

# Vollhydraulisch Stopfen – eine neue Technologie für effiziente Instandhaltung

*Ein innovativer voll hydraulischer Stopfantrieb reduziert Verschleiß sowie äquivalenten Dauerschallpegel und liefert Qualitätszahlen über Verdichtung und Schotterbetthärte.*

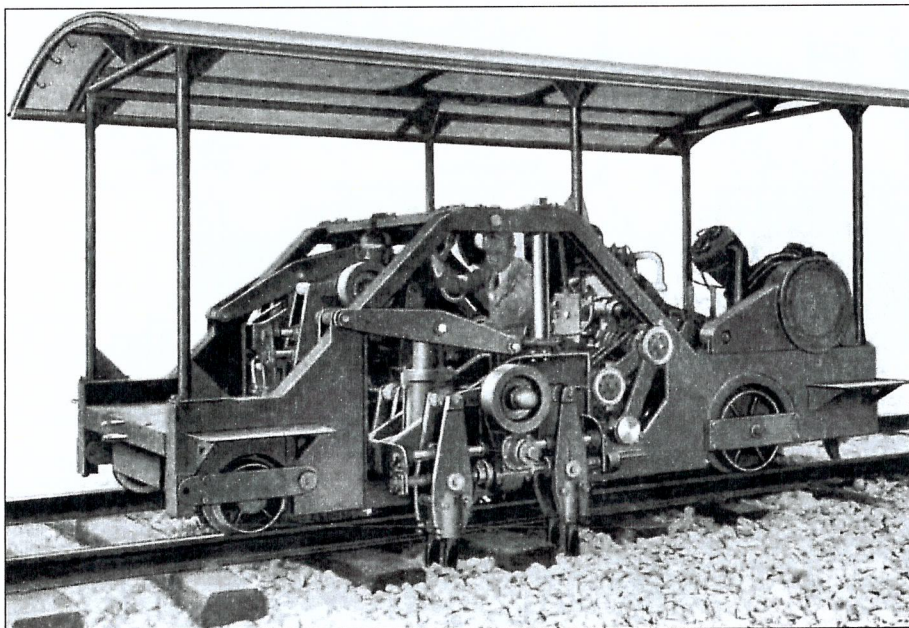


Abb. 1: Gleisstopf-Maschine System „Scheuchzer“ [1] (1938)

Bernhard Lichtberger

## Eine kurze Geschichte zur Entwicklung des Stopfens

Die erste „Geleise-Maschine“ zum Stopfen von Eisenbahngleisen entwickelte und setzte die Schweizer Firma Scheuchzer schon 1938 ein [1]. Die Maschine wurde von einem 50-PS-Ford-Motor angetrieben und erlaubte eine Fahrgeschwindigkeit von 50 km/h (Abb. 1). Das Maschinengewicht betrug 7 t. Die Verdichtung wurde über das Moment an der Beistellspindel gemessen und gesteuert. Die Arbeitsgeschwindigkeit erreichte 60–100 m/h. Die Maschine konnte seitlich ausgerückt werden, um die Gleise für den Zugverkehr frei zu machen.

Das Grundprinzip der 1938 vorgestellten Maschine wird wie folgt beschrieben: „Als Stopfgerät dienen acht Hebelpaare, die über Exzenter in rasche Vibrationen kleiner Amplitude versetzt werden und damit den Schotter zusammenpacken.“ [1] Die Hebelpaare bewegten sich mechanisch über eine Gewindestange (Abb. 2).

Im Jahr 1953 wurde von der österreichischen Fa. Plasser diese mechanische Gewindestange durch eine hydraulische Vorrichtung er-

setzt (Abb. 2). In weiterer Folge wurden Ende der 1960er Jahre an Stelle dieser „hydraulischen“ Gewindestange Beistellzylinder, die direkt über Pleuel an der Exzenterwelle angriffen, ausgeführt (Abb. 3). Diese Anordnung ist bei der Mehrzahl der Stopfmaschinen noch heute die Standardausführung.

## Die konventionelle Stopftechnologie

Warum müssen Gleise gestopft werden? Durch fahrende Züge werden Kräfte ins Gleis eingebracht, die zur Entstehung von geometrischen Gleisfehlern führen. Diese Gleisfehler beeinträchtigen das Fahrverhalten und können eine Größenordnung annehmen, die den Fahrkomfort beeinträchtigen und die Sicherheit des Zugverkehrs gefährden. Mit Hilfe von Gleisstopfmaschinen wird der Gleisrost in Höhe und Richtung berichtigt und in dieser Lage durch Verdichten des Schotters unter der Schwelle fixiert.

Als optimale Frequenz hat sich eine Verdichtschwingung von 35 Hz mit einer Amplitude am Verdichtpickel von ca. 4–5 mm herausgestellt [4]. Die Frequenz wird durch die Drehzahl der Exzenterwelle und die Amplitude durch die mechanische Exzen-

trizität bestimmt. Die Tauchtiefe wird so eingestellt, dass die Oberkante der Stopfpickelplatte einen Freiraum zur Unterkante der Schwelle von ca. 15 mm aufweist. Bei losem Schotter und großen Hebungen wird an derselben Stelle mehrfach getaucht und verdichtet. Typische Stopfzeiten liegen bei ca. 1,2 Sekunden. Für die Bearbeitung von Holzschwengleisen mit Doppelschwellen kann die Öffnungsweite der Stopfarme mechanisch durch Ausfahren von sogenannten Stoßklappen vergrößert werden.

Bis zur Einführung der kontinuierlich arbeitenden Stopfmaschinen wurde die Verdichtung durch den Stopfdruck gesteuert. Bei Erreichen eines vorgegebenen Stopfdruckes, der den Widerstand des Schotters gegen die Verdichtungskraft beschrieb, wurde die Verdichtung beendet.

Mit der Einführung kontinuierlich arbeitender Maschinen ging man vom druckgesteuerten Verdichtprinzip ab und gab statt dessen eine konstante Verdichtzeit vor. Die Verdichtzeit hängt von der gewählten Arbeitsgeschwindigkeit ab. Je höher die Arbeitsgeschwindigkeit gewählt wird, umso niedriger ist die Verdichtzeit. Folge dieser Einführung ist, dass bei den derzeitigen Stopfaggregatausführungen keine direkte Aussage mehr über die tatsächlich erreichte Stopfqualität möglich ist.

Konventionelle Stopfaggregate weisen eine Vielzahl von verschleißintensiven rotierenden Teilen auf wie:

- die Exzenterwelle,
- die Wälzlagerungen der Exzenterwelle,
- die Pleuel, über die die Beistellzylinder an der Exzenterwelle angreifen,
- die Wälzlager der Pleuel,
- die Schwungscheibe,
- der hydraulische Antriebsmotor selbst.

Nicht nur während der eigentlichen Verdichtung, sondern auch während der Vorfahrt der Stopfmaschine zur nächsten Schwelle bleiben die Stopfaggregate aktiviert und emittieren durchgehend Lärm, verbrauchen Energie und führen zu Verschleiß. Üblicherweise stimmen Tauchfrequenz und Verdichtfrequenz überein. