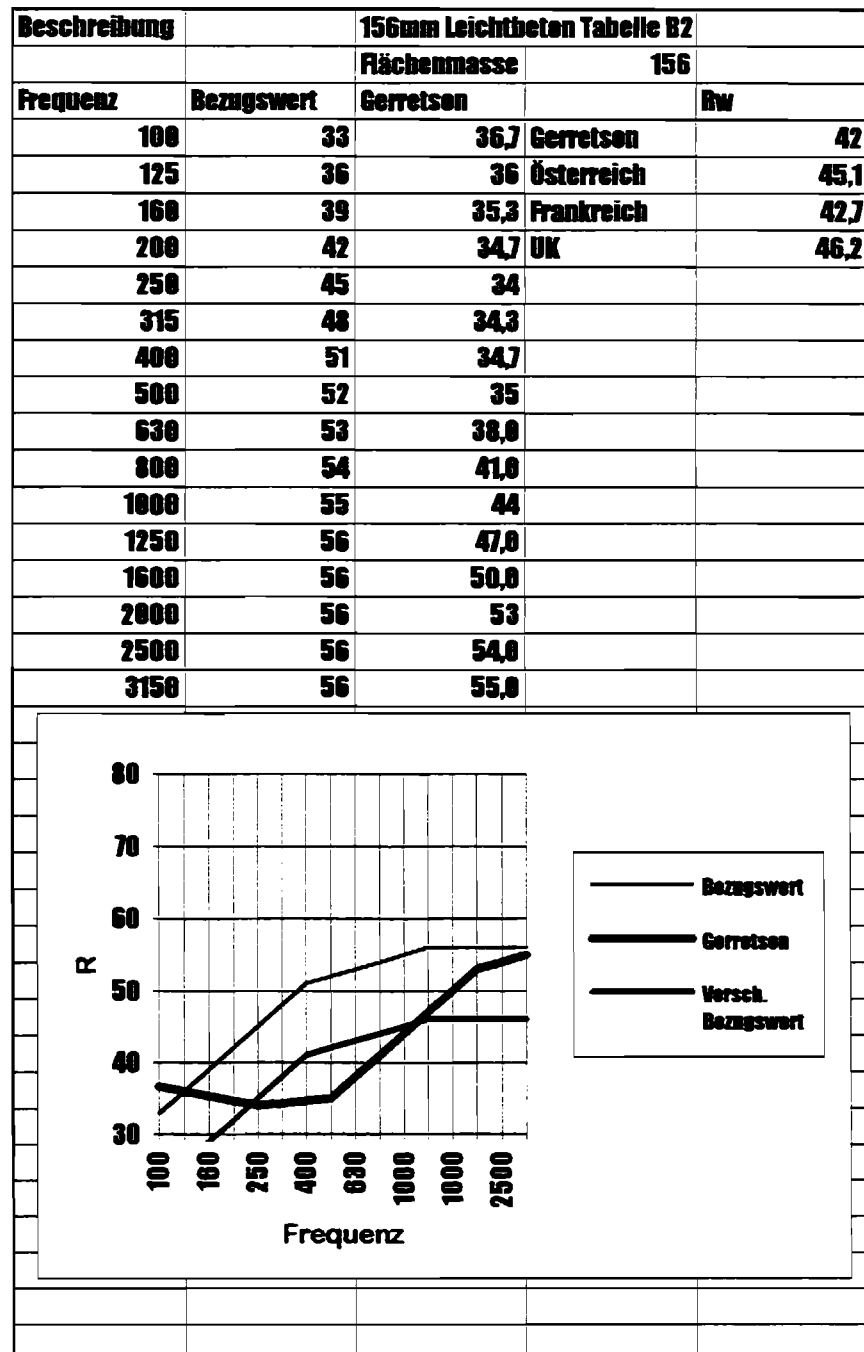
**Bild 10** Schalldämm-Maße für 110 mm Kalksandstein nach Annex B von Teil I des CEN-Modells berechnet.



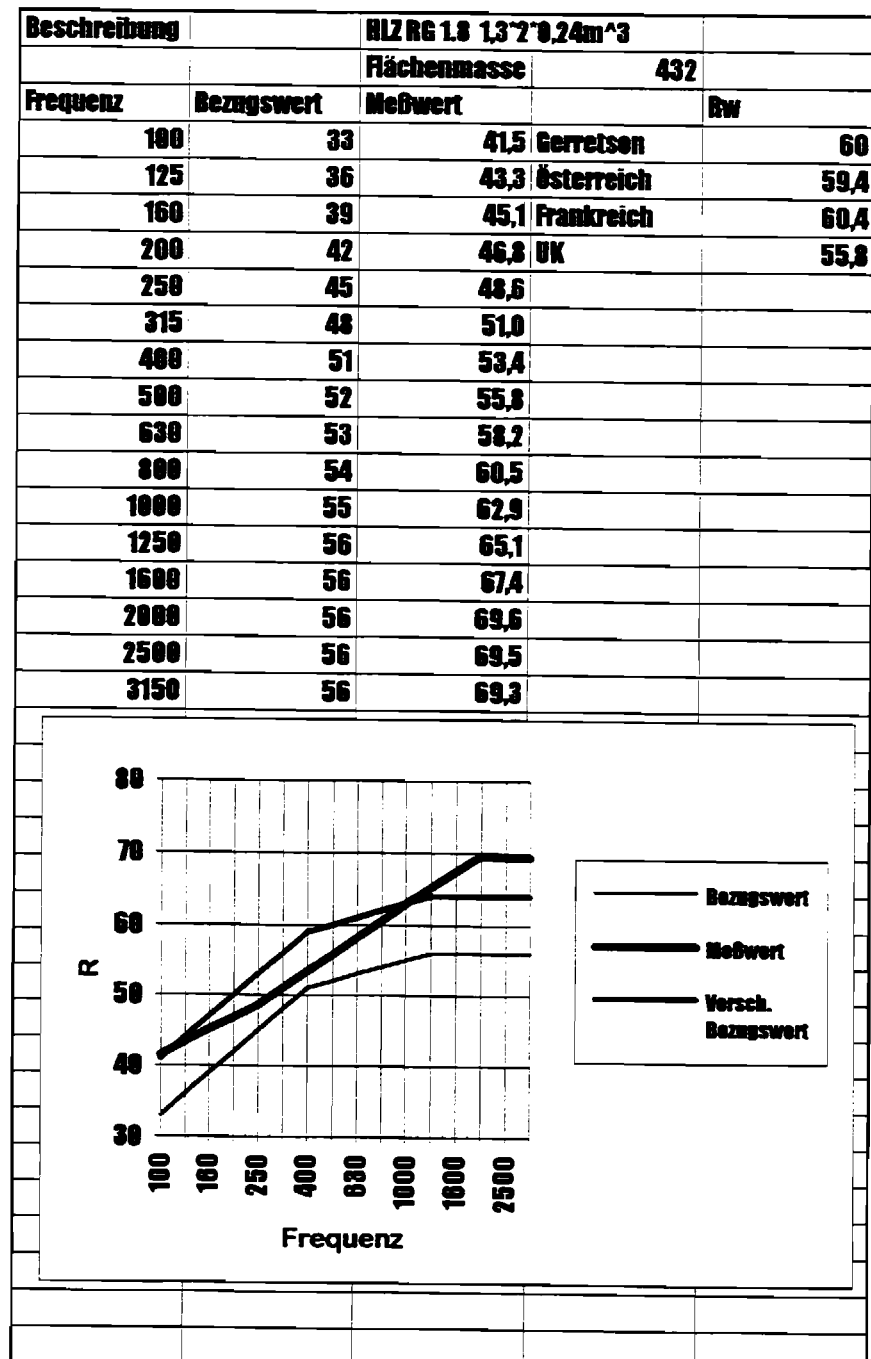
**Bild 11** Schalldämm-Maße für 120 mm Beton nach Annex B von Teil I des CEN-Modells berechnet.



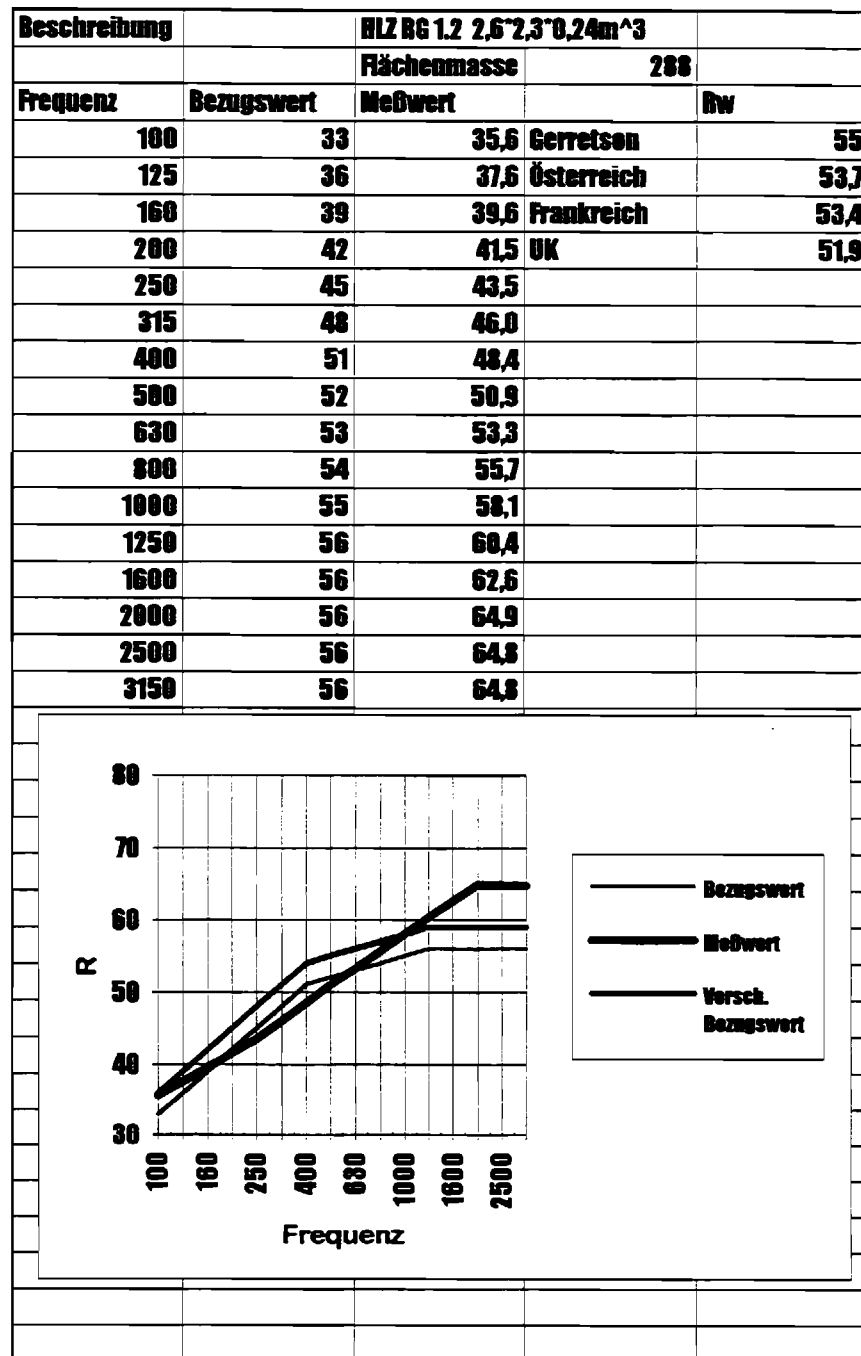
**Bild 12** Schalldämm-Maße für 390 mm Leichtbeton nach Annex B von Teil I des CEN-Modells berechnet.



