

Das neue System7-Automatikstopfen erhöht die Haltbarkeit der Gleislage: Einsatzergebnisse

Die Messdatenerfassung der Stopfparameter vollhydraulischer Stopfantriebe ermöglicht erstmalig Aussagen über Schotterbetteigenschaften während der Arbeit. Versuche in England und den Niederlanden weisen für das neue S7-Automatikstopfen die Verlängerung der Haltbarkeit von Gleislagen nach. Dieser Beitrag beschreibt das neue Stopfverfahren und die umfassenden Vorteile die sich aus ihm ergeben.



2014 entwickelte die Firma System7 rail-support GmbH einen neuartigen vollhydraulischen Stopfantrieb und brachte diesen in Einsatz [1]. Kurze Zeit darauf folgte ein eigenes Weichenstopfaggregat und drei Universalstopfmaschinen UNIVERSAL TAMPER 4.0 [2] die in Deutschland, Österreich und den Niederlanden im Einsatz sind. In einer Vielzahl von Stopfaggregaten eines anderen Herstellers wurden vollhydraulische Stopfaggregatantriebe als Umbausätze integriert. Mehrere Maschinen eines Fremderstellers arbeiten mit Stopfaggregaten von System7.

Herkömmliche Stopfantriebe haben Exzenterwellen mit über Pleuel und Wälzlager angekoppelten Hydraulikzylindern.

Exzenterwellenantriebe verfügen über rotierende Schwungscheiben mit großem Beharrungsvermögen. Auf Grund der gespeicherten Rotationsenergie können sie nicht plötzlich ein- und ausgeschaltet werden – sie reagieren träge. Die Exzentrizität der Welle bestimmt die Amplitude der Schwingung. Es gibt nur zwei Öffnungsweiten der Stopfwerkzeuge: Einschwellen- und Doppelschwellenstopfung. Stoßklappen fixieren die Öffnungsweiten. Die Stopfarme eines konventionellen Stopfaggregates sind nicht unabhängig steuerbar.

Vollhydraulische Stopfantriebe hingegen erzeugen über einen vollhydraulischen Antrieb gleichzeitig Vibration und Schließbewegung. Integrierte Wegsenso-



Dr. habil. Bernhard Lichtberger
Technischer Direktor der Firma System 7 rail-support GmbH, A-Laakirchen
bernhard.lichtberger@s7-rs.com

ren messen Position und Bewegung des Zylinderkolbens. Die Antriebe werden elektronisch geregelt und gesteuert.

Die Tabelle stellt Eigenschaften eines konventionellen jenen eines vollhydraulischen Stopfantriebes gegenüber.

Charakteristikum	Vollhydraulischer Stopfantrieb	Konventioneller Exzenterwellenantrieb
Einstellbare Frequenz	Ja Konstant gehaltene Frequenz	Ja Frequenz sinkt während Stopfvorgang
Schnelle Regelfunktion	ja	Nein Trägheit rotierender Massen
Einstellbare Amplitude	ja	Nein Durch mechanische Unwucht festgelegt
Zylinder unabhängig regelbar	ja	Nein – über Exzenterwelle gekoppelt
Frei einstellbare Öffnungsweite	ja	Nein Nur zwei Stellungen
Stopfaggregat abgeschaltet in Wartestellung	ja	Nein Dauerlauf
Automatische optimale Verdichtungssteuerung	ja	nein
Messsensoren Verdichtkraft und Verdichtweg	ja	nein
S7-Automatikstopfmodus	ja	nein

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Charakteristika voll hydraulischer Stopfantriebe gegenüber konventionellen Exzenterwellen Stopfantrieben

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für System 7 rail-support GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt von DW Media Group GmbH 2020

1. Verdichtkraft und Bettungshärte

Bild 1 zeigt das patentierte vollhydraulische Weichenstopfaggregat mit kraftfluss-optimierter Stopfarmkonstruktion, symmetrischen Pickelhaltern und Sensorik.

