

ZEVrail

Zeitschrift für das gesamte System Bahn

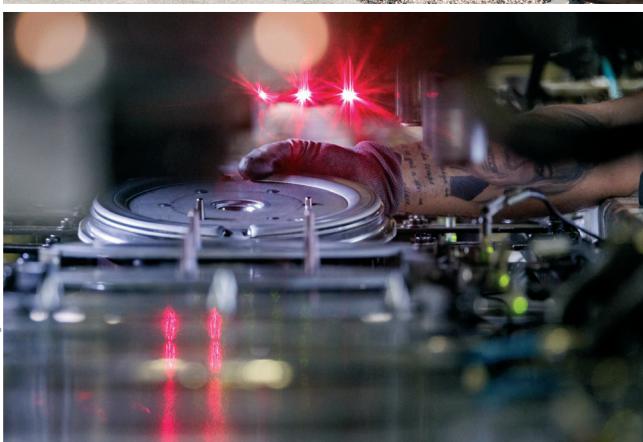
A 20420 E

November-Dezember 2023

11-12



© ÖBB, Harald Eisenberger



© Schaeffler Technologies AG & Co. KG



Nachhaltigkeit im Gleisbau am Beispiel der Gleisbaumaschinenflotte in Österreich

Sustainability in Track Construction Using the Example of the Track Construction Machinery Fleet in Austria

Drohnen: Smarte Datendetektion aus der Luft revolutioniert die Bahn

Smart Data Detection with Drones Revolutionizes Railway Maintenance

TeTuMon – Technisches Weichenmonitoring mit vorhandenen Daten

TeTuMon – Technical Turnout Monitoring with Available Data

Frühzeitiges Erkennen schadhafter Bremsen an Güterwagen

Early detection of Faulty Brakes of Freight Cars

Schotterschonung mit Schwellensohlen – unterschiedliche Wirksamkeiten bei gleichem Bettungsmodul

Ballast Protection Using Under Sleeper Pads – Different Performance for the Same Static Bedding Modulus

Dimensionierung von Instandhaltungsanlagen aus dem Fahrplan heraus

Dimensioning of maintenance facilities based on the timetable

Schotterschonung mit Schwellenohlen – unterschiedliche Wirksamkeiten bei gleichem Bettungsmodul

Ballast Protection Using Under Sleeper Pads – Different Performance for the Same Static Bedding Modulus

Dipl.-Ing. Martin Quirchmair, Bürs (Österreich), Dr. Harald Loy, Innsbruck (Österreich), Michael Sehner, MSc, Mag. Michael Pümpel, Bürs (Österreich)

Zusammenfassung

Der Einsatz von Schwellenohlen zur Schotterschonung und Gleislageverbesserung ist seit ca. 20 Jahren internationaler Standard [1]. Hauptkriterium zur Charakterisierung der Schwellenohle ist nach wie vor der statische Bettungsmodul. Dass sich Produkte aus unterschiedlichen Werkstoffen, trotz gleichem statischen Bettungsmodul, in ihren schotterschonenden Eigenschaften signifikant unterscheiden können, zeigen Laborversuche mit einem neuen Messverfahren zur Bestimmung der Schotterkontaktepressungen zwischen Schwelle und oberster Schotterlage.

Abstract

The use of Under Sleeper Pads (USP) for ballast protection and improved track geometry is common practice since more than 20 years [1]. Main criterion for the characterisation of USP is still the static bedding modulus. The fact, that products with the same static bedding modulus, made from different materials, show a significant difference in their ballast protection behaviour, can be shown in experiments using a new technology to measure the ballast contact pressure between sleeper and top ballast layer.

1 Beobachtungen im Laborversuch

Ob Schwellenohlen aus unterschiedlichen Materialien bei gleichem statischen Bettungsmodul unterschiedlich gute Eigenschaften hinsichtlich Schotterschonung besitzen, wurde in einem Erstversuch im Schottertrog untersucht. Die Fälle

- unbesohlt,
- besohlt mit Material aus Ethylen-Vinyl-acetat-Copolymer (EVAC) und
- besohlt mit Material aus elasto-plastischem Polyurethan (PUR)

wurden an der Ganzschwelle im Schottertrog getestet. Die elasto-plastischen

Eigenschaften des PUR erlauben hierbei eine gute Einbettung der Schottersteine in die Schwellenohle bei hoher statischer Steifigkeit. Unter Einbringung einer zyklischen Last wurden mithilfe der Sensorschwellentechnologie [2] die Schotterkontaktepressungen, also jene Pressungen, der das Schotterkorn der obersten Schotterlage direkt ausgesetzt ist, gemessen. Die Versuche

- unbesohlt und
- EVAC

wurden einmal durchgeführt, der Versuch mit der

- PUR-Besohlung

zweimal (V1 und V2), wie in *Tabelle 1* zu sehen ist.

Die Darstellung der Schotterkontaktepressungen in *Bild 1* zeigt, dass diese bei gleichem statischen Bettungsmodul durch die Wahl des Materials der Schwellenohle beeinflusst werden können. Die Schotterkontaktepressungen sind abhängig von der Schotterkontaktfläche der Schwellenohle.

Die durch den plastischen Anteil des PUR generierte, zusätzliche Kontaktfläche reduziert die Spitzen der Schotterkontaktepressung, verglichen mit dem unbesohnten Fall um ca. 75 %. Die identisch steife EVAC-Besohlung konnte in diesem Versuch eine Reduktion von maximal einem

Drittel erreichen, wie in *Bild 2* zu sehen ist. Details zur Versuchsdurchführung werden in weiterer Folge beschrieben.

