

DIN 52221

ICS 91.120.20

Ersatz für
die 2004-12 zurückgezogene
Norm
DIN 52221:1980-05

Bauakustische Prüfungen – Körperschallmessungen bei haustechnischen Anlagen

Tests in building acoustics –

Measurements of structure-borne sound produced by technical appliances in buildings

Méthodes d'essais en acoustique des bâtiments –

Mesure du bruit des installations techniques de bâtiment transmis par les structures

Gesamtumfang 15 Seiten

Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN
Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI
Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN



Inhalt

	Seite
Vorwort	3
1 Anwendungsbereich	3
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe	4
4 Bezeichnung des Verfahrens	7
5 Prüfeinrichtungen	7
5.1 Körperschallsender	7
5.2 Körperschallaufnehmer	8
5.3 Verstärker und Filter.....	8
5.4 Integratoren	8
6 Prüfgegenstände und Messstellen	9
7 Durchführung	9
7.1 Messung von Spektren von Körperschallquellen, Untersuchung von körperschallisolierenden Maßnahmen und Bestimmung von Pegeldifferenzen in Gebäuden	9
7.1.1 Schwingungsrichtung	9
7.1.2 Befestigung der Körperschallaufnehmer	9
7.1.3 Störquellen	10
7.1.4 Aufstellung der Maschinen	10
7.1.5 Betriebsbedingungen	11
7.1.6 Messung von Körperschallpegeln und Pegeldifferenzen mit einer eingebauten Maschine oder einem Sender als Schallquelle	11
7.2 Impedanzmessungen	11
8 Auswertung und Angabe der Ergebnisse	12
9 Prüfbericht	12
Anhang A (informativ) Berechnung von Wechselkräften und Übertragung von Messergebnissen auf andere Verhältnisse	13
A.1 Allgemeines	13
A.2 Berechnung der Kräfte	13
A.3 Übertragung von Messergebnissen an elastischen Lagerungen	13
Literaturhinweise	15

Vorwort

Diese Norm wurde vom Arbeitsausschuss NMP 231 „Schalldämmung und Schallabsorption, Messung und Bewertung“ des Normenausschusses Materialprüfung (NMP) erarbeitet.

Die DIN 52221:1980-05 wurde mit Erscheinen der DIN EN ISO 16032:2004-12 irrtümlich zurückgezogen. Mit der Neuauflage der DIN 52221 wird dem Anwenderkreis wieder ein Dokument über die Körperschallmessungen bei haustechnischen Anlagen zur Verfügung gestellt.

Änderungen

Gegenüber der 2004-12 zurückgezogenen Norm DIN 52221:1980-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Normative Verweisungen aktualisiert;
- b) Berechnung von Wechselkräften und Übertragung von Messergebnissen auf andere Verhältnisse im neuen Anhang A statt in "Erläuterungen" dargelegt;
- c) Bezeichnung des Verfahrens geändert;
- d) Norm redaktionell überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN 52221: 1980-05

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Begriffe, Messgrößen, Messpunkte und Messverfahren für Körperschallmessungen bei haustechnischen Anlagen fest.

Die in diesem Dokument beschriebenen Messungen dienen:

- a) zur Feststellung der Körperschallspektren von Maschinen, die zu haustechnischen Anlagen gehören;
- b) zur Bestimmung der Körperschalldämmung von Isolationsmaßnahmen auf dem Prüfstand bzw. im eingebauten Zustand;
- c) zur Messung von Pegeldifferenzen in Gebäuden;
- d) zur Ermittlung der Impedanzen von Maschinenfundamenten, Decken und Wänden.

Als Maschinen in haustechnischen Anlagen werden z. B. Aufzüge, Heizungs- und Klimaanlage, Pumpen, Kältemaschinen, Müllschlucker, Druckerhöhungsanlagen, Staubsauganlagen, Waschanlagen (Waschmaschinen, Geschirrspüler usw.) und die dazugehörige technische Ausrüstung (Schalter, Stütze usw.) verstanden.

Mit Hilfe der hier beschriebenen Messungen kann man – allerdings nur in einfachen Fällen – feststellen, ob die Körperschallpegel der Begrenzungsflächen von Räumen zu einer Luftschallabstrahlung führen, die unterhalb der in DIN 4109 zugelassenen Schallpegel liegen oder nicht.

