

Subjektive Bewertungen von Zugvorbeifahrten nach geräuschoptimiertem Schienenschleifen

Geske Eberlei¹, Christine Huth¹, Manfred Liepert¹, Thomas Kempinger², Bernd Asmussen²

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

² DB Netz AG, Theodor-Heuss-Allee 5-7, 60486 Frankfurt

Hintergrund

Für die Wartung von Gleisen der DB Netz AG wird regelmäßig instandhaltendes Schienenschleifen durchgeführt. Je nach Schleifverfahren entstehen zeitnah nach dem Schleifvorgang teilweise sehr unangenehme tonale Komponenten bei Zugvorbeifahrten. Dementsprechend kommt es häufig direkt nach dem Schleifvorgang zu zahlreichen Anwohnerbeschwerden wegen zu hoher Lärmbelastigung. Im Rahmen des Projekts „Geräuschoptimiertes Schienenschleifen“ der DB Netz AG sollen die Schleifverfahren anhand subjektiver Kriterien bzgl. der Vorbeifahrtgeräusche bewertet und verbessert werden.

Gesamtkonzept

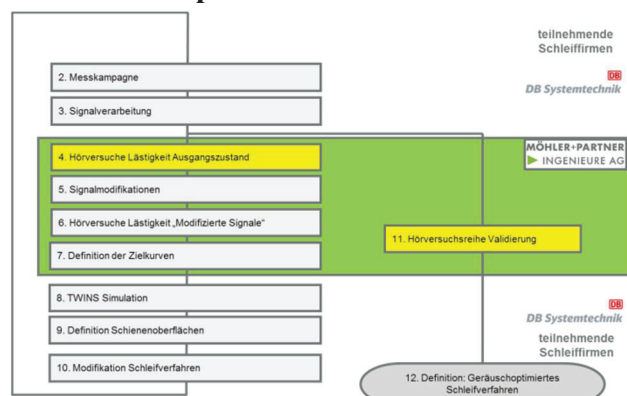


Abbildung 1: Ablaufdiagramm zum Gesamtkonzept der Studie „Geräuschoptimiertes Schienenschleifen“. Grün hinterlegt sind die psychoakustischen Untersuchungen der Geräusche, durchgeführt von Möhler + Partner Ingenieure AG.

Abbildung 1 zeigt ein vereinfachtes Ablaufdiagramm des Gesamtkonzepts der Studie „Geräuschoptimiertes Schienenschleifen“ der DB Netz AG. Möhler + Partner Ingenieure AG hat sich mit den psychoakustischen Untersuchungen der Geräusche befasst (grün hinterlegt). Für diese Untersuchungen wurden den Möhler + Partner Ingenieuren von der DB Systemtechnik Signale im wav – Format zur Verfügung gestellt. Hierbei handelte es sich um Zugvorbeifahrten

- auf 7 verschiedenen Gleisabschnitten (davon wurden drei Abschnitte mit rotierendem Two-Pass-Grinding-Verfahren, ein Abschnitt mit High-Speed-Grinding (HSG) und ein Abschnitt mit einem oszillierenden Verfahren geschliffen, zwei Abschnitte sind ungeschliffen geblieben)
- zu 3 verschiedenen Einfahrzeiten (nach 0 Lasttonnen, 700k Lasttonnen, 2 Mio Lasttonnen)

- von 3 verschiedenen Zugarten (IC bei 200 km/h, ET 440 bei 140 km/h, Doppelstockzug bei 120 km/h)
- an 2 verschiedenen Immissionsorten, IO, (im Garten vor dem Haus und im Wohnzimmer bei geschlossenen Fenstern)

