

Der Squeal Indicator als Kenngröße zur Systematisierung von Kurvengeräuschen im Eisenbahnverkehr

Helmut Venghaus¹,

¹ ACCON GmbH, 86926 Greifenberg, E-Mail: helmut.venghaus@accon.de

Einleitung

In umfangreichen schalltechnischen Untersuchungen im Rahmen des von der DB AG geförderten Forschungsprojekts I-LENA sollten Maßnahmen zur Reduktion der Quietschgeräuschen bei Kurvenfahrten getestet werden.

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde eine Kenngröße „Squeal Indicator“ entwickelt, mit dessen Hilfe eine objektive Beurteilung der getroffenen Maßnahmen an den Gleisen gegen das Kurvenquietschen ermöglicht wird.

Es wird die Methodik zur Erstellung des Squeal Indicators (SqI) beschrieben und die daraus ableitbare Beurteilung einer Maßnahme gegen Kurvenquietschen dargestellt.

Messstrategie

An Strecken der Pfälzischen Nordbahn wurden im Zuge dieses Vorhabens an 4 Streckenabschnitten Techniken zur Verringerung des Kurvenquietschens erprobt. Die nachfolgend aufgeführten Ergebnisse nutzen im Wesentlichen die Daten, die in diesem Teilprojekt aus Messungen ohne Maßnahmen an der Schiene gewonnen wurden.

Die Messstrategie wurde so angelegt, dass die jeweiligen Streckenabschnitte in 4 Stufen untersucht wurden (Abb. 1)

- Vormessung (ohne Maßnahme)
- Effektmessung I (eingebaute Maßnahme)
- Effektmessung II (modifizierte Maßnahme)
- Nachmessung (nach Rückbau der Maßnahme).



Abbildung 1: Messstrategie im Forschungsprojekt I-LENA.

Wegen topografischer Besonderheiten (extreme Dammlage) mußte die standartisierte Messposition 7,5 m seitlich zur Streckenachse, 1,2 m über Schienenoberkante für alle Untersuchungsabschnitte auf 5 m/1,2 m abgeändert werden, um eine einheitliche Struktur in der Untersuchung erreichen zu können.

Aufgrund der auf den Strecken verkehrenden Zügen der Baureihen BR 622 (LINT 54) und BR 623 (LINT 41) im Geschwindigkeitsbereich zwischen 30 km/h und 90 km/h wurde jede Vorbeifahrt zentriert in einem Zeitfenster von 50 Sekunden Dauer erfasst

Erfassung und Auswertung der Messdaten

Das Auftreten von Quietschen ist diskontinuierliche und wird durch die Variation von Kontaktpositionen, Kräften, Reibung, Profilen, Spurweite usw. verursacht. Auch die Wetterbedingungen (Luftfeuchtigkeit) haben einen erheblichen Einfluss darauf, ob Kurvenquietschen auftritt oder nicht [3]. Von daher wurden die Messungen über jeweils ca. 40 Züge in einer Messkampagne bei trockenem Wetter immer über mehr als einen Tag ausgeführt beginnend in den frühen Morgenstunden bis spät in die Nacht. Bis zu 6 Mikrofone entlang eines Kurvenabschnitts wurden in Abhängigkeit vom Kurvenradius in 20 m bzw. 25 m Abständen zueinander seitliche der Strecke eingerichtet, mit denen eine Nachweisführung ermöglicht wurde, ob in Teilabschnitten der Kurve das Quietschen stärker und/oder gehäuft auftritt. Die Messauslage erfolgte in Anlehnung an die Empfehlungen in [1], [2].

