

# ETR

EISENBAHNTECHNISCHE RUNDSCHAU

IMPULSGEBER FÜR DAS SYSTEM BAHN

MIT ETR  
AUSTRIA

12|2013

Dezember 2013 – 62. Jahrgang

Euro 25,- | D 2722

[www.eurailpress.de/etr](http://www.eurailpress.de/etr)

## INFRASTRUKTUR UND OBERBAU

3-i-Strategie, Schwellenbesohlungen,  
Weichenschwellen aus Kunstholz,  
Multifunktions-Messfahrzeuge

## WISSEN AUS BETRIEB & TECHNIK

Nachweis der dynamischen Stabilität  
Gleislagefehler  
Instandsetzung von Unfallfahrzeugen

## ETR IM GESPRÄCH

Das Interview mit  
Karsten Lemmer,  
Braunschweig



Der Standard der Bettungsreinigung

**Plasser & Theurer**



# Innovative Schwellenbesohlungen zur Schotterschonung für hochbelastete Strecken

Die Steigerung von Achslasten und Frachttonnen erhöht die Nachfrage nach moderner Eisenbahninfrastruktur mit qualitativ hochwertigen Komponenten. Speziell entwickelte Schwellenbesohlungen mit gleichzeitig elastischen und plastischen Eigenschaften erfüllen die Ansprüche der Nachhaltigkeit des Schienenfahrgeweges durch ihre einzigartige Performance.

➔ Speziell im Schwerlastverkehr trifft der Schotteroberbau an seine Grenzen. Hohe Achslasten und hohe Frachttonnen führen zu einer überproportional starken Beanspruchung. Qualitativ hochwertige Oberbaukomponenten sind daher notwendig, um die Verfügbarkeit der Strecken durch geringe Instandhaltungsaufwendungen zu gewährleisten.

## 1. EINFÜHRUNG

Nach der Verwendung hochwertiger Schienenstähle und Schwellen aus vorgepanntem Beton bildet der Schotter das

schwächste Glied im Eisenbahnfahrgeweg. Es ist bekannt, dass durch den Einsatz von Schwellenbesohlungen der Schotter maßgeblich geschont wird. Dies geschieht im Wesentlichen durch eine Vergrößerung der Kontaktfläche zwischen Schwellenunterseite und oberster Schotterlage. Hierfür sind plastische Schwellenbesohlungen gefordert, die eine möglichst schonende Einbettung der Schotterkörner ermöglichen. Für eine ideale Lastverteilung im Gleis durch eine Vergrößerung der Biegelinie sind dagegen hochelastische Schwellenbesohlungen notwendig, die ihre Dauerelastizität auch bei jahrzehntelanger Beanspruchung nicht verlieren. Dauerelastische Schwellenbesohlungen, die durch



**Dr. Harald Loy**  
Forschung & Entwicklung  
Getzner Werkstoffe GmbH

harald.loy@getzner.com



**Ing. Andreas Augustin**  
Geschäftsleitung F&E  
Getzner Werkstoffe GmbH

andreas.augustin@getzner.com

**BILD 1: Schwerlastverkehr verursacht eine hohe Beanspruchung des Schotteroberbaus**

(Quelle: Thames Rail, www.thames-rail.co.uk, Freightliner 66603.jpg, Monthly Archives: 31.07.2005)



einen anteiligen Grad an Plastizität auch der Schottereinbettung gerecht werden, stellen hohe Anforderungen an die heutigen Werkstoffwissenschaften. Die beachtlichen Beanspruchungen aus dem Schwerlastverkehr sind hierbei als eine besondere Herausforderung zu verstehen. Bisher gab es kein Produkt, das diese Eigenschaften vollumfänglich erfüllen konnte. Elastische Eigenschaften mit plastischen Eigenschaften zu kombinieren ist kein Widerspruch, wie neue Entwicklungsansätze für höchste Beanspruchungen beweisen.

## 2. SCHWERLASTVERKEHR BEANSPRUCHT GLEISKOMPONENTEN

Schwerlastverkehr definiert sich einerseits über eine Beanspruchung von größer gleich 40 Millionen Lasttonnen pro Jahr hinsichtlich des jeweils betrachteten Streckenabschnittes. Dieses Kriterium ist unabhängig von der Art des Verkehrs zu sehen, ob Passagier-, Güter- oder gemischter Verkehr. Andererseits spricht man bezogen auf Achslasten von Schwerlastverkehr ab 32,5 t Achslast [1].



