

Messungen in der Raum- und Bauakustik

Applikation

Mit dem Fortschritt der Technik und der Entwicklung von immer leistungsfähigeren Maschinen und Automaten, die dem Menschen körperliche Arbeit abnehmen, macht sich auch die Bereitstellung einer leistungsfähigen Meßtechnik erforderlich. Dies führte dazu, daß die Meßgeräteindustrie hinsichtlich Produktionsumfang und Sortimentsbreite einen raschen Aufschwung erfuhr.

Die zunehmende Industrialisierung der Volkswirtschaft und steigende Verkehrsleistungen bringen aber als unerwünschtes Nebenprodukt ein Ansteigen der Lärmemission mit sich, durch die Wohlbefinden, Leistungsfähigkeit und Gesundheit des Menschen in erheblichem Maße beeinflußt werden. Gegenwärtig ist daher der Schutz des Menschen vor Lärm ein ernsthaftes Anliegen von Arbeits- und Kommunalhygiene.



Der VEB Robotron-Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden befaßt sich seit mehr als zwei Jahrzehnten mit der Entwicklung und Herstellung von Schall- und Schwingungsmeßgeräten und gibt somit Herstellern und Betreibern von Maschinen und Anlagen sowie staatlichen Institutionen Meßmittel zur Beurteilung der Wirksamkeit von Schallschutzmaßnahmen und Ermittlung der Lärmursache in die Hand. Die vorliegende Applikationschrift beinhaltet nur ein Teilgebiet der akustischen Meßtechnik. Ihr Hauptanliegen ist, den Praktiker über die verschiedenen Meßverfahren in der Raum- und Bauakustik zu informieren und ihm ein Hilfsmittel zu sein bei der Auswahl der dafür notwendigen Meßgeräte des VEB Robotron-Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden.

Zwangsläufig konnte eine Reihe von Problemen darin nicht oder nicht ausführlich genug behandelt werden.

Auf die Ableitung angegebener Formeln und die Behandlung wissenschaftlicher Grundlagen wurde bewußt verzichtet. Der Interessent hierfür sei auf die einschlägige Literatur verwiesen. Das am Schluß angegebene Standard- und Literaturverzeichnis mag als Auswahl dafür eine Hilfe sein.

2. Schallschutz in der Raum- und Bauakustik

Akustische Messungen in der Raum- und Bauakustik haben im wesentlichen zwei Anliegen:

- Erstens soll in neugebauten, rekonstruierten oder vorhandenen Räumen eine optimale Hörsamkeit erzielt werden.
- Zweitens sind die Menschen durch geeignete Maßnahmen am Bauwerk vor unerwünschtem Schall zu schützen. Dabei ist es gleichgültig, ob sich die Menschen im Bauwerk aufhalten und gegen Lärm geschützt werden müssen, oder ob sie sich im Freien aufhalten und Lärm aus dem Gebäude störend austritt.

In vielen Staaten gibt es gesetzliche Vorschriften, in denen Mindestforderungen und Grenzwerte für Lärmschutz in den verschiedenen Bereichen, wo Menschen leben und tätig sind, festgelegt wurden.

Schallschutz in der Raum- und Bauakustik ist abhängig von Begriffen wie Nachhallzeit, Schalldämmung, Schallabsorption, Trittschallschutzmaß, Luftschallschutzmaß usw.



In letzter Zeit gibt es Forderungen, die gemessenen und berechneten frequenzabhängigen Größen der Schalldämmung zu bewerten, um Einzelangaben wie das bewertete Schallmaß L_a , das bewertete Bauschalldämmmaß L_d , die bewertete Norm-Schalldruckpegel-Differenz D_n , das bewertete Fenster-Schalldämmmaß $L_{a\infty}$, den bewerteten Norm-Trittschallpegel L_i oder die bewertete Trittschallminderung L_{ic} zu erhalten.

Immer größerer Wert, besonders in Großstädten und an verkehrsreichen Straßen, wird auf die Luftschalldämmung von Außenwänden, Außentüren und Fenstern gegen Straßen- und Schienenverkehrslärm gelegt.

Damit gewährleistet ist, daß in Vorschriften festgelegte Größen mit den in einem Bauwerk oder Bauwerksteil vorhandenen tatsächlich übereinstimmen, muß gemessen, gerechnet und verglichen werden.

Der VEB Robotron-Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden hat ein umfangreiches Programm von Meßgeräten und Zubehör für die Schall- und Schwingungsmeßtechnik, mit deren Hilfe Messungen in der Raum- und Bauakustik zuverlässig durchgeführt werden können.

3. Schallmessungen

3.1. Schallmessungen in einem Raum

Für akustische Messungen in einem Raum gibt es eine Reihe von Meßgeräten, die je nach Meßaufgabe ausgewählt werden. Oft genügt nicht ein einzelnes Gerät, sondern zwei oder mehrere Geräte müssen zu einem Meßplatz aufgebaut werden. Letzteres ist z. B. bei Schallpegelmessungen in Verbindung mit Frequenzanalyse, Aufzeichnung oder Verarbeitung der Meßwerte nötig.

Es gibt sowohl leichte, tragbare Schallpegelmeßgeräte als auch Geräte und Einschübe des Laborgerätesystems der Schall- und Schwingungsmeßtechnik, die vorwiegend für stationären Betrieb entwickelt wurden.

Untersuchungen bezüglich der Schallausbreitung in einem großen Raum lassen sich sehr rationell mit dem Echtzeitanalysator 01 012 durchführen.

Bild 1 zeigt die Möglichkeiten, Geräte des VEB Robotron-Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden auszuwählen, z. B. für folgende Meßaufgaben:

- Schallpegel, Schallausbreitung und Schallverteilung in einem Raum
- Terz- oder Oktavanalyse des Schalls
- Kontrolle von durchgeführten schallverändernden Maßnahmen in einem Raum, z. B. nach dem Einbringen von Absorbern, Diffusoren oder Reflektoren
- Bestimmung des äquivalenten Dauerschallpegels L_{eq} .