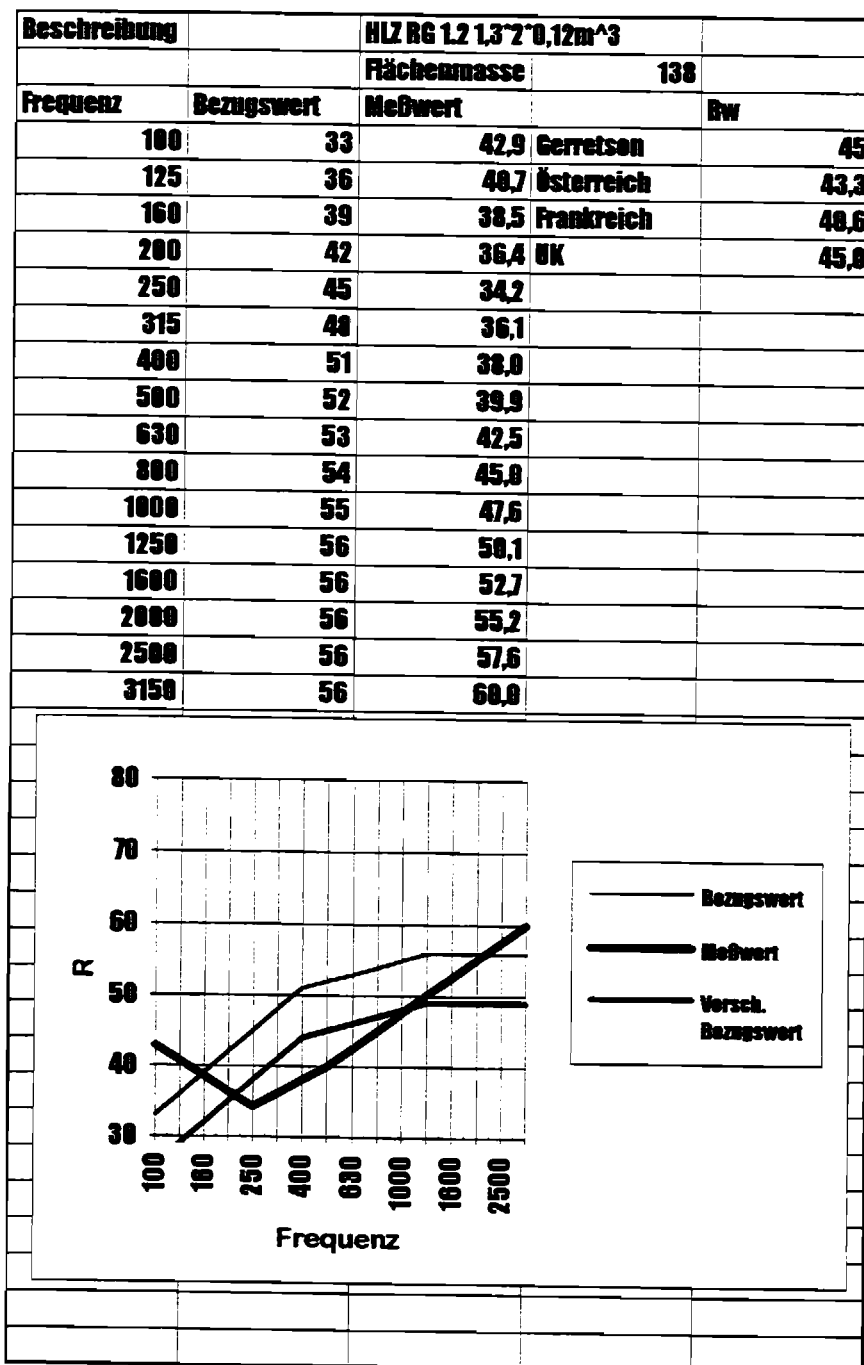
**Bild 13** Schalldämm-Maße für 156 mm Leichtbeton nach Annex B von Teil I des CEN-Modells berechnet.



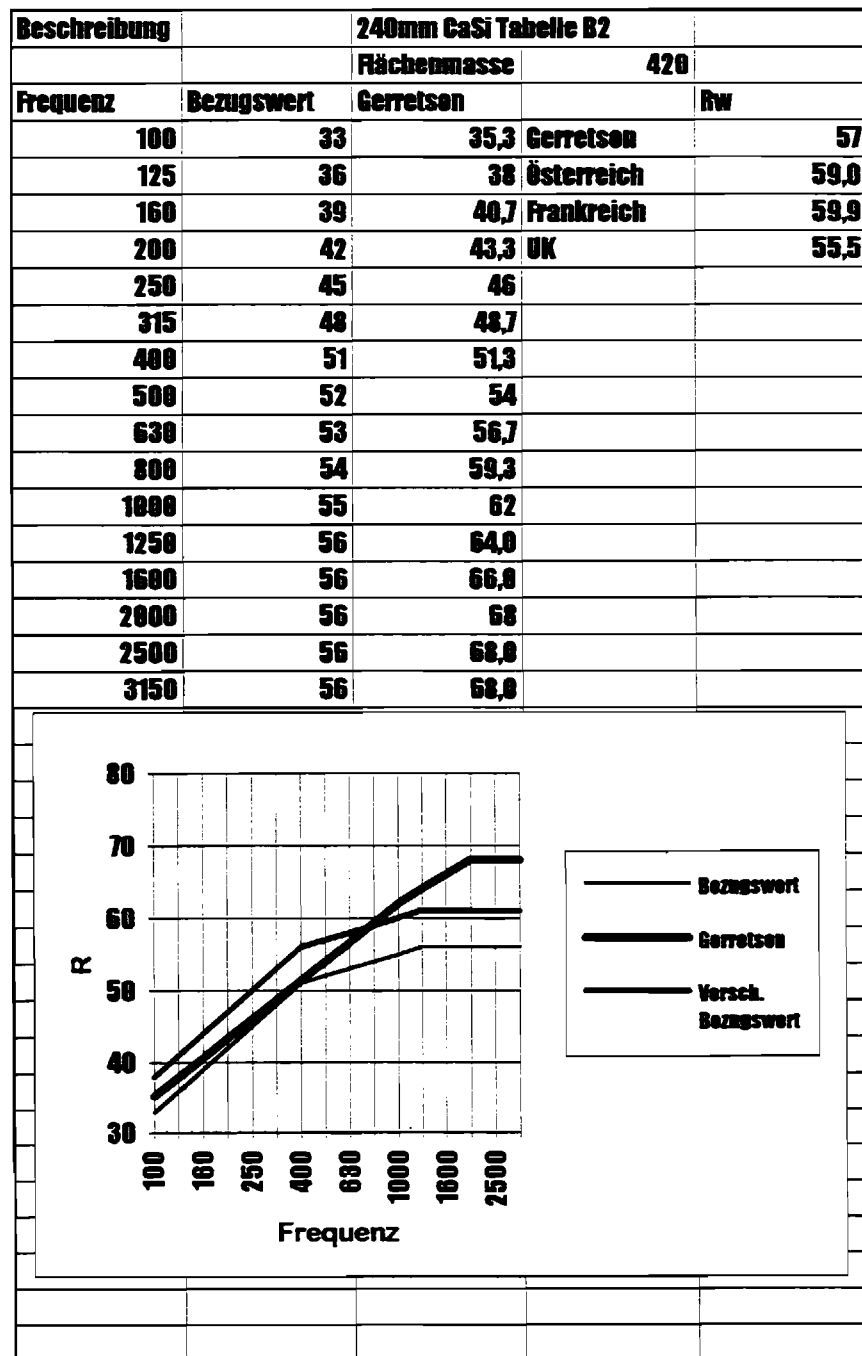
**Bild 14** Schalldämm-Maße für HLZ RG 1.8 1,3 x 2 x 0,24 m<sup>3</sup> nach Annex B von Teil I des CEN-Modells berechnet.



**Bild 15** Schalldämm-Maße für HLZ RG 1.2 2,6 x 2,3 x 0,24 m<sup>3</sup> nach Annex B von Teil I des CEN-Modells berechnet.

