

Körperschall-/Erschütterungsschutz durch besohlte Schwellen – Wirkung und Grenzen

Elastische Schwellenbesohlungen können eine wirtschaftliche Möglichkeit darstellen, um vor lästigen Schwingungen aus dem Eisenbahnverkehr zu schützen. Es wird nicht nur der Fahrweg gleichmäßiger ausgebildet und Hohllagen unterhalb der Schwellen vermieden, auch Körperschall-Immissionen in gleisnahen Gebäuden lassen sich effektiv reduzieren.

→ Nachfolgend werden die Einflüsse des Oberbaus auf die Entstehung von Körperschall sowie die Wirkungsweise und der Nutzen von Schwellenbesohlungen erläutert.

1. SCHWINGUNGEN AUS DEM EISENBAHNVERKEHR

Ein fahrender Zug erzeugt aus dem Rad/Schiene-Kontakt mechanische Schwingungen. Diese Schwingungen (Emission) breiten sich durch den Untergrund (Transmission) wellenförmig aus und werden am Empfänger (Immission) oftmals als störend wahrgenommen. Von Erschütterungen spricht man, wenn diese Einwirkungen für den Menschen spürbar sind. Die Lebensqualität von Anwohnern kann dadurch in erheblichem Maße negativ beeinflusst werden. Insbesondere dann, wenn sich in den bewohnten Räumen die Schwingungen aufgrund von Resonanzeffekten verstärken bzw. abgestrahlter Körperschall als Folge höherfrequenter Anteile von Schwingungen auftritt. Der abgestrahlte Körperschall, der auch als sekundärer

Luftschall bezeichnet wird, ist meist als dumpfes, grollendes Geräusch zu hören. Dieses Geräusch kann durch den von außen kommenden, primären Luftschall, überlagert werden. Die Übertragungswege sind in Bild 1 dargestellt. Lärm und Erschütterungen stellen eine allgegenwärtige, unerwünschte Nebenerscheinung unserer Mobilität dar. Die Erhaltung und Steigerung der Lebensqualität, gerade in stark wachsenden Ballungszentren, verlangt daher nach geeigneten Maßnahmen. Am effektivsten ist es bekanntlich, wenn man zur Reduktion von störenden Schwingungen direkt an der Quelle der Emission ansetzt.

2. OBERBAUQUALITÄT ALS EMISSIONSPARAMETER

Die Qualität des Eisenbahnoberbaus hat einen erheblichen Einfluss auf die Entstehung von Schwingungen. Je gleichmäßiger der Oberbau ausgebildet ist, desto geringer ist die Kraft- und Parameteranregung bei Überfahrt eines Zuges. Der Gleisrost selbst ist im Regeloberbau schwimmend gelagert.



Dipl.-Ing. Dr. Harald Loy
Forschung & Entwicklung,
Getzner Werkstoffe GmbH
Bludenz/Bürs
harald.loy@getzner.com

Wiederholte dynamische Belastungen führen über die Zeit zu Veränderungen der Gleislage, was zusätzliche Beschleunigungen der Radsätze hervorruft. Die auftretenden Kräfte beeinflussen aus der Rückkoppelung weiterhin die Lagequalität. Zeitlich bedingte Verschleißerscheinungen auf der Schienenoberfläche und Hohllagen unter den Schwellen verstärken diese Vorgänge bzw. sind das Resultat daraus. Das System schaukelt sich zunehmend auf, wodurch auch die Emissionen anwachsen. Durch Stopfen und Richten muss der Oberbau dann wieder in seine Ausgangslage zurückversetzt werden. Der zeitliche Verlauf einer Verschlechterung wird maßgeblich von der Anfangsqualität des Oberbaus bestimmt [1]. Das primäre Ziel muss es daher sein, schon beim Einbau die Voraussetzungen für einen guten und möglichst formstabilen Fahrweg zu schaffen. Gleichmäßigkeit und Nachgiebigkeit stellen dabei die wichtigsten Grundvoraussetzungen für ein hochwertiges Oberbausystem dar. Durch die definierte Anordnung elastischer Elemente, wie Schwellenbesohlungen, kann der Fahrweg diesem Ziel nähergebracht werden.

