

# Nachhallzeit in eingerichteten und leeren Wohnräumen und Konsequenzen für Geräuschmessungen

C. Burkhart (Akustikbüro Schwartzberger, Pöcking / Ingenieurbüro Schwartzberger, Weimar)

## 1. Einleitung

Mehrere hundert Messungen der Nachhallzeit in Wohnräumen wurden getrennt für eingerichtete und leere Räume statistisch ausgewertet. Als Wohnräume (Aufenthaltsräume im Sinne von /1/ und /5/) wurden Wohnzimmer, Schlafzimmer und Kinderzimmer betrachtet. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde bewußt auf die Aufnahme von Wohnküchen verzichtet. Zu den leeren Räumen zählen Räume die sich noch im Bauzustand befinden (ab Rohbauzustand) und fertiggestellte Räume ohne Möblierung. Untersuchungsgrundlage bildeten meßtechnisch ermittelte Nachhallzeiten aus bauakustischen Messungen der Jahre 1991 bis 1993.

## 2. statistische Auswertung der Meßdaten

Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf Raumvolumina  $V \leq 200 \text{ m}^3$ , in diesem Bereich liegt die Mehrzahl (ca. 98 %) der vorgefundenen Wohnräume. Getrennt für **eingerichtete Räume** und **leere Räume** wurde eine Auswertung der Meßdaten durchgeführt, wobei die Räume in "Volumenklassen" von je  $2 \text{ m}^3$  eingeteilt wurden (z.B. Volumenklasse  $12 \text{ m}^3$ :  $11 \text{ m}^3 \leq V < 13 \text{ m}^3$ ). Die

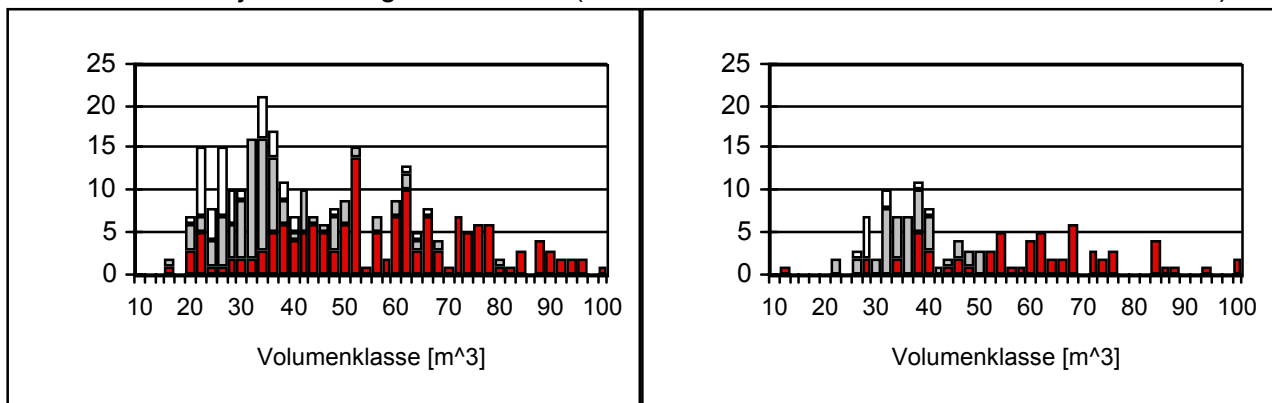


Bild 1, 2: Anzahl der Räume je Volumenklasse - eingerichtete Räume - leere Räume, schwarz - Wohnen / schraffiert - Schlafen / weiß - Kind (nicht dargestellt 32 Räume mit  $V > 100 \text{ m}^3$ )

Grundlage bildeten 319 Messungen der Nachhallzeit in eingerichteten und 117 in leeren Räumen. Innerhalb dieser Volumenklassen wurden Mittelwert, Minimum, Maximum und wahrscheinliche Schwankung der mittleren Nachhallzeit (200 Hz bis 2,5 kHz) und der äquivalenten Absorptionsfläche berechnet. Der Verlauf der Mittelwerte über dem Volumen wurde durch eine lineare Funktion mit minimalem Fehlerquadrat-Kriterium angenähert.

