

Psychoakustische Untersuchung tonaler Komponenten von Zugvorbeifahrten

Christine Huth¹, Geske Eberlei¹, Manfred Liepert¹, Thomas Kempinger²

¹ Möhler + Partner Ingenieure AG, 86153 Augsburg, E-Mail: info@mopa.de

² DB Netz AG, 60486 Frankfurt

Einleitung

Die hier vorliegende Studie wurde im Rahmen des von DB Netz koordinierten Projekts „Geräuschoptimiertes Schienenschleifen“ durchgeführt und fokussiert sich auf die Abschnitte 5 und 6 des in Abbildung 1 dargestellten schematischen Gesamtablaufs des Projekts.

Bei der Schleifkampagne (Abschnitt 1) wurden einzelne Streckenabschnitte von unterschiedlichen Schleiffirmen behandelt. Im folgenden (Abschnitt 2 und 3) wurden diese Streckenabschnitte neben Referenzabschnitten von der DB Systemtechnik vermessen und die Signale verarbeitet.

Ziel des psychoakustischen Teils des Projekts (grün hinterlegter Bereich) war nach einer Bestandsaufnahme zur Lästigkeit des Ausgangszustands (Abschnitt 4) eine Modifikation und Detektion der Akzeptanzschwellen der teilweise stark ausgeprägten tonalen Komponenten. Hierzu wurden die unter Abschnitt 4 maximal lästig beurteilten Signale schrittweise bezüglich ihrer tonalen Komponenten modifiziert (Abschnitt 5) und wiederum bezüglich ihrer Lästigkeit im Hörversuch (Abschnitt 6) befragt. Zusätzlich zur Lästigkeit wurden Akzeptanzschwellen im Hörversuch erarbeitet.

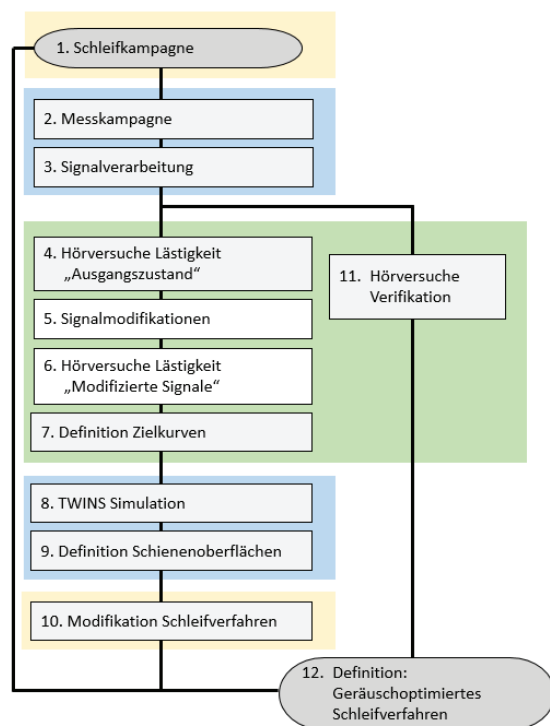


Abbildung 1: Ablaufdiagramm des Gesamtkonzepts des Projekts „Geräuschoptimiertes Schienenschleifen“, koordiniert von DB Netz AG mit allen Projektpartnern. Gelb: Schienenschleiffirmen, blau: DB Systemtechnik, grün: Möhler + Partner Ingenieure AG.

Im weiteren Verlauf des Projekts werden aus den Akzeptanzschwellen Zielkurven erarbeitet (Abschnitt 7), welche dann in die TWINS Simulation der DB Systemtechnik zur Zieldefinition der Schienoberflächen einfließen (Abschnitte 8 und 9). Diese werden dann wiederum von den Schleiffirmen in Abschnitt 10 aufgegriffen, um die Schleifverfahren zu modifizieren.

Signal Modifikationen

Um Signale mit unterschiedlich stark ausgeprägten tonalen Komponenten zu erhalten, wurde jeweils die Vorbeifahrt eines Zuges auf einem geschliffenen Streckenabschnitt in unterschiedlichen Pegelverhältnissen zur Vorbeifahrt desselben Zuges auf dem Referenzabschnitt addiert. So entstanden Signale, welche spektral zwischen den beiden Signalen „Referenz“ und „geschliffen“ zum liegen kommen (Abbildung 2).