3. SCHWELLENBESOHLUNGEN VERBESSERN DIE GLEISLAGE

Die Verwendung von Schwellenbesohlungen wird in den letzten Jahren bei den Eisenbahngesellschaften aufgrund unterschiedlicher Interessen intensiviert. Vorrangiges Ziel ist die Verbesserung der Gleislage und

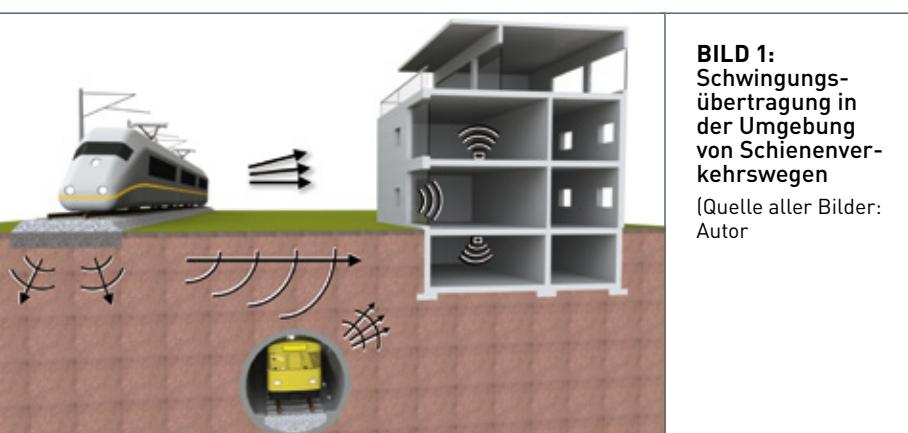


BILD 1:
Schwingungs-
übertragung in
der Umgebung
von Schienenver-
kehrswegen
(Quelle aller Bilder:
Autor)

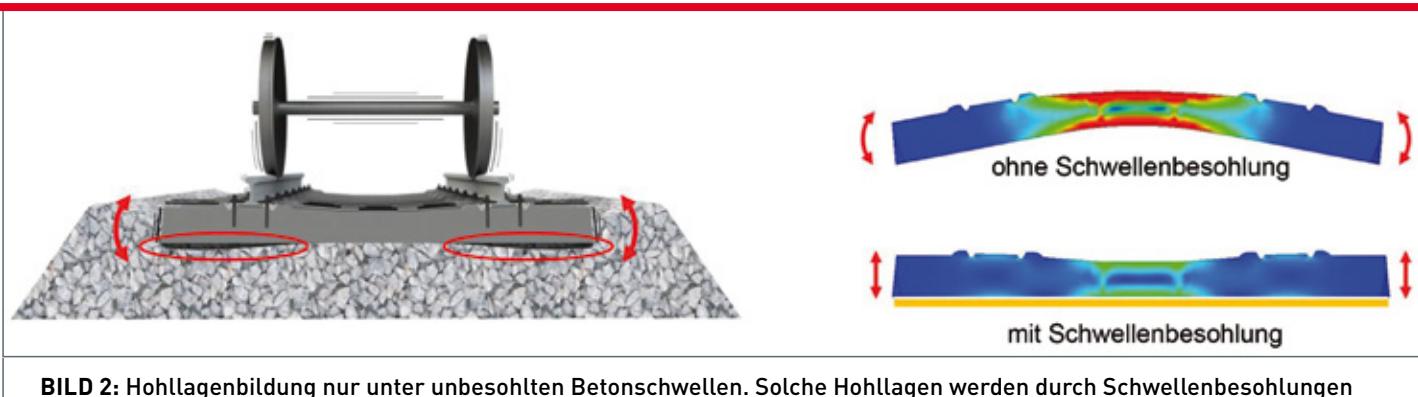


BILD 2: Hohllagenbildung nur unter unbesohlten Betonschwellen. Solche Hohllagen werden durch Schwellenbesohlungen vermieden, was zu einer gleichmäßigeren Lastabtragung führt