**BILD 2:** Weiße Stellen zeigen die Schotterzerstörung unter Betonschwellen (Bild links). Spannklemmenbrüche (Mitte) und Schwellenrisse (rechts) resultieren aus zu hohen dynamischen Belastungen

Während hochfrequenzierter Personenzugverkehr weltweit vor allem in den dichter besiedelten Ballungsräumen konzentriert ist, finden sich typische Schwerlaststrecken des Güterfernverkehrs überwiegend in Ländern wie den USA, Kanada, China, Australien und Südafrika. Diese Länder haben in unterschiedlichem Ausmaß bereits umfangreiche Erfahrungen mit dem Thema der nachhaltigen Konstruktion von Schienenfahrwegen gesammelt. Es ist der Trend abzusehen, dass die gewonnenen Erkenntnisse auch für andere stark wachsende Infrastrukturen einflussnehmend sind, wie z. B. den projektier-

ten Schienenfrachtkorridoren (Dedicated Freight Corridors) einzelner Länder oder bei den teils enormen Streckenlängen von privaten Minengesellschaften. Eine angestrebte Anhebung der Achslasten und zunehmende Lasttonnen auf Schwerlaststrecken stellen höhere Anforderungen an die Schieneninfrastruktur und ihre Komponenten. Neben den Brüchen von Spannklemmen ist dabei die Schotterzerstörung, ausgehend von der Kontaktfläche zwischen Schwelle und Schotter, einer der ersten Faktoren, die die Lebensdauer von Eisenbahnanlagen verkürzen. Bild 2 zeigt exemplarisch die

Problematik im Übergangsbereich von der freien Strecke auf eine Brückenkonstruktion. Derartige Unstetigkeitsstellen in einem generell möglichst gleichmäßig auszubildenden Gleis führen zu einer besonders intensiven Lasteinwirkung mit Bruch und Pulverisierung der Schotterkörner. Die weißen Stellen sind ein eindeutiges Merkmal. Folge der Zerstörung ist eine stetige Verschlechterung der Gleislagequalität. Durch hochwertige Schwellenbesohlungen, oft in Verbindung mit geeigneten Zwischenlagen, kann solchen negativen Effekten entgegengewirkt werden. »



## Elastische Lösungen für den Eisenbahnoberbau

Die Produktpalette für den elastischen Oberbau der Getzner Werkstoffe umfasst folgende Komponenten:

- Zwischenlagen
- Zwischenplatten
- Einlegeplatten für Schwellenschuhe
- Schwellensohlen
- Unterschottermatten
- Lager für Masse-Feder-Systeme
- Eingebettete Schiene
- Kontinuierliche Schienenlagerung
- Spurrillenfüller

[www.getzner.com](http://www.getzner.com)

Getzner Werkstoffe GmbH  
 Herrenau 5  
 6706 Bürs  
 Österreich  
 T +43-5552-201-0  
 F +43-5552-201-1899  
 info.buers@getzner.com

**getzner**  
 the good vibrations company



### 3. SCHWELLENBESOHLUNGEN AUS SYLOMER®

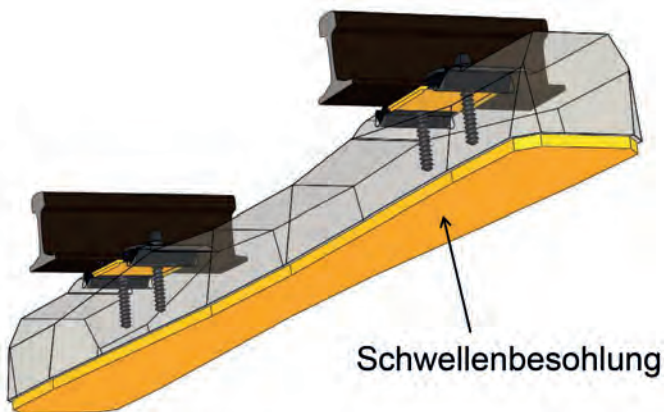
Schwellenbesohlungen stellen eine nachgiebige Federschicht unterhalb der Schwellen dar, die abhängig von den Randbedingungen die Kontaktfläche zum Schotter von 2–8% (unbesohlt) auf über 30% erhöht (besohlt). Es ist bereits vielfach nachgewiesen, dass eine höhere Kontaktfläche zu einer besseren Lasteinleitung in das Schotterbett mit einer geringeren Beanspruchung des Planums führt. Das Brechen von Schotterkörnern aufgrund von Überbelastungen wird verhindert und die Setzungen werden geringer. Der Bildung von Hohllagen wird positiv entgegnet. Um den generellen Langzeiteffekt von besohlenen Schwellen zu quantifizieren wurden bereits seit dem Jahr 2001 umfangreiche Studien im eingebauten Zustand durchgeführt [2], bei denen die Gleisverschlechterungsrate gemessen wurde. Die untersuchten Abschnitte belegen eindrucksvoll die positiven Einflüsse auf den Oberbau bei unterschiedli-

