

BAHNAKUSTIK
Infrastruktur, Fahrzeuge, Betrieb

6. – 7. November 2023 Planegg München

**SCHWINGUNGSREDUKTION DURCH SCHWELLENSOHLNEN;
NEUE ERKENNTNISSE DURCH MESSUNGEN AN EINER
BAHNSTRECKE DER ÖBB**

**Nishant Kumar¹, Martin Quirchmair¹, Harald Loy^{1,2}, Andreas Augustin¹,
Günther Achs³, Hanno Töll³ und Roland Fischer⁴**

¹Getzner Werkstoffe GmbH
Herrenau 5, 6706 Bürs, Österreich
E-Mail: nishant.kumar@getzner.com / martin.quirchmair@getzner.com / harald.loy@getzner.com /
andreas.augustin@getzner.com

²Institut für Infrastruktur, Arbeitsbereich Intelligente Verkehrssysteme, Universität Innsbruck
Technikerstraße 13, 6020, Innsbruck, Österreich
E-Mail: harald.loy@uibk.ac.at

³FCP Fritsch, Chiari & Partner ZT GmbH
Marxergasse 1B, 1030 Wien, Österreich
E-Mail: achs@fcp.at / toell@fcp.at

⁴ÖBB-Infrastruktur AG
Praterstern 3, 1020 Wien, Österreich
E-Mail: roland.fischer@oebb.at

ÜBERSICHT

Schwellensohlen verringern die auf die Schwelle wirkende Kraft, da sich die Biegelinie der Schiene vergrößert. Elastische Schwellensohlen vergrößern auch die Kontaktfläche zwischen der Betonschwelle und der obersten Schottererschicht, wodurch die Schotterkontaktpressung erheblich reduziert wird. Dadurch kann der Schotterverschleiß deutlich reduziert und die Gleislagequalität langfristig verbessert werden. Schwellensohlen sind eine wirtschaftlich attraktive Möglichkeit, Körperschall und Schwingungen zu verringern. Dies wird durch die Bildung eines schwingungsfähigen Systems erreicht.

In diesem Beitrag werden die Ergebnisse von Schwingungsmessungen vorgestellt, bei denen ein Holzschwellengleis auf ein Betonschwellengleis umgebaut wurde. Der Einbau erfolgte auf einem Abschnitt im Netz der Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB), wobei die Vorgabe war, durch die Umbaumaßnahme mindestens den gleichen Erschütterungsschutz zu erreichen wie vor der Umbaumaßnahme. Im Frequenzbereich um 63 Hz (ein in der Literatur häufig zum Vergleich herangezogener Wert) wurde bei den Vibrationsmessungen für die verschiedenen Zugklassen eine signifikante Reduktion der Schwingungen festgestellt. Darüber hinaus wurde eine spürbare Verringerung der Schwingungen im niedrigen Frequenzbereich gemessen. Diese Ergebnisse zeigen, dass Körperschall und Erschütterungen durch hochelastische Schwellensoleen reduziert werden können.

1 EINLEITUNG

Mechanische Schwingungen werden von den fahrenden Zügen durch den Kontakt zwischen Rad und Schiene erzeugt. Diese Schwingungen (Emission) breiten sich in Wellen durch den Boden aus (Transmission) und werden am Empfangsort (Immission) oft als störend empfunden (Abbildung 1). Erschütterungen können sich negativ auf die Anwohner und schützenswerte Gebäude auswirken. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die Schwingungen aufgrund von Resonanzeffekten verstärkt werden oder wenn abgestrahlter Körperschall durch höherfrequente Komponenten der Schwingungen entsteht. Lärm und Erschütterungen sind eine allgegenwärtige, unerwünschte Begleiterscheinung der Schienenmobilität. Die Erhaltung und Steigerung der Lebensqualität, speziell in schnell wachsenden Ballungsräumen, erfordert daher geeignete Maßnahmen. Es ist bekannt, dass der wirksamste Weg zur Verringerung störender Vibrationen darin besteht, direkt an der Quelle der Emission anzusetzen [1].