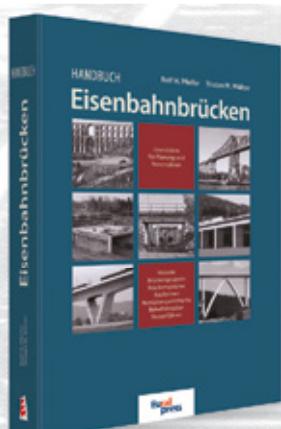
die langfristige Schotterschonung. Durch die Anordnung des elastischen Materials unter den Betonschwellen wird eine direkte Hartauflage auf dem Schotter unterbunden. Die oberste Schotterlage kann sich in das Besohlungsmaterial einbetten, wodurch die Kontaktfläche vergrößert wird (2–8 % ohne Besohlung, auf bis zu 30–35 % mit Besohlung). Zu hohe Kontaktspannungen werden dadurch vermieden. Die größere Schotterkontaktefläche und die gleichmäßige Betzung führen zu einer höheren Stabilität des Schotterbetts, geringeren Gleissetzungen und zu einem reduzierten Verschleiß an den wesentlichen Komponenten des Fahrweges. Diese positiven Wirkungsweisen konnten bei Schwellenbesohlungen in Theorie und Praxis nachgewiesen werden: Wie durchgeführte Laborversuche und Gleismessungen zeigen, ist der Querverschiebewiderstand von besohlten Schwellen dabei durchwegs höher als bei herkömmlichen Betonschwellen. Mit denjenigen Besohlungen, die aufgrund ihrer spezifischen Materialeigenschaften eine vergleichsweise tiefere Einbettung der Schottersteine zulassen, was somit zu einem größeren Kontaktflächenanteil führt, wurde ein weiterer Anstieg des Querverschiebewiderstands gemessen [2]. Insbesondere die Tatsache, dass in einem besohlten Schottergleis die Hohllagenbildung nahezu vollständig vermieden wird, zeigt, dass die Betonschwellen ein wesentlich positiveres Lageverhalten aufweisen. Während beispielsweise im Streckennetz der Österreichischen Bundesbah-



BILD 3:
Einbau von
Betonschwellen
mit Sylomer®-
Schwellen-
besohlung

nen an 7 von 10 unbesohlten Betonschwellen im Laufe der Zeit mehr oder weniger stark ausgeprägte Hohllagen zwischen Schwellenunterseite und dem Schotterbett auftraten, konnte in den gemessenen Abschnitten mit Besohlung keine Hohllagenbildung mehr festgestellt werden [3] (vgl. Bild 2). Die Streuung der Gleislage ist in besohlten Bereichen

weit kleiner als in unbesohlten. Diese Eigenschaften haben dazu geführt, dass Schwellenbesohlungen eine deutliche Verbesserung des klassischen Schotteroberbaus bewirken. Nicht zuletzt deshalb sind bei den Österreichischen Bundesbahnen besohlte Schwellen als Regelbauform etabliert. Im Hauptnetz werden heute bei Gleis- und Weichenneu- »



Jahrzehntlange Erfahrung im Brückenbau – jetzt als Handbuch für Sie verfügbar!

Das „Handbuch Eisenbahnbrücken“ begleitet den planenden und ausführenden Ingenieur logisch und konsequent durch alle Planungsphasen bis hin zum fertigen Entwurf für eine Eisenbahnbrücke.

So können Sie einen Entwurf für eine Eisenbahnbrücke erarbeiten, der jeder rechnerischen und bahntechnischen Überprüfung genügt.

Weitere Informationen finden Sie unter www.eurailpress.de/EBruicken

Technische Daten: Titel: Handbuch Eisenbahnbrücken, ISBN 978-3-7771-0378-5, 380 Seiten, Format: 170 x 240 mm **Preis:** EUR 62,00 (inkl. MwSt., zzgl. Versand). VDEI-Mitglieder erhalten 20% Rabatt **Adresse:** DVV Media Group GmbH | Eurailpress - Nordkanalstraße 36 - 20097 Hamburg - Germany, Telefon: +49 40 2 37 14-440 · E-Mail: buch@dvvmedia.com

lagen standardmäßig Betonschwellen mit Schwellenbesohlungen verwendet.

