

REVIEWED

Abnahmeschrieb des Schotterbettzustandes durch eine Hochleistungsstopfmaschine – in situ Messung während des regulären Stopfbetriebes

Acceptance Report of the Ballast Bed Condition Conducted by a High-Performance Tamping Machine – in situ Measurement During Regular Tamping Operation

Dr. habil. Bernhard Lichtberger, Dr. Heinrich Schmitzberger, Laakirchen (Österreich)

Zusammenfassung

Ein neuartiger vollhydraulischer Stopfantrieb, der mit Druck- und Wegsensoren ausgestattet ist, misst während Gleisstopparbeiten Schotterbetteigenschaften wie Schotterbetthärte, Verdichtkraft und Schotterbettsteifigkeit. Die Messgrößen und ihr Verlauf in Gleisarbeitsrichtung werden mit Techniken des maschinellen Lernens analysiert. Das Maschinenpersonal wird während der Arbeit automatisch auf Schwachstellen in der Bettung hingewiesen, so dass sie diese durch Anpassung der Arbeitsweise optimiert bearbeiten können. Auf dem Monitor des Leitcomputers überblickt der Maschinenführer an Hand eines neu entwickelten Bettungsschriebes die erfassten Schotterparameter. Am Ende der Arbeit wird vollautomatisch ein Schotterbettabnahmereport erstellt. Dieser analysiert den allgemeinen Zustand des Schotterbettes, detektiert lokale Störstellen zerstörten Schotters und gibt Empfehlungen für eine Verbesserung des Zustandes ab. Die ermittelten Daten und Analysen werden an die Web-Plattform InfraME (Infrastructure Monitoring Environment) übermittelt und stehen dort dem Betreiber interaktiv zur Verfügung.

Abstract

A new type of fully hydraulic tamping drive equipped with pressure and displacement sensors measures ballast bed properties such as ballast bed hardness, compaction force and ballast bed stiffness during tamping operations. The measured variables and their progression in working direction along the track are analyzed using machine learning techniques. During work, the machine personnel are notified of weak spots in the ballast bed automatically allowing them to work on these spots in an optimized manner by adapting their working methods. The control computer displays the recorded ballast parameters embedded in the ballast record, an application specially developed for conveying ballast bed related information. At the end of work, a ballast bed acceptance report is generated fully automatically. This report analyses the general condition of the ballast bed, detects local faults in the destroyed ballast and makes recommendations for improving the condition. Along with the derived analyses the recorded data is transmitted to the web platform InfraME (Infrastructure Monitoring Environment), which makes it available to the contractor and owner of the machine in various interactive views.

1 Schotterbettzustand und Gleislagefehler

Eisenbahngleise unterliegen neben klimatischen Einflüssen den Belastungen des

Zugsverkehrs. Die Spurführung erzeugt Kräfte, die zwischen den Eisenbahnradern, der Schiene und in der Folge auf den gesamten Gleisrost wirken. Die auf-tretenden Vertikal- und Horizontalkräfte

werden über die Schienen, die Schienenbefestigung, die Schwellen und den Schotter in den Untergrund abgeleitet. Das Gleissystem verformt sich unter diesen Belastungen und verursacht Schäden