Elastische Schichten, wie zum Beispiel Unterschottermatten, reduzieren nachweislich die vom Gleis ausgehenden Schwingungen. Vereinfacht ausgedrückt, wirken solche Schichten wie ein Einmassenschwinger, bei dem die Steifigkeit reduziert und damit die Eigenfrequenz gesenkt wird. Dieser Effekt führt zu einer Verringerung der Schwingungsemissionen vom Gleis auf die Umgebung. Eine höhere Masse senkt die Eigenfrequenz und erhöht damit die Schwingungsisolierung. Dies bietet sich beim Einbau von Unterschottermatten an, da neben der Reduzierung der Steifigkeit die Masse des Schotter eine wichtige Rolle spielt. Allerdings ist der nachträgliche Einbau einer Unterschottermatte schwierig und zeitaufwendig, da der komplette Gleisrost, als auch der Schotter entfernt werden müssen. Schwellensoleen können ebenfalls eine Verringerung der Schwingungen bewirken und sind eine vergleichsweise schnelle Lösung, da lediglich Schwellen mit Schwellensoleen eingebaut werden müssen.

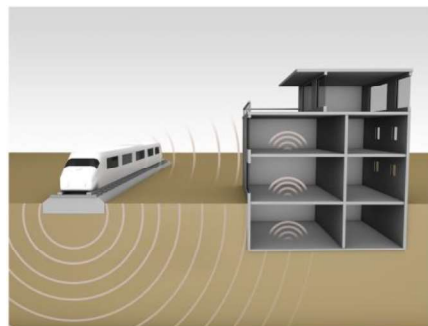


Abbildung 1. Schwingungsübertragung in der Nähe von Eisenbahnverkehr, Quelle aus [1]

2 ZIEL UND UMFANG

In diesem Beitrag werden die Schwingungsmessungen am Oberbau der ÖBB-Strecke Lustenau - Lauterach in Vorarlberg vorgestellt, die für die Anforderungen des Nahverkehrs umgebaut wurde. Ziel der ÖBB war es, im Zuge des Umbaus mindestens den gleichen, wenn möglich sogar einen verbesserten Erschütterungsschutz zu erreichen.

Der Umbau erfolgte von Holzschwellen auf Betonschwellen. Aufgrund der Anforderungen an den Erschütterungsschutz nach den Umbauarbeiten wurden in Abschnitten des sanierten Gleisoberbaus hochelastische Schwellensohlen (Abbildung 2) des Typs SLS1308G zur Reduzierung der Erschütterungsemissionen eingebaut. Vor und nach der Umbaumaßnahme wurden Schwingungsmessungen durchgeführt, um die Wirksamkeit dieser Maßnahme zu bestätigen. Die schwingungsreduzierenden Eigenschaften des Gleises sollten durch die Messung der Vibrationen vor und nach Umbau und der daraus resultierenden Einfügungsdämmung nachgewiesen werden. Zusätzlich wurde ein Referenzabschnitt messtechnisch untersucht, bei dem nur die Umrüstung von Holz- auf Betonschwellen erfolgte, also keine Schwellensohlen verbaut wurden.

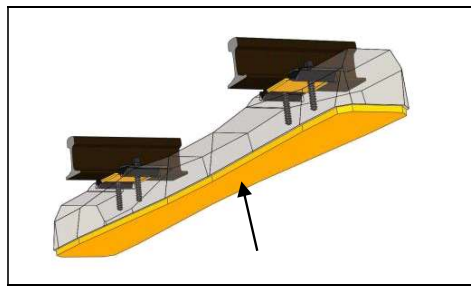


Abbildung 2. Mit einer Schwellensohle ausgerüstete Betonschwelle

3 BESCHREIBUNG DER MESSUNGEN

In diesem Beitrag werden die Messungen diskutiert, die in Abbildung 3 (rot markierte Messstellen) dargestellt sind. Es wurden zusätzlich Messungen in engen Bögen durchgeführt, der Schwerpunkt dieses Beitrags liegt jedoch auf den Messungen, die auf der geraden Strecke durchgeführt wurden. Die Messstelle 1 wurde von Holz- auf beschlote Betonschwellen umgebaut. Die Messstelle 2 wurde von Holz- auf Betonschwellen ohne Schwellensohlen umgebaut:

- Messstelle 1: Holz- auf Betonschwellen mit Schwellensohlen SLS1308G ($C_{\text{stat}} = 0,075 \text{ N/mm}^3$ nach EN 16730 TC3 Kategorie), km 7+500, Lerchenauerstraße Hard
- Messstelle 2: Holz- auf Betonschwellen ohne Schwellensohlen, km 7+900, Rotachsstraße Lauterach

Die Erschütterungsmessungen wurden entsprechend den aktuellen Normen durchgeführt [2]. Für die Erschütterungsmessungen wurden jeweils drei Messpunkte pro Messstelle herangezogen, um die Aussagekraft zu erhöhen. Die Positionen der Messpunkte innerhalb einer Messstelle werden in Abbildung 4 gezeigt. Die Messungen vor Umbau der Strecke fanden im März 2021 statt. Die Messungen nach Umbau der Strecke erfolgten etwa ein Jahr später im April 2022. Die Schwingungen neben dem Gleis wurden wie nachfolgend beschrieben gemessen.



Abbildung 3. Messstellen auf der Strecke Lustenau-Lauterach mit und ohne Schwellensohlen

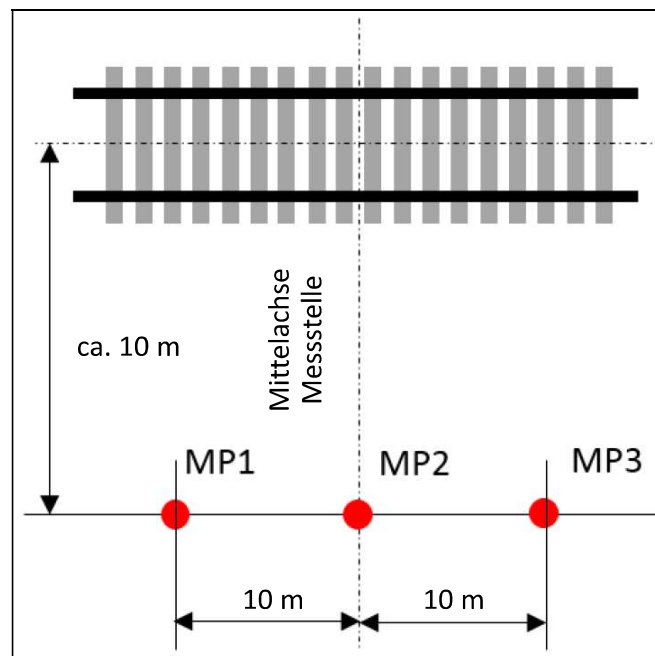


Abbildung 4. Messpunkte für die Erschütterungsmessungen an jeder Messstelle



Abbildung 5. Gemessener Zugverkehr: Talent (links), ETR610 (Mitte), Güterzug (rechts)

Der Streckenabschnitt wurde von Fahrzeugen mit unterschiedlichen Achslasten befahren, daher werden die Messungen für drei Fahrzeugtypen unterschieden: Typ Talent, ETR610 und Güterzug (Abbildung 5), mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 60 km/h. Damit sollen die Auswirkungen der Schwingungsreduzierung für die verschiedenen Fahrzeugtypen analysiert werden.

4 DYNAMISCHE ANALYSE UND MESSAUSWERTUNG

Die Schwingungsmessungen wurden im Frequenzbereich von 4 Hz bis 315 Hz erfasst, der Referenzwert ist 5×10^{-8} m/s (Max-Hold-Methode, jeweils ganzer Zug) [3]. Abbildung 6 zeigt die gemessenen Schwingungspegel im Abstand von 10 m neben dem Gleis an der Messstelle 1 mit Holzschwellen vor dem Umbau, beispielhaft zunächst nur für alle vorbeifahrenden Talent-Züge. Abbildung 7 zeigt die gemessenen Schwingungspegel aller vorbeifahrenden Talent-Züge an der Messstelle 1, 10 m neben dem beschlachten Betonschwellengleis nach dem Umbau.