4. SYLOMER® UND SYLODYN® ZUR SCHWINGUNGISOLIERUNG

Eine Eisenbahnstrecke, die aufgrund von Schwellenbesohlungen langfristig eine verbesserte Gleislage aufweist, emittiert durch den ruhigeren Lauf der Züge weniger Lärm und Erschütterungen. Durch Verwendung hochelastischer Materialien werden die Emissionen an die Umgebung zusätzlich verringert, indem das physikalische Prinzip der Schwingungsisolierung zur Anwendung kommt. Die Wirksamkeit von eingesetzten elastischen Komponenten im Eisenbahnoberbau ist dabei abhängig von Faktoren wie Masse, Steifigkeit und Dämpfung. Es wird ein schwingungsfähiges System ausgebildet, dessen Eigenfrequenz idealerweise weit unter den zu isolierenden Anregungsfrequenzen liegt, basierend auf dem Wirkungsprinzip eines Ein- bzw. Mehrmassenschwingers. Als wesentliche Federkomponente zur Reduktion der Emissionen haben sich die technischen Werkstoffe Sylomer® bzw. Sylodyn® bewährt. Den Anforderungen entsprechend können diese Materialien mit einer mehr oder minder ausgeprägten Dämpfungskomponente versehen sein, insbesondere zur Vermeidung zu starker Resonanzüberhöhungen im Bereich der Eigenfrequenz. Mit einer auf den jeweiligen Anwendungsfällen genau abzustimmenden dynamischen Steifigkeit, können Schwellenbesohlungen somit ihre schwingungsisolierende Wirkung im Gleis zielgerecht entfalten. Je höher die dynamische Wirksamkeit des gewählten Polyurethan-Werkstoffes (PUR) ist, desto größer ist in der Regel auch der zu erreichende Vibrationsschutz. Bild 3 zeigt Betonschwellen mit einer bereits aufgebrachten Besohlung aus dem Werkstoff Sylomer® kurz vor dem Einbau.

5. GEMESSENE EINFÜGUNGSDÄMMUNGEN

Die erschütterungsmindernde Wirkungsweise von elastischen Elementen im Einbauzustand wird entsprechend der Normgebung durch die sogenannte Einfügungsdämmung quantifiziert [4]. Die Einfügungsdämmung beschreibt die relative Wirkung einer Minderungsmaßnahme gegenüber einer Referenzsituation. Sie gibt beispielsweise an, wie sich das Terzspektrum des Körperschalls verändert, wenn etwa Schwellenbesohlungen eingebaut werden. Dabei bleiben idealerweise alle übrigen Emissionseinflüsse unverändert, d.h. es wird das gleiche Fahrzeug, dieselbe Geschwindigkeit und die identische Schienenerauhigkeit etc. betrachtet. Da das elastische Element das Gesamtsystem Eisenbahn beeinflusst, können bei geänderten Oberbauverhältnissen, anderen Untergründen bzw. anderen Fahrzeuggarnituren die frequenzabhängigen Einfügungsdämmungen abweichen. Bild 4 zeigt eine Reihe von gemessenen Einfügungsdämmungen an unterschiedlichen Eisenbahnstrecken – mit verschiedenen Schwellenbesohlungen aus PUR-Material.

Wie aus den gemessenen Einfügungsdämmungen ersichtlich ist, liegen die Eigenfrequenzen der besohlten Oberbauten in der Regel bei etwa 30–40 Hz. In dem für den abgestrahlten Körperschall relevanten Bereich größer als 50 Hz (hier stellt der Sekundärluftschall das maßgebende Kriterium dar) ergibt sich eine Streuung in der Dämmwirkung von ca. 4–14 dB (63 Hz) über alle Besohlungstypen. Mit regulär elastischen Besohlungen sind 4–7 dB erreichbare Werte. Demgegenüber stehen die im Zusammenhang mit der Körperschallisolierung besonders zu betrachtenden, hochelastischen Schwellenbesohlungen. Sie zeigen beispielhaft das enthaltene Leistungsvermögen auf: Mit einem derart akustisch optimierten Schotteroberbau können maximale Dämmwirkungen von

11–14 dB erzielt werden (63 Hz)! Die durchgeführten Messungen belegen eine Effizienz dieser Besohlungstypen, die ursprüngliche Erwartungen mehr als erfüllte. Zum näheren Verständnis: 10 dB entsprechen bereits einem Isoliergrad (Reduktion) von 69 %. Im tiefen Frequenzbereich kleiner als 50 Hz ergibt sich dabei nahezu keine Verstärkung (-1 bis -3 dB), unterhalb von 25 Hz wird sogar nochmals eine Dämmwirkung von bis zu etwa 8 dB deutlich. Dieser Effekt dürfte im Wesentlichen aus der besseren Lage der Schwellen im Schotterbett resultieren (satte Einbettung, keine hohlliegenden Schwellen) bzw. auf positivere Oberbau-/Fahrzeug-Wechselwirkungen zurückzuführen sein. Im Bereich 100–160 Hz ist teilweise eine Verminderung der Dämmung vorhanden („Zweimassenschwinger-Effekt“, nur bei weichen Zwischenlagen). Es bleibt allerdings fast immer bei einer positiven Wirkung (Minderung), ohne den zu vermeidenden Einbruch (mit einer verstärkenden Wirkung). Mit den bisherigen Erkenntnissen dürfte die grundsätzliche Eignung von Schwellenbesohlungen zur Schwingungsisolation nachgewiesen sein! Die Wahl des richtigen Produktes ist aber entscheidend. Dies gilt sowohl für Schwellenbesohlungen auf freier Strecke, als auch im Tunnel (s. Bild 5).

