

## Gehschall: Hammerwerk mit leisem Antrieb

Rudolf Bütikofer

*Empa, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Abteilung Akustik,  
CH - 8600 Dübendorf, Schweiz, E-Mail: Rudolf.Buetikofer@empa.ch*

### Weshalb ein Gehschall-Hammerwerk?

Unter Gehschall versteht man die Geräusche, die in einem Raum durch das Begehen von Bodenbelägen erzeugt werden, wobei sich die belästigte Person im selben Raum befindet. Bei der Quantifizierung des Gehschalls von verschiedenen Bodenbelägen wird sinnvollerweise von der realen Situation der Gehschallerzeugung durch Schritte von Personen ausgegangen.

Ein kurzer Seitenblick zum Trittschall zeigt gemeinsame Probleme von Hammerwerken für Tritt- und Gehschall auf. In beiden Fällen geht es bei den Messungen nicht im eigentlichen Sinne um die Bestimmung der schalltechnischen Eigenschaften einer Decke bzw. eines Bodenbelags, sondern um die Gesamtwirkung unter zusätzlicher Berücksichtigung der Ankopplungsverhältnisse der Anregungsquelle. So verändert z.B. ein Teppich auf einem Betonboden die Schallübertragung des Betonbodens an sich nur unwesentlich, aber der Teppich sorgt dafür, dass die vom Normhammerwerk erzeugte Kraftanregung stark abgeschwächt wird.

Weil sowohl beim Trittschall wie auch bei Gehschall nach der *Wirkung* gefragt wird (resultierendes Schallpegelspektrum als Absolutwert) ist die Leistungseinspeisung auf der Anregungsseite von zentraler Bedeutung. Neben der Quellenstärke („wie stark wird geschlagen“) hängt diese Leistungseinspeisung ganz zentral vom Verhältnis ab zwischen der Quellenimpedanz, d.h. der Art des Hammers, und der Eingangsimpedanz des Bodens.

Diese Frage der impedanzabhängigen Anregung ist beim Gehschall von so zentraler Bedeutung, dass hier noch ein weiteres Beispiel erwähnt sei: Ein Gong tönt sehr unterschiedlich, je nachdem, ob er mit einem Filzklöppel oder mit einem Stahlhammer angeschlagen wird. Der Gong ist in beiden Fällen der selbe, aber die Quellenimpedanz ist unterschiedlich und sicher auch die Wahrnehmung.

Beim Gehschall verhält es sich ähnlich wie beim Gong. Das Normhammerwerk erwies sich als nicht repräsentativ für die Begehung. Auf Grund langjähriger Erfahrungen wurde deshalb zur Objektivierung ein künstlicher Schuh festgelegt, der aus einer Masse von 200 Gramm und einer Spitze besteht, welche die Wirkung der Schuhsole berücksichtigt. [1], [2], [3].

Analog zum Trittschall erfolgt auch beim Gehschall die Schallerzeugung durch den Aufprall des „künstlichen Schuhs“ mit genau definierter Geschwindigkeit von hier 0.5 m/s. Diese ergibt sich aus einem freien Fall von 12.7 mm Höhe. Die bisherigen Gehschallmessungen verwendeten den „künstlichen Schuh“ in Form eines instrumentierten Impulshammers, wo gleichzeitig das Kraftspektrum des Schlags gemessen wurde und zur Skalierung weiter-

verwendet wurde. Mit dem hier erstmalig präsentierten Gehschall-Hammerwerk reduziert sich der Messaufwand auf die Messung des Terzbandspektrums.

### Die Anforderungen an das Hammerwerk

- Die Mechanik arbeitet sehr leise beim Fall- Hebezyklus und ist geräuschfrei in den Wartezeiten zwischen Schlägen.
- Es wird nur ein Schlagsystem verwendet.
- Die 200 gr Masse fällt im freien Fall (d.h. ohne Reibung durch mechanische Führungen) 12.7 mm tief, was einer Auftreffgeschwindigkeit von 0.5 m/s entspricht.
- Nach dem Rückprall wird die Masse aufgefangen und wieder in die Ausgangsposition gebracht.
- Die Masse ist während dem Schlag auf den Boden dynamisch entkoppelt vom Antrieb, d.h. als Quellenimpedanz wirkt nur die Masse von 200 gr mit der Hammerspitze von 1.3 MN/m.
- Die Schallausbreitung vom Ort des Schlags darf nicht durch ein Gehäuse beeinträchtigt (abgeschirmt) werden.
- Die Schlagfrequenz ist konstant, z.B. 2 Hz.
- Das Hammerwerk stützt sich auf Füße ab, die mindestens 25 cm vom Schlagzentrum entfernt sind.
- Der Hammer hat nur Eigenfrequenzen oberhalb 5 kHz, so dass die Stossanregung beim Hammer keine Eigengeräusche ("Klingen") erzeugt.

### Die Realisierung

Als Hebemechanismus für den „künstlichen Schuh“, d.h. die 200 Gramm schwere Masse mit der Kunststoffspitze, wird aus dem Produkteprogramm "LinMot" von der Firma NTI AG der elektrische Linearmotor P01-23x80/30x90 mit dem Läufer PL01-12x170/120 und die Steuereinheit B1100-GP verwendet (Siehe [www.linmot.ch](http://www.linmot.ch) und Abb. 1).