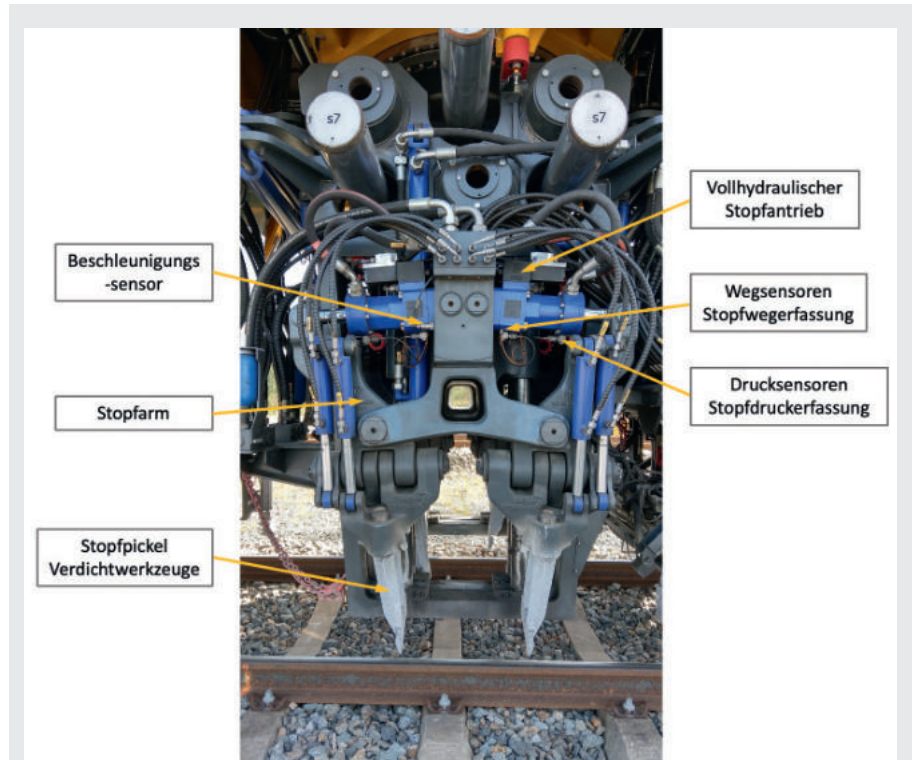
In die vollhydraulischen Stopfantriebe sind Wegsensoren integriert. Über zwei Drucksensoren je Antrieb wird die Verdichtkraft gemessen. Ein Beschleunigungssensor am Aggregat überwacht ihren Zustand. An jeder Schwelle werden Daten erfasst und auf der Web-Plattform InfraME (Infrastructure Monitoring Environment) abgespeichert. Dort stehen dem Betreiber zur Verfügung: GPS-Koordinaten, Gleis km, Verdichtkraft, Beistellweg, Bettungshärte, Schotterbettsteifigkeit, Schienentemperatur, Hebe- und Richtwerte, Hebe- und Richtkräfte etc.

Mit Techniken des maschinellen Lernens werden die Messgrößen analysiert. Während der Arbeit wird das Bedienungspersonal automatisch auf Schwachstellen in der Bettung hingewiesen.