6. MÖGLICHKEITEN ZUR PROGNOSE DER VIBRATIONSDÄMMUNG

Aus den Ergebnissen der bisher gemessenen Strecken ist die frequenzabhängige Wirkung von Schwellenbesohlungen ersichtlich (Bild 4). Eine verhältnismäßig einfache Möglichkeit für die rechnerische Prognose einer solchen vibrationsmindernden Wirkungsweise stellt das Impedanzmodell dar [4, 5, 6]. Ursprünglich für Unterschottermatten konzipiert, kann dieses Modell prinzipiell auch für die Berechnung von Schwellenbesohlungen herangezogen werden. Die Einfügungsdämmung beschreibt hier ebenso die Relation

BILD 4: Gemessene Einfügungsdämmungen mit verschiedenen Schwellenbesohlungen

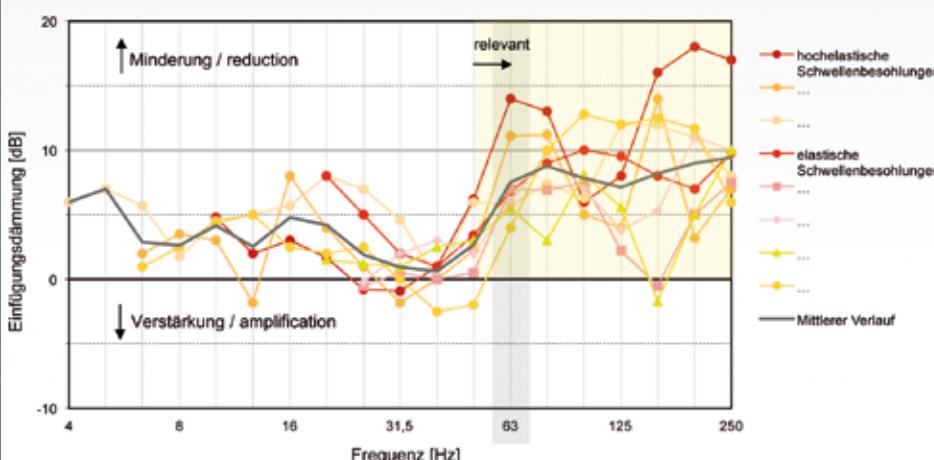


BILD 5: Schwellenbesohlungen im Schotteroberbau einer Tunnelröhre



zwischen den Schwinggeschwindigkeitsamplituden im Boden ohne eingefügter Elastizität, zu den Amplituden im Boden mit eingefügter Elastizität. Neben Federimpedanz des elastischen Materials wird auch die Abschlussimpedanz des Untergrundes berücksichtigt, was bei einem weicheren Planum im Frequenzbereich >125 Hz typischerweise zu einem abfallenden Verlauf, mit einer geringeren Wirkung im Terzspektrum führen kann. (vgl. Bild 6: Impedanzmodell – linkes Diagramm) Ein möglicher Einbruch der Dämmwirkung bei 100–160 Hz bei vorhandenen weichen Zwischenlagen ist nicht abzubilden. Ebenso wenig die bei Messungen oftmals festgestellte positive Wirkungsweise aufgrund der verbesserten Gleislage mit besohlten Schwellen im Frequenzbereich <25 Hz. Eine Möglichkeit, das im Gleis gemessene Verhalten auch mit einer Prognoseberechnung besser wiedergeben zu können, läge in der Verwendung eines ‚semi-empirischen‘ Ansatzes. Ein teilweise auf Erfahrungswerten basierendes Modell mit drei Bereichen könnte die Realität näher beschreiben (vgl. Bild 6: ‚Semi-empirischer‘ Ansatz – rechtes Diagramm, Bereich 1: Offset für verbesserte Gleislagequalität. Bereich 2: Berücksichtigung der abschwächenden Wirkung weicher