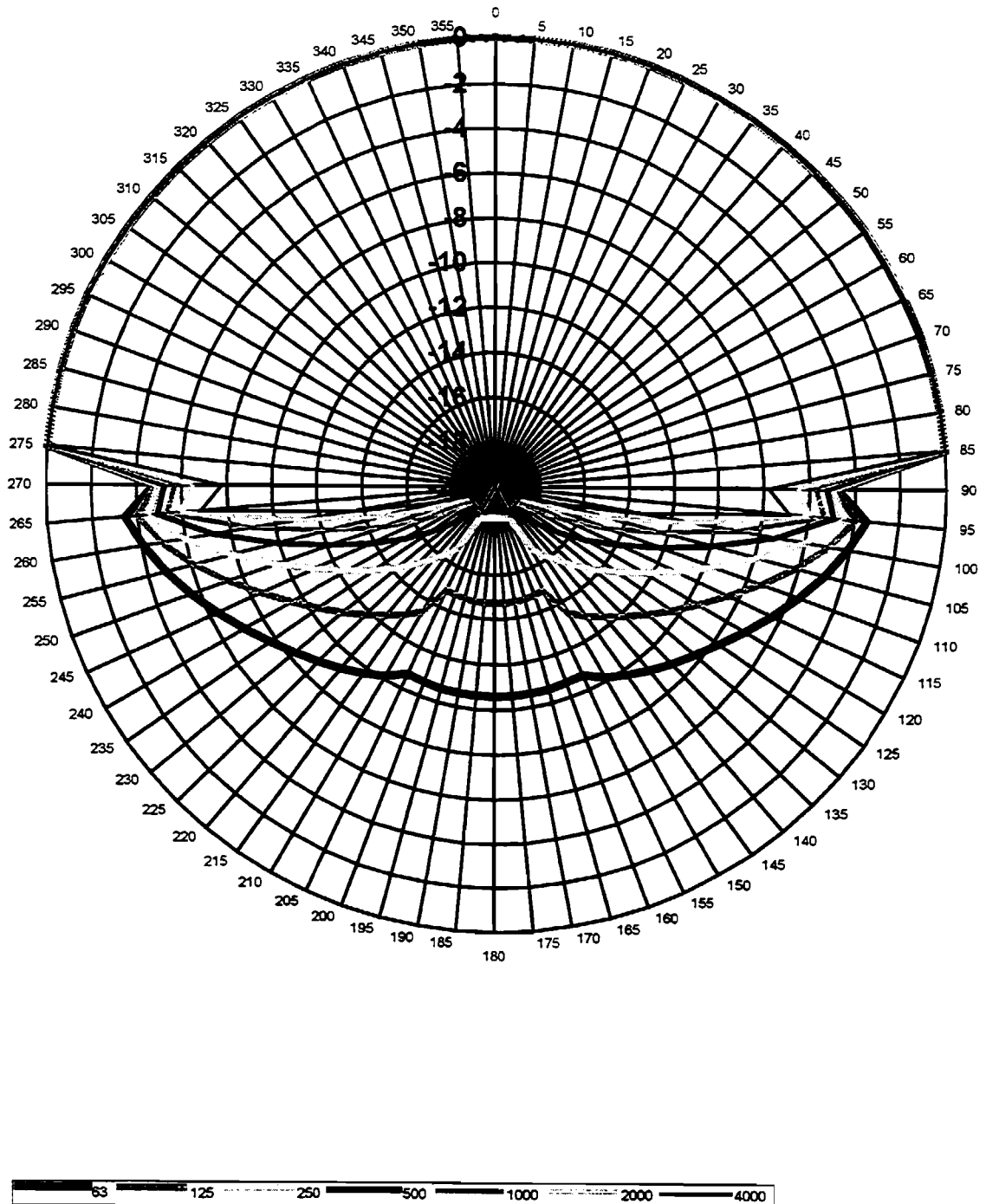


**Bild 16** Schalldämm-Maße für HLZ RG 1.2 1,3 x 2 x 0,12 m<sup>3</sup> nach Annex B von Teil I des CEN-Modells berechnet.