Bei festgestellter Überschreitung kann auf Grund der Körperschallpegel auf die erforderlichen zusätzlichen Isolationsmaßnahmen geschlossen werden. Außerdem kann die Körperschalldämmung von elastischen Lagerungen und dergleichen – allerdings nur für die jeweilige Einbausituation – erfasst werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 1320, *Akustik — Begriffe*

DIN 4109, *Schallschutz im Hochbau — Anforderungen und Nachweise*

DIN 45661, *Schwingungsmesseinrichtungen — Begriffe*

DIN 45662, *Schwingungsmesseinrichtungen — Allgemeine Anforderungen und Prüfung*

DIN EN 61260, *Elektroakustik — Bandfilter für Oktaven und Bruchteile von Oktaven*

DIN EN 61672-1, *Elektroakustik — Schallpegelmesser — Teil 1: Anforderungen*

DIN EN ISO 140-6, *Akustik — Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen — Teil 6: Messung der Trittschalldämmung von Decken in Prüfständen*

DIN ISO 5348, *Mechanische Schwingungen und Stöße — Mechanische Ankopplung von Beschleunigungsaufnehmern*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Körperschall

Schwingungen bzw. Wellen in festen Körpern

ANMERKUNG In dieser Norm interessiert nur der Frequenzbereich von 25 Hz bis 4 000 Hz. Schwingungsgrößen können sein: Schwingweg, Schnelle, Beschleunigung, Druck bzw. Spannung, Kraft usw.

3.2

Schnelle, Schwinggeschwindigkeit

v

Wechselgeschwindigkeit eines schwingenden Körpers. Sie ist die zeitliche Ableitung des Schwingweges. Die Schnelle ist ein Vektor

ANMERKUNG Meist wird jedoch nur die je nach Problemstellung wichtigste Richtungskomponente der Schnelle betrachtet

3.3

Schnellepegel

L_v

$$L_v = 10 \lg \frac{v^2}{v_0^2} \text{ dB} \quad (1)$$

Dabei ist

v der Effektivwert der Schnelle im betrachteten Frequenzband;

v_0 der Bezugswert. In DIN 1320 ist $v_0 = 5 \times 10^{-8} \text{ m/s} = 50 \text{ nm/s}$ festgelegt.

ANMERKUNG In ISO 1683 ist als Bezugswert $v_0 = 1 \text{ nm/s}$ festgelegt. Die Schnellepegel sind dann um 34 dB höher. Bei senkrechter Abstrahlung ebener Wellen sind bei Verwendung des Bezugswertes $v_0 = 5 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ Schalldruckpegel- und Körperschallschnellepegel zahlenmäßig einander gleich.

3.4**Beschleunigung** a

zeitliche Ableitung der Schnelle

Für die Effektivwerte von Schnelle und Beschleunigung innerhalb eines Frequenzbandes mit der Mittenfrequenz f (das Frequenzband sollte nicht breiter als eine Terz sein) gilt Gleichung (2):

$$\frac{a}{v} = 2 \pi f \quad (2)$$

3.5**Beschleunigungspegel** L_a

$$L_a = 10 \lg \frac{a^2}{a_0^2} \text{ dB} \quad (3)$$

Dabei ist

a der Effektivwert der Beschleunigung im betrachteten Frequenzband;

a_0 der Bezugswert, für den 10^{-6} m/s^2 festgelegt ist.

ANMERKUNG Der Bezugswert entspricht den Angaben in ISO 1683.

Nach Gleichung (2) gilt für den Zusammenhang zwischen Schnellepegel und Beschleunigungspegel (unter Berücksichtigung von $v_0 = 50 \text{ nm/s}$) Gleichung (4):

$$L_v = L_a - 20 \lg \frac{f}{1 \text{ Hz}} \text{ dB} + 10 \text{ dB} \quad (4)$$

3.6**Körperschallspektrum**

Auftragung der über den Filter ermittelten Pegel dieser Größe über der Mittenfrequenz des jeweiligen Filters. Als Filter werden in der Regel Terzfilter nach DIN EN 61260 benutzt

Die Abszisse der Auftragung hat logarithmische Teilung. In der Ordinate werden die Pegel linear aufgetragen.