chen Randbedingungen. Alle besohnten Gleisbereiche zeigen eine signifikant reduzierte Verschlechterungsrate. Sogar in Abschnitten mit einer geringen Schotterhöhe konnte das Stopfintervall mindestens verdoppelt werden. Je höher die Gleisbelastung ist, desto effizienter ist dabei die Wirkungsweise der Besohlungen. Schwellenbesohlungen sorgen für eine deutliche Reduktion des Wartungsaufwands und der Lebenszykluskosten einer Eisenbahnstrecke [3]. Quintessenz ist die höhere Verfügbarkeit dieser Streckenbereiche. Schwellenbesohlungen werden heute in weiterer Konsequenz bei folgenden Anwendungen eingesetzt:

- Reduktion von Setzungen in allen Konstruktionen des Schotteroberbaus;
- Verminderung der Riffel-/Schlupfwellenbildung von Schienen in engen Bögen;
- Anpassung der Gleissteifigkeit in Abschnitten mit verminderter Schotterhöhe;
- Ausbildung von Übergangsbereichen

- zwischen verschiedenen Oberbausystemen;
- Verminderung von Schwingungsemissionen;
- Vermeidung von Schwellenhohllagen;
- Optimierung geometrisch bedingter Bettungsunterschiede in Weichen.

Nicht alle Werkstoffe sind für die Erfüllung dieser Aufgaben gleichermaßen geeignet. Als extrem widerstandsfähig und langlebig hat sich der Werkstoff Sylomer® hervorgetan, der aus speziellem Polyurethan (PUR) hergestellt wird. Bei der PUR-Herstellung kann durch die Vermengung reaktiver Ausgangsstoffe entsprechend den gewünschten Anforderungen ein vielfältiges Eigenschaftsspektrum eingestellt werden. Dabei bilden Polyol und Isocyanat anteilmäßig die Hauptkomponenten, die über das Mengenverhältnis einen wesentlichen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften und die vergleichsweise hohe Reißfestigkeit der Endprodukte ausüben. Bei der Entwicklung von PUR-Schwellenbesohlungen zur Schotterschonung ist ein optimiertes Mischungsverhältnis und der richtige Herstellungsprozess entscheidend, um elastische und plastische Eigenschaften in ein ausgewogenes Verhältnis zu stellen. Als Ergebnis mehrjähriger Entwicklungen kann heute eine neuartige Schwellenbesohlung vorgestellt werden, die auch Höchstbelastungen aus dem Schwerlastverkehr kompensiert und mit einer beeindruckenden technischen Performance aufwartet, wie nachfolgende Ausführungen zeigen.



**BILD 3:**  
PUR-Besohlungen unterhalb der Schwellen schonen den Schotter

**BILD 4:** Simulation der Schwerlastbeanspruchungen im Schotterkasten des Großprüfstandes (links). Nach Versuchsende bleiben die Schotterkörner im speziellen PUR-Besohlungsmaterial haften (rechts)