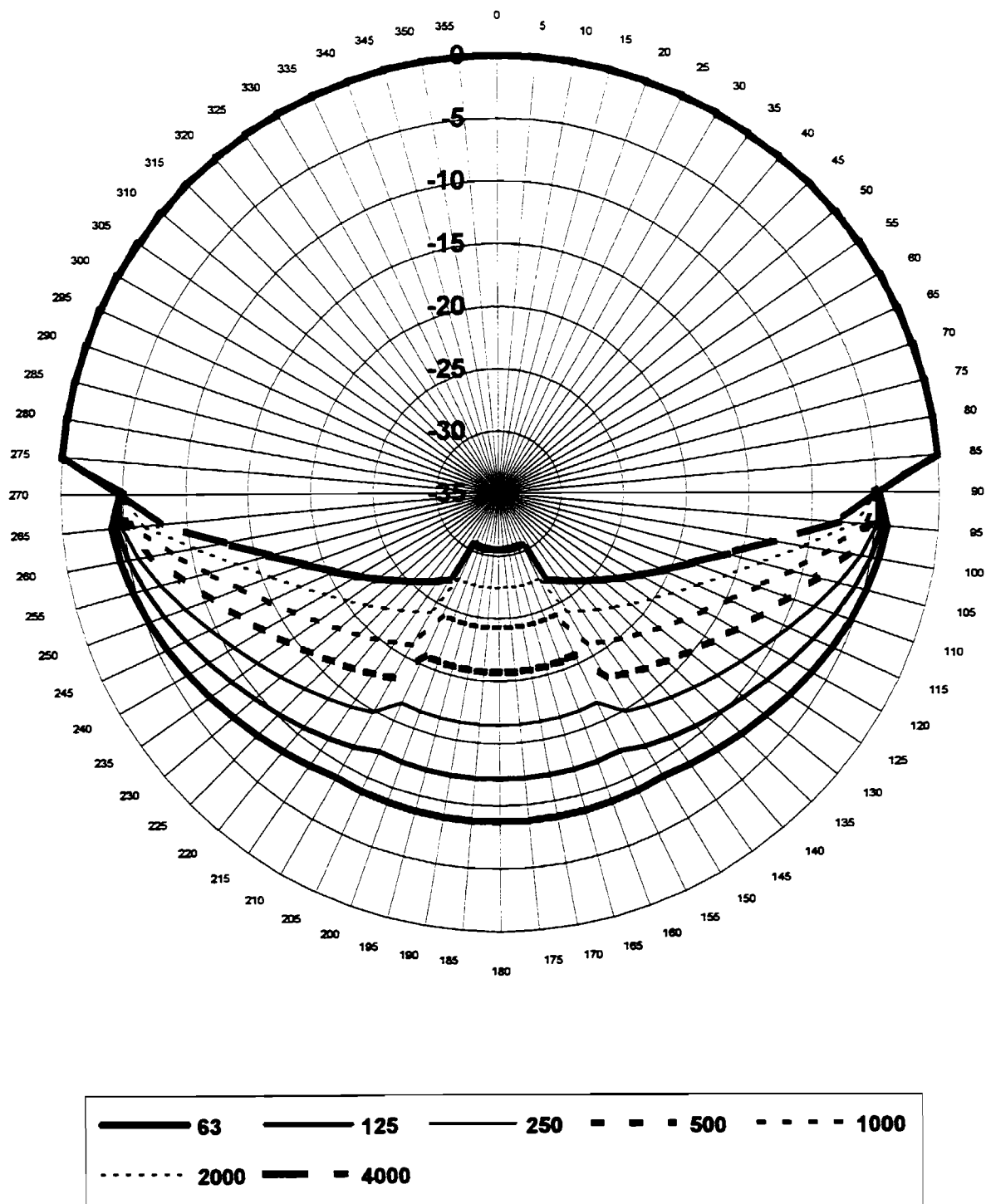


**Bild 17** Schalldämm-Maße für 240 mm Kalksandstein nach Annex B von Teil I des CEN-Modells berechnet.

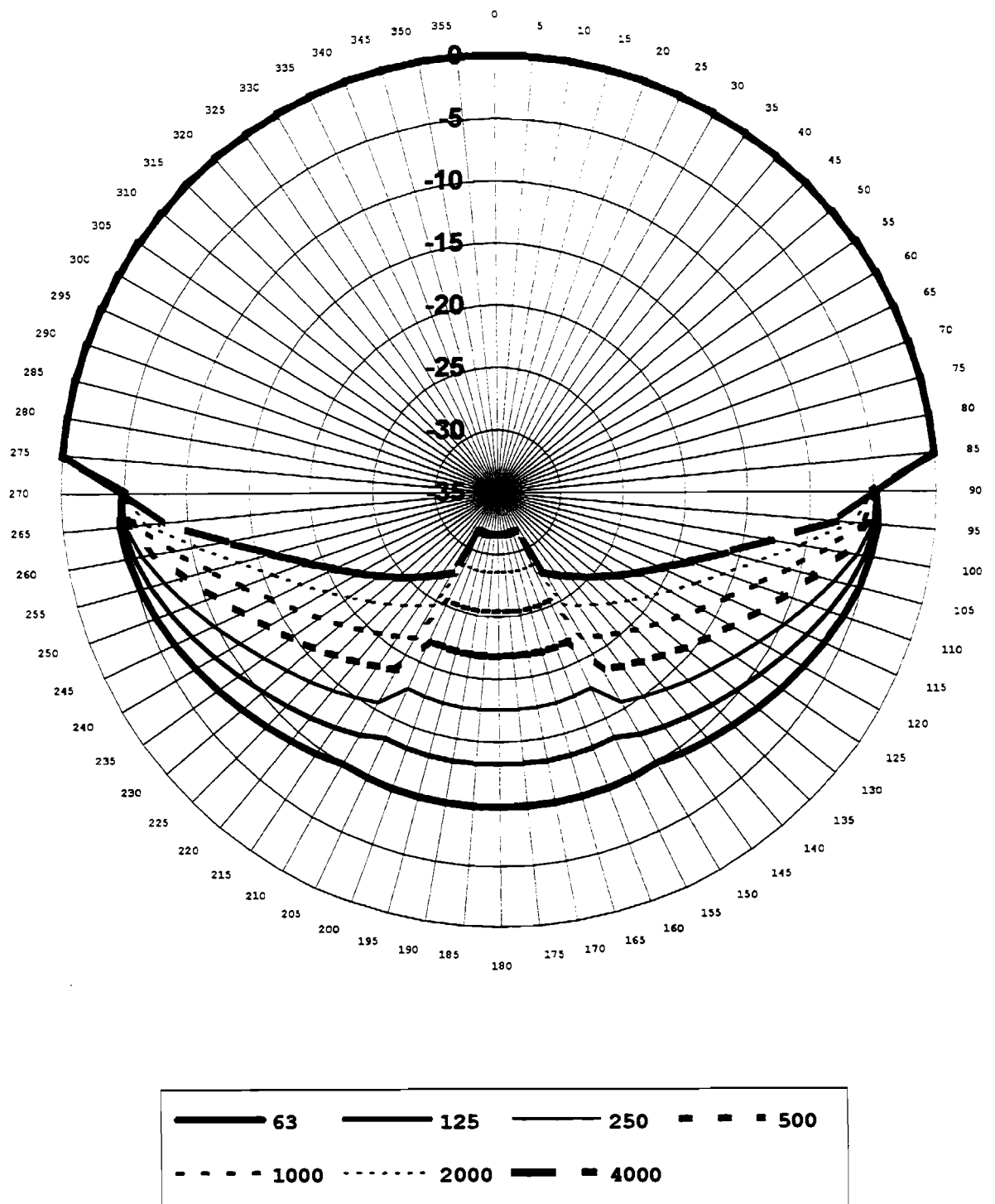




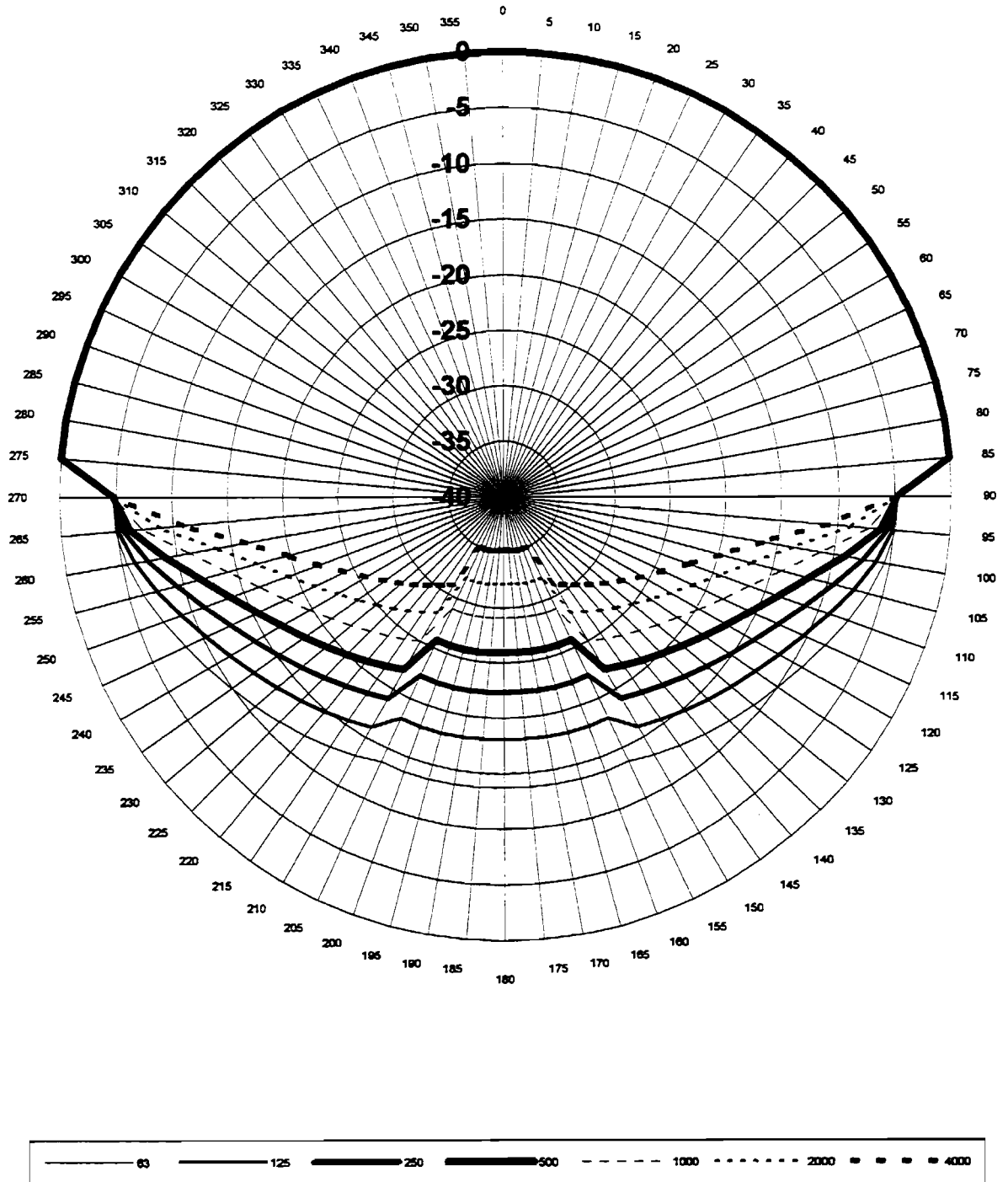
**Bild 18** Frequenzabhängige Richtcharakteristik der Selbstabschirmung eines Gebäudes nach CEN, ÖAL und ISO für ein Gebäude von 20 x 20 x 5 m<sup>3</sup>.



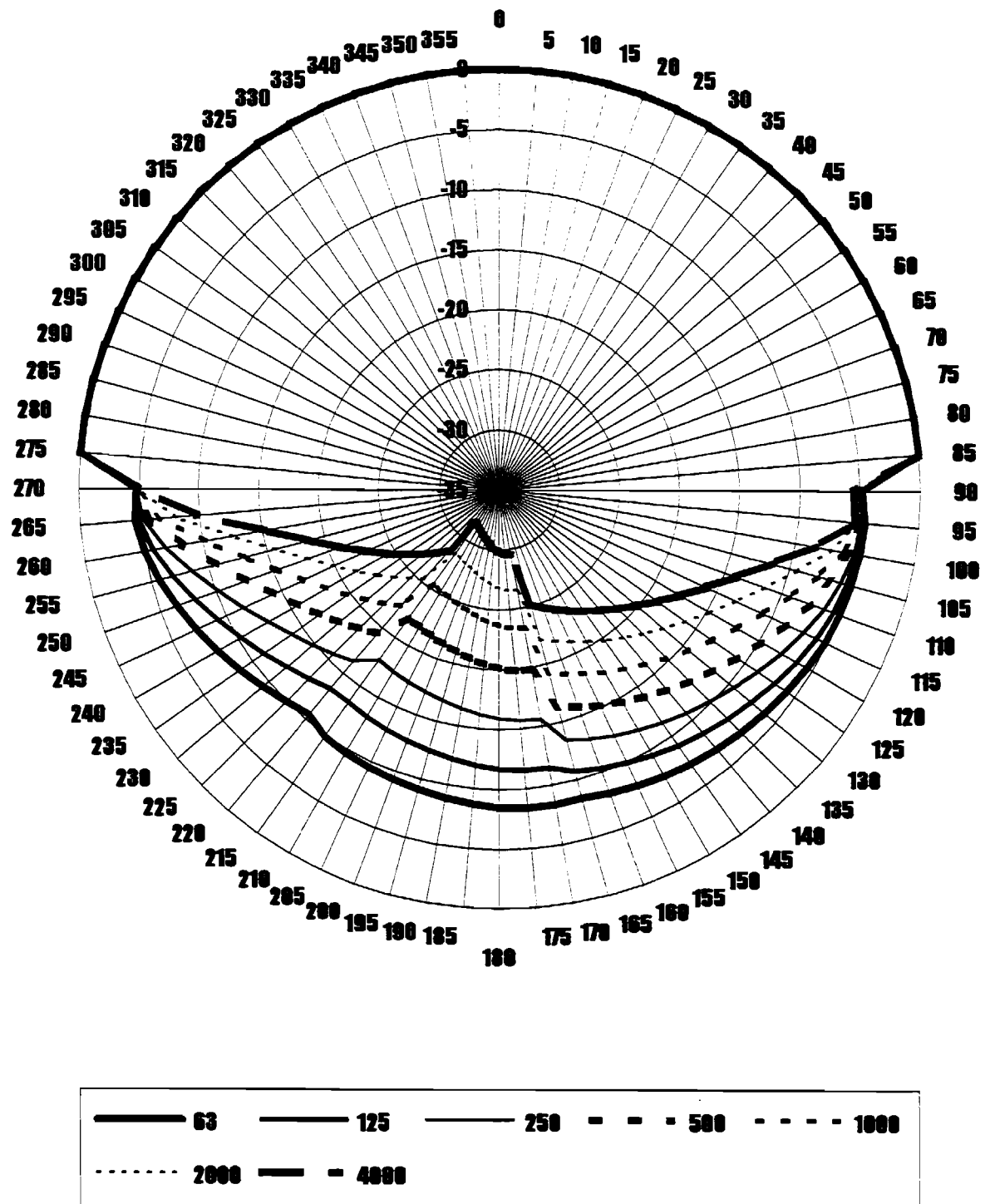
**Bild 19** Frequenzabhängige Richtcharakteristik der Selbstabschirmung eines Gebäudes nach CEN, ÖAL und ISO für ein Gebäude von  $10 \times 10 \times 5 \text{ m}^3$ .



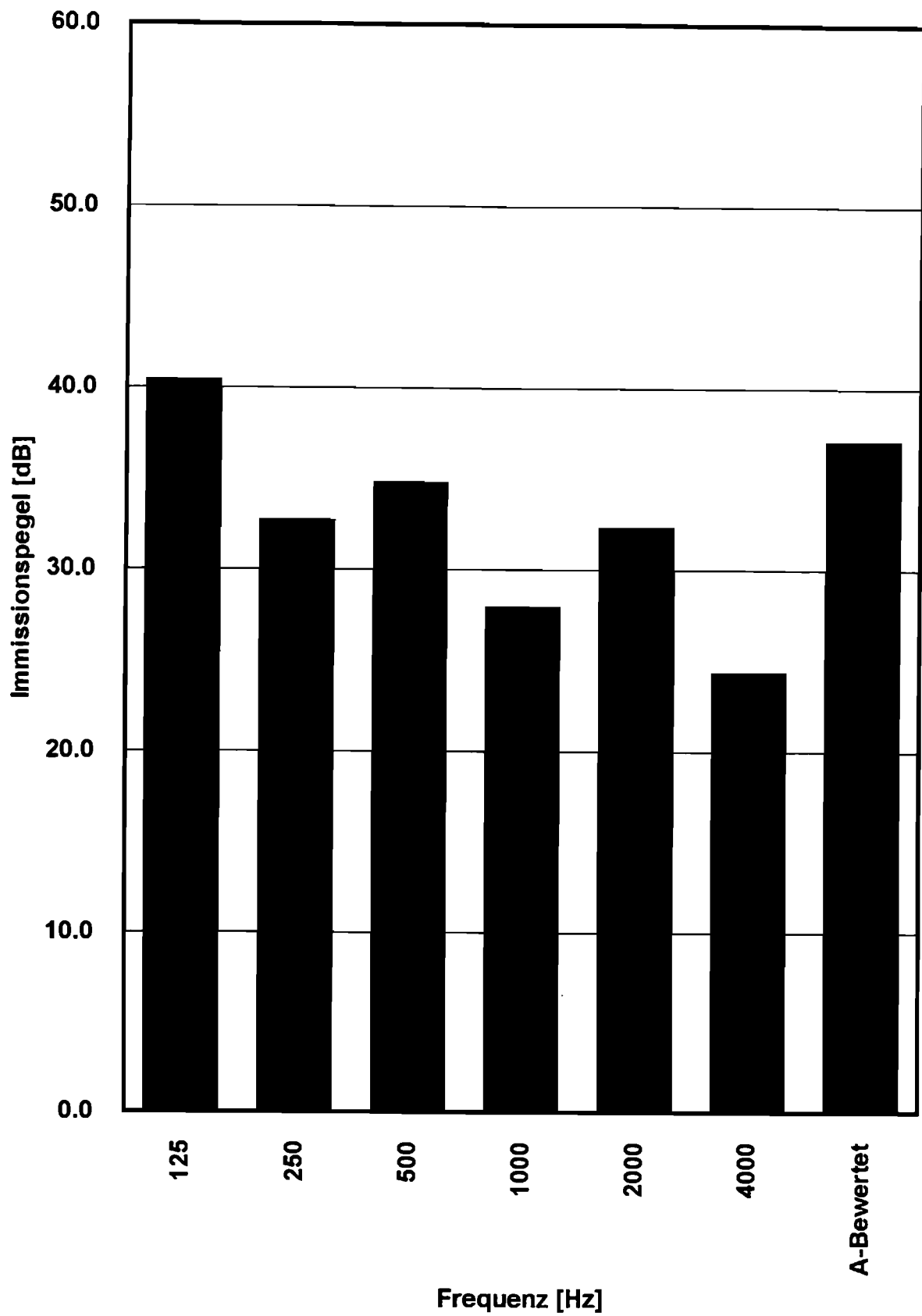
**Bild 20** Frequenzabhängige Richtcharakteristik der Selbstabschirmung eines Gebäudes nach CEN, ÖAL und ISO für ein Gebäude von 10 x 10 x 10 m<sup>3</sup>.