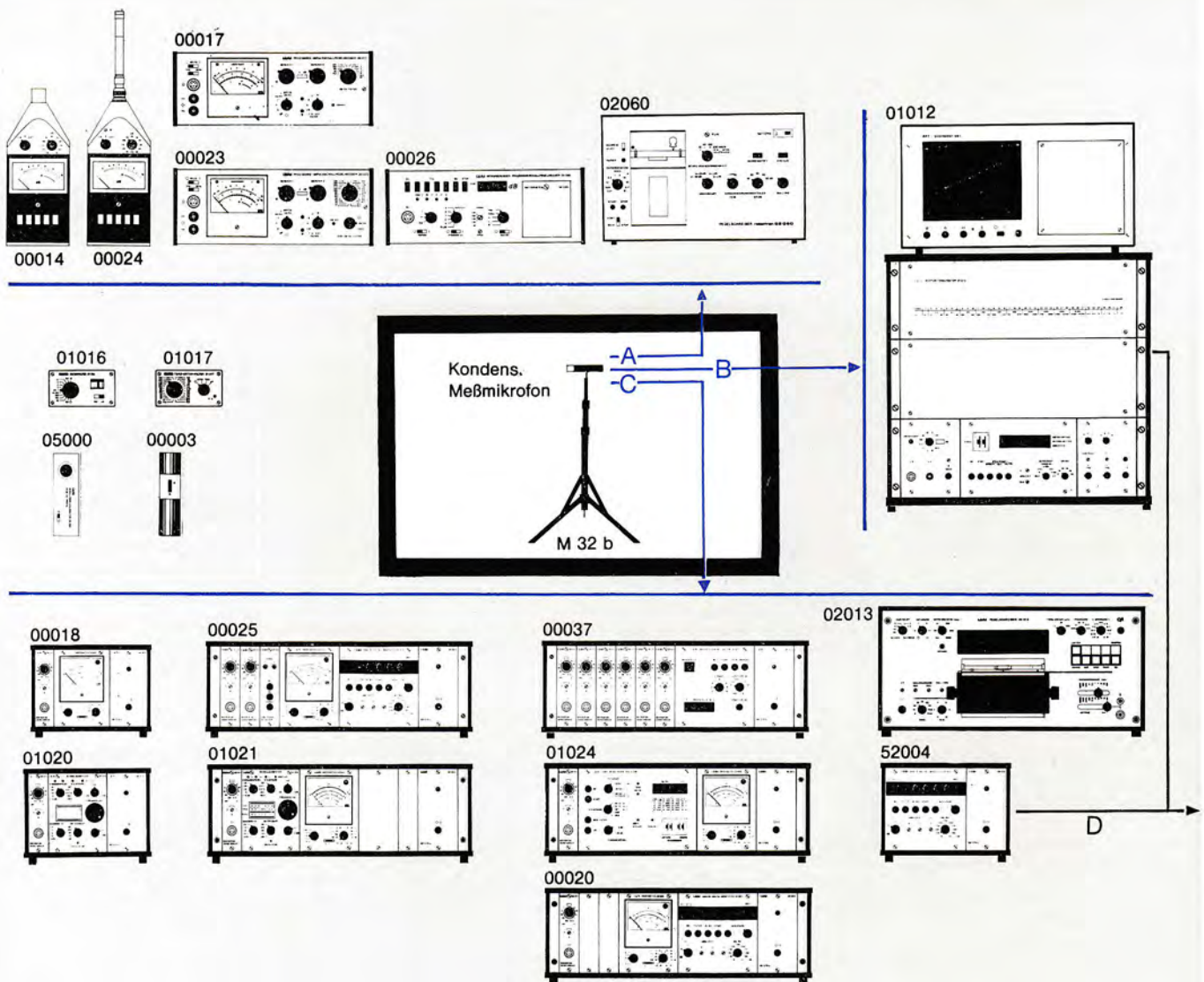


Bild 1 Geräte für akustische Messungen

- | | | |
|---|---|---------------------------------------|
| A Tragbare akustische Meßgeräte | M 32b Stativ | 02 013 Pegelschreiber |
| Kondensator-Meßmikrofon | B Echtzeit-Terz/Oktav-Analyse | 00 020 Schallpegelmeßgerät |
| 00 014 Impulsschallpegelmesser | 01 012 Echtzeitanalysator | 52 004 Analog-Digital-Umsetzer 52 004 |
| 00 024 Präz.-Impulsschallpegelmesser | C Laborgerätesystem der Schall- und Schwingungsmeßtechnik | D Digitale Meßwertverarbeitung |
| 00 017 Präz.-Impulsschallpegelmesser | 00 018 Schallpegelmeßgerät | |
| 00 023 Präz.-Impulsschallpegelmesser | 00 025 Schallpegelmeßgerät | |
| 00 026 Integrierender Präzisionsschallpegelmesser | 00 037 Schallmeßgerät | |
| 02 060 Tragbarer Pegelschreiber | 01 020 Schmalbandfilter | |
| 01 016 Oktavfilter | 01 021 Schmalbandanalysator | |
| 01 017 Terz-Oktav-Filter | 01 024 Terz-Oktav-Analysator | |
| 05 000 Schallpegelkalibrator | | |
| 00 003 Pistonfon | | |

3.2. Messung der Nachhallzeit

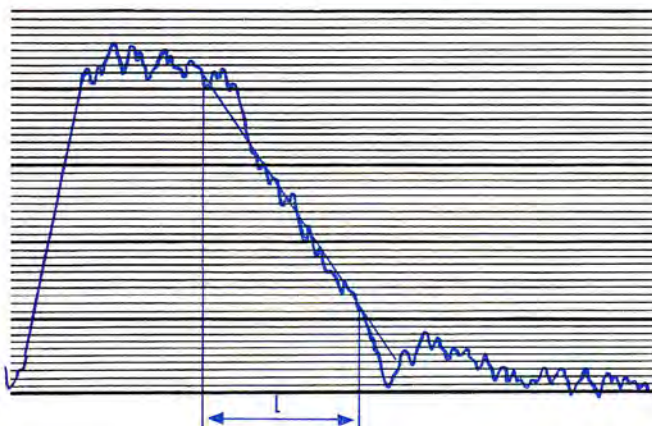
Es gibt eine Reihe objektiv meßbarer Parameter, die für die Hörsamkeit eines Raumes maßgebend sind. Im Vordergrund steht dabei die Nachhallzeit.

Unter Nachhall versteht man die im Mittel exponentielle Abnahme der Schallenergie in einem Raum nach beendeter Schallsendung. Man definiert die Zeit, in der der Schalldruckpegel nach dem plötzlichen Abschalten der Schallquelle um 60 dB abnimmt, als Nachhallzeit T . Diese ist um so größer, je geringer das Schallabsorptionsvermögen und je größer das Volumen des betrachteten Raumes ist. Außerdem ist die Nachhallzeit frequenzabhängig.

Für die Ermittlung der Nachhallzeit benötigt man zunächst eine Einrichtung für die Schallfelderzeugung im Raum. Dafür geeignet ist eine Lautsprecheranordnung mit vorgeschaltetem Leistungsverstärker LV 103, die erregt wird durch

- Signalgenerator 03006 zum Erzeugen von Schmalbandrauschen, oder Rauschgenerator 03004 mit nachgeschaltetem Terz-Oktav-Filter 01017 oder 01023.

Die Erregung mit selektivem Rauschsignal besitzt den Vorteil, daß der Leistungsbedarf des Schallsenders vermindert wird. Eine Anregung mit reinem Sinus ist nicht zweckmäßig, da sich stehende Wellen ausbilden können.



$$T = 2 \frac{l}{v} \quad (1)$$

v = Papiervorschubgeschwindigkeit

Bild 2
Pegelschreiber-Registrierstreifen zur Ermittlung der Nachhallzeit

In der Praxis haben sich auch mechanische Schallquellen, so z. B. der mechanische Geräuschgenerator Typ MGG 200, bewährt.

Gleichgültig, welche Einrichtung für die Schallfelderzeugung benutzt wird, sollte man doch beachten, daß der Nutzschalldruckpegel in allen Frequenzbändern mindestens 40 dB über dem Störschalldruckpegel liegt.

Für die eigentliche Messung der Nachhallzeit wird weiterhin ein Meßplatzaufbau benötigt, mit dem der Schallpegel gemessen und darüber hinaus der Pegelverlauf über der Zeit nach Abschalten der Schallquelle registriert bzw. angezeigt werden kann.

Die Schallpegelmessungen werden selektiv bei verschiedenen festgelegten Terzmittenfrequenzen im allgemeinen im Bereich 100 ... 3150 Hz durchgeführt. Dabei wird das Meßmikrofon für jedes Frequenzband an mindestens drei Punkten im Raum, die einen Abstand von mindestens 1 m untereinander haben, aufgestellt.

Der empfangsseitige Meßplatz kann realisiert werden durch den Einsatz folgender Geräte:

- Präzisions-Impulsschallpegelmesser 00023 (mit eingebautem Terz-Oktav-Filter) und nachgeschaltetem Pegelschreiber 02013 oder 02060.
- Präzisions-Impulsschallpegelmesser 00017 oder 00024, Terz-Oktav-Filter 01017 und nachgeschaltetem Pegelschreiber 02013 oder 02060.
- Terz-Oktav-Analysator 01024 mit 1"-Meßmikrofon und nachgeschaltetem Pegelschreiber 02013 oder 02060.
- Integrierender Präzisions-Schallpegelmesser 00026, Terz-Oktav-Filter 01017 und nachgeschaltetem Pegelschreiber 02013 oder 02060.

Bei den tragbaren Präzisions-Impulsschallpegelmessern ist bereits ein 1-Zoll-Mikrofon sowie ein 5 m langes Mikrofonkabel im Lieferumfang enthalten. Diese Geräte werden generell in einer bequemen Bereitschaftstasche geliefert.

