

DER **EI** EISENBAHN INGENIEUR

INTERNATIONALE FACHZEITSCHRIFT
FÜR SCHIENENVERKEHR & TECHNIK

Euro 27,30 | November 2020

11 | 20

Güterverkehr –

Fertigstellung des
Bözbergtunnels

Instandhaltung –

Sanierung des
Hauenstein-Basistunnels

Feste Fahrbahn –

Einsatz des Betonierzuges
auf der NBS Wendlingen – Ulm

ETCS –

Wie mathematische Modelle
den Roll-out optimieren

Hochgeschwindigkeitsverkehr –

Kritische Betrachtung
des Hyperloop-Systems

Making tracks available

vossloh-innotrans.com

vossloh

VDEI

3. Gleisbauforum

12. November 2020

in Leverkusen

HERAUSGEBER
VERBAND DEUTSCHER
EISENBAHN-INGENIEURE E.V.

VDEI

Isolierstöße – Vom Verschleißverhalten zu Optimierungspotenzialen

Isolierstöße sind sicherungstechnisch notwendige, in Bezug auf die Gleislage aber kritische Oberbausituationen, welchen vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt werden muss.

MICHAEL FELLINGER | STEFAN VONBUN

Schienenstöße stellen kritische Bereiche im Eisenbahnoberbau dar. Obwohl aus sicherungstechnischen Gesichtspunkten unbedingt notwendig, stellen sie Infrastrukturbetreiber vor besondere Herausforderungen. Signalstörungen und aufwändige Stoßpflege sind weltweit unliebsame Nebenwirkungen der Unstetigkeitsstelle „Isolierstoß“. Das durch deskriptive Modelle beschreibbar gemachte kritische Verhalten im Laufe der Zeit kann durch mehr Elastizität im Oberbau ausgeglichen werden, womit Verschleiß- und Folgeerscheinungen minimiert werden können.

Einleitung und Ausgangssituation

Isolierstöße sind aus signaltechnischen sowie betrieblichen Gründen notwendige Bestandteile der Eisenbahninfrastruktur. Am Isolierstoß findet eine Unterbrechung der Schienen durch ein isolierendes Material statt (Abb. 1), wodurch das Gleisnetz sicherungstechnisch in Abschnitte variabler Länge unterteilbar ist. Isolierstöße stellen dadurch allerdings auch Unstetigkeiten dar, die sich negativ auf den Fahrzeuglauf und das Verschleißverhalten des Oberbaus auswirken [1]. Als Folge ist meist mit einer raschen Verschlechterung der Gleislage in diesen Bereichen zu rechnen [2], welche allerdings mit den konventionellen Gleismessdaten nur sehr schwer nachzuweisen ist. Hauptursache dafür sind ungenügend genau positionierte Messsignale des Gleismesswagens. Im Kernnetz der Österreichischen Bundesbahnen sind ca. 25 000 Isolierstöße verbaut, dies verdeutlicht den allgegenwertigen Einfluss dieser Gleiskomponente. Ebenfalls spricht ein sehr kurzes Inspektionsintervall von sechs Monaten für die kritische Untersuchung dieser Oberbausituationen.

Als Auslöser von Signalstörungen stehen Isolierstöße schon lange im Fokus, als Auslöser einer schlechten Gleislage erst in den letzten Jahren. Die Unstetigkeiten im Bereich der Lasteintragung zwischen Rad und Schiene führen als Einzelfehler zu hohen dynamischen Zusatzbelastungen, welche eine rasche Verschlechterung der Gleislage begünstigen [3]. Durch die Last der Schienenfahrzeuge wird der

Isolierstoß hauptsächlich auf Biegung beansprucht. Da es sich um keine starre, vollflächige Verbindung handelt, tritt eine Unstetigkeit innerhalb der Fahrfläche auf, welche zusätzlich dynamische Lasten in den Oberbau mit sich bringt. Ungleichmäßige Setzungen sowie im weiteren Verlauf Schotterzerstörung sind die schwerwiegenden Folgen [4]. Die angeführten Erkenntnisse lassen lediglich einen Schluss zu: Es müssen konstruktive Optimierungspotenziale gefunden werden. Ziel muss es sein, die nachteiligen Einflüsse von Isolierstößen in Bezug auf das Verschleißverhalten des Oberbaus zu reduzieren.