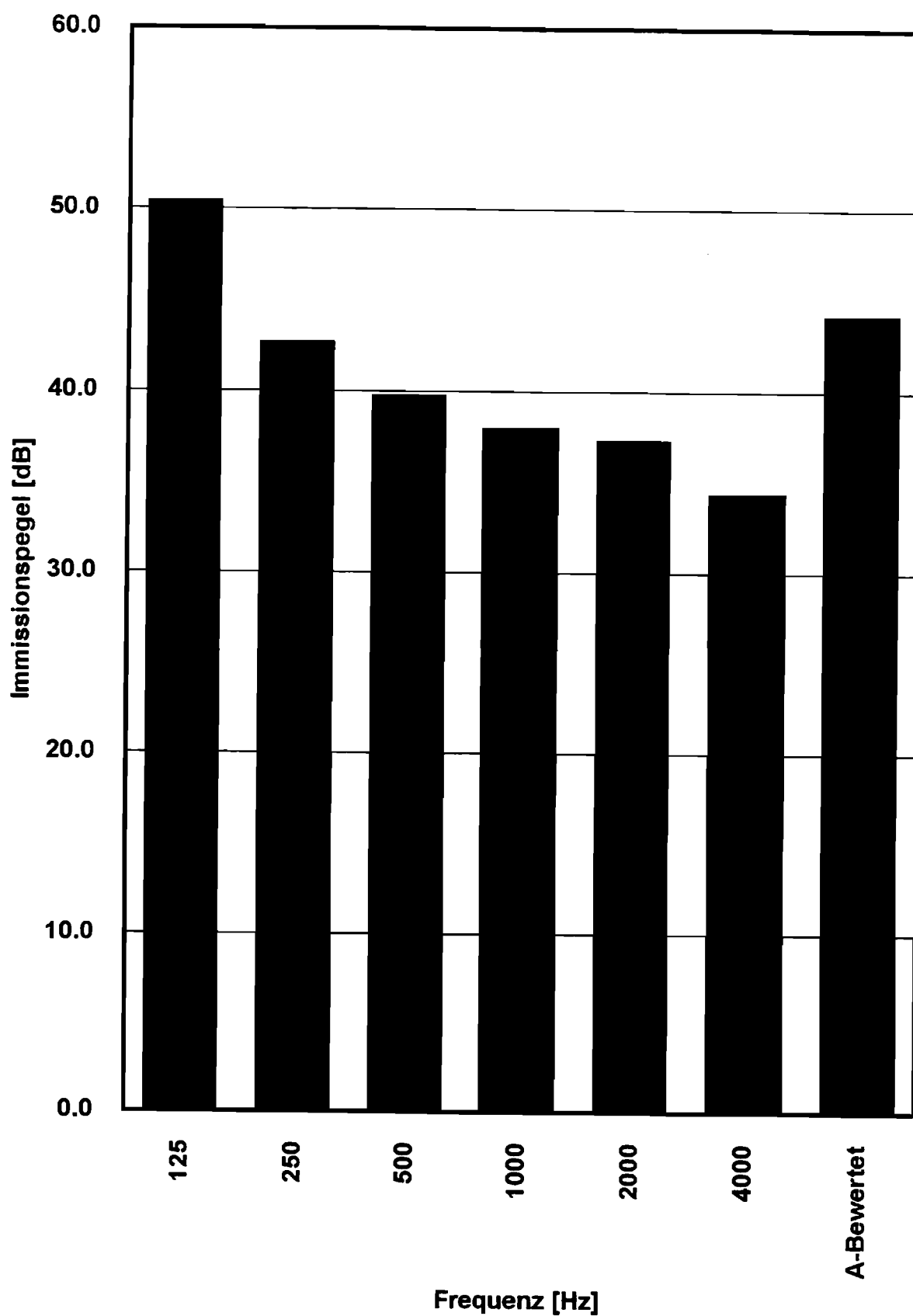
**Bild 21** Frequenzabhängige Richtcharakteristik der Selbstabschirmung eines Gebäudes nach CEN, ÖAL und ISO für ein Gebäude von 20 x 20 x 20 m<sup>3</sup>.



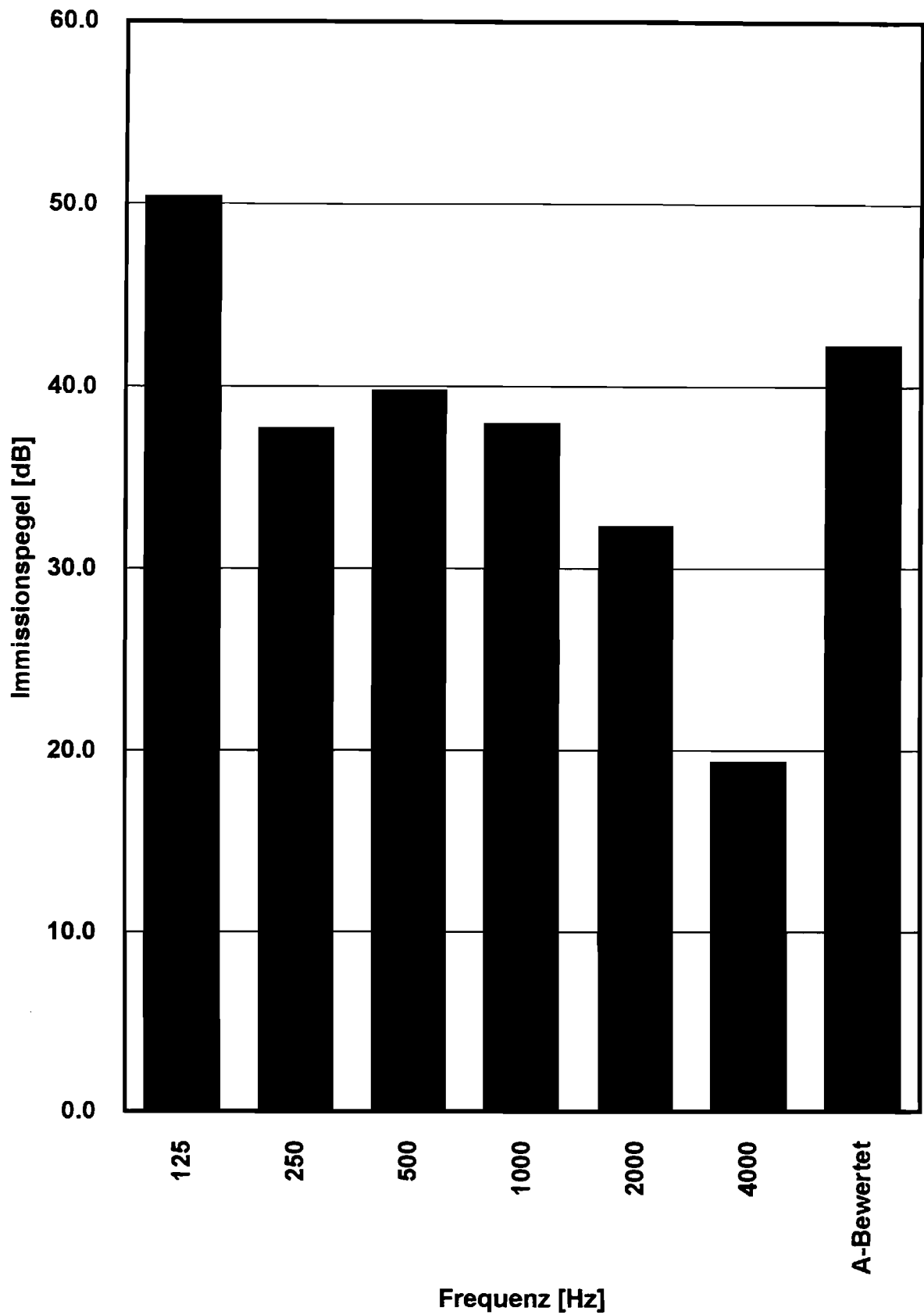
**Bild 22** Frequenzabhängige Richtcharakteristik der Selbstabschirmung eines Gebäudes nach CEN, ÖAL und ISO für ein Gebäude von  $10 \times 10 \times 10 \text{ m}^3$  und um 3 m versetzter Schallquelle.



