

Stopftechnologien und ihre Auswirkung auf die Haltbarkeit der Gleislage

Tamping Technologies and Their Impact on Track Durability

Univ.-Doz. Dr. Bernhard Lichtberger, Wien (Österreich)

Zusammenfassung

Stopfmaschinen korrigieren Gleislagefehler. Die Haltbarkeit der Gleislage wird durch Stopfparameter und die Schottereigenschaften bestimmt. Die Setzung reagiert sensibel auf die erzeugte Dichte der gelagerten Schotterkörner (Feststoffanteil). Für eine dauerhafte Lage sind die Kontaktflächen der Schotterkörner mit der Schwelle ausschlaggebend. Neu sind vollhydraulische Stopfaggregate, die während der Arbeit die Schotterbetteigenschaften messen. Die System7 Automatikstopfung stellt die Stopfparameter abhängig von der Messung des Schotterbettes ein und bestimmt die optimale Stopfdauer. Dies resultiert in einer durchschnittlichen Verlängerung der Haltbarkeit der Gleislage von 30%. Mit einem Expertensystem werden die auf der Webplattform INFrame gespeicherten Daten analysiert. Daraus wird automatisch ein Bettungsreport mit Angaben zu Fehlerursachen und deren Wellenlängenbereich und Vorschlägen zur Fehlerbeseitigung erstellt.

Abstract

Tamping machines correct track geometry defects. The durability of the track geometry is determined by tamping parameters and the ballast properties. The settlement reacts sensitively to the generated density of the packed ballast grains (solid content). The contact surfaces of the ballast grains with the sleeper are decisive for a durable geometry. New are fully hydraulic tamping units that measure the ballast bed properties during work. The System7 Automatic Tamping adjusts the tamping parameters depending on the measurement of the ballast bed and determines the optimal tamping time. This results in an average 30% increase in the durability of the track geometry. An expert system analyses the data stored on the INFrame web platform. From this, a ballast report is automatically generated with details of the causes of the track faults and their wavelength range and suggestions for correcting the failures.

1 Die Stopfung

Die Stopfung beseitigt Längshöhen-, Querhöhen- und Richtungsfehler. Sie entfernt Schwellenhohllagen und sorgt für eine gleichförmige Lastableitung der Kräfte in den Untergrund. Sie stellt definierte Auflager her, verbessert die Gleislage präventiv, bevor eine unumkehrbare Schädigung eintritt. Sie verlängert bei rechtzeitiger Anwendung die Lebensdauer der Gleiskomponenten [1].

2 Parameter mit Einfluss auf die Haltbarkeit der Stopfung

2.1 Der Feststoffanteil nach der Stopfung

In einer Discrete Element Methode Simulation (DEM-Simulation) [4] wurden gestopfte Schwellen mit Signalen gemessener TGV-Züge belastet und die Setzungen ermittelt. Bild 1 zeigt das Ergebnis. Die Set-

zung ist mit 8,1 mm pro Prozent Feststoffanteil stark abhängig von der erreichten Verdichtung. Eine geringfügig höhere Verdichtung des Schotters unter der Schwelle führt zu einer deutlich längeren Haltbarkeit der erreichten Gleislage. Nur 3% Unterschied des Feststoffanteils führen bereits zu einem Setzungsunterschied von 25 mm.

2.2 Anzahl Körnerkontakte mit Schwellen

Die Anzahl der Körner, die in Kontakt mit der Schwellenbasis sind, stehen für die Stabilität des Schotterbettes. Je mehr Berührungspunkte die Schotterkörner mit der Schwelle aufweisen, umso länger ist die Haltbarkeit der Gleislage. In Schottergleisen übertragen die miteinander zufällig angeordneten Schotterkörner die Lasten ähnlich einem Wurzelwerk. Die Schotterbettung ist nicht homogen und isotrop. Die Unterschiede führen zu stark unterschiedlichen Setzungen von Schwelle zu Schwelle. Mit Zunahme der Kontaktpunkte wird das Schotterhaufwerk homogener und isotroper, weshalb die Setzungsunterschiede geringer werden [7]. Die Kontaktfläche zwischen Schottersteinen und Betonschwellen beträgt 5-10%. Bei besohlenen Schwellen erhöht sich der Anteil auf 20-35%. Dies erklärt die doppelte Haltbarkeit der Gleislage von besohlenen Schwellen nach einer Stopfung [17].

Bild 2 zeigt Ergebnisse einer Stopf-Parameterstudie. Während des Beistellens prägt sich eine mittlere Anzahl berührender Schotterkörner von etwa 55 aus. Nach dem Öffnen und Heben der Stopfaggregate nimmt die Anzahl der berührenden Schotterkörner rapide ab. Je höher die Stopffrequenz war, desto größer die Abnahme. Diese Abnahme ist sowohl der abnehmenden Schließkraft als auch der Auflockerung durch das Öffnen und Heben der Stopfaggregate während des Weitervibrierens geschuldet. Ideal ist demnach eine Stopfung, die unmittelbar nach erfolgter Verdichtung die Vibration abstellt.

