# Nachweis der Körperschalldämmung von Kegelbahnen und Maschinenfundamenten

**Carsten Ruhe*)**

**Studium der Physik an der Universität Hamburg und der Nachrichtentechnik an der TU Hannover, Diplom 1977. Anschließend Mitarbeiter im Ingenieurbüro Otto Taubert. Seit dem Tod des Inhabers Geschäftsführer der TAUBERT und RUHE GmbH. Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Akustik und thermische Bauphysik.**

**Kurzfassung**

**Für den Nachweis des Tritt- und Körperschallschutzes von Kegelbahnen und Maschinenfundamenten wird eine geeignete Art der Anregung vorgestellt. Zusätzlich zum freien Fall einer Bowlingkugel steht eine automatisch arbeitende Apparatur zur Verfügung. Durch Vergleich der Meßergebnisse am jeweils gleichen Prüfobjekt mit denen bei der Anregung durch das Norm-Hammerwerk wurden entsprechende Bewertungskurven abgeleitet. Auf diese Weise ist der Nachweis von Trittschallschutzmaßen bis etwa TSM = 50 dB möglich.**

## 1 Einleitung

In der DIN 4109, Blatt 2 [1], wird unabhängig von der Zuordnung zu einer bestimmten Gaststättengruppe für den Fußboden ein Trittschallschutzmaß TSM = 20 dB gefordert. Dieses ist im allgemeinen ohne Schwierigkeiten meßtechnisch nachweisbar. Der Entwurf der DIN 4109, Teil 5 [2], enthielt erstmalig eine Unterscheidung nach der Art der Nutzung. In der Tabelle 2, Zeile 5.2, wird für Kegelbahnen das Trittschallschutzmaß TSM = 50 dB gefordert. Diese Anforderung ist auch im Neuentwurf [3] wieder genannt. Sie wurde in gleicher Höhe auch in den Entwurf der VDI-Richtlinie 3726 [4] übernommen. Vergleichbare Trittschallschutzmaße sind in speziellen Fällen des Körperschallschutzes bei maschinellen Anlagen zu fordern.

Voraussetzung für die normgerechte Messung ist der Bauabschluß, d. h. die Kegelbahn oder das Fundament und sämtliche schalldämmenden Vorsatzwände und Unterdecken im Senderaum müssen fertiggestellt sein. Weiterhin darf im Empfangsraum nur ein niedriger Fremdgeräuschpegel vorliegen. Vorbedingung ist deshalb ein ausreichender Abschluß gegen Außengeräusche und gegen Störungen von den noch im Bau anwesenden Handwerkern. So begrenzt z. B. ein in einem Mischgebiet durchaus üblicher Fremdgeräuschpegel von 35 dB (A) am Tage im Empfangsraum das nachzuweisende Trittschallschutzmaß auf maximal TSM = 35 bis 38 dB. Dennoch ist, insbesondere in den ruhigen Abendstunden, der Kugelfall in bewohnten Räumen unter Umständen deutlich hörbar. Dumpfe Poltergeräusche werden durch die Begrenzung des bauakustisch auszuwertenden Meßbereiches auf eine untere Terzmittenfrequenz von 100 Hz möglicherweise gar nicht erfaßt. Im Entwurf der VDI-Richtlinie 3726 heißt es unter der Ziffer 7 für den Nachweis des Trittschallschutzes von Kegelbahnen wie folgt:

„Zum Nachweis der Trittschalldämmung der Kegelbahn ist es ratsam, nach Aufbringen des schwimmenden Estrichs eine Trittschallschutzprüfung gemäß DIN 52210 [5] durchzuführen. Während bei der Keglerstube der meßtechnische Nachweis des Trittschallschutzmaßes TSM = 30 dB geführt werden kann, ist es zur Zeit nicht möglich, ein TSM von 50 dB meßtechnisch zu bestimmen. Solange es der Stand der Technik nicht zuläßt, kann der Nachweis eines erfüllten Trittschallschutzes hilfsweise mit einer Schallpegelmessung nach Abschnitt 7.2 bei Einhaltung der Anforderung von 25 dB (A) erbracht werden."

Damit ist die Diskrepanz gegeben, daß in den genannten Normen und Richtlinien Anforderungen enthalten sind, deren meßtechnischer Nachweis zur Zeit normgerecht nicht möglich ist. Dieser unbefriedigende Umstand gab Veranlassung, ein Meßverfahren zu entwickeln, mit dem sich der geforderte Trittschallschutz unter baupraktischen Bedingungen nachweisen läßt.

## 2 Meßapparaturen

Ziel der Untersuchung war es, zunächst ein Anregungsverfahren zu schaffen, das die Einleitung wesentlich höherer Körperschallenergien in das Gebäude ermöglicht. Dabei dürfen die zu untersuchenden Bauteile nicht beschädigt oder zerstört werden. Darüber hinaus soll das Endergebnis als Einzahlangabe einen dem Trittschallschutzmaß vergleichbaren Wert liefern. Schließlich muß das Verfahren vom meßtechnischen Aufbau her so beschaffen sein, daß nicht nur die Anwendung im Labor, sondern insbesondere die am (fast) fertiggestellten Bau möglich ist. Hierzu mußte ein der Anregungsapparatur angepaßtes Auswerteverfahren entwickelt werden. Außerdem waren auch die verschiedenen bei den bauakustischen Prüfstellen üblicherweise vorhandenen Meßapparaturen zu überprüfen und die damit erhaltenen Ergebnisse bei gleicher Anregung miteinander zu vergleichen.