3.7**Körperschallpegeldifferenz** ΔL_v

Differenz zweier gemessener Pegel der gleichen physikalischen Größe bei der gleichen Filtermittenfrequenz. Die Körperschallpegeldifferenz ist das logarithmische Maß des dimensionslosen Verhältnisses zweier Messwerte gleicher physikalischer Größe. Die Körperschallpegeldifferenz hängt nicht vom Bezugswert der Pegeldefinition ab. Es gilt z. B. Gleichung (5):

$$\Delta L_v = L_{v1} - L_{v2} = 20 \lg \frac{v_1}{v_2} \text{ dB} \quad (5)$$

3.8

Impedanz Z_m

mechanische Impedanz, also das Verhältnis einer Kraft F zur durch diese Kraft verursachten Schnelle v am Erregerort

$$Z_m = \frac{F}{v} \quad (6)$$

Im Allgemeinen ist die Impedanz komplex und frequenzabhängig. Bei der Messung wird meistens nur der Absolutbetrag der Impedanz bestimmt.

3.9

Abstrahlmaß

zehnfacher dekadischer Logarithmus des Abstrahlgrads, ausgedrückt in dB. Es liefert einen Zusammenhang zwischen dem mittleren Schnellepegel L_v einer strahlenden Fläche S und der nach einer Seite abgestrahlten Luftschallleistung W . Unter Benutzung des Schallleistungspegels L_W , bezogen auf 1 pW, und des Bezugswertes $v_0 = 50 \text{ nm/s}$ gilt bei der Abstrahlung in Luft Gleichung (7):

$$10 \lg \sigma \text{ dB} = L_W - L_v - 10 \lg \frac{S}{1 \text{ m}^2} \text{ dB} \quad (7)$$

ANMERKUNG Bei Messungen in Räumen, die zum Aufenthalt von Menschen geeignet sind, brauchen Einflüsse von Temperatur und Luftdruck nicht berücksichtigt zu werden.

Bei Messungen in geschlossenen Räumen geht Gleichung (7) über in Gleichung (8):

$$10 \lg \sigma \text{ dB} = L_p - L_v + 10 \lg \frac{V}{1 \text{ m}^3} \text{ dB} - 10 \lg \frac{T}{1 \text{ s}} \text{ dB} - 10 \lg \frac{S}{1 \text{ m}^2} \text{ dB} - 14 \text{ dB} \quad (8)$$

Dabei ist

V das Volumen des Raumes;

T die Nachhallzeit;

L_p der im Raum gemittelte Schalldruckpegel.

Bei homogenen Wänden und Decken kann man für Frequenzen oberhalb einer bestimmten Grenzfrequenz f_g mit $\sigma = 1$ rechnen. Diese Grenzfrequenz ist gegeben durch Gleichung (9):

$$f_g = \frac{c_0^2}{1,8 c_L h} \quad (9)$$

Dabei ist

c_0 die Schallgeschwindigkeit in Luft (= 340 m/s);

c_L die Longitudinalwellengeschwindigkeit im Plattenmaterial (siehe auch Fußnote 1 auf Seite 8);

h die Plattendicke.

Bei Betonplatten und Ziegelwänden gilt $f_g \approx 20/h$, wobei h in Meter einzusetzen ist und f_g in Hz ausgedrückt wird. Für Frequenzen unterhalb von f_g ist $\sigma < 1$, erreicht jedoch nur bei dünnen Verkleidungen Werte in der Nähe von 10^{-2} . Werte von $\sigma > 1$ treten nur in der Nähe der oben angegebenen Grenzfrequenz f_g auf. Auch in diesem Bereich sind Werte von $\sigma > 2$ äußerst selten.

Bei bekanntem oder geschätztem Abstrahlgrad kann Gleichung (8) benutzt werden, um aus den an den einzelnen Begrenzungsflächen S_i gemessenen Schnellepegeln L_{vi} den im Raum erzeugten Schallpegel zu errechnen.

Es gilt bei bekannter Nachhallzeit:

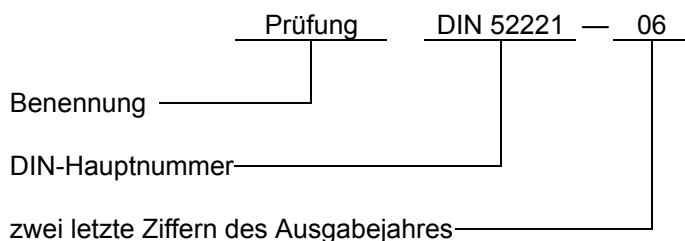
$$L_p = \left[10 \lg \sum_{i=1}^n S_i 10^{L_{vi}/10} + 10 \lg \sigma - 10 \lg \frac{V}{1 \text{ m}^3} + 10 \lg \frac{T}{1 \text{ s}} + 14 \right] \text{ dB} \quad (10)$$

Bei bekannter Absorptionsfläche A im Raum ist mit

$$L_p = \left[10 \lg \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{A} 10^{L_{vi}/10} + 6 \right] \text{ dB} \quad (11)$$

zu rechnen.