### 2.1. eingerichtete Räume

In Bild 3 ist deutlich die meist 0,2 s, teilweise bis zu 0,9 s breite Schwankung der Nachhallzeit innerhalb einer Volumenklasse von nur  $2 \text{ m}^3$  erkennbar, die Abstände der Extremwerte betragen meist 0,4, teilweise bis zu 1,5 Sekunden. Dies bedeutet, daß man in der Praxis in Räumen gleichen Volumens auf äußerst unterschiedliche raumakustische Situationen treffen kann, die von der Raumgeometrie - im Wesentlichen jedoch vom Grad der Möblierung abhängen. Als angenäherte Funktionsgleichung für die Mittelwerte der Nachhallzeit / äquivalenter Absorptionsfläche erhält

$$T = 0,28 + 0,0039 \cdot V$$

$$A = 9,6 + 0,15 \cdot V$$

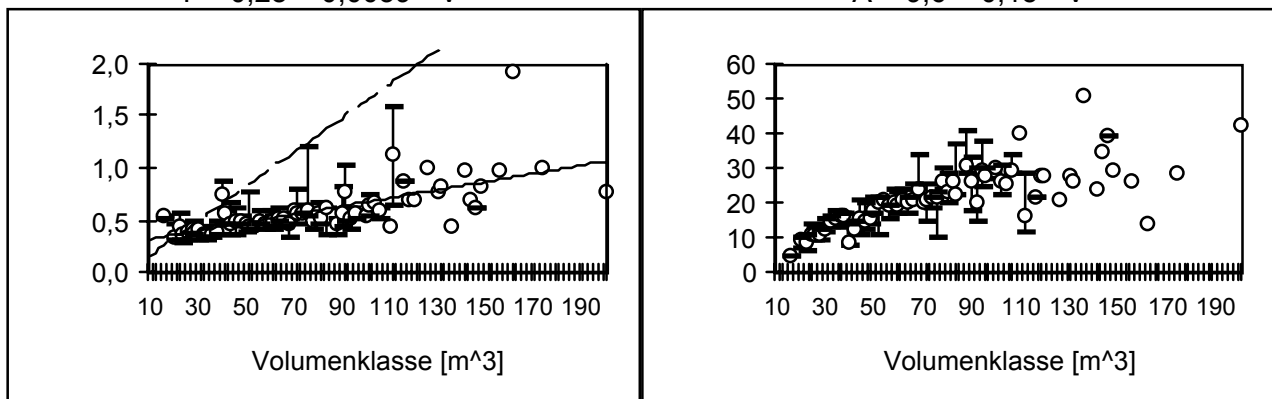
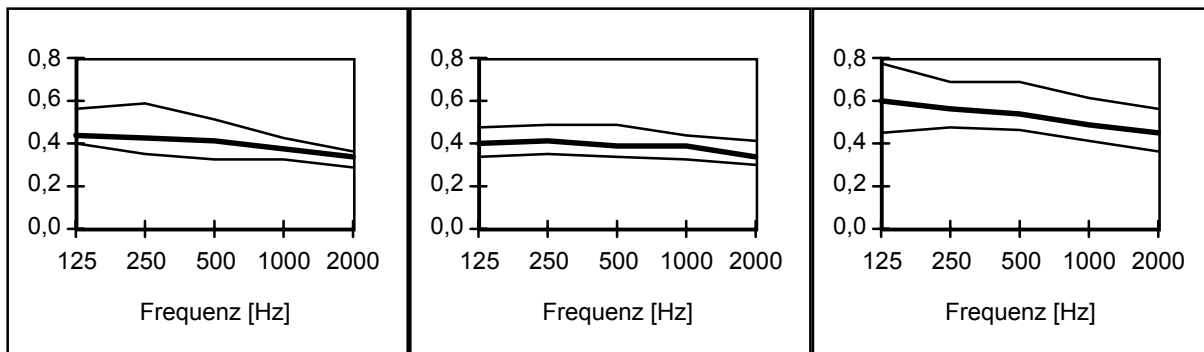