Auf besondere Bestellung sind Mikrofonskabel von 10 oder 20 m Länge sowie Mikrofonstativ erhältlich. Der vom Präzisions-Impulsschallpegelmessgerät aufgenommene Schallpegel wird terzgefiltert als Signal dem Pegelschreiber zugeleitet. Der von ihm aufgezeichnete Pegel-Zeit-Verlauf des Nachhallvorganges wird im Bereich zwischen -5 dB und -35 dB gegenüber dem Pegel des stationären Schallfeldes durch eine Gerade angenähert (Bild 2), deren Neigung die Pegelabnahme in dB/s kennzeichnet. Nach Formel (1) kann dann die Nachhallzeit errechnet werden.

Für automatische Messungen wird der Terz-Oktav-Analysator 01024 in Verbindung mit dem Pegelschreiber 02013 empfohlen. Der Typ 01024 vereinigt als Standardgerät des bewährten Laborgerätesystems der Schall- und Schwingungsmeßtechnik die Einschübe

- Mikrofonverstärker 00011
 - Terz-Oktav-Filterteil 01018
 - Anzeigeteil 02022 und
 - Netzteil 04003
- im Systemgehäuse 04013.

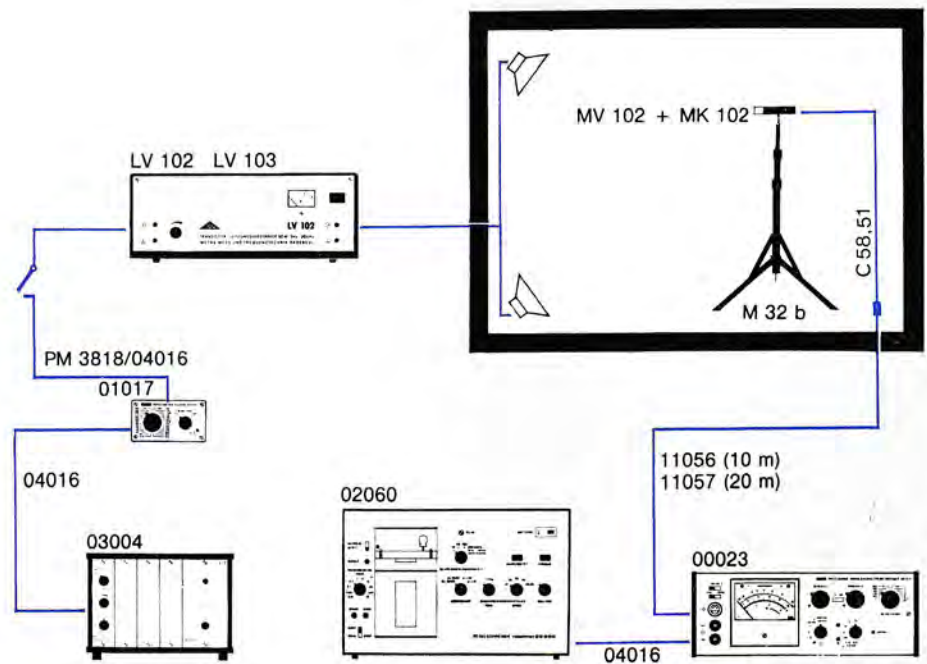
Bild 3 Meßplatz zur Messung der Nachhallzeit

Durch die Möglichkeit der externen Steuerung des Terz-Oktav-Filterteiles 01018 durch den Pegelschreiber wird der manuelle Aufwand bei der Nachhallzeitmessung stark reduziert.

Die Auswertung erfolgt mit Hilfe der Nachhall-Schablonen, die im Lieferumfang des Pegelschreibers 02013 enthalten sind.

Auf besondere Bestellung sind Mikrofone, Mikrofonskabel und Mikrofonstative lieferbar.

Neben dem im Bild 4 dargestellten automatischen Meßplatz gibt es die Möglichkeit, die Nachhallzeit mit tragbaren Geräten zu messen. Besonderen Vorteil bietet empfangsseitig der Präzisions-Impulsschallpegelmessgerät 00023, in dem bereits ein Terz-Oktav-Filter eingebaut ist. Der ebenfalls kleine und tragbare Pegelschreiber Typ 02060 ergänzt als Registriergerät diese günstige Variante (Bild 3).



- MV 102
- Kondensatormikrofon
- MK 102
- 1-Zoll-
- M 32b
- Stativ
- C 58,51
- Mikrofonskabel
- LV 102/103
- Leistungsverstärker
- 00 023
- Präz.-Impulsschallpegelmessgerät
- 01 017
- Terz-Oktav-Filter
- 03 004 Rauschgenerator
- 02 060
- Tragbarer Pegelschreiber

3.3. Modellmessungen

Die Nachhallzeit allein ist noch kein ausreichendes Kriterium für die Hörsamkeit eines Raumes. Sie ist im wesentlichen an allen Plätzen gleich groß, trotzdem zeigt die Erfahrung, daß z. B. in einem Versammlungsraum an den verschiedenen Plätzen eine recht unterschiedliche „Akustik“ festgestellt wird. Die Verständlichkeit wird beeinträchtigt, wenn durch Reflexionen Laufzeitunterschiede zwischen Direktschall und reflektiertem Schall von 50 ... 100 ms auftreten. Beträgt die Laufzeitverschiebung mehr als 100 ms, so ist bereits deutlich ein getrenntes Echo wahrzunehmen.

Je mehr Schallenergie also in den ersten 50 ms von einer Schallquelle beim Hörer ankommt – gleichgültig ob direkt, über Reflexionsflächen oder über Lautsprecher – um so größer ist nicht nur die Lautstärke, die vom Hörer empfunden wird, sondern auch die Deutlichkeit, mit der z. B. die Worte eines Redners verstanden werden.

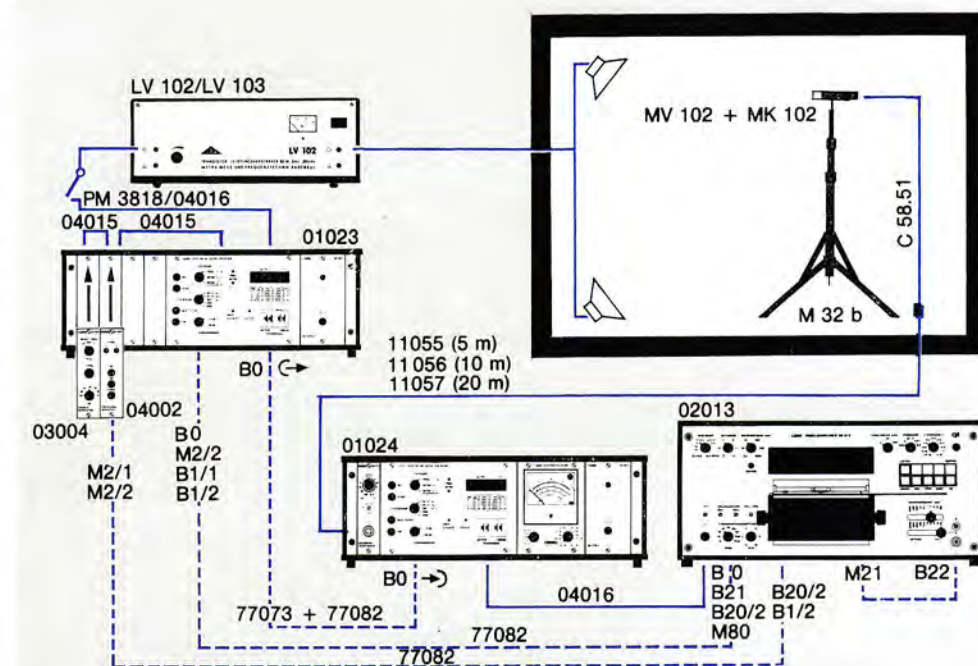


Bild 4 Meßplatz zur automatischen Messung der Nachhallzeit

Die Deutlichkeit kann schon vor dem Bau eines Raumes an einem Modell aus Gips, Piacryl, Sperrholz, Blech etc. gemessen werden. Wird zum Beispiel der Raum mit allen seinen Besonderheiten im Maßstab 1:20 als Modell ausgeführt, so muß auch die Meßfrequenz im gleichen Maßstab erhöht werden. Die Messungen müssen also im Ultraschallbereich erfolgen.