Messdatenbasierte Beschreibung und Charakterisierung von Isolierstößen

Um Optimierungspotenziale ableiten zu können, ist zuerst die Kenntnis des aktuellen Zustandes sowie des Verhaltens im Laufe der Zeit notwendig. Deshalb wird in einem ersten Schritt auf deskriptive Modelle, basierend auf Gleismessdaten, zurückgegriffen. Im Eisenbahnwesen haben sich die Messdaten des Gleismesswagens als verlässliche Datenquelle etabliert. Diesem Gedanken folgend stützen sich die nachfolgenden Auswertungen auf diese Gleismessdaten. Die Daten wurden speziell aufbereitet, um sie für den vorgesehenen Zweck einsetzen zu können.

Nachstationierungsalgorithmus für Gleismesswagen

Wie bereits erwähnt, ist die Qualität der Messdaten sehr entscheidend für den Erfolg

späterer Analysen. Die gängigen Auswertemethoden für das freie Streckengleis basieren auf der Standardabweichung der Längshöhe, welche über eine Einflusslänge von teilweise 200 m gleitend berechnet wird. Für den eigentlich vorgesehenen Zweck ist diese Vorgehensweise nachvollziehbar. Da allerdings eine Aussage über lokal stark begrenzte Bereiche, wie Isolierstöße, getroffen werden soll, muss im Vorfeld ein Datenaufbereitungsprozess etabliert werden. Um detaillierte und vor allem örtlich exakt zuordenbare Messsignale zu erhalten, wurde der Nachstationierungsalgorithmus CoMPACT (Condition Monitoring and Prediction Analytics for Turnouts) entwickelt [5]. Diese Systematik ermöglicht es, einerseits Weichen und somit andere Bereiche exakt zu identifizieren und andererseits die Synchronität unterschiedlicher Messsignale sicherzustellen. Die Methodik beruht dabei, entgegen weit verbreiteter peak-to-peak-Verschiebungen, auf der mathematischen Klassifizierung der Ähnlichkeit von Messsignalen. Es handelt sich um eine Kalkulation von notwendigen Verschiebungen, um eine bestmögliche Korrelation über einen gewissen Einflussbereich sicherzustellen. In Abb. 2 sind die Eingangsdaten sowie die aufbereiteten Messdaten exemplarisch anhand von Längshöhenmessungen über eine Länge von 200 m visualisiert, im oberen Bereich (a) die Rohdaten, welche vom Gleismesswagen aufgezeichnet wurden, und im unteren Bereich (b) die nachstationierten Messdaten.