### 4. DAUERFESTIGKEIT IM LABORVERSUCH

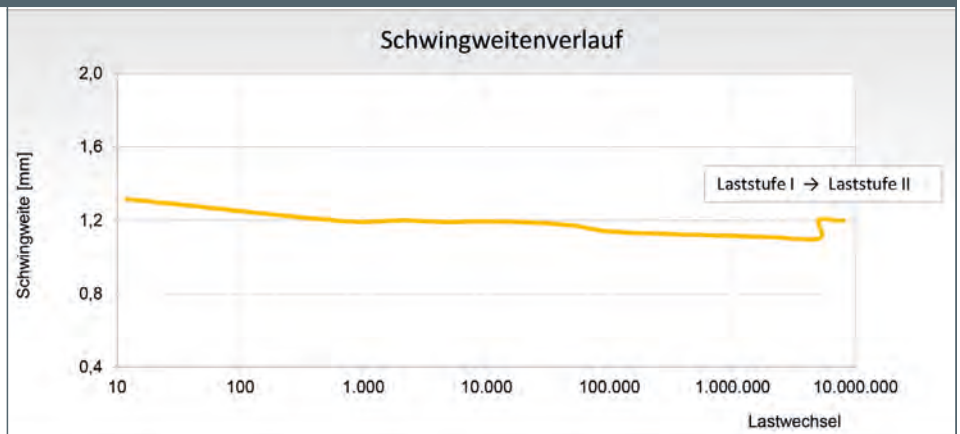
Die Dauerfestigkeit der neu entwickelten Schwellenbesohlung wurde im Großprüfstand der Getzner Werkstoffe GmbH in Anlehnung an vorhandene Normen und Regulative nachgewiesen [4, 5]. Dieser Prüfstand, der in Bild 4 dargestellt ist, erlaubt die Simulation von maximalen Betriebsbelastungen aus dem Schwerlastverkehr. Zuschläge aus Radkraftverlagerung bei Bogenfahrt, sowie die Gleislagequalität und der resultierende Geschwindigkeitseinfluß bei Güterzügen sind hier berücksichtigt und sorgen für eine dynamische Erhöhung: Die angesetzte statische Achslast für die Lastermittlung war im Versuch 36 t und wurde entsprechend den Dynamikzuschlägen um den Faktor 1,52 vergrößert.

Für solche Dauerschwellversuche wird die zu prüfende Schwellenbesohlung an der Unterseite eines Probekörpers aus Beton mit den Abmessungen 300 mm x 300 mm angebracht, der die Betonschwelle repräsentiert. Der Langzeitversuch wurde auf vorverdichtetem Schotter mit einer Schotterhöhe von 30 cm durchgeführt. Entsprechend den

Vorgaben lief der Versuch in zwei Laststufen bei einer Prüffrequenz von 5 Hz ab. Laststufe I über 5 Mio. Lastwechsel und dann nochmal eine Erhöhung um 30% auf Laststufe II mit weiteren 3 Mio. Lastwechseln. Insgesamt wurde die Schwellenbesohlung mit 8 Mio. Lastwechseln etwa 3,5 Wochen durchgehend beansprucht. Der Verlauf der Schwingweite ist in Bild 5 dargestellt. Gegen Ende des Versuches wurde noch immer eine Schwingweite von 1,2 mm gemessen, und das trotz dieser enormen Dauerbelastung. Nach Versuchsende war festzustellen, dass trotz höchster Schwerlastbeanspruchung die Besohlung keinerlei Zerstörung durch Risse, Perforationen oder Durchstoßungen aufwies. Die Schotterkörner hatten sich ideal bis auf eine maximale Tiefe von ca. 80% der Besohlungsdicke eingebettet, mit einer sehr guten Verzahnung zum Besohlungsmaterial. Insgesamt bleibt festzuhalten, dass die Schwellenbesohlung den Dauerschwellversuch durch die Eigenschaften des speziellen PUR-Materials hervorragend gemeistert hat.

## 5. KONTAKTFLÄCHE BEEINFLUSST SCHOTTERKONTAKTPRESSUNG

Die Plastizität der Schwellenbesohlung ist der Grund dafür, dass sich die oberste Schot-



**BILD 5:** Aufgezeichneter Schwingweitenverlauf aus dem Dauerschwellversuch im Schotterkasten

terlage in das Besohlungsmaterial einbetten kann. Dies ist ein sehr wichtiger sicherheitsrelevanter Effekt, der vor allem für den Querverschiebewiderstand im Gleis eine wichtige Rolle spielt. Wie Untersuchungen gezeigt haben, ist der Querverschiebewiderstand mit Besohlungen deutlich höher als ohne diese Einbettungsmöglichkeit [6]. Auf der sicheren Seite liegend wurde klar festgestellt, dass durch elastisch besohlte Schwellen die Gleislagestabilität nicht negativ beeinflusst wird [7].