Bild 3, 4: Mittelwerte und wahrscheinliche Schwankungen der mittleren Nachhallzeit (250 Hz bis 2 kHz) und der der äquivalenten Absorptionsfläche - eingerichtete Räume gestrichelte Linie = Verlauf, der sich für  $A = 10 \text{ m}^2$  ergeben würde

man, die angegebenen Gleichungen. In der Regel sind die Wände und Decken von Wohnräumen wenig schallabsorbierend ausgeführt, somit erscheint es sinnvoll das Verhältnis der Grundfläche eines Raumes zur äquivalenten Absorptionsfläche zu untersuchen (siehe auch VDI 2719 "Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen" /4/ und /7/). Untersucht man das Verhältnis getrennt für jede Raumart so finden sich in Abhängigkeit von der Grundfläche des Raumes die in der nebenstehenden Tabelle 2 aufgeführten Zusammenhänge. Die spektralen Verläufe der Nachhallzeiten getrennt für jede Raumart zeigen die Bilder 5 bis 7. Erkennbar ist eine nur sehr geringe Frequenzabhängigkeit der Nachhallzeit.

Raumart	
Wohnzimmer	$A \approx 0,79 * G$
Schlafzimmer	$A \approx 1,05 * G$
Kinderzimmer	$A \approx 1,02 * G$
alle Raumarten	$A \approx 0,90 * G$

Tabelle 2: Zusammenhang zwischen äquivalenter Absorptionsfläche und Grundfläche bei eingerichteten Räumen



Bilder 5, 6, 7: Spektrale Verläufe der Nachhallzeiten [s] je Raumart (Kinderzimmer/Schlafzimmer/Wohnzimmer), dargestellt sind Mittelwerte (dicke Linie) und wahrscheinliche Schwankungen (dünne Linien)

Vergleicht man diese Ergebnisse mit früheren Veröffentlichungen so lassen sich folgende Unterschiede feststellen:

- Im Vergleich zu den von Taubert/Ruhe im Jahr 1980 /6/ festgestellten langen Nachhallzeiten in Schlafzimmern (Mittelwert ca. 0,7 s) weisen heute offensichtlich Schlafzimmer wesentlich kürzere Nachhallzeiten auf. Auch scheint sich die damalige Erkenntnis, daß Schlafzimmer eine längere Nachhallzeit als Wohnzimmer aufweisen gerade umgekehrt zu haben.
- gegenüber dem 1980 veröffentlichten Bericht von Jovicic /7/ wurden noch kürzere Nachhallzeiten und entsprechend größere äquivalente Absorptionsflächen ermittelt. Der Bericht verfolgte die Nachhallzeitentwicklung über ca. 15 Jahre mit der Ergebnistendenz immer kürzer werdender Nachhallzeiten. Dies läßt sich bestätigen, die Nachhallzeiten in Wohnräumen liegen heute niedriger als damals festgestellt.

## 2.2. leere Räume

In Bild 8 sind die Mittelwerte und wahrscheinlichen Schwankungen über den Volumenklassen dargestellt. Deutlich erkennbar ist auch hier die meist 0,9 s, teilweise bis über 2 s breite Schwankung innerhalb einer Volumenklasse von nur 2 m<sup>3</sup>, die Abstände der Extremwerte betragen teilweise bis zu 3 Sekunden. Erwartungsgemäß zeigt sich hier eine wesentlich größere Streuung der mittleren Nachhallzeiten und äquivalenten Absorptionsflächen. Die angenäherten Funktionsgleichungen sind angegeben.