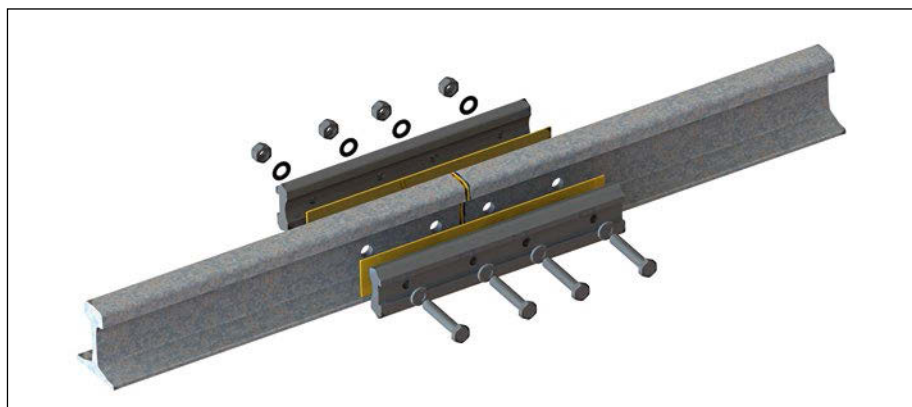


Abb. 1: Explosionsdarstellung Isolierstoß

Quelle: Getzner

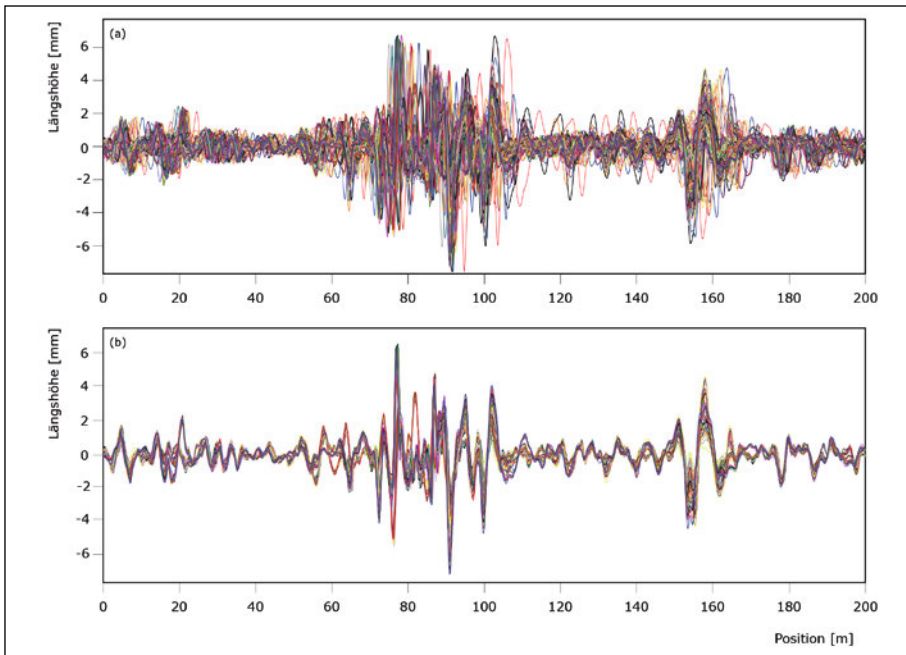


Abb. 2: Längshöhenmessung (a) Qualität der Eingangsdaten, (b) Datenqualität nach COMPACT

Quelle: TU Graz

Analyse der Gleislage im Bereich von Isolierstößen

Aufbauend auf der Datenqualität der Messdaten ist es möglich, Analysen über die Veränderung der Gleislage im Laufe der Zeit im Bereich von Isolierstößen zu erstellen. Da in Österreich keine zentrale Datenbank über die geografische Situierung von Isolierstößen vorhanden ist, wurden in einem ersten Schritt Weichenbereiche analysiert, da in den meisten Fällen am Beginn oder am Ende einer Weiche ein Isolierstoß angeordnet ist. Zu diesem Zweck wurden 16 Weichen einer detaillierteren Betrachtung unterzogen. Die Weichen wurden dabei, aufgrund konstruktiver Eigenheiten sowie der damit einhergehenden veränderlichen Eigenschaften, in fünf Abschnitte unterteilt:

- Bereich 1: 10 m vor dem Weichenanfang (jener Bereich, wo oft ein Isolierstoß situiert ist)
- Bereich 2: Vom Weichenanfang bis zum ersten Schweißstoß innerhalb der Weiche
- Bereich 3: Vom ersten Schweißstoß bis zum zweiten Schweißstoß
- Bereich 4: Vom zweiten Schweißstoß bis zum Weichenende
- Bereich 5: Vom Weichenende bis 10 m hinter dem Weichenende.

Für jeden dieser Bereiche wurden die Längshöhenmessungen extrahiert, die Standardabweichung dieser Messdaten über die gesamte Länge hinweg berechnet und auf die Länge der unterschiedlichen Bereiche hin normiert, um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Die Ergebnisse sind in Abb. 3 dargestellt. Es fällt auf, dass die Bereiche 1 und 4 die höchsten Verschlechterungsraten aufweisen. Im Bereich 4 befindet sich das Herzstück, weshalb die hohe Verschlechterung der Standardabweichung relativ klar erklärbar ist.