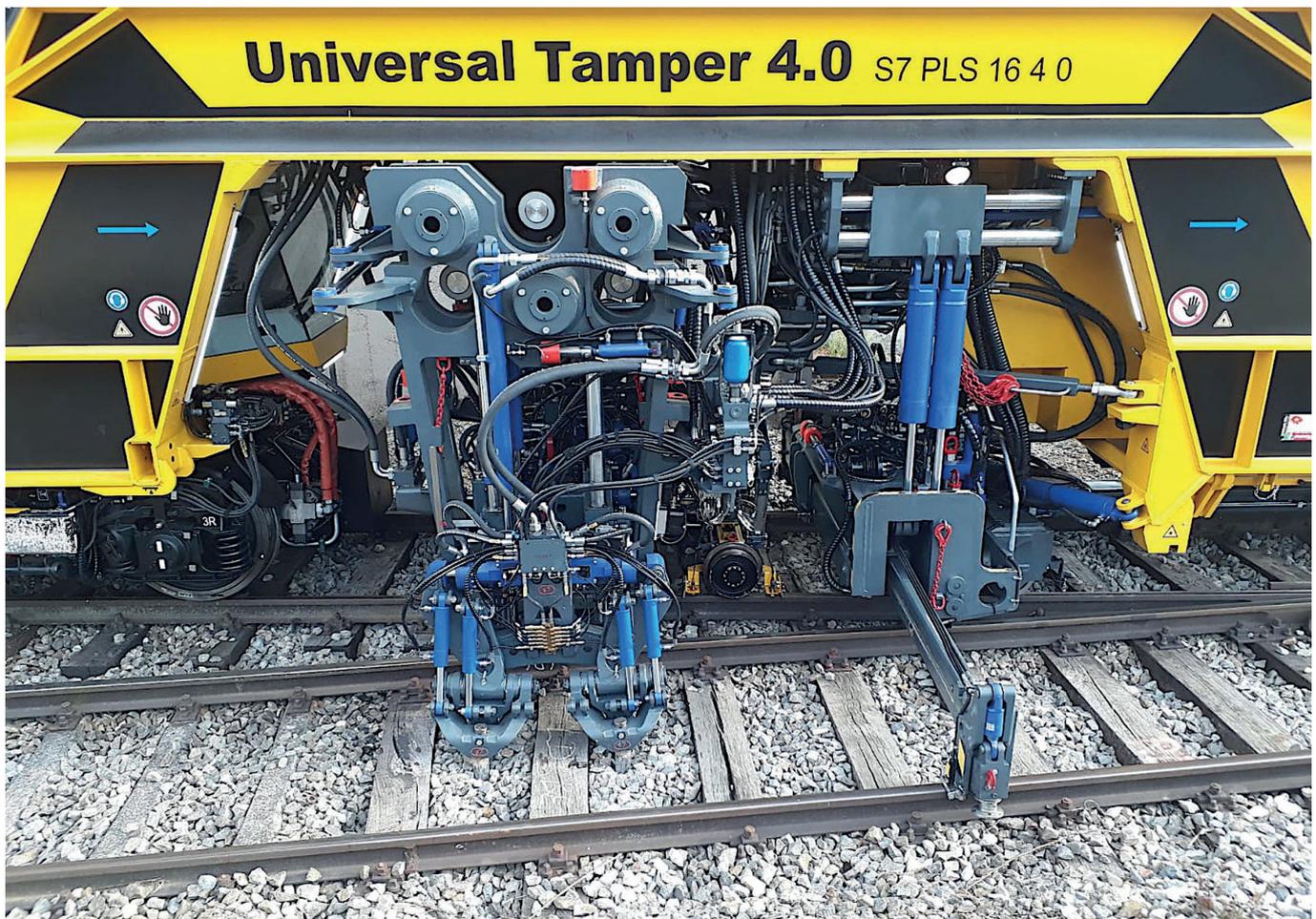


Bild 1: Universal Tamper 4.0 bei der Instandhaltung einer Weiche

und Verschleiß an den einzelnen Komponenten. Schotter wird unter den dynamischen Kräften zerkleinert, verliert seine Kantigkeit und wird durch organisches Material zusätzlich verunreinigt. Diese Abnutzung wirkt sich nachteilig auf das Lastabtragverhalten des Schotterbettes aus. Es verliert die Fähigkeit Oberflächenwasser abzuleiten, das Schotterbett mit seinen Feinanteilen bleibt durchfeuchtet, die Lastabtragwinkel werden steiler und der Druck auf den Untergrund erhöht sich. Bei einem Massenanteil der Feinanteile von mehr als 30% ist der Schotter zu reinigen und der Abraum durch neuen Schotter zu ersetzen.

Infolge der Beanspruchungen deformiert sich die Gleislage. Es treten Höhen-, Richtungs-, Überhöhungs- und Verwindungsfehler auf. Typische Wellenlängen der Gleisfehler sind 5 bis 25 m mit Amplituden bis 30 mm. Die Entwicklung und die Größe dieser Gleisfehler wird mit elektronischen Gleismesswagen überwacht. Je nach Gleisklasse werden abhängig von der Erreichung definierter Grenzwerte Instandhaltungsarbeiten geplant und durch-

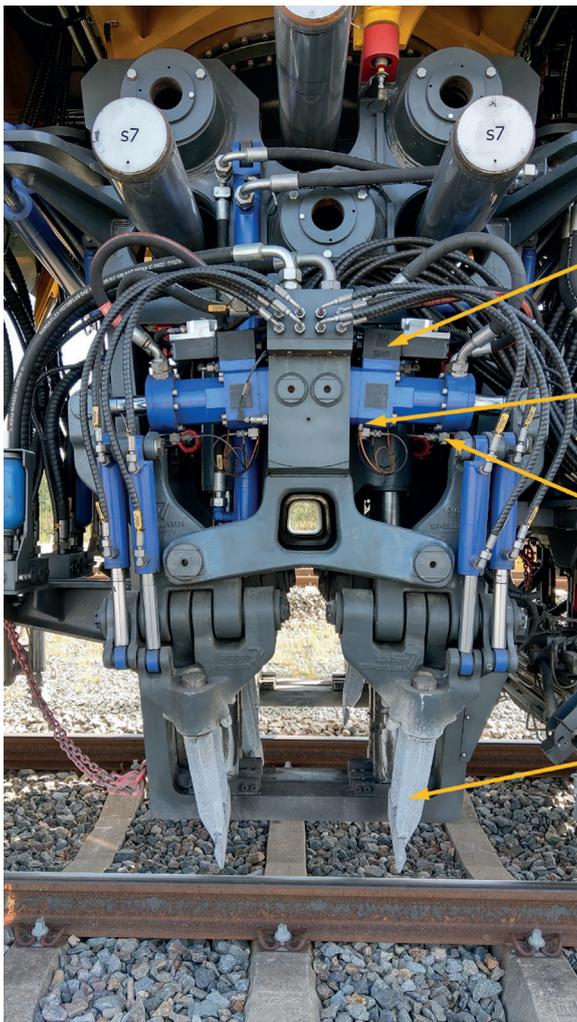
geführt. Durch Unstetigkeiten (z.B. an einem eingefahrenen Schienenstoß) treten lokal Einzelfehler auf, die eine Gefährdung des Zugbetriebes darstellen. Mit Hochleistungsstopfmaschinen (*Bild 1*) werden diese Gleisfehler beseitigt. Moderne Stopfmaschinen sind mit Computern, Messsystemen, Hebe-Richt-Aggregaten und Stopfaggregaten ausgerüstet. Die Messsysteme erfassen die Ist-Gleislage, der Computer steuert abhängig von der Abweichung zur Soll-Gleislage den Hebe-Richt-Vorgang. Der Gleisrost wird in die berichtigte Lage gebracht und die Stopfaggregate verdichten den Schotter unter den Schwellen und fixieren diese.

