

# Der neue Continuous Tamping Robot 4.0

Vollautomatisches Weichenstopfen auf einem neuen qualitativen Niveau durch unabhängig quer verschiebbare innovative Split-Head-Stopfaggregate mit vollständig schwenkbaren Pickeln.

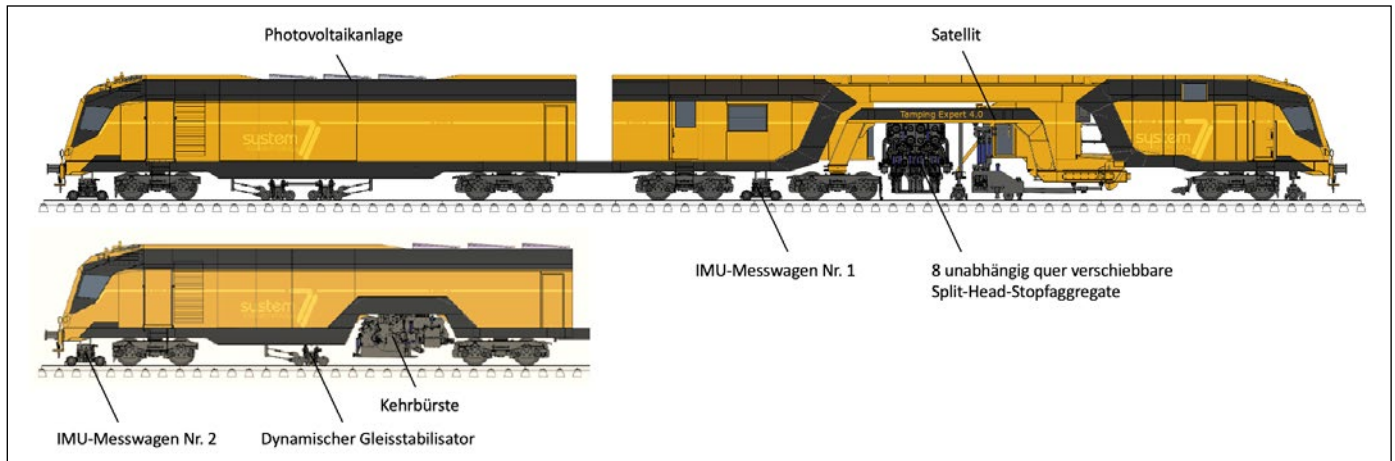


Abb. 1: Continuous Tamping Robot 4.0

Quelle: System7 rail technology GmbH

## BERNHARD LICHTBERGER

**Der Continuous Tamping Robot 4.0 ist der erste voll digitalisierte Stopfroboter, der im kontinuierlichen Zweiswellenmodus nicht nur Gleise, sondern auch Weichen durcharbeitet. Das erhöht die Qualität, die Arbeitsgeschwindigkeit und die Haltbarkeit der Stopfung. Die acht Split-Head-Stopfaggregate sind unabhängig voneinander quer verschiebbar. Durch die Neuentwicklung dieser Aggregate sind alle Pickel unabhängig schwenkbar. Neu ist der fest mit Satellit und Hauptmaschine verbundene Beschleunigungs- und Bremszylinder, der eine hohe Arbeitsgeschwindigkeit bei präziser Positionierung ergibt. Die Bremsenergie des Satellitenzylinders wird rückgewonnen. Die Energie wird hydraulischen Druckspeichern zugeführt und im Arbeitszyklus genutzt.**

### Der Continuous Tamping Robot 4.0

Der Continuous Tamping Robot 4.0 ist eine kontinuierlich arbeitende Zweiswellen-Universalstopfmaschine. Der Anhänger mit der Energieversorgung wird mit Dynamischen Gleisstabilisatoren (DGS) und großem Sozial- und Werkstatttraum oder alternativ mit Kehrbürste (optional mit zusätzlichem DGS) produziert (Abb. 1).