Die gemessenen Schallpegel wurden

1. einer A-Bewertung unterzogen.
2. Erfolgte die Aufteilung der Signale im Frequenzbereich von 89,1 Hz (f_u im 100 Hz Terzband) bis 8913 Hz (f_o im 8 kHz Terzband) in 20 Terzbänder.
3. erfolgte eine RMS-Berechnung der terzbandgefilterten Signalanteile zu einzelnen Zeitblöcken von 125 msec Dauer. Dieses Verfahren entspricht einer starken Vereinfachung der regulären Effektivwertbildung entsprechend DIN 45641, ermöglicht jedoch eine einfachere statistische Auswertung.
4. Innerhalb eines jeden Terzbandes wurden die Maximalwerte in den einzelnen Zeitschritten aus allen Mikrofonsignalen gesucht, um daraus abschließend ein Gesamtsignal der Zugfahrt im Messabschnitt zu bilden (Abb.2).

Alle Züge einer Messsession wurden nach definierten statistischen Methoden ausgewertet. Daraus ergab sich die Basis für die Auswertestrategie zur Entwicklung des Squeal Indicators (SqI).

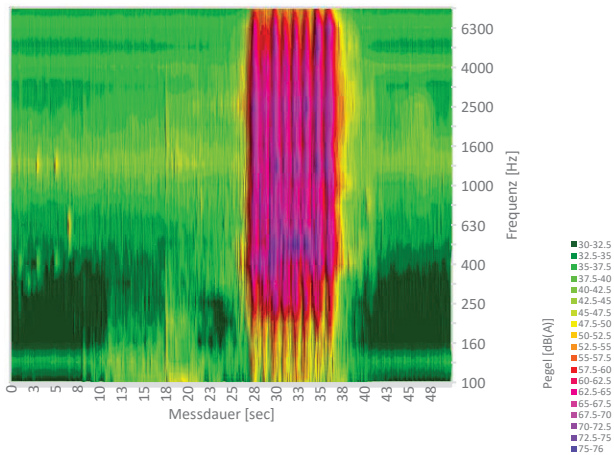


Abbildung 2: Aus Max-Pegeln der einzelnen Mikrofone zusammengesetztes Schallsignal einer Zugfahrt durch einen Messabschnitt.

Die Datenstruktur, wie sie in Abbildung 3 dargestellt wird, ergibt sich aus allen Messungen einer Messsession die einer Häufigkeitsverteilung mit 1 dB-Clusterung unterzogen wurden. Es wurden dafür die Pegelwerte aus den 125 msec Zeitblöcke getrennt nach den Terzbändern (Spektral-Schallpegel-Häufigkeitsverteilung) ausgewertet. Es kann mit dieser Darstellungsform gezeigt werden, dass innerhalb einer Messsession die Züge im Frequenzbereich unterhalb von 1,6 kHz ein sehr konstantes Frequenzbild erzeugen. Oberhalb von 1,6 kHz spaltet sich die Kurve auf in die lauten Züge mit starken Quietschgeräuschen (oberer Ast) und leise Züge mit geringen oder keinen Quietschgeräuschen (unterer Ast).

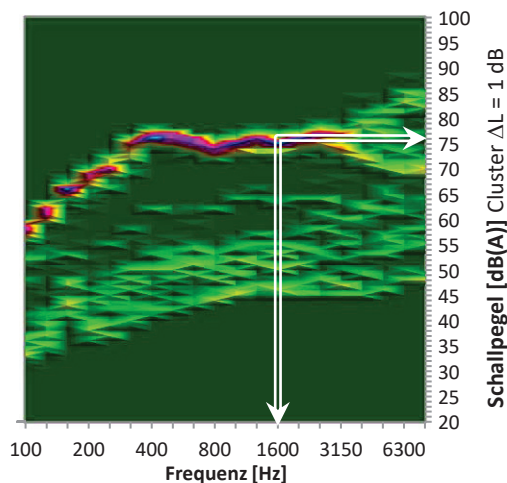


Abbildung 3: Spektral-Schallpegel-Häufigkeitsverteilung in einem Messabschnitt ohne Maßnahmen gegen Kurvenquietschen.

