

Messung und Beurteilung von sekundärem Luftschall des Eisenbahnverkehrs

Manfred T. Kalivoda, Martin Jaksch
psia-Consult GmbH, Wien; Email: office@psia.at

1. Einleitung

Die Planungspraxis zeigt, dass es sich bei dem, was von den Anrainern als Erschütterung bezeichnet wird, oft nicht wirklich um Erschütterungen im eigentlichen Sinne handelt, d.h. durch den Tastsinn wahrgenommene tieffrequente Vibrationen unter 20 Hz, sondern vielmehr um sekundären Luftschall, also tieffrequenten Schall im Hörbereich (20 Hz bis 100 Hz), der von Wänden und Decken abgestrahlt und somit über das Gehör wahrgenommen wird.

Im Rahmen des Arbeitskreises lärm- und erschütterungsarmer Oberbau (LEO) hat sich das Arbeitspaket 3a mit der Messung und Bewertung von sekundärem Luftschall beschäftigt. Ziel der Messungen im Rahmen von LEO war es,

- existierende Methoden zur Ermittlung von Kennwerten für den sekundären Luftschall zu überprüfen, inwiefern sie empfindungsadäquat sind,
- unterschiedliche Methoden zur Messung von sekundärem Luftschall im Raum hinsichtlich Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu bewerten sowie
- ein Verfahren für die Abschätzung des sekundären Luftschalls aus den Bauteilschwingungen zu entwickeln.

Um dieses Ziel zu erreichen war es erforderlich, die Einflussparameter möglichst gut zu kontrollieren und eine Situation für die Messung vorzufinden mit,

- bekannter Bauwerksstruktur und -charakteristik;
- keine schwingungsdämmenden Maßnahmen, damit sich hohe Pegel im Messraum zu einstellen;
- möglichst gleichmäßiger Zugverkehr mit möglichst homogenem Wagenmaterial;
- Triggerung der Messung über einen Schienenkontakt.

2. Messung

2.1 Situation

Als idealer Messort für die Erreichung dieses Zieles hat sich ein Wohngebäude in Zürich angeboten, das vor etwa 10 Jahren über einer S-Bahnstrecke errichtet worden ist, dessen Konstruktion und dabei eingesetzten Materialien bekannt sind und dessen Bewohner sich in den letzten Jahren bereits mehrmals über sekundäre Luftschallbelastung beschwert haben.

2.2 Messmethode

Im Oktober 2001 wurden in zwei verschiedenen Wohnungen dieses Gebäudes mehrere Messserien durchgeführt, bei denen unterschiedliche Messkonfigurationen erprobt wurden, was Normen, Richtlinien und Richtlinienentwürfen betrifft:

- Mikrofonpositionen gemäß ÖNORM S 5100 [2]
- Mikrofonpositionen gemäß ÖNORM S 9012 [3]
- Mikrofone entlang Raumdiagonale (Vorschlag BUWAL) [7]
- Mikrofone in den Raumecken (Vorschlag RUIING) [6]

Die Zugvorbeifahrten wurden digital auf einem Mehrkanal-DAT-Rekorder aufgezeichnet, und zwar folgende Signale:

- 2 Bauteilschwingungskanäle (Schnellepegel von Wand und Decke),
- 4 – 6 Mikrofonkanäle, wobei ein Mikrofon als Referenzmikrofon eine feste Position im Raum hatte,
- 2 Triggerkanäle (je einer pro Gleis) der Induktiven Radsensoren.

3. Ergebnisse

3.1 Beurteilungskriterium

Von den Luftschallmessdaten aller Mikrofonpositionen wurden im ersten Auswerteschritt für jede Vorbeifahrt der A-bewertete Maximalpegel mit Zeitbewertung „fast“ $LA_{max,slow}$, der A-bewertete Mittelungspegel LA_{eq} sowie die Lautheit N nach Zwicker ermittelt. Abbildung 1 zeigt den exponentiellen Zusammenhang zwischen $LA_{max,slow}$ und N . Es sind alle Messkonfigurationen in beiden Wohnungen zusammengefasst.

Klar ist zu erkennen, dass sich bei einer Erhöhung des Schallpegels um 10 dB(A) die Lautheit N etwa verdoppelt. Damit erscheint die Verwendung des A-bewerteten Schalldruckpegels für die Beurteilung von sekundärem Luftschall unterschiedlicher Bahnanlagen empfindungsadäquat gerechtfertigt.