**Abbildung 1:** Schematischer Aufbau des Linearmotors (Foto LinMot.ch)

Diese Produkte werden in der industriellen Automation weltweit in grossen Stückzahlen eingesetzt. Entsprechend gibt es auch ausgereifte Software zur einfachen Programmierung und Überprüfung der Bewegungsabläufe. Die Steuereinheit kennt die Läuferposition auf 1/100 mm

genau und setzt die Vorgaben für die Bewegungen entsprechend den Randbedingungen von maximal verfügbarem Motorstrom und dem gewählten PID-Reglerverhalten um und kompensiert das Gewicht des Hammers und die Reibung des Läufers. Somit kann mit einfachen Befehlen ein genau gesteuerter Hub ausgeführt werden mit definierter Beschleunigung, maximaler Geschwindigkeit und Verzögerung. Der Linearmotor arbeitet sehr leise. Der Motor hat folgende Aufgaben:

- Er hält die Masse 12.7 mm über dem Testboden
- Der Aufhängung für die Masse weicht mit  $30 \text{ m/s}^2$  nach unten weg, so dass die Masse frei fällt.
- Kurz nach dem Aufprall der Masse wird diese wieder in die Ausgangsposition angehoben und es wird auf den Beginn eines neuen Zyklus gewartet.

Die 200 g schwere Masse wird durch den Aufprall zu Schwingungen angeregt. Dank den kleinen Abmessungen des Stahlzylinders von 23 mm Durchmesser und 52 mm Länge liegen die Eigenschwingungen aber oberhalb des Messbereichs, so dass hier kein Störgeräusch auftritt.

Die reibungsfreie "Ein-Weg-Kupplung" (nur nach oben ziehen, aber nicht nach unten stossen) wurde beim vorliegenden Prototypen durch drei Seile realisiert (Abb. 2)



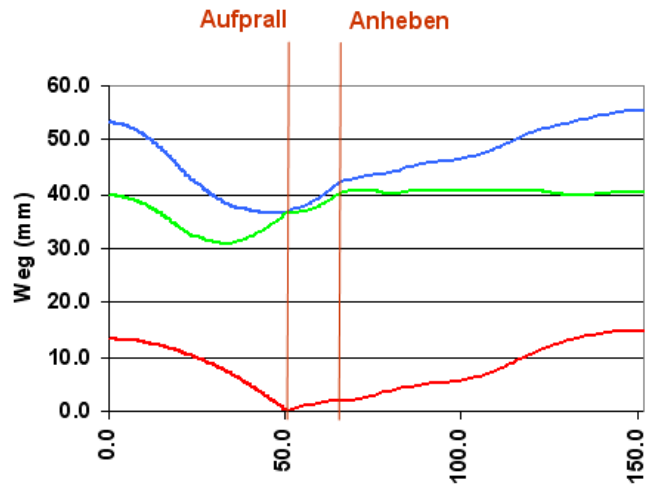
**Abbildung 2:**  
Der "künstliche Schuh" (Masse mit Schlagkopf) wird durch 3 Seile angehoben

Um beim Motor die Reaktionskräfte von den ruckartigen Bewegungen abzufangen und diese nicht auf das Stativ weiterzuleiten, ist der Motor über elastische Elemente an einer 5 kg schweren "Beruhigungs"-Masse befestigt, die ihrerseits an einem 3-Bein-Stativ aufgehängt ist. Abb. 3 zeigt die ganze Einheit.



**Abbildung 3:** Das komplette Gehschall-Hammerwerk (Beschreibung siehe Text). Links vorne der Controller (Blechgehäuse) mit den darüber gelegten Netzgeräten für Logik (24V) und Motor (48V). Ganz unten links der Steuerschalter.

Die Steuerung erfolgt über den 3-Stufen-Schalter: "kontinuierlicher Betrieb"/"aus"/"Kalibration". Bei der Kalibration senkt sich die Masse um 12.7 mm ab. Das Stativ wird so justiert, dass die Spitze gerade die Boden-Oberfläche berührt. Beim kontinuierlichen Betrieb erfolgt alle 0.5 s ein Schlag. Abb. 4 zeigt den Zyklus eines Schlags.



**Abbildung 4:** Wegdiagramme: **rot:** Der Hammer fällt frei herunter, prallt nach 51 ms auf, prellt etwas hoch und wird bei ca. 65 ms wieder angehoben. **blau:** Bewegung des Linearmotors bei einer Seillänge von 40 mm. **grün:** Abstand zwischen Hammer und Antrieb: 40 mm = Seil gespannt, weniger als 40 mm = Seil lose (Masse entkoppelt)

## Ergebnisse

Das Hammerwerk läuft mit 2 Schlägen/Sekunde. (Es sind auch mehr Schläge möglich, aber die Masse braucht nach dem Anheben eine Ruhepause um auszupendeln). Die  $L_{AFmax}$ -Pegel in 1 m Abstand sind ohne Aufschlagen um 32 dB, beim Betrieb auf dem Referenzlaminatboden um 72 dB, d.h. das Ziel eines leisen Antriebs wurde mit rund 40dB Signal-Rauschabstand voll erreicht. Das erzeugte Spektrum ist identisch zum Spektrum des gleich ausgerüsteten Impulshammers und zu den Referenzmessungen von realen Begehungen.

Durch die Verwendung eines industriellen High-Tech Linearmotors anstelle der traditionellen Nockenscheiben-(Klapper-) Mechanik steht ein sehr einfach zu realisierendes, leises und relativ kostengünstiges Hammerwerk zu Verfügung, das einfach durchzuführende und gut reproduzierbare Messungen für Gehschall erlaubt.

## Literatur

- [1] R. Bütikofer, New Acoustic Test Procedure for Hard FloorCovering Systems with Soft Underlay, Acta Acoustica united with Acoustica, 96 (2010)
- [2] R. Bütikofer, Neue Messmethode für Gehschall, DAGA 2010, Berlin
- [3] R. Bütikofer, Gehschall: Das Hammerwerk kann den Schuh nicht nachbilden, DAGA 2008, Dresden.