2. Die „Optimale Stopfung“

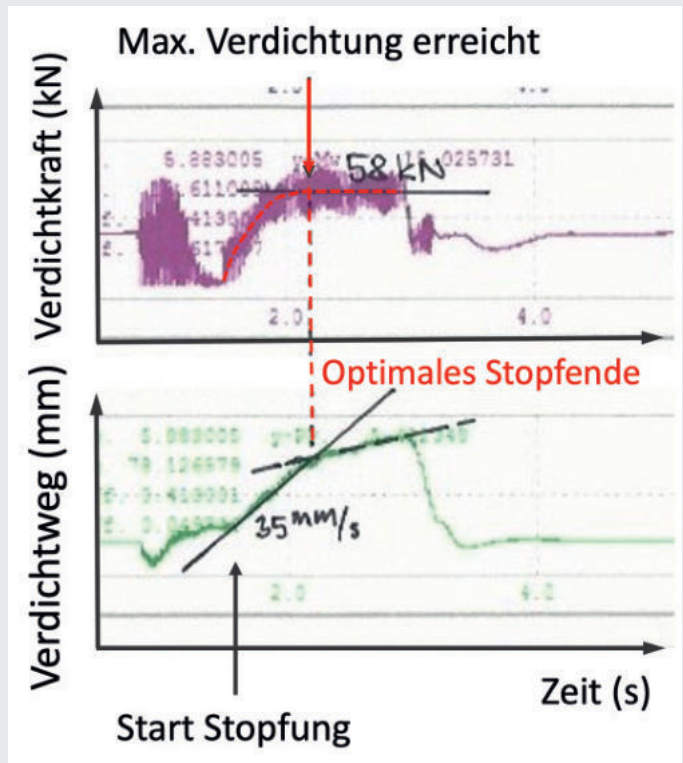
Bild 2 zeigt den zeitabhängigen Verlauf der Verdichtkraft und des Beistellweges für einen Stopfzyklus. Nach Erreichen der vorgegebenen Stopftiefe (Start Stopfung) schließen sich die Stopfarme vibrierend und verdichten den Schotter unter der Schwelle. Die Verdichtkraft nimmt anfangs linear zu und verflacht schließlich. Die obere Messkurve zeigt den Verlauf der Verdichtkraft. Diese nimmt ebenfalls zuerst linear zu, bleibt dann aber, ab dem Bereich wo die Schließgeschwindigkeit abnimmt, konstant. Nach dem dritten Newton'schen Gesetz ist das jene Kraft, die der Schotter der wirkenden (actio) Verdichtkraft entgegengesetzt (reactio). Weiteres Beistellen nach dem Überschreiten des Optimums bewirkt ein Abfließen des Schotters in den Vorkopfbereich oder ein Hochdrücken der Schwelle. Beides verringert den verdichteten Bereich. Fortgesetztes Beistellen beansprucht den Schotter und verringert die Arbeitsleistung der Stopfmaschine. Je ausgedehnter der verdichtete Bereich unter der Schwelle, um so vorteilhafter die Lastverteilung. Durch das Stopfende bei der maximalen Verdichtkraft (roter Pfeil) ergibt sich eine höhere Haltbarkeit der Gleislage.

Beim S7-Automatikstopfen wird der Zeitpunkt der optimalen Verdichtung für jeden der vollhydraulischen Stopfantriebe einzeln bestimmt und gesteuert.



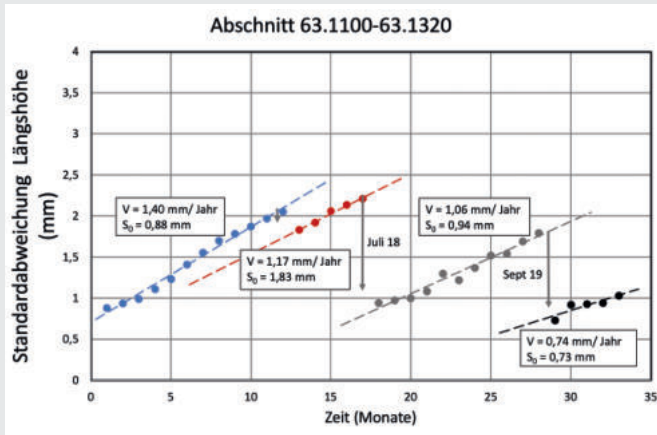
1: S7-Weichenstopfaggregat mit Sensorik

2: Messdiagramm der Verdichtkraft und des Verdichtweges eines Stopfzyklusses

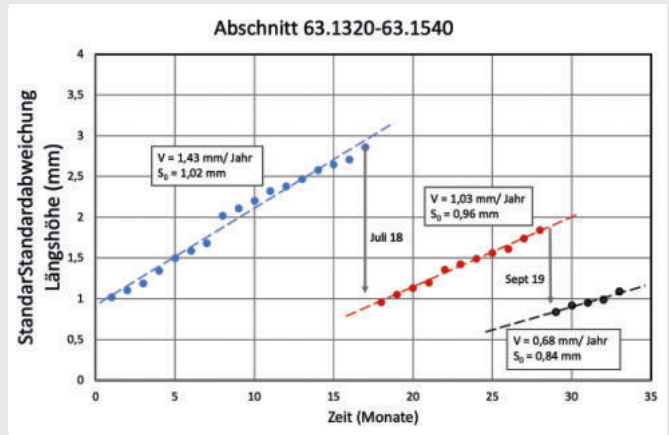


Es wurden umfangreiche Versuche mit vollhydraulischen Stopfaggregaten in den Niederlanden durch Strukton und in England durch Network Rail durch-