Mit diesen Signalen wurde zunächst eine Hörversuchsreihe zur Erfassung der Lästigkeit des Ausgangszustands durchgeführt. Aus dieser Untersuchung wurden die Abschnitte mit den lästigsten tonalen Komponenten ausgewählt, um im nächsten Abschnitt die Signale schrittweise bezüglich ihrer Tonhaltigkeit zu modifizieren. Diese Modifikationen wurden in einer Hörversuchsreihe wiederum bezüglich ihrer Lästigkeit beurteilt. Zusätzlich wurde noch die Akzeptanzschwelle abgefragt, d.h. die Schwelle, ab der die Signale für die Versuchspersonen nicht mehr akzeptabel erschienen. Auf Basis der Spektren der gerade noch akzeptablen Signale wurden im Anschluss Grenzkurven für die subjektive Akzeptanz von Zugvorbeifahrten nach einem Schleifvorgang definiert (siehe [1]). Die Ergebnisse wurden an die DB Systemtechnik übergeben. Auf Grundlage dieser hat die DB Systemtechnik mittels TWINS-Simulation neue Parameter zur Gestaltung der Schienenoberfläche berechnet und diese den teilnehmenden Schleiffirmen übermittelt. Diese haben dementsprechend ihre Schleifverfahren angepasst und weitere Schleifkampagnen wurden gestartet. Die gemessenen Signale wurden wiederum aufbereitet und an Möhler + Partner Ingenieure AG übergeben. In der letzten Hörversuchsreihe „Validierung“ wurde wieder die Lästigkeit dieser Signale erfasst. In der vorliegenden Untersuchung werden die Ergebnisse aus dem Hörversuch „Ausgangszustand“ mit den Ergebnissen aus dem Hörversuch „Validierung“ verglichen, um so darzustellen, inwieweit die modifizierten Schleifverfahren die Lästigkeit im Vergleich zum Ausgangszustand reduzieren konnten.

Methodik

Die Hörversuchskonditionen für den Ausgangszustand sowie die Validierung sind identisch. Hierbei sind die Hörversuche in ruhiger, neutraler Umgebung über Kopfhörer dargeboten worden. Jeweils 20 Versuchspersonen haben teilgenommen. Um die relative Verschlechterung der Lästigkeit im Vergleich zum Zustand der ungeschliffenen Gleise zu befragen, wurde die Methode „Größenschätzung mit Ankerschall“ gewählt. Den Versuchspersonen wurden jeweils Schallpaare, welche aus zwei Zugvorbeifahrten bestehen, präsentiert. Die erste Zugvorbeifahrt bestand aus der Vorbeifahrt eines Zuges an der Referenzmessstelle, die zweite war die Vorbeifahrt desselben Zuges an einer zu beurteilenden Messstelle, d.h. an einer geschliffenen oder der Referenzmessstelle. Der ersten

Vorbeifahrt (Ankerschall) war ein fester Lästigkeitswert von 100 zugeordnet. Die Aufgabe der Versuchsperson bestand darin, der zweiten Vorbeifahrt einen Zahlenwert zuzuordnen, welcher der relativen Lästigkeit dieser Vorbeifahrt im Vergleich zum Ankerschall entsprach. Wurde die zweite Vorbeifahrt z.B. als doppelt so lästig empfunden wie die erste Zugvorbeifahrt, so war der Zahlenwert 200 zu vergeben; wurde die zweite Vorbeifahrt z.B. als halb so lästig wie die erste empfunden, so war der Zahlenwert 50 vergeben.

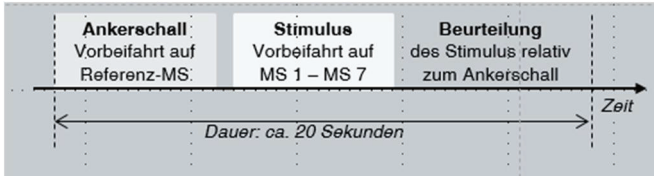


Abbildung 2: Ablauf einer Sequenz in den Hörversuchsreihen „Lästigkeit Ausgangszustand“ und „Lästigkeit Validierung“ (Größenschätzung mit Ankerschall)

Betrachtung der einzelnen Messstellen

In den folgenden Abbildungen sind die Ergebnisse der Validierung für die einzelnen Messstellen (1R, 1A, 1B, 1C, 2R, 2A und 2B) im Vergleich zu den ursprünglichen Ergebnissen des Ausgangszustands dargestellt. Die offenen Datenpunkte symbolisieren die Ergebnisse der Validierung, die ausgefüllten Datenpunkte die des Ausgangszustands. Dargestellt sind jeweils die Mediane und die interquartilen Bereiche der Urteile aller 20 Versuchspersonen. Die linken Abbildungen zeigen die Daten für Immissionsort 1 (Garten), die rechten Abbildungen die für Immissionsort 3 (Wohnzimmer, geschlossenes Fenster).