4 Bezeichnung des Verfahrens



5 Prüfeinrichtungen

5.1 Körperschallsender

Zu Messungen von Körperschallpegeldifferenzen und zur Messung der Impedanz einer Maschine, einer Decke oder Wand kann eine Körperschallanregung mit einer von außen einwirkenden Wechselkraft F erforderlich sein. Als dazu nötige Körperschallsender können elektrodynamische Sender oder Hammerwerke, z. B. das Trittschallhammerwerk nach DIN EN ISO 140-6, verwendet werden. Die elektrodynamischen Sender werden im Allgemeinen mit Terzrauschen, in Ausnahmefällen mit reinen Tönen angeregt. Für Impedanzmessungen ist es empfehlenswert, solche Körperschallsender zu verwenden, bei denen (durch eine unmittelbare Kraftmessung, durch eine Strommessung oder durch eine Beschleunigungsmessung an einer bekannten Masse) die wirkende Kraft je Frequenzband oder Frequenz ermittelt werden kann. Bei Hammerwerken mit harter Aufschlagfläche gilt bei einer Schlagfrequenz von 10 Hz für den Effektivwert der Kraft F im Terzband näherungsweise Gleichung (12) [1]:

$$F_{\text{eff}} \approx \sqrt{185 \times f \cdot m^2 \cdot h} \quad (12)$$

Dabei ist

F_{eff} der Effektivwert der Kraft in N;

f die Mittenfrequenz des Terzbandes in Hz;

m die Masse des Hammers in kg;

h die Fallhöhe der Hämmer in m.

Gleichung (12) stellt einen Mittelwert für elastischen und unelastischen Stoß dar. Bei vollkommen elastischem Stoß ist die Kraft um den Faktor 1,41 größer, bei vollkommen unelastischem Stoß um den Faktor 1,41 kleiner als nach Gleichung (12).

Damit eine dynamische Belastung des Messgegenstandes durch den Körperschallsender vermieden wird, darf die Masse m des anregenden Schwingungssystems (bei elektrodynamischen Sendern ist das die Schwingspule und ein starr damit verbundener Schwingkopf, bei Hammerwerken ist es die Hammermasse) nicht zu groß sein. Bei plattenförmigen Messgegenständen sollte Gleichung (13) erfüllt sein:

$$m < \frac{c_L \rho h^2}{2 \pi f} \quad (13)$$

Dabei ist

- c_L die Longitudinalwellengeschwindigkeit¹⁾;
- ρ die Dichte;
- h die Dicke des Messgegenstandes an der Messstelle.

Bezüglich Korrekturmöglichkeit siehe 7.2. Die Gleichung (13) gilt auch bei Rohren, wenn das Produkt aus Frequenz und Umfang größer als die Longitudinalwellengeschwindigkeit ist.

5.2 Körperschallaufnehmer

Körperschallaufnehmer (siehe auch DIN 45661 und DIN 45662) sind piezoelektrische oder elektrodynamische²⁾ Wandler, die im interessierenden Frequenz- und Dynamikbereich ein elektrisches Signal erzeugen, das proportional der Schnelle oder der Beschleunigung am Messort ist. Damit eine Rückwirkung des Messgerätes auf die Körperschallpegel vermieden wird, muss die Masse des Körperschallaufnehmers möglichst gering sein. Bei plattenförmigen Messgegenständen bedeutet das, dass die Masse des Abtasters der Gleichung (13) genügen muss.

5.3 Verstärker und Filter

Die vom Körperschallaufnehmer erzeugten elektrischen Signale werden verstärkt, gefiltert und als Effektivwert zur Anzeige gebracht. Die dazu verwendeten Geräte müssen den Anforderungen nach DIN EN 61672-1 genügen.

5.4 Integratoren

Unter Integratoren werden in diesem Dokument elektrische Schaltkreise verstanden, die die Umwandlung von Beschleunigungspegeln in Schnellepegel ermöglichen. Durch die Integration kann bei hohen Frequenzen die Empfindlichkeit der Messgeräte beträchtlich verringert werden, wodurch die Gefahr von Fehlmessungen entsteht. In solchen Fällen müssen die Beschleunigungspegel gemessen und daraus die Schnellepegel berechnet werden.