An einem derartigen Modell kann der Akustiker anschaulich und wirksam mit dem Architekten diskutieren. Modellmessungen vermindern das Risiko und schließen später unliebsame Überraschungen nahezu vollständig aus.

Präzisions-Impulsschallpegelmessung vom VEB Robotron-Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden geben in Verbindung mit einer Viertelzoll-Kondensatormikrofonkapsel die Möglichkeit, derartige Messungen bis zu einer oberen Frequenz von 100 kHz durchzuführen,

- MV 102/MK 102
- 1-Zoll-Kondensatormikrofon
- M 32b
- Stativ
- LV 102/103
- Leistungsverstärker
- 01 023
- Terz-Oktav-Filter
- 01 024
- Terz-Oktav-Analysator
- 02 013
- Pegelschreiber
- 03 004
- Rauschgeneratorteil
- 04 002
- Zweikanalschalter
- 77 082
- Steuerleitung zur knackfreien
- Abschaltung der Schallquelle

3.4. Schalldämmung

Bei der Schalldämmung unterscheidet man zwischen der Luftschall- und Trittschalldämmung.

Zur Messung der Luftschalldämmung wird zwischen zwei Räumen, dem Sende- und Empfangsraum, die Schallpegeldifferenz bestimmt. Dazu wird im Senderaum ein Schallfeld erzeugt, wobei der Schallsender mit stationärem Rauschen gespeist wird, das auf Terz- oder Oktavbandbreite eingeschränkt wird.

Zur Verbesserung des Störabstandes schaltet man auf der Empfangsseite ebenfalls ein Filter in den Meßkreis ein. Die Schallpegelmessungen erfolgen im Bereich von 100 ... 3150 Hz, wobei die Mikrofone sowohl im Sende, als auch im Empfangsraum zweckmäßigerweise an mindestens 6 verschiedenen Orten aufzustellen sind. Oberhalb 500 Hz kann die Mikrofonanstellung auf drei verschiedene Orte verringert werden. Aus den Meßergebnissen werden die mittleren Schalldruckpegel im Empfangs- und Senderaum gebildet.

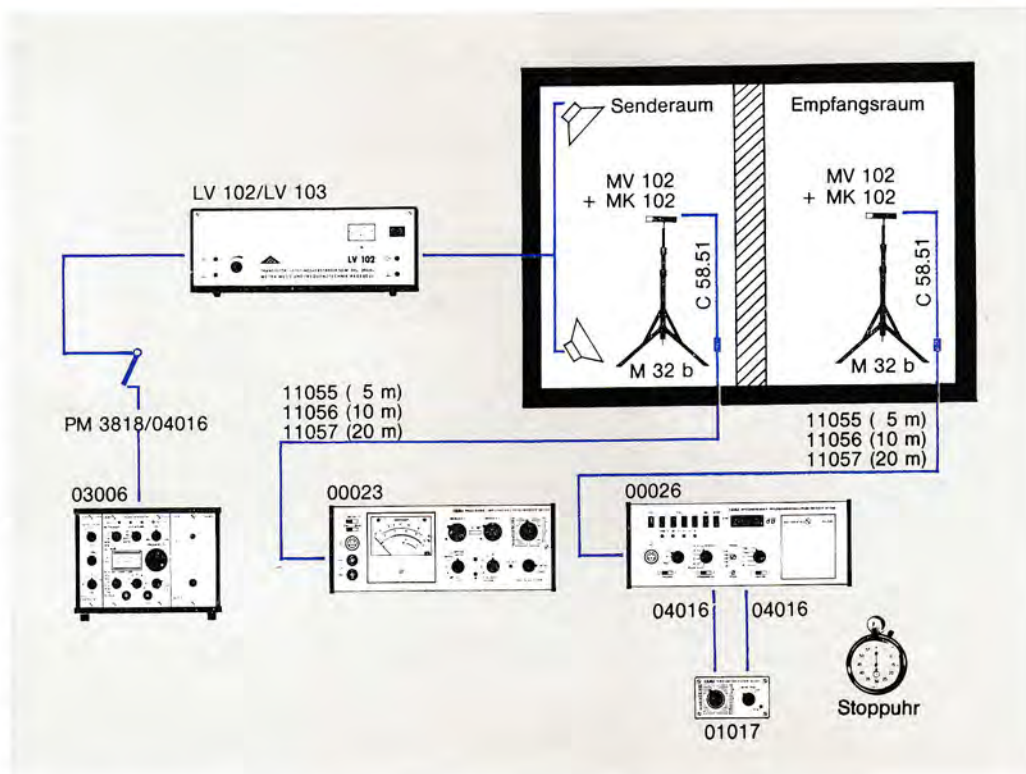


Bild 5 Einfache Möglichkeit für Schalldämmungsmessungen

Schalldämmmaß R bzw. Bauschalldämmmaß R' (bei letzterem wird die Schallübertragung über angrenzende Gebäudeteile berücksichtigt) können nun nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$R \text{ oder } R' = L_{ms} - L_{mE} + \left(10 \lg \frac{S}{A_E} \right) \text{ dB} \quad (2)$$

Es bedeuten:

L_{ms} = mittlerer Schalldruckpegel im Senderaum

L_{mE} = mittlerer Schalldruckpegel im Empfangsraum

S = gemeinsame Trennfläche zwischen den Räumen in m^2

Die äquivalente Schallabsorptionsfläche A_E des Empfangsraumes ist aus der gemessenen Nachhallzeit T_E des Empfangsraumes (vgl. 3.2.) nach folgender Gleichung zu ermitteln:

$$A_E = 0,163 \cdot \frac{V_E}{T_E} \quad (3)$$

Es bedeuten:

V_E = Volumen des Empfangsraumes in m^3

T_E = gemessene Nachhallzeit des Empfangsraumes in s

- MV 102/MK 102
- 1-Zoll-Kondensatormikrofon
- M 32b
- Stativ
- C 58.51
- Mikrofonkabel
- LV 102/103
- Leistungsverstärker
- 00 023
- Präz.-Impulsschallpegelmesser
- 00 026
- Integrierender Präz.-Impulsschallpegelmesser
- 03 006
- Signalgenerator
- 01 017
- Terz-Oktav Filter

Die Bilder 5, 6 und 7 zeigen Möglichkeiten für den Meßplatzaufbau, der sowohl mit tragbaren Geräten als auch mit dem Laborgerätesystem der Schall- und Schwingungsmeßtechnik des VEB Robotron-Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden realisiert werden kann.

3.4.1. Messung mit tragbaren Geräten

Eine einfache Möglichkeit, die im Rahmen einer Geräteausstellung an der Hochschule für Verkehrs- und Fernmeldewesen Győr/UVR praktiziert wurde, zeigt Bild 5.

Die Erregung des Senderraumes erfolgte mit dem Signalgenerator 03006 in der Betriebsart „Schmalbandrauschen 30 %“, was etwa Terzbandbreite entspricht. Gleichzeitig wurde im Senderraum der Schalldruckpegel mit dem Präzisions-Impulsschallpegelmesser 00023 bei den vorgeschriebenen Terzmittenfrequenzen gemessen.