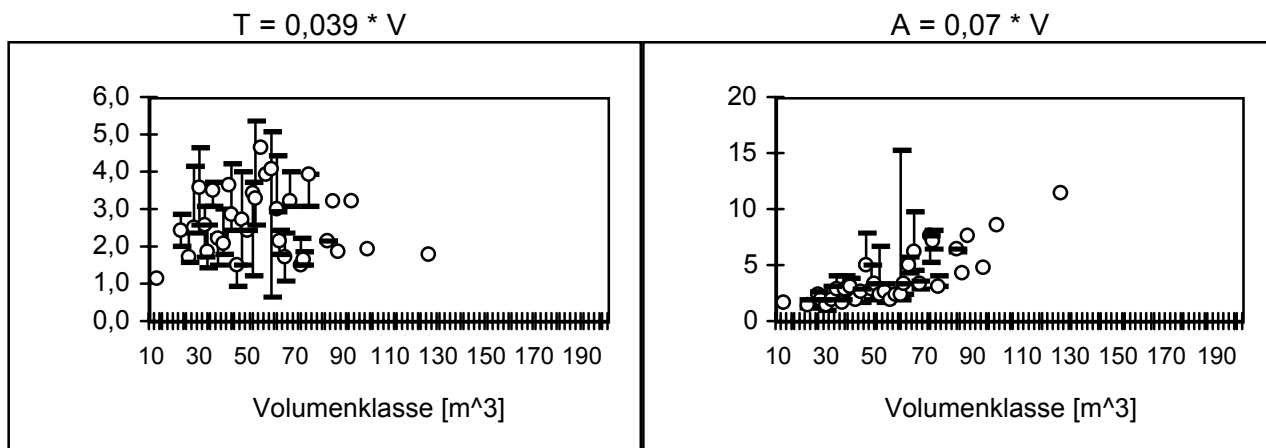


Bild 8, 9: Mittelwerte und wahrscheinliche Schwankungen der mittleren Nachhallzeit (250 Hz bis 2 kHz) und der der äquivalenten Absorptionsfläche - leere Räume

### 3. unterschiedliche Berücksichtigung der Nachhallzeiten bei schalltechnischen Messungen

Die raumakustische Situation der Meßräume findet je nach zugrundeliegendem Regelwerk oder Meßvorschrift unterschiedliche Würdigung bei der schalltechnischen Beurteilung der ermittelten Meßergebnisse.

#### 3.1. bauakustische Messungen

Bauakustische Messungen der Luft- und Trittschalldämmung nach DIN 52210 werden unter Berücksichtigung der raumakustischen Situation im Empfangsraum in Form der Nachhallzeit ausgewertet. Hierbei werden die ermittelten Schallpegel auf eine äquivalente Absorptionsfläche von  $A_0 = 10 \text{ m}^2$  (Wohnräume) bezogen, d.h. der Einfluß der Nachhallzeit im Empfangsraum auf die Meßergebnisse wird eliminiert, die Meßergebnisse auf einen "Normraum" umgerechnet. Dadurch wird ein hohes Maß an Reproduzierbarkeit von bauakustischen Messungen gewährleistet.

