

ETR

EISENBAHNTECHNISCHE RUNDSCHAU



IMPULSGEBER FÜR DAS SYSTEM BAHN

LEISTUNGSFÄHIGKEIT

Vergleich von Verspätungsverläufen in Europa
Optimierung der Streckenkapazität in Luxemburg

Bedeutung einer Kapazitätsrendite
Streckenleistungsfähigkeitsbestimmung

INFRASTRUKTUR & BAU

Innovation im Kabeltiefbau
Oberbausystem DURFLEX

FAHRZEUGE & KOMPONENTEN

Lohnender Blick in den Fehlerspeicher von Fahrzeugen
Remote ECM für Smart Train Lease



Dynamische Belastungen am Schotterplanum im Tullnerfeld – Vergleich zweier Schottertypen über 13 Jahre Betriebsdauer

Im Eisenbahnbetrieb übertragen sich Radlasten über die Schiene auf den Fahrweg. Die Wechselwirkungen zwischen Rad und Schiene beeinflussen die Betriebssicherheit und den Verschleiß. Dabei spielen Lastverteilung, Fahrdynamik und Gleisgeometrie zentrale Rollen. Optimierte Rad-Schiene-Kontakte gewährleisten effizienten und sicheren Transport.



1. Einleitung

Ein zentrales Maß für die Verteilung dynamischer Kräfte im Oberbau stellt die vertikale Einsenkung der Schiene dar. Für die weitere Lastausbreitung in Richtung Unterbau sind insbesondere die Dicke des Schotterbetts sowie der Lastausbreitungswinkel von entscheidender Bedeutung. Die Belastung von Schotterbett und Unterbau beeinflusst maßgeblich die langfristige Qualität und Stabilität der Gleislage.

Im Streckennetz der Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) kommt Oberbauschotter unterschiedlicher Herkunft und Gesteinsart zumeist in durchmischter

Form zum Einsatz. Um die Auswirkungen verschiedener Gesteinsarten gezielt zu untersuchen, wurden im Bauabschnitt Tullnerfeld mehrere unterschiedliche Materialien getrennt voneinander eingebaut. Die Messstellen MQ1 und MQ2 erfassen jeweils einen Gleisquerschnitt mit besonderem Fokus auf den Zustand des Oberbaus, sowohl vor als auch nach der Konsolidierung des Schotters.

Zur Analyse der Lasteinwirkung am Planum wurden speziell entwickelte Messplatten eingesetzt. Ergänzend dazu erfolgten Messungen der Schienenspannungen, der vertikalen Einsenkungen sowie der Schwingbeschleunigungen an den Schwellen-

**Dipl.-Ing. Dr. techn.
Ekkehard Steiner**



Assistentenprofessor am Institut für Infrastruktur, Arbeitsbereich Intelligente Verkehrssysteme / Lehrstuhl Eisenbahnwesen, Universität Innsbruck, Fakultät für Technische Wissenschaften
ekkehard.steiner@uibk.ac.at

**Dipl.-Ing.
Christoph Kuttelwascher**



Leiter Gleisbautechnik, ÖBB-Infrastruktur AG, Streckenmanagement und Anlagenentwicklung, Fachbereich Fahrwegtechnik
christoph.kuttelwascher@oebb.at

**Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn.
Harald Loy**



Institut für Infrastruktur, Arbeitsbereich Intelligente Verkehrssysteme / Lehrstuhl Eisenbahnwesen, Universität Innsbruck, Fakultät für Technische Wissenschaften
harald.loy@uibk.ac.at



1: Anordnungen der Messquerschnitte entsprechend der Kilometrierung MQ1 mit Basaltschotter und MQ2 mit Granitschotter im Gleis 7 auf der Neubaustrecke Wien – St. Pölten

len, um ein umfassendes Bild der mechanischen Beanspruchung des Oberbaus zu erhalten.

2. Historie der Messungen am Schotterplanum im Tullnerfeld

Im Anschluss an Versuchsreihen an der TVFA der Universität Innsbruck [1] wurden im Gleis 7 der Strecke Wien – St. Pölten zwei Messquerschnitte eingerichtet, um die Auswirkungen unterschiedlicher Schotterarten auf die Pressungsverhältnisse am Schotterplanum zu untersuchen. Dabei kam im Messquerschnitt MQ1 Basaltschotter und im MQ2 Granitschotter zum Einsatz (Abbildung 1).

