

Beschreibung von Eisenbahnlärm

Zusammenhänge von Pegel- und Lautheitskennwerten

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

1. Einleitung

Nach wie vor existiert eine Diskussion über die Empfindung von Schienenlärm (Schienenbonus, etc.). Ein Ansatz zum Erfassen der subjektiven Empfindungen bei Schienenverkehrsimmissionen besteht in der Verwendung von Lautheiten.

Im Rahmen unserer Studie für die HL-AG [1] konnten wir grundlegende Untersuchungen über verschiedene Kennwerte anstellen, die gleichzeitig als Basis für das entwickelte Lautheitsimmissionsprognose-Programm verwendet wurden (siehe vorhergehender Beitrag „Verfahren zur Prognose der Lautheitsimmission des Schienenverkehrs“).

Bei diesen Basis-Untersuchungen wurde versucht, insbesondere die systematischen Unterschiede in der Bewertung der halbstündigen Meßabschnitte heraus zu arbeiten. Gute gegenseitige Abhängigkeiten der Kennwerte wurden dazu verwendet, einfache Umrechnungsregeln zwischen Pegel- und Lautheitsgrößen aufzustellen.

(Bei den durchgeführten Messungen betragen die Mikrofonabstände von der Gleisachse 7,5, 25 und 75 Meter. Arit.Mit.N = arithmetische Mittel des Lautheitsverlaufes)

2. Korrelation LA,eq vs. N5

Zu Beginn der Studie wurde zunächst der Zusammenhang zwischen dem A-bewerteten energieäquivalenten Dauerschallpegel LA,eq und der nach FASTL [2] für die Gesamt-Belastigung aussagekräftigen 5%-Perzentillautheit weiter untersucht (siehe Abb.1).

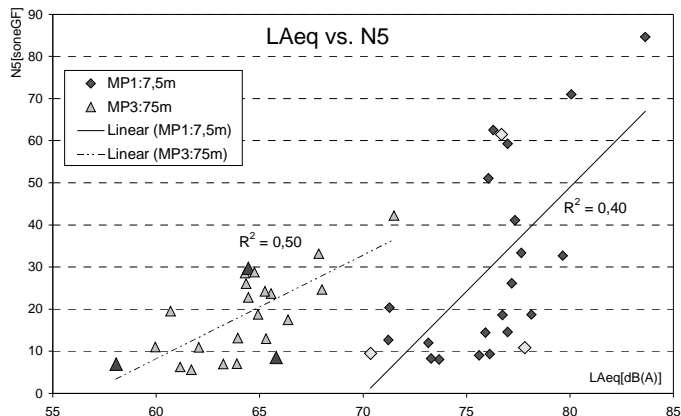


Abb.1: Korrelation des LA,eq vs. N5 halbstündiger Meßabschnitte

Bei Betrachtung des Diagramms (z.B. für 7,5m Entfernung) fällt auf, daß bei gleichem LA,eq von z.B. rund 77 dB(A) einerseits sehr geringe Lautheiten von unter 10 sone und andererseits recht hohe Lautheiten von über 60 sone auftreten. Das entspricht immerhin der sechsfachen empfundenen Lautstärke. Die Abschnitte mit niedrigem N5 beinhalteten etwa drei Zugvorbeifahrten mit Spitzen von über 120 sone, die Abschnitte mit

hohem N₅ rund zehn bis zwölf Zugvorbeifahrten mit Spitzen von unter 100 sone.

Einer der Hauptunterschiede zwischen den beiden Kennwerten liegt in der Berücksichtigung „ruhiger“ Perioden. Der LA,eq berücksichtigt auch längere Ruhepausen (ohne Zugvorbeifahrt) nur geringfügig. So bringt eine Verhundertfachung des Beobachtungszeitraumes bei gleichbleibender Schallenergie (d.h. Auffüllen mit 99 Anteilen völliger Ruhe) lediglich eine Abnahme des LA,eq um 20 dB (siehe auch „Taubes Dreieck“ in [3]). Der N₅ hingegen sinkt bei verlängerten Ruhepausen weitaus schneller ab, was auch anhand der Faktorenanalyse gezeigt wird (siehe Pkt.6).

3. Korrelation N5 vs. LA,5

Die insgesamt beste Abhängigkeit aller untersuchten Kennwerte zeigten der N₅ und der LA₅. Die aus allen drei Meßpositionen (7,5, 25 und 75m) errechneten N₅- und LA₅-Perzentile sind im nachfolgenden Diagramm eingetragen.