Zwischenlagen. Bereich 3: Optionaler abfallender Verlauf zur Berücksichtigung der abmindernden Wirkung des Planums). Es ist zu bedenken, dass die Anwendung einer solchen empirischen Berechnungsmethode unter Umständen nach mehr in situ-Messungen verlangt, um zukünftig treffendere Aussagen über die Wirkungsweise von Schwellenbesohlungen zur Schwingungsisolation machen zu können. Es soll an dieser Stelle nur ein Denkanstoß sein – die Genauigkeit einer Prognose bei Schwellenbesohlungen könnte mit einer hohen Wahrscheinlichkeit durch die Empirie aber verbessert werden.

7. AUSWIRKUNGEN AUF DIE PRIMÄRE LUFTSCHALLABSTRAHLUNG

Wie bisherige Messungen im Gleis gezeigt haben, hat der Einbau von Schwellenbesohlungen keinen signifikanten Einfluss auf die primäre Luftschallabstrahlung des Eisenbahnoberbaus. Unmittelbar nach dem Einbau kann im Frequenzbereich von 50–100 Hz zwar mit einer Verbesserung von etwa max. 5 dB gerechnet werden, demgegenüber steht aber eine Verschlechterung des primären Luftschalls von ebenfalls bis zu 5 dB im darü-

ber liegenden Frequenzspektrum über 100 Hz [7]. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass sich i. d. R. in unbesohlten Strecken die Gleislage vergleichsweise viel rascher verschlechtert und gleichzeitig lokale Einzelfehler (z. B. hohlliegende Schwellen) bzw. Oberflächenfehler an der Schiene (z. B. Riffelbildung der Innenschienen in engen Bögen) entstehen. Solche Verschlechterungen der Gleisqualität können eine enorme Erhöhung des Luftschalls verursachen. Verrifelte Schienen können bei Zugüberfahrt beispielsweise zu einer Schallpegelerhöhung von mehr als +15 dB führen. Die verbesserte Langzeitqualität von Gleisen mit Schwellenbesohlungen ist nachgewiesen. Ein kurzzeitiger direkter Einfluss auf die primäre Luftschallabstrahlung scheint vernachlässigbar. Zu diesem Thema müssen aber noch weitere Messungen erfolgen.

8. TECHNISCH OPTIMIERTE SCHWELLENBESOHLUNGEN

Schwellenbesohlungen, die vorrangig zur Verbesserung der Gleislage und Schotter-schonung eingesetzt werden, bestehen idealerweise aus einem widerstandsfähigen ➤

Europäische Bahnen '12|'13

Verzeichnis der Eisenbahnverkehrs- und infrastrukturunternehmen

29 Länder

1.121 Unternehmen

2.300 Ansprechpartner

13.500 Triebfahrzeuge



Technische Daten:
ISBN 978-3-7771-0437-9
Format 148 x 215mm
Preis: EUR 128,-
(inkl. MwSt., zzgl. Versand)
rabattierter Preis
(für Rail.Business Abonnenten):
EUR 96,- (inkl. MwSt., zzgl. Versand)

Die Marktübersicht **Europäische Bahnen** liefert Ihnen zum Bahnmarkt in Europa einen aktuellen Überblick.

In der 6. Auflage finden Sie:

- Einleitungskapitel zu jedem Land mit Informationen zum aktuellen Stand des Bahnmarkts, zur Marktstruktur sowie Adressen zu Aufsichtsbehörden
- Übersichts-Streckenkarten zu den behandelten Ländern
- **Und ganz neu:** Streckenkarten und Organigramme ausgewählter Unternehmen

In Zahlen bedeutet dies:

- rund **1.121 Unternehmen** mit allen Daten zu Gesellschaftern, Management, Historie und Verkehr
- ein **Personenindex** mit mehr als 2.300 Einträgen
- **29 Länder** und mehr als **13.500 Triebfahrzeuge** der privaten Bahngesellschaften mit ihren Herstellerdaten

Diese Datenfülle mit ihrem hohen Qualitätsstandard ist einzigartig in Europa.