#### 3.2. Messungen von Wasserinstallationen

Die Durchführung und Auswertung der Geräuschmessungen von Wasserinstallationen ist in DIN 52219 festgelegt und war in den letzten Jahrzehnten ständigen Änderungen unterworfen. Die Ausgabe **Dezember 1978** schrieb zwingend vor die Meßergebnisse auf eine äquivalente Absorptionsfläche von  $A_0 = 10 \text{ m}^2$  zu beziehen. Die im **September 1985** erschienene Neufassung führte erstmalig eine Trennung zwischen leeren (Berücksichtigung der Schallabsorption) und eingerichteten (keine Berücksichtigung der Schallabsorption) Räumen ein. Im **Juli 1991** erschien wiederum eine, im wesentlichen unveränderte Neufassung der DIN 52219, neu war die Einführung einer dritten Möglichkeit der "schwach möblierte Raum". Im Prüfbericht sollte ein Hinweis auf die schwache Möblierung aufgenommen sein, Konsequenzen für die Beurteilung oder Berücksichtigung der Schallabsorption ergaben sich jedoch nicht. Schließlich erschien im **Juli 1993** die derzeit gültige Ausgabe der DIN 52219, man entschied sich, wie bereits 1978, alle Meßergebnisse auf eine äquivalente Absorptionsfläche von  $A_0 = 10 \text{ m}^2$  zu beziehen. Somit ist hier ebenfalls (wieder) ein hohes Maß an Reproduzierbarkeit der durchgeführten Messungen gewährleistet.

#### 3.3. TA-Lärm, VDI 2058 und VDI 2719

Die TA-Lärm trifft zur Berücksichtigung der Absorptionsfläche keine explizite Aussage, es findet sich nur der Hinweis, daß die Räume "wie gewöhnlich ausgestattet" sein müssen (TA-Lärm, 2.421.1) Ähnlich verfährt die VDI-Richtlinie 2058, Blatt 1 - sie enthält lediglich den Hinweis darauf, daß die Raumausstattung "üblich" sein soll, gibt jedoch keinen Hinweis auf notwendige Konsequenzen.

### 4. Konsequenzen und Lösungsvorschläge

Betrachtet man die Aussagen in den verschiedenen Normvorschriften und Gesetzen, so verbleibt eine nicht unerhebliche Interpretationsfreiheit. Die "Freiheit" konzentriert sich auf die Fragen

- was ist ein "Normalraum", bzw der "gewöhnlich eingerichtete Raum" ?
- wie ist zu beurteilen, wenn es sich um keinen derartigen Raum handelt ?

Betrachtet man die statistische Auswertung so wird deutlich, daß die Festlegung eines "Normalraumes" nur schwer möglich ist. Fasst man eingerichtete und leere Räume zusammen so läßt sich feststellen, daß ca. 68 % der Räume im Volumenbereich bis  $60 \text{ m}^3$  liegen - am häufigsten findet man Räume mit einem Volumen von ca.  $35 \text{ m}^3$  vor. Aus akustischer Sicht aussagekräftiger ist die Nachhallzeit und damit die äquivalente Absorptionsfläche. Beschränkt man sich auf eingerichtete Räume, so wird deutlich, daß in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle (73 %) die Nachhallzeit im Bereich zwischen 0,3 und 0,6 Sekunden liegt. Als Mittelwert der nahezu normalverteilten Nachhallzeit ergibt sich 0,46 Sekunden. In vielen Normvorschriften wird von einer mittleren Nachhallzeit von 0,5 Sekunden in eingerichteten Wohnräumen ausgegangen, tatsächlich weicht sie oftmals erheblich davon ab. Aufgrund der vorliegenden Meßergebnisse kann festgestellt werden, daß in 56% der Fälle die Nachhallzeit vom "Normalfall"  $T=0,5 \text{ s}$  um mehr als 0,1 s abweicht was eine Pegeldifferenz von 1 dB bedeutet. Betrachtet man die Schwankungen der Nachhallzeit innerhalb der Volumenklassen, so wird die große Meßunsicherheit beim Verzicht auf eine Raumkorrektur deutlich. Selbst Räume mit identischem Volumen weisen eine derartig unterschiedliche Nachhallzeit auf, daß sich Unterschiede von bis zu 7 dB ergeben können. Diese großen Bereiche können bei der schalltechnischen Beurteilung von Geräuschen entscheidend sein und sind ausschließlich in der Tatsache begründet, daß Räume gleichen Volumens eine sehr unterschiedliche Absorptionsfläche aufweisen.