Zusätzlich wurden auch Modifikationen erstellt, welche bis zu einer Grenzfrequenz dem Signal „geschliffen“ und darüber hinaus dem Signal „Referenz“ entsprechen. Dies wurde durch eine pegelrichtige Addition des Signals „Referenz“ mit dem tiefpassgefilterten Signal „geschliffen“ erzielt. Die so erzielten Spektren für die Tiefpassfilterung mit 4kHz und 8kHz sind ebenfalls Abbildung 2 zu entnehmen.

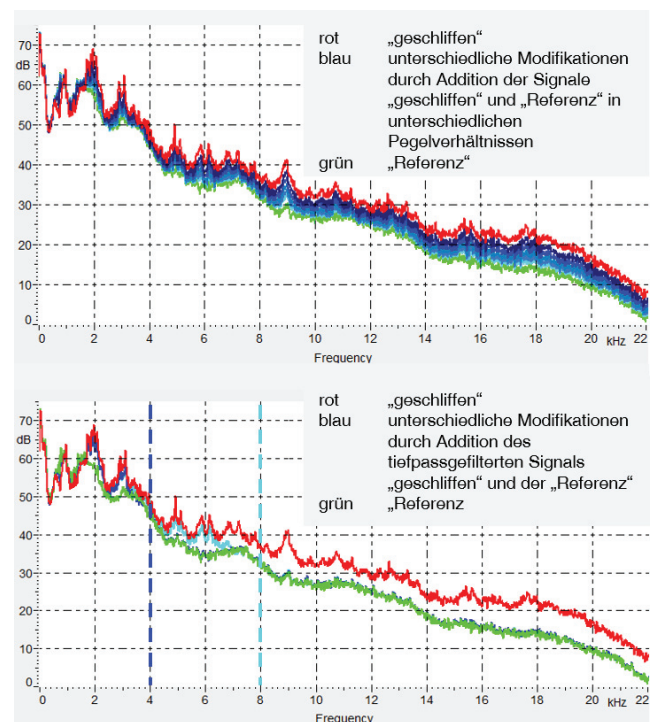


Abbildung 2: Spektren der modifizierten Signale. Oben: Pegelmodifikationen. Unten: Spektrale Modifikationen.

Hörversuche

Mit den so erarbeiteten Signalen von drei unterschiedlichen Zugvorbeifahrten (IC bei 200km/h, ET440 bei 140km/h und Doppelstockzug bei 120km/h) auf vier Streckenabschnitten unterschiedlicher Schleiffirmen wurden (3x4) 12 separate Hörversuche durchgeführt. Um die Lästigkeit und die Akzeptanzschwelle in einer Sitzung zu befragen, wurde die Methode des Random Access um die Beurteilung der Akzeptanzgrenze erweitert. Abbildung 3 zeigt die Versuchsoberfläche für die 20 teilnehmenden Versuchspersonen.

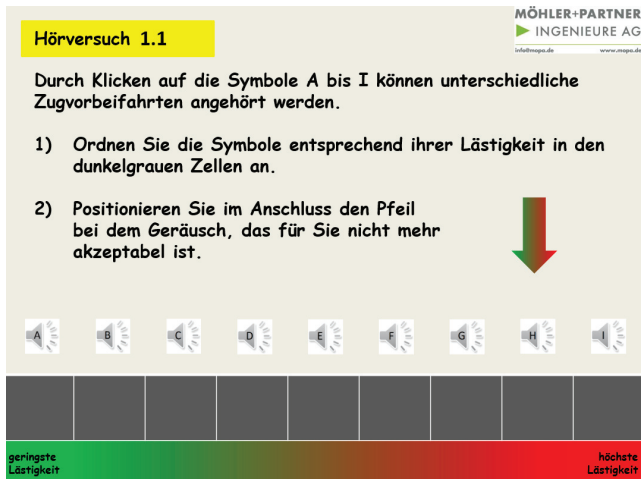


Abbildung 3: Versuchsoberfläche: Random Access zur Beurteilung der Lästigkeit und der Akzeptanzgrenze.

Lästigkeit und Akzeptanzschwellen

Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse aller 12 Streckenabschnitt-/Zug-Kombinationen. Die linken Diagramme zeigen die Ergebnisse der Zugvorbeifahrt des IC, die mittleren Diagramme die des ET440 und die rechten die des Doppelstockzugs. Im oberen Teil sind jeweils die Mediane und Interquartile der resultierenden Platzverteilung bezüglich der Lästigkeit dargestellt, im unteren Teil der prozentuale Anteil der Versuchspersonen, welche das jeweilige Signal als akzeptabel eingestuft haben.