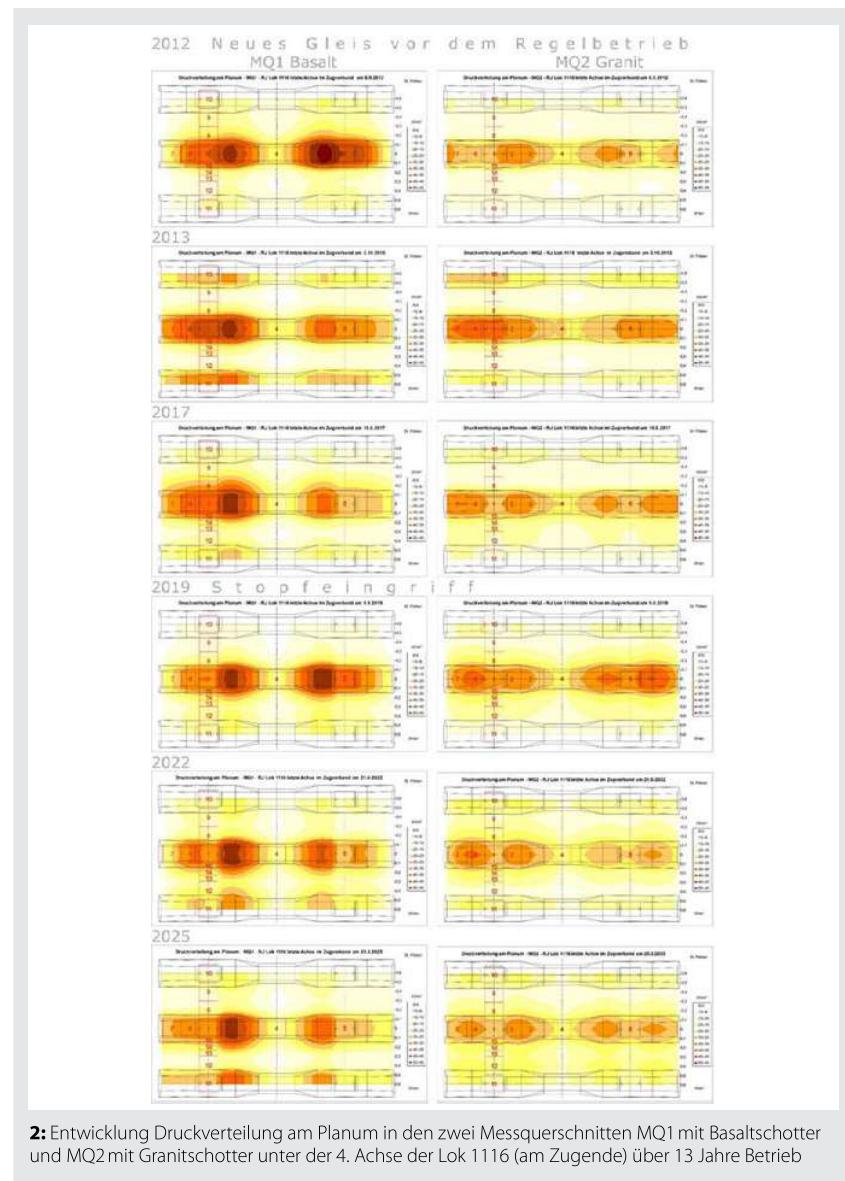
Zur Erfassung der Lasteinwirkungen wurden speziell entwickelte Biegebalken-Messelemente verwendet. Diese bestehen aus Stahlplatten mit definierten Auflagerflächen von 20 cm × 20 cm bzw. 6,6 cm × 20 cm, die mit Dehnungsmessstreifen ausgestattet sind.

Die Druckplatten wurden gemäß dem in Abbildung 2 dargestellten Schema am 6. Februar 2012 in den beiden Messquerschnitten im Gleis 7 eingebaut. Die verwendeten Schwellen vom Typ L2 sind mit der aktuellen Standardbesohlung zur Schotterschonung SLB 3007 G versehen. Die Stärke des Schotterbetts beträgt 45 cm. Die verbleibende Schotterstärke von Schwellenunterkante zum Planum beträgt 23 cm.