Untersucht man alle Messungen in eingerichteten Räumen, so ist festzustellen, daß die Berücksichtigung der Schallabsorption im Durchschnitt zu einer Pegelerhöhung von ca. 2 dB führt. Betrachtet man Bild 11, so wird deutlich, daß in kleinen Räumen bis ca. 35 m<sup>3</sup> eher mit einer Verringerung der gemessenen Schallpegel zu rechnen ist, während bei Räumen mit einem größeren Volumen regelmäßig mit einer Pegelerhöhung durch die Raumkorrektur zu rechnen ist. Insgesamt wird deutlich, daß die schalltechnische Untersuchung einer Wohnung (z.B. aufgrund von Klagen über Installationsgeräusche, haustechnischen Geräuschen, Verkehrslärm, Industrie- und Gewerbelärm u.a.) je nach Einrichtungsgrad und Geschmack der Bewohner zu ganz unterschiedlichen Beurteilungen führen könnte. Erfreulicherweise haben diese Überlegungen bereits Eingang in die Neufassung der DIN 52219 gefunden, seit Juli 1993 muß der Einfluß der Schallabsorption bei Messungen der Wasserinstallationen (wieder) berücksichtigt werden.

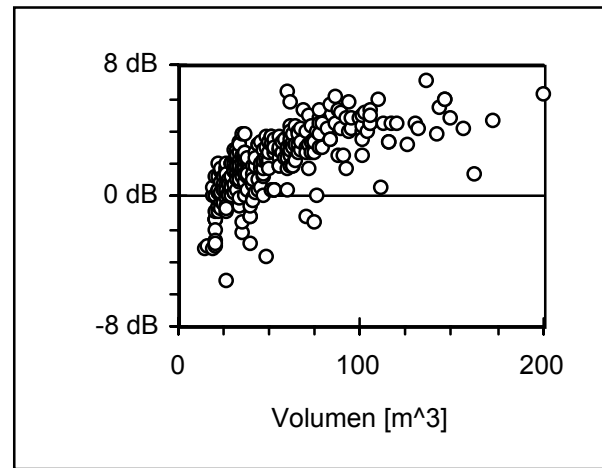


Bild 9: Korrekturwerte  $10 \cdot \log(A/A_0)$  der 319 eingerichteten Räume, Mittelwert ca. + 2 dB

Zusammenfassend ergeben sich folgende grundlegende Forderungen an schalltechnische Geräuschmessungen:

- Alle Messungen müssen identisch durchgeführt und ausgewertet werden
- Die Schallabsorption im Meßraum muß berücksichtigt werden um eine gute Vergleichbarkeit aller Messergebnisse und vor Allem einen hohen Grad an Reproduzierbarkeit zu gewährleisten
- Die Schallabsorption muß meßtechnisch ermittelt werden (über die Nachhallzeit oder eine Schallquelle bekannter Leistung)

Zur Wahl der Bezugsabsorptionsfläche bieten sich grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

- als Bezugsabsorptionsfläche wird ein "willkürlich" festgelegter Wert gewählt, d.h. alle Meßergebnisse werden umgerechnet auf einen "Normalraum" (mit definiertem Volumen/Nachhallzeit). Im Falle einer äquivalenten Absorptionsfläche von 10 m<sup>2</sup> bedeutet dies beispielsweise ein Volumen von 25 m<sup>3</sup> bei einer Nachhallzeit von 0,4 Sekunden. Dies stellt übrigens nahezu den einzigen realistischen Fall dar, alle anderen Kombinationen von V und T kommen in der Praxis wenn überhaupt, dann selten vor.
- als Bezugsabsorptionsfläche wird die mittlere Absorptionsfläche für das jeweilige Raumvolumen verwendet (z.B. gemäß der oben bestimmten Formel  $A = 9,6 + 0,15 \cdot V$ ). Diese Vorgehensweise setzt voraus, daß der Mittelwert der äquivalenten Absorptionsfläche in einer Volumengruppe als der "Normalfall", d.h. der "normal möblierte" Raum akzeptiert wird. Diese Vorgehensweise würde den Bewohnern am gerechtesten werden, sofort wäre erkennbar wie hoch die Meßergebnisse lägen, wenn der Meßraum "normal", d.h. entsprechend einem langjährigen Mittel eingerichtete wäre.