Bisher wird die Gleisqualität nur durch Geometriemessungen bestimmt. Die zeitliche Entwicklung der Standardabweichung der Längshöhe des Gleises führt auf Gleisverschlechterungsraten in Millimeter pro Jahr oder Millimeter pro Millionen Lasttonnen. Je besser der Gleiszustand ist um so geringer ist die Gleislageverschlechterungsrate. Nach einer Gleislageverbesserung mittels Stopfmaschinen war bisher aus der Stopfarbeit folgend kei-

ne Aussage über die zukünftige Gleislaageentwicklung oder den Schotterbettzustand möglich.

2 In situ Messung des Schotterbettzustandes

Bei konventionellen, üblichen Stopfantrieben erfolgt die lineare Beistellbewegung über Hydraulikzylinder. Mechanisch in Serie geschaltet mit diesen ist ein rotierender Exzenterantrieb der die Verdichtschwingung erzeugt. Nachteile dieser Ausführung sind die Vielzahl an Komponenten (wie Wälzlager, Schwungscheibe, Exzenterwelle, Pleuel etc.) und der durch den Dauerbetrieb beim Arbeiten verursachte Verschleiß. Die Amplitude der Verdichtschwingung ist nicht verstellbar, sondern abhängig von der Exzentrizität der Welle. Die Synchronisierung zwischen den einzelnen Antrieben ist unpräzise, das führt zu Schwebungsanregungen, die Antriebe können wegen der rotierenden trägen Massen nicht einfach ein- und ausgeschaltet werden.



- Vollhydraulischer Stopfantrieb
- Wegsensoren Stopfwegerfassung
- Drucksensoren Stopfdruckerfassung
- Stopfpickel Verdichtwerkzeuge

Bild 2: Vollhydraulischer Stopfantrieb mit Messsensoren [2]

Der Universal Tamper 4.0 [1] der Fa. System7 railsupport GmbH ist mit einem neuen revolutionären Stopfantrieb ausgestattet. Ihn kennzeichnet eine hohe Flexibilität. Die lineare Stopfbewegung und Verdichtschwingung werden gleichzeitig hydraulisch in einem Stopfzylinder erzeugt. Amplitude, Frequenz, Öffnungsweite der Stopfwerkzeuge und Synchronisierung sind frei einstellbar. Über Drucksensoren wird die Verdichtkraft jedes einzelnen Antriebes gemessen. Den Beistellweg erfassen mit in die Hydraulikantriebe integrierte, berührungslose Wegsensoren (Bild 2). Während des Stopfvorganges wird die Verdichtkraft und die Beistellbewegung zeitabhängig aufgezeichnet. Bild 3 zeigt für einen der Stopfzylinder die Messkurve des Beistellweges und der Verdichtkraft.

Im unteren Diagramm (grüne Linie) ist zuerst eine linear verlaufende Schließbewegung mit 35 bis 40 mm/s Geschwindigkeit zu sehen. Nach einer gewissen Zeit wird die Beistellbewegung der Stopfwerkzeuge verlangsamt setzt sich aber fort. Im oberen Teil (magentafarbene Linie) ist die Verdichtkraft aufgezeichnet. Die Verdichtamplitude bewirkt eine sichtbare dynamische Kraftschwankung (Frequenz von 35 Hz). Wird diese gemittelt zeigt sie eine Sättigung der Verdichtkraft nach dem Abflachen des ersten linearen Anstiegs der Beistellbewegung. Nach dem dritten Newton'schen Axiom ist die Verdichtkraft,