-
- 1) Bei Stahl und Aluminium ist c_L ungefähr 5 000 m/s, bei Ziegel, Beton, Holz etwa 3 500 m/s, bei harten Kunststoffen, wie sie für den Rohrleitungsbau verwendet werden, ungefähr 1 000 m/s.
 - 2) Andere Wandlertypen, z. B. Dehnungsmessstreifen oder induktive Wandler, spielen für die hier interessierenden Messungen praktisch keine Rolle.

6 Prüfgegenstände und Messstellen

6.1 Bei der Messung von **Spektren von Körperschallquellen** ist der Prüfgegenstand die interessierende Maschine einschließlich der Rohrleitungen usw. am Prüfstand oder am Bau mit oder ohne Zusatzmassen. Die verschiedenen Lagerungen der Maschine bei Prüfstandmessungen sind in 7.1.4 angegeben.

Messstellen sind die Verbindungsstellen mit anderen Bauteilen. Bei elastisch gelagerten Maschinen oder Rohrleitungen soll vor der elastischen Zwischenlage gemessen werden.

Die Füße von Maschinen und die mit ihnen verschraubten Fundamente (Zwischenfundamente) können bei mittleren und hohen Frequenzen sehr unterschiedliche Pegel haben. Beide müssen also getrennt gemessen werden.

6.2 Bei der Untersuchung von **körperschallisolierenden Maßnahmen** sind die Prüfgegenstände einstufige oder zweistufige elastische Lagerungen auf dem Prüfstand oder am Bau.

Messstellen sind die Verbindungsstellen der Körperschallquellen mit den anderen Bauteilen, wobei vor und hinter der elastischen Zwischenlage gemessen wird.

Da die Wirkung von solchen Maßnahmen sehr stark davon abhängt, welche Maschinen und Fundamente durch welche Federn verbunden sind, können die Messergebnisse auf andere Einbausituationen nur in bestimmten Fällen umgerechnet werden (siehe Anhang A).

6.3 Bei der Bestimmung von **Pegeldifferenzen in Gebäuden** sind Prüfgegenstände die Decken und Wände im Maschinenraum einerseits und in benachbarten oder weiter davon entfernten Räumen andererseits.

Mindestens vier Messstellen müssen über die jeweilige Decke oder Wand verteilt sein. Auf Gehbelägen darf nicht gemessen werden. Messungen an Unterdecken und biegeweichen Vorsatzschalen sind im Hinblick auf die Luftschallabstrahlung wenig aussagekräftig.

6.4 Bei der Messung von **Impedanzen** sind Prüfgegenstände die Stellen von Decken, Wänden, Zwischenfundamenten und Rohren, die mit Maschinenfüßen, Maschinenflanschen, Zwischenfundamenten, Rohren und Kanälen direkt oder über Federn verbunden sind.

Messstellen siehe 7.2.

7 Durchführung

7.1 Messung von Spektren von Körperschallquellen, Untersuchung von körperschallisolierenden Maßnahmen und Bestimmung von Pegeldifferenzen in Gebäuden

7.1.1 Schwingungsrichtung

In vielen Fällen sind die Körperschallpegel von Maschinen in allen Raumrichtungen von der gleichen Größenordnung. Da die Fundamente bzw. die Gebäudeteile (Geschossdecken), auf denen die Maschinen stehen, fast immer waagrecht sind, interessiert die senkrechte Schwingungsrichtung am meisten. Die Messung der Körperschallpegel in dieser Richtung genügt also fast immer. Lediglich bei der Körperschallleitung über Rohre und Kanäle kann die Schwingungsrichtung durch die Zwischenschaltung von Krümmern und dämmenden Anordnungen, z. B. Kompensatoren und Verteilerzylindern, von Ort zu Ort wechseln. In diesen Fällen ist es notwendig, den Körperschallpegel mindestens in zwei zueinander senkrechten Richtungen zu messen und energetisch zu mitteln.

7.1.2 Befestigung der Körperschallaufnehmer

Der Körperschallaufnehmer muss so befestigt werden, dass er dieselben Bewegungen ausführt wie die Messstelle; er darf jedoch durch seine Masse die Messstelle nicht belasten. Die sicherste Befestigung an Maschinen oder Gebäudeteilen ist das Anschrauben. Die Befestigung mittels einer dünnen Klebwachsschicht

ist jedoch einfacher und hat, abgesehen von der Befestigung an heißen Maschinen, bei Frequenzen unter 2,5 kHz keine Nachteile.