Da bei allen Messungen ohne Maßnahme in 5 m/1,2 m Abstand zur Schiene in dem 1,6 kHz Terzband ein Schallpegel von ca. 75 dB(A) angetroffen wurde, erscheint es als zielführend, diesen Wert als Bezugspunkt für die Entwicklung des SqI zu nutzen.

Entwicklung des Squeal Indicators

In Abbildung 2 wird das aus den Max-Pegeln der Mikrofone zusammengesetzte Schallsignal einer kurvenfahrt dargestellt. Bei einer Mittelung über alle Fahrten einer gesamten Messung ergibt sich das in Abbildung 4 dargestellte Diagramm.

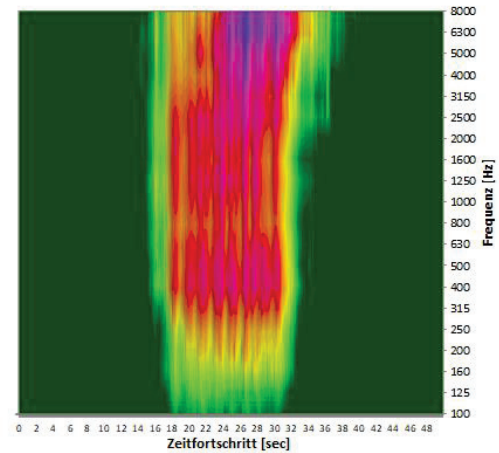


Abbildung 4: In Fortführung zu Abb. 2 hier das zusammengesetzte Schallsignal an den Mikrofonen gemittelt für alle erfassten Zugfahrten einer Messsession.

Wie zuvor beschrieben, wird von dem gesamten Datensatz (Abb. 4) nur der hervorgehobene Teilbereich zur Berechnung des SqI genutzt (Abb. 5).

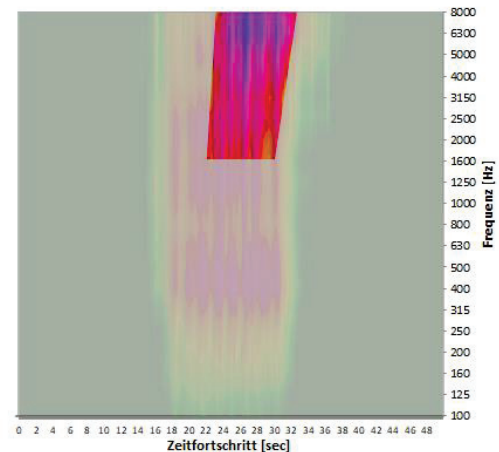


Abbildung 5: In Fortführung zu Abb. 4 - hervorgehobener Teilbereich wird für die Berechnung des SqI herangezogen

Die Bearbeitung des reduzierten Datensatzes erfolgt ähnlich wie die Erstellung der Spektral-Schallpegel-Häufigkeitsverteilung (siehe Abb. 3). Das Ziel besteht in diesem Fall darin, die Häufigkeit der 125 msec Zeitblöcke mit Schallpegeln $L_{\text{Terz}} > 75$ dB(A) in den einzelnen Terzbändern zu bestimmen und diese Anzahl in einer Clusterstufe über alle Terzbänder zu summieren. Die Häufigkeit dieser Zeitblöcke stellt die Dauer dar, mit der die Nachbarschaft zur Bahnstrecke belastet wird, wenn ein Zug durch die Kurve fährt.