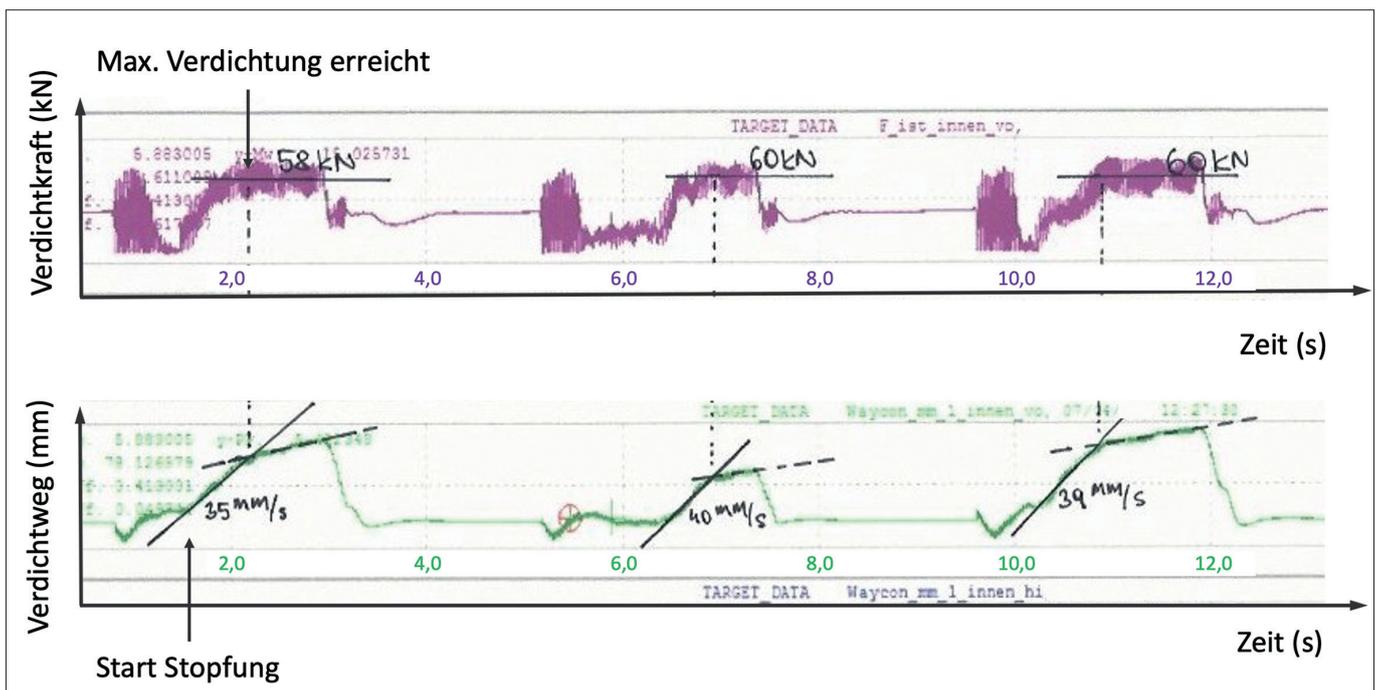


Bild 3: Messdiagramm eines Stopfantriebes

die auf den Schotter einwirkt gleich groß wie jene Kraft, die der Schotter ihr entgegensetzt. Daraus folgt, dass nach dem ersten linearen Anstieg der Beistellbewegung die maximale Kraft erreicht ist (Sättigung der Verdichtkurve) die der Schotter entgegensetzen kann. Dieser Punkt stellt mithin den optimalen Zeitpunkt dar die Verdichtung zu beenden. Weiteres Beistellen ist Zeitvergeudung, verlängert die Schotterbeanspruchung durch die Verdichtwerkzeuge und verringert die Größe der verdichteten Druckglocke unter der Schwelle mit nachteiliger Auswirkung auf die Haltbarkeit der Gleislage.

3 Bedeutung der in situ gemessenen Verdichtgrößen

Die gemessenen Verdichtparameter erlauben den Rückschluss auf die Schotterbetteigenschaften. Aus der Praxis ist bekannt, dass mit zunehmender Verunreinigung des Schotters die benötigten Verdicht- und Tauchkräfte der Stopfaggregate zunehmen. Je mehr Feinanteile die Hohl-

räume der Schotterkörner auffüllen umso unbeweglicher, umso „härter“ wird das Schotterbett. Das Eindringen der Stopfpickel in den Schotter führt wegen der volumenanalogen Schotterverdrängung zu einer „Vorverdichtung“. Die Integration der Verdichtkraft über den Beistellweg ergibt die geleistete Verdichtarbeit. Sie ist ein Ausdruck für die Schotterbettehärte und indirekt ein Ausdruck für den Verschmutzungsgrad. Wird der Verlauf der Verdichtkräfte und der Schotterbettehärte in Längsrichtung des Gleises von Schwelle zu Schwelle aufgezeichnet, so sind Qualität und Unstetigkeiten der Bettung auswertbar. Findet sich lokal über einige Schwellen ein Einbruch der Verdichtkraft, so liegt dort eine Störstelle vor. An solchen Stellen treten hohe Rad-Schiene-Kräfte auf, die den Schotter darunter zerstören und zerkleinern. Zermalmte runde Schotterkörner lassen sich nicht mehr ausreichend verdichten. Die gemessenen Verdichtkräfte und Schotterbettehärten sind ein Ausdruck der Schotterbettqualität. Aus der mittleren Schotterbettehärte und den Standardabweichungen ist der

Rückschluss auf die Gleislageverschlechterungsrate und auf den Verschmutzungsgrad möglich. Lokale Unstetigkeiten kurzer Länge werden als Einzelfehler identifiziert. Die Stopfpraxis zeigt, dass derartige Stellen sich sehr schnell verschlechtern und häufiges Stopfen keine Abhilfe ist. Diese Art von Einzelfehlern kann nur durch Maßnahmen wie Schottertausch behoben werden. Neben der Verdichtkraft, dem Beistellweg und der Verdichtarbeit wird auch die Schotterbetteifigkeit in kN/mm ermittelt und aufgezeichnet. Zusätzlich wird die benötigte Tauchzeit und die Abbremsverzögerung der Stopfaggregate ausgewertet.