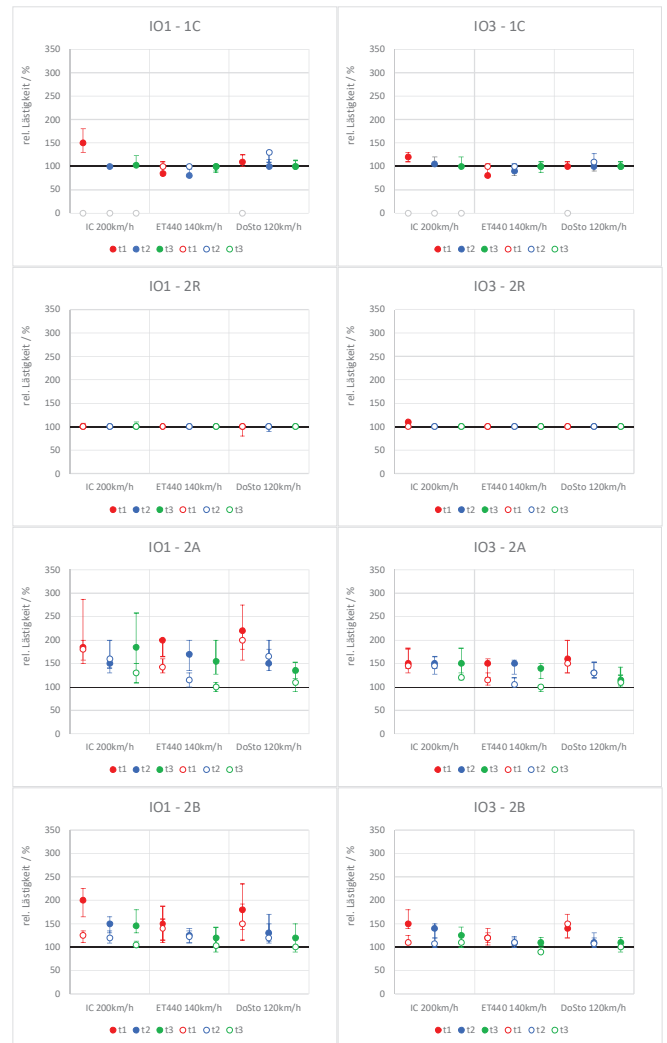
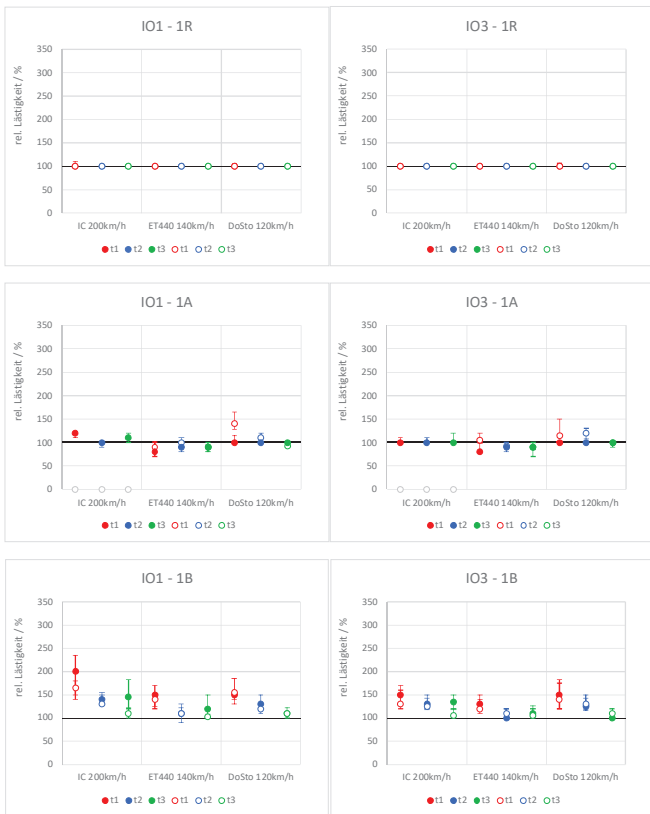


Abbildung 3: Ergebnisse der Hörversuchsreihe „Lästigkeit Validierung“ (offene Symbole) im Vergleich mit den Ergebnissen der Hörversuchsreihe „Lästigkeit Ausgangszustand“ (geschlossene Symbole) für die einzelnen Messstellen. Links: IO „Garten“, rechts: IO „Wohnzimmer, geschlossenes Fenster“

Es ist zu erkennen, dass die Referenzmessstellen 1R und 2R sowohl bei der Validierung als auch beim Ausgangszustand zuverlässig von den Versuchspersonen wiedererkannt wurden.