Tabelle 1: Summenhäufigkeit der Schallpegel in den Terzbändern in 1 dB Clusterung

| Cluster [dB(A)] | Terzbänder [Hz] | | | | | | Anzahl im gewichtete | |
|--------------------|-----------------|------|------|------|------|------|----------------------|--------------|
| | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 | 5000 | Cluster | Anzahl |
| 74 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 |
| 75 | 17 | 5 | 10 | 8 | 10 | 18 | 68 | 68.0 |
| 76 | 29 | 7 | 13 | 17 | 18 | 21 | 105 | 117.8 |
| 77 | 32 | 8 | 20 | 14 | 12 | 4 | 90 | 113.3 |
| 78 | 16 | 23 | 31 | 13 | 9 | 1 | 93 | 131.4 |
| 79 | 3 | 29 | 25 | 19 | 10 | 0 | 86 | 136.3 |
| 80 | 0 | 24 | 18 | 21 | 13 | 0 | 76 | 135.1 |
| 81 | 0 | 21 | 1 | 6 | 11 | 0 | 39 | 77.8 |
| 82 | 0 | 5 | 0 | 2 | 11 | 0 | 18 | 40.3 |
| 83 | 0 | 1 | 0 | 2 | 7 | 0 | 10 | 25.1 |
| 84 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 0 | 5 | 14.1 |
| 85 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3.2 |
| 86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3.5 |
| 87 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 |
| 88 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 |
| 89 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 |
| | | | | | | | SqI = | 866.0 |

Um den zunehmenden Belästigungsgrad höherer Schallpegel entsprechend benennen zu können, wurde zusätzlich zur Summierung in den einzelnen Lärmstufen eine Gewichtung der Lärmstufen eingeführt.

Es wurde eine Gewichtungsfunktion (1) formuliert, nach dem die höheren Schallpegelstufen mit einem Multiplikator belegt werden, der in Form eines exponentiellen Ansatzes aus der Differenz des jeweilige Schallpegels der Clusterstufe und dem Grundwert 75 dB(A) gebildet wird:

$$SqI = \sum 10^{\frac{L_i - L_0}{20}} * Anz_i \quad (1)$$

mit

- L_0 = Bezugspegel (= 75 dB(A))
- L_i = Pegelstufe (Clusterwert)
- Anz_i = Anzahl der Zeitblöcke in einer Pegelstufe (Clusterwert)

Der Teiler „20“ der Pegeldifferenz wurde zur Normierung der Werte eingeführt. Die so gewonnenen gewichteten Werte einer Pegelstufe werden in der Spalte „gewichtete Anzahl“ zu einem 1-Zahl-Wert aufaddiert, der den Squeal Indicator darstellt.

Validierung der Berechnungsmethode für die Squeal Indicator Werte

Während jeder Messsession wurden neben der reinen Messwertaufzeichnung zusätzlich Tabellen geführt, in denen die subjektiv beurteilte Schallemission des Quietschens bei den Kurvenfahrten eingetragen wurde. Es wurde eine Stufung von

0 = kein Quietschen

bis

3 = extrem starkes Quietschen

gewählt.

Im Nachgang zu den Messungen und zugehörigen Auswertungen mußte festgestellt werden, dass die subjektive

Beurteilung darunter leidet, dass kurze heftige Quietschgeräusche subjektiv eher unterschätzt werden als länger andauernde Quietschgeräusche. Generell stellte sich jedoch sowohl bei den Messungen ohne Massnahmen an der Schiene als auch bei Messungen mit Teilerfolgen durch eingebaute Massnahmen eine sehr gute Korrelation zwischen subjektiver Einschätzung und berechneten SqI-Werten heraus.

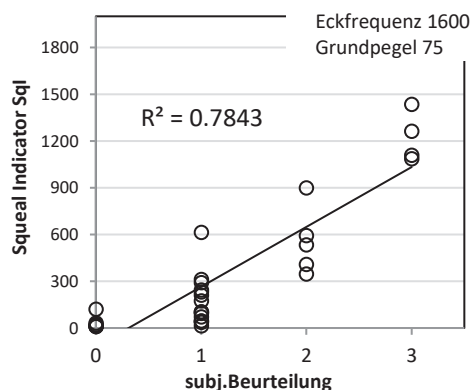


Abbildung 6: Vergleich der subjektiven Beurteilung des Kurvenquietschens mit den berechneten Werten des SqI

Ergebnisse der Squeal Indicator Werte aus Messungen

Die praktische Bedeutung des Squeal Indicators in der Beurteilung der Geräuschentwicklung in Gleisbögen lässt sich an den folgenden Diagrammen aufzeigen.