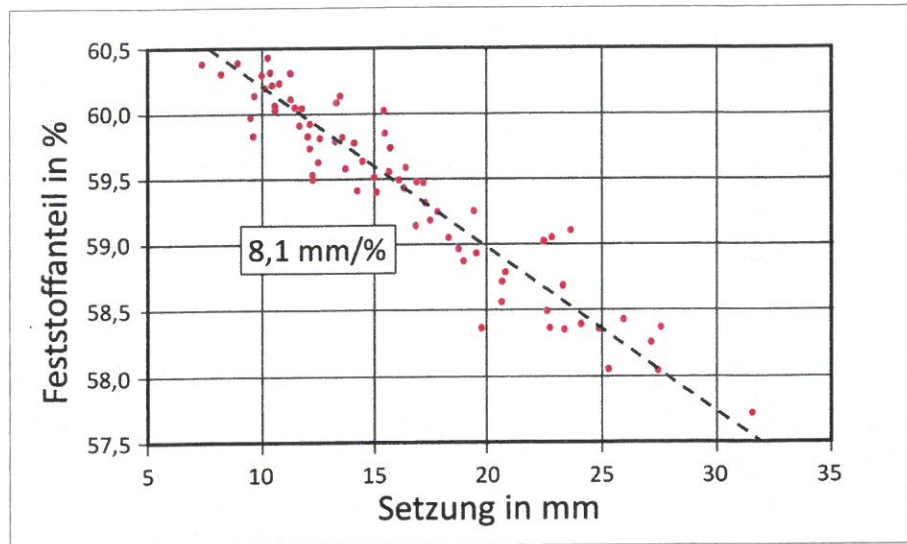


Bild 1: Setzung der Schwellen in Abhängigkeit vom Feststoffanteil

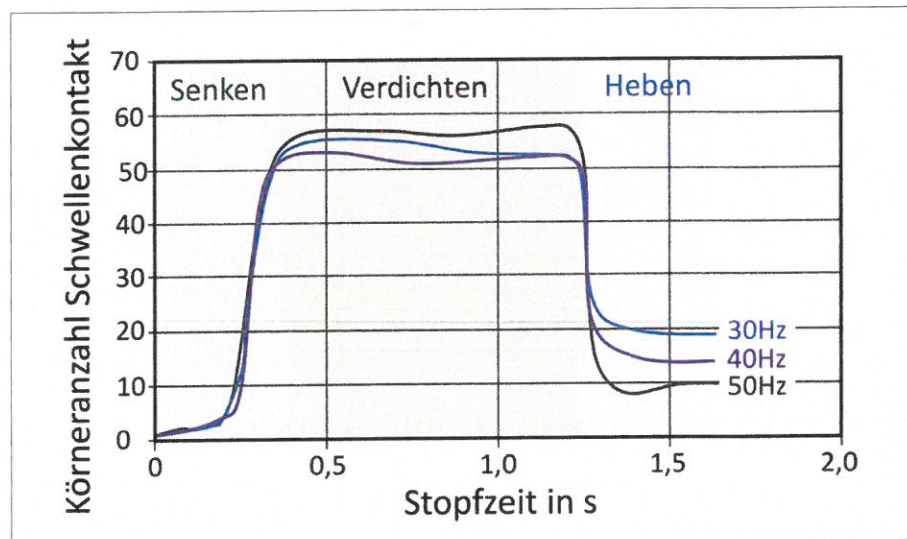


Bild 2: Schotterkörneranzahl, die beim Stopfen bei verschiedenen Frequenzen in Kontakt mit der Schwelle sind

2.3 Arbeitsparameter der Stopfaggregate

2.3.1 Die Stopftiefe

Wesentlich für eine haltbare Stopfung ist die Stopftiefe. Die Oberkante der Stopfpickelplatten sollen 15-20 mm unter der Unterkante der Schwellen liegen. Das verhindert die Beschädigung der Schwellen (Anschlagen der Stopfpickel an Betonschwellen, Verschieben der Schwellen) und verdichtet den Schotter unter dem tragenden Bereich der Schwelle.

2.3.2 Die Stopffrequenz

In der Praxis angewendete Stopffrequenzen liegen zwischen 30 und 53 Hz. Neuer Schotter weist ab 30 Hz elasto- bzw. plastoliquides Verhalten auf [8] – er verhält

sich wie eine zähe Flüssigkeit. In stark verschmutztem Schotter gilt dies nur mehr bedingt, weil die zwischen den Schotterkörnern wirkenden Impulse durch das Feinmaterial behindert werden und die Beweglichkeit der Schotterkörner einschränken. Simulationen und Versuche [9, 10] zeigen, dass die größte Haltbarkeit der Stopfung bei einer Schwingfrequenz der Stopfwerkzeuge von 35 Hz liegt. Bei dieser Schwingfrequenz liegen die Schotterkörner nach der Einwirkung dichter [10] und die Anzahl der Schotterkörner, die Kontakt mit der Schwellenunterseite haben, ist größer.

2.3.3 Die Beistellgeschwindigkeit

Die Beistellgeschwindigkeiten werden bei modernen Stopfmaschinen elektronisch vorgegeben. Üblicherweise verlangsamt

sich die Beistellgeschwindigkeit bei harter Schotterbettung mit zunehmenden Verdichtkräften. Bei modernen Stopfmaschinen wie dem Stopfroboter 4.0 der Fa. System7 [16], wird im Automatikmodus über die integrierte Schotterbetthärtetemessung die Beistellgeschwindigkeit selbsttätig angepasst.

2.3.4 Die Senkgeschwindigkeit der Stopfaggregate

Die Senkgeschwindigkeiten richten sich nach der Schotterbetthärte. Je höher verunreinigt das Schotterbett ist, umso höher ist der Widerstand gegen das Eindringen der Stopfpickel und die Verdichtung. Der Verdichtwiderstand nimmt zu, weil zwischen den Schotterkörnern die Hohlstellen mit Feinmaterial gefüllt sind und

anteilig zum aktiven Pickelvolumen verdrängt werden müssen. Die Verzahnung zwischen den Körnern nimmt ab. Feinanteile wirken wie ein Schmiermittel. Die Haltbarkeit der Stopfung nimmt dadurch ab. Damit die Stopfpickel möglichst schnell in den Schotter eindringen, wird der Tauchimpuls durch Erhöhung der Senkgeschwindigkeit vergrößert. Mit Erhöhung der Senkgeschwindigkeit [11] steigt die Schädigung großer Schotterkörner. Der Stopfroboter 4.0 steuert die Hebe-/Senkzylinder mittels Proportionalventilen automatisch an und regelt diese abhängig vom gemessenen Eindringwiderstand. Auch Tauchamplitude und Frequenz werden automatisch für ein schnelles kräfte-reduziertes Eindringen angepasst.

2.3.5 Die Stopfamplitude

Typischerweise werden bei vollhydraulischen und linearen Exzenterantrieben am Stopfzylinder 2,5-3 mm Amplitude verwendet. Aufgrund der Hebelverhältnisse entspricht dies, je nach Ausführung, einer Verdichtamplitude am Stopfpickel von 5-7 mm.