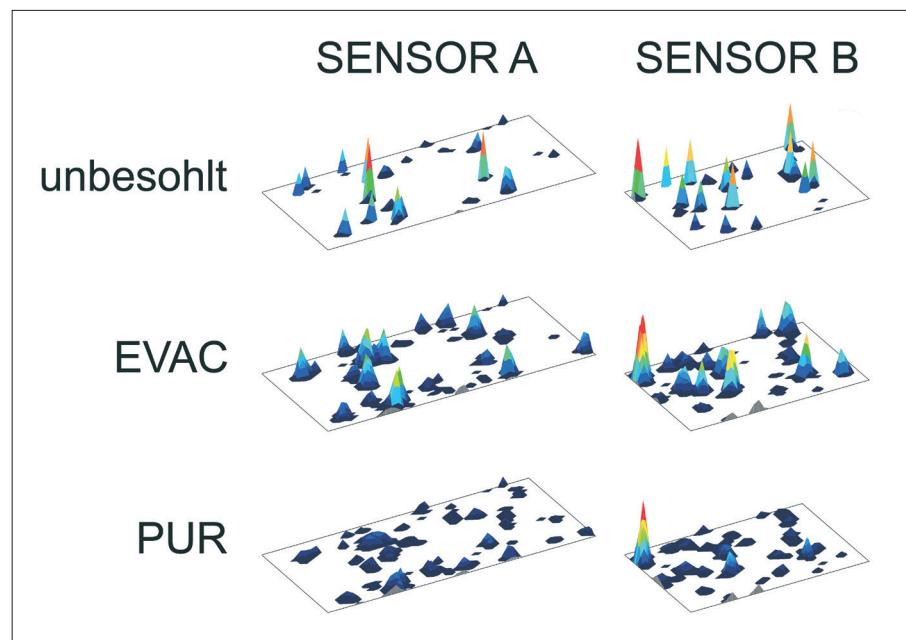
2 Motivation

Schwellensohlen können sowohl zur Schotterschonung als auch für den Er schütterungsschutz eingesetzt werden, wobei die Anwendung für die Schotter schonung anteilmäßig deutlich über wiegt. Durch die langanhaltend gute Gleislage und die damit verbundene Reduktion des Wartungsaufwands kön nen mit Schwellensohlen die jährlich anfallenden Kosten des Schottero berbaus deutlich gesenkt werden, wie bereits in Studien zum Thema Life-Cycle Costs (LCC) gezeigt wurde [3]. Die Stopfzyklen können im Mittel um mehr als das Doppelte verlängert werden, was sich direkt auf die Verfügbarkeit der Strecke auswirkt. Als Leitfaden für den Einsatz gibt es neben den nationalen Vorgaben und bahneigenen Richtlinien auch internationale Vorschläge wie das UIC-Leaflet [1]. Die Einteilung der Schwellensohlen erfolgt meist in die Kategorien weich, mittel und steif und berücksichtigt in der Regel nur den statischen Bettungsmodul. Bei Schwellensohlen wird der statische Bettungs modul hierbei meist als Sekanten modul verwendet.

Der Bettungsmodul C wird zur Berech nung von flächigen Lagerungen benötigt. Im Unterschied zur idealen Feder, welche punktförmig belastet wird, wirkt bei der flächigen Lagerung und Belas tung eine Pressungsverteilung $\sigma_0(x, y)$. Bei Verwendung des Bettungsmoduls

| Versuch | Bezeichnung | Schwellensohle | Bettungsmodul DIN 45673-1 |
|---------|-------------|--------------------------------------|----------------------------|
| 1 | PUR V1 | elasto-plastisches Polyurethan; 7 mm | ca. 0,30 N/mm ³ |
| 2 | EVAC | Ethylen-Vinylacetat-Copolymer; 7 mm | ca. 0,30 N/mm ³ |
| 3 | PUR V2 | elasto-plastisches Polyurethan; 7 mm | ca. 0,30 N/mm ³ |
| 4 | unbesohlt | - | - |

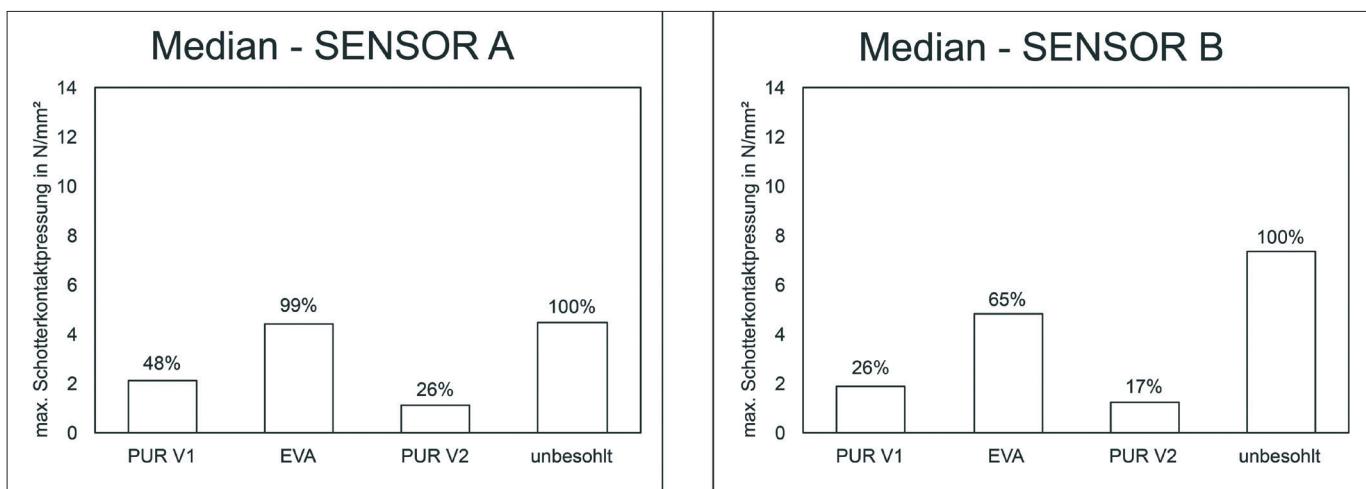
| Tabelle 1: Prüfablauf und geprüfte Schwellensohlentypen inkl. Bettungsmodul nach DIN 45673-1



| Bild 1: Gemessene Schotterkontaktepressungen (Druckspitzen) bei unbesohnten Schwellen und bei Schwellen mit Schwellensohlen aus EVAC und PUR (Versuch V2) unter gleichen Lastbedingungen

wird somit die Normalkraft F durch die Pressungsverteilung σ_0 ersetzt und die Einheit ergibt sich zu N/m³, wobei oft N/mm³ für Elastomere verwendet wird. Vereinfacht gesagt handelt es sich also um eine auf die Fläche normierte Feder konstante (*Bild 3*).

Für den breiten Einsatz von Schwellensohlen auf offener Strecke werden oft steife Schwellensohlen bevorzugt, wobei als steif ein Bettungsmodul C größer 0,25 N/mm³ angesehen werden kann. Als Beispiele können hier die ÖBB mit der Sohle SLB 3007 (0,36 N/mm³) nach



| Bild 2: Verringerung der maximalen Schotterkontaktepressungen durch die untersuchten Schwellensohlen auf der Basis der Medianwerte für die Auswertebereiche 1 bis 8 der Sensoren A und B (die unbesohlte Schwelle diente jeweils als Referenz)

EN 16730:2016 TC3) und die DB mit der Sohle G02/SLB 2210 ($0,26 \text{ N/mm}^3$ nach EN 16730:2016 TC3) genannt werden. Diese Sohlen bestehen aus Polyurethan (PUR) mit speziellen elasto-plastischen Eigenschaften. Neben PUR werden auch andere Materialien als Schwellensohlen zur Schotterschonung eingesetzt. Ethylen-Vinylacetat-Copolymer, oder kurz EVAC,

ist eines dieser Materialien und wird als Schwellensohle bei gleichem statischen Bettungsmodul im Rahmen der Mehrlieferantenstrategie gerne den elasto-plastischen PUR-Varianten gleichgestellt. Dass sich das Potential zur Schotterschonung bei beiden Materialien unterscheidet, kann unter anderem in Laborversuchen gezeigt werden.