Die Maschine ist voll digitalisiert und automatisiert. Standard sind Mobilfunk, Satellitenmesssystem GNSS und WLAN für Servicezwecke. Über Fernzugriff ist die 24-Stunden-Expertenhotline von System7 erreichbar. Der Experte

sieht den Status der Maschine ein und sieht in Echtzeit das Schirmbild des Maschinenführers. Zustandsüberwachung der Maschinenkomponenten und der einwandfreien Arbeitsfunktionen der Maschine über die Webplattform RaVeM (Railway Vehicle Monitoring) ist selbstverständlich. Der vollhydraulische Stopfantrieb misst während des Arbeitens die Schotterbetteigenschaften [1]. Das integrierte Expertensystem analysiert diese Daten und stellt sie auf der Webplattform INFrame (Infrastructure Monitoring) in Form übersichtlicher Netzdiagramme dar [6]. Die Analyse erfasst nicht nur die Art der Gleisfehler nach Wellenlänge und Amplitude, sondern auch deren Ursache und örtliche Lage.

### Unabhängig querverschiebbare Split-Head-Stopfaggregate

Die Stopfaggregate einer universalen Zweiswellenstopfmaschine müssen so beschaffen sein, dass deren Bauweise das Stopfen in einer Schwellenteilung von 60 cm und darunter erlaubt.

Bisher vorhandene Einschwellen-Universal-Stopfaggregate sind breiter gebaut. Für die neu entwickelte Maschine war deshalb ein neues Stopfaggregat zu entwickeln. Im Gegensatz zu konventionellen Stopfaggregaten sind bei diesem Stopfaggregat alle Pickel (auch die inneren) schwenkbar ausgeführt. Abb. 2 zeigt die wegen der Beschränkung des Bauraums gewählte und patentierte Anordnung der vollhydraulischen Stopfantriebe hintereinanderliegend. Die Schwenkbarkeit aller Pickel erlaubt eine hohe Flexibilität beim Weichenstopfen. Abb. 3 zeigt schematisch eine mög-

liche Arbeitsstellung der Stopfpickel in einer Weiche. Die acht Split-Head-Stopfaggregate sind einzeln quer verschiebbar und können unabhängig voneinander abgesenkt werden. Abb. 4 zeigt die unabhängig voneinander quer verschiebbaren Split-Head-Stopfaggregate. Bei konventionellen Ausführungen befinden sich die in Längsrichtung des Gleises befindlichen Stopfaggregate auf einem gemeinsamen Rahmen.

Diese Einschränkung führt dazu, dass Teile der Weiche nicht im Zweiswellenmodus gestopft werden können, weil beispielsweise ein Stopfaggregat nicht für freies Tauchen positioniert werden kann.

Über den Drehkranz werden die Stopfaggregate auf die schräg liegenden Langschwellen eingestellt. Die Zusatzhebung ist in das Haupt-Hebe-Richt-Aggregat integriert und vermeidet so Torsionsbelastungen der Weichenkonstruktion.