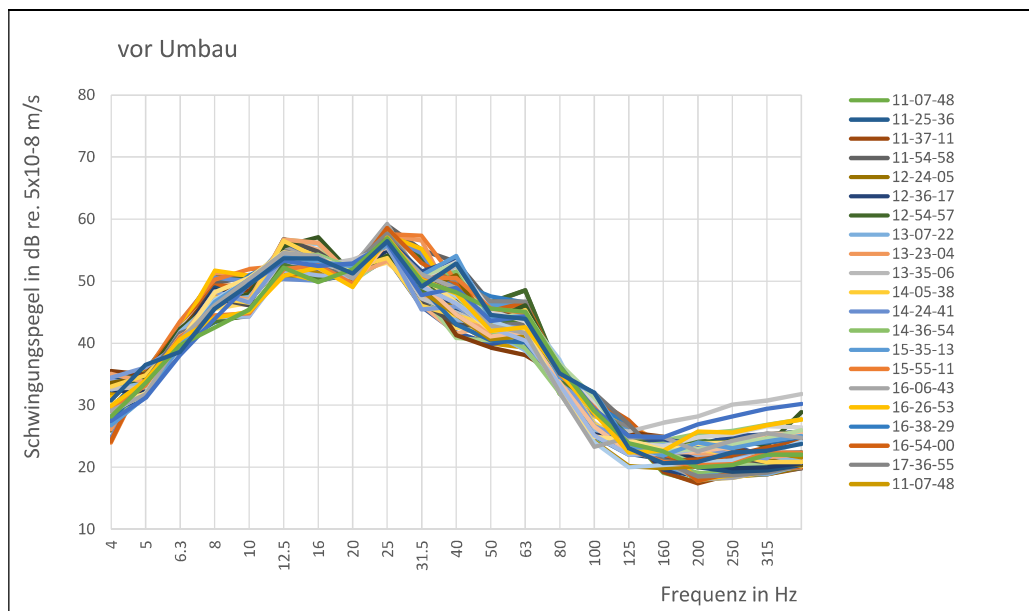


Abbildung 6. Schwingungspegel Messstelle 1, Holzschwellen vor Umbau, 10 m neben dem Gleis, Talent-Züge

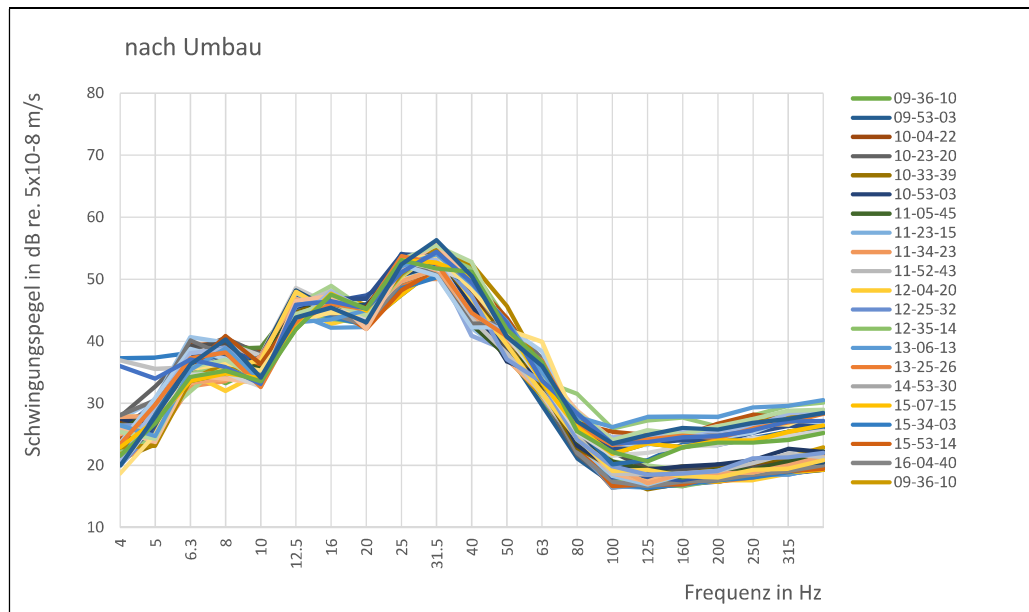


Abbildung 7. Schwingungspegel Messstelle 1, besohlte Betonschwellen nach Umbau, 10 m neben dem Gleis, Talent-Züge