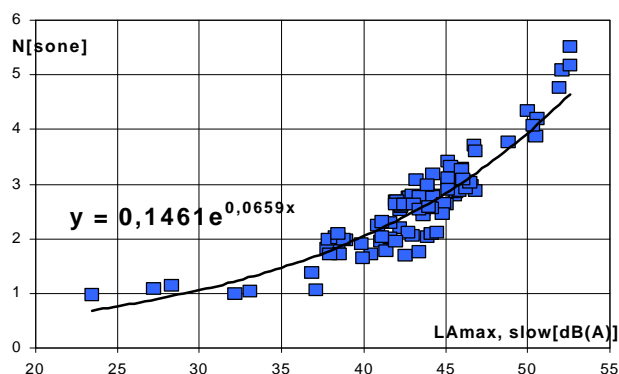


Abbildung 1: Lautheit N vs. $LA_{max,slow}$

In der nächsten Analyse wurde der Zusammenhang zwischen $LA_{max,slow}$ und LA_{eq} untersucht. Während generell der A-bewertete Dauerschallpegel als Beurteilungskriterium für Lärmbelastung verwendet wird, verwendet die ÖNORM S 9012 den A-bewerteten Maximalpegel mit der Zeitbewertung „slow“. Es hat sich gezeigt, dass der A-bewertete Maximalpegel $LA_{max,slow}$, gemittelt über alle Messpositionen und Vorbeifahrten um 3 bis 5 dB(A) über dem A-bewerteten Dauerschallpegel LA_{eq} liegt, wobei die einzelnen Ergebnisse um bis zu ± 3 dB streuen können.

3.2 Messkonfiguration

In Folge wurden nun für jede Messmethode die gemessenen Pegelwerte einer linearen Regression unterzogen, bezogen auf das Referenzmikrofon M5. Sofern nicht anders angegeben, handelt es sich bei den dargestellten Pegeln um den A-bewerteten Dauerschallpegel einer Zugvorbeifahrt, wobei für die Wahl des Zeitfensters das Triggersignal des Radsensors verwendet wurde. Die Methode nach ÖNORM S 5100 liefert sehr einheitliche Resultate, die Regressionswerte aller Messpositionen liegen sehr nahe, d.h. etwa in ± 1 dB(A) Abstand um die 45°-Hauptdiagonale. Ähnliche Ergeb-

nisse liefern die Punkte gem. ÖNORM S 9012, die ebenfalls zufällig im Raum verteilt sind, jedoch an Positionen, wo sich „Personen vorwiegend aufhalten“ und in einem größeren Abstand zu den Begrenzungsflächen (>1 m) als bei der ÖNORM S 5100 (>0,5 m).

Eine Anordnung der Messpunkte entlang der Raumdiagonale, wie es der BUWAL-Vorschlag vorsieht, führt zu etwas größeren Abweichungen (+2 dB, -1 dB) der einzelnen Messpunkte von der 45°-Hauptdiagonale und tendenziell zu etwa um 1 dB(A) höheren Ergebnissen als die ÖNORMen. Die Anordnung der Mikrofone in den Raumecken, wie es der RUIING-Vorschlag vorsieht, liefert in sich sehr einheitliche Resultate, d.h. die Unterschiede zwischen den einzelnen Messpunkten in den Raumecken betragen nur etwa ± 0,7 dB(A), die gemessenen Pegel liegen aber um etwa 7 bis 8 dB(A) über den Werten gem. ÖNORMen bzw. BUWAL-Methode.

3.3 Rechnerische Abschätzung des Sekundären Luftschalls aus den Bauteilvibrationen

Ziel der weiterführenden Auswertung der gewonnen Geräusch- und Schwingungsdaten war es, ausgehend von den Vibrationen der Bauteile L_v einen einfachen empirischen Zusammenhang zum Terzpegelspektrum im Raum $L_p(f)$ und in der Folge zu einem (A-bewerteten) Beurteilungspegel $L_{B,A}$ zu finden. Aus dem in Deckenmitte gemessenen linearen Schnellepegel ($L_{v,eq}$ [dB(re 1mm/s)]) kann mit Hilfe der Werte aus Tabelle 1 der energieäquivalente Dauerschallpegel L_{eq} [dB] des jeweiligen Terzbandes f in der Raumecke errechnet werden.

$$L_{eq}(f) = k(f) * L_{v,eq}(f) + d(f)$$

Damit steht ein vereinfachtes, die ÖNORMen ergänzendes Verfahren zur Prognose des sekundären Luftschalls aus den Vibrationen der Decke zur Verfügung.