**Bild 23** Frequenzabhängiger Immissionspegel einer Stanzerei, berechnet nach CEN.

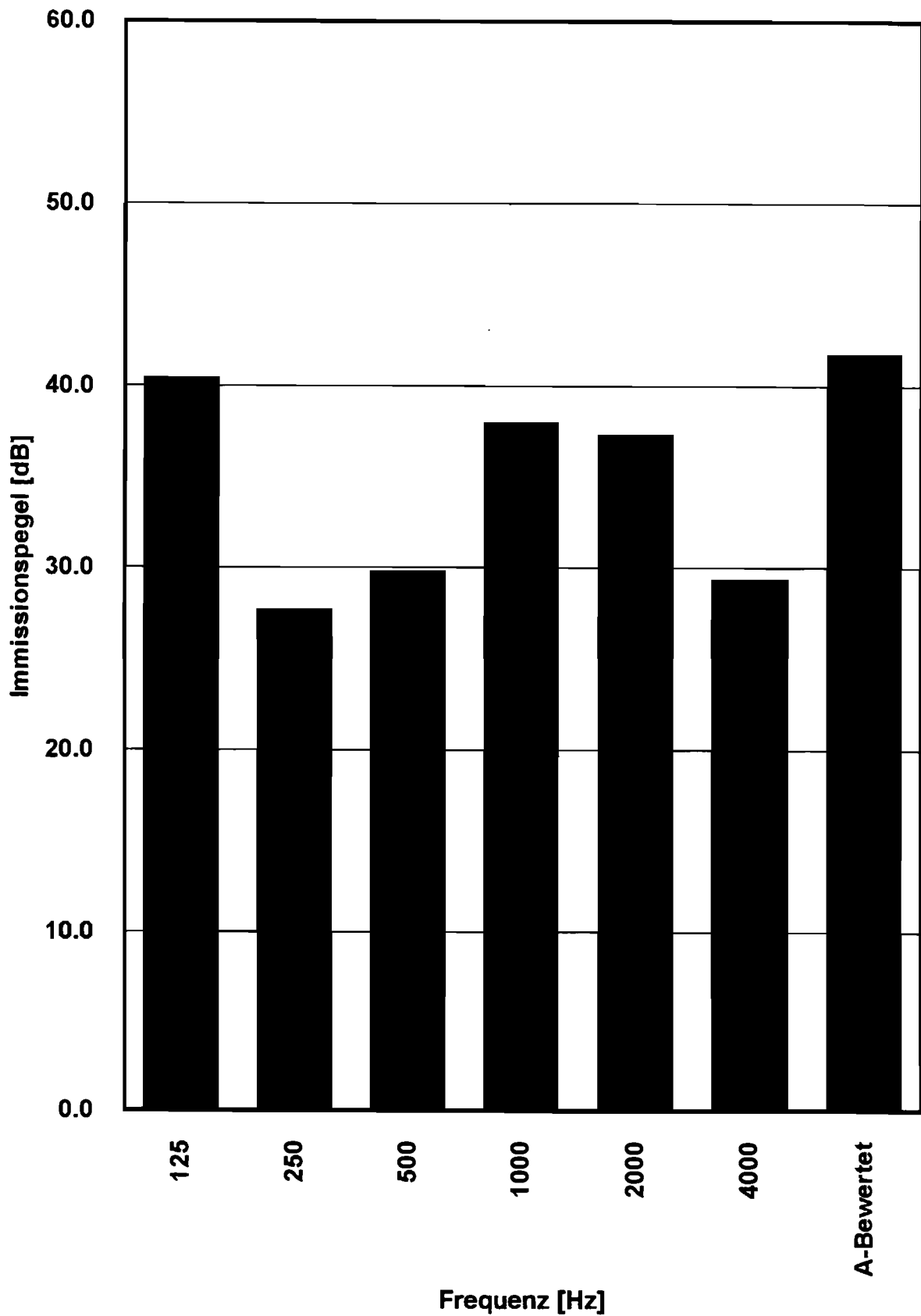


**Bild 24** Frequenzabhängiger Immissionspegel eines Drahtwerkes, berechnet nach CEN.

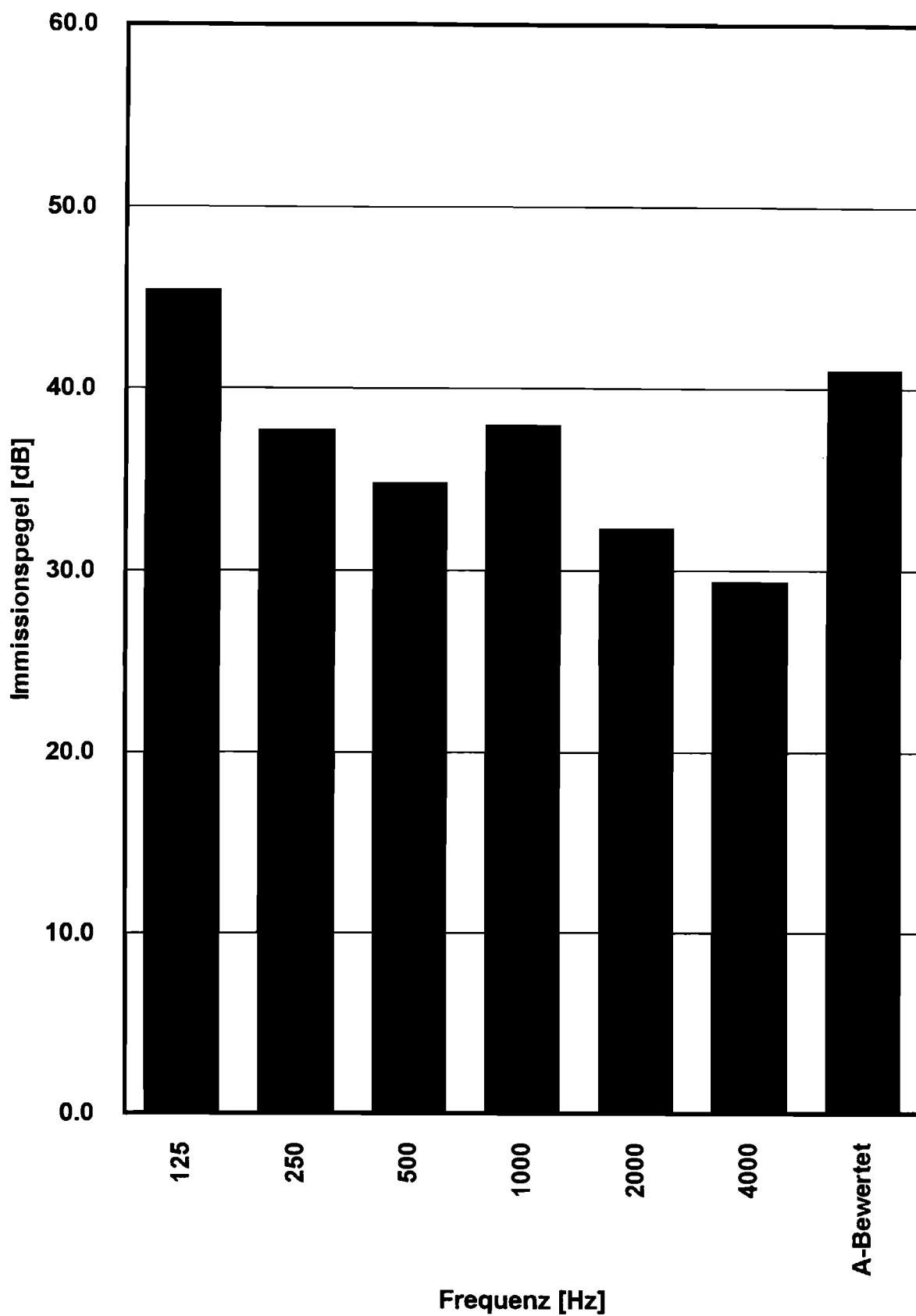


**Bild 25** Frequenzabhängiger Immissionspegel einer Druckerei, berechnet nach CEN.

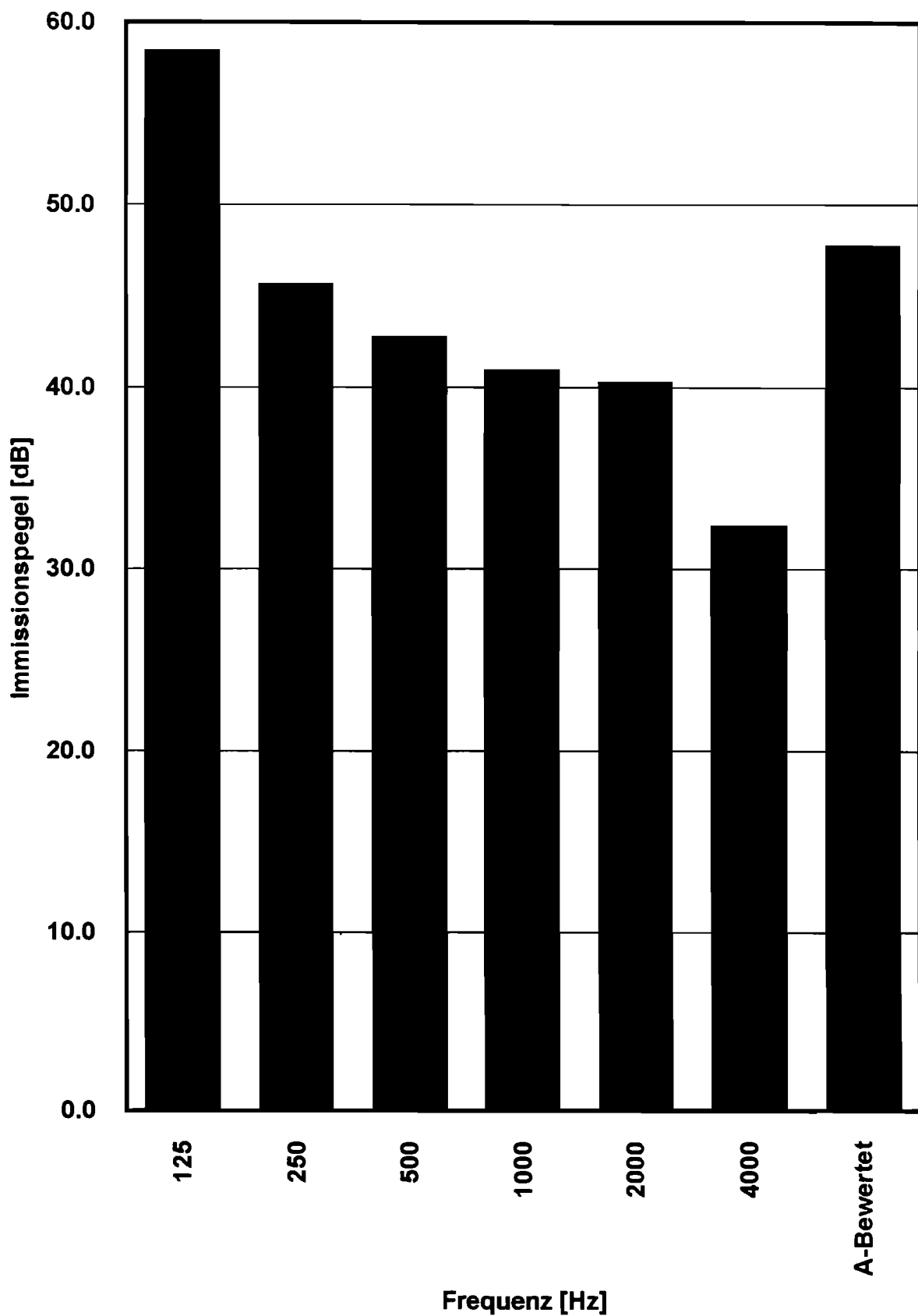




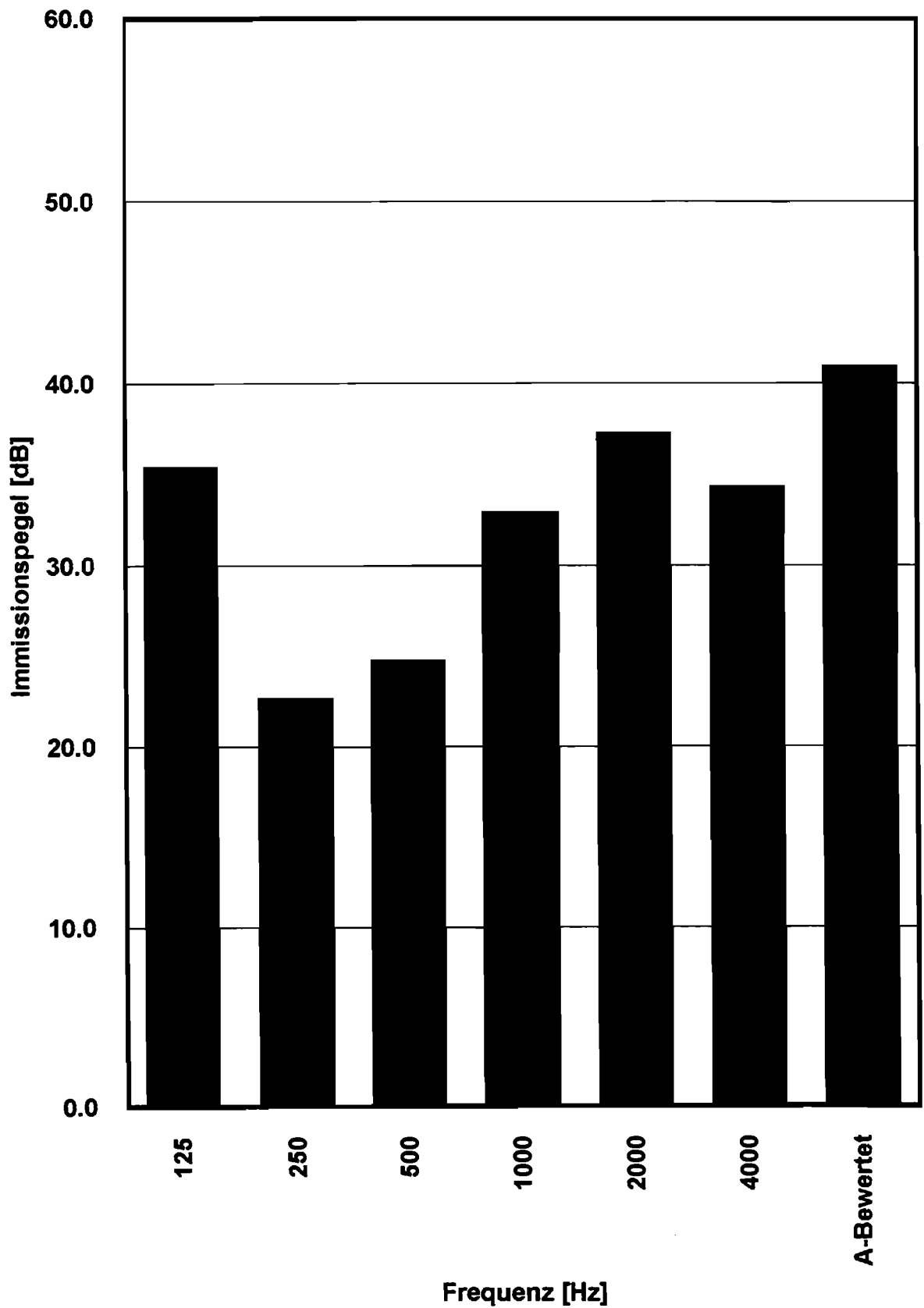
**Bild 26** Frequenzabhängiger Immissionspegel einer Getränkeabfüllanlage, berechnet nach CEN.