Die Nachgiebigkeit des Besohlungsmaterials

hat aber vor allem zur Folge, dass die Kräfte homogener in den Schotteroberbau eingeleitet werden. Getzner hat eine eigene Methodik entwickelt die Kontaktfläche schnell und hochpräzise zu quantifizieren; Bild 6 zeigt die zugehörige digitale Analyse. Die wirksame Kontaktfläche zum Schotter wurde nach Versuchsende für die Schwerlast-Besohlungen mit einem Anteil im Bereich von 25–33% bestimmt (diverse Versuche).

Ohne die plastischen Eigenschaften des PUR-Materials sind die dauerhaften Kontaktflächen in der Regel weitaus geringer. »



## Setzen Sie auf uns. **DB International**



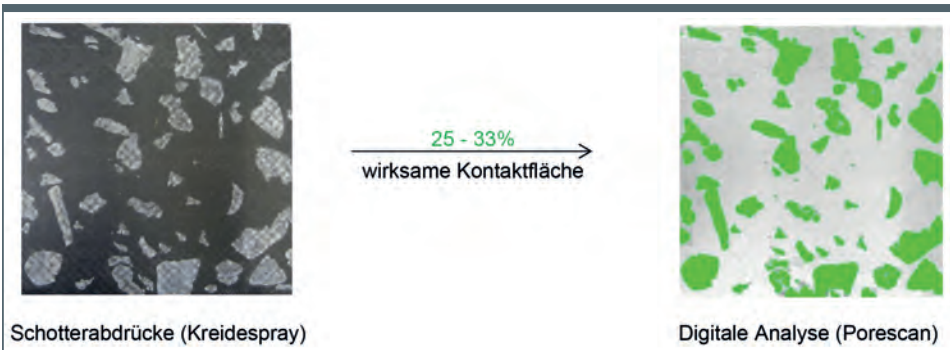
**Engineering. System Consulting. Business Consulting.**

Wir entwickeln weltweit intelligente Verkehrssysteme für dynamische Wirtschaftsregionen. Von der Idee bis zur Realisierung, für Projekte jeder Größenordnung – made by Deutsche Bahn.

**Für Menschen. Für Märkte. Für morgen.**

[www.db-international.de](http://www.db-international.de)





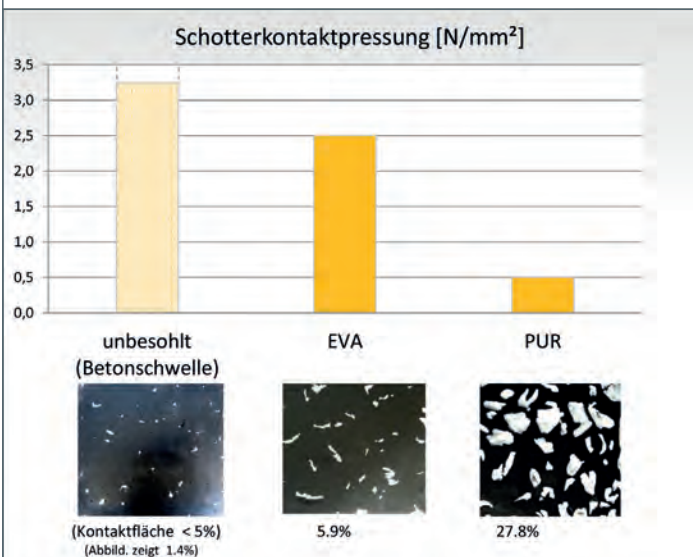
**BILD 6:** Digitale Analyse der Oberflächenstruktur mit Schottereindrückungen

Bild 7 zeigt vergleichend die Kontaktflächen ohne Besohlung, mit EVA-Besohlung und PUR-Besohlung (gleicher Steifigkeit). Wie dieser Relativvergleich zeigt, ist die Kontaktfläche bei unbesohlenen Schwellen erwartungsgemäß am geringsten (nach Dauerschwellversuch im Test 1.4 %, i.d.R. < 5 %), das EVA-Besohlungsmaterial liegt im etwas höheren Bereich (im Test 5.9%), während das PUR-Material die größte Kontaktfläche (mit 27.8 %) aufweist (selber Versuch, gleicher nominale Bettungsmodul der Materialien). Der wichtigste Parameter, der die Kontaktpressungen beeinflusst ist die wirk-

same Schotterkontaktfläche. Je größer die Kontaktfläche ist, desto gleichmäßiger ist die Lasteinleitung und desto geringer ist die sich ergebende Schotterkontaktstress im Gleis.