2.3.6 Die Stopfzeit

Mit dem Aufkommen von kontinuierlich arbeitenden Maschinen wurde das Prinzip konstanter Stopfzeit eingeführt. Es bleibt dem Stopfer überlassen, die Zeiten anzupassen, den Stopfdruck zu erhöhen oder zu erniedrigen. Bei konventionellen Maschinen verfügt der Stopfer über keine objektiven Informationen. Typischerweise stellt er eine durchschnittliche Stopfzeit von 1,2 s ein. Längere Verdichtzeiten als 1,5 s ergaben bei den Untersuchungen des BZA München keine Verbesserung.

2.3.7 Der Stopfdruck

Stopfmaschinen arbeiten mit Beistelldrücken von 120 bis 150 bar. Dies entspricht einer Kraft von etwa 50-65 kN am Beistellzylinder.

Oft wird als Argument vorgebracht, dass eine haltbare Verdichtung allein vom Stopfdruck abhängig sei. Dieses Argument übersieht, dass der Schotter der wirkenden Kraft eine gleich große Gegenkraft entgegensetzen muss. Bei den hohen wirkenden Pickelkräften (15 bis 60 kN am Antrieb) sind Schotterkörner leicht bewegbar. Fließt der Schotter ab

oder weicht durch das Hochdrücken der Schwelle aus, bleibt die Verdichtkraft konstant [3]. In der Praxis wird bei nicht optimaler Einstellung des Stopfdruckes das Herausdrücken des Schotters im Vorkopfbereich beobachtet. Ein erfahrener Stopfer erniedrigt den Stopfdruck oder die Stopfzeit entsprechend. Aber was ist der optimale Druck, was ist die optimale Stopfzeit?

Konventionelle kontinuierlich arbeitende Stopfmaschinen benötigen einen möglichst gleichmäßigen Stopfzyklus, weil die Hauptmaschine mit konstanter Geschwindigkeit vorfährt. Sie verwenden bevorzugt eine konstante Beistellzeit (typisch 1,2 s). Konstante Stopfzeiten sind ungeeignet optimale Verdichtungswerte zu erzielen, da sie ohne objektive Information über den Schotterzustand arbeiten. Abhilfe bringt nur die Messung der Schottereigenschaften während der Stopfung und eine Optimierung der Stopfparameter angepasst an die Besonderheiten jeder einzelnen Schwelle.

3 Das Gedächtnis des Gleises

Mit der Bezeichnung „Memory of the Track“ ist das Verhalten des Gleises gemeint, dass sich nach der Stopfung wieder ähnliche Gleislagemuster ausprägen. Dieses Verhalten erklärt sich durch die Tatsache, dass sich die Schotterstruktur und damit die Schottereigenschaften unter einer Schwelle zwischen den Stopfungen nicht oder kaum verändern. Das Gleis „erinnert“ sich nicht an die Gleisfehler, sondern weist auf den lokalen Schotteraufbau und die spezifischen Eigenschaften hin. Nur bei Hebewerten von deutlich über 20 mm verändert sich dieses Verhalten. Bei großen Hebewerten werden neue unverbrauchte Schotterkörner aus dem Zwischenfach unter die Schwelle eingebracht und verändern so die lokale Schotterstruktur. Das „Gedächtnis“ des Gleises ändert sich nur durch eine Änderung des Kornaufbaus oder der Trageigenschaften des Gleises.

4 Konventionelle Stopfmethoden

4.1 Die synchrone Gleichdruckstopfung

Diese kaum noch angewendete Methode stellte die Pickel mittels mechanischer (ge-

genläufiger) Spindel bei. Der linearen Beistellung wurde eine mittels Exzenterwellen erzeugte Vibration überlagert. Trat auf einer Pickelseite ein größerer Widerstand auf, dann wurde die gegenüberliegende Seite nicht ausreichend verdichtet.

4.2 Die asynchrone Gleichdruckstopfung

Das Asynchronstopfen hat sich weitgehend durchgesetzt. Asynchron arbeitende Stopfaggregate weisen voneinander unabhängige Beistellwege und Beistellgeschwindigkeiten der einzelnen Stopfarme auf. Herrschen unterschiedliche Schottereigenschaften, können asynchron arbeitende Verdichtwerkzeuge dies ausgleichen.

Die konventionelle asynchrone Gleichdruckstopfung basierend auf Exzenterwellenstopfaggregaten hat sich in den letzten 50 Jahren kaum weiterentwickelt. Die Beistellung erfolgt über Hydraulikzylinder. Über Pleuel sind diese an eine Exzenterwelle gekoppelt, die die Vibration überlagern. Die Vibration wirkt gleichzeitig auf die gekoppelten Beistellzylinder. Wegen der trägen rotierenden Masse laufen und vibrieren diese Stopfaggregate ständig. Verfüllt und verdichtet [2] wird über einen eingestellten fixen Stopfdruck und eine konstant vorgegebene Zeit von typisch 1,2 s.

Unterschiedliche Schotterverhältnisse werden kaum berücksichtigt. Die eingestellten Stopfparameter beruhen subjektiv auf Erfahrung des Maschinisten und nicht auf Messungen.