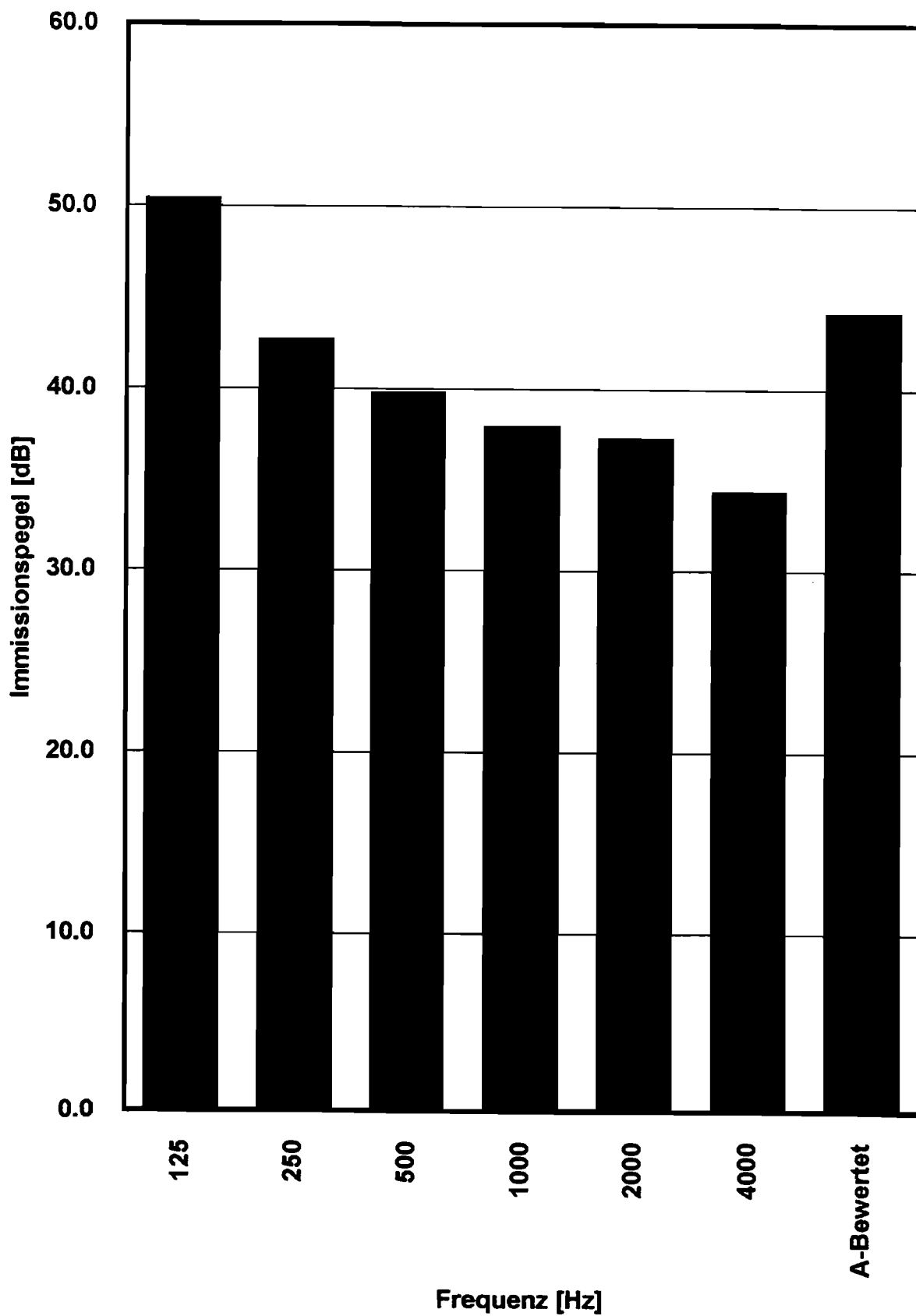
**Bild 27** Frequenzabhängiger Immissionspegel einer Gußputzerei, berechnet nach CEN.



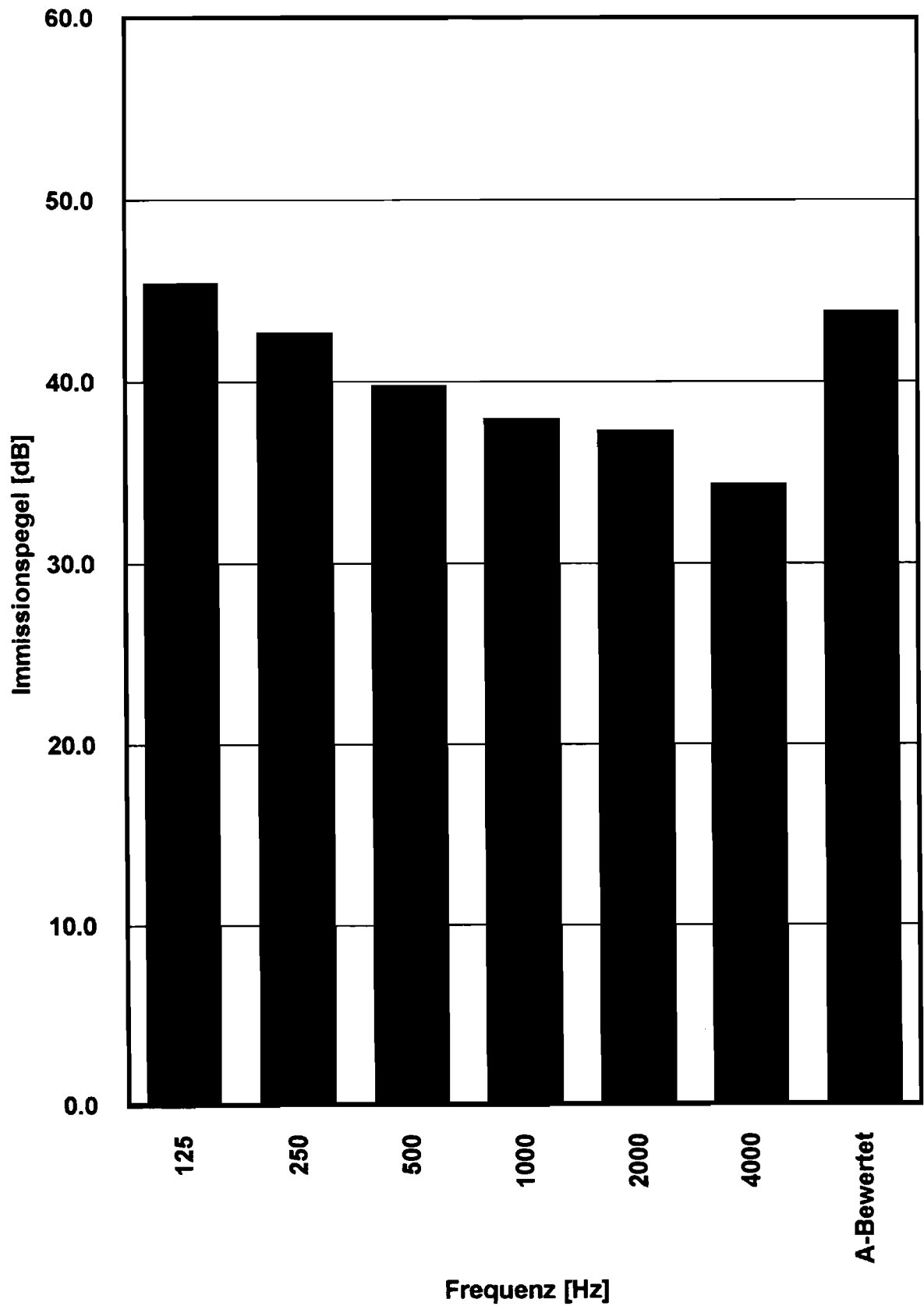
**Bild 28** Frequenzabhängiger Immissionspegel eines Dieselmotorenprüfstandes, berechnet nach CEN.