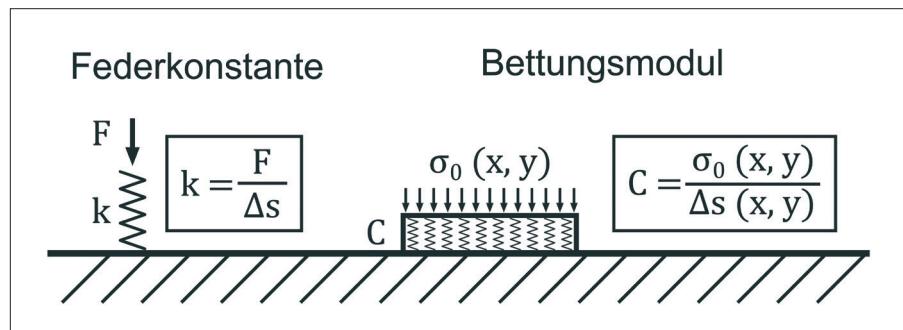


Bild 3: Unterschied von Federkonstante k und Bettungsmodul C mit den für sie geltenden Beziehungen (dabei sind F die Normalkraft, σ_0 die Pressungsverteilung und Δs die Verformung unter Last)

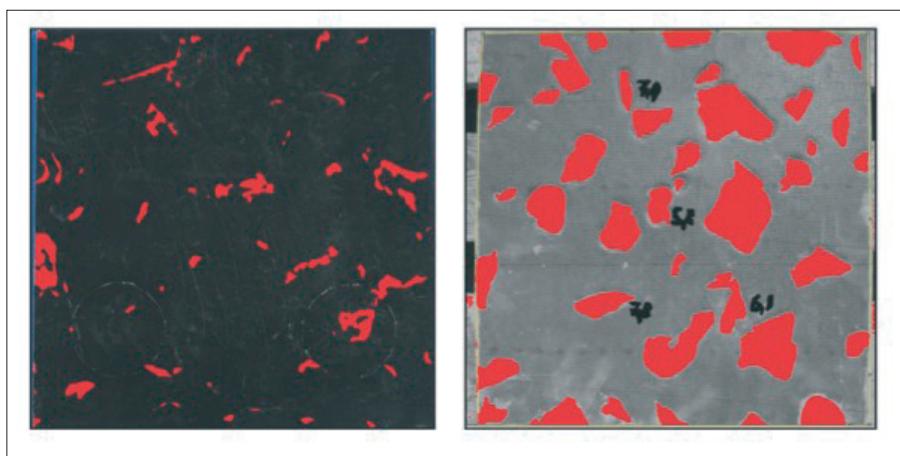


Bild 4: Im Schottertrog bestimmte Kontaktfläche, links: EVAC mit einem Anteil von 4,8 % der Gesamtfläche; rechts: PUR mit einem Anteil von 22,7 % der Gesamtfläche

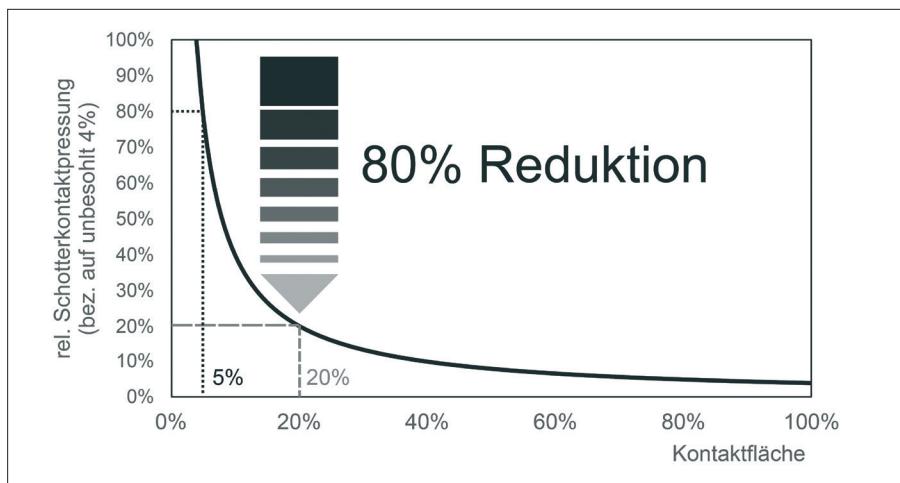


Bild 5: Abhängigkeit der relativen mittleren Schotterkontaktepressung von der Kontaktfläche (dabei wurde die Schotterkontaktepressung mit 100 % bei 4 % Kontaktfläche (unbesohlt) angenommen)

3 Potential zur Schotterschonung

Bereits in der Vergangenheit wurden Versuche im Labor und im Gleis durchgeführt, bei denen das Potential verschiedener Schwellensohlentypen bezüglich ihrer schotterschonenden Wirkung verglichen wurde. Als Basis diente hier meist die Schotterkontaktefläche [4], aus der in weiterer Folge die mittlere Schotterkontaktepressung berechnet wurde. Hierzu wurde der Schotter beispielsweise mit Kreidespray eingefärbt und der durch den Schotter unter Belastung entstandene Abdruck mittels Bildanalyse ausgewertet. Auf diese Weise konnte der Flächenanteil der Schwellensohle sicht- bzw. messbar gemacht werden, welcher effektiv in Kontakt mit dem Schotter steht. Er wird meist als Kontaktfläche der Schwellensohle bezeichnet und kann im Labor mit Schotter oder normierten Schotterplatten (z.B. Geometrische Schotterplatte nach EN 16730:2016), aber auch im Gleis an ausgebauten Schwellen – zumindest eingeschränkt – bestimmt werden. Ein Beispiel einer im Schottertrog bestimmten Kontaktfläche für Materialien mit gleicher statischer Steifigkeit findet sich in *Bild 4*.

Mit der so bestimmten Kontaktfläche, der bekannten Stützpunktlast (z.B. aus der Berechnung der Biegelinie des homogenen Gleises) und der Geometrie der Schwelle kann nun die mittlere Schotterkontaktepressung abgeschätzt werden. *Bild 5* zeigt die Relation zwischen Schotterkontaktepressung und Kontaktfläche, wobei für die unbesohlte Schwelle mit 100 % Schotterpressung ein Wert von 4 % Kontaktfläche angenommen wird. Das eingezeichnete Beispiel zeigt hierbei, dass eine Schwellensohle, die eine Kontaktfläche von 20 % zum Schotter herstellen kann, die mittlere Schotterkontaktepressung um 80 % reduziert.