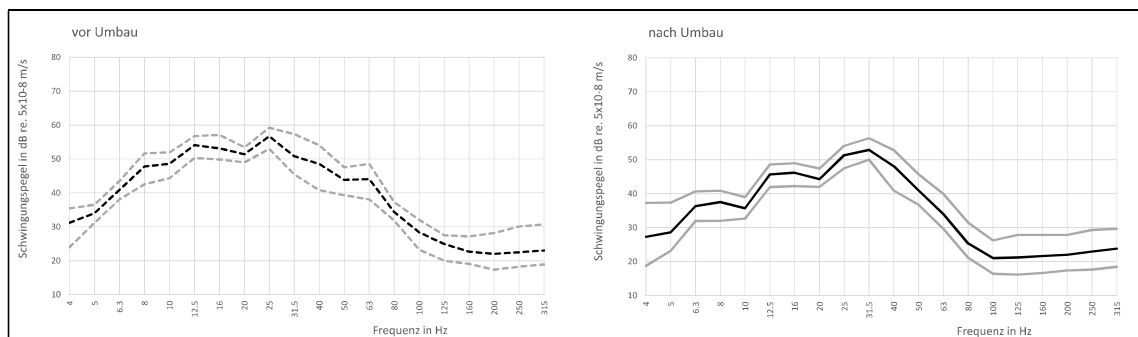


Abbildung 8. Mittelwert der Schwingungspegel an Messstelle 1, Holzschwellen vor Umbau (links) und besohlte Betonschwellen nach Umbau (rechts). Die grauen Linien unter und über den Mittelwerten sind die Maximal- und Minimalwerte.

Abbildung 8 beinhaltet die Ermittlung des Mittel-, Maximal- und Minimalwertes des Schwingungspegels für alle gemessenen Talent-Züge an der Messstelle 1 vor und nach dem Umbau (von Holzschwellen auf besohlte Betonschwellen). Der Vergleich der entsprechenden durchschnittlichen Schwingungspegel für die Messungen vor und nach dem Umbau ist in Abbildung 9 dargestellt. Nahezu im gesamten Frequenzbereich, von 4 Hz bis 315 Hz, sind die mittleren Schwinggeschwindigkeiten nach dem Umbau auf Betonschwellen mit Besohlung SLS1308G geringer, verglichen mit dem ursprünglichen Holzschwellenoberbau. Lediglich im Bereich um 31,5 Hz sind die Schwinggeschwindigkeiten auf etwa gleichem Niveau. Frequenzen von 40 Hz bis 200 Hz können hierbei erfahrungsgemäß hauptverantwortlich für den sekundären Luftschall in angrenzenden Gebäuden sein [4].

Um einige Ergebnisse herauszustellen: Der Maximalpegel bei 25 Hz konnte von 56,7 dB auf 51,3 dB abgemindert werden. Bei der, in der Literatur oftmals betrachteten, Terzmittenfrequenz von 63 Hz konnte, bei einer Zuggeschwindigkeit von 60 km/h, der mittlere Pegel von 44,1 dB auf 34,0 dB reduziert werden.