4 Expertensysteme im Einsatz

Um aus den mit dem hydraulischen Stopfantrieb und seinen Sensoren ermittelten Daten nützliche und wertvolle Informationen ableiten zu können, ist die automatisierte Verarbeitung und Interpretation derselben unumgänglich [4], [5]. Ein stetig wachsender Anteil der zur Analyse



DIE ZUKUNFT DES STOPFENS – HEUTE SCHON REALITÄT

Die Universalstopfmaschine Universal Tamper 4.0 von System 7



Unerreichte Stopfqualität und Dauerhaftigkeit der Gleislage durch unabhängig geregelte vollhydraulische Stopfantriebe und S7-Automatikstopfen



NEU: Schotterbettabnahmeschrieb und automatischer Analysereport



NEU: Fälschungssichere digitale Übermittlung der Abnahmedaten



Web-Plattform RaVeM für trendbasiertes Condition Monitoring und Web-Plattform INFrame für Speicherung/ Analyse der Gleiseigenschaften

www.s7-railsupport.com

office@s7-rt.com

eingesetzten Algorithmen ist dem Bereich der Künstlichen Intelligenz (KI) zuzuordnen. KI Systeme sind in der Lage, Zusammenhänge und Muster in unterschiedlich strukturierten Datenmengen zu finden, die der menschliche Interpret kaum oder gar nicht erfassen kann. KI Systeme können Prognosen hinsichtlich des Eintretens von Gleislageverschlechterungen und Gleisfehlern erstellen und daraus Wartungsvorschläge entwickeln, um die Dauerhaftigkeit der Gleislage zu erhöhen [6]. Techniken des Maschinellen Lernens (ML) sorgen für eine stete Verbesserung der Prognosen [4]. Der Universal Tamper 4.0 ist mit einer Vielzahl an Sensoren bestückt, die vordergründig der Ist-Zustandserhebungen von Gleisinfrastruktur und der Maschine selbst dienen.

Das Sensornetzwerk der Stopfmaschine ist darauf ausgelegt, sämtliche im Betrieb der Maschine erhobenen Parameter zentral zusammenzuführen und in Echtzeit zu analysieren [7]. Die aggregierten Datenbündel werden an den Back-End-Server übertragen, der ob der größeren Rechenleistung die komplexeren Auswertungen auf den Daten rechnet (Zeit- und Ortsreihen-Analysen). Beide Datenverarbeitungsschritte, offline auf der Maschine als auch online am Server, bedienen sich verschiedener KI-Techniken um die erfasste Gleislage, die Schotterbettzustandsparameter und den Zustand der Stopfmaschine zu interpretieren. Angewendet wird unter anderem ein regelbasiertes Expertensystem (XPS), welches durch konkrete Vorschläge den Benutzer unterstützt. Traditionelle ML-basierte Systeme profitieren maßgeblich von versteckten Mustern in Messdatenreihen, Expertensysteme erzeugen Mehrwert durch die Anwendung von bekannten und verstandenen Mustern basierend auf einer starken Wissensbasis [8]. Ihren großen Vorteil können XPS in Bereichen ausspielen, wo profundes Fachwissen für die Interpretation der algorithmischen Modelle und Datelage vorhanden ist. Zur Echtzeit-Analyse der Gleisparameter bezieht das Expertensystem des Universal Tamper 4.0 die Parameter Verdichtkraft und -arbeit, Beistellweg und -zeit, Schotterbetthärte und -steifigkeit, Eindringzeit, sowie die Gleislage vor und nach der Stopfarbeit mit ein. Die Basis bildet die Analyse der Schotterbettung, deren Eigenschaften, wie bereits dargestellt, ausschlaggebend für die

Qualität und Beständigkeit der Gleislage sind. Das Expertensystem verwendet statistische Kenngrößen für die jeweiligen Zielparame-ter der Kategorien Gleislage und Schotterbettung. Die Standardabweichung einzelner Parameter gibt Aufschluss über die Streuung der jeweiligen Größe. Eine qualitativ gute Gleislage bzw. Schotterbettung weist eine niedrige und über mehrere Abschnitte geringe Streuung auf. Hohe Standardabweichungen dagegen sind Indikatoren für Gleisanomalien. Zusammenhänge zwischen unabhängig erfassten Messgrößen werden durch das XPS mittels Korrelationsrechnung identifiziert. Ausgehend vom XPS Regelwerk generiert das System Empfehlungen, wie z.B. die Identifikation einer Störstelle oder den Hinweis, dass der Schotter in einem bestimmten Bereich dringend getauscht werden soll. Solcherlei Empfehlungen werden dem Bediener der Stopfmaschine direkt angezeigt. Im online Betrieb steht dem Verantwortlichen ein Server-Zugang via Web-Schnittstelle zur Verfügung. Durch kontinuierliche Sammlung der Gleis- und Schotterqualitätsdaten und die stetige Verbesserung der XPS Wissensbasis wird eine verlässliche Prognose der zukünftigen Gleislage-Entwicklung nach einer Stopfung ermöglicht.

5 Gleisgeometrie-abnahmeschrieb

Standard bei modernen Hochleistungsstopfmaschinen ist die Aufzeichnung der wesentlichen Gleisgeometrieparameter [3] (Längshöhe, Richtung, Überhöhung, Verwindung) nach der Stopfung und der Vergleich mit Freigabe- bzw. Abnahmetoleranzen. Die Ersteren erlauben die gefahrlose Freigabe des Gleises an den Betrieb, Letztere geben an, ob die geforderte Gleislageverbesserung durch die Stopfarbeit erreicht wurde. Die Gleisgeometrie wird beim Universal Tamper 4.0 durch ein Messsystem aufgezeichnet, das mit einer inertialen Messeinheit (IMU) ausgestattet ist.