### 2.1 Geräte zur Körperschallanregung

Bei den Untersuchungen wurde parallel zur Anregung mit dem üblichen Norm-Hammerwerk eine solche durch den freien Fall einer ca. 7000 g schweren Bowlingkugel vorgenommen. Über erste Meßergebnisse mit dieser Kugel wurde bereits auf der DAGA'80 vorgetragen [6]. Die seinerzeit beschriebene Methode der Bahnanregung ist inzwischen durch eine automatisch arbeitende Apparatur mit gleichmäßiger Anregung ersetzt worden. Das Bild 1 zeigt das Innere des Gerätes. Im unteren Teil des Bildes ist die Bowlingkugel in etwa halb hochgezogener Stellung zu erkennen. In der oberen Hälfte sieht man den Motor mit Excenter und die Führungsstange für die Kugel. Die Fallhöhe beträgt gleichartig wie beim vorher verwendeten Kugelfall von Hand 10 cm.

Bereits bei den ersten Messungen zeigte sich, daß durch die punktförmig kurzzeitig auftretenden Kräfte bis über 500 N auch bei einem Estrich in 15 cm Stärke schon nach wenigen Kugelaufschlägen erste Beschädigungen auftreten. Veranlaßt durch eine Veröffentlichung von Zimmermann [7] wurde bei den folgenden Messungen eine 10 mm dicke Elastomer-Baulagerplatte mit einer Härte von ca. 65 Sh. A. unter die Aufprallstelle gelegt. Dadurch ist es möglich, ohne Gefahr einer Beschädigung auch Messungen mit freiem Kugelfall auf fertiggestellten Rollbohlen durchzuführen. Dem Bild 1 sind im Vordergrund die Elastomerplatte und die für die Versuche mit dem freien Fall verwendete Bowlingkugel zu entnehmen.

*) Dipl.-Ing. Carsten Ruhe, TAUBERT und RUHE GmbH, Beratungsbüro für Akustik und thermische Bauphysik, Bickbargen 151, 2083 Halstenbek

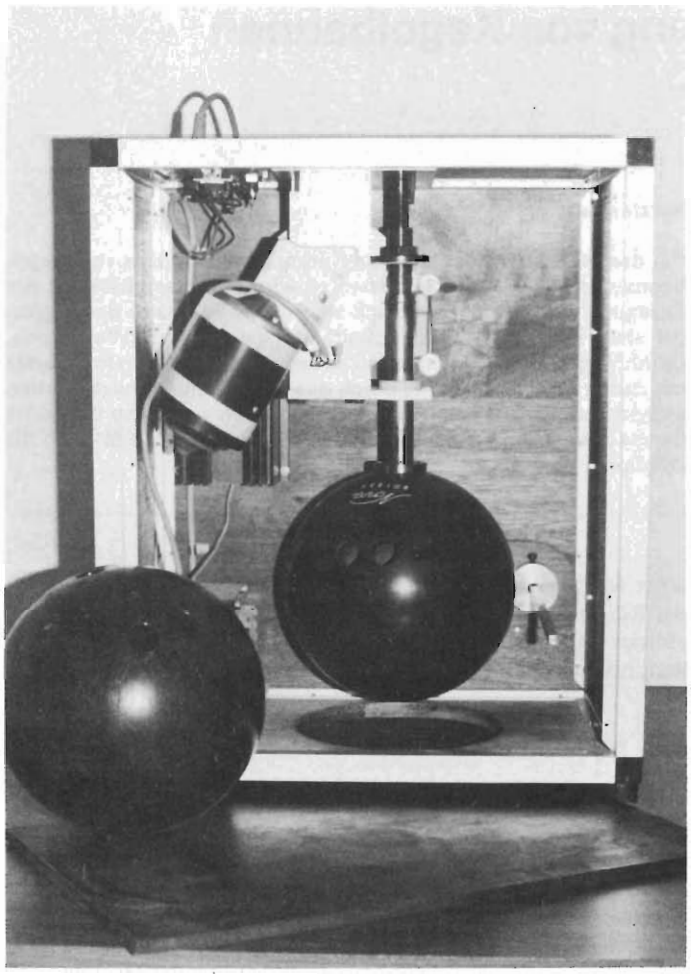

Bild 1. Kugelfallautomat (geöffnet) Erläuterungen im Text

## 2.2 Meß- und Auswerte-Apparaturen

Für die Messung und Auswertung wurden die vorhandenen bauakustischen Meßapparaturen eingesetzt. Dabei erfolgte im Laufe der Zeit, bedingt durch Neuanschaffungen und durch den Übergang von Halboktav- zu Terzanalysen, ein mehrfacher Wechsel. Durch Vergleichsmessungen an einer über längere Zeit labormäßig zur Verfügung stehenden Rohbetonsohle wurden jeweils die erforderlichen Korrekturen bestimmt, um alle Meßergebnisse in die Auswertung mit einbeziehen zu können.