Hz	k	d
20	0,91	94
25	0,565	82
31,5	0,621	75,5
40	0,744	83,6
50	0,75	89,7
63	0,715	84,8
80	0,809	93,6
100	0,903	97,7

Tabelle 1: k- und d-Werte

4. Beurteilung

Anhand der Messdaten konnte gezeigt werden, dass ein exponentieller Zusammenhang zwischen $L_{A,max,slow}$ und N besteht. Bei einer Erhöhung des Schalldruckpegels um 10 dB(A) verdoppelt sich die Lautheit N . Somit gibt der A-bewertete Schalldruckpegel die Wahrnehmung von sekundärem Luftschall unterschiedlicher Bahnanlagen empfindungsadäquat wieder.

Der A-bewertete Maximalpegel mit Zeitbewertung „slow“ einer Zugvorbeifahrt liegt, wie zu erwarten war, über dem A-bewerteten Dauerschallpegel. Die Größenordnung des Unterschiedes zwischen den beiden Kriterien liegt bei 3 bis 5 dB. Der Vorteil des A-bewerteten Maximalpegels liegt in seiner einfacheren Ermittlung, da sich die Frage des repräsentativen Zeitfensters, das auf die Höhe eines gemittelten Pegel einen Einfluss hat, beim Maximalpegel nicht stellt.

Die ÖNORM-Methode mit zufällig im Raum angeordneten Mikrofonen und die RUIING-Methode mit den Mikrofonen in den Raumecken liefern jeweils Ergebnisse mit geringen Streuungen zwischen den einzelnen Messpunkten und sind daher von der Messqualität als gleichwertig anzusehen. Der Vorteil der RUIING-Methode liegt darin, dass sie eindeutig definierte und damit leicht reproduzierbare Positionen verwendet. Eine zufällige Mikrofonanordnung ist dagegen schwerer zu reproduzieren und birgt die Gefahr in sich, dass man in gewissen Konstellationen auch „atypische“ Messpunkte wählt, ohne es zu merken.

Dass es „atypische“ Messpunkte gibt, zeigt die BUWAL-Methode mit in der Raumdiagonale zufällig angeordneten Messmikrofonen. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Messpositionen sind hier mit etwa 3 dB deutlich größer als bei der ÖNORM- und RUIING-Methode.

Der wesentliche Unterschied zwischen der ÖNORM- und RUIING-Methode liegt darin, dass letztere um 7 bis 8 dB höhere Messwerte liefert als die ÖNORM-Methode und dass die Positionen in den Raumecken nicht gerade typisch und repräsentativ für den Aufenthalt von Menschen in den zu beurteilenden Räumen sind. Aber wie bereits erläutert, liegt der Vorteil der Messpunkte in den Raumecken an der besseren Reproduzierbarkeit der Positionen gegenüber einer zufälligen Mikrofonanordnung.

Das in 3.3 beschriebene Verfahren ermöglicht schließlich die grundlegende, ingenieurmäßige Abschätzung des sekundären Luftschalls aus dem Körperschall.

5. Referenzen

- [1] DIN 4150/2: Erschütterungen im Bauwesen – Teil 2 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden.
- [2] ÖNorm S 5100 Teil 1: Bauakustische Messungen, Messung des Luftschallschutzes in Gebäuden. Wien 1984.
- [3] ÖNorm S 9012: Beurteilung der Einwirkung von Schienenverkehrs – Immissionen auf den Menschen in Gebäuden. Schwingungen und sekundärer Luftschall. Wien 1996.
- [4] KALIVODA M.T. et al.: Verfahren zur Beurteilung von sekundärem Luftschall von Schienenstrecken. Untersuchungsbericht; im Rahmen des Forschungsprojektes Lärm- und Erschütterungsarmer Oberbau, LEO AG 3a, Wien 2002.
- [5] KALIVODA M. T., STEINER W (Hrsg): Taschenbuch der Angewandten Psychoakustik. Springer Verlag, Wien, New York, 1998.
- [6] RUTISHAUSER G.: Lainzer Tunnel, Erschütterungsschutz. Vergleich von Beurteilungsverfahren für Erschütterungen und Körperschall. Untersuchungsbericht Büro Rutishauser, Zürich, 1995.
- [7] Weisung für die Beurteilung von Erschütterungen und Körperschall bei Schienenverkehrsanlagen (BEKS). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Schweiz, 1999.