Bereich 1 weist im Gegensatz zu den restlichen Abschnitten in manchen Fällen eine extrem hohe Verschlechterungsrate auf. Die Weichen 1, 7, 12, 13 und 16 besitzen in diesem Bereich einen Isolierstoß. Es ist deutlich erkennbar, dass dieser Isolierstoß für die hohen Verschlechterungswerte verantwortlich ist. Zusammenfassend kann somit festgehalten werden, dass die Verschlechterungsrate der Standardabweichung der Längshöhe im Bereich von Isolierstößen teilweise über jener im Herzbereich von Weichen liegt und dass es sich somit bei Isolierstößen um sehr kritische Bereiche in Bezug auf eine Gleislageveränderung handelt. Um eine weitere Verifizierung dieser Ergebnisse zu erreichen und den Einfluss anderer Unstetigkeiten in Weichen gänzlich ausschließen zu können, wurden zusätzlich Stoßlückengleise untersucht. Natürlich können Stoßlücken nicht mit Isolierstößen gleichgesetzt werden, deren qualitatives Verhalten kann allerdings als vergleichbar angesehen werden. Zusätzlich sind Stoßlückengleise in Österreich deutlich leichter zu lokalisieren als verbaute Isolierstöße. Die diesbezüglichen Auswertungen sind

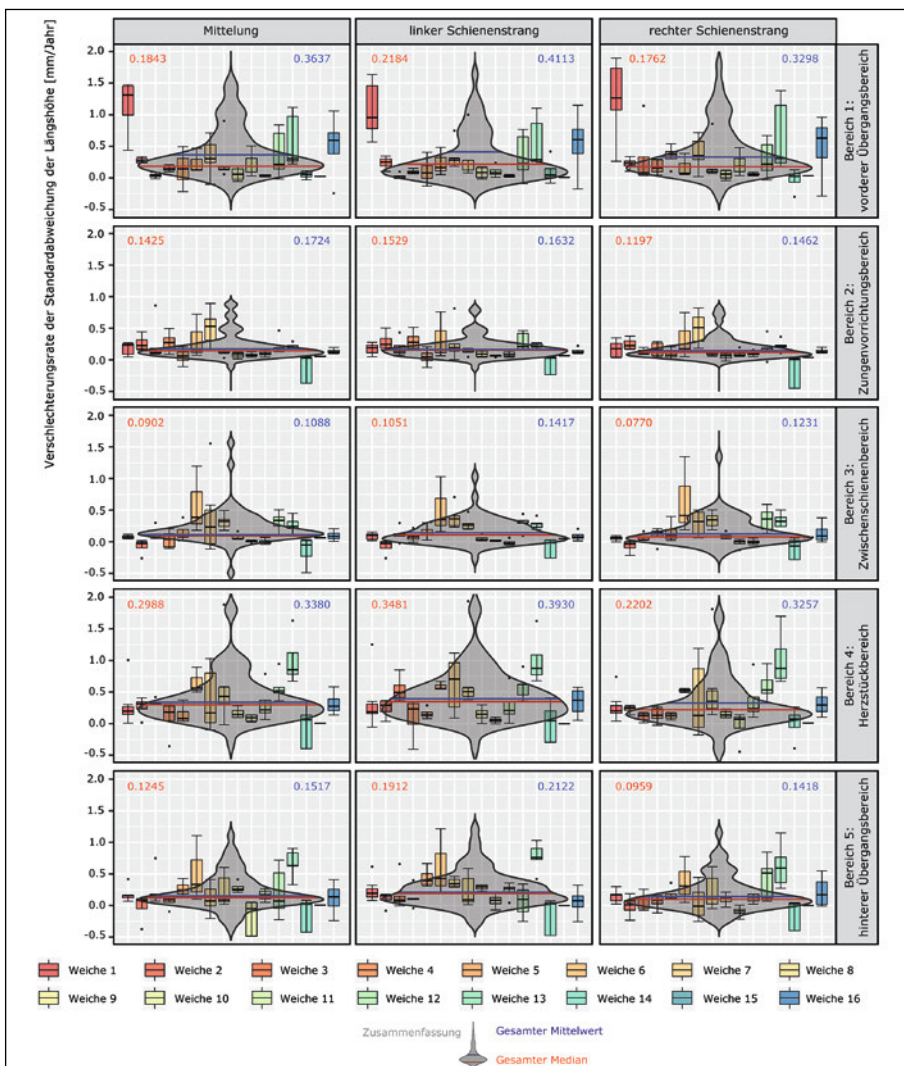


Abb. 3: Gegenüberstellung der Verschlechterungsraten verschiedenster Weichenbereiche unterschiedliche Weichen