Tabelle 1. Einstellungen an den Meßapparaturen für einen günstigen gegenseitigen Vergleich der Ergebnisse bei gleichem Körperschallerzeuger und gleichem Prüfobjekt

| | Norm-Hammerwerk | Kugelfall |
|---|---|---|
| Nortronic 823 oder ähnlich | Zeitbewertung: „schnell“<br>Frequenzbereich: (25) 50 bis 800 Hz<br>Integrationszeit: ca. 20 sec | Zeitbewertung: „schnell”<br>Ablesung: „Max. Level“<br>Beobachtungszeit: ausreichend lang, so daß keine Veränderung mehr erfolgt |
| B & K 2131 | Mittelungsart: „linear“<br>Mittelungszeit: 32 sec<br>Ablesung mit: „Cont.“ | Mittelungsart: „exponentiell“<br>Mittelungszeit: 1/4 oder 1/2 sec<br>Ablesung mit: „Max. Hold“<br>Beobachtungszeit: ausreichend lang, so daß keine Veränderung mehr erfolgt |

Zur Zeit werden als seriell arbeitende Meßapparatur ein Akustik-Meßsystem, Typ 823, Fabrikat Nortronic, und weiterhin ein Echtzeitanalysator, Typ 2131, Fabrikat Brüel & Kjaer, verwendet. Die im folgenden angegebenen Meßgeräte-Einstellungen sind jedoch ohne weiteres auf andere Apparaturen übertragbar.

## 3 Meßverfahren

Bei den Messungen erfolgte jeweils die Prüfung der gleichen Rohbetondecke oder -sohle bzw. des gleichen Bahnestrichs oder Maschinenfundamentes nach zwei Verfahren. Die Bauteile wurden einmal mit dem Norm-Hammerwerk (NHW) nach DIN 52210 und weiterhin durch die aus 10 cm Höhe frei auf die 10 mm dicke Elastomer-Platte fallende Bowlingkugel bzw. mit dem auf dieser Platte stehenden Kugelfallautomaten (KFA) angeregt. Für die vergleichenden Messungen wurden Decken, Estriche und Fundamente ausgewählt, deren schalltechnische Dimensionierung so gering war, daß auch das Norm-Hammerwerk einwandfrei erfaßt werden konnte. Sie mußten aber so widerstandsfähig sein, daß sie die Belastung durch die fallende Kugel über längere Zeit ohne Beschädigungen aushielten.

Die Aufnahme aller drei Anregungsarten erfolgte an dem jeweiligen Prüfobjekt immer mit der identischen Meßapparatur. Dabei wurde versucht, das Norm-Hammerwerk auch unterhalb von 100 Hz zu erfassen. Beim Kugelfall war dies ohne weiteres möglich.

## 4 Meßergebnisse

Zur Auswertung standen insgesamt 26 Meßreihen mit der frei fallenden Bowlingkugel und dem Kugelfallautomaten zur Verfügung. Der ausgewertete Frequenzbereich begann im allgemeinen bei 25 Hz und erstreckte sich bis ca. 2000 Hz. Dem Bild 2, Kurve b), ist zu entnehmen, daß oberhalb von 1400 Hz die Schallpegel der Bowlingkugel niedriger liegen als die des NHW. Dies führte bisweilen dazu, daß die höheren Frequenzen wegen des vorhandenen Fremdgeräusches nicht erfaßt werden konnten. In mehreren Fällen wurde zusätzlich der auswertbare Frequenzbereich durch den Echtzeitanalysator begrenzt. Bei starken Pegelanteilen im tieffrequenten Bereich und dem steilen Abfall der Spektren wurde zum Teil oberhalb von 630 Hz dessen untere Meßbereichsgrenze unterschritten.

Im Bild 3 sind Schnellepegel-Messungen auf einer Betonsohle im Abstand von ca. 1,0 m von der jeweiligen Aufprallstelle des NHW oder der Bowlingkugel dargestellt. Das Norm-Hammerwerk erzeugte ein Spektrum gemäß Kurve a). Die Kurve b) gilt für den Kugelfall auf die Betonsohle ohne untergelegte Elastomer-Platte und c) mit dieser Platte. Es zeigt sich, daß bis etwa 630 Hz die Kurven b) und c) fast aufeinander liegen. Im Frequenzbereich der dumpfen Schlag- und Poltergeräusche sind die Veränderungen der Meßergebnisse durch diese Platte also vernachlässigbar.

Im Bild 4 sind die Meßergebnisse, die mit der Nortronic 823, Zeitbewertung „schnell“, bei Ablesung des Maximalpegels am gleichen Objekt erhalten wurden, denen des Echtzeitanalysators mit den Mittelungszeiten 1/16 ... 1 sec gegenübergestellt. Die besten Übereinstimmungen ergeben sich demnach bei Mittelungszeiten zwischen 1/4 und 1/2 sec, also etwa der zwei- bis vierfachen Zeitkonstanten der Zeitbewertung „schnell“. Das Bild 5 zeigt die Ergebnisse mit der Nortronic 823 für einen festen Mikrophonstandort als Kurve a) und für eine ausführliche räumliche Mittelung (mit entsprechendem Zeitbedarf) als Kurve b). Es ist zu erkennen, daß die mit räumlicher Abtastung ermittelten „Max. Level“ bei tiefen Frequenzen bis zu 11 dB höher liegen. Naturgemäß werden die räumlich verteilten Eigenmoden so wesentlich besser erfaßt.