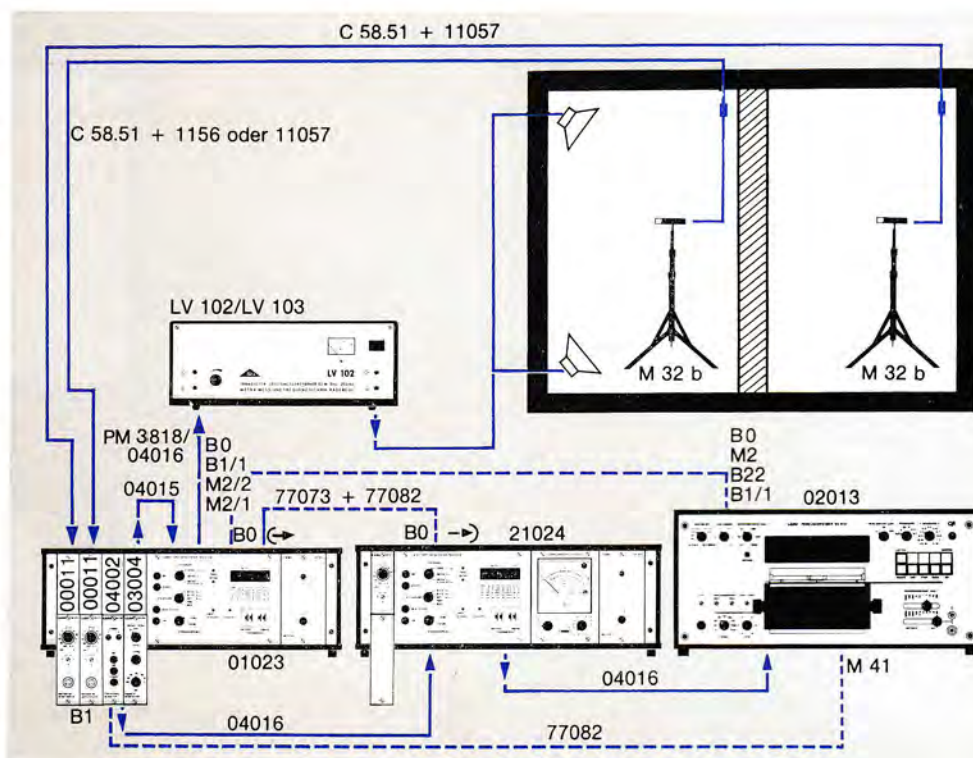


Bild 6 Schalldämmungsmessung mit Pegelschreiber

Für die Messungen im Empfangsraum stand weder ein zweiter Präzisions-Impulsschallpegelmesser 00023 noch ein Pegelschreiber für die Registrierung der Nachhallzeitkurven zwecks Ermittlung der äquivalenten Schallabsorptionsfläche des Empfangsraumes zur Verfügung. Es wurde deshalb der integrierende Präzisionsschallpegelmesser 00026 mit extern angeschlossenem Terz-Oktav-Filter 01017 eingesetzt.

Da der Typ 00026 einen Dynamikumfang von 110 dB ohne Umschaltung besitzt, wurde die Nachhallzeit ohne Pegelschreiber als Notbehelf so ermittelt, daß nach dem Abschalten der Schallquelle das Absinken des Schalldruckpegels um 60 dB am digital anzeigenden Typ 00026 beobachtet und die Zeit mit einer Stoppuhr gestoppt wurde; da die Nachhallzeit in der Gleichung (2) nur als Korrekturfaktor über Gleichung (3) enthalten ist, reicht diese Methode für die Praxis aus.

Exakter ist natürlich die Bestimmung der Nachhallzeit mit Pegelschreiber. In diesem Falle bietet sich der tragbare Pegelschreiber 02060 an.

- M 32b
- Stativ
- 01 023
- Terz-Oktav-Filter
- LV 102/103
- Leistungsverstärker
- 01 024
- Terz-Oktav-Analysator
- 02 013
- Pegelschreiber
- 00 011
- Mikrofonverstärker
- 04 002
- Zweikanalschalter
- 03 004
- Rauschgeneratorteil

3.4.2. Automatisch arbeitende Meßplätze

3.4.2.1. Messung mit Pegelschreiber

In dem automatisch arbeitenden Meßplatz dient der Pegelschreiber 02013 als Registriergerät und als Steuergerät für die Kanalschaltung. Es werden die Meßwerte des Sende- und Empfangsraumes nacheinander bei der gleichen Signalfrequenz aufgezeichnet. Die Umschaltung der Terz-Mittenfrequenz und der Papiertransport des Pegelschreibers werden zweckmäßigerweise vom Terz-Oktav-Filter 01023 auf der Sendeseite gesteuert, d. h. der Pegelschreiber wird in der Betriebsart „Start-Stopp-Registrierung“ betrieben.

Die Steuerung des Meßablaufes erfolgt mit Signalen nach Standard-Interface SI 1.2, das mit dem RGW-Interface IMS 1, Pegelkategorie 2, identisch ist. Das Startsignal für den Papiervorschub des Pegelschreibers wird dabei entsprechend der Einschwingzeit des Filters verzögert. Die Mittenfrequenz des Terz-Oktav-Analysators 01024 (auf der Empfangsseite) wird über ein BCD-Signal mitgezogen.

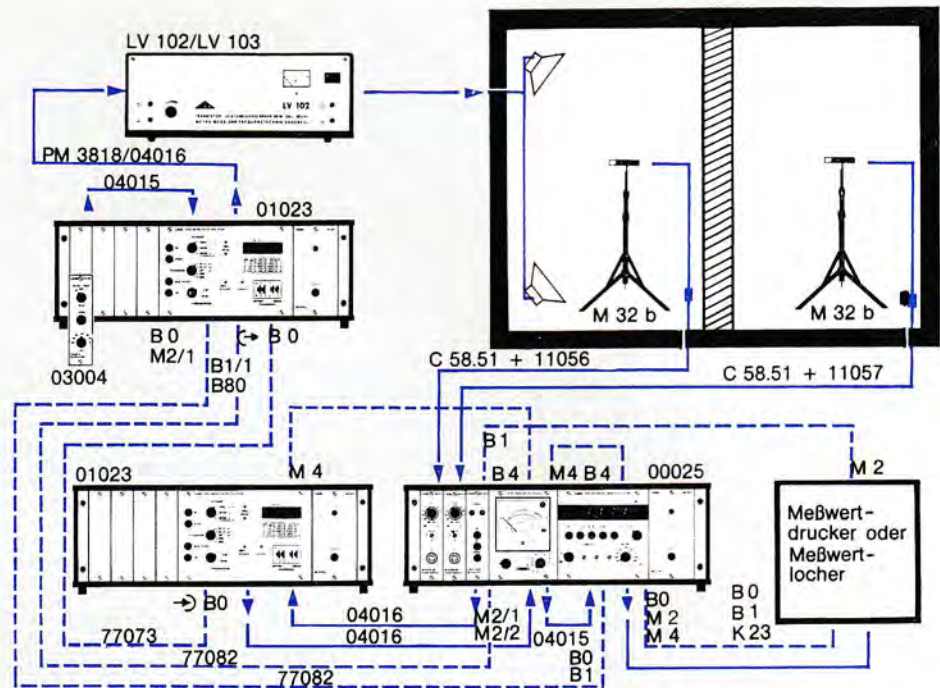


Bild 7 Schalldämmungsmessung mit digitaler Meßwertverarbeitung

Nach Erreichen der gewählten oberen Grenzfrequenz wird der Schreibstift des Pegelschreibers geliftet und der Registriervorgang beendet. Bei Messungen an mehreren Raumpunkten werden dann die Mikrofone umgesetzt und der Registriervorgang erneut gestartet.

Der Meßplatzaufbau ist im Bild 6 dargestellt. Die Standardgeräte 01023 und 01024 werden durch zwei 1-Zoll-Mikrofoneinheiten, 2 Mikrofonstative M 32 b, 2 Mikrofonkabel C 58.51, 2 Verlängerungskabel 11056 bzw. 11057, 1 Mikrofonverstärker 00011 und 1 Zweikanalschalter 04002 sowie 1 Rauschgeneratorteil 03004, die gesondert zu bestellen sind, ergänzt. Bei Ergänzung des Meßplatzes durch ein Schallmeßgerät 00037 wird dieser auf 8 Meßstellen erweitert, und das Umsetzen der Mikrofone kann unter Umständen entfallen.

- LV 102/103
Leistungsverstärker
- 01 023
Terz-Oktav-Filter
- 00 025
Schallpegelmeßgerät
- 03 004
Rauschgeneratorteil

Es sei noch erwähnt, daß der gesamte Meßablauf ausschließlich vom Pegelschreiber 02013 gesteuert werden kann. Dies ist besonders von Interesse, wenn nicht die o.g. Filter, sondern evtl. vorhandene ältere Typen, zum Beispiel Terz-Oktav-Analysator 01003 oder 01004, zum Einsatz kommen. Der Pegelschreiber läuft dabei kontinuierlich und gibt nach jeweils 5 mm Papiertransport (Terzbreite) Signale zur Frequenzweitschaltung ab. Zur Berücksichtigung der Einschwingzeit der Filter im unteren Frequenzbereich ist ein entsprechend geringerer Papiervorschub zu wählen.