Der gewonnene Wert ist für eine einfache Abschätzung ausreichend, hat jedoch den Nachteil, dass weder die unregelmäßige Oberfläche des Schotterbetts noch die Geometrie der Schotterkörner berücksichtigt wird.

4 Problem der mittleren Schotterkontaktepressung

Die Bestimmung der Kontaktfläche als Zwischenschritt zur Berechnung der mittleren Schotterkontaktepressung hatte in

der Vergangenheit einige Vorteile. Sie ist vor allem einfach, da lediglich mit Hilfe eines Kontrastmittels der Schotterabdruck auf der Sohle bestimmt werden muss. Zusätzlich zeigte sich bereits in der Vergangenheit eine gute Vergleichsmöglichkeit unterschiedlicher Materialien hinsichtlich ihres Schotterschonungspotentials durch Charakterisierung der Kontaktfläche. Eine große Herausforderung ist jedoch die Entwicklung einer standardisierten Messmethode. Es gibt weder Normen noch internationale anerkannte Richtlinien, welche ein Verfahren zur Bestimmung der Kontaktfläche definieren. Ebenso ist die Kontaktfläche von der Art des Schotters, dessen Verteilung und den wirkenden Kräften abhängig. Um Produkte qualitativ und quantitativ zu bewerten, hat die Getzner Werkstoffe GmbH bereits 2014 ein Verfahren entwickelt [5], welches sich an die EN 16730:2016 anlehnt und die Geometrische Schotterplatte (GBP) zur definierten Belastung verwendet. Somit ist sicher gestellt, dass Produkte aus unterschiedlichen Materialien stets mit gleichen Kräften und Lastzyklen geprüft werden. Ein Beispiel für Ergebnisse, die nach dieser Messmethode ermittelt wurden, findet sich in Bild 6.

Ein zentrales Problem bleibt dennoch. Die Schottersteine sind nicht flach. Sie sind eckig und kantig und ragen aus der obersten Schotterlage unterschiedlich weit heraus. Im einfachen Modell der mittleren Schotterkontaktpressung geht jeder Kontaktpunkt zwischen Schotter und Schwellenunterseite gleich stark in die Berechnung ein, egal ob er viel oder wenig Last trägt. Die Pressungsverteilung ist jedoch bereits am Schotterkorn selbst nicht homogen, wie in Bild 7 am idealisierten Schotterkorn (Kugel) schematisch dargestellt ist.

In der Realität ist jeder Stein im Schotterbett individuell angeordnet und trägt die Last unterschiedlich ab. Jeder Schotterstein wird somit unterschiedlich stark belastet. Der Bruch des Schotters passiert an jenen Stellen, an denen die Schotterkontaktpressungen am höchsten sind. Um das in der Vergangenheit verwendete Verfahren weiter zu verbessern, braucht es eine Möglichkeit, die Schotterkontaktpressungen nicht indirekt über die Kontaktfläche zu bestimmen, sondern direkt an der Grenzfläche zwischen Schotter und Schwelle. Genau diese Möglichkeit bietet die Sensorschwellentechnologie [2].

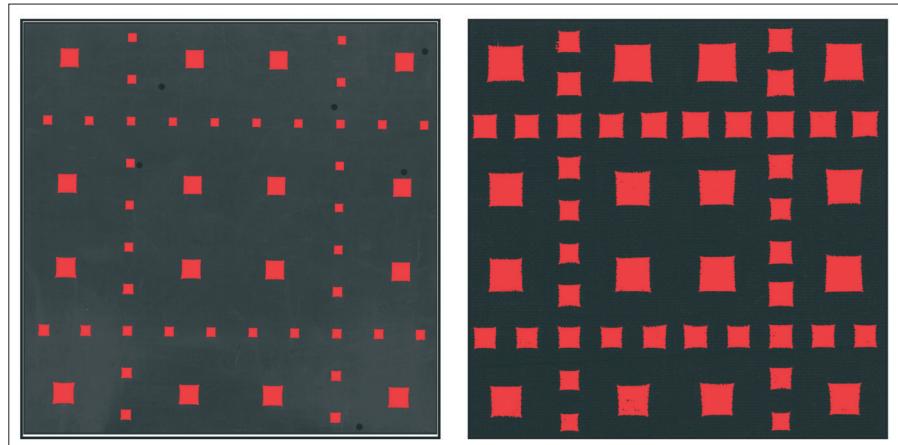


Bild 6: Im Labor bestimmte Kontaktfläche, links: EVAC 5,3%; rechts: PUR 20,8%

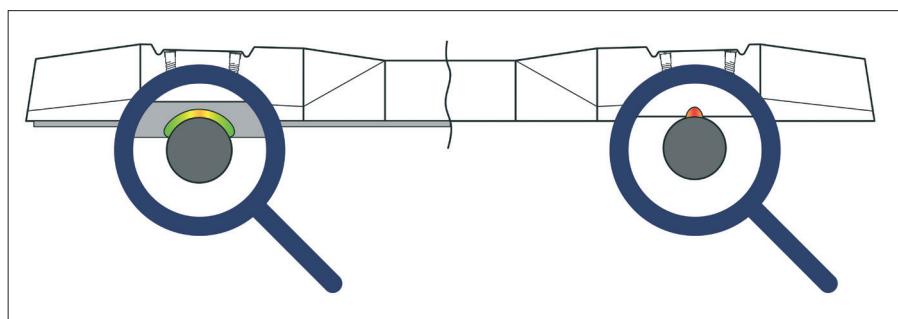


Bild 7: Schematische Darstellung der Pressungsverteilung/Belastung am idealisierten Schotterkorn (Kugel), links im besohlten und rechts im unbesohlten Zustand

5 Direkte Messung mittels Sensorschwelle

Der erste Prototyp der Sensorschwelle von Getzner wurde im Jahr 2018 zum ersten Mal im Gleis, im Rahmen einer Teststrecke der ÖBB, eingesetzt [6]. Seither hat das System sowohl in einer Demonstratorweiche im Rahmen des EU-Förderprogramms Horizon 2020 (Shift2Rail) [7], als auch bei Laborprüfungen zum Abgleich von Simulationsmodellen Anwendung gefunden.

Das System besteht aus einem auf die Schwelle aufgeklebten dünnen Sensor element, welches eine dem Schotter zugewandte Flächensorik besitzt. Auf dieser Fläche können kontinuierlich Pressungen entlang eines aus 2288 Punkten bestehenden Rasters aufgezeichnet werden. Das Raster besitzt hierbei eine örtliche Auflösung von 9,3 mm mal 4,7 mm. Die Sensorschwellentechnologie kann sowohl mit als auch ohne Schwellensohle eingesetzt werden und ist somit ein ideales Messinstrument, um unterschiedliche Schwellensohlen mit Fokus Schotterschonung zu vergleichen.