6 Schotterbettzustands-schrieb und Report

Der neue vollhydraulische Stopfantrieb mit seinen Messsensoren und der Erfassungselektronik liefert zusätzlich objektive Aussagen über den Schotterbettzustand. Damit können erstmalig bei laufen-

der Stopfarbeit Angaben über das Schotterbett darunter gemacht werden. Während der Arbeit kann der Vorwagenbediener neben dem Gleisgeometrieschrieb auch den Schotterbettzustandsschrieb anzeigen.

Mit dem Arbeitsende werden noch auf der Maschine die Schotterbettdaten durch das Expertensystem analysiert und daraus ein Report mit Angabe der Qualität der Bettung, einzelnen Störstellen und einer Voraussage der Haltbarkeit der Gleislage generiert. Diese Daten werden in einer kundenspezifischen Datenbank gespeichert und dem Kunden über die Web-Plattform InfraME (Infrastructure Monitoring Environment) zugänglich gemacht.

Bild 4 stellt den Schotterbettzustandsschrieb dar. Das System ist mit den Parametern Schotterbettsteifigkeit, Eindringzeit und maximale Bremsverzögerung der Stopfaggregate, der erreichten Verdichtkraft, dem Hebekorrekturwert und der Schotterbetthärte vorkonfiguriert. Aus einer interaktiven Liste der erfassten gemessenen Größen kann der Schrieb beliebig zusammengestellt bzw. erweitert werden.

Die Störstellen werden im Schotterbettzustandsschrieb als Markierung im jeweiligen Bereich hervorgehoben. Zusätzlich werden dem Bediener Fotos des betroffenen Bereichs angezeigt. Dieser Report wird inklusive der Fotos zur Dokumentation des Einsatzes an den InfraME Server übertragen und steht nach Beendigung dort zum Download bereit. In Bild 5 wird ein Auszug aus dem auf der Maschine mit Hilfe von XPS-Methoden erstellte Schotterbettzustandsreport gezeigt.

Die erzielte Gleislage des exemplarisch ausgewählten Einsatzes wurde vom System als sehr gut bewertet. Es handelte sich hierbei um die Durcharbeitung einer Strecke mit durchschnittlich mittlerer Schotterbetthärte. Der Gleishöhenfehler der bearbeiteten Strecke ließ auf gute Schotterbeschaffenheit schließen. Im Gesamtbereich konnte das System 3 Störstellen identifizieren. Die Gleishöhenfehler wurden um den Faktor 2,48 verringert.

6.1 Web Plattform

Server-seitig wird die Speicherung, Verarbeitung und Interpretation der Infrastruktur-basierten Sensordaten durch die system7 Messdatenanalyseplattform InfraME umgesetzt. InfraME basiert auf

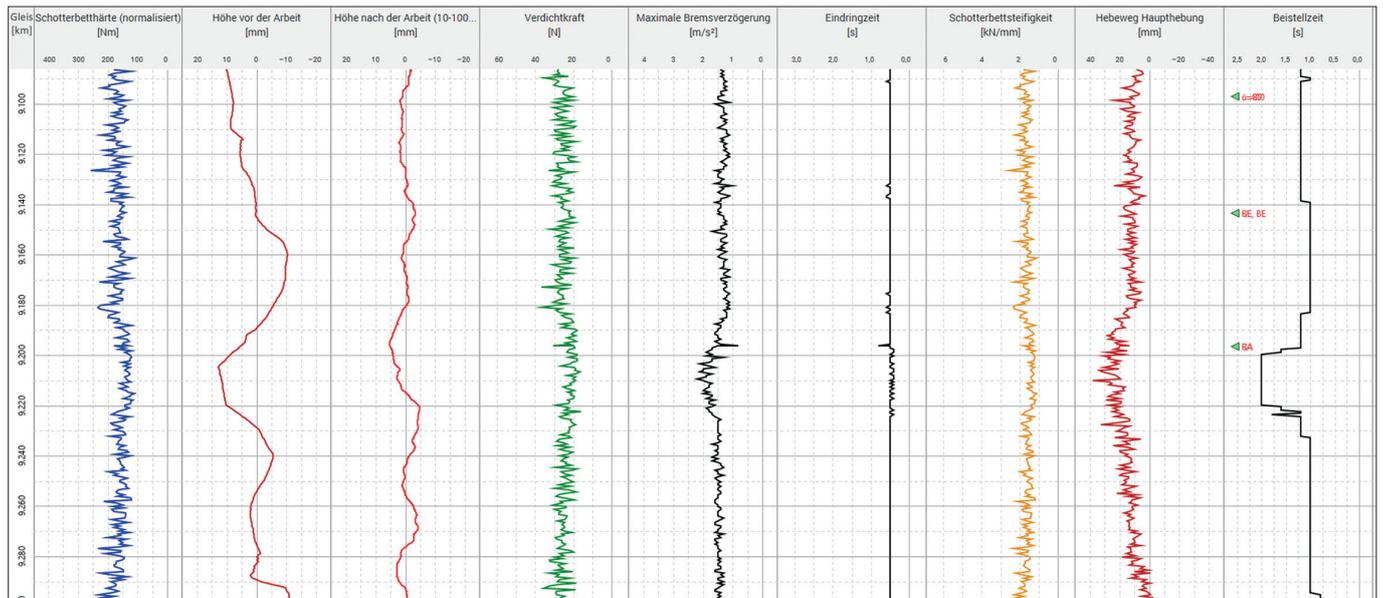


Bild 4: Schotterbettzustandsschrieb

einer 3-Schichten-Architektur: die Persistenz-Schicht sorgt für die Konsistenz der ins System einfließenden Daten, archivierte diese und hält sie für die darüber liegenden Schichten zur Weiterverarbeitung bereit. In der Verarbeitungsschicht