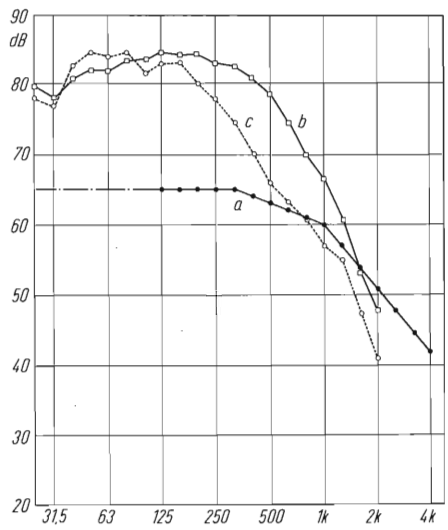


Bild 2. NHW/Kugelfall/KFA
Vergleich der Meßergebnisse nach Umrechnung gemäß Gleichung (1)
a) Bezugskurve TSM = 0 dB für die Anregung mit dem NHW und Auswertung in Terzen
b) Mittelwert aller Meßergebnisse bei Kugelfall von Hand
c) Mittelwert aller Meßergebnisse mit dem KFA

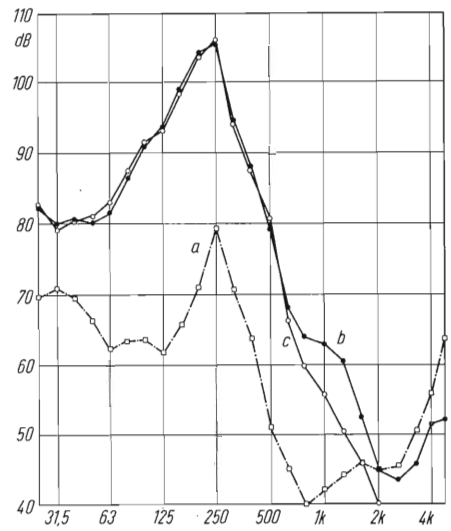


Bild 3. Schnellepegel auf einer Gebäudesohle
a) Norm-Hammerwerk auf der Sohle
b) Kugelfall auf der Sohle
c) Kugelfall auf Elastomer-Platte auf der Sohle

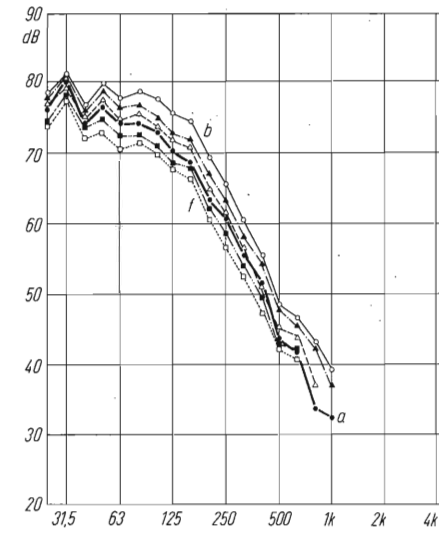


Bild 4. Schalldruckpegel im Empfangsraum bei ausführlicher räumlicher Mittelung
– Geräuscherzeugung mit dem Kugelfallautomaten –
a) Gemessen mit Nortronic 823 „Fast, Max. Level"
b) bis f) Messung mit B & K 2131 „1/16 sec bis 1 sec, Max. Hold".

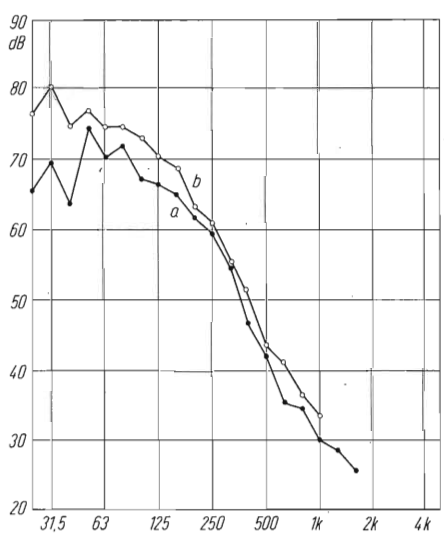


Bild 5. Schalldruckpegel im Empfangsraum bei Anregung mit dem Kugelfallautomaten
a) Ohne räumliche Mittelung
b) Mit ausführlicher räumlicher Mittelung

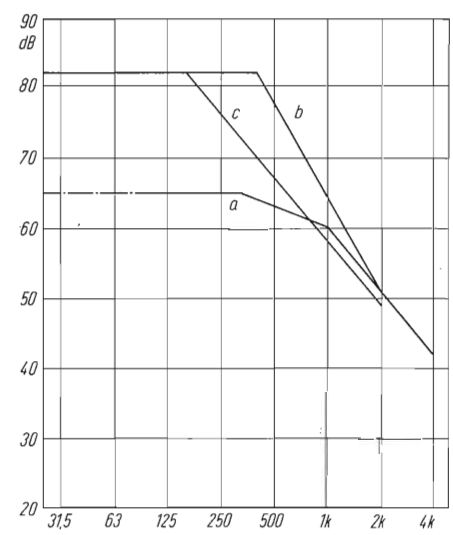


Bild 6. NHW/Kugelfall/KFA
Vergleich der Bezugskurven
a) Bezugskurve TSM = 0 für die Anregung mit dem NHW und Auswertung in Terzen
b) Bezugskurve KSM = 0 dB für Kugelfall von Hand
c) KSM = 0 dB für Kugelfallautomaten