Quelle: TU Graz

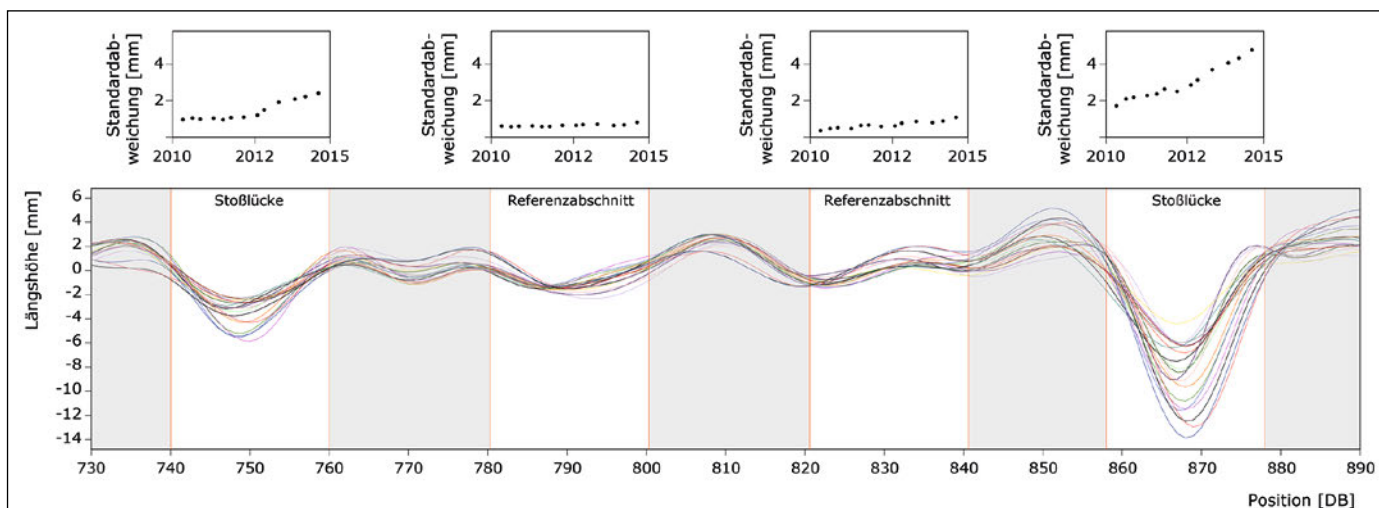


Abb. 4: Standardabweichung der Längshöhe von Stoßlücken und Referenzabschnitte

Quelle: TU Graz

in Abb. 4 visualisiert. Hier wurde wiederum die Standardabweichung der Längshöhe als repräsentativer Wert für die Gleislage betrachtet. Um einen Vergleich zu ermöglichen, wurden nicht nur Bereiche einer Stoßlücke ausgewertet, sondern im Zuge dessen auch Referenzbereiche. Es ist sehr deutlich erkennbar, dass sich die Standardabweichung im Bereich der Stoßlücke deutlich schneller verschlechtert als innerhalb der Referenzabschnitte, was wiederum den Schluss nahelegt, dass es sich bei Stoßlücken und ähnlich auch bei Isolierstößen um kritische Bereiche in Bezug auf die Gleislage handelt. Zusammenfassend kann also anhand der deskriptiven Analyse von Isolierstößen, basierend auf Messdaten des Gleismesswagens, festgehalten werden, dass es sich bei Isolierstößen um besonders zu beachtende Störstellen im Eisenbahnoberbau handelt.

ntes Beispiel ist die Spannbetonschwelle: die mangelnde Verfügbarkeit von hochwertigen und haltbaren Hölzern, gepaart mit der Problematik einer kurzen Lebensdauer von Holzschwellen, wurde durch eine moderne, industriell herstellbare Lösung kompensiert. Klare Vorteile wie lange Lebensdauer, weltweite Verfügbarkeit, stabile Gleislage und geringere Kosten stehen einem nicht zu unterschätzenden Nachteil einer kritischen Materialpaarung (Schotter mit Beton) gegenüber. Diese Materialpaarung führte dazu, dass der Schotter zum schwächsten Element im Oberbau wurde, die Betonschwelle zermahlt bei hohen Belastungen den Schotter geradezu. Dies führte in der Folge zu erhöhten Stopf- und Instandhaltungsmaßnahmen.