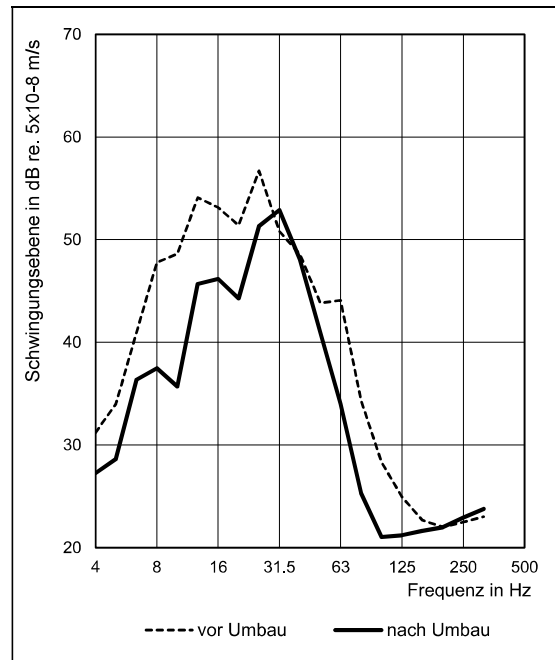


Abbildung 9. Durchschnittliche Schwingungspegel Messstelle 1, vor und nach Umbau

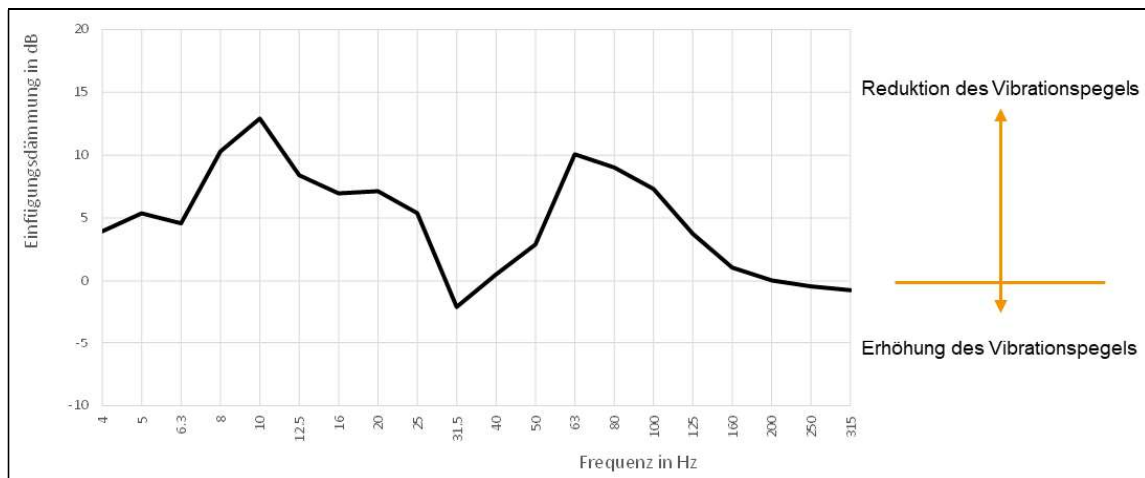


Abbildung 10. Einfügungsdämmung an Messstelle 1, Umbau von Holz- auf Betonschwellen
besohlt, Talent-Züge

Der letzte Schritt ist die Bestimmung der Einfügungsdämmung als Vergleich der Situationen vor und nach dem Umbau, dargestellt als Differenz der jeweiligen Schwingungsgeschwindigkeiten. Die in der Einheit dB ausgedrückte Einfügungsdämmung ist ein Maß für die schwingungsisolierende Wirkung. Positive Einfügungsdämmungswerte bedeuten eine Verringerung der Schwingungen und damit eine positive Wirkung, während eine negative Einfügungsdämmung eine Zunahme der Schwingungen und damit eine negative Wirkung bedeutet. Abbildung 10 zeigt die Einfügungsdämmung, die sich durch den Umbau von Holzschwellen auf besohlte Betonschwellen an der Messstelle 1 für die Talent-Züge ergibt.

Die folgenden Aussagen können getroffen werden:

1. Im Bereich der Terzmittenfrequenz von 63 Hz, die in der Literatur oftmals vergleichend herangezogen wird, wurde im Mittel ein Einfügungsdämmmaß von 10,1 dB erreicht. Dies entspricht einem Isolationsgrad bzw. einer Erschütterungsreduktion von 69 %.
2. Im Bereich der erwarteten Oberbaueigenfrequenz (hier bei etwa 30 Hz) liegt eine leichte Resonanzverstärkung von ca. 2 dB im Mittel vor. Diese ist relativ gering, die gute Dämpfungswirkung des Schotters dürfte sich hier positiv auswirken.
3. Unterhalb von 30 Hz ist eine positive Einfügungsdämmung festzustellen. Die Minderungen liegen im Mittel im Bereich von über 5 dB, stellenweise sogar bis 12,5 dB. Dies ist wahrscheinlich auf die verbesserte Gleislage nach dem Umbau zurückzuführen. Die Schwellensoleen sorgen hier über die Zeit dafür, dass dieser gute Zustand länger erhalten bleiben kann als ohne Schwellensoleen.
4. Im Bereich des abgestrahlten Körperschalls bzw. sekundären Luftschalls, der üblicherweise zwischen 40 Hz und 125 Hz signifikant sein kann, ist die Dämmleistung sehr hoch (im Mittel 10,1 dB bei 63 Hz). Allerdings fällt die Dämpfungsleistung bei 160 Hz sehr stark ab. Dies ist erfahrungsgemäß auf die weichen Zwischenlagen mit einer Steifigkeit von 100 kN/mm zurückzuführen (Zweimassenschwinger-Effekt).