Es resultieren jeweils klare Urteile bezüglich der Lästigkeit für das Original-Schleifensignal (nahezu immer schlechtesten Platz) und Original-Referenzsignal (bester Platz). Die unterschiedlichen Modifikationen werden dann zwischen diesen beiden Signalen angeordnet, wobei bei einzelnen Zügen eine spektrale Reduzierung der tonalen Komponenten ab 4kHz bzw. 8kHz auf das Referenzsignal eine deutliche Verbesserung bewirken kann. Dies ist in Übereinstimmung mit den Spektren der jeweiligen Zugvorbeifahrten: so weisen der ET440 und der Doppelstockzug sehr viele tonale Komponenten im höherfrequenten Bereich auf, welche durch die Tiefpassfilterung bezüglich ihrer Lästigkeit reduziert werden. Der IC hingegen erzielt die schlechtesten Akzeptanzraten, was an dem insgesamt höheren Vorbeifahrtpegel des IC liegen kann.

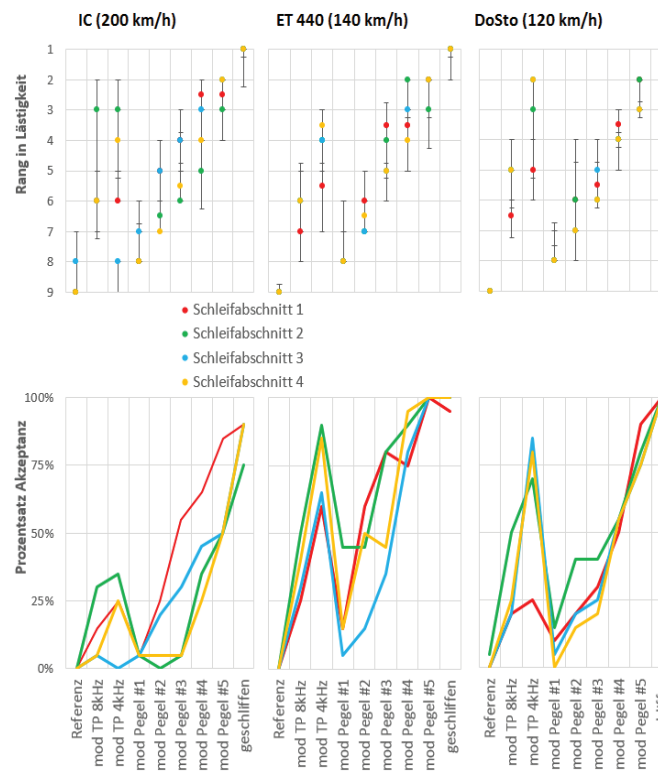


Abbildung 4: Ergebnisse (oben: Lästigkeit, unten: Akzeptanzschwellen) aller drei Zugarten (links: IC, mitte: ET440, rechts: Doppelstockzug) für die Beurteilung der 4 unterschiedlichen Schleifabschnitte (rot, grün, blau und gelb).

Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieser Arbeit war eine gehörgerechte Einschätzung der Belästigung durch tonale Komponenten, verursacht durch instandhaltendes Schienenschleifen. Hierzu wurden schrittweise die Anteile tonaler Komponenten von Zugvorbeifahrten modifiziert und im Hörversuch beurteilt.

Im weiteren Verlauf des Projekts wurden in Kooperation mit DB Netz AG und DB Systemtechnik durch Verknüpfung der Akzeptanzschwellen mit den entsprechenden Spektren der Signale Grenzkurven für instandhaltendes Schienenschleifen entwickelt.

Literatur

- [1] Ch. Huth, M. Liepert, U. Möhler, S. Lange, B. Asmussen, J. Rothhämel, B. Lütke: Conception of a psychoacoustic study for noise optimized rail grinding. *Internoise 2017*.
- [2] U. Möhler, A. Hegner, R. Schuemer, A. Schuemer-Kohrs: Effects of Railway-Noise Reduction on Annoyance after Rail-Grinding. *Proc. Internoise 1997, Budapest, Vol II, p. 1021-1026*.
- [3] Ch. Huth, M. Liepert, U. Möhler: Akustische Simulation und psychoakustische Untersuchung zur Wirksamkeit einer gleismontierten Mini-Lärmschutzwand. *Lärmbekämpfung, July 2016, p. 136-140*.