3.4.2.2. Messung mit digitaler Meßwertverarbeitung

Der Einsatz des im Bild 7 dargestellten Meßplatzes bietet sich an, wenn kein Pegelschreiber zur Verfügung steht bzw. für die weitere Verarbeitung der Meßwerte EDV-Anlagen genutzt werden können.

Als Anzeige- und Auswertegerät dient dabei das zweikanalige Schallpegelmeßgerät 00025, das den direkten Anschluß von Geräten zur digitalen Meßwertverarbeitung ermöglicht.

Die Steuerung des automatischen Meßablaufs erfolgt in ähnlicher Weise wie beim oben beschriebenen Pegelschreiber-Meßplatz vom Terz-Oktav-Filter 01023 auf der Sendeseite, das zur Erregung des Senderraumes durch den Rauschgenerator 03004 erweitert wurde. Dabei besteht die Möglichkeit, die Meßwerte im Sende- und Empfangsraum nacheinander bei jeder Terzmittenfrequenz aufzunehmen und auszudrucken oder für die spätere Weiterverarbeitung mittels Rechner auf Lochstreifen abzulochen (siehe Bild 7). Durch Änderung der Steuer-signalverbindung können auch erst alle Meßwerte des einen Kanals, zum Beispiel im Senderraum, und danach die des anderen Kanals erfaßt werden.

Steht ein Kleinrechner für On-line-Betrieb zur Verfügung, so können die Meßwerte unmittelbar vom Rechner zu den gewünschten Kenngrößen verarbeitet werden. Die Steuerung des Meßablaufes erfolgt dabei zweckmäßigerweise ebenfalls vom Terz-Oktav-Filter auf der Sendeseite. Wirtschaftlich ist die direkte Kopplung eines Rechners nur beim Einsatz des 6-Kanal-Schallmeßgerätes 00037, da sich sonst die Stillstandszeiten durch das Umsetzen der Mikrofone erheblich vergrößern.

3.4.3. Trittschalldämmung

Zur Messung der Trittschalldämmung wird ein Normhammerwerk zur Erregung und eine Schallpegelmeßeinrichtung im Empfangsraum benutzt.

Bild 8 zeigt eine Auswahl von Möglichkeiten des Einsatzes von Geräten zur Messung der Schalldruckpegel bei vorgeschriebenen Terzmittenfrequenzen.

An drei bis sechs verschiedenen Orten im Empfangsraum ist bei jeder Terzmittenfrequenz im Bereich 100 bis 3150 Hz der Schalldruckpegel zu messen und daraus der mittlere Schalldruckpegel L_m zu berechnen. Der Trittschallpegel L_T wird durch Addition von 4,8 dB zum mittleren Schalldruckpegel L_m ermittelt. Der Norm-Trittschallpegel L_{TN} ist der Trittschallpegel, bezogen auf eine äquivalente Schallabsorptionsfläche $A_0 = 10 \text{ m}^2$ des Empfangsraumes:

$$L_{TN} = L_T - \left(10 \lg \frac{A_0}{A} \right) \text{ dB}$$

A ist die äquivalente Schallabsorptionsfläche des Empfangsraumes in m^2 und läßt sich bestimmen aus

$$A = 0,163 \frac{V}{T},$$

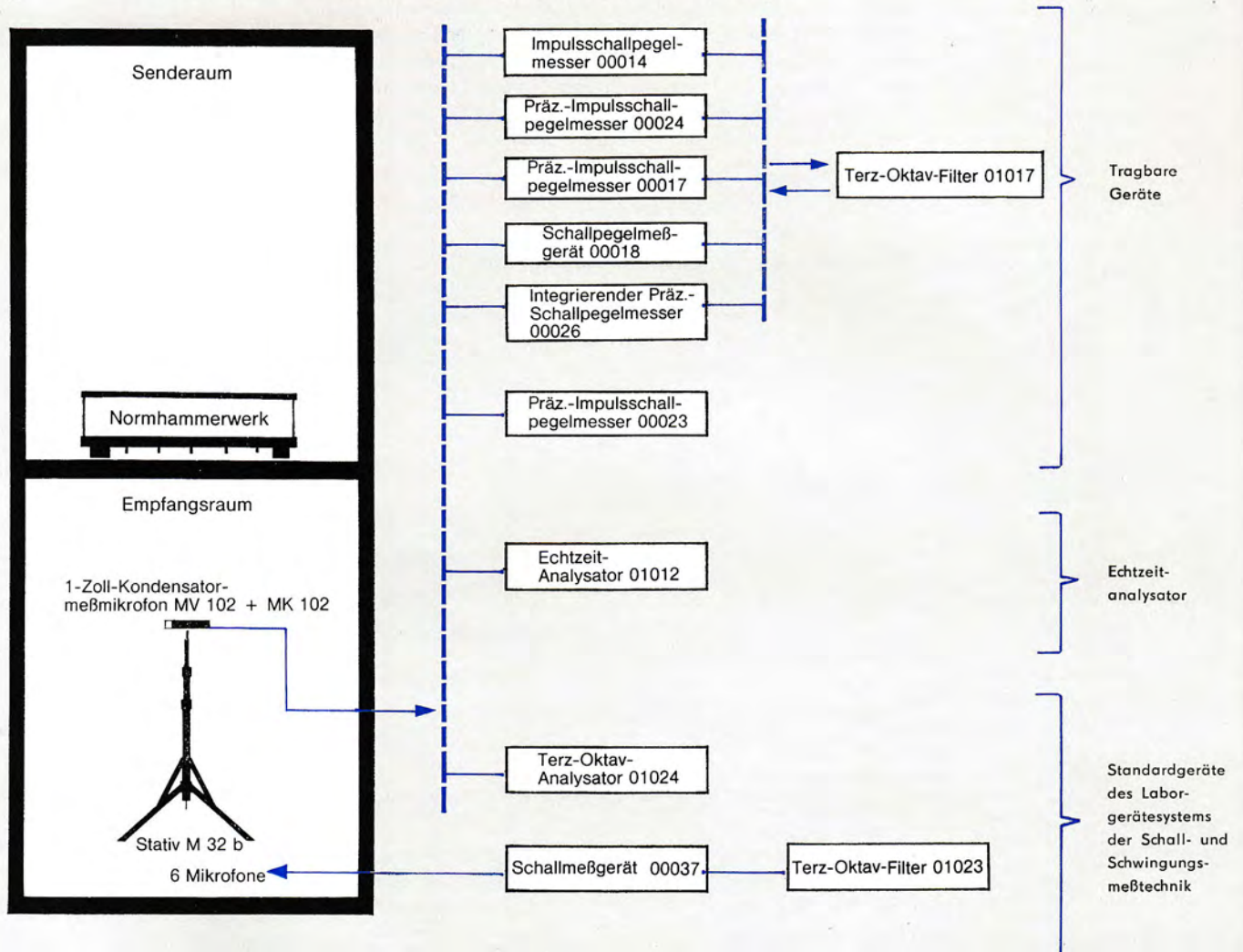
wobei V das Volumen in m^3 und T die Nachhallzeit in s des Empfangsraumes bedeuten.

Die Nachhallzeit T muß wieder durch Messung ermittelt werden, wobei im wesentlichen die in Bild 8 dargestellten Geräte verwendet werden können – allerdings ergänzt durch Pegelschreiber 02013 oder 02060 und durch die Einrichtung für die Schallerzeugung (Rauschgenerator 03004 mit Terz-Oktav-Filter 01017 bzw. 01023 oder Signalgenerator 03006 mit Leistungsverstärker LV 103 mit Lautsprechern – vergl. 3.2.).

Die Darstellung der Werte des Norm-Trittschallpegels in Abhängigkeit der Frequenz erfolgt in Kurvenform. Der Vergleich mit einer Sollkurve führt zur Ermittlung des Trittschallschutzmaßes E_T .