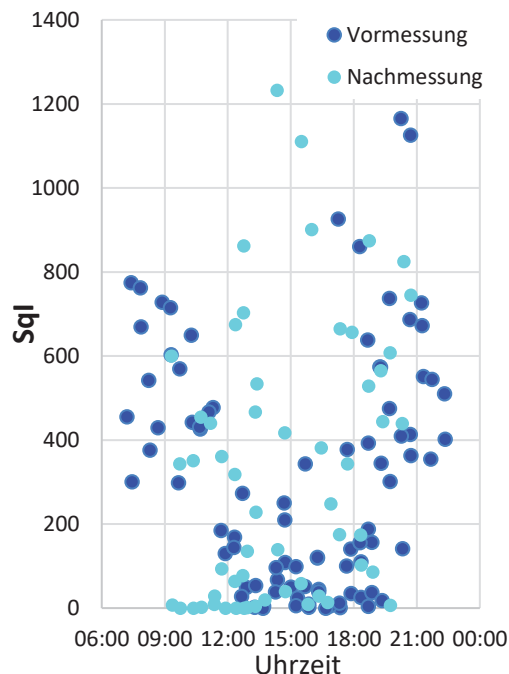


Abbildung 7: Ermittelte SqI-Werte im gleichen Gleisbogen mit einer zeitlichen Distanz von mehr als einem Jahr

In Abbildung 7 wird die hohe Ähnlichkeit des SqI aus zwei Messsessionen mit mehr als einem Jahr zeitlichem Abstand zueinander dargestellt, wobei die Nachmessung mit so großem zeitlichen Abstand erfolgte, dass sichergestellt war,

keine Beeinflussung der Schallemissionen aus der Massnahme an der Schiene detektieren zu können.

Besonders auffällig bei diesen Daten ist die Veränderung der Intensität der Quietschgeräusche im Tagesverlauf. In ähnlicher Form konnte auch an den anderen Streckenabschnitten veränderliche Quietschintensitäten festgestellt werden, dass während der Nachmittagsstunden die Häufigkeit des Quietschens wesentlich nachließ.

Die Abbildung 8 zeigt die Veränderung der Intensität der Quietschgeräusche bei der Verwendung einer Maßnahme zur Reduktion der Quietschgeräusche.

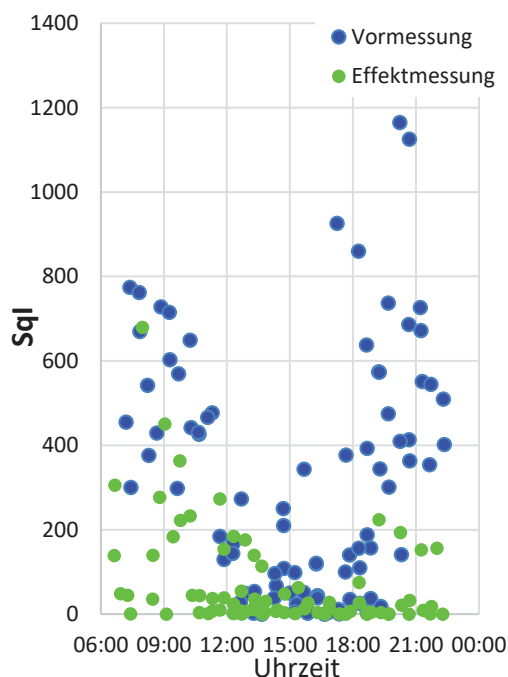


Abbildung 8: Ermittelte SqI-Werte im gleichen Gleisbogen ohne/mit Maßnahmen an der Schiene zur Reduktion der Quietschgeräusche

In dem hier als Beispiel herangezogenen Gleisbogen wurden neben Vor- und Nachmessung die Maßnahmen gegen Kurvenquietschen in zwei Stufen der messtechnisch untersucht. Die Abbildung 8 verdeutlicht, dass mit Hilfe des SqI die unterschiedliche Wirkung dieser beiden Massnahmestufen deutlich erkennbar wird.