geführt. Typisch waren bisher Stopfzeiten von 1,2 s. Stopfzeit und Stopfdruck werden bei konventionellen Maschinen durch den Maschinisten eingestellt. Eine



3: Abschnitt 63.1100-63.1320 mit der Entwicklung der Standardabweichungen der Gleishöhenlängslage (die strichlierten Linien sind die berechneten Ausgleichsgeraden) – Stopfung im September 2019 mit S7-Automatikstopfen



4: Abschnitt 63.1320-63.1540 mit der Entwicklung der Standardabweichungen der Gleishöhenlängslage (die strichlierten Linien sind die berechneten Ausgleichsgeraden) – Stopfung im September 2019 mit S7-Automatikstopfen

frühere Untersuchung der Deutschen Bahn (BZA München) ergab für Stopfzeiten ab 1,5 s keine Verbesserung der Haltbarkeit der Gleislage. Ziel der aktuellen durchgeführten Versuchsreihen war die Ermittlung der statistischen Verteilung der Stopfzeiten im S7-Automatikstopfmodus und die Auswirkung auf die Haltbarkeit der Gleislage.

Bei Network Rail wurden Streckenabschnitte mit dem vollhydraulischen Stopfantrieb im Juli und Juni 2018 konventionell

gestopft und im September 2019 mit der S7-Automatikstopfung.

Die Bilder 3 und 4 zeigen zwei typische aufeinanderfolgende mit S7-Automatikstopfung bearbeitete Abschnitte. Bei der ersten Stopfung 2018 wurde der vollhydraulische Stopfantrieb in konventioneller Betriebsweise eingesetzt (mit konstant eingestellten 1,2 s). Die einzelnen Punkte im Diagramm entsprechen Messergebnissen des elektronischen Gleismesswagens von Network Rail. Schon bei der ersten konven-

tionellen Stopfung mit dem vollhydraulischen Stopfantrieb im Juli 2018 zeigt der Vergleich der Gleisverschlechterungsraten eine Verbesserung im Abschnitt 63.1100-63.1320 von 1,17 auf 1,06 mm/Jahr und in Abschnitt 63.1320-63.1540 von 1,43 mm/Jahr auf 1,03 mm/Jahr.

Die S7-Automatikstopfung im September 2019 brachte eine weitere Verbesserung der Gleisverschlechterungsrate auf 0,74 mm/Jahr im Abschnitt 63.100-63.1320 und auf 0,68 mm/Jahr im Abschnitt 63.1320-63.1540.

Unter Annahme einer Eingriffsschwelle für die Stopfarbeiten von 2,5 mm errechnet sich eine Verlängerung der Durcharbeitszyklen von 0,92 bzw. 0,94 Jahre für die beiden betrachteten Abschnitte.

Das Histogramm (Bild 5) der ermittelten optimalen Verdichtzeiten ergibt im Mittel 0,65–0,7 s wie Einsätze in den Niederlanden zeigen. Diese Zeiten sind fast um die Hälfte niedriger als die gebräuchlichen 1,2 s. Das Eindringen der voluminösen Stopfpickel in den Schotter geht mit einer Vorverdichtung einher, nach kurzer Zeit ist daher die maximal erreichbare Verdichtkraft erreicht.

2.1. Warum verbessert sich die Gleisverschlechterungsrate nach einer S7-Automatikstopfung?

Das hat mehrere Gründe. Die Stopfantriebe werden voneinander unabhängig gesteuert. Nach Erreichen der optimalen Verdichtung wird die Vibration abgeschaltet, die Pickel verbleiben statisch auf Gegendruck an der erreichten Position [3].