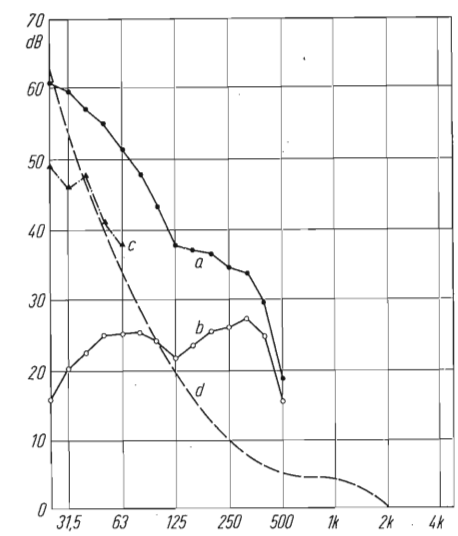


Bild 7. Schalldruckpegel im Empfangsraum bei Anregung eines Kegelbahnestrichs mit dem Kugelfallautomaten
a) Aufgenommene KFA-Pegel, unbewertet
b) Aufgenommene KFA-Pegel, A-bewertet
c) Nach Fertigstellung der Bahn, unbewertet
d) Hörschwelle nach DIN 45 630

## 5 Bezugskurven für Messungen mit Kugelfall

Um bei Verwendung der frei fallenden Bowlingkugel bzw. des KFA zu einer Aussage über die Körperschalldämmung zu gelangen, die der Bestimmung des Trittschallschutzmaßes mittels des NHW vergleichbar ist, wurden die am jeweils gleichen Objekt gemessenen Werte nach der Gleichung

$$L'_{KSM} = L'_K - L'_{NHW} + L'_{soll} \qquad (1)$$

umgerechnet und anschließend für jede Frequenz über alle bisher ausgeführten Messungen gemittelt. Hierbei bedeuten:

$L'_{KSM}$ = Bezugskurve für den Körperschallschutz bei Anregung mit Kugelfall
$L'_K$ = Schallpegel bei Anregung mit Kugelfall
$L'_{NHW}$ = Schallpegel bei Anregung mit dem Norm-Hammerwerk
$L'_{soll}$ = Bezugswerte nach DIN 52 210, Teil 4, Tabelle 3

Mit dieser Umrechnung ergeben sich die im Bild 2 dargestellten Kurvenverläufe. In Bild 6 sind diese Kurven zur Festlegung von Sollwerten als linearisierte Bezugskurven aufgeführt. Die Kurve a) ist die Bezugskurve TSM = 0 dB für die Messung in Terzen, die Kurve b) stellt den Mittelwert aller Meßergebnisse beim Kugelfall von Hand dar. Die Kurve c) zeigt schließlich den Mittelwert, der mit dem Kugelfallautomaten erhalten wurde. Im unteren Fre-

Tabelle 2. Werte der Bezugskurve für die Bewertung der Kugelfalldämmung bei Messung in Terzen

| | a) freier Kugelfall | | | | | b) Kugelfallautomat | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frequenz Hz | (25) | (31) | (40) | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 |
| a) $L'_n$ dB | (82) | (82) | (82) | 82 | 82 | 82 | 82 | 82 | 82 | 82 |
| b) $L'_n$ dB | (82) | (82) | (82) | 82 | 82 | 82 | 82 | 82 | 82 | 79 |
| Frequenz Hz | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | (2000) |
| a) $L'_n$ dB | 82 | 82 | 82 | 77,5 | 73 | 68,5 | 64 | 59,5 | 55 | (50,5) |
| b) $L'_n$ dB | 76 | 73 | 70 | 67 | 64 | 61 | 58 | 55 | 52 | (49) |

quenzbereich – Kurve b) bis etwa 400 Hz, Kurve c) bis etwa 200 Hz – liegen die beim Kugelfall gemessenen Werte im Mittel um 17 dB höher als die des NHW. Diese Anhebung entspricht etwa der Zunahme der in das Bauteil eingeleiteten Fallenergie. Aus der 14fach größeren Masse und der 2,5fachen Fallhöhe errechnet sich unter Vernachlässigung der unterschiedlichen Fallfrequenz ein Anstieg von 15,4 dB.

Im höheren Frequenzbereich ergibt sich bei Kurve b) ein Abfall von etwa 4,5 dB pro Terz und bei Kurve c) ein solcher von ca. 3 dB pro Terz. Beide Steigungen sind größer als die der Bezugskurve für das NHW. Bei allen Messungen lag im Bereich hoher Frequenzen bei der Anregung mit der Kugel ein niedrigerer Pegel vor als bei der Verwendung des NHW. Auch in [7] wird diese Abnahme beschrieben.