Die Messstelle 1A gehörte bereits bei der Hörversuchsreihe Ausgangszustand zu den besten Messstellen und liefert auch bei der Validierung sehr gute Ergebnisse, wenngleich eine leichte Verschlechterung zum Ausgangszustand zu verzeichnen ist.

Für Messstelle 1B, welche bei der Hörversuchsreihe Ausgangszustand im Mittelfeld lag, kann hingegen bei der Validierung eine deutliche Verbesserung festgestellt werden.

Mit Messstelle 1A gehörte auch Messstelle 1C beim Ausgangszustand zu den besten Messstellen. Auch hier werden bei der Validierung immer noch sehr gute Ergebnisse erzielt, jedoch ebenfalls mit einer leichten Verschlechterung verglichen zum Ausgangszustand.

Die Messstellen 2A und 2B zeigen im Vergleich zum Ausgangszustand deutliche Verbesserungen. Insbesondere werden die Vorbeifahrten des ET440 auf Messstelle 2A bei

der Validierung als deutlich weniger lästig beurteilt, während auf Messstelle 2B vor allem die Vorbeifahrten des IC bei der Validierung eine geringere Lästigkeit aufweisen.

Gesamtbetrachtung der Messstellen

Wird für jede unterschiedliche Zugkategorie und für jeden unterschiedlichen Einfahrzeitpunkt eine Rangfolge für alle Schleiffirmen gebildet, die sowohl beim Ausgangszustand als auch bei der Validierung teilnahmen, so ergibt sich folgendes Bild.

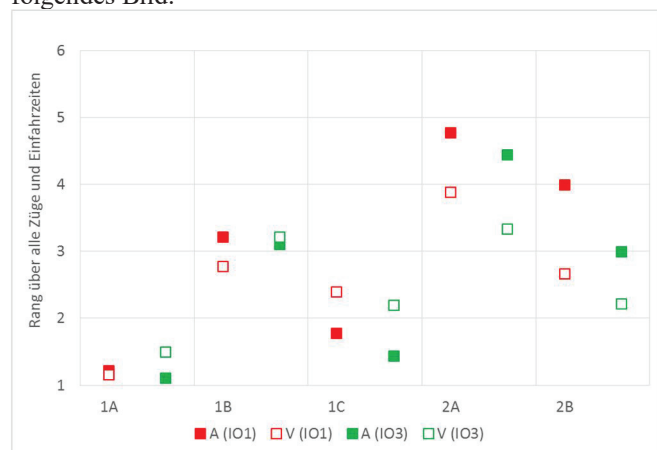


Abbildung 4: Rangfolge der Lästigkeiten für alle Schleiffirmen (ohne Referenz) für die Hörversuche „Ausgangszustand“ (ausgefüllte Symbole) und „Validierung“ (offene Symbole). Dargestellt sind die Ergebnisse jeweils für den Immissionsort „Garten“ (rot) und „Wohnzimmer, geschlossenes Fenster“ (grün).

Insgesamt ist eine deutliche Verbesserung in der Rangfolge für nahezu alle Schleiffirmen zu erkennen. Trotz einer geringen Verschlechterung von Schleiffirma 1A (um 0,4 Ränge) gegenüber dem Ausgangszustand an IO 3 erzielt diese Messstelle immer noch die besten Ergebnisse.

Messstelle 1C muss eine Verschlechterung in der Rangfolge um 0,6 Ränge (IO1) bzw. 0,8 Ränge (IO3) verzeichnen. Sie liegt jedoch im Vergleich zu den anderen Messstellen immer noch im guten Bereich. Für alle anderen Messstellen (1B, 2A und 2B) finden sich teilweise deutliche Verbesserungen zwischen Ausgangszustand und Validierung (bis zu 1,3 Ränge).

Für die Messstellen 1B, 1C, 2A und 2B finden sich somit bei der Validierung ähnliche Rangfolgen (zwischen Rang 2,2 und Rang 3,9) als noch im Ausgangszustand (Rangfolgen zwischen 1,4 und 4,8). Dies bedeutet, dass sich die Bandbreite der Lästigkeiten zwischen diesen Schleiffirmen von Ausgangszustand zu Validierung reduziert hat.