Tabelle 2: Auswertung der Versuchsabschnitte

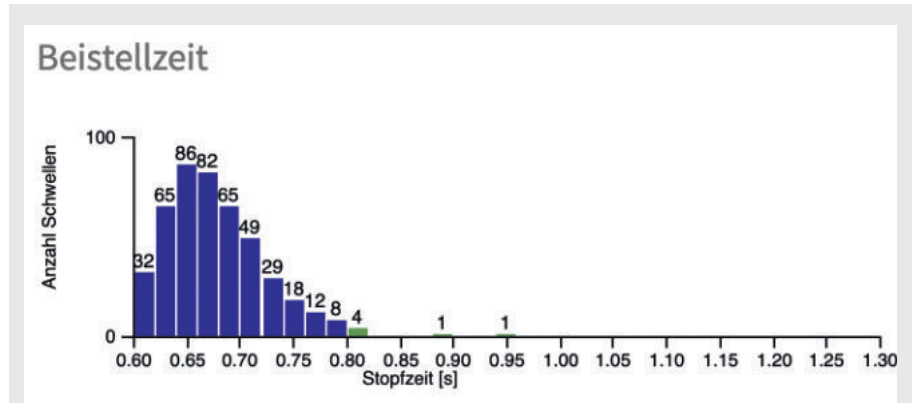
Abschnitte	S _{0alt} (mm)	S _{0neu} (mm)	V _{alt} (mm/a)	V _{neu} (mm/a)	V (%)	Zyklus-Verlängerung (a)
1	1,81	1,50	0,576	0,096	83,3	9,21
2	1,44	1,10	0,804	0,660	17,9	0,80
3	1,08	1,05	0,636	0,396	37,7	1,43
4	1,23	0,84	1,920	1,836	4,4	0,24
5	1,43	1,21	5,640	4,956	12,1	0,07
6	0,94	0,73	1,060	0,740	30,2	0,92
7	0,96	0,84	1,030	0,680	34,0	0,95
8	1,01	0,86	0,600	0,600	0,0	0,25
9	1,42	1,38	0,852	0,780	8,45	0,17
10	1,38	1,43	0,132	0,096	27,3	2,66
Mittelwert	1,25	1,08	0,101	0,083	22,5	1,51

- S_{0alt} ... Anfangsqualität nach dem Stopfen alt
- S_{0neu} ... Anfangsqualität nach dem Stopfen neu
- V_{alt} ... Gleisverschlechterungsrate alt
- V_{neu} ... Gleisverschlechterungsrate neu
- V (%) ... Veränderung der Gleisverschlechterungsrate in Prozent

Die Tabelle fasst die Ergebnisse aller Testabschnitte zusammen.

Erst wenn alle Antriebe ihr Kraftoptimum erreicht haben werden die Stopfaggregate gemeinsam in Wartestellung gehoben. Die Antriebe vibrieren weder beim Hochfahren noch nach dem Erreichen der maximal erreichbaren Verdichtung, das gestopfte Auflager wird während des Öffnens und Aggregat-Hebens nicht wieder aufgelockert. Die größtmögliche verdichtete Auflagerfläche verbessert das Tragverhalten und verlängert die Haltbarkeit der Gleislage. Der Schotter wird nur bis zum Erreichen der optimalen Stopfzeit beansprucht, dadurch weniger geschädigt, das verlängert seine Gebrauchsdauer.

Während des Stopfvorganges mit dem vollhydraulischen Stopfantrieb bleibt die Verdichtfrequenz konstant, sie wird elektrisch vorgegeben. Bei Exzenterwellenantrieben sinkt die Vibrationsfrequenz bei steigenden Verdichtkräften; die absinkende Stopffrequenz reduziert das elasto-plastische Verdicht-Fließverhalten des Schotter. Durch die konstante Stopffrequenz der vollhydraulischen Stopfantriebe ergibt



5: Histogramm der Verdichtzeiten der gestopften Schwellen bei S7-Automatikstopfen

sich hingegen eine dichtere Lagerung der Schotterkörner.