4.3 Das vollhydraulische Stopfprinzip

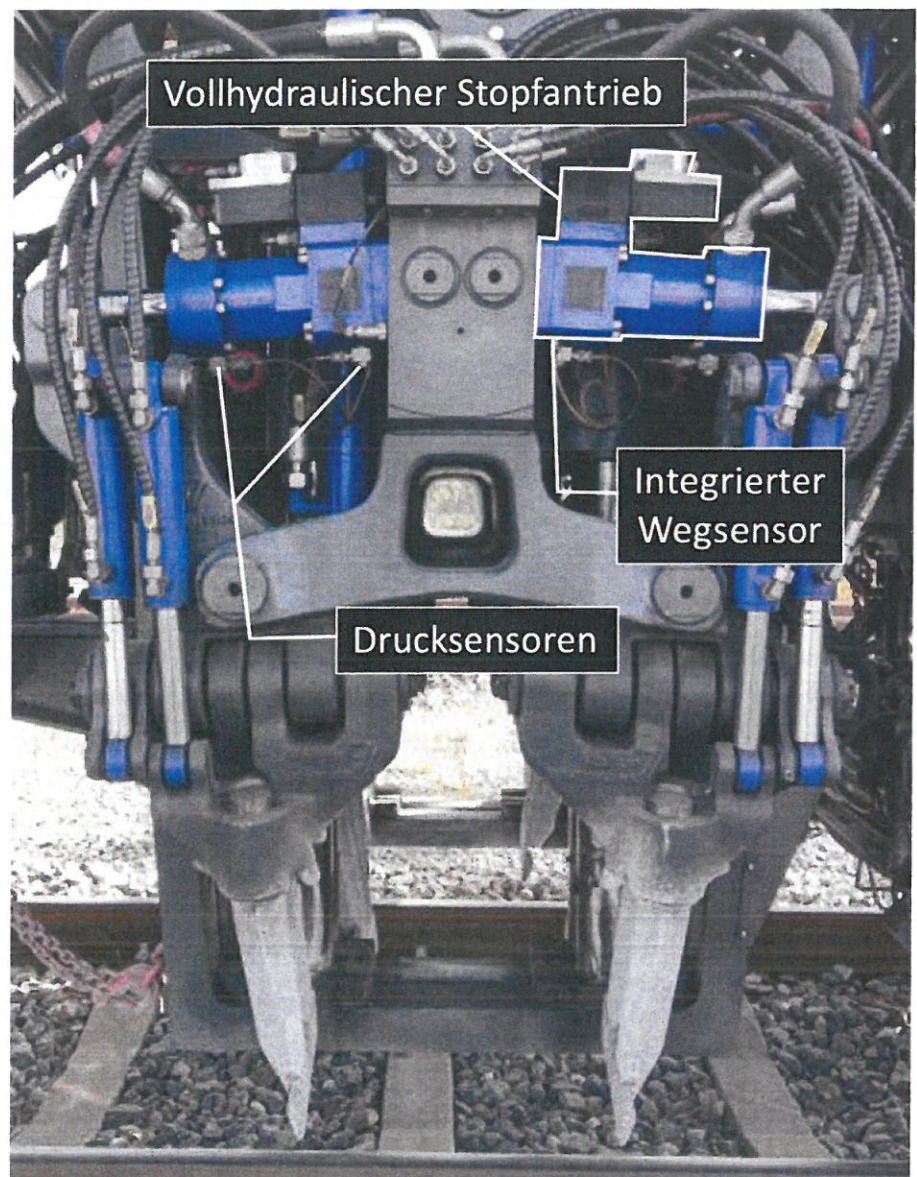
2013 wurde der vollhydraulische Stopfantrieb von der Firma System7 rail GmbH zum Patent angemeldet und 2014 in den Markt eingeführt. Das vollhydraulische Stopfprinzip erzeugt Vibration und Beistellbewegung gemeinsam in einem hydraulischen Antrieb [15]. Es entfallen die rotierenden Exzenterwellen und die Vielzahl an verschleißanfälligen Komponenten wie Wälzlager, Pleuel und Antriebsmotoren. Der vollhydraulische Antrieb basiert auf einem integrierten Spezial-Proportionalventil, einem kontaktlosen verschleißfreien Weg- und Drucksensoren (Bild 3). Die Elektronik regelt die Öffnungsweite der Pickel, die Größe der Amplitude und

die Frequenz. Jeder Pickelarm wird unabhängig geregelt und die Vibration verzögerungsfrei ein- und ausgeschaltet. Durch dieses Prinzip ist das Stopfaggregat Werkzeug und Messgerät zugleich. Über den gemessenen Verlauf der Verdichtkraft, des Beistellweges und der Zeit werden die Schotterbetteigenschaften ermittelt. Bei jeder gestopften Schwelle, für jeden der Stopfantriebe liegen Maßzahlen für Bettungshärte, Schotterverschmutzung, Verdichtkraft, Schottersteifigkeit und Schotterdämpfung vor. Automatisch werden entsprechend dem Messergebnis von der Maschine die Stopfparameter Tauchamplitude und Tauchfrequenz, Senkgeschwindigkeit mit Anfangs- und Endrampe, Beistellgeschwindigkeit, Verdichtkraft, Stopfamplitude und Stopffrequenz eingestellt und geregelt. Das vollhydraulische messende Stopfaggregat der Fa. System7 hebt die Asynchronstopfung auf eine neue Qualitätsstufe.

5 Das System7-Automatikstopfen

Der Verlauf der gemessenen Verdichtkraft bestimmt die automatische Detektion des optimalen Stopfendes. Dieses wird für jeden einzelnen Antrieb unabhängig bestimmt. Bei der optimalen Verdichtung wird die Vibration verzögerungsfrei abgeschaltet. Der erreichte Verdichtgrad wird durch Weiterrütteln wie bei der konventionellen Stopfung, nicht wieder aufgelockert. Stehen alle Pickelarme nach erreichter optimaler Verdichtung still, werden sie geöffnet und nicht vibrierend angehoben. Der Feststoffanteil und die Kontaktflächen der Schotterkörner mit den Schwellen bleiben hoch. Dies verlängert die Liegedauer im Durchschnitt um 30%. Umfangreiche Versuche in Großbritannien weisen diese deutliche Reduktion der Gleisverschlechterungsrate und Verlängerung der Haltbarkeit der Gleislage nach.

Die statistischen Verteilungen der automatisch ermittelten optimalen Stopfzeiten liegen im Mittel um 0,8 s. Schon das Eindringen der Stopfpickel in den Schotter führt wegen der dem Pickelvolumen analogen Schotterverdrängung zu einer „Vorverdichtung“. Das bestätigen die DEM-Simulationsergebnisse [5], die eine Vorverdichtung von wenigstens 50% nachweisen. Der verdrängte Schotter nimmt den Weg des geringsten Widerstandes und bewegt



■ Bild 3: Vollhydraulisches Stopfaggregat (Stopfeinheit und Messgerät in einem)

sich in den durch die Hebung erzeugten Hohlraum unter der Schwelle.

Bild 4 zeigt den typischen Verlauf der Verdichtkraft in Abhängigkeit vom Beistellweg. Die Diagramme zeigen den gemittelten Verlauf, wobei die 35 Hz Schwingung weggefiltert wurde. Nach der Eindringphase beginnt die Verdichtphase, die Stopfpickel werden vibrierend geschlossen. Der durch die Hebung entstandene Hohlraum unter der Schwelle wird mit Schotter verfüllt und verdichtet. Die Verdichtkraft erreicht nach etwa 0,7 s einen Maximalwert. Wird die Beistellbewegung fortgesetzt, verlangsamt sich ab dem durch den blauen Pfeil gekennzeichneten Bereich die Beistellbewegung. Die Verdichtkraft hingegen steigt nicht weiter an, sondern bleibt konstant. Nach dem dritten Newton'schen Gesetz ist das jene Kraft, die der Schotter

der wirkenden (actio) Verdichtkraft entgegengesetzt (reactio).

