

Verfahren zur Prognose der Lautheitsimmission des Schienenverkehrs

Manfred T. Kalivoda, Harald Schwaiger, psiA-Kalivoda Consult, A-2380 Perchtoldsdorf, Wiener Gasse 146

1. Einleitung

Die heute gebräuchlichen Verfahren zur Beurteilung von Geräuschimmissionen des Schienenverkehrs basieren auf A-bewerteten Schalldruckpegel und im Speziellen auf dem A-bewerteten energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{A,eq}$. Diese Kriterien sind jedoch bei weitem nicht ausreichend, die Einwirkung und Auswirkungen von Lärm auf den Menschen umfassend zu beschreiben. Diesem Umstand Rechnung tragend enthält das österreichische Umweltverträglichkeitsprüfungs-Gesetz (UVP-G) keine Lärmgrenzwerten, sondern das generelle Postulat, es dürfen keine schädlichen, belästigenden oder belastenden Auswirkungen auf Menschen auftreten. Es war daher notwendig, ein Verfahren zu entwickeln, mit denen man die empfundene Belästigung besser beschreiben kann als bisher.

Aufbauend auf den Erfahrungen und Ergebnissen einer früheren Studie [1] wurde nun im Auftrag der Eisenbahn-Hochleistungsstrecken AG ein Verfahren zur Lautheitsimmissionsprognose entwickelt [2]. Als Kenngröße für die subjektiv wahrgenommene äquivalente Dauerlautheit wurde dabei die in der Literatur ([3]) oftmals beschriebene 5% Perzentillautheit N_5 verwendet. Das hier entwickelte Verfahren beinhaltet als erste Stufe ein auf der DIN 45631 [4] aufbauendes Programm, das aus dem zeitlichen Verlauf des Terzpegelspektrums $L(f,t)$ einer Zugvorbeifahrt den Lautheitsverlauf $N(t)$ berechnet. Im zweiten Schritt wurden Standardlautheitsverteilungen für unterschiedliche Zugkategorien und Geschwindigkeiten erstellt. Daraus können dann über beliebig lange Meßperioden komplette Lautheitsverteilungen synthetisch generiert werden.

Damit steht nun ein „ingenieurmäßiges“ Verfahren zur Verfügung, mit dem die subjektiv wahrgenommene äquivalente Dauerlautheit N_5 prognostiziert werden kann.

2. Das Lautheitsprognosemodell

Das entwickelte Prognosemodell für die 5% Perzentillautheit N_5 ermöglicht es, einerseits von Messungen an einem bekannten Immissionspunkt auf eine künftige Situation mit geänderter Zugfolge zu schließen, und andererseits mit Hilfe der für unterschiedliche Zugkategorien erstellten Standardlautheitsverteilungen, ohne Messung die Lautheit an einem Immissionspunkt zu ermitteln. Eine Einschränkung besteht zur Zeit noch hinsichtlich Schall- bzw. Lautheitsausbreitung. Die vorhandenen Schallausbreitungsmodelle für Eisenbahnlärm, welche für Linienschallquellen entwickelt wurden, sind nicht geeignet, die Schallausbreitung für den zeitlichen Verlauf einer Menge bewegter Punktschallquellen zufriedenstellend zu beschreiben. Hierfür ist ein eigenes

Modell nötig, welches im Rahmen dieser Studie jedoch nicht entwickelt wurde.

1. Messung des Immissionsgeräusches an einem bekannten Immissionspunkt
2. Terzanalyse des zeitlichen Pegelverlaufs $L(f_{1/3},t)$
3. Lautheitsverlauf nach DIN 45 631 $N(t) = f\{L(f_{1/3},t)\}$
4. Ermittlung der absoluten Häufigkeitsverteilung der Lautheit je Zugkategorie aus $N(t)$
5. Synthese der Häufigkeitsverteilungen der einzelnen Züge und des Grundgeräusches zur gewünschten Perzentillautheit (N_5) der Gesamtsituation

Abb. 1: Ablauf einer Prognoserechnung basierend auf Schallpegelmessungen

1. Absolute Häufigkeitsverteilung der Lautheit je Zugkategorie aus den Standardemissionsverteilungen
2. Synthese der Häufigkeitsverteilungen der einzelnen Züge und des Grundgeräusches zur gewünschten Perzentillautheit (N_5) der Gesamtsituation

Abb. 2: Ablauf einer Prognoserechnung basierend auf den Standard(lautheits)emissionsverteilungen

3. Berechnung des Lautheitsverlaufes $N(t)$ aus dem zeitlich varianten Terzspektrum mittels DIN 45631

Die Berechnung des Lautheitsverlaufes $N(t)$ aus den zeitlich varianten Terzpegelspektren $L(f_{1/3},t)$ der Meßperioden erfolgte nach DIN 45631. Das dort beschriebene Verfahren gilt exakt nur für stationäre Geräusche und berücksichtigt die zeitliche Nachverdeckung nicht. Die Überprüfung, inwieweit das Verfahren der DIN 45631 trotzdem valide Werte liefert, hat gezeigt, daß der Fehler für ein ingenieurmäßiges Verfahren vernachlässigbar ist.