Die Erfahrungen der DB Bahnbau beim Bau einer Neubaustrecke in Israel fasst Bild 6 zusammen. Es zeigt Hebewerte und Setzung des Gleises. Gestopft wurde mit

vollhydraulischen Stopfantrieben. Bei Hebewerten von 100 mm wie bei der Baustelle in Israel setzt der dynamische Gleisstabilisator typischerweise das Gleis um 10–15 mm. Die tatsächlich gemessenen Setzungen betragen aber nur 2–3 mm – das be-

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für System 7 railsupport GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group GmbH 2020



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



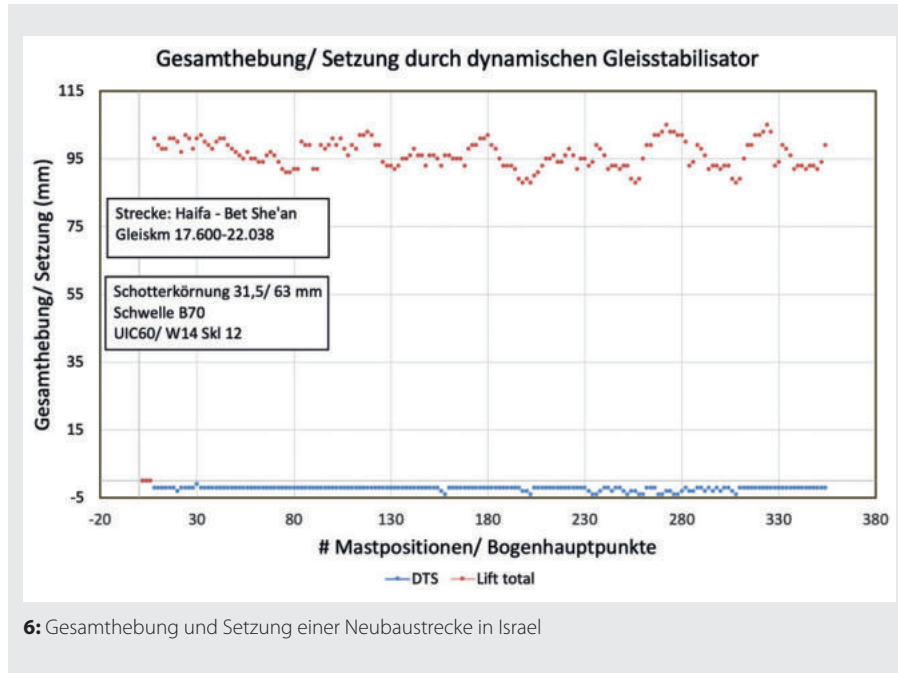
NEU: Fälschungssichere digitale Übermittlung der Abnahmedaten



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

www.s7-railsupport.com

office@s7-rt.com



6: Gesamthebung und Setzung einer Neubaustrecke in Israel

weist die erzeugte dichte Kornlagerung durch den Einsatz des vollhydraulischen Stopfantriebes. Weiterführende Untersuchungen sind geplant – das Ziel – Entfall der Gleisstabilisierung. Damit ergäbe sich eine Kosteneinsparung. Durch die Gleisstabilisierung entstehen unregelmäßige Setzungen – Gleisfehler – der Entfall der Gleisstabilisierung führt zu einer Verlängerung der Gleislagehaltbarkeit.

Der Screenshot zeigt eine Darstellung der Web-Plattform InfraME für einen Versuchsbereich in England. Die grüne Linie in der Landkarte zeigt die örtliche Lage des Arbeitsbereichs und die Ergebnisse 2019. Grün: Verdichtkraft, Blau: Schotterbetthärte und Orange: Beistellweg (Bild 7).