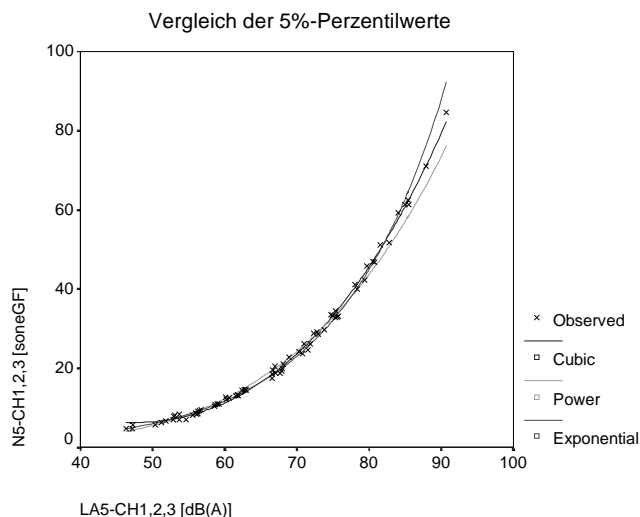


Abb.2: Kurvenanpassung von N5 vs. LA,5

Als optimale Kurve zur Anpassung an die Meßwerte ergibt sich die exponentielle Funktion:

$$N_5[soneGF] = 0,21 \cdot e^{0,067 \cdot LA_{5,5}[dB(A)]}$$

Das Bestimmtheitsmaß R² beträgt 0,996 und drückt damit eine fast perfekte Abhängigkeit. Die kubische Kurvenanpassung hat ein marginal höheres R² von 0,997, benötigt jedoch zur Beschreibung der Kurve eine Variable mehr und scheidet deswegen aus. Bei Kenntnis des Schalldruckpegelverlaufes läßt sich so mit hoher Genauigkeit die Perzentillautheit N₅ ausrechnen und umgekehrt.

4. Korrelation N95 vs. LA,95

Auch die Kenngrößen des Grundgeräusches LA₉₅ vs. N₉₅ zeigen im betrachteten Bereich eine gute gegenseitige Abhängigkeit mit einem Bestimmtheitsmaß

von etwa $R^2=0,98$. Mit den in Abb.3 angeführten Gleichungen der Regressionsgeraden läßt sich durch Interpolation der Konstanten eine Beziehung für jede beliebige Meßentfernung zwischen etwa 5 und 100 m aufstellen.

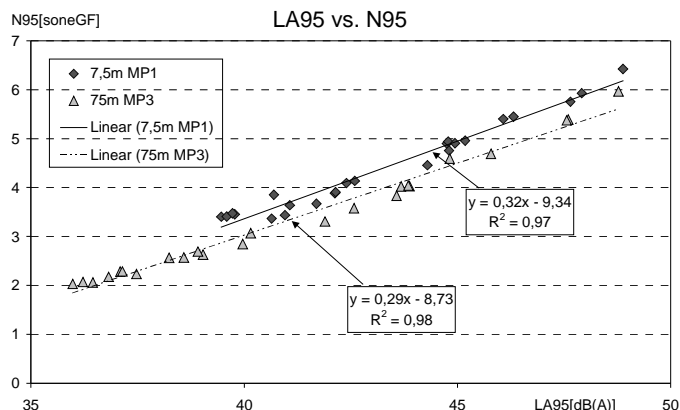


Abb.3: Lineare Regression zwischen LA,95 und N95

5. Clusteranalyse

Die Clusterung von zehn Kennwerten, bei der in jedem Schritt immer die mathematisch nächstgelegenen zusammengefaßt werden, gibt einen Hinweis auf ähnliche Systematik innerhalb einer Gruppe.

Betrachtet man die Clusteranalyse nach dem 7. Schritt, erhält man nur mehr drei Cluster mit inhaltlich „ähnlichen“ Kennwerten. Der Aussageschwerpunkt dieser „Themengruppen“ ist durch sinnvolle Interpretation der enthaltenen Kennwerte festzulegen.