findet die zeitreihenbasierte und historische Analyse der Eingangsdaten statt. Die Präsentationsschicht stellt schließlich die aufbereiteten Daten über verschiedene Schnittstellen, unter anderem via Web zur Verfügung. Das System funktioniert

autonom und bedarf keiner Benutzer-Interaktion um Interpretations- oder Aufbereitungsprozesse auszulösen. Das Bild 6 stellt exemplarisch einen Streckenstopfeinsatz einer Universal Tamper 4.0 Maschine dar. Die Repräsentation

Schlussfolgerungen zur Gleisgeometrie

Längshöhe
Die langwelligen Höhenfehler im Wellenlängenbereich 10 - 100 m wurden um den Faktor 2,40 verbessert. Die Längshöhenfehlerreduktion ist "Sehr gut".

Richtung
Die langwelligen Richtungsfehler im Wellenlängenbereich 10 - 100 m wurden um den Faktor 1,59 verbessert. Die Richtungsfehlerreduktion ist "Befriedigend".

Überhöhung
Der Verbesserungsfaktor konnte nicht ermittelt werden.

Schlussfolgerungen zum Schotterbettzustand

Haltbarkeit der Gleislage
Der Haltbarkeitskoeffizient für den Schotterbettzustand betrug 1,71.
Das Schotterbett ist hervorragend (wie im Neuzustand). Eine sehr gute Haltbarkeit der Gleislage ist gegeben.

Schotterbetthärte
Der Mittelwert der Schotterbetthärte betrug 167 Nm.
Das Schotterbett ist in sehr gutem Zustand und wird zur weiteren Nutzung empfohlen!
Im gestopften Bereich wurde eine kritische Störstelle (zerkleinerter/abgerundeter Schotter) gefunden.

Übersicht über Störstellen

Störstelle 1

Typ der Störstelle	Beginn [km]	Ende [km]	Länge [m]	Schwellen
Minimum	13,094373	13,101060	6,687	11

Position [km]	Verdichtkraft		Max. Steilheit [kN/m]	Verdichtkraft MW (ges.) [kN]
	Min. [kN]	MW [kN]		
13,095038	25,2	28,5	6,7	19,6

Lage	Position [km]	Länge [m]		Schwellen	
		davor	danach	davor	danach
Minimale Verdichtkraft	13,095038	0,665	6,022	1	10
Max. Verdichtungsabfall	13,095383	1,010	5,677	1	10

Empfehlung
Schottertausch über 11 Schwellen und Nachstopfung.

Bild 5: Abnahmereport Schotterbettzustand; Links: Auszug der allgemeinen Bewertung des Schotterbettzustandes mit Empfehlungen für die künftige Instandhaltung, Rechts: Angabe der Lage detektierter lokaler Schwachstellen im Schotterbett