Der Bereich innerhalb der vertikalen roten Linien entspricht dem gestopften Abschnitt 2018. Die Kurven sowohl der Ver-

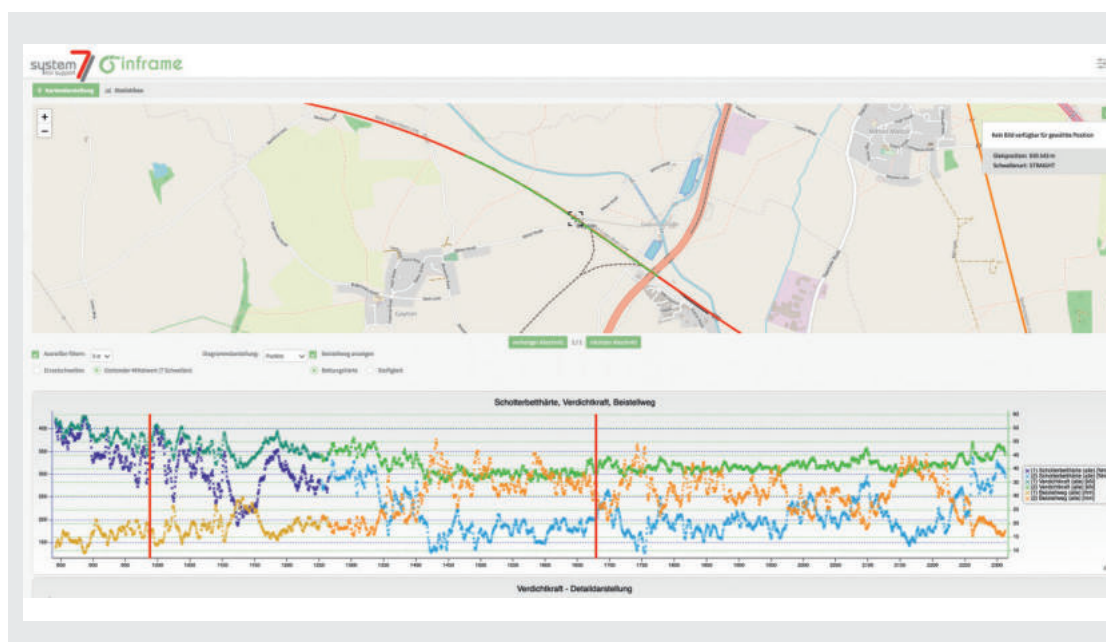
dichtkraft als auch der Bettungshärte sind einander ähnlich. Die Schottereigenschaften veränderten sich zwischen 2018 und 2019 nicht.

Die Formähnlichkeit des Verlaufes der Verdichtkräfte (siehe Bild 8) weisen auf das Phänomen hin, das unter „GEDÄCHTNIS DES GLEISES“ bekannt ist. Der Verlauf der Verdichtkraft nach dem S7-Automatikstopfen zeigt eine größere Gleichmäßigkeit mit weniger Streuung und liegt insgesamt deutlich über der konventionellen Stopfung (5 – 10 kN – siehe Tabelle 3).

Während der Stopfarbeit wird ein Schotterbettzustandsschrieb am Geometrieleitcomputer CEO++ dargestellt. Unmittelbar nach Arbeitsende werden die Schotterbettdaten auf der Maschine durch ein Expertensystem analysiert und daraus ein Report mit Angabe der Bettungsqualität, einzelner Störstellen, einer Voraussage der Haltbarkeit der Gleislage und Wartungsvorschläge für die nächste Durcharbeitung generiert. Der Report enthält den Bettungsmessschrieb, eine statistische Auswertung der Messergebnisse und die Ergebnisse der mit maschinellem Lernen durchgeführten Analyse.

3. Zusammenfassung

Der neuartige vollhydraulische Stopfantrieb kombiniert effektive Arbeitsweise mit Messdatenerfassung. Das S7-Automatikstopfen verdichtet bis die optimale



7: Darstellung des Stopfbereichs, der im September 2019 nach dem Verfahren des „optimalen“ Automatikstopfens bearbeitet wurde

Verdichtkraft erreicht ist. Gegenüber den bisher üblichen fest nach Gutdünken des Maschinisten eingestellten typischen 1,2 s

ergeben sich für die optimale Verdichtung Stopfzeiten um die 0,7 s. Die S7-Automatikstopfung verringert die Steigung der Gleis-

verschlechterungsrate und verlängert die Haltbarkeit der Gleislage. Der Schotter wird weniger beansprucht.