Mit dem Buch erhalten Sie eine **CD-ROM**. Diese enthält detaillierte Fahrzeuglisten sowie alle Inhalte des Buches als PDF (**Volltextsuche** möglich).

Bestellen Sie Ihr Exemplar unter www.eurailpress.de/eb

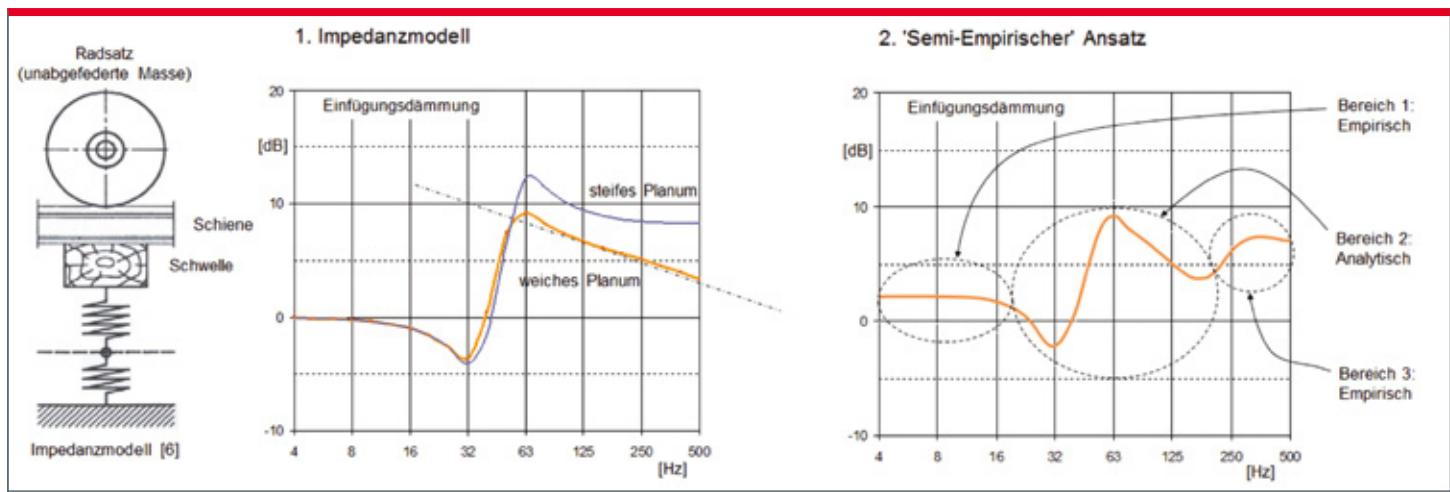


BILD 6: Modellansätze zur Prognose der Einfügungsdämmung von Schwellenbesohlungen

Material mit einer visko-plastischen Eigenschaft, die sich positiv auf die Schottereinbettung auswirkt. Schwellenbesohlungen hingegen, die primär zur Schwingungsisolierung eingesetzt werden, benötigen ein eher weiches, dynamisch hochelastisches Material mit geringer Dämpfung. Wie die Erläuterungen dieses Artikels zeigen, sind für einen effektiven Immissionsschutz aber beide Ansätze wichtig. Um sowohl die Entstehung der störenden Schwingungen durch eine stabile und sichere Gleislage, als auch deren Übertragung durch das physikalische Prinzip der Schwingungsisolierung zu reduzieren, bietet sich daher eine Kombination verschiedener Materialien an. Bild 7 zeigt eine Schwellenbesohlung im Sandwich-Aufbau mit mehreren funktionalen Schichten.

Die weiche und akustisch hochwirksame Federschicht aus Sylodyn® ist dabei schützend eingebettet zwischen einem Anbindemedium aus Polyamid zur Schwellenbetonseite und einer visko-plastischen Schicht zur Schotterseite. Eine derartige Funktionstrennung deckt

mehrere Aspekte ab und kann damit auch kombinierten Anforderungen gerecht werden. isolation sind äußerst vielversprechend, die Forschungen auf diesem Gebiet werden weitergeführt. ↩