Für die nachfolgend beschriebenen Vergleiche wurde die Sensorschwellentechnologie der ersten Generation verwendet, montiert auf einer Schwelle des Typs L2. Der Aufbau der Schwelle ist in Bild 8 zu sehen. Die Schwelle war bei den Messungen teil- bzw. unbesohlt. Die Teilbesohlung kommt daher, dass die Schwelle ursprünglich im Rahmen eines Forschungsprojekts eingesetzt wurde. Für den Laborversuch stellte dies keine Einschränkungen dar, da zur Auswertung nur die besohlte Fläche herangezogen wurde und der mittlere unbesohlte Teil in allen Konfigurationen auflagefrei war.

6 Versuchsaufbau und Konzept

Da die Sensorik auf einer Ganzschwelle (hier Typ L2) montiert wurde, wurde die Basis der Prüfungen entsprechend dem Schwellentest im Schottertrog nach EN 16730:2016, Anhang M, gewählt. Der Schottertrog hatte hierbei eine Länge von 3 m, eine Breite von 1 m und wurde bis zu einer Höhe von 350 mm mit Schotter gefüllt. Der Schotter wurde in zwei Lagen

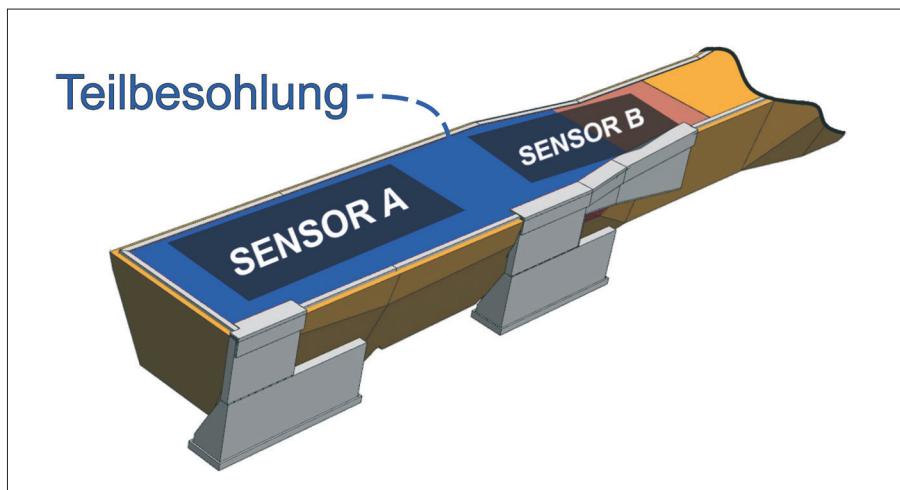


Bild 8: Sensorschwellen der ersten Generation in L2-Schwellengeometrie der Sensorschwellentechnologie



Bild 9: Aufbau der Ganzschwellenprüfung im Schottertrog in Anlehnung an EN 16730:2016, Anhang M, mit der Verkabelung der Sensorschwellentechnologie auf der Betonschwelle, die im vorderen Teil des Bildes zu erkennen ist

eingebrochen und je mit einer Rüttelplatte verdichtet. Auf dem verdichteten Schotter wurde die Schwelle zentral aufgelegt, wobei der Mittelteil auflagefrei war. Die Position der Schwelle auf dem Schotter wurde markiert. Das Schotterbett wurde zwischen den einzelnen Versuchen nicht aufbereitet. Das Ziel der Versuche war es, das Schotterbett zwischen den unterschiedlichen Versuchsvarianten möglichst wenig zu verändern, um stets eine ähnliche Schotterauflage zu erreichen. *Bild 9* zeigt den Prüfaufbau im Labor. Für jede Prüfvariante wurde eine sinusförmige Belastung zwischen 5 kN und 100 kN bei einer Frequenz von 5 Hz für

2 h (36 000 Zyklen) aufgebracht. Die Oberlast von 100 kN wurde für die besohlten und unbesohlten Schwellen zur besseren Vergleichbarkeit gleich gewählt. Die zusätzliche Aktivierung der Biegelinie durch die Elastizität der Schwellensohle hätte sonst eine Reduktion der Oberlast im Vergleich zum unbesohlten Fall zur Folge. Direkt im Anschluss wurde die Frequenz auf 0,5 Hz reduziert und die Pressungsverteilung an der Schwellenunterseite aufgezeichnet.

Zur Analyse wurden drei Varianten gewählt. Es wurden zwei Schwellensohlen aus unterschiedlichem Material mit einer Dicke von 7 mm aus der Kategorie

steif, welche im Markt typischerweise als äquivalent eingestuft werden, verwendet. Zusätzlich wurde der unbesohlte Fall betrachtet. Die Materialien der Schwellensohlen waren hierbei EVAC und elasto-plastisches PUR.

Um die Reproduzierbarkeit abzuschätzen, wurde der Versuch mit dem elasto-plastischen PUR zweimal durchgeführt, der Anspruch einer statistischen Sicherheit war jedoch nicht zu erreichen. Der Versuch repräsentiert einen ersten Vergleich mit Hilfe des neuen Verfahrens. Die Versuchsreihenfolge findet sich in *Tabelle 1*.

7 Messergebnisse

Die gemessenen Pressungsverteilungen für die in *Tabelle 1* dargestellten Prüfszenarien sind in *Bild 10* dargestellt. Zur Evaluierung wurden je Sensor acht Bereiche definiert. Da der Schotter zwischen den einzelnen Versuchen so wenig wie möglich manipuliert wurde, sind die Auflagepunkte der die Last tragenden Schottersteine in allen Lastfällen in identischen Positionen zu erkennen. Bereits hier ist durch die Einfärbung der Schotterkontaktepressungen ein deutlicher Unterschied zwischen den einzelnen Szenarien zu erkennen.

Bereiche mit maximaler Schotterkontaktepression weisen die höchste Wahrscheinlichkeit für einen Bruch des Schotterkorns auf und können zur Bewertung der schotterschonenden Wirkung einer Schwellensohle herangezogen werden.

Die Maximalpressungen der einzelnen Auswertebereiche (1 bis 8) je Sensor können für den Vergleich im Laborversuch verwendet werden. Die Unregelmäßigkeit des Schotters kann zu einzelnen Ausreißern führen, bei welchen ein einzelnes Schotterkorn überdurchschnittlich viel Last abträgt. Im Laborversuch war dies beispielsweise am Punkt 8 des Sensors B der Fall. Um diesen Ausreißern in der Auswertung ein nicht zu hohes Gewicht zu geben, wurde der Median als Vergleichswert herangezogen. Die so ermittelten maximalen Schotterkontaktepressungen sind in *Bild 11* und *Bild 2* für Sensor A und B zu finden.