Sicher birgt der zweite Vorschlag große Probleme, insbesondere im Hinblick auf zukünftige gemeinsame europäische Normen. Die "normal möblierten" Räume verschiedener europäischer Länder und Kulturen werden sich nur schwer durch eine Formel beschreiben lassen. Leider steht dies jedoch auch bei Favorisierung des ersteren Vorschlages zu befürchten.

Abschließend sei nochmals hervorgehoben, daß der wesentliche Punkt bleibt, daß bei allen Geräuschmessungen in Wohnräumen (allgemein in geschlossenen Räumen) der Einfluß der Schallabsorption berücksichtigt werden sollte. Solange realistischere Bezugswerte fehlen bzw. normativ festgelegt sind sollte eine Beurteilung stets in Anlehnung an DIN 52219 erfolgen, da nur so eine gute Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit von Geräuschmessungen gewährleistet ist.

#### Literatur:

- /1/ DIN 4109, "Schallschutz im Hochbau", Ausgabe 11/89
- /2/ DIN 52210, "Bauakustische Prüfungen / Luft- und Trittschalldämmung", Teile 1 bis 7
- /3/ DIN 52219, "Bauakustische Prüfungen / Messungen von Geräuschen der Wasserinstallationen in Gebäuden", Ausgaben 1978 bis 1993
- /4/ VDI 2719, "Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen", Ausgabe 08/1987
- /5/ Lärmschutz in der Praxis, Oldenburg Verlag, ISBN 3-486-26251-3
- /6/ O. Taubert / C. Ruhe, "Schlafzimmer als Hallräume", DAGA 80
- /7/ S. Jovicic, Bericht Nr. 6077, Müller BBM GmbH, 1980
- /8/ Fasold, Sonntag, Winkler, "Bauphysikalische Entwurfslehre, Bau- und Raumakustik", ISBN 3-345-00140-3

**DAGA 94 - Dresden**

## **VERANSTALTER**

Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA)

## **TAGUNGSLEITUNG UND HERAUSGEBER**

Prof. Dr.-Ing.habil. A. Lenk, Technische Universität Dresden  
Prof. Dr.-Ing.habil. R. Hoffmann, Technische Universität Dresden

## **TAGUNGSORT**

Technische Universität Dresden  
MommSENstr. 13  
D 01069 Dresden

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Fortschritte der Akustik: Plenarvorträge und Kurzreferate  
der 20. Jahrestagung für Akustik

DPG Kongreß-, Ausstellungs- und  
Verwaltungsgesellschaft mbH.

ISSN 0720-2253

Teilw. im VDI-Verlag, Düsseldorf. Teilw. im Physik-Verl., Weinheim

Teilw. im VDE-Verl., Berlin. - Auf der Hauptseite auch:

DAGA 20, 1994, Dresden, - Dresden (1994)

ISBN 3-923835-13-2

NE: Deutsche Gesellschaft für Akustik

- © Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA)  
Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V. (DPG)  
Informationstechnische Gesellschaft im VDE (ITG)  
Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI)

## **VERLAG UND BEZUG**

DPG Kongreß-, Ausstellungs- und Verwaltungsgesellschaft mbH  
Hauptstr. 5, D 53604 Bad Honnef

## **ZITIERHINWEIS**

Fortschritte der Akustik - DAGA 94  
Bad Honnef: DPG GmbH 1994

1994, Printed in Germany