Haftmagnete sind bei ebenen, glatten Stahloberflächen für Frequenzen unter 1 000 Hz verwendbar.

Siehe auch DIN ISO 5348.

7.1.3 Störquellen

Die Ergebnisse von Körperschallmessungen können unter anderem durch folgende Störungen verfälscht werden:

- elektrische und magnetische Störungen; insbesondere bei langen Kabeln und Aufnehmern mit hohem Innenwiderstand (sie sind nach Abschalten der Körperschallerregung festzustellen oder in der Weise, dass man den Aufnehmer an den Messort bringt, ohne dass er das Messobjekt berührt);
- Schwingungen des Zuleitungskabels, z. B. wenn es auf einer stark vibrierenden Rohrleitung liegt (Abhilfe: 1. Verbindung mit Rohrleitung verhindern, 2. Kabel an Messobjekt durch Klebwachs oder Klebestreifen festlegen);
- Luftschallanregung des Körperschallaufnehmers, z. B. wenn er sich auf einer schweren Decke befindet und im umgebenden Raum ein hoher Luftschallpegel herrscht (Abhilfe: möglichst kleine, starre Kapselung, die den Aufnehmer nicht berühren darf);
- Übersteuerung, z. B. wenn es sich um sehr kurzzeitige Signale (Hammerschläge auf Metall) handelt;
- Nebengewegübertragung. Bei einer großen, mehrstufigen Körperschalldämmung von Maschinenfundamenten kann es vorkommen, dass (flüssigkeits- oder luftgefüllte) Rohre oder Kanäle von Lüftungsanlagen die Maschinen mit den Decken oder Wänden des Gebäudes verbinden. Es ist möglich, dass auf diesem Weg, zumindest in einzelnen Frequenzbereichen, mehr Körperschallenergie in das Gebäude gelangt als über die Fundamente. Das kann auf folgende Weise untersucht werden: Die Rohre oder/und Kanäle werden mit Hilfe eines Körperschallerregers so zu Biegeschwingungen angeregt, dass sie den gleichen Beschleunigungspegel wie bei der Anregung von der Maschine aus haben. Die Maschine stellt eine so große Sperrmasse dar und ist in den meisten Fällen zusätzlich so gut gedämmt, dass bei diesem Versuch von den zum Schwingen angeregten Leitungen über die Maschine und ihr Fundament keine nennenswerte Schallenergie in das Gebäude gelangen kann.

Ein Vergleich der bei laufender Maschine bzw. bei der Anregung der Leitungen mittels eines Erregers vorhandenen Pegel einer Decke oder einer Wand zeigt, auf welchem Weg die Gesamtdämmung kleiner und unter Umständen verbesserungsbedürftig ist.

Siehe auch DIN ISO 5348.

7.1.4 Aufstellung der Maschinen

Bei Messung des Körperschallspektrums von Maschinen auf Prüfständen sollen die Messungen bei federnder Aufstellung der Maschine vorgenommen werden, wobei die Abstimmfrequenz unter 10 Hz liegen muss. Die Abstimmfrequenz in Hz ist gegeben durch Gleichung (14).

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s}{m}} \quad (14)$$

Dabei ist

- s die Summe der Steifigkeit aller Federn, in N/m;
- m die Masse der Maschine einschließlich eventueller Zusatzmassen, in kg.

Wenn für den späteren Einbau ein Zwischenfundament vorgesehen ist, empfiehlt sich, wenn möglich, die Verwendung des gleichen Zwischenfundaments und der gleichen Federn bei der Messung.

7.1.5 Betriebsbedingungen

Maschinen, deren Drehzahl z. B. im Verhältnis 2 : 3 verändert werden kann, müssen bei beiden Drehzahlen gemessen werden. Wenn die Drehzahl in einem gewissen Bereich stufenlos verändert werden kann, sind Messungen bei drei Drehzahlen, die etwa im Verhältnis 0,3 : 0,55 : 1 zueinander stehen, durchzuführen. Wenn das Körperschallspektrum einer Maschine bei tiefen Frequenzen sehr ausgeprägte Spitzen hat, d. h., aus reinen Tönen besteht, kann es aufschlussreich sein, die Frequenzen und Pegel dieser Teiltöne in Abhängigkeit von der Drehzahl festzustellen, indem man letztere kontinuierlich ändert.