Am 14. März 2012 erfolgte die Schlussstopfung im Gleis 7 mit dem Dynamic Stopfexpress 09-4X. Bei der letzten dynamischen Gleisstabilisierung konnten die Auswirkungen auf die Pressungsverhältnisse am Planum messtechnisch erfasst werden [2]. Die Stopfung und dynamische Stabilisierung mit gleichbleibenden Arbeitsparametern gewährleistet eine maximal vergleichbare Schotterbettverdichtung und möglichst homogene Auflagerbedingungen im Anfangszustand.

Im Rahmen der Innovationsmessfahrten (IMF) im August 2012 wurden Versuchsfahrten mit einem dreiteiligen ICE S der Deutschen Bahn AG mit Geschwindigkeiten von über 330 km/h durchgeführt. In einer zweiten Messserie im September 2012 wurde eine RailJet-Doppelgarnitur mit bis zu 250 km/h getestet [3]. Diese Messungen fanden vor der offiziellen Inbetriebnahme der Strecke für den Regelverkehr statt.

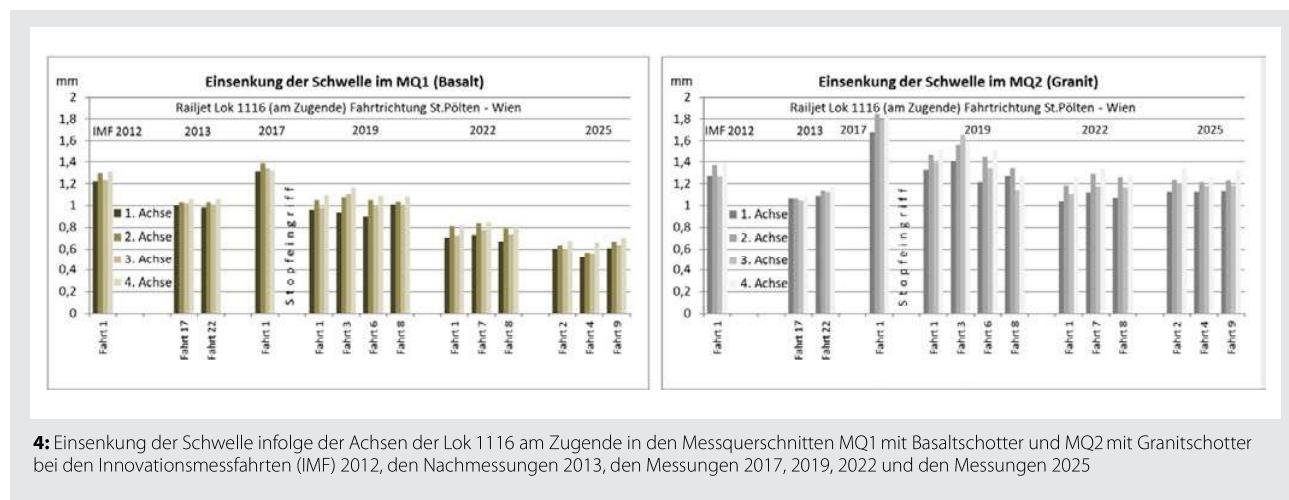
Etwa zehn Monate nach der Inbetriebnahme der Neubaustrecke Wien – St. Pölten und nach einer kumulierten Belastung von 25 Mio. t wurden am 3. Oktober 2013 unter



2: Entwicklung Druckverteilung am Planum in den zwei Messquerschnitten MQ1 mit Basaltschotter und MQ2 mit Granitschotter unter der 4. Achse der Lok 1116 (am Zugende) über 13 Jahre Betrieb



3: Mittlerer Lastausbreitungswinkel (zwischen rechter und linker Schwellenseite) der ersten Achse im Zugverband in den Messquerschnitten MQ1 mit Basaltschotter und MQ2 mit Granitschotter bei den Innovationsmessfahrten (IMF) 2012, den Nachmessungen 2013 und den Messungen 2017, 2019, 2022 und 2025



4: Einsenkung der Schwelle infolge der Achsen der Lok 1116 am Zugende in den Messquerschnitten MQ1 mit Basaltschotter und MQ2 mit Granitschotter bei den Innovationsmessfahrten (IMF) 2012, den Nachmessungen 2013, den Messungen 2017, 2019, 2022 und den Messungen 2025

Regelverkehr erneut Messungen durchgeführt. Dabei wurden 22 Züge auf Gleis 7 in Fahrtrichtung St. Pölten - Wien von den Sensoren am Planum erfasst [2].