Bild 5 zeigt den Schwingvorgang eines Stopfpickels. Dieser Schwingung überlagert sich die Schließbewegung der Pickelarme. Mit jedem Schwingungszyklus während der 35 Hz-Verdichtung nimmt diese zu, ehe sie nach ca. 0,8 s ein Optimum erreicht.

Der vollhydraulische Stopfantrieb weist gegenüber konventionellen Stopfaggregaten die Vorteile geringer Lärmentwicklung (< 8 dBA), um mehr als die Hälfte reduzierte Emissionen (lungengängiger gesundheitsschädlicher Staub), erheblich geringere Lebensdauerkosten, erhöhte Zuverlässigkeit, Ausfallsicherheit und Wartbarkeit auf.

Zahlreiche Eigentümer von Maschinen der Mitbewerber rüsteten deshalb ihre

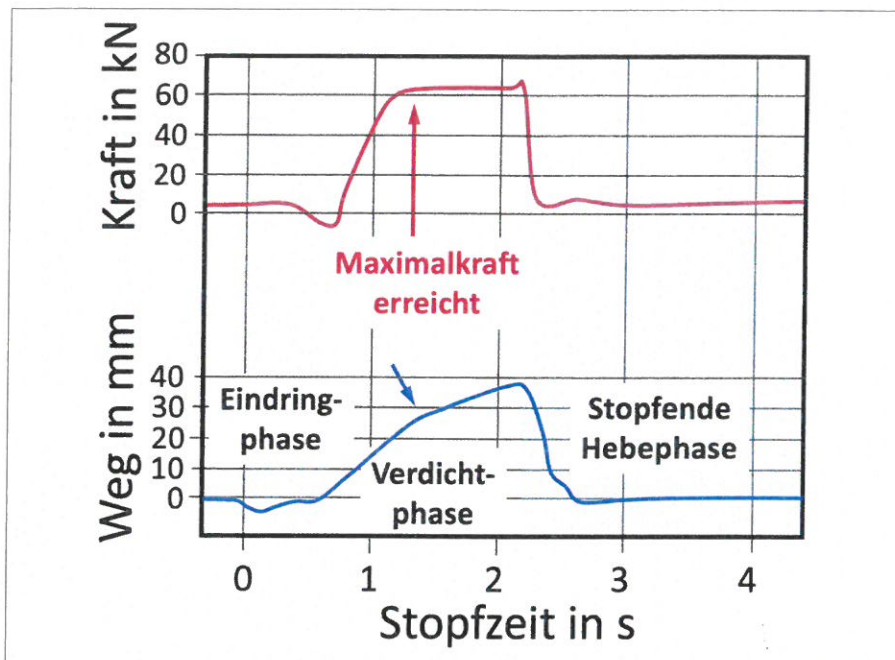


Bild 4: Verlauf der Verdichtkraft und des Beistellweges in einer harten Schotterbettung

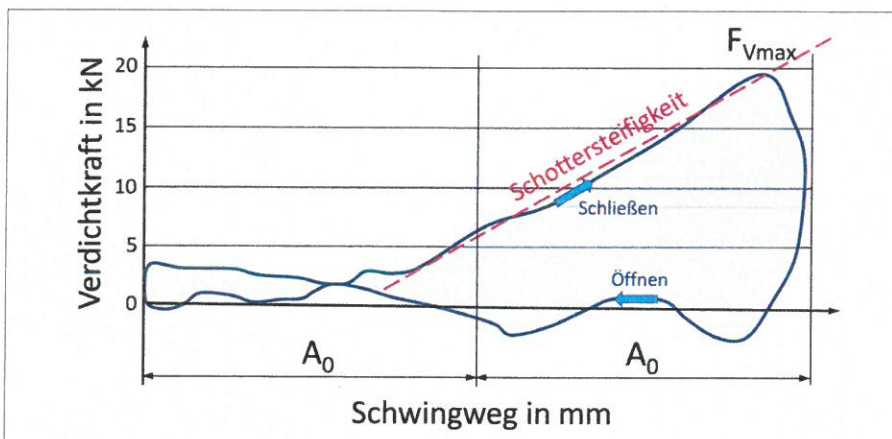


Bild 5: Kraftverlauf einer einzelnen Schwingungsperiode eines Stopfaggregates

originalen Stopfaggregate um (Bild 6). Das vielerorts bewährte Verfahren erhöht die Haltbarkeit der Gleislage im Schnitt um 30 % [14].

6 Methoden zur Messung der Schotterbetteigenschaften

6.1 Die Messung des Eindringwiderstandes

Bei dieser Methode wird die Kraft, die beim Eindringen der Stopfpickel in den Schotter auftritt, gemessen. Die Messung der Eindringzeit der Stopfpickel oder der Bremsbeschleunigung beim Tauchen sind verwandte Methoden. Die Eindringmethode stellt eine Art rudimentären Scherversuches dar. Sie hängt von der geometrischen Form der Pickel, den verwendeten Stopfaggregaten (Ein- oder Mehrschwelen), der Witterung, der Senkgeschwindigkeit, der Amplitude und der Frequenz ab. Insbesondere bei Exzenterwellenstopfaggregaten, deren Frequenz beim Stopfen abnimmt, ergeben sich weitere Ungenauigkeiten.

6.2 Die Ableitung der Schotterbetteigenschaften auf dem Verlauf der Schwingungsform

Bei dieser Methode [12] wird aus der Form des Kraftverlaufes der einzelnen Pickelschwingungen auf die Schotterbetteigenschaften geschlossen. Auch das ist eine indirekte Methode, die zudem bestimmte



Bild 6: In Originalaggregate von Plasser & Theurer integrierte vollhydraulische Stopfantriebe von System 7 (links: Einschwellenstopfaggregat, Mitte: Zweiswellenaggregat, Rechts: Dreiswellenaggregat)

spezifische Bodenparameter annehmen muss und daher unpräzise ist.