Frei nach dem Motto „der Klügere gibt nach“ haben sich smarte Lösungen in Kombination mit hochwertigen Elastomeren in den letz-

ten Jahrzehnten zunehmend etabliert und bewährt. Speziell die Schwellensohle (kurz: SL, von ursprünglich „Schwellenlager“) kann in Verbindung mit der Spannbetonschwelle als eine sehr sinnvolle und wirtschaftliche Ergänzung im Oberbau angesehen werden. Bahnbetreiber weltweit haben das Einsparungspotenzial mittlerweile erkannt und setzen in hochbeanspruchten „Hot Spots“ (z.B. Weichen, Brücken, Übergänge) auf beschotete Betonschwellen.

Das Wirkprinzip aller Lösungen mit Schwellensohlen basiert auf einer Kombination aus der Verlängerung der Biegelinie der Schiene, der Vervielfachung der Kontaktfläche und damit einer signifikanten Reduktion der Schotterkontaktbelastung und nicht zuletzt einer Fixierung der obersten Schotterdecke, die mit weniger Vibrationen und einer verbesserten Gleislage einhergeht. Messungen von Gleismesswagen

Der Klügere gibt nach:

Höhere Elastizität als Lösungsansatz

Immer wenn Verschleißerscheinungen an Bauteilen auftreten, gibt es zwei Hauptlösungsansätze: die Komponenten können verbessert, meist verstärkt, werden oder die Belastung kann reduziert werden. Der Weg einer Verstärkung der Komponenten mündet in einer Art „Wettrüsten“ der Infrastruktur gegen die immer weiter steigenden Beanspruchungen, die durch höhere Zugfrequenzen und steigende Achslasten zustande kommen. Diese Optimierungen werden seit Anbeginn der Eisenbahnära oft inkrementell, manchmal aber auch disruptiv umgesetzt und resultieren bereits in einer Verlängerung der Lebensdauer der Komponenten. Erst in den letzten drei Jahrzehnten fand ein gewisser Sinneswandel statt: anstelle die Bauteile immer stärker, härter und dicker zu machen, gewinnt das Thema „Elastizität im Oberbau“ mehr und mehr an Bedeutung. Denn manchmal erkaufte man sich mit einer Innovation zwar viele Vorteile, muss aber auch mit Nachteilen rechnen. Ein promi-