Am 10. August 2017, nach nahezu fünfjährigem Betrieb und einer kumulierten Belastung von 115 Mio. t (entspricht 6 Millionen Achsübergängen), erfolgte eine weitere Messung der Druckplatten am Planum [4].

Am 9. August 2019, nach rund sieben Jahren Betrieb und einer kumulierten Belastung von 161 Mio. t (ca. 8,4 Millionen Achsübergänge) wurden die Pressungen am Planum unter Regelbetrieb erneut aufgezeichnet [5].

Nach zehn Jahren Betriebsdauer wurden am 21. Juni 2022 die Pressungen am Planum gemeinsam mit den Einsenkungen und Schienenfußspannungen im Bereich der Messstellen unter Regelbetrieb gemessen.

Am 25. März 2025, nach 13 Jahren Betrieb und einer kumulierten Gesamtbela- stung von 300 Mio. Bruttotonnen, wurde die Messkette erneut an die Verstärker angeschlossen und ein Tag Regelverkehr aufgezeichnet. Die ursprünglich für ein Jahr konzipierten Messstellen mit insgesamt 30 Druckplatten und Dehnungsmessstreifen am Schienenfuß waren auch nach 13 Jahren noch voll funktionsfähig.

3. Entwicklung der Pressungen am Planum und Änderung des Lastausbreitungswinkels

Die am Planum über die jeweiligen Druckplatten gemittelten Pressungen wurden aufgrund der begrenzten Anzahl der Druckmessplatten interpoliert als Kon-

turplot dargestellt. Lokal können erhöhte Kornspitzendrücke auftreten, die dann zu Abplatzungen am Korn und an der Schwelle führen.

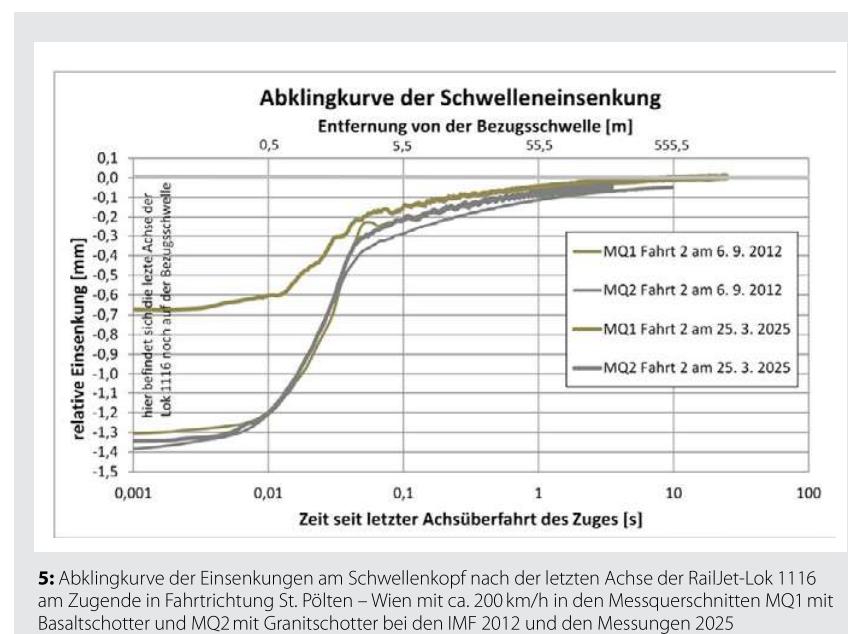
Abbildung 2 zeigt die Pressungsverteilung am Planum infolge der Überfahrt einer Lokachse der Baureihe 1116 eines RailJet-Zuges in den beiden Messquerschnitten. Zum Zeitpunkt der dargestellten Pressungsverteilung befand sich die Lokachse direkt über der Bezugsschwelle mit der höchsten Sensorendichte.