6.3 Die direkte Messung der Schotterbetteigenschaften

Vollhydraulische Stopfaggregate messen den Verlauf der Verdichtkraft direkt (Bild 7). Sie zeichnen Verdichtkraft, Beistellweg, Zeit und Beistellgeschwindigkeit auf.

Aus dem Anstieg der Verdichtkraft wird die Steifigkeit des Schotterbettes bestimmt. Der optimale Zeitpunkt zur Beendigung des Stopfens ergibt sich, wenn zusätzliches Beistellen zu keiner weiteren Erhöhung der Verdichtkraft führt. Aus den Dreiecksflächen bei definiertem Beistellweg wird die Schotterbetthärte entsprechend der normierten Verdichtarbeit gewonnen. Aus der Beistellgeschwindigkeit und der Kraft wird auf die Schotterbettdämpfung zurückgerechnet.

7 Messung und Analyse von Schotterbetteigenschaften – Schotterbett-report

Die geleistete Verdichtarbeit und die sich einstellende Verdichtkraft drückt die Schotterbetthärte und den Verschmutzungsgrad aus. Der Verlauf der Verdichtkräfte und der Schotterbetthärte in Längsrichtung des Gleises von Schwelle zu Schwelle erlaubt die Auswertung der Qualität und Stetigkeit der Bettung. Findet sich lokal bei einigen Schwellen ein Einbruch der Verdichtkraft, liegt ein Schotterdefekt vor. An solchen Stellen treten hohe Rad-Schiene-Kräfte auf, die den Schotter unter den Schwellen zerstören und zerkleinern. Abgenutzte runde Schotterkörner sind nicht mehr ausreichend zu verdichten. Aus dem Mittelwert der Schotterbetthärte und deren Standardabweichungen ist der Rückschluss auf die Gleislageverschlechterungsrate und auf den Verschmutzungsgrad möglich. Lokale Unstetigkeiten kurzer Länge werden als Einzelfehler identifiziert. Neben Verdichtkraft, Beistellweg und Verdichtarbeit wird die Schotterbettsteifigkeit ermittelt und aufgezeichnet und vom Gleisroboter 4.0 über GSM automatisch an die Webplattform INFRame übertragen (Bild 8). Eine weitere wichtige Größe ist die Schotterdämpfung, die sich aus dem Quotienten Kraftanstieg zu Beistellgeschwindigkeit ergibt.

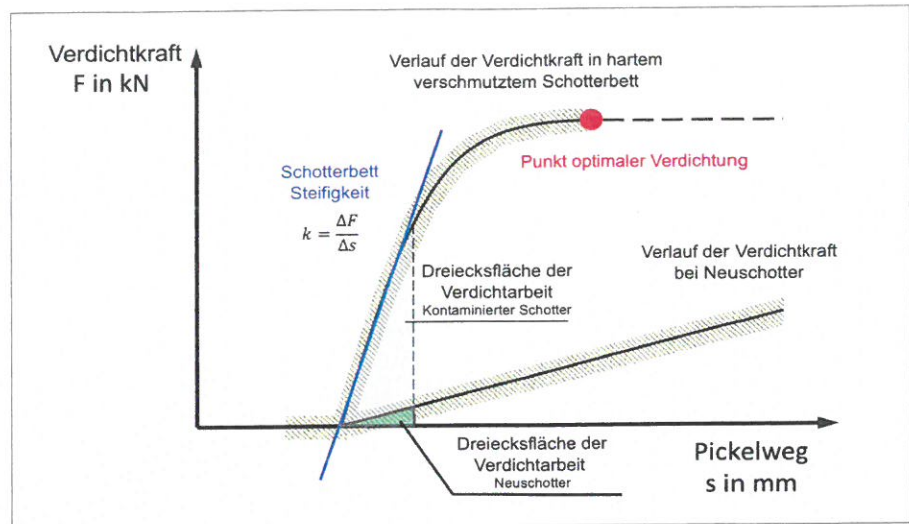


Bild 7: Schotterbetteigenschaften aus Stopfaggregatmessung

Um aus den ermittelten Daten nützliche und wertvolle Informationen abzuleiten, ist die automatisierte Verarbeitung und Interpretation derselben unumgänglich [13]. Ein stetig wachsender Anteil der zur Analyse eingesetzten Algorithmen ist dem Bereich der Künstlichen Intelligenz (KI) zuzuordnen. KI-Systeme finden Zusammenhänge und Muster in unterschiedlich strukturierten Datenmengen, die der menschliche Interpret kaum oder nicht erfassen kann. KI-Systeme erstellen Prognosen hinsichtlich des Eintretens von Gleislageverschlechterungen und Gleisfehlern und entwickeln Wartungsvorschläge, zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit der Gleislage. Techniken des Maschinellen Lernens (ML) sorgen für eine stete Verbesserung der Prognosen. Zur Echtzeit-Analyse der Gleisparameter bezieht das Expertensystem des Stopfroboters 4.0 die Parameter Verdichtkraft und -arbeit, Beistellweg und -zeit, Schotterbetthärte, -steifigkeit und -dämpfung, Eindringzeit, sowie die Gleislage vor und nach der Stopfarbeit mit ein. Das Expertensystem verwendet statistische Kenngrößen für die jeweiligen Zielparameter der Kategorien Gleislage und Schotterbettung.

Das Expertensystem von System7 identifiziert Störstellen und empfiehlt Instandhaltungsmaßnahmen. Durch kontinuierliche Sammlung der Gleis- und Schotterqualitätsdaten und die stetige Verbesserung der Wissensbasis wird eine verlässliche Prognose der zukünftigen Gleislage-Entwicklung nach einer Stopfung ermöglicht.