Den Kurven b) und c) ist deutlich zu entnehmen, daß der Abknickpunkt der Kurve bei der Verwendung des KFA etwa eine Oktave niedriger liegt als beim Kugelfall von Hand. Vermutlich wird durch die Führungsstange der Kugel im KFA eine Dämpfung verursacht, die der eines Auto-Stoßdämpfers vergleichbar ist. Daraus würde sich dann eine Verkleinerung des übertragenen Impulses ergeben. Um diesen Einfluß auszuschließen, hätte man die Führungsstange der Kugel seitlich anbohren müssen. Dies wurde jedoch bisher unterlassen, da eine derartige Bohrung eine Schwächung des stark belasteten Bauelementes bedeutet.

Im Bereich unterhalb von 160 Hz stimmen die Kurven b) und c) recht gut überein. Hierzu ist anzumerken, daß die Standard-Abweichung für beide Meßverfahren bei der relativ geringen Anzahl der bisher zur Verfügung stehenden Auswertungen noch etwa 5 dB beträgt. Die Mittelwertkurven unterscheiden sich hier jedoch nur um 1 bis 2,5 dB.

Für die Beurteilung im bauakustischen Sinne ist neben der Festlegung des Kurvenverlaufes in bezug auf die zulässige Pegelhöhe auch wichtig, in welchem Frequenzbereich die Auswertung vorgenommen werden soll. Im Bild 7 ist als Kurve a) das Ergebnis einer Messung mit dem Kugelfallautomaten auf einem Kegelbahnestrich dargestellt. Einschließlich der A-Bewertung ergibt sich ein Kurvenverlauf gemäß b). Demnach leisten die drei Terzen von 25 bis 40 Hz im Verhältnis zu den übrigen einen relativ geringen Beitrag zum A-bewerteten Gesamtpegel. Man könnte also gegebenenfalls eine bauakustische Bewertung bei 50 Hz und damit eine Oktave niedriger als bei den Trittschallmessungen mit dem NHW beginnen. Entsprechend wäre es wegen des starken Kurvenabfalls bei den hohen Frequenzen möglich, die obere Bewertungsgrenze von 3 150 Hz auf 1 600 Hz herabzusetzen, so daß dann wie bisher 16 Terzen ausgewertet werden. Die Gesamtwerte zu den Kurven a) und b) lauten: 36 dB (A), 51 dB (B), 62 dB (C) und 65 dB.

Die Kurve c) stellt das Meßergebnis an der gleichen Bahn, jetzt jedoch im fertigen Zustand mit einer Anregung auf dem Panzerlinoleum des Anwurfbereiches dar. Bei dieser Messung waren lediglich die fünf untersten Terzen von 25 Hz bis 63 Hz auswertbar, während die aller höheren Frequenzen durch das Fremdgeräusch verdeckt wurden. Die Summenpegel dieser fünf Terzen lauten: 18 dB (A), 37 dB (B), 50 dB (C) und 53 dB. Bei der oben angedeuteten Begrenzung des Bewertungsbereiches auf 50 Hz als tiefste auszuwertende Frequenz würden hier lediglich zwei Meßwerte vorliegen. Die Ausweitung bis herab zu 25 Hz ermöglicht dagegen die Verwendung aller Meßergebnisse. Dieser Bewertungsbereich scheint insbesondere wegen der großen Differenzen zwischen den A-, B- und C-bewerteten Gesamtpegeln sinnvoll. Mit Rücksicht auf die Kurvenverläufe gemäß Bild 6 könnte man den Meßbereich bei den hohen Frequenzen z. B. auf 800 Hz begrenzen, so daß wiederum 16 auszuwertende Terzen verbleiben.

Eine Auswertung der Messung a) aus Bild 7 mit der Bezugskurve c) aus Bild 6 würde in bezug auf den gesamten Meßbereich bis herab zu 25 Hz auf ein Kugelfallschutzmaß KSM = 31 dB führen. Begrenzt man den Bewertungsbereich jedoch nach unten auf 50 Hz, so ergibt sich das Kugelfallschutzmaß KSM = 40 dB, da die hohen Pegelanteile noch tieferer Frequenzen unberücksichtigt bleiben. Interessant war hierzu die Beobachtung bei der Messung an der fertigen Bahn gemäß Bild 7, Kurve c), die gegenüber der Kurve a) im Mittel um 12,5 dB verschoben ist. In diesem Zustand waren die Schläge des Kugelfallautomaten zwar meßtechnisch zu erfassen, aber nicht zu hören. Im Vergleich mit d) wird die Hörschwelle unterschritten. Hieraus könnte man wiederum den Hinweis ableiten, daß eine Begrenzung des auszuwertenden Frequenzbereiches nach unten auf 50 Hz zulässig wäre.

## 6 Erfahrungen aus der Meßpraxis

Oben wurde bereits beschrieben, daß bei der Verwendung des Echtzeitanalysators der auswertbare Frequenzbereich beim Kugelfall von Hand teilweise auf ca. 1 000 Hz und bei Anregung mit dem KFA auf ca. 630 Hz begrenzt ist. Betrachtet man die Kurvenverläufe b) und c) der Bilder 2 oder 6, so zeigt sich, daß bei diesen Frequenzen der Schallpegel etwa 20 dB unter den Maximalwerten liegt, die üblicherweise zwischen 40 und 200 bzw. 400 Hz, je nach Art der Anregung, auftreten. Man kann diese Einschränkung im Hinblick auf die zu untersuchenden Meßobjekte wohl in Kauf nehmen, da bei Kegelbahnen auftretende Poltergeräusche oder auch die Anregungen von Maschinenfundamenten üblicherweise im tieffrequenten Bereich entstehen. Eine Begrenzung des Auswertebereiches für die Berechnung einer Einzahl-Angabe auf 800 Hz, wie sie oben angedeutet wurde, würde somit auch dem meßtechnischen und zeitlichen Aufwand entgegenkommen.