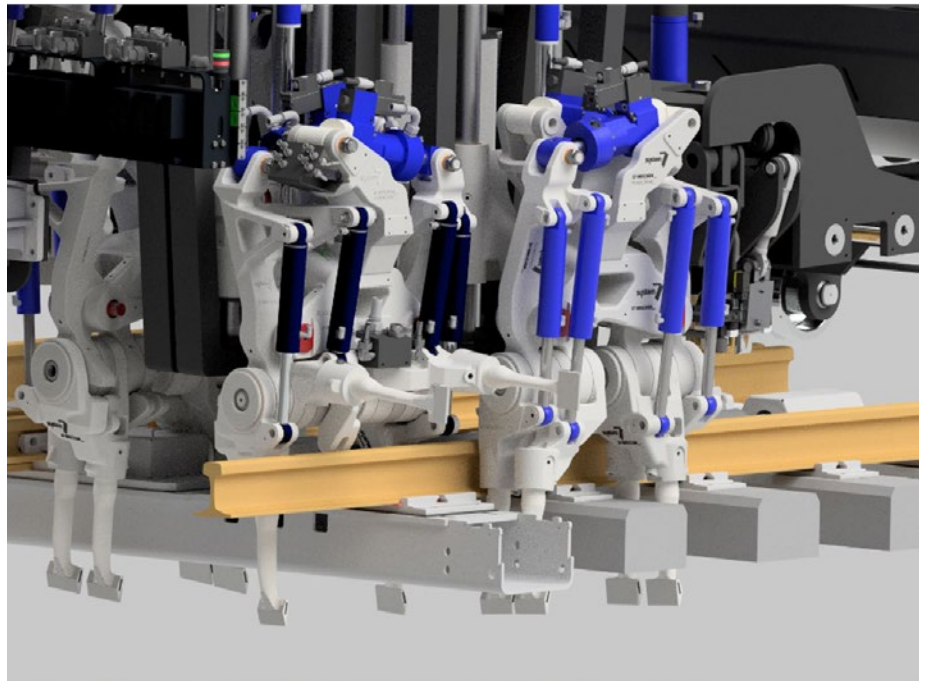
### Kontinuierliche Durcharbeitung einer Weiche im Zweiswellenmodus

Im Herzstückbereich, im Bereich der Zungen, an den Flügelschienen oder Radlenkern treten von Schwelle zu Schwelle rapide Veränderungen der freien Tauchräume für die Stopfpickel auf. Abb. 5 zeigt schematisch den Ausschnitt einer modernen Schnellfahrweiche mit beweglichem Herzstück. Blau und Grün eingezeichnet sind schematisch die Pickelpositionen der beiden nebeneinander liegenden Stopfaggregate. Rot strichliert ist der quer verschiebbliche Rahmen der einzelnen Stopfaggregate dargestellt. Die unabhängige Querverschieblichkeit und die Schwenkbarkeit der Stopfpickel lässt



**Abb. 2:** Split-Head-Stopfaggregat für Zweischwellenstopfung

Quelle: System7 rail technology GmbH



**Abb. 3:** Schematische Darstellung geschwenkter Stopfpickel bei der Arbeit in einer Weiche

Quelle: System7 rail technology GmbH

eine flexible optimale Nutzung der Tauchfreiheit zu. Die gesamte Weiche wird so im Zweischwellenmodus durchgearbeitet.

Bei konventionellen Stopfmaschinen befinden sich die Stopfaggregate auf einem gemeinsamen Rahmen und sind daher nur gemeinsam quer verfahrbar. Eine optimale Tauchstellung ist nicht möglich und nur ein Aggregat kann tauchen (Einschwellenstopfmodus). Wird bei konventionellen Anordnungen der gemeinsame Aggregatrahmen so weit verschoben, dass beide Aggregate tauchen können, dann stopft ein Teil der Aggregate nahe der Schwellenmitte. Dies birgt die Gefahr des Schwellenreitens und des Bruchs von Betonschwellen in sich.

Stopfen im Zweischwellenmodus mit dem Continuous Tamping Robot 4.0 bietet die folgenden Vorteile gegenüber konventioneller Ausführung:

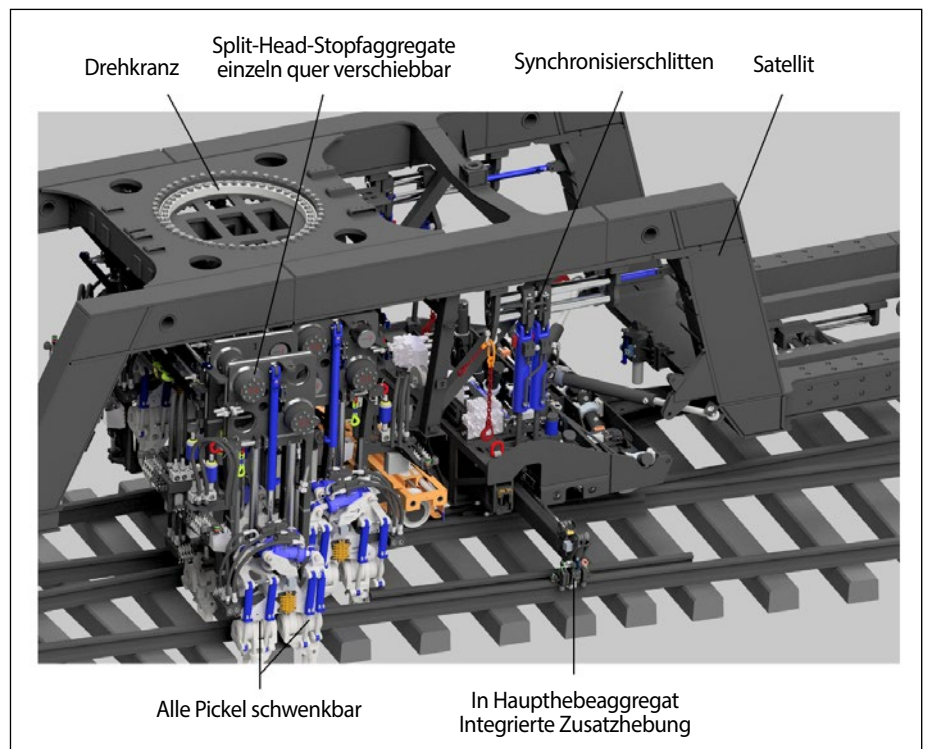
- Optimale Stopfposition
- Durchstopfen der Weiche im Zweischwellenmodus mit Erhöhung der Qualität der Stopfung sowie von deren Haltbarkeit und eine Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit
- Alle Pickel sind schwenkbar
- Unabhängig quer verschiebbare Aggregate erhöhen die Flexibilität und erlauben das nachhaltige Stopfen problematischer Bereiche
- Erfassung der Schotterbettparameter
- Automatische Einstellung der Stopfparameter wie Stopfzeit, Senkgeschwindigkeit, Eindringoptimierung

**Kontinuierliche Durcharbeitung von Strecken im Zweischwellenmodus**

Jeder vollhydraulische Stopfantrieb ist mit Sensoren für die Verdichtkraftmessung und

den Verdichtweg ausgestattet [2]. Während des Stopfens werden die Schotterbetteigenschaften wie Bettungshärte, Verlauf der Verdichtkraft, Dämpfung und Steifigkeit gemessen. Aus dem Verlauf der Verdichtkraft ergibt sich die optimale Verdichtzeit. Diese ist gegeben, wenn weiteres Beistellen der Aggregate keine Erhöhung der Verdichtkraft mehr nach

sich zieht. Die Anzahl der Berührungspunkte der Schotterkörner unter den Schwellen ist maximal, der verdichtete Raum ist optimal. Der optimale verdichtete Raum reduziert die Schotterpressung und erhöht die Haltbarkeit der vollhydraulischen Stopfung im Vergleich zu üblichen Exzenterantrieben um mehr als 30 % [3]. Die Betriebsart wird „System7 Automatik-