Die Verbesserung des Trittschallschutzes von Decken durch die Fußbodenausführung wird durch das Verbesserungsmaß ΔE_T charakterisiert

Bild 8 Trittschalldämmung
Möglichkeit der Auswahl von Geräten zur Messung der Terz-Schallpegel



3.4.4. Luftschalldämmung von Außenwänden, Außentüren und Fenstern gegen Straßen- und Schienenverkehrslärm

In den letzten Jahren ist der Lärm auf den Straßen immer größer geworden. In vielen Staaten gibt es Vorschriften, wie groß der maximal zulässige Lärm in Wohngebieten, Stadtzentren, Industriegebieten etc. sein darf. Diese Angaben beziehen sich auf den zulässigen Maximalwert des äquivalenten Dauerschallpegels L_{eq} , wobei oft auch der maximal auftretende Schalldruckpegel in dB (A) angegeben und nach Tag- und Nachtzeit unterschieden wird. Die zulässigen Maximalwerte für Wohn- und Gesellschaftsbauten sind in analogen Vorschriften festgelegt.

Bild 9
Verkehrslärmmessung mit dem
Integrierenden Präzisionsschall-
pegelmesser 00 026



Die Messung des äquivalenten Dauerschallpegels L_{eq} erfolgt mit dem integrierenden Präzisionsschallpegelmesser 00026. Mit dem gleichen Gerät kann unter anderem auch der A1-bewertete momentane Schalldruckpegel gemessen werden.

In der DDR wurde ein Standardentwurf (6) erarbeitet, der speziell für die Luftschalldämmung von Außenwänden gegen Straßen- und Schienenverkehrslärm bestimmte Mindestforderungen für Gebäude und Räume enthält. Bei maximalem äquivalentem Dauerschallpegel L_{eq} von außen, gemessen 1 m vor der Hauswand, werden diese Mindestforderungen ausgedrückt durch das bewertete Fenster-Schalldämmmaß I_{a0} und beziehen sich bis auf Sonderfälle auf die komplette Außenwand.

Das bewertete Fensterschalldämmmaß I_{a0} für die komplette Außenwand erhält man, wenn das durch Messung und Rechnung (vgl. 3.4.) ermittelte Bauschalldämmmaß R' mit einer Sollkurve für Außenwände, Fenster und Außentüren verglichen wird.

3.5. Schallabsorption

Durch den Einbau schallabsorbierender Elemente wird die Nachhallzeit eines Raumes verkürzt, störende Schallreflexionen an schallharten Wänden werden vermieden. In lärmefüllten Räumen werden oft schallabsorbierende Elemente zur Raumauskleidung verwendet. Als Schallabsorber dienen poröse Materialien wie Mineralwolle, Piatherm usw., die an Wänden und Decken angebracht werden.

Handelsübliche Schallabsorber werden klassifiziert nach ihren wirksamen Frequenzbereichen und nach der Größe ihres mittleren Schallabsorptionsgrades. Beides sind Größen, die objektiv gemessen werden können.

Gespräche mit Baufachleuten im Rahmen von Kundenberatungen haben gezeigt, daß oft die Möglichkeiten von Schallabsorptionsmaßnahmen im Rahmen des Schallschutzes überschätzt werden. Unterschätzt wird dagegen die Möglichkeit, durch Messungen die richtigen Absorber auszuwählen bzw. einem Raum eine wirksame zusätzliche Schallabsorptionsfläche zu verschaffen.

3.5.1. Bestimmung des Schallabsorptionsgrades nach dem Hallraumverfahren

Der Schallabsorptionsgrad flächenhafter schallabsorbierender Elemente kann nach dem Hallraumverfahren ermittelt werden.

Man mißt zunächst die Nachhallzeit T_1 des leeren Hallraumes (Meßanordnung siehe Bilder 3 und 4) und dann die Nachhallzeit T_2 nach Einbringen der zu untersuchenden Prüfanordnung (vgl. 3.2.).

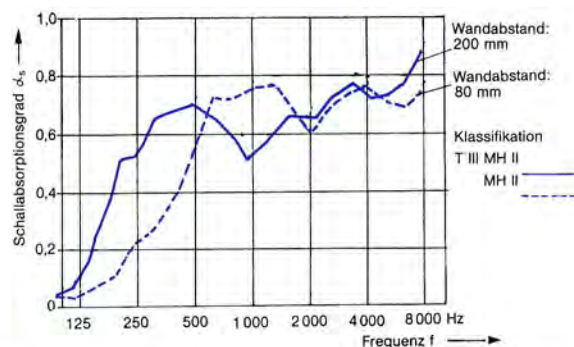


Bild 10 Beispiel einer Darstellung des statistischen Schallabsorptionsgrades einer Phonex-Akustikplatte 140 des VEB Schallschutz Berlin

Unter der Voraussetzung, daß Temperatur und relative Luftfeuchte zwischen beiden Nachhallzeitmessungen unverändert bleiben, ergibt sich der Schallabsorptionsgrad nach folgender Formel:

$$\alpha_s = 0,16 \frac{V_H}{S_{\text{prüf}}} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

Es bedeuten:

- V_H = Volumen des Hallraumes in m^3
- $S_{\text{prüf}}$ = durch das Prüfobjekt bedeckte Prüffläche in m^2
- T_1 = gemessene Nachhallzeit vor Einbringen des Prüfobjektes in s
- T_2 = gemessene Nachhallzeit nach Einbringen des Prüfobjektes in s

Das Volumen des Hallraumes V_H soll vorzugsweise $(200 \pm 20) \text{m}^3$ betragen. Bei Hallräumen mit kleinerem Volumen muß die untere Frequenzgrenze f_u ermittelt werden, da nur oberhalb dieser Grenze exakte Absorptionsgradbestimmungen möglich sind.

Es gilt: $f_u = 125 \sqrt[3]{\frac{200}{V_H}}$

mit f_u in Hz und V_H in m^3 .

Zur Verbesserung der Diffusität des Schallfeldes werden in den Hallraum Platten aus Sperrholz oder anderen schallhart wirkenden Stoffen statistisch verteilt eingehängt. Die Größe jedes dieser Diffusoren soll zwischen $0,8 \text{m}^2$ bis 2m^2 betragen.

Die Prüffläche der absorbierenden Anordnung sollte möglichst als Rechteck von 10 bis 12m^2 Fläche und einem Seitenverhältnis von 1:1,4 ausgeführt und in seiner üblichen Montageweise mindestens 1 m von einer angrenzenden Raumbegrenzungsfläche entfernt angebracht werden. Dabei sind die Ränder der Prüfobjekte seitlich mit reflektierendem Material abzudecken und nötigenfalls auch abzudichten.

Die Darstellung des Schallabsorptionsgrades in Abhängigkeit der Frequenz kann in Tabellen- oder Kurvenform geschehen. Es müssen außerdem das Raumvolumen V_H , die Prüffläche $S_{\text{prüf}}$, die Raumboberfläche S_i sowie Temperatur und relative Luftfeuchte im Prüfbericht angegeben werden. Sinnvollerweise sind auch der Aufbau des Prüfobjektes, die verwendeten Meßmittel und sonstige Besonderheiten zu beschreiben.

Die zu untersuchende Probe des schallabsorbierenden Materials wird an einem Ende des Rohres angebracht, die Einspeisung einer sinusförmigen Schallwelle erfolgt vom anderen Ende. Durch Überlagerung der einfallenden und reflektierten Welle entsteht im Rohr eine stehende Welle. Die Amplituden der Maxima und Minima und deren Ort hängen von der Schallimpedanz sowie dem Schallabsorptionsgrad der reflektierenden Fläche, also der Probe ab.