Wie bereits beschrieben, wird im Entwurf der VDI-Richtlinie 3726 [4] die Messung am fertiggestellten Bahnestrich vor Einbau der eigentlichen Kegelbahn vorgeschlagen. Es ist jedoch kein Hinweis auf das dann nachzuweisende Trittschallschutzmaß enthalten. In Anbetracht möglicher Verbesserungen durch die Rollbohle um etwa 10 bis 12 dB, bei geeigneter Auflagerung auch bis 15 dB, wäre für den Bahnestrich ein Tritt- oder Kugelfallschutzmaß von etwa 35 bis 40 dB nachzuweisen. Dabei ist es in jedem Fall sinnvoll, unabhängig von der unteren Grenzfrequenz des Bewertungsbereiches bei derartigen Messungen auch die tiefen Frequenzen bis herab zu 25 Hz zu erfassen, um später bei der Nachmessung an der fertiggestellten Kegelbahn aufgrund der Parallelverschiebung der beiden Kurven auf das dann vorhandene Trittschallschutzmaß zu schließen. Eine vollständige Auswertung für die im fertigen Zustand erhaltenen wenigen Meßfrequenzen ist im allgemeinen nicht mehr möglich. Gemäß Kurve a) im Bild 7 wurde ein Kugelfallschutzmaß KSM = 40 dB errechnet. Aus der Parallelverschiebung der Mes-

sung an der fertigen Bahn von im Mittel 12,5 dB wäre dann ein Kugelfallschutzmaß KSM = 52 dB abzuleiten, ohne daß dieses vollständig nachweisbar ist.

Für ein aussagekräftiges Endergebnis muß die Anregung der Bahn an mindestens 4 bis 6 Punkten im Nahbereich des Empfangsraumes erfolgen. Dies bedeutet bei serieller Filterung einen erheblichen Zeitbedarf, da wegen der tiefen Frequenzen auch über relativ lange Zeiträume beobachtet und räumlich gemittelt werden muß. Wenn dann am Bau Störgeräusche von Handwerkern oder vom Straßenverkehr auftreten, muß wegen des Haltens von Maximalpegeln die jeweils laufende Messung wiederholt werden, was noch zusätzlich Zeit erfordert. Aus diesem Grunde erscheint es sinnvoll, derartige Überprüfungen nach Möglichkeit mit einem Echtzeitanalysator vorzunehmen, auch wenn hierdurch die oben beschriebene Einschränkung des oberen Frequenzbereiches eintritt. Sie ist für die Auswertung nicht kritisch.

## 7 Vergleich der Ergebnisse mit NHW-Messungen

Bei der Festlegung einer Bezugskurve für die Messungen mit Kugelfall von Hand oder mit dem KFA muß gewährleistet sein, daß die daraus erhaltenen Einzahl-Angaben dem Trittschallschutzmaß bei einer Messung mit dem NHW ausreichend genau vergleichbar sind. Es wurden deshalb einige der neueren Messungen mit der zugehörigen Bezugskurve bewertet. Die Differenzen zwischen den Ergebnissen des Trittschallschutzmaßes TSM einerseits und des Kugelfallschutzmaßes KSM andererseits entsprechen beim jeweils gleichen Untersuchungsobjekt den Standardabweichungen der Bezugskurve KSM = 0 dB gegenüber der Kurve TSM = 0 dB. Demnach wären beide Meßverfahren als gleichwertig anzusehen.

In der Tabelle 1 sind die Meßverfahren mit dem NHW und dem freien Kugelfall in bezug auf die Aufnahme der Schallpegel mit den verschiedenen beschriebenen Apparaturen einander gegenübergestellt. Die dort genannten Einstellungen haben sich für den gegenseitigen Vergleich der Meßwerte beider Apparaturen als günstig herausgestellt. Die Tabelle 2 enthält die der DIN 52210, Teil 4, Tabelle 3, entsprechenden Werte der Bezugskurven aus Bild 6. Dabei ist zu beachten, daß diese Werte entgegen der bis vor kurzem noch üblichen Meßmethode für die Aufnahme in Terzen gelten. Bei der Anwendung von Halboktaven müßten sie um 5 dB nach oben verschoben werden. Für Halboktaven sind aber die Echtzeitanalysatoren nicht einsetzbar.