Falls zwischen Leerlauf und Volllast Unterschiede bestehen, ist der ungünstigere Fall zu messen.

Wenn die Geräusche zeitlich schwanken, sind die Höchstwerte mit der Anzeigedynamik „Fast“ zu messen, z. B. müssen bei Aufzugsanlagen auch der Anfahr- und der Abbremsvorgang sowie das Umschalten von großer zu kleiner Drehzahl gemessen werden.

7.1.6 Messung von Körperschallpegeln und Pegeldifferenzen mit einer eingebauten Maschine oder einem Sender als Schallquelle

Die Körperschallspektren werden an der Schallquelle und an anderen Stellen im Gebäude bei Anregung durch die interessierende Maschine oder durch einen anderen Körperschallsender gemessen. Um Anhaltspunkte für die Wirkung von körperschalldämmenden Maßnahmen zu erhalten, bestimmt man Pegeldifferenzen. Dazu werden entweder die Körperschallpegel vor und nach Einbau einer körperschalldämmenden Maßnahme ermittelt oder die Differenzen der Pegel „vor“ und „hinter“ von bereits eingebauten Federn. Die beiden Arten von Messungen geben je nach Größe der angeschlossenen Impedanzen sehr verschiedene Ergebnisse.

7.2 Impedanzmessungen

Bei Impedanzmessungen wird die zu untersuchende Struktur (Maschine, Fundament, Decke, Wand) angeregt. Bei Maschinen und Fundamenten soll die Anregung vorzugsweise in der Nähe der Verbindungsstellen erfolgen.

Bei Wänden und Decken soll in der Nähe einer Auflagestelle einer elastischen Lagerung angeregt werden. Durch ein geeignetes Verfahren (siehe 5.1) wird die wirkende Kraft F bestimmt. Die Anwendung eines Hammerwerks statt eines elektrodynamischen Senders ist auf solche Fälle beschränkt, bei denen eine größere waagerechte Anregestelle zur Verfügung steht. Damit das Aufschlagen von Metall auf Metall vermieden wird, sollen Fallhämmer mit einer (harten) Deckschicht aus Leder, Kunststoffen usw. versehen werden.

Die Schnelle v wird in der Nähe der Anregungsstelle gemessen. Der Abstand zwischen der Anregungsstelle und der Stelle, an der die Schnelle gemessen wird, soll nicht kleiner sein als die halbe Dicke der angeregten Struktur (wegen der örtlichen Elastizität). Für die meisten Fälle ist es ausreichend, den Absolutbetrag der Impedanz zu bestimmen.

Falls die Bedingung (13) für die Schwingmasse des anregenden Systems nicht eingehalten werden kann, ist eine Korrektur möglich, solange die Impedanz größer ist als das 1,5fache der Massenimpedanz der Schwingmasse.

Falls $Z_{m,g}$ die gemessene Impedanz ist und Z_m die tatsächliche Impedanz (ohne Belastung durch den Sender), dann gilt Gleichung (15):

$$Z_m \approx Z_{m,g} - 2 \pi f m \quad (15)$$

Dabei ist m die Schwingmasse des Senders.

8 Auswertung und Angabe der Ergebnisse

Die an einer Maschine oder an mehreren Punkten eines Bauteiles erhaltenen Körperschallpegel je Frequenzband werden bei Pegelunterschieden von weniger als 6 dB arithmetisch, darüber hinaus energetisch gemittelt. Durch Differenzbildung der so erhaltenen Mittelwerte für die Maschine oder ein Bauteil bzw. für verschiedene Bauteile ergeben sich die Pegeldifferenzen.

Bei Impedanzmessungen empfiehlt es sich, den Absolutbetrag in einem logarithmischen Maß darzustellen. Nach Möglichkeit sollte die Länge der Ordinate, die zu einem Impedanzverhältnis 10 : 1 gehört, gleich der Länge sein, die 20 dB bei einem Körperschallspektrum entspricht.