Aus den in Abbildung 8 dargestellten Ergebnissen lässt sich entnehmen, dass neben der Unterscheidbarkeit der Effizienz der Maßnahmen an der Schiene in diesem Streckenabschnitt auch die Fahrtrichtung der Züge eine Auswirkung auf die Intensität der Quietschgeräusche hat. Dieses wird bedingt durch die unterschiedliche Geschwindigkeit der Züge, die in Fahrtrichtung „Süd“ kurz vor der Einfahrt in einen Bahnhof deutlich schneller führen als bei der beschleunigenden Ausfahrt in Richtung „Nord“

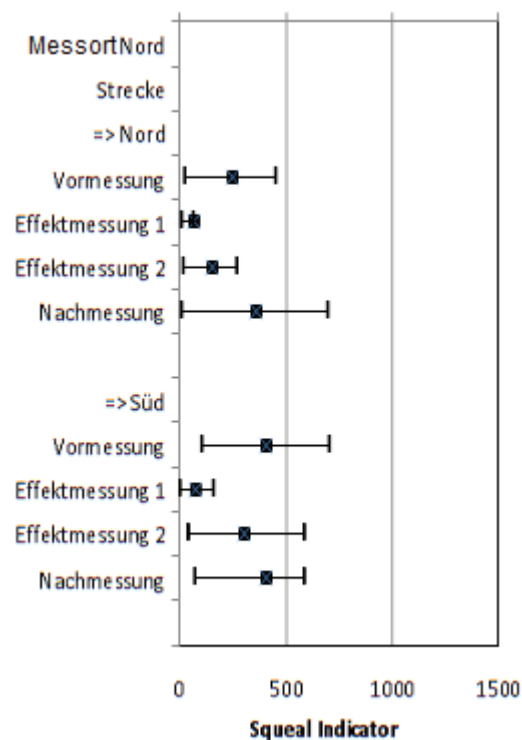


Abbildung 8: SqI-Werte an einem Bogenabschnitt bei unterschiedlichen Zuständen von Maßnahmen an der Schiene zur Reduktion der Quietschgeräusche

Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsprojektes I-LENA der DB AG wurden unterschiedliche Maßnahmen an Schienen zur Reduktion der Quietschgeräusche bei Kurvenfahrten erprobt.

Im Rahmen dieser Arbeiten wurde ein Berechnungsverfahren zur Erstellung eines Squeal Indicators entwickelt, mit dessen Hilfe eine objektive Beurteilung der Quietschgeräusche ermöglicht wird.

Es konnte gezeigt werden, dass die berechneten Werte mit subjektiven Beurteilungen der Quietschgeräusche korrelierten und die Ergebnisse aus den SqI-Werten die Qualität der getroffenen Maßnahmen an der Schiene treffend einstufen.

Literatur

- [1] Dittrich M., Jansen E.: Virtual certification of acoustic performance for freight and passenger trains, Acoutrain Deliverable D1.3, Braking noise and Curving noise: corresponding indicators and measurement procedures (interim) (2013), EC Contract No. FP7 – 284877,
- [2] Örtli J. Combating Curve Squeal Phase II Final Report UIC (International Union of Railways), Bern, August, 2005
- [3] Ding, Squicciarini, Thompson, Corradi, An assessment of mode coupling and falling-friction mechanisms in railway curve squeal through a simplified approach, Journal of Sound and Vibration, 423, 2018, 126–140