Bei den normgerechten Trittschallmessungen ist die Nachhallkorrektur 10 lg $(A/A_0)$ zu berücksichtigen. Sie müßte bei Güteprüfungen am Bau zum Nachweis des erzielten Trittschallschutzes mit dem KFA ebenfalls eingerechnet werden. Bei den hier beschriebenen Untersuchungen wurde diese Nachhallkorrektur vernachlässigt, weil sie sich auf die Differenz zwischen den jeweiligen Meßergebnissen bei unterschiedlichen Sendeapparaturen aber gleicher Empfangsapparatur nicht auswirkt. Man muß bei diesen Messungen darüber hinaus berücksichtigen, daß im Bereich tiefer Frequenzen, wie sie für den Schallschutz von Kegelbahnen auszuwerten sind, in kleinen Empfangsräumen am Bau möglicherweise die Eigenfrequenzen nicht mehr genügend dicht liegen. Eine sinnvolle Nachhallkorrektur ist dann nicht möglich. Hier sind weitere Überlegungen dahingehend erforderlich, wie man eine normgerechte Beurteilung für die am Bau vorgefundene Situation in Wohnräumen bei Güteprüfungen, speziell bei solchen in Angrenzung an Kegelbahnen oder Technikzentralen, schaffen kann. Gegebenenfalls müßte man, ähnlich wie in der DIN 52219 [8] vorgesehen, auf eine Nachhallkorrektur vollständig verzichten.

Durch die bei den vorliegenden Untersuchungen angewendete Auswertung der Maximalpegel ergibt sich gegenüber den energetischen Mittelwerten eine gewisse Verschärfung. Die zusätzliche Vernachlässigung einer halligen Situation am Rohbau würde rechnerisch zu einer nochmaligen Pegelanhebung führen und damit einer Erhöhung der Sollwerte entsprechen. Für die späteren Wohnungsnutzer wäre diese sicher von Vorteil, jedoch ergibt sich hieraus naturgemäß ein erhöhter baulicher Aufwand. In diesem Sinne muß die Diskussion der Meßergebnisse noch fortgeführt werden.

## 8 Zusammenfassung

Für den Nachweis von Trittschallschutzmaßen TSM $\geqq$ 35 dB erscheint die Verwendung des Norm-Hammerwerkes wegen des in Wohnräumen häufig vorhandenen Fremdgeräuschpegels von 35 dB (A) am Tage fraglich. Noch ungünstiger ist der Nachweis im Zuge der Bauabnahme. Es wird deshalb vorgeschlagen, zur Überprüfung von Kegelbahnen und hochwertigen Flächenfundamenten unter Maschinen eine – zumindest für Kegelbahnen – praxisgerechte Kugelfallmethode zu normen. Dabei wäre sowohl die Art der Anregung als auch die der Messung festzulegen. Aufbauend auf Kugelfallversuchen, die bei Verwendung einer Bowlingkugel im freien Fall nur geringen zusätzlichen gerätetechnischen Meßaufwand bedeuten, wurde ein dem Norm-Hammerwerk ähnlicher Kugelfallautomat entwickelt. Sein Einsatz ist jedoch bei beengten Platzverhältnissen nicht immer möglich, so daß dann auf das Ausgangsverfahren mit dem freien Kugelfall von Hand zurückgegriffen werden muß.

In bezug auf die erforderliche Meßzeit ist der Einsatz von Echtzeitanalysatoren vorteilhaft. Durch den Dynamikbereich werden wegen der sehr steil abfallenden Kurvenverläufe die auswertbaren Frequenzen auf unter 1000 Hz begrenzt. Diese Begrenzung ist jedoch für die Gesamtaussage nicht kritisch.

Aufbauend auf Vergleichsmessungen mit dem Norm-Hammerwerk, der frei fallenden Kugel und dem Kugelfallautomaten, jeweils am gleichen Prüfobjekt, wurden neue Bewertungskurven abgeleitet. Diese ermöglichen eine zahlenmäßige Übereinstimmung mit dem für das Norm-Hammerwerk zu errechnenden Trittschallschutzmaß. Aufgrund der höheren erzeugten Körperschallenergien im tieffrequenten Bereich ist jedoch ein Nachweis bis zu einem Kugelfallschutzmaß von etwa KSM = 50 dB unter baupraktischen Bedingungen möglich.

**Literatur:**


[1] DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau", Blatt 2 „Anforderungen", Ausgabe September 1962.

[2] DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau", Teil 5 „Schallschutz gegenüber Geräuschen aus haustechnischen Anlagen und Betrieben; Anforderungen und Nachweise; Hinweise für Planung und Ausführung", 1. Entwurf Ausgabe Februar 1979.

[3] DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau", Teil 5 „Schallschutz gegenüber Geräuschen aus haustechnischen Anlagen und Betrieben; Anforderungen, Nachweise und Hinweise für Planung und Ausführung", 2. Entwurf Ausgabe Oktober 1984.

[4] VDI-Richtlinie 3726 „Schallschutz bei Gaststätten und Kegelbahnen", Entwurf Ausgabe November 1981.

[5] DIN 52210 „Bauakustische Prüfungen, Luft- und Trittschalldämmung", Teil 4 ‚Ermittlung von Einzahl-Angaben', Ausgabe Juli 1975 bzw. August 1984.

[6] *Taubert, O.* und *Ruhe, C.*: „Körperschalldämmung in Kegelbahnen". In: Fortschritte der Akustik, VDE-Verlag, Berlin 1980, 355–358.

[7] *Zimmermann, H.*: „Körperschallentkoppelung mit Flächendämmstoffen", Bericht des Instituts für Bauphysik, Horst R. Grün im Auftrag der Firma Weiss-Elasticwerk, 1978.

[8] DIN 52219 „Messung von Geräuschen der Trinkwasser- und Abwasserinstallationen in Gebäuden", Entwurf Ausgabe August 1983.