**Abb. 4:** Unabhängig quer verschiebbare Split-Head-Stopfaggregate

Quelle: System7 rail technology GmbH

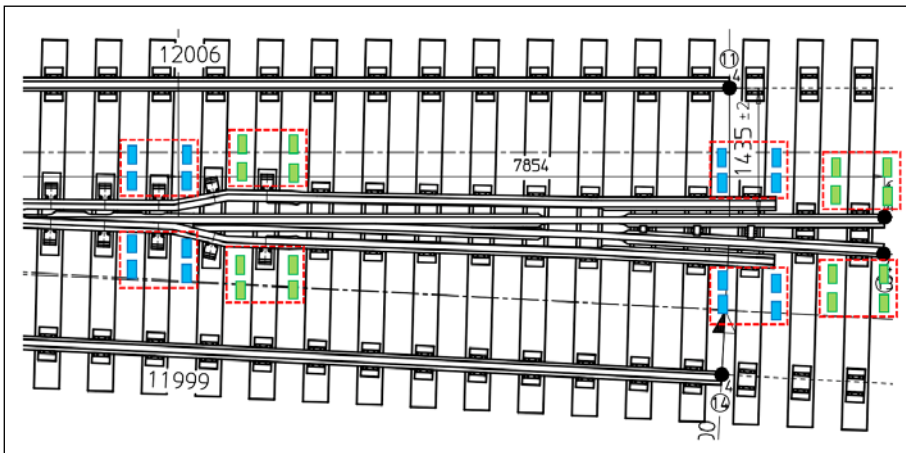


Abb. 5: Schematische Darstellung komplexer Stopfstellen in einer Weiche Quelle: Autor

stopfen“ genannt. Regelmäßige Anwendung findet sie im Vereinigten Königreich, in Italien und in den Niederlanden. In Deutschland befindet sich das Verfahren im Zulassungsstadium. Bei vollhydraulischen Stopfantrieben wird jeder einzelne Stopfantrieb unabhängig elektronisch auf optimale Verdichtung geregelt. Die vollhydraulischen Stopfaggregate beginnen unmittelbar vor dem Eindringen in den Schotter zu vibrieren. Der Verdichtvorgang jedes einzelnen Stopfarmes wird gemessen. Ist die optimale Verdichtung erreicht wird die Vibration abgeschaltet und der Stopfarm hält die letzte Stellung bis alle Antriebe stillstehen. Dann werden die Stopfarme geöffnet und die Aggregate gehoben. Damit wird vermieden, dass durchgängiges Vibrieren die bereits erreichte Verdichtung beim Hochheben wieder verringert. Die vollhydraulischen Stopfantriebe vibrieren nur einen Bruchteil des gesamten Stopfzyklusses. Beim Vorfahren des Satelliten, dem Abbremsen und Positionieren verbleiben die Aggregate in Ruhe, während Exzenteran-

triebe ständig laufen und ihre Wälzlager, die Exzenterwelle, die Pleuel und die Lagerungen der Stopfarme ununterbrochen beanspruchen. Konventionelle Universalaggregate mit schwenkbaren Pickeln werden beim Streckenstopfen mit vielen Tauchvorgängen hoch beansprucht und unterliegen daher einem hohen Verschleiß. Vollhydraulische Stopfaggregate hingegen weisen keine rotierenden verschleißanfälligen Antriebskomponenten auf. Sie sind, wegen des geringen Verschleißes, bestens als Aggregate für das Streckenstopfen geeignet. Durch den kontinuierlichen Tamping Robot 4.0 ist die Unterscheidung in Streckenstopf- und Weichenstopfmaschinen hinfällig. Diese Maschine ist für beides bestens geeignet. Dies bietet für die Betreiber den Vorteil, nur mehr eine Maschinentype einsetzen zu müssen. Das Personal muss nur mehr auf eine Maschinenart geschult werden. Es ergeben sich Vorteile hinsichtlich der Investitionen, der vorzuhaltenden Ersatzteile und der Wartung. Für den Auftraggeber ergibt sich zudem

der Vorteil, bei der Planung von Arbeiten nicht mehr unterschiedliche Eigenschaften berücksichtigen zu müssen.

**Die Vollautomatik beim Weichen- und Streckenstopfen**

Die Maschine ist für vollautomatisches Streckenstopfen ausgestattet. Dazu wurde ein Sensor entwickelt, der die Schienenbefestigung selbst bei Einschotterung bis zur Schienenoberkante zuverlässig erkennt und damit die automatische Positionierung der Maschine erlaubt. Das AHRK-System (Automatische Hebe-Richt-Kontrolle) nutzt einen Laserschnitt zur Detektion der Schienen und von Hindernissen. Wenn nicht eingeschottert ist, erkennt das System die Lage und Position der Schwellen und selektiert vollautomatisch die Wahl und den Angriffspunkt des Hebewerkzeugs (Rolle oder Haken) sowie die Position des Hebe-Richt-Aggregates in Längsrichtung des Gleises. Die Angriffspunkte der Hebezyylinder werden beim Verschieben des Hebe-Richt-Aggregates automatisch synchronisiert längs verschoben. Sie stehen immer vertikal und leiten keine parasitären Kräfte in den Maschinenrahmen ein.