Sowohl vor Aufnahme des Regelbetriebs im Jahr 2012 als auch nach dem Stopfeingriff im Jahr 2019 zeigten beide Messquerschnitte eine weitgehend symmetrische Druckverteilung zur Gleisachse (vgl. Abbildung 2).

Bei der Messschwelle im Basaltschotter ergaben sich größere Pressungskonzentrationen am Planum gegenüber der Messschwelle im Granitschotter.

Neben der Erfassung der Pressungsverteilung am Planum wurde der Lastausbreitungswinkel im Schotterbett detaillierter untersucht. Dieser wird hier definiert als 90% Quantil der gemessenen Reaktionspressung in Schienenlängsrichtung, gemessen von der Unterkante der Schwelle zur Vertikalen. Damit umfasst der Lastausbreitungswinkel jene Fläche am Planum, auf die 90 % der resultierenden Last eines Schwellenstützpunktes übertragen werden [1, 2, 3].

Der Lastausbreitungswinkel entlang der Schienenachse hat sich unter der ers-



5: Abklingkurve der Einsenkungen am Schwellenkopf nach der letzten Achse der RailJet-Lok 1116 am Zugende in Fahrtrichtung St. Pölten - Wien mit ca. 200 km/h in den Messquerschnitten MQ1 mit Basaltschotter und MQ2 mit Granitschotter bei den IMF 2012 und den Messungen 2025

ten Lokachse im Verlauf von fünf Jahren Betriebsbelastung von ursprünglich 17° auf 20° erhöht. Nach sieben Betriebsjahren zeigt sich ein deutlicher Unterschied im Lastausbreitungsverhalten zwischen den Messstellen mit Basalt- und Granitschotter (siehe Abbildung 3).

Nach 13 Jahren Betrieb stellte sich unter der ersten Lokachse ein mittlerer Lastausbreitungswinkel beim Basaltschotter von 20° und beim Granitschotter von 22° ein. Diese mittleren Lastausbreitungswinkel sind auch bei der letzten RailJet-Lokachse in der Abbildung 3 erkennbar.

4. Änderung der Schwelleneinsenkung unter Belastung

Untersucht wurden die relativen Einsenkungen der besohlten L2 Schwellen am Schwellenkopf in Bezug zum Schotterbett. Abbildung 6 zeigt die Einsenkungen unter den vier Achsen einer RailJet-Lok am Zugende. Die jeweils zweite Achse im Drehgestell weist meistens eine größere Einsenkung auf.

Nach zehn Monaten Betriebsbelastung konnte eine Reduktion der Schwellenkopfeinsenkungen festgestellt werden: Im Messquerschnitt MQ1 (Basalt) betrug die Verringerung gegenüber den Initialmesswerten (IMF 2012) 19%, im Messquerschnitt MQ2 (Granit) 17%. Diese Entwicklung deutet auf eine beginnende Konsolidierung des Gleisbetts hin.

Im Jahr 2017, nach fünf Jahren Betriebsbelastung, zeigte sich hingegen ein deutlicher Anstieg der Einsenkungen. Im Vergleich zu den IMF 2012 stiegen die Werte im Messquerschnitt MQ1 (Basalt) um 6%, im Messquerschnitt MQ2 (Granit) sogar um 35%.

Nach dem durchgeführten Stopfeingriff im Jahr 2019 veränderten sich die Einsenkungen erneut: Im Mittel waren die Schwellenkopfeinsenkungen im Messquerschnitt MQ1 (Basalt) um 18% geringer als 2012, während sie im Messquerschnitt MQ2 (Granit) um 6% höher lagen.

Bei den Messungen im Jahr 2025 zeigten sich unter den vier Achsen der Lokomotive 1116 nach dem Stopfeingriff von 2019

weitere Reduktionen: Die mittlere Einsenkung verringerte sich beim Basaltschotter von 1,0 mm auf 0,6 mm und beim Granitschotter von 1,4 mm auf 1,2 mm. Bemerkenswert ist, dass die relative Einsenkung der Bezugsschwelle beim Basalt nur noch halb so groß ist wie beim Granit.