Für die Sensoren A und B zeigt sich trotz der Unregelmäßigkeit des Schotters ein qualitativ ähnliches Ergebnis. Speziell sticht hier der Ausreißer am Punkt 8 des Sensors B heraus, welcher in allen Konfi-

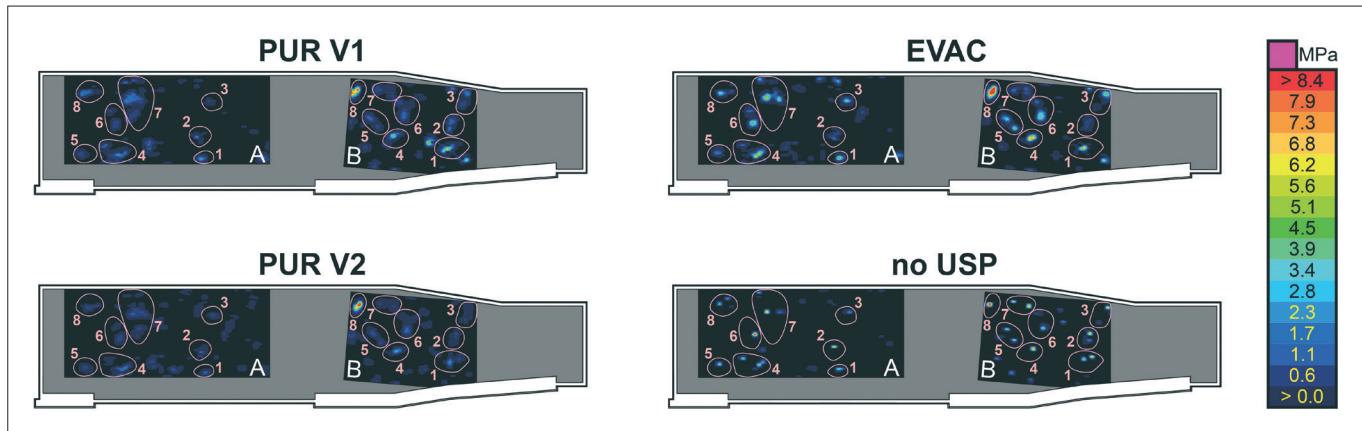


Bild 10: Gemessene Pressungsverteilungen und gewählte Auswertebereiche 1 bis 8 je Sensor

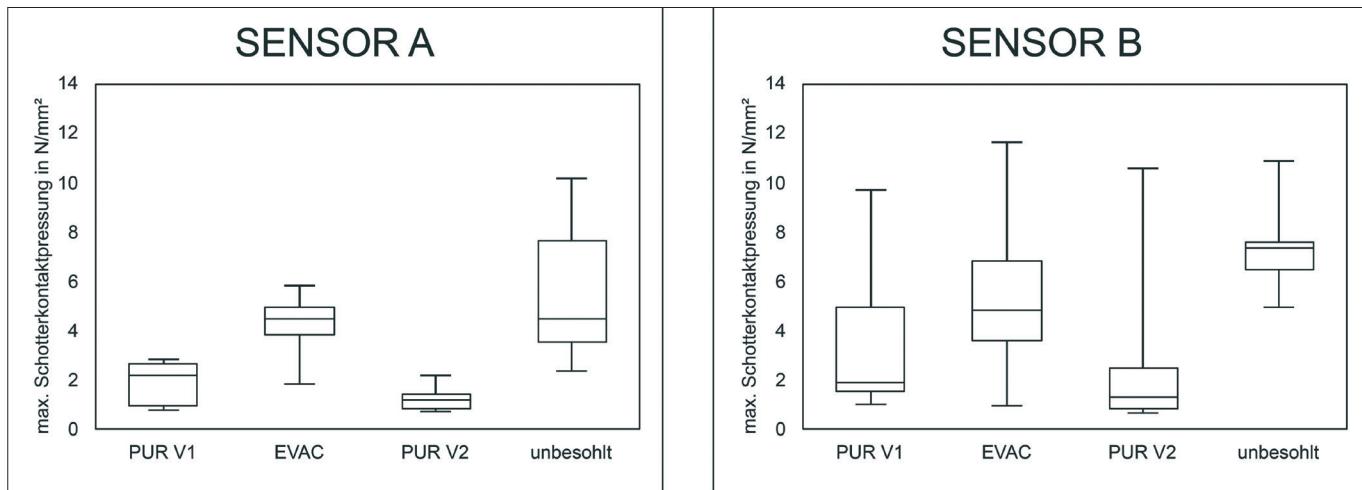


Bild 11: Maximale Schotterkontaktepressungen an den Auswertebereichen 1 bis 8 für Sensor A und B

gurationen zu finden ist. Dieser Ausreißer spiegelt sich auch in den Maximalwerten von *Bild 11* wider. Der erste Prototypenversuch zeigt, dass relativ zur unbesohlten Schwelle (Referenzwert mit 100 %) die EVAC-Besohlung eine Reduktion der maximalen Schotterkontaktepression in der Medianauswertung von einem Drittel oder weniger zeigt. Die PUR-Besohlung, welche zweimal getestet wurde, reduziert hingegen die Schotterkontaktepression um mindestens die Hälfte und meist sogar um 75 % und mehr. Im Versuch im Schottertrog mit Lasten nach EN 16730:2016, Anhang M, zeigt die PUR-Besohlung somit ein deutlich höheres Potential zur Schotterschonung, verglichen mit der als äquivalent betrachteten Besohlung aus EVAC.

8 Alternative Auswerteverfahren

Die neue Sensortechnologie erlaubt die Beurteilung der Lastabtragung des ein-

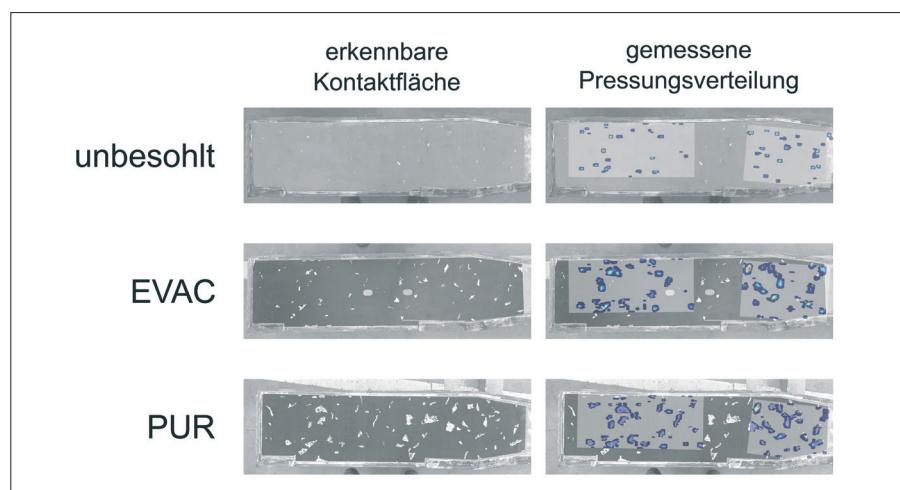


Bild 12: Vergleich der sichtbaren Schotterabdrücke mit den gemessenen Pressungsverteilungen bei der unbesohnten Schwelle und bei den Schwellensohlen aus EVAC und PUR (Versuch V2) unter gleichen Lastbedingungen

zellen Schotterkorns in Abhängigkeit verschiedener Oberbauconfigurationn. Es kann somit nicht nur die Anzahl der sich in Kontakt mit der Schwellenunterseite befindlichen Schotterkörner, sondern auch die Homogenität der Lastver-

teilung beurteilt werden. Bereits der Vergleich der sichtbaren Schotterabdrücke nach dem Test mit den gemessenen Pressungsbildern zeigt, dass jedes Schotterkorn unterschiedlich viel Last zu tragen hat (*Bild 12*).