9 Prüfbericht

Im Prüfbericht sind von den nachfolgend aufgeführten Angaben diejenigen zu machen, die der Aufgabe der Prüfung entsprechend notwendig sind:

- a) Hinweis auf dieses Dokument;
- b) Art der Körperschallquelle;
- c) Betriebszustand;
- d) Masse der Maschine;
- e) Art der Lagerung (Skizze);
- f) Lage der Messstellen (Skizze);
- g) Richtung der Messung;
- h) Aufbau der Fundamente, Zwischenfundamente, anschließende Bauteile;
- i) verwendete Messgeräte;
- j) Körperschallspektren (L_v oder L_a) einschließlich der verwendeten Filter, Anzeigedynamik (*Slow*, *Fast*);
- k) Impedanzen nach Gleichung (6);
- l) Abstrahlmaß nach Gleichung (7);
- m) Körperschallpegeldifferenzen.

Anhang A (informativ)

Berechnung von Wechselkräften und Übertragung von Messergebnissen auf andere Verhältnisse

A.1 Allgemeines

In diesem Dokument wurden keine Gleichungen für die Umrechnung von Körperschallpegeln in Wechselkräfte und Körperschalleistungen angegeben.

Es wurde auch nicht versucht, die an einer Stelle (z. B. im Labor) gemessenen Pegeldifferenzen auf andere Verhältnisse (z. B. im Bau) zu übertragen. Eine derartige Umrechnung ist bisher nicht für alle praktisch auftretenden Bedingungen gesichert; man kann lediglich in Spezialfällen zuverlässige Aussagen machen.

A.2 Berechnung der Kräfte

Wenn die Anregung punktförmig erfolgt (und übertragene Momente keine Rolle spielen), ergibt sich die wirkende Wechselkraft aus der gemessenen Schnelle und der Impedanz zu $F = Z_m \cdot v$. Inzwischen ist ein Verfahren entwickelt worden, mit dem Punktkräfte auch durch Luftschallanregung im Empfangsraum gemessen werden können [2].

A.3 Übertragung von Messergebnissen an elastischen Lagerungen

Wenn man sich auf Frequenzen beschränkt, die mindestens doppelt so hoch sind wie die Abstimmfrequenz der Lagerung, dann ist die Differenz zwischen „vor“ und „hinter“ der elastischen Lagerung gemessenen Schnelle- oder Beschleunigungspegel durch

$$20 \lg \frac{2 \pi f Z_m}{s} \text{ dB}$$

gegeben.

Dabei ist Z_m die frequenzabhängige Impedanz hinter der Feder und s die bis zur tiefsten Federresonanz frequenzunabhängige, darüber frequenzabhängige Steife der Feder. Bei gleicher Feder folgt aus der obigen Gleichung, dass sich die bei verschiedenen Fundamenten, also bei verschiedenen Impedanzen Z_{m1} und Z_{m2} , gemessenen Pegeldifferenzen um

$$20 \lg \frac{Z_{m1}}{Z_{m2}} \text{ dB}$$

unterscheiden.

Bei homogenen Platten bedeutet das, dass sich im mittleren und hohen Frequenzbereich die Pegeldifferenzen der an verschiedenen Orten gemessenen elastischen Lagerungen um etwa

$$20 \lg \frac{c_{L1} h_1^2}{c_{L2} h_2^2} \text{ dB}$$

unterscheiden. Will man also beispielsweise die Werte, die bei einer elastischen Lagerung auf einer 12 cm dicken Betondecke gemessen wurden, auf eine 20 cm dicke Betondecke übertragen, so muss man einen Unterschied von etwa 8 dB berücksichtigen. Daraus kann allerdings nicht geschlossen werden, dass eine 20 cm dicke Decke grundsätzlich um 8 dB besser ist als eine 12 cm dicke Decke; es ist auch zu berücksichtigen, dass bei dicken angeregten Platten die Pegelminderung durch nachfolgende Ecken und Verzweigungen im Allgemeinen kleiner ist als bei dünnen Platten [3]. Aus diesem Grunde ist der Unterschied der in einem benachbarten Wohnraum gemessenen Luftschallpegel nur etwa halb so groß, wie man nach obiger Beziehung erwarten würde.

Literaturhinweise

- [1] Cremer, L.; Heckl, M.: Körperschall. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1967. Kapitel IV
- [2] Buhkert, K.-J.; Feldmann, J.: Ein Messverfahren zur Bestimmung der Körperschallanregung und -übertragung. *Acustica* **42** (1979)
- [3] Gösele, K.; Schüle, W.: Schall, Wärme, Feuchtigkeit. Seite 87, Bild Nr 42. Bauverlag Wiesbaden 1977