Der Weichenlernmodus speichert die Positionen der Arbeitsaggregate beim Arbeiten bei jeder Schwelle. Synchronisiert wird am Weichenanfang oder dem Weichenende, je nach Arbeitsrichtung. Wird eine Weiche der gleichen oder ähnlichen Geometrie bearbeitet, werden die Daten abgerufen und die Arbeitsaggregate automatisch eingestellt.

**Die Steuerung des Stopfsatelliten**

Bei üblichen Maschinen wird der Stopfsatellit zusätzlich zum Antrieb des Satellitendrehgestells mit einem Stoßzylinder beschleunigt. Bei der neuen Maschine ist ein Zylinder mit dem Satelliten und der Hauptmaschine verbunden. Damit wird die Beschleunigung und Abbremsung des Stopfsatelliten genauer und zielführender gesteuert. Die Positioniergenauigkeit steigt und die Arbeitsgeschwindigkeit erhöht sich. Gleichzeitig wird dessen Bremsenergie rückgewonnen und ins Hydrauliksystem geleitet. Die in Hydraulikkumulatoren gespeicherte Energie nutzt der anschließende Stopfvorgang.

**Anzahl der Stopfmaschinenbediener**

Die Maschine benötigt zwei Maschinisten, den Stopfer und den Frontmaschinisten. Der Frontmaschinist führt mittels dem Gleislagecomputer CEO++ die Maschine. Die CEO++ Funktion kann per Software zum Stopfarmplatz verlegt und von dort bedient werden. Insbesondere beim vollautomatischen Streckenstopfen ist das ein Vorteil. Wenn diese Funktion dabei zur Einmannbedienung genutzt werden soll, ist zu den Videokameras in Fahrtrichtung vorne und hinten noch ein automatisches Hinderniserkennungssystem (beispielsweise mittels Outdoor-Sicherheitssensorscannern) aufzubauen.



Abb. 6: Inertialer Navigationsmesswagen Quelle: Autor

### Ermittlung der Gleislage nach dem Stopfen und nach dem Stabilisieren

Die Maschine verfügt über mindestens ein inertiales Navigationsmesssystem, das für Abnahmemessungen nach EN13848-3 zugelassen ist [4].

In Abb. 6 ist der inertielle Navigationsmesswagen, der für die Abnahmemessungen zugelassen ist, zu sehen. Die Maschine hat ein optisches Messsystem. Das Lichtmuster aus Punkten im rechteckigen Rahmen gehört zum hinteren Sendemesswagen. Das optische Messsystem nutzt Mustererkennung zur Bestimmung der Richtung, Höhe und Überhöhung. Der Messwagen zeichnet die räumliche Spur der linken und rechten Schiene auf.

### Steuerung des DGS

Wird ein DGS eingesetzt, wird hinter dem Gleisstabilisator ein zweiter inertialer Navigationsmesswagen (IMU-Messwagen) aufgebaut, denn der Gleisstabilisator verschlechtert durch die teilweise unterschiedliche Setzung ggf. die Höhenlage des Gleises. Daher ist ein Abnahmeschrieb nach dem DGS zu erstellen. Die Setzung des Gleises hängt hauptsächlich von der dynamischen Schlagkraft ab. Diese ist linear von der Unwucht des Exzenterantriebs abhängig und quadratisch von der Frequenz. Der nutzbare Frequenzbereich liegt im Bereich 28-40 Hz. Mit dem ersten IMU-Messwagen wird die erreichte Gleislage nach der Stopfarbeit aufgenommen. Dazu werden die realen Hebungen gemessen und aufgezeichnet. Der Einfluss der Hebung, der Vibrationsfrequenz, der Fahrgeschwindigkeit und der Schlagkraft auf die Setzung ist bekannt [7].