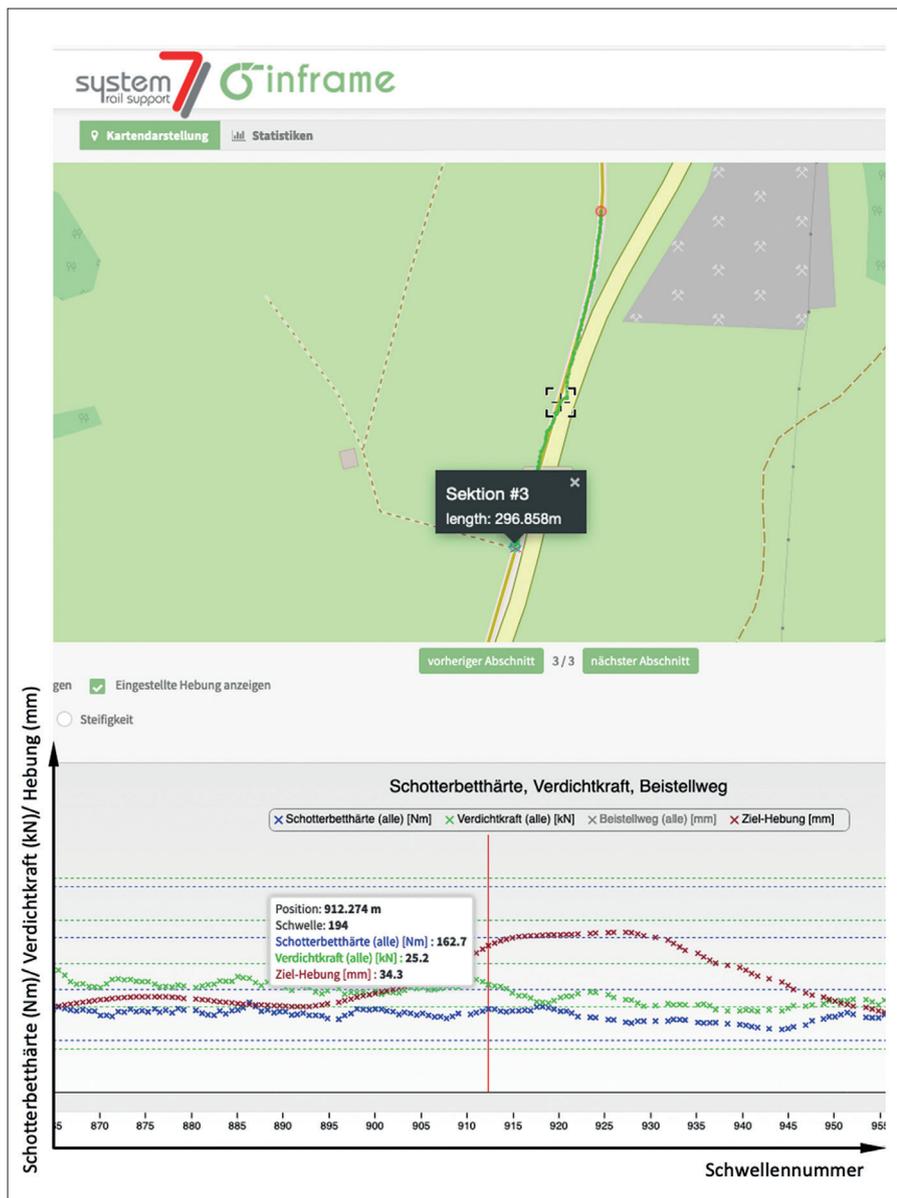


Bild 6: Ausschnitt einer InfraME Darstellung im Web (grüne Linie in der Karte – gestopfter Bereich; Diagramm: blau Schotterbetthärte, grün Verdichtkraft, magenta Höhenkorrektur)

der Einsatzdaten erfolgt in dieser Ansicht über den Einsatz-Ort. Die Messdaten werden pro Schwelle angegeben, beinhalten Schotterbett- und Gleislageparameter und sind in mehrere Arbeitsabschnitte aufgeteilt. Die Karte ist interaktiv und erlaubt die Zuordnung der erfassten Messdaten zur jeweils bearbeiteten Schwelle. Neben dieser Darstellung

bietet das System statistische Auswertungen, Einsatzplanung und -verfolgung und es erlaubt den bidirektionalen Datenaustausch der für einen Einsatz relevanten Geometrie- und Abnahmedateien mit der Stopfmaschine.

#678_A5_REV

(Bildnachweis: 1 bis 6, Verfasser)

Literatur

- [1] Lichtberger, B.: Der neu entwickelte Universal Tamper 4.0. EI – Der Eisenbahningenieur, 8, 2018, S. 22-27.
- [2] Lichtberger, B.: Vollhydraulisch Stopfen – eine neue Technologie für effiziente Instandhaltung. EI – Der Eisenbahningenieur, 7, 2015, S. 18-22.
- [3] Stute, E.; Vogel, R.; Söllinger, M.; Lichtberger, B.: Umweltfreundlich und ressourcenschonend Stopfen. EI – Der Eisenbahningenieur, 5, 2019, S. 48-54.
- [4] Mitchell, T. M.: Machine Learning. McGraw-Hill, New York, 1997.
- [5] Sauter, J.; Baranek, M.; Bürkle, J.: Big Data – Den Datenreichtum strategisch nutzen. EI – Der Eisenbahningenieur 2, 2018, S. 9-11.
- [6] Groos, J. C.; Johannes, L.; Adam, S.: Zustandsüberwachung im regulären Betrieb. EI – Der Eisenbahningenieur, 9, 2016, S. 114-120.
- [7] Lichtberger, B.: Bahnindustrie 4.0: Innovative Railway Vehicle Monitoring RaVeM in der Anwendung. ZEVrail, 5, Mai 2016, S. 179-186.
- [8] Fogel, D.; Hanson, J. C.; Kick, R.; Malki, H. A.; Sigwart, C.; Stinson, M.; Turban, E.; Rubin, S. H.: The impact of machine learning on expert systems. Proceedings of the 1993 ACM conference on Computer science (CSC '93), Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1993, S. 522-527.



Dr. habil.

Bernhard Lichtberger (69). Studium der Technischen Physik an der Johannes Kepler Universität Linz, Promotion und Habilitation an der Technischen Universität Graz am Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft. Technischer Direktor der Firma System 7 rail support GmbH.

Anschrift: System 7 rail support GmbH, 4664 Laakirchen, Gewerbegebiet Süd 10, Österreich.

E-Mail: bernhard.lichtberger@s7-rs.com



Dr.

Heinrich Schmitzberger (41). Diplomstudium der Informatik, Doktoratsstudium der technischen Wissenschaften und Master-Studium Recht und Wirtschaft für Techniker an der Johannes Kepler Universität Linz. Abteilungsleiter Software Engineering der Firma System 7 rail support GmbH.

Anschrift: System 7 rail support GmbH, 4664 Laakirchen, Gewerbegebiet Süd 10, Österreich.

E-Mail: heinrich.schmitzberger@s7-rs.com