Weitere Untersuchungen sollen zeigen, dass eine dynamische Gleisstabilisierung beim Einsatz des neuen Stopfverfahrens entfallen kann.

Tabelle 3: Schotterbetteigenschaft vor und nach dem „optimierten“ Stopfen

Messgröße	Konventionelle Stopfung Abschnitt vom 23.7.2018	S7-Automatikstopfung Abschnitt vom 25.9.2019	Veränderung (%)
Mittelwert der Verdichtkraft (kN)	35,2	43,5	23,6
Mittelwert der Bettungshärte (Nm)	211,5	234,5	10,9

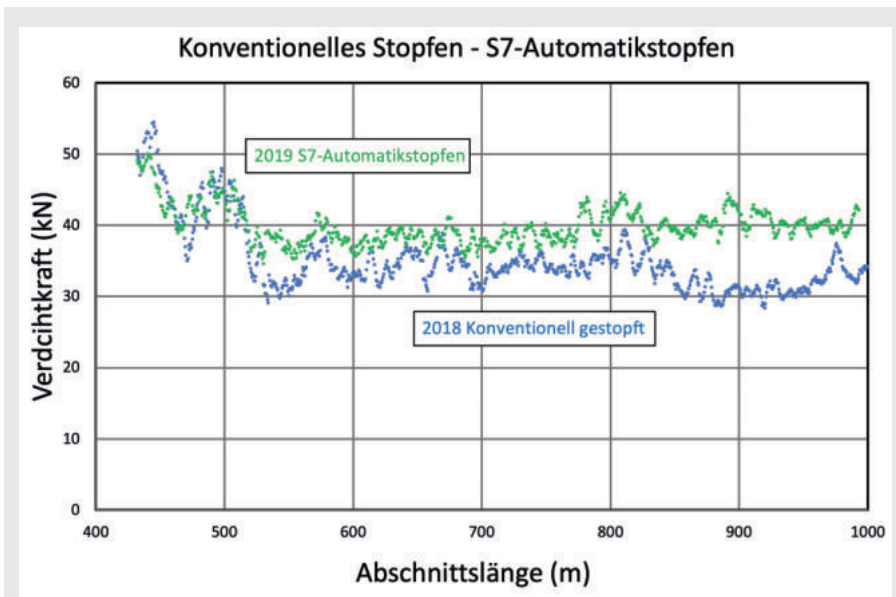
Literatur

[1] Lichtberger, Bernhard: Vollhydraulisch Stopfen – eine neue Technologie für effiziente Instandhaltung; Eisenbahningenieur EI 7/2015, S. 18–22
 [2] Lichtberger, Bernhard: Der neu entwickelte Universal Tamper 4.0; Eisenbahningenieur EI 8/2018, S. 22–27
 [3] Stute, Eric; Vogel, Rainer; Söllinger, Markus; Lichtberger, Bernhard: Umweltfreundlich und ressourcenschonend Stopfen; Eisenbahningenieur EI 5/2019, S. 48–55

Summary

New System7- automatic tamping increases the durability of the track layers: application results

The measurement data acquisition of the tamping parameters of fully hydraulic tamping drives allows for the first-time statements about ballast bed properties during operation. Some trials in England and the Netherlands have shown that the new S7 automatic tamping can extend the durability of the track layers. This article describes the new tamping procedure and the comprehensive advantages that result from it.



8: Verdichtkraftvergleich Konventionelles Stopfen gegen S7-Automatikstopfen (gleitender Mittelwert über 7 Schwellen)

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für System 7 railsupport GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt von DW Media Group GmbH 2020

Profitieren Sie von gesteigerter Antriebseffizienz!

Drehzahlsensoren für optimierte Traktionskontrolle:

- Signifikant gesteigerte Regelgenauigkeit
- Niedriger Energieverbrauch
- Reduzierte Geräuschentwicklung des Motors
- Ruckfreies Anfahren unter Last oder an Steigungen
- Extrem platzsparender und wartungsfreier Sensor



Besuchen Sie unsere virtuelle Messe auf www.lenord.de!