Der Regelkreis zur Beeinflussung der Schlagkraft des DGS ist vorgesteuert. Aus den gemessenen bekannten Parametern wird auf die zu erwartenden Setzungen hochgerechnet. Über die variable Frequenz wird die dynamische Schlagkraft geregelt, damit sich eine möglichst gleichförmige Setzung mit geringen Restfehlern ergibt. Zusätzlich werden die Messergebnisse der beiden IMUs im Regelkreis so genutzt, dass eine möglichst geringe Verschlechterung der Höhenlagenfehler auftritt.

### Zusammenfassung und Ausblick

Die vorgestellte Entwicklung des kontinuierlich arbeitenden Stopfroboters ist voll digitalisiert und automatisiert. Besonders hervorzuheben sind die neu entwickelten unabhängig steuerbaren vollhydraulischen schmalen Stopfaggregate bei denen alle Pickel schwenkbar sind. Während des Stopfens wird der Verlauf der Verdichtkraft und der Schotterbetthärte gemessen. Die Erfassung dieser Parameter erlaubt die automatische Einstellung der Stopfaggregate, die Ermittlung der optimalen Stopfzeit und die Analyse der erfassten Schotterbetteigenschaften. Die unabhängig voneinander quer verschiebbaren Stopfaggregate erlauben die vollständige Durcharbeitung von Weichen im Zweischwellenmodus. Die Maschine steht auf der Schwelle zum autonomen Arbeiten. Die Weiterentwicklung wird die Überstellung der Maschine zum Einsatzort ohne Personalbesetzung mittels ETCS bringen. Nach Lösung der Sicherheitsfragen während der Stopfarbeit wird diese autonom ohne Personal durchgeführt werden. Die Lenkung der Arbeitseinsätze wird ferngesteuert im Kont-

rollzentrum erfolgen. Künstliche Intelligenz wird die Fähigkeit der Stopfmaschinen beim Lösen unbekannter Probleme erhöhen. Die Folge - deutlich erniedrigte Investitions- und Betriebskosten, hohe Qualität und Arbeitsschwindigkeit. ■

### QUELLEN

- [1] Lichtberger, B.: Vollhydraulisch Stopfen – eine neue Technologie für effiziente Instandhaltung, EI 7/2015, S. 18–22
- [2] Lichtberger, B.: Das Große Handbuch der Gleisstandhaltung mit Neubau und Umbau, Band 1; tredition Verlag GmbH, Hamburg, 2022
- [3] Lichtberger, B.: Das neue System7-Automatikstopfen erhöht die Haltbarkeit der Gleislage: Einsatzergebnisse, ETR 9/2020, S. 58–63
- [4] Lichtberger, B.; Mittermayr, P.; Kuttelwascher, C.: Präzise Gleisvermessung mit einem inertialen Mess- und Navigationsmesssystem, EI 11/2020, S. 46–50
- [5] Lichtberger, B.: Stopftechnologien und ihre Auswirkung auf die Haltbarkeit der Gleislage, ZEVrail 147, 9/2023, S. 340-347
- [6] Lichtberger, B.; Schmitzberger, H.: Digitalisierung, Automatisierung und Anwendung maschineller Intelligenz bei Oberbaumaschinen, EIK 2024
- [7] Lichtberger, B.: Das Große Handbuch der Gleisstandhaltung mit Neubau und Umbau, Band 2; tredition Verlag GmbH, Hamburg, 2024



**Univ.-Doz. Dr. techn.  
Bernhard Lichtberger**

Geschäftsführender Gesellschafter und CTO  
System7 railsupport GmbH,  
AT-Laakirchen  
bernhard.lichtberger@s7-rail.com