Aus der Abklingkurve der Schwelleneinsenkung in Abbildung 5 nach der letzten überfahrenen Achse ist erkennbar, dass die elastoplastischen Eigenschaften der Besohlung auch nach 13 Jahren Belastung noch intakt sind.

5. Änderung der Spannung in Schienenfußmitte unter einer Achslast

In der Abbildung 6 sind die Spannungen in Schienenfußmitte als Achswerte der RailJet Lok 1116 in den beiden Messquerschnitten während der Zugsüberfahrt dargestellt.

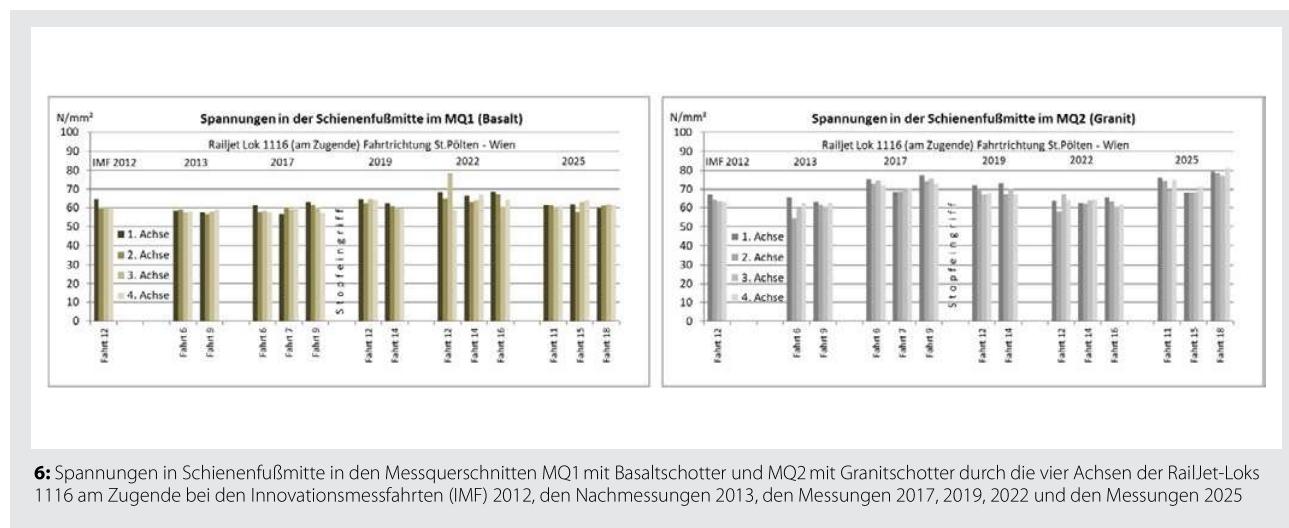
Durch die Konsolidierung des Schotters sind die Spannungen in Schienenfußmitte nach der Inbetriebnahme im MQ1 (Basalt) leicht gesunken. Erst der Stopfeinsatz 2019 hat wieder um 2,5% größere Spannungen

MADE MIT KÖPFCHEN

Signalsysteme
made in Mödling.







6: Spannungen in Schienenfußmitte in den Messquerschnitten MQ1 mit Basaltschotter und MQ2 mit Granitschotter durch die vier Achsen der Railjet-Loks 1116 am Zugende bei den Innovationsmessfahrten (IMF) 2012, den Nachmessungen 2013, den Messungen 2017, 2019, 2022 und den Messungen 2025

in der Schienenfußmitte im MQ1 gegenüber 2012 bewirkt. Die größeren Schienenfußspannungen im MQ1 sind bei den Messungen 2022 aufgetreten und haben sich bei den Messungen 2025 wieder auf das Niveau von 2019 reduziert.

Bei den Messungen 2017 sind die Spannungen im MQ2 (Granit) im Vergleich zum MQ1 größer. Der Stopfeneinsatz hat die Spannungen im MQ2 bei den Messungen 2019 reduziert, aber sie liegen immer noch im Mittel um 7% über den Spannungen von 2012. Nach einer Reduktion der Spannungen im MQ2 bei den Messungen 2022 haben sich diese 2025 wieder auf das Niveau von 2019 erhöht.