Im Folgenden soll die Verbesserung zwischen Ausgangszustand und Validierung insgesamt noch einmal detaillierter betrachtet werden. Hierzu wurde für jede unterschiedliche Zugkategorie über alle Schleiffirmen ein Mittelwert (Median) für die Lästigkeit gebildet. Abbildung 5 zeigt die so gemittelten Lästigkeiten für den Ausgangszustand (geschlossene Symbole) gegenüber denen der Validierung (offene Symbole).

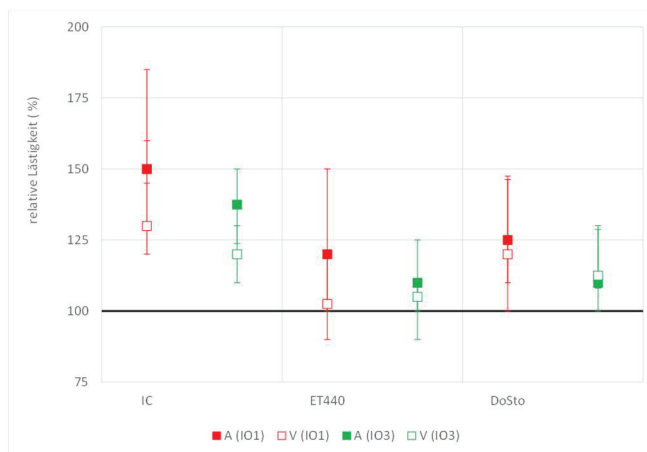


Abbildung 5: Mittelung (Median) aller Lästigkeiten je Zugkategorie über alle Messstellen (ohne Referenz). Gegenüberstellung der Ergebnisse der Hörversuchsreihe „Ausgangszustand“ (ausgefüllte Symbole) und „Validierung“ (offene Symbole). Dargestellt sind die Ergebnisse jeweils für den Immissionsort „Garten“ (rot) und „Wohnzimmer, geschlossenes Fenster“ (grün).

Es ist eine Reduzierung der Lästigkeiten um bis zu 20 % zwischen Ausgangszustand und Validierung zu verzeichnen. Für den ET 440 befinden sich die Ergebnisse nun nahezu auf dem Niveau der Referenzlinie. Da jeder Datenpunkt den Median über alle unterschiedlichen Schleiffirmen darstellt, repräsentieren somit die interindividuellen Schwankungen die Unterschiede zwischen den einzelnen Schleiffirmen. Beim Vergleich von Ausgangszustand und Validierung ist diesbezüglich eine Reduzierung dieser interindividuellen Schwankungen und somit der Unterschiede zwischen den Schleiffirmen zu verzeichnen.

Des Weiteren resultieren für die Validierung jeweils für die beiden untersuchten Immissionsorte IO 1 und IO 3 ähnliche Werte in der Lästigkeit als für den Ausgangszustand. Dies ist vor allem darin begründet, dass die Lästigkeiten der Zugvorbeifahrten an IO 1 (Garten) bei der Validierung nochmal deutlicher gesunken sind als die Lästigkeiten der Zugvorbeifahrten an IO 3 (Wohnzimmer mit geschlossenen Fenstern).

Zusammenfassung

Insgesamt kann nach Modifizierung der Schleifverfahren eine deutliche Verbesserung der Lästigkeit im Vergleich zum Ausgangszustand für nahezu alle Schleiffirmen festgestellt werden. Insbesondere die beim Ausgangszustand teilweise sehr extremen Wertungen haben sich erfreulicherweise bei der Validierung verbessert.

Literatur

- [1] Huth, Ch., Eberlei, G., Liepert, M., Kempinger, T.: Psychoakustische Untersuchung tonaler Komponenten von Zugvorbeifahrten, DAGA 2018
- [2] Huth, Ch., Eberlei, G., Liepert, M., Kempinger, T.: Psychoacoustic study on the acceptance of train passings after rail grinding, Euronoise 2018
- [3] Lütke, B., Asmussen, B.: Schienenschleifen als Ursache von Tonalitäten und hochfrequenten Schienenschwingungen, DAGA 2018