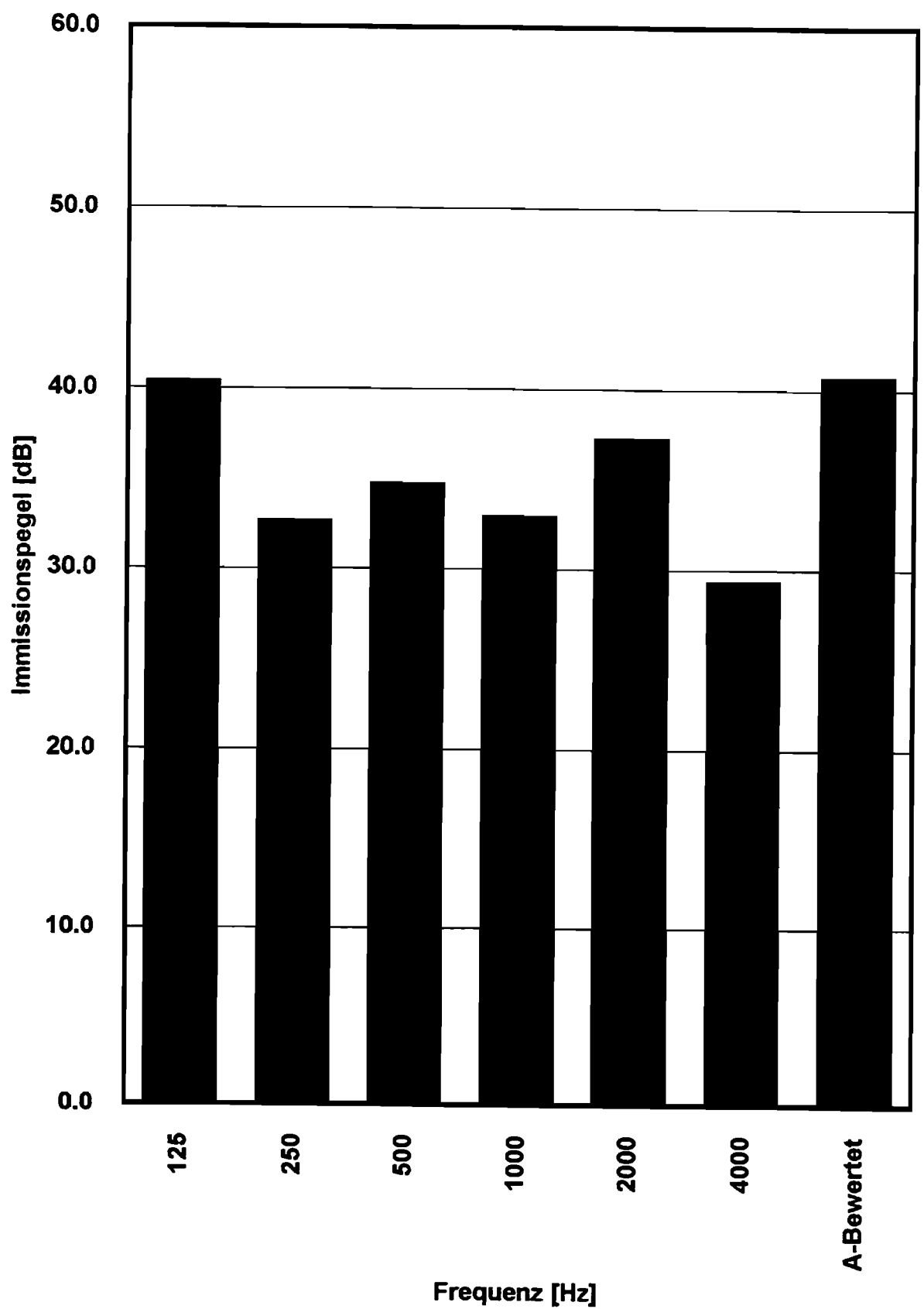
**Bild 29** Frequenzabhängiger Immissionspegel eines Röhrenwerkes, berechnet nach CEN.



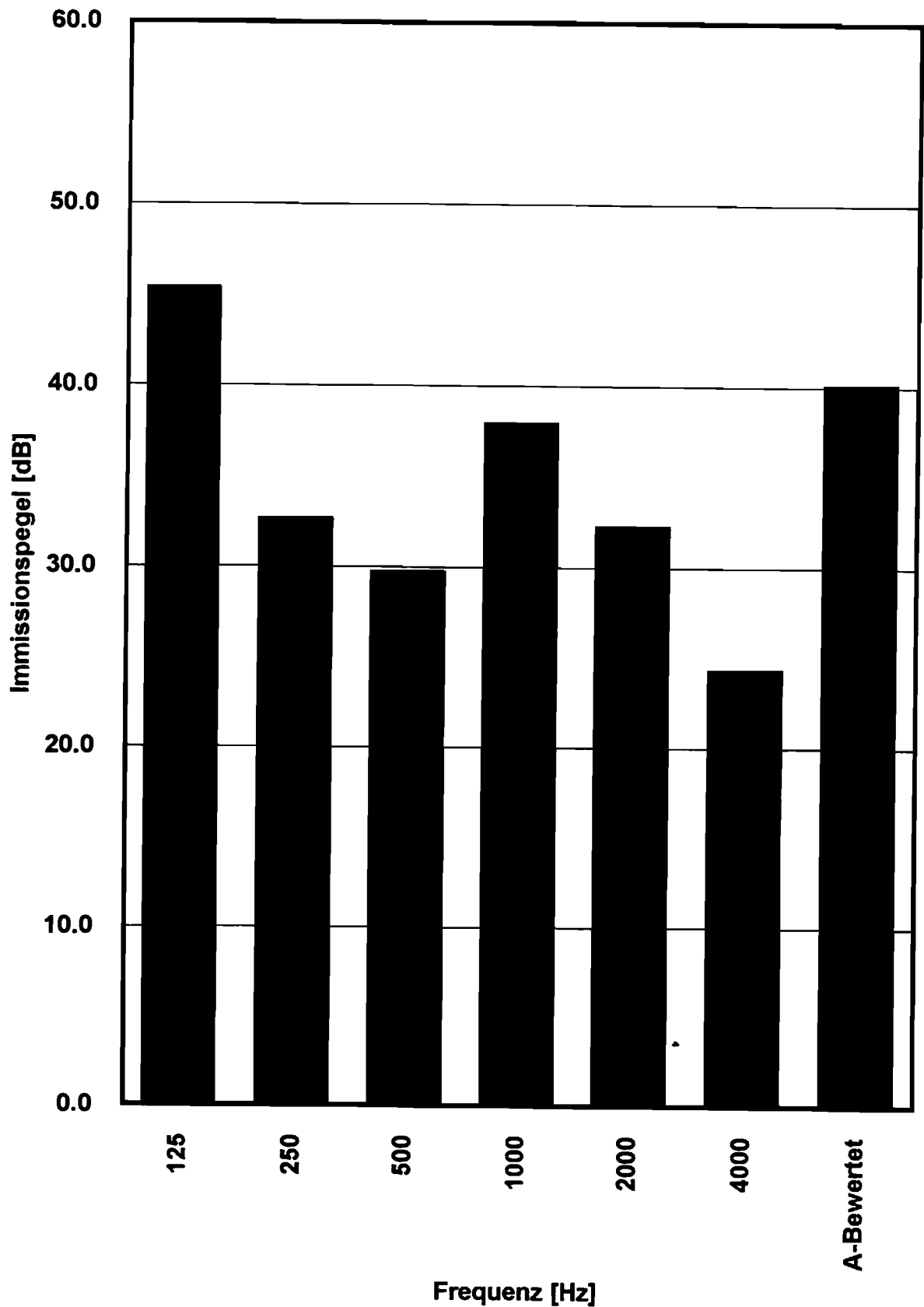
**Bild 30** Frequenzabhängiger Immissionspegel einer Schmelz- und Gießhalle, berechnet nach CEN.



**Bild 31** Frequenzabhängiger Immissionspegel einer Schreinerei, berechnet nach CEN.

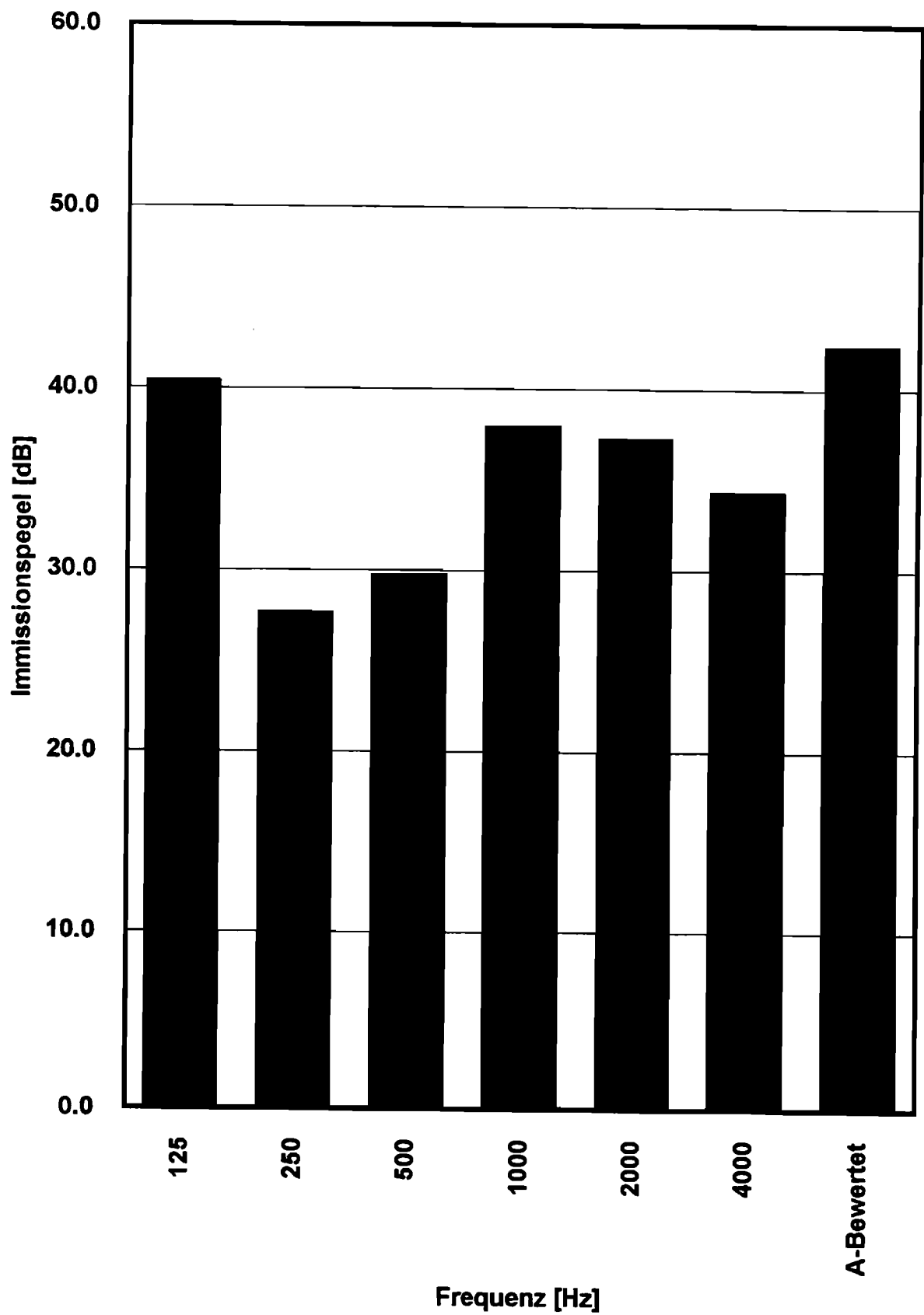


**Bild 32** Frequenzabhängiger Immissionspegel einer Stangenautomatendreherei, berechnet nach CEN.



**Bild 33** Frequenzabhängiger Immissionspegel einer Anlage zur Textilerstellung mit Ringzwirnmachines, berechnet nach CEN.





**Bild 34** Frequenzabhängiger Immissionspegel einer Anlage zur Textilerstellung mit Falschdrahtmaschinen, berechnet nach CEN.