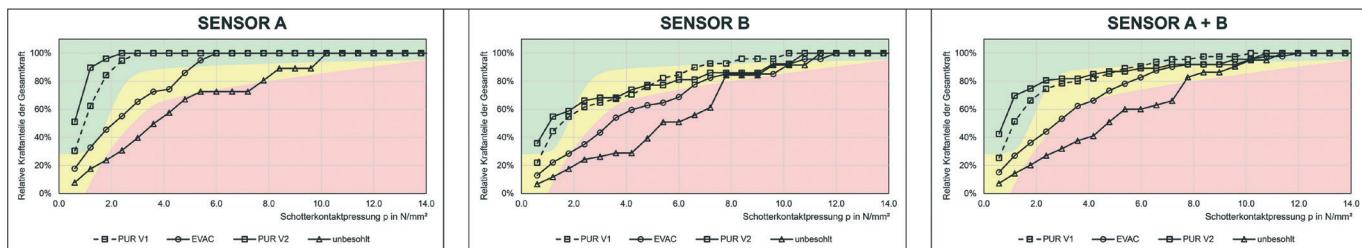


Bild 13: Relative Kraftanteile an der Gesamtkraft, die von den untersuchten Schwellenbesohlungen in Abhängigkeit von der Schotterkontaktpressung abgetragen werden (Darstellung als Summendiagramm, wobei hohe Lastabtragung bei niedrigen Pressungen guter Schotterschonung entspricht)

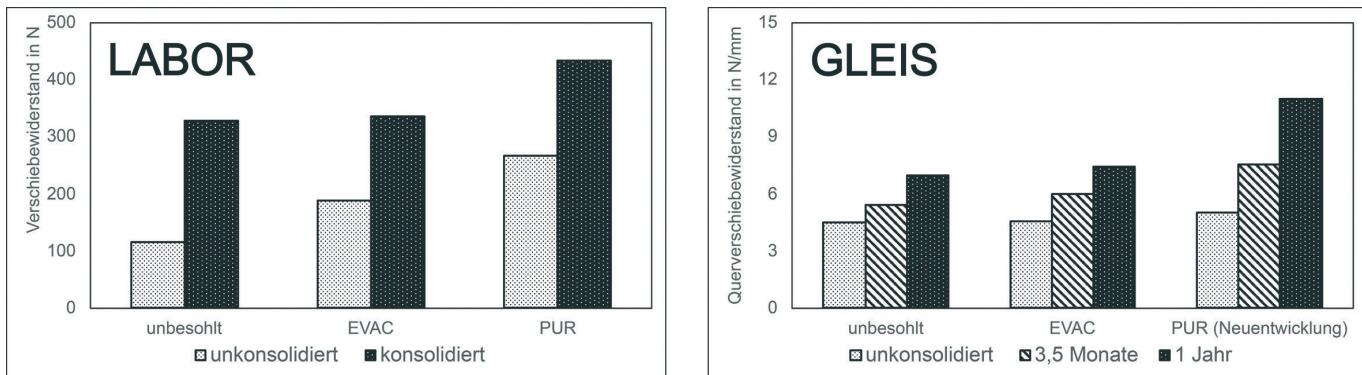


Bild 14: Ergebnisse der Messungen des Querverschiebewiderstands, links im Labor und rechts im Gleis

Eine schotterschonende Wirkung wird in der Regel dadurch erzielt, dass die Kraft über eine möglichst große Fläche (Kontaktfläche) abgetragen wird. Dies wird sowohl durch ein Umschließen des Schotterkorns mit der Schwellensohle, als auch durch die Aktivierung von mehreren Schotterkörnern mittels elastischer und plastischer Eigenschaften erreicht. Plastische Anteile der Schwellensohle ermöglichen hier selbst bei hoher Steifigkeit eine gute Einbettung der Schottersteine.

Wird diese Tatsache nun als Basis für eine mögliche Auswertemethode verwendet, so kann die gemessene Pressungsverteilung als Summendiagramm dargestellt werden. Auf der y-Achse werden die Kraftanteile der Gesamtkraft in Prozent aufgetragen. Das Diagramm stellt somit dar, wieviel Prozent der Gesamtkraft bis zu der auf der x-Achse dargestellten Schotterkontaktpressung p abgetragen wird. Aufgabe der Schwellensohle ist es, einen möglichst hohen Relativanteil der Gesamtkraft bei niedrigen Schotterkontaktpressungen abzutragen und eine Überlastung des Schotters zu vermeiden. Ein möglichst rascher Anstieg des relativen Kraftanteils bei niedrigen Pressungen ist somit ein Indiz für gute schotterschonende Eigenschaften. Die Ergebnisse dieser Auswertungsmethode sind in *Bild 13* zu sehen. Auch hier zeigen sich die Vorteile des elasto-plastischen Verhaltens der PUR-

Sohle, wo die Last bei überwiegend kleinen Pressungen abgetragen wird.

9 Stabilität im Gleis

Dass sich eine gute Einbettung des Schotterkorns in die Schwellensohle auch auf die laterale Stabilität des Gleises und in weiterer Folge auf die Sicherheit auswirkt, zeigten in der Vergangenheit sowohl laterale Messungen im Labor [8], als auch Querverschiebewiderstandsmessungen im Gleis [9].

In Laborversuchen wurden im Rahmen einer Bachelorarbeit [8] Betonblöcke in Anlehnung an die DIN 45673-6 im unkonsolidierten und konsolidierten Zustand geprüft. Hier wurden unter anderem die äquivalenten Typen wie in den Versuchen mit der Sensorschwelle verwendet. Es zeigt sich (*Bild 14*), dass die Einbettung der Schottersteine im PUR bereits im unkonsolidierten und ebenso im konsolidierten Zustand eine deutliche Steigerung des Widerstands gegen laterale Verschiebung bewirkt. Die schwache Einbettung der Schottersteine im EVAC zeigt hingegen eine geringere Steigerung und im konsolidierten Zustand Werte, die mit dem unbesohlten Fall vergleichbar sind.