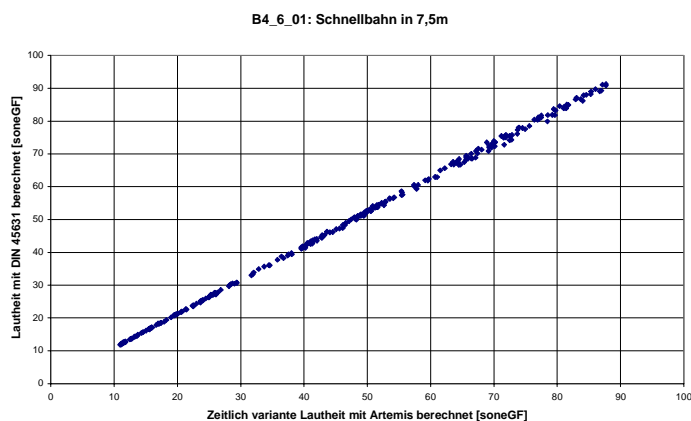


Abb. 3: Korrelation zwischen Lautheit mit Nachverdeckung (x-Achse) und Lautheit nach DIN 45631 aus Terzpegeln berechnet (y-Achse)

4. Die Standardlautheitsverteilungen

Zur Berechnung der Lautheitsverteilungen wurden die linearen Terzpegel für 40 Millisekunden Abschnitte ermittelt und für jeden dieser Abschnitte die Lautheit nach DIN 45631 berechnet. Diese 40-ms-Lautheiten bilden die Grundlage für das Prognosemodell in Form einer Zusammenstellung der absoluten Häufigkeitsverteilungen der Lautheitsverläufe einzelner Zugvorbeifahrten. Dabei wird der Lautheitsverlauf in 7,5 Meter in 1 sone Intervalle von 20 bis 140 sone eingeteilt (Abszisse). Auf der Ordinate wird die Anzahl der in den jeweiligen Intervall fallenden Lautheiten aufgetragen. Verschiedene Zugstypen und Geschwindigkeiten führen dabei zu unterschiedlichen Häufigkeitscharakteristiken. Der im Rahmen der Studie [2] ermittelte Katalog von rund 130 Zugvorbeifahrten stellt einen repräsentativen Querschnitt dar.

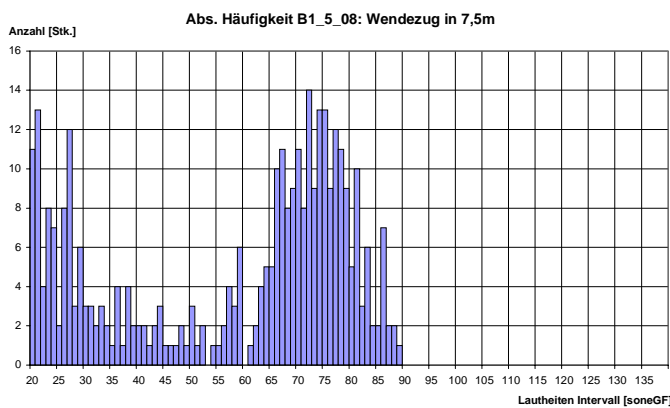


Abb. 4: Lautheitshäufigkeitsverteilungen der Vorbeifahrt eines Personenzuges (Wendezug)

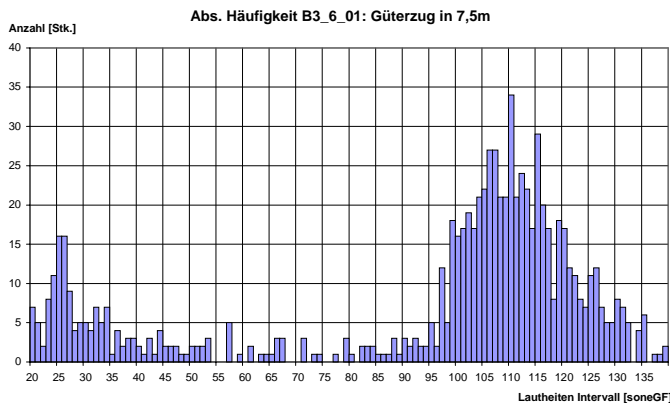


Abb. 5: Lautheitshäufigkeitsverteilungen der Vorbeifahrt eines Güterzugs

5. Synthese der Perzentillautheit N_5

Das Prognoseverfahren selbst verwendet nun diese Häufigkeitsverteilungen, aus denen baukastenartig jede beliebige Kombination verschiedener Zugstypen und Zugfrequenzen zusammengestellt werden kann. Mit der Grundgeräuschlautheit N_{95} werden die Ruhephasen in der notwendigen Länge aufgefüllt um die gewünschte Meßdauer zu erhalten. Aus dieser Gesamthäufigkeitsverteilung einer realen oder fiktiven Meßdauer wird dann die 5%-Lautheitsperzentile berechnet. Das Verfahren ist

aber so flexibel, daß auch andere Perzentillautheiten zwischen N_1 und N_{10} errechnet werden können.

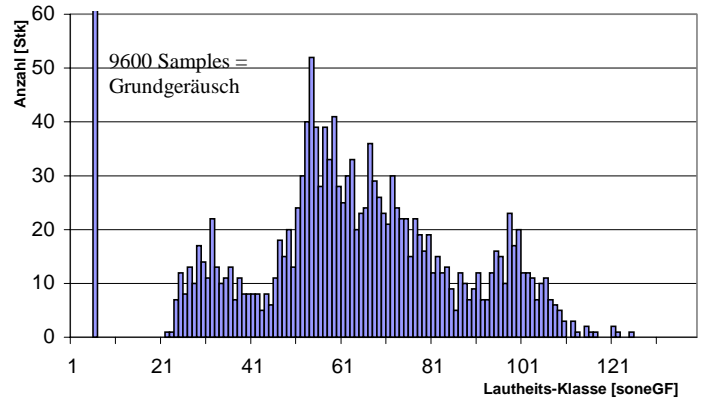


Abb. 6: Gesamte Lautheitshäufigkeitsverteilung einer synthetischen Meßperiode (rund 400 Sek.)

Zur Überprüfung des Verfahrens wurde N_5 für mehrere reale Meßabschnitte (B1_4, B1_5) sowie die fiktiven Abschnitte Synthese 1, 2 und 3 sowohl direkt aus dem aufgezeichneten source-signal auch mit dem Prognoseverfahren berechnet. Die synthetischen Aufzeichnungen wurden durch Eliminieren bzw. Wiederholen einzelner Züge im Meßabschnitt B1_4 hergestellt. Die durchgeführten Vergleichsrechnungen liefern eine für die Lautheitsprognose ausreichende Genauigkeit.

Lautheit 7,5m	B1_4	B1_5	Synth. 1	Synth. 2	Synth. 3	
REAL	71,0	51,1	68,8	45,2	77,4	soneGF
MODELL	70,9	51,0	68,6	45,1	77,8	soneGF
Differenz	-0,1	-0,2	-0,3	-0,2	+0,5	%

Abb. 7: Überprüfung des Prognosemodells

6. Schlußfolgerung

Es konnte gezeigt werden, daß mit dem hier entwickelten Verfahren selbst für „synthetische“ Immissionssituationen die 5% Perzentillautheit N_5 mit einem Fehler, der kleiner ist als 1 % gegenüber dem „exakten“, mittels Lautheitsanalysator aus dem source-signal ermittelten Wert, ermittelt werden kann. Damit steht ein ingenieurmäßiges Verfahren zur Prognose der sog. äquivalenten Dauerlautheit zur Verfügung.

Quellen

- [1] Kalivoda M.T.: HL-Strecke Wien-Salzburg, Streckenabschnitt Umfahrung Enns, Psychoakustische Untersuchung, PN 98.206-007, Perchtoldsdorf 1998
- [2] Kalivoda M.T., Schwaiger H.: Studie zur Entwicklung eines Lautheitsprognosemodells für den Schienenverkehr, PN 98.200-015, Perchtoldsdorf 1999
- [3] Fastl H.: Beurteilung und Messung der wahrgenommenen äquivalenten Dauerlautheit. Z.f.Lärmbekämpfung 38 (1991) 98-103.
- [4] DIN 45631: Berechnung des Lautstärkepegels aus dem Geräuschspektrum