6. Zusammenfassung

Auf der Neubaustrecke Wien–St. Pölten wurden seit deren Fertigstellung Messungen von Schienenspannungen, Planumspressungen sowie Schwelleneinsenkungen während Zugsüberfahrten kontinuierlich durchgeführt. Nach 13 Betriebsjahren mit einer kumulierten Belastung von etwa 300 Mio. Gesamtbruttotonnen (entsprechend rund 15 Millionen Achsübergängen) konnten die installierten Sensoren erfolgreich reaktiviert werden. Ziel der Untersuchungen war die Erfassung von Veränderungen, die primär auf Konsolidierungsvorgänge im Schotterbett zurückzuführen sind.

Alle gemessenen Größen zeigten eine deutliche Veränderung infolge der intensiven Belastung der Strecke. Die Vergleichsmessungen erfolgten unter der Last der vier Achsen von Lokomotiven der Baureihe 1116.

Nach dem Stopfeneinsatz im Jahr 2019 näherten sich die Messwerte – Schwelleneinsenkungen, Planumspressungen und Schienenfußspannungen – wieder den Ausgangswerten der Neulage von 2012 an. Die signifikanteste Reduktion der Einsenkung unter den Lokachsen der Baureihe 1116 wurde im Messquerschnitt MQ1 mit Basaltschotter beobachtet, wo die Einsenkung von 1,2 mm auf 0,6 mm zurückging.

Der Lastausbreitungswinkel im Schotter, definiert als 90%-Quantil der Planumspressungen unter der Schwelle, betrug bei der Neulage 2012 durchschnittlich 17°. Nach 13 Jahren Betrieb erhöhte sich der mittlere Winkel auf 20° im Basaltschotter und auf 22° im Granitschotter unter der Achslast der Baureihe 1116.

Um mögliche Ursachen der unterschiedlichen Messergebnisse erkennen zu können und um Auswirkungen der Betriebsbelastung auf die Schotterbettung zu ermitteln, wurden in verschiedenen Betriebsphasen Schotteruntersuchungen durchgeführt. Die Ergebnisse können als Basis einer folgenden Veröffentlichung dienen.

DOI 10.61067/251238

Literatur

- [1] Steiner, E.; Kuttelwascher, Ch.; Prager, G.; „Druckausbreitung von belasteten Eisenbahnschwellen im Gleisschotter“, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau, 12/2012, S. 71-75.
- [2] Steiner, E.; Kuttelwascher, Ch.; Prager, G.; „Lastabtragung im Schotterbett – Änderungseffekte durch Konsolidierung und Bahnbetrieb“, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau, 12/2014, S. 72-76.

[3] Steiner, E.; Prager, G.; „Lastverteilung bei verschiedenen Gleisschotterarten“, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau ETR AUSTRIA Spezial 03/2014, S. 21-24.

[4] Steiner, E.; Prager, G.; „Messung der Pressungen am Schotterplanum – von der Streckeneröffnung bis nach 5 Jahren Betrieb“, Messbericht Universität Innsbruck, Fakultät für Technische Wissenschaften, Institut für Infrastruktur, Arbeitsbereich Intelligente Verkehrssysteme 12/2017 (nicht veröffentlicht).

[5] Steiner, E.; Prager, G.; „Messung der Pressungen am Schotterplanum – von der Streckeneröffnung 2012 bis nach 7 Jahren Betrieb“, Messbericht Universität Innsbruck, Fakultät für Technische Wissenschaften, Institut für Infrastruktur, Arbeitsbereich Intelligente Verkehrssysteme 12/2019 (nicht veröffentlicht).

Summary

Dynamic loads on the ballast formation in the Tullnerfeld – comparison of two ballast types over 13 years of operation

In railway operation, wheel loads are transferred to the track via the rail. The interactions between wheel and rail influence operational safety and wear. Load distribution, driving dynamics and track geometry play key roles here. Optimised wheel-rail contacts ensure efficient and safe transport.