Im Gleis zeigt sich ein vergleichbares Bild. Bei einer Schmalspurbahn in Niederösterreich wurden Schwellensohlen aus

EVAC und auf Stabilität optimierten PUR verbaut. Die in *Bild 14* dargestellten Ergebnisse der Messungen der Universität Innsbruck zeigen auch hier, dass eine signifikante Steigerung des Querverschiebewiderstands gegenüber dem unbesohlten Gleis nur mit den PUR-Schwellensohlen möglich war.

10 Ausblick

Forschungen an Universitäten, in der Industrie und bei Bahnbetreibern erlauben zunehmend tiefere Einblicke in die Wechselwirkung zwischen Schwelle und Schotter. Durch den Erkenntnisgewinn zeigt sich, dass konventionelle Bewertungsmethoden von Schwellensohlen nicht alle für den Schotteroberbau relevanten Eigenschaften vollumfänglich abbilden können. Hochschulen und Unternehmen sind auch in Zukunft gefordert, die Bewertungskriterien von Elastomeren im Schotteroberbau durch Untersuchungen im Labor und im Feld weiter zu verbessern und zu erweitern. Auf Basis dieser Arbeiten können in weiterer Folge Produkte zielgerichteter für Anwendungen entwickelt und optimiert werden. Schritt für Schritt kann somit der Schotteroberbau wirtschaftlicher und nachhaltiger werden.

(Bildnachweis: 1 bis 14, Verfasser)

Literatur

- [1] IRS 70713-1: Bahnanwendungen – Oberbau & Konstruktive Ingenieurbauwerke „Schwellensohlen (USP) – Empfehlungen für die Verwendung“. 2. Ausgabe, 2019-12
- [2] Sehner, M.; Augustin, A.; Quirchmair, M.; Loy, H.: Sensorschwellentechnologie: Ein Blick zwischen Schiene und Schotter: ZEVrail 147 (2023) 8, S. 284-290.
- [3] Veit, P.; Marschnig, S.: Towards a more sustainable track. Railway Gazette, January 2011.
- [4] Iliev, D.: Die horizontale Gleislagestabilität des Schotteroerbaus mit konventionellen und elastisch besohlten Schwellen. Dissertation, Technische Universität München, Jänner 2012.
- [5] Getzner Werkstoffe: WI 22202 Determination of Contact Area of USP. Interne Arbeitsanweisung, Stand 19.09.2019.
- [6] Getzner Werkstoffe: Sensorschwellen – Messung der Pressungen unter Spannbetonschwellen L2 und L17. Bericht 2021-088, 27.07.2021
- [7] Projekte der ersten europäischen Bahninitiative Shift2Rail. <https://projects.shift2rail.org/>, abgerufen am 24.10.2023.
- [8] Gabl, S.: Einfluss der Kontaktfläche auf den Querverschiebewiderstand. Bachelorarbeit Fachhochschule St. Pölten, August 2019.
- [9] Steiner, E.; Krueger, M.: Verwerfungssichere durchgehend verschweißte Schmalspurgleise bei der Mariazellerbahn der Niederösterreich Bahnen (NÖVOG). Eisenbahntechnische Rundschau Austria, Nr.9, September 2022.



Dr. Harald Loy (49). Bauingenieurstudium an der Technischen Universität München, später Promotion an der Universität Innsbruck mit Auszeichnung. Ab 2000 Technischer Berater in München. Seit 2005 Entwicklungsingenieur bei Getzner

Werkstoffe GmbH im Bereich Forschung & Entwicklung. Von 2007 bis 2011 parallele Anstellung als Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Universität Innsbruck und derzeit Postdoc am Institut für Infrastruktur, Arbeitsbereich Intelligente Verkehrssysteme. Schwerpunkte der Tätigkeit in den Bereichen Simulation, Laborprüfung und In-Situ-Messungen. 2014 Nominierung für den Staatspreis für Innovation, Übernahme der Verantwortung als Leiter Team Systementwicklung. Seit 2018 Head of R&D Railway Division.
Anschriften: Getzner Werkstoffe GmbH, Herrenau 5, 6706 Bürs, Österreich und Universität Innsbruck, Institut für Infrastruktur, Intelligente Verkehrssysteme, Technikerstr. 13, 6020 Innsbruck, Österreich.
E-Mail: harald.loy@getzner.com



Michael Sehner, MSc (33). Physikstudium an der Universität Innsbruck mit Master in Experimentalphysik im Feld der Quantenoptik. Seit 2016 tätig als Entwicklungsingenieur in der Forschung und Entwicklung bei der Getzner Werkstoffe GmbH in den Bereichen Produktentwicklung und Messtechnik; verantwortlicher Ingenieur für die Sensorschwellentechnologie, die seit 2018 entwickelt wird.
Anschrift: Getzner Werkstoffe GmbH, Herrenau 5, 6706 Bürs, Österreich.
E-Mail: michael.sehner@getzner.com



Dipl.-Ing. Martin Quirchmair (39). Studium der Technischen Physik an der Technischen Universität Wien. Seit 2013 Entwicklungsingenieur bei Getzner Werkstoffe GmbH mit Schwerpunkt Oberbauoptimierung, Gleislagestabilität und Schwingungsreduktion im Eisenbahnoberbau mit Hilfe von Elastomeren. Von 2015 bis 2017 Projektmanager Railway für Getzner USA Inc. in Charlotte, North Carolina. Seit 2018 Entwicklungsingenieur in der Railway Division und u.a. Verantwortlicher für internationale Forschungsprojekte (z.B. Horizon 2020 – Shift2Rail), Fahrweg-Simulationen, Messungen im Gleis, Koordinator von Laboruntersuchungen und die Produktgruppe Schwellenlager.
Anschrift: Getzner Werkstoffe GmbH, Herrenau 5, 6706 Bürs, Österreich.
E-Mail: martin.quirchmair@getzner.com



Mag. Michael Pümpel (40). Studium der Internationalen Wirtschaftswissenschaften an der Universität Innsbruck mit einem Jahr an der Aarhus University. Nach zwei Jahren in der Produktkommunikation und im Bereich Branding, über 10 Jahre Erfahrung im Produktmanagement, auch in Führungsposition. Seit 2021 Strategischer Produktmanager in der Railway Division der Getzner Werkstoffe GmbH. Spezialisiert auf elastische Lösungen für den Bahnoberbau mit Fokus auf Schwellensohlen und Unterschottermatten. Verantwortlich für die strategische Weiterentwicklung der Schwellensohlen und Unterschottermatten sowie für die Bereiche Vibration Isolation und Superstructure Protection.
Anschrift: Getzner Werkstoffe GmbH, Herrenau 5, 6706 Bürs, Österreich.
E-Mail: michael.puempel@getzner.com

ZEV*rail*

Zeitschrift für das gesamte System Bahn