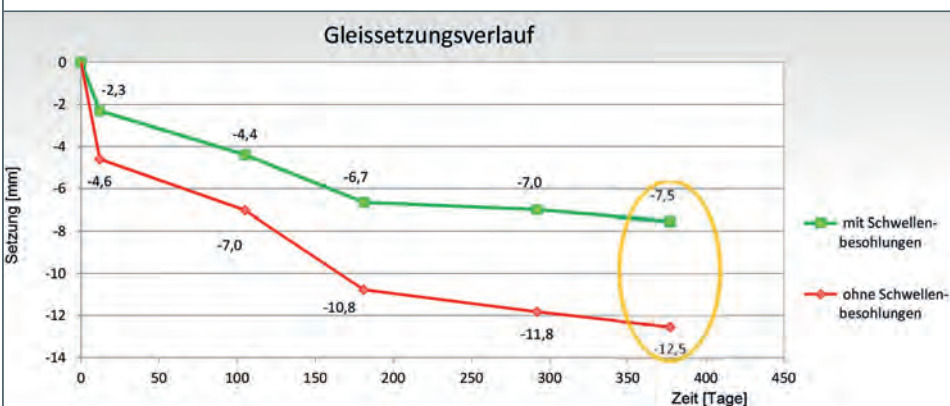
**6. SETZUNGEN IM GLEIS WERDEN VERRINGERT**

Bei der Planung neuer Schienenfrachtkorridore (Dedicated Freight Corridors) kann der Einsatz besohlter Schwellen einen erheblichen Nutzen stiften. Der Effekt der Schwellenbe-



**BILD 7:** Mittlere Schotterkontaktpressungen unter Betonblock, der die Schwelle repräsentiert. Vergleich von Betonschwelle ‚unbesohlt‘, mit ‚EVA‘ und ‚PUR‘. Der Haupteinflussfaktor, der die Schotterkontaktpressung reduziert ist die vergrößerte Kontaktfläche

**BILD 8:** Gemessene Setzungsverläufe mit und ohne Schwellenbesohlungen nach einer Testphase von 377 Tagen



sohlungstechnologie aus Sylomer® wurde bei verschiedenen Teststrecken evaluiert [8]. Hierfür wurden einzelne Abschnitte u. a. mit speziellen PUR-Schwellenbesohlungen ausgerüstet. Testabschnitte ohne Schwellenbesohlungen wurden ebenfalls eingebaut, um die Unterschiede im Langzeitverhalten der Gleise zu erhalten. Das Setzungsverhalten der Gleise wurde mittels Präzisionsnivellement erfasst. Bild 8 zeigt exemplarisch die gemittelten Setzungsverläufe. Nach 377 Tagen waren die Trends bereits deutlich erkennbar. Die mittlere Gleissetzung hatte im besohlenen Bereich einen Wert von 7,5 mm erreicht, beim Oberbau ohne Schwellenbesohlungen war die Gleissetzung hingegen bereits bei einem Durchschnittswert von 12,5 mm angelangt. Die Setzung des klassischen Schotteroberbaus war also mehr als 65% größer als im Bereich mit Schwellenbesohlungen, was trotz des relativ kurzen Betrachtungszeitraums durchaus auch die Erfahrungen aus anderen Einbausituationen widerspiegelt.

Die Teststrecken mit Schwellenbesohlungen zeigten eine weit homogenere Gleislaagequalität, die unter Umständen selbst mit bloßem Auge erkennbar sein kann, wie Bild 9 verdeutlicht.

Für derart hoch belastete Strecken können weitere Entwicklungen in Richtung ‚semiplastische Besohlungen‘ einen noch höheren Nutzen stiften.