Im Frequenzbereich von 63 Hz, variiert das Einfügungsdämmmaß mit Schwellensoleen in Abhängigkeit der Zuggattungen zwischen 9,8 dB und 11,1 dB (Daten nicht gezeigt). Bei der Messstelle 2 in der Rotachsstraße, wo die Erneuerung von Holz- auf Betonschwellen ohne Schwellensoleen erfolgte, schwankte die durchschnittliche Einfügungsdämmung zwischen 0 dB und 2 dB für die verschiedenen Zug-Typen (Daten nicht gezeigt). Dies zeigt, dass hier, beim Umbau von alten Holzschwellen auf eine Neulage mit Betonschwellen, fast keine Veränderung der Schwingungspegel bewirkt wurde, während die Verwendung von Schwellensoleen zu einer erheblichen Verringerung der Schwingungen führte.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Die Messungen wurden auf der Strecke Lustenau-Lauterach vor Umbau, Holzschwellen mit S49 Schienen, und nach Umbau, Betonschwellen besohlt mit S54 Schienen, durchgeführt. Seitens den ÖBB bestand das Ziel darin, mindestens einen gleichbleibenden, wenn möglich sogar einen verbesserten Erschütterungsschutz im Zuge der Umbaumaßnahmen zu erzielen. Es wurden Betonschwellen mit Getzner Polyurethan Schwellensoleen Typ SLS1308G eingebaut.

An der Messstelle 1 in der Lerchenauerstraße, wurde für Talent Züge mit einer Geschwindigkeit von 60 km/h im Frequenzbereich um 63 Hz, der in der Literatur oftmals vergleichend herangezogen wird, ein mittleres Einfügungsdämmmaß von 10,1 dB mit Schwellensoleen erreicht, dies entspricht einer Reduktion der Schwingungen von 69 %.

6 FAZIT

Der Eisenbahnverkehr erzeugt mechanische Schwingungen aufgrund der Wechselwirkung zwischen Fahrzeug und Fahrbahn, die entweder als Körperschall über das Erdreich oder als Luftschall übertragen werden. Mit geeigneten Schwellensohlen zum Beispiel aus Sylomer® bzw. Sylodyn® lassen sich nach heutigem Kenntnisstand die Schwingungen im, für den Körperschall relevanten Frequenzbereich (von 40 Hz bis 200 Hz), um bis zu 10 dB vermindern. Optimierte Schwellensohlen können eine technische und wirtschaftliche Verbesserung des Schotteroberbaus darstellen, wobei besonderes Augenmerk auf das verwendete Produkt gelegt werden muss. Schwellensohlen aus Polyurethan, die bedarfsgerecht elastische, elasto-plastische oder plastische Eigenschaften aufweisen, zeigen das Potential zukünftiger Entwicklungen.

7 LITERATUR

- [1] Sehner, M., Valdés Nava, L. E., Seidl-Nigsch, M., & Loy, H.: Vibration Mitigation: Under-Ballast Mats in Heavy-Haul Applications. Practice Periodical on Structural Design and Construction, 28(4), 05023004, 2023.
- [2] DIN 45673-3: Mechanische Schwingungen - Elastische Elemente des Oberbaus von Schienenfahrwegen - Teil 3: Messtechnische Ermittlung der Einfügungsdämmung im eingebauten Zustand (Versuchsaufbau und Betriebsgleis), 2004
- [3] Wettschureck, R. G.; Kurze, U. J.: Einfügungsdämm-Maß von Unterschottermatten. ACUSTICA, 58, S. 177-182, 1985
- [4] Loy, H.: Körperschall-/Erschütterungsschutz durch besohlte Schwellen - Wirkung und Grenzen. Eisenbahntechnische Rundschau, ETR Nr. 12, Dezember 2012.