Abb. 5: Weiße Stelle durch Schotterzerstörung bei Isolierstoß

Quelle: TU Graz

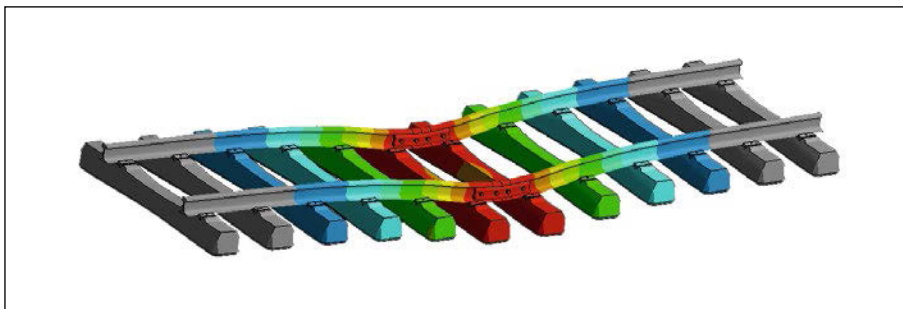


Abb. 6: Finite Elemente-Modell eines Gleisrostes mit Isolierstößen

Quelle: Getzner

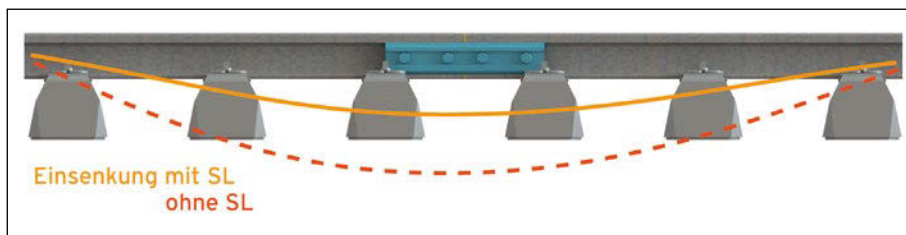


Abb. 7: Schematische Darstellung: Schieneneinsenkung unter Isolierstoß mit/ohne Schwellensohlen (kurz: SL)

Quelle: Getzner

beweisen eindrücklich, wie die Gleislagequalität in besohlenen Gleisabschnitten im Vergleich zu herkömmlichen Oberbauformen länger auf einem hohen Niveau erhalten bleibt. Eine Verlängerung von Stopfzyklen um den Faktor 2,75 ist, als konservative Abschätzung, die Regel. In hochbelasteten Strecken kann diese Zahl sogar weit höher ausfallen: Verlängerungsfaktoren von fünf und mehr sind keine Seltenheit [6]. Um den hohen Ansprüchen eines modernen Oberbaus mit Planlebensdauern von 30 und mehr Jahren gerecht zu werden, ist die Wahl eines geeigneten Schwellensohlenmaterials von sehr hoher Bedeutung. Denn nur wenn das elastische Material mindestens mit der Nutzungsdauer der Schwelle mithalten kann, wird die eingesetzte Lösung einer Lebenskostenbetrachtung standhalten und als nachhaltig betrachtet werden können. Weltweit haben sich in den letzten Jahrzehnten Schwellensohlen aus hochwertigen Polyurethanwerkstoffen als eine ausgezeichnete Lösung für alle Arten von Einsatzfällen erwiesen [7] [8] [9].

Glättung der Überfahrt – Reduktion der Belastung

Die eingangs beschriebenen Gleisverschlechterungsraten sind das Symptom, die Unstetigkeiten und dadurch sehr hohen dynamischen Kräfte, die durch Isolierstöße entstehen, sind das eigentlich zugrundeliegende Problem. Die hohen Kräfte bringen den Gleisschotter schnell an seine Belastungsgrenzen, die Folge ist eine schnelle Schotterzerstörung und damit eine sich rasch verschlechternde Gleislage (Abb. 5). Die Schotterzerstörung ist als sog. „weiße Stelle“ oft mit bloßem Auge sichtbar. Der Effekt wirkt selbstverstärkend, da durch die anfängliche Zerstörung größere Amplituden ermöglicht werden, die wiederum zu höheren

Beschleunigungen führen. An Isolierstößen führen diese Phänomene zu weiteren Problemen: die Stoßzwischenlagen werden schneller zerstört, Überwalzungen an der Schienoberfläche führen zu Kurzschlüssen, Signalstörungen sind die Folge. Die Gesamtheit dieser komplexen Problemstellung kann mit Hilfe einer optimierten Steifigkeitsverteilung effektiv bekämpft werden. Mittels eines ausgefeilten FEM-Modelles können unter Berücksichtigung der im Gleis herrschenden Randbedingungen die Verformungen des Gleisrostes simuliert werden (Abb. 6). Durch das gezielte Einbringen von definierter Elastizität, sowohl direkt unter dem Isolierstoß als auch unter den angrenzenden Schwellen zu beiden Seiten des Stoßes hin, kann die Überfahrt über die Unstetigkeit „Isolierstoß“ geglättet werden [10] (Abb. 7). Mit Schwellensohlen unterschiedlicher Steifigkeit wird auf diese Weise das Einsenkungsverhalten der Schwellen, die sich um den Isolierstoß befinden, positiv beeinflusst. Die Vorteile liegen auf der Hand: deutliche Reduktion der dynamischen Beanspruchung und somit ein langsamerer Verschleiß des Schotter und dadurch eine gleichbleibend hohe Gleislagequalität. Zur Verifikation des theoretischen Ansatzes wurden bereits verschiedene Isolierstöße mit Schwellensohlen ausgestattet. Die Erkenntnisse aus Labor und Simulation wurden in Teststrecken, u.a. in Nordamerika mittels Einsenkungsmessungen überprüft und bestätigt [10]. Die Glättung der Überfahrt und damit die Reduktion der Belastung auf die Isolierstoßkomponenten konnte auch unter realen Bedingungen nachgewiesen werden [11]. Bereits erfolgreich erprobte Lösungen umfassen insgesamt mindestens 20 besohlte Schwellen: zehn Schwellen auf jeder Seite des Stoßes. So wird gewährleistet, dass die Un-