Das Bild 9 zeigt beispielsweise das Ergebnis der Analyse eines 400 m langen Ab-

schnittes. In der gezeigten Heatmap finden sich abhängig von den Fehlerwellenlängen die Orte, an denen die Fehlerintensität besonders hoch ist. Die Analyse liefert nicht nur lokale Angaben, sondern weist auf die Fehlerursachen selbst hin. Im Bereich der Wellenlängen unter 5 m sind es Schwellenhohlagen, die zur Schotterbeanspruchung beitragen, der Bereich bis 25 m zeichnet den Schotterzustand aus, von 25-70 m sind es Probleme der Zwischenschicht (beispielsweise Drainageprobleme). Wellenlängen über 70 m kennzeichnen Untergrund- und Tragfähigkeitsprobleme. Einzelfehler werden gesondert ausgewertet und angegeben. Die automatische Analyse des Expertensystems weist auf Fehlerursachen und deren Lokalisation hin, gibt eine Einschätzung der Qualität und der künftigen Entwicklung des Gleises. Zusätzlich werden Maßnahmen zur Behebung der Fehler vorgeschlagen.

8 Fazit

Das vollhydraulische Stopfaggregat erlaubt durch Messen der Schotterbetteigenschaften während des Arbeitens einen vollautomatischen Stopfmodus. Dies führt zu einem optimalen größten verdichteten Raum unter den Schwellen. Neben der gesteigerten Leistung der Maschine ergibt sich eine Verlängerung der Haltbarkeit der gestopften Gleisgeometrie gegenüber konventionellen Stopfmethoden um im Mittel 30%. Diese neue Methode spart Zeit, Kosten und erhöht die Verfügbarkeit der Gleise für den Betrieb.