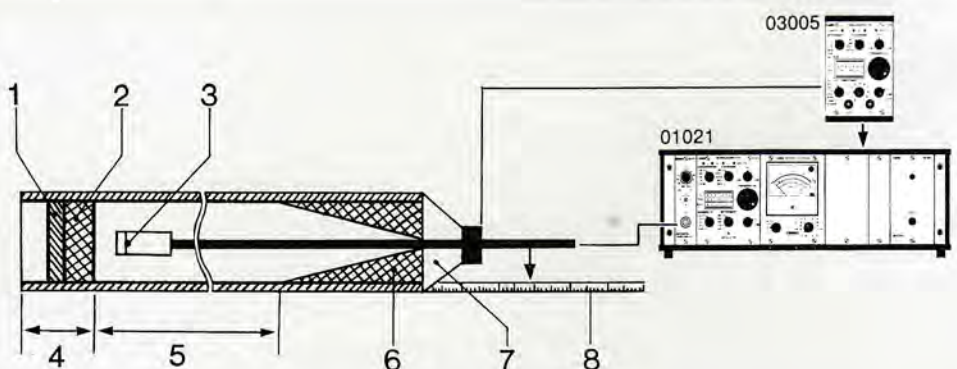
3.5.2. Die Bestimmung des Schallabsorptionsgrades im KUNDTschen Rohr

Mit Hilfe des KUNDTschen Rohres können Schallabsorptionsgrade von Absorbermaterialien, allerdings nur für den senkrechten Schalleinfall, ermittelt werden. Trotzdem geben die Ergebnisse dieser Messungen dem Praktiker eine schnelle Orientierung über den richtigen Einsatz verschiedener Absorbermaterialien.

Bild 11 zeigt die Meßanordnung. Der Frequenzbereich, in dem die Messungen durchgeführt werden können, hängt von den Rohrabmessungen ab.

Bild 11
Meßplatzaufbau
KUNDTsches Rohr

1. Abschlußplatte
 2. Probe
 3. Kondensatormeißmikrofon
1-, 1/2-, 1/4-Zoll
 4. Objektteil
 5. Meßstrecke $\geq \frac{\lambda}{2}$
 6. reflexionsarmer Rohrabschluß
 7. Lautsprecher
 8. Meßskale
- 03 005 Signalgeneratorteil
01 021 Schmalbandanalysator



Über den Schallreflexionsfaktor r kann dann der Schallabsorptionsgrad für senkrechten Schalleinfall $\alpha(0)$ wie folgt berechnet werden:

$$r = - \frac{\frac{p(\max)}{p(\min)} - 1}{\frac{p(\max)}{p(\min)} + 1}$$

$$\alpha(0) = (1 - r^2)$$

Es bedeuten $p(\max)$ und $p(\min)$ die Extremwerte des Schalldruckes, die im Rohr gemessen werden.

Der Schalldruck im Rohr kann mit einem Schallpegelmesser mit abgesetztem Mikrofon und eingebautem oder extern anschließbarem Filter gemessen werden.

Prinzipiell können dafür die portablen Geräte

- Präzisions-Impulsschallpegelmesser 00017 mit eingebautem Oktavfilter (Terz-Oktav-Filter 01017 oder tragbares Schmalbandfilter 01025 extern anschließbar) oder
 - Präzisions-Impulsschallpegelmesser 00023 mit eingebautem Terz-Oktav-Filter (tragbares Schmalbandfilter 01025 extern anschließbar)
- eingesetzt werden.

Probenmessungen mit dem KUNDTschen Rohr erfolgen jedoch zumeist im Laboratorium. Hier bietet sich der Einsatz von Elementen des

Laborerätessystems der Schall- und Schwingungsmeßtechnik

des VEB Robotron-Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden an.

Bild 11 zeigt einen Meßplatzaufbau, bei dem durch die Einschubbauweise des Laborerätessystems die Erregung und Messung durch ein einziges Gerät realisiert werden kann.

Das Standardgerät Schmalbandanalysator 01021 mit den Bausteinen Mikrofonverstärker 00011, Schmalbandfilterteil 01013, Anzeigeteil 02022 und Netzteil 04003 im Systemgehäuse 04013 wurde sinnvoll ergänzt durch den zur Lautsprechererregung notwendigen Baustein Signalgeneratorteil 03005.

Ein Halb- oder Einzellmikrofon, das in diesem Fall gesondert bestellt werden muß, vervollständigt diese günstige Variante.

Besonders bei Meßrohren mit kleinem Querschnitt besteht die Gefahr, daß der Rohrquerschnitt durch Mikrofon und Halterung um mehr als 5 % eingeengt und dadurch die Abtastung des Schallfeldes gestört wird.

Hier kann Abhilfe geschaffen werden durch die Verwendung der Sondenvorsätze SV 63 für Einzell- und SV 65 für Halbzollmikrofone, die anstelle des Schirmgitters auf die Mikrofonkapsel aufgeschraubt werden.

4. Schwingungsmessungen

Innerhalb von Gebäuden und Bauwerken gelangt der Schall von einem Raum zum anderen einesteils durch Luftschallübertragung und zum anderen als Körperschall über Gebäude- bzw. Bauwerksteile, die durch auftretende Schallwellen oder durch rotierende Maschinenteile zu Biegeschwingungen angeregt werden.

Außer den beschriebenen Schallmessungen sind deshalb auch Schwingungsmessungen in der Raum- und Bauakustik notwendig.

Zur meßtechnischen Erfassung der Schwingungen bietet der VEB Robotron-Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden sowohl tragbare Geräte als auch Standardgeräte des Laborerätessystems der Schall- und Schwingungsmeßtechnik an. Als Meßwandler dient dabei ein großes Sortiment piezoelektrischer Beschleunigungsaufnehmer.

Schwingungen können mit Schallmeßgeräten gemessen werden, indem über den Beschleunigungsadapter B 63 oder den Körperschalladapter 00009 piezoelektrische Beschleunigungsaufnehmer anstelle der Mikrofonkapsel angeschlossen werden. Hinsichtlich Meßkomfort und Meßgenauigkeit erweist sich jedoch der Einsatz eines Schwingungsmeßgerätes, z. B. des Schwingungsanalysators 01022, als günstiger, da die darin enthaltenen Integrierverstärker die Umschaltung von Beschleunigungsmessung auf die Messung von Schwinggeschwindigkeiten oder Schwingweg ermöglichen.

Zur Meßwertverarbeitung und Schwingungsanalyse werden die gleichen Geräte und Baugruppen verwendet, die schon bei den Schallmessungen erwähnt wurden.

Bereits vorhandene Schallmeßgeräte lassen sich durch Austausch des Mikrofonverstärkers 00011 gegen den Integrierverstärker 00028 optimal an die Meßaufgabe anpassen.

VEB Robotron-Meßelektronik
„Otto Schön“ Dresden
DDR - 8010 Dresden
Lingnerallee 3
Postschließfach 211

Exporteur:
Robotron Export-Import
Volkseigener Außenhandelsbetrieb der
Deutschen Demokratischen Republik
DDR - 1080 Berlin
Friedrichstraße 61

5. Standard- und Literaturverzeichnis

- ⟨1⟩ Reichardt, W.: „Grundlagen der technischen Akustik“, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G., Leipzig 1968
- ⟨2⟩ FASOLD, W.; SONNTAG, Z.: „Bauphysikalische Entwurfslehre“, Teil 4: Bauakustik; VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1972
- ⟨4⟩ Autorenkollektiv, Leitung W. SCHIRMER: „Lärmbekämpfung“, Verlag Tribüne, Berlin 1971
- ⟨3⟩ REICHARDT, W.: „Gute Akustik – aber wie?“ VEB Verlag Technik, Berlin 1979
- ⟨5⟩ KRAAK, W.: „Elektroakustische Messungen in Raummodellen“, Hochfrequenztechnik und Elektroakustik, Heft 3, S. 91 Jahrgang 1956
- ⟨6⟩ TGL 10 687 „Schallschutz“, Bl. 2, 03, Bl. 4, 09
- ⟨7⟩ TGL 10 688 „Meßverfahren der Akustik“, Bl. 3, Bl. 4, Bl. 5, Bl. 6, Bl. 8, Bl. 9
- ⟨8⟩ Prospekte und Applikationsschriften des VEB Robotron-Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden, insbesondere
 - Tragbare Geräte der Akustik
 - Laborgerätesystem der Schall- und Schwingungsmeßtechnik
 - Echtzeitanalysator und Pegelschreiber
 - Zubehör für akustische Messungen
 - Handbuch „Meßplätze der Schall- und Schwingungsmeßtechnik“