stetigkeitsstelle normalisiert, sprich optimiert wird. Eine überschlägige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung fällt sehr positiv aus, soll aber in weitergehenden Untersuchungen noch im Detail betrachtet und veröffentlicht werden.

Zusammenfassung

Mittels deskriptiver Analyse von Isolierstößen und Stoßlücken konnte, basierend auf Messdaten des Gleismesswagens, gezeigt werden, dass es sich bei Isolierstößen um besonders kritische Bereiche im Eisenbahnoberbau handelt. Signalstörungen und aufwändige Stoßpflege sind weltweit unliebsame Nebenwirkungen dieser Unstetigkeitsstellen. Durch zusätzliche, definierte Elastizität im Oberbau - die durch Schwellensohlen eingebracht wird - können die Steifigkeitssprünge an diesen Störstellen geglättet werden, womit Verschleiß- und Folgeerscheinungen minimiert werden können. ■

QUELLEN

- [1] Maschek, U.: Leit- und Sicherungstechnik. In: Lothar Fendrich und Wolfgang Fengler (Hg.): Handbuch Eisenbahninfrastruktur. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, S. 495–551
- [2] Eisenmann, J.; Leykauf, G.: Isolierstoß, Stör- und Schwachstelle im Gleis. In: Verband Deutscher Eisenbahn-Ingenieure (Hg.): Der Eisenbahningenieur 36. Darmstadt: Tetzlaff Verlag GmbH, 1985, S. 99-107
- [3] Kipper, R.; Lieberenz, K.: Zum Einfluss des Unterbaues und des Tragsystems auf die Gleislage. Eisenbahningenieur 60 - 9, 2009, S. 18–24
- [4] Lichtberger, B. (2010): Handbuch Gleis. Unterbau, Oberbau, Instandhaltung, Wirtschaftlichkeit. 3., komplett überarbeitete Neuauflage. Hamburg: Eurailpress
- [5] Fellingner, M.; Wilfling, P. A.; Marschnig, S. (2020): Datenbasierte Zustandsbeschreibung und Prognose des Weichenverhaltens. ZEVrail, 144 (03), S. 80-86
- [6] Huiding, D.; Pospischil, F.; Loy, H.: Heavy-haul in China: Investigating durable elasticity for superstructure, Global Railway Review, 05/2019, S. 56-59
- [7] Loy, H.: Under Sleeper Pads: improving track quality while reducing operational costs, European Railway Review, 04/2008, Sonderdruck, S. 1-8
- [8] Veit, P.; Vonbun, S.: Elastic elements in track influencing total track costs and reducing vibrations, Journal of Proceedings: PWI Conference Manchester, 2018, S. 71-76
- [9] Auer, F.; Schilder, R.: Technische und wirtschaftliche Aspekte zum Thema Schwellenbesohlung, ZEV Rail, 2009, S. 180-193
- [10] Quirschmair, M.; Froberg, E.; Loy, H.: Insulated rail joints: a solution to improve lifetime and performance at high maintenance track sections, Global Railway Review, 01/2019, S. 58-61
- [11] Quirschmair, M., Loy, H., Bell, C.: Improving the lifespan of insulated joints, Track and Signal, 03/2019, S. 66-67



Dipl.-Ing. Dr. techn. Michael Fellingner

Universitätsprojektassistent
Institut für Eisenbahnwesen und
Verkehrswirtschaft
Technische Universität Graz, AT-Graz
michael.fellingner@tugraz.at



Dipl.-Ing. Stefan Vonbun

Produktmanager
Getzner Werkstoffe GmbH, AT-Büres
stefan.vonbun@getzner.com