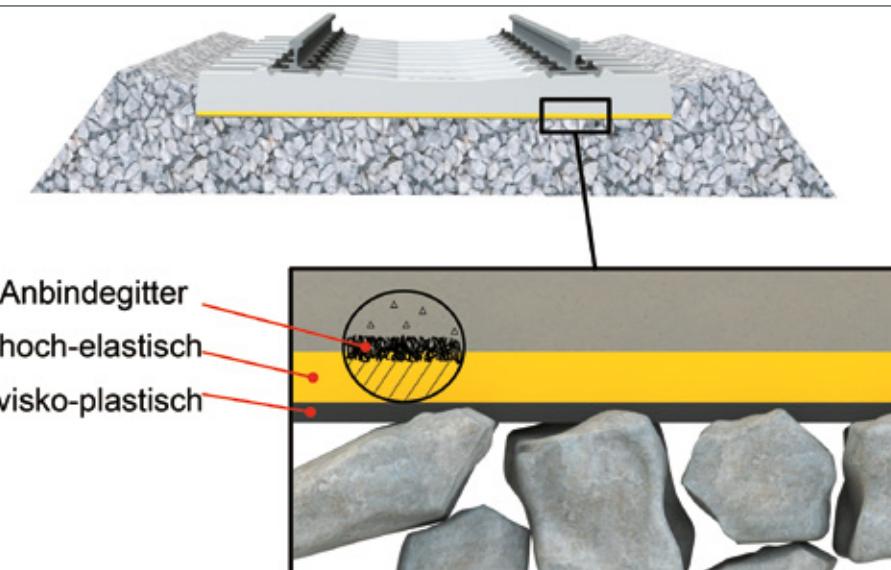
9. SCHLUSSFOLGERUNG

Fahrende Züge erzeugen mechanische Schwingungen, die entweder als Körperschall über das Erdreich oder als Luftschall übertragen werden. Mit geeigneten Schwellenbesohlungen aus Sylomer® bzw. Sylodyn® lassen sich nach heutigem Kenntnisstand die Schwingungen im für den Körperschall relevanten Frequenzbereich um mehr als 10 dB vermindern. Ein signifikanter Einfluss auf den primären Luftschall konnte bisher nicht nachgewiesen werden. Technisch optimierte Schwellenbesohlungen können eine wirtschaftliche Verbesserung des klassischen Schotteroberbaus darstellen, es kommt allerdings auf das verwendete Produkt an. Die bisherigen Erkenntnisse beim Einsatz von Schwellenbesohlungen zur Schwingungs-

Literatur

- [1] Veit, P.; Marschnig, S.: Towards a more sustainable track. Railway Gazette International, January 2011, S. 42-44
- [2] Iliev, D.: Versuche mit elastisch besohlten Schwellen – Elastizität, Kontaktspannungen, Querverschiebewiderstand. Getzner Bahnfachtagung Schwarzenberg/Vorarlberg, Oktober 2011
- [3] Auer, F.: Einfluss von elastischen Komponenten auf das Gleisverhalten. ÖVG Tagung Salzburg, Band 104, S. 53-55
- [4] DIN V 45673-4 (2008): Mechanische Schwingungen – Elastische Elemente des Oberbaus von Schienenfahrwegen – Teil 4: Rechnerische Ermittlung der Einfügungsdämmung im eingebauten Zustand
- [5] Wettschureck, R. G.; Kurze, U. J.: Einfügungsdämm-Maß von Unterschottermatten. ACUSTICA, 58, 1985, S. 177-182
- [6] Müller, G.; Möser, M.: Taschenbuch der Technischen Akustik. 3. Auflage, 2003, S. 545
- [7] Behr, W.: Wirkung unterschiedlicher Schwellenbesohlungen – Resultate des Innovationsprojektes „Leiser Zug auf realem Gleis (LZarG)“. Getzner Bahnfachtagung Schwarzenberg/Vorarlberg, Oktober 2011

BILD 7: Schwellenbesohlungen im „Sandwich-Aufbau“ mit mehreren funktionalen Schichten



SUMMARY

Combating structure-borne noise and vibrations by putting pads on sleepers – their effect and limitations

The authors show that elastic sleeper pads are capable of being an economic measure for providing protection against disturbing vibrations due to railway traffic. It is possible to achieve reductions of better than 10 dB in the effects occurring in the frequency range relevant for structure-borne noise. To date, no negative impact has been ascertained on the primary air-borne noise. The measurements made so far on sleeper pads fitted to reduce noise are extremely encouraging, and research in this area is continuing.