**7. FAZIT**

Insbesondere bei hoch belasteten Strecken stellt der Oberbauschotter den limitierenden Faktor dar. Mit Schwellenbesohlungen aus Sylomer® kann der Schotter geschont werden. Neue Entwicklungen zeigen die Möglichkeit auf, elastische und plastische Eigenschaften im Materialverhalten ideal zu kombinieren. Damit wird sowohl die Lastverteilung im Gleis verbessert, als auch die Kontaktpressungen zwischen Schwelle und oberster Schotterlage reduziert. Diese Besohlungstypen aus Polyurethan überstehen den Dauerschwellversuch im Labor ohne jegliche Schäden, zeigen hinsichtlich der Schwingweite eine außergewöhnliche Performance und ein Höchstmaß an Kontaktflächenwirkung. Eine Reduktion der Setzungen bei höherer Gleislaagequalität ist die Folge. Der Nutzen für den Infrastrukturbetreiber liegt im reduzierten Instandhaltungsaufwand und einer höheren Verfügbarkeit der Strecken. Die Konstruktion des klassischen Schotteroberbaus wird durch solche innovativen Entwicklungen nachhaltig verbessert. ←

**Literatur**

[1] Barresi, F.; Kinscher, W.; Lorenz, G.: Design and Maintenance Experience for Heavy Haul Turnouts including feedback on the use of Austenitic Manganese Steel for Fixed

and Swing-Nose Crossings. Proceedings of 10th International Heavy Haul Association Conference New Delhi, India, Feb. 2013, S. 3–11

- [2] Schilder, R.: Schwellenbesohlungen. Getzner Bahnfachtagung Schwarzenberg / Vorarlberg, Nov. 2007, S. 26–33
- [3] Veit, P.; Marschnig S.: Making a case for Under Sleeper Pads. International Railway Journal IRJ, Jan. 1, 2011, S. 27–29
- [4] DIN 45673-6: Mechanische Schwingungen – Elastische Elemente des Oberbaus von Schienenfahrwegen – Teil 6: Labor-Prüfverfahren für Besohlungen von Betonschwellen, 2010
- [5] Loy, H.: Determination of Long Term Fatigue Strength of USP for Heavy Haul Applications. Getzner Werkstoffe Report Nr. 2012-55, Dez. 2012
- [6] Iliev, D.: Die horizontale Gleislagestabilität des Schotteroberbaus mit konventionellen und elastisch besohlten Schwellen. Dissertation. Technische Universität München, 2012
- [7] Freudenstein, S.; Iliev, D.; Stahl, W.: Querverschiebewiderstandsmessungen an un- und besohlten Schwellen. Eisenbahningenieur, Juli 2013, S. 20–26
- [8] Loy, H.; Heim, M.: Measurements of Track Settlement for IR – Trials of Sleepers with Under Sleeper Pads (USP). Getzner Werkstoffe Report, SE03, Okt. 2013



**BILD 9:** Die unterschiedliche Qualität vergleichbarer Gleisabschnitte ist offensichtlich, mit Schwellenbesohlungen (links), ohne Schwellenbesohlungen (rechts)

## SUMMARY

### Innovative sleeper pads for reducing ballast wear on heavily trafficked lines

Increasing axle loads and freight tonnes are intensifying the demand for modern railway infrastructure with high-quality components. Specially developed sleeper pads with a combination of elastic and plastic properties satisfy the demands for the sustainability of the permanent way thanks to their unique performance. The main factor reducing the wear on the ballast is an enlarged contact surface between the sleeper and the ballast. The fatigue strength of the newly developed sleeper pad was demonstrated on a large test rig applying existing standards and rules. The effect was subsequently evaluated on various part-sections of railway lines. The benefits for the infrastructure manager lie in the reduced outlay on maintenance and a higher availability of the line.



# Kompetenz beschleunigt

// Wir treiben die Entwicklung des Schienenverkehrs voran, damit das effizienteste und nachhaltigste Transportmittel noch wettbewerbsfähiger wird. Profitieren Sie von unserer Innovationskraft, Qualität, Schnelligkeit und Terminalsicherheit. Als Europas führendes Bahntechnik-Unternehmen bieten wir Ihnen Komplettlösungen für den Neubau, die Sanierung und die Erhaltung Ihrer Bahnstrecke.

[www.rhomberg-sersa.com](http://www.rhomberg-sersa.com)

**RHOMBERG  
SERSA** RAIL GROUP