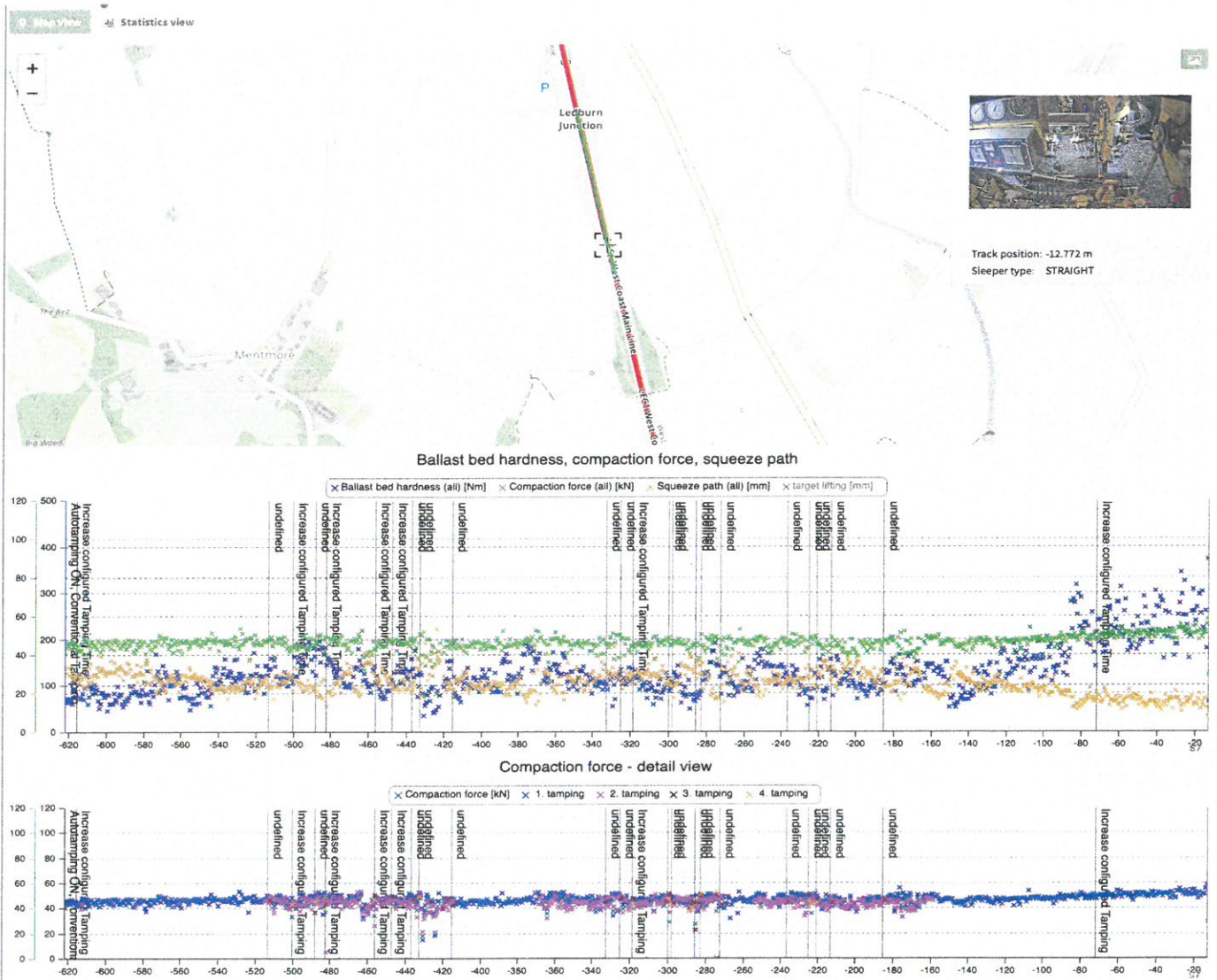


Bild 8: Schirmbild der Infrastrukturplattform INFrame

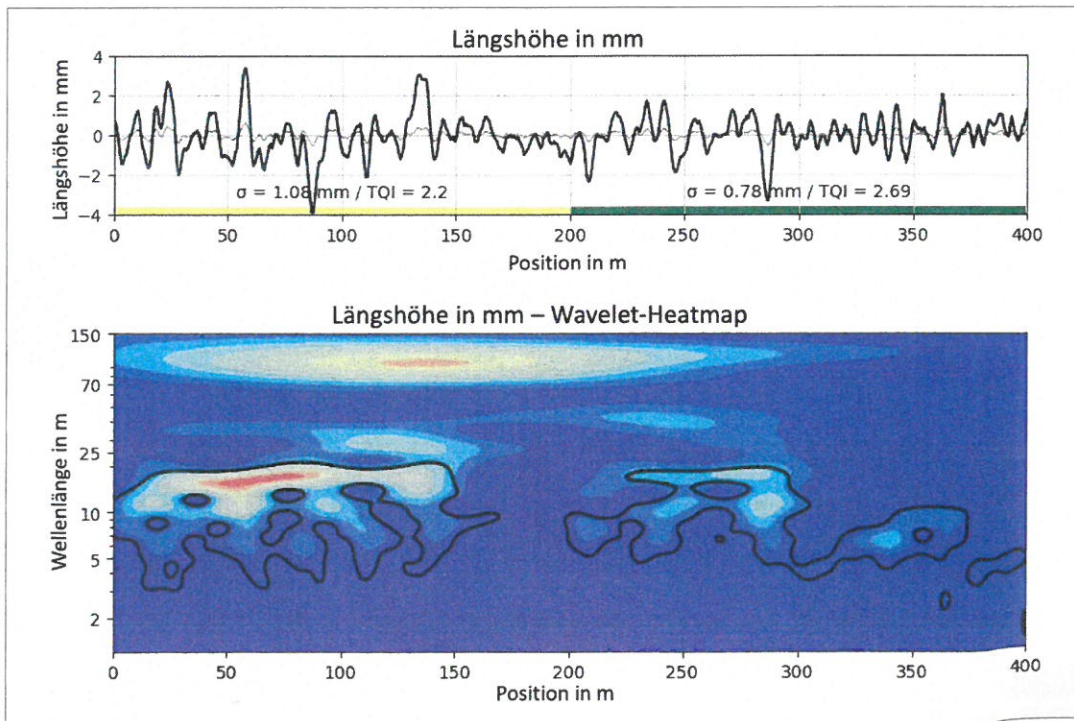


Bild 9: Auszug aus der Analyse des Schotterbettreports

(Bildnachweis: 1, [5]; 2, [6]; 3, 6, und 8, Fa. System7 rail GmbH; 4, 7 und 9, Verfasser; 5, [12])

Literatur

- [1] *Lichtberger, B.*: Handbuch Gleis – Unterbau – Oberbau – Instandhaltung – Wirtschaftlichkeit. DVV Media Group GmbH Eurailpress, Hamburg 2010 (3. Auflage).
- [2] *Demml, M.; Koczwara, C.; Omerovic, S.*: Von der Spitzhacke zur emissionsfreien Gleisstopfmaschine. El-Eisenbahningenieur, Mai 2023, S. 25-29.
- [3] *Lichtberger, B.*: Das Große Handbuch der Gleisinstandhaltung, Band 1; tredition Verlag GmbH, 2022.
- [4] *Perales, R.; Saussine, G.; Milesi, N.; Radjai, F.*: Numerical investigation of the tamping process; World Congress of Railway Research, WCCR 2011.
- [5] *Perales, R.; Saussine, G.; Radjai, F.*: Optimization of the Tamping Process to reduce Track Settlement. 7th EUROMECH Solid Mechanics Conference, Lisbon, Portugal, 7-11 September 2009.
- [6] *Saussine, G.; Azéma, E.; Gautier, P.E.; Peyroux, R.; Radjai, F.*: Numerical modelling of the tamping operation by Discrete Element Approach; World Congress Rail Research, Korea, 2008.
- [7] *Abadi, T.; Le Pen, L.; Zervos, A.; Powrie, W.*: Measuring the Area and Number of Ballast Particle Contacts at Sleeper/ Ballast and Ballast/Subgrade Interfaces. International Journal of Railway Technology, September 2015.
- [8] *Fischer, J.*: Einfluss von Frequenz und Amplitude auf die Stabilisierung von Oberbauschotter. Doktorarbeit, Technische Universität Graz, 1983.
- [9] *Saussine, G.; Azéma, E.; Perales, R.; Radjai, F.*: Compaction of railway ballast during tamping process: a parametric study. AIP Conference Proceedings, 2009.
- [10] *Zhou, T.; Hu, B.; Sun, J.; Liu, Z.*: Discrete Element Method Simulation of Railway Ballast Compactness During Tamping Process. The Open Electrical & Electronic Engineering Journal, No. 7, 2013, pp. 103-109.
- [11] *Paderno, C.; Sàri, O.*: Improving ballast tamping process. World Congress of Railway Research, WCCR 2011.
- [12] *Barbir, O.; Adam, D.; Kopf, F.; Pistrol, J.; Auer, F.; Antony, B.*: Development of condition-based tamping process in railway engineering. XVI Danube – European Conference on Geotechnical Engineering, Paper No. 128, Skopje 2018.
- [13] *Lichtberger, B.; Schmitzberger, H.*: Abnahmeschrieb des Schotterbettzustandes durch eine Hochleistungsstopfmaschine – in situ Messung während des regulären Stopfbetriebes, ZEVrail 144, Oktober 2022, S. 372-378.
- [14] *Lichtberger, B.*: Das neue System7-Automatikstopfen erhöht die Haltbarkeit der Gleislage: Einsatzergebnisse. ETR-Eisenbahntechnische Rundschau, September 2020, S. 58-63.
- [15] *Lichtberger, B.*: Vollhydraulisch Stopfen – eine neue Technologie für effiziente Instandhaltung. El-Eisenbahningenieur, Juli 2015, S. 18-22.
- [16] *Lichtberger, B.*: Der neu entwickelte Universal Tamper 4.0. El-Eisenbahningenieur, August 2018, S. 22-27.
- [17] *Neuhold, J.; Landgraf, M.; Neuper, G.*: Effekte von Schwellenbesohlungen auf das langfristige Qualitätsverhalten des Gleises (Effects of Under-Sleeper-Pads on long-term track quality behaviour) [in German]. ZEVrail 142, 2018, S. 276-281.



Univ.-Doz. Dr.

Bernhard Lichtberger (72). Studium der Technischen Physik an der Kepleruniversität Linz 1984, Dissertation (1993) und Habilitation (2005) an der TU Graz. Seit 2013 geschäftsführender Gesellschafter und Techni-

scher Direktor der System7 railsupport GmbH. Anschrift: System7 railsupport, Gewerbegebiet Süd 10, 4664 Laakirchen, Österreich.

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

ZEVrail Digital

Das Sonderheft 2023

48. Tagung
„Moderne Schienenfahrzeuge“

erscheint
im
September
2023

im
Abonnement
enthalten

auch
online
verfügbar

www.zevrail.de