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
N ₉₀	L _{A,eq}	N ₅
N ₉₅	L _{A,1}	L _{A,5}
L _{A,95}	L _{eq}	Arit.Mit.N
	N _{mittel}	
„Ruhigkeit“	„Spitzenbelastung“	„Mittlere Belastung“

Abb.5: Clusterung der Kennwerte in drei Hauptgruppen

Als Interpretation der drei Cluster bieten sich folgende Beschreibungen an:

- Cluster 1 enthält ausschließlich Kennwerte des Grundgeräuschpegels und wird daher zur Beschreibung des Grundgeräusches herangezogen.
- Cluster 2 enthält Kennwerte, die besonders auf Spitzenwerte reagieren. LA,eq und Leq sind energieäquivalent, d.h. während der Schalldruck quadratisch eingeht, wird die Zeit nur linear berücksichtigt. N_{mittel} wird aus den energieäquivalenten Terzpegeln gebildet. LA,1 ist das höchste Prozent des Schallpegelverlaufes und damit unmittelbar ein Kennwert für die Höhe der Pegelspitzen.
- Cluster 3 enthält Größen, die sowohl laute als auch leise Perioden berücksichtigen (siehe dazu Pkt.6).

6. Faktorenanalyse

Mittels der Hauptkomponentenanalyse wurden zwei „Hintergrundfaktoren“ extrahiert. Diese Faktoren müssen durch Interpretation einen sinnvollen Titel bzw. Inhalt zugewiesen bekommen. In Abb. 6 sind die Kennwerte

gewichtet nach ihrer Abhängigkeit von diesen Faktoren aufgetragen.

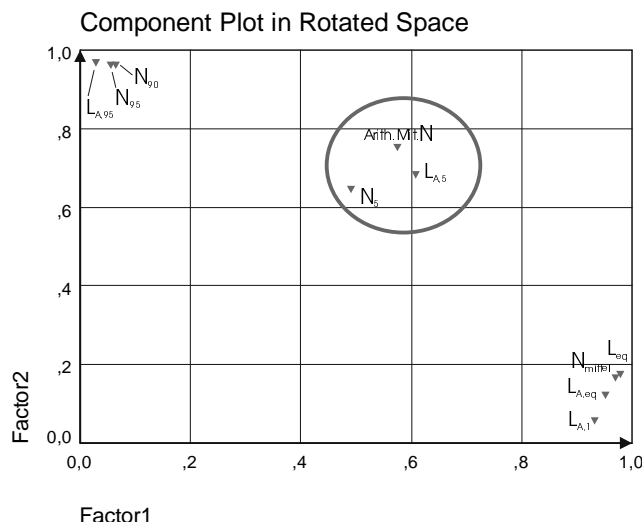


Abb.6: Faktorenanalyse der berechneten Kennwerte

Die zwei zugrundeliegenden Faktoren des verwendeten Kennwerte-Systems lauten in etwa wie folgt:

- „Belastungsspitzen“-Achse
- „Grundgeräusch“-Achse

Nun ist es auch möglich, quantitative Aussagen über die Lage der Kennwerte zu machen, wie zum Beispiel, daß die Kennwerte aus dem Cluster „Mittlere Belastung“, wie in Abb.6 zu sehen, tatsächlich sehr zentral zwischen beiden Faktoren positioniert sind. Diese Werte berücksichtigen gleichermaßen Ruhephasen und Phasen hoher Belastung.

7. Zusammenfassung

Auch in dieser Studie zeigt sich, daß zwischen dem LA,eq und dem N₅ kein guter Zusammenhang besteht. Andererseits wurden ausgezeichnete Abhängigkeiten bei N₅ vs. LA,5 und N₉₅ vs. LA,95 gefunden.

Die Kenngrößen N₅, LA,5 und Arit.Mit.N bilden einen Cluster mit ähnlichen Bewertungseigenschaften (Clusteranalyse) und berücksichtigen günstigerweise gleichermaßen Phasen mit hoher und niedriger Lärmbelastung (Faktorenanalyse). Diese Ergebnisse könnten als Ansatz für weitere Forschung dienen, insofern als daß man zur umfassenderen Beschreibung von Schienenlärm Werte aus dem Cluster „Mittlere Belastung“ miteinbezieht.

8. Literatur

- [1] Kalivoda M.T., Schwaiger H.: Studie zur Entwicklung eines Lautheitsprognosemodells für den Schienenverkehr, PN 98.200-015, (1999)
- [2] Zwicker E., Fastl H.: Psychoacoustics – Facts and Models, 317 ff, Springer-Verlag (1999).
- [3] Kalivoda Manfred T., Steiner Johannes W.: Taschenbuch der Angewandten Psychoakustik, 113-120, Springer Verlag (1998).
- [4] Hartung J.: Multivariate Statistik, Oldenbourg Verlag (1986).
- [5] Fastl H., Kuwano S., Namba S.: Psychoakustische Experimente zum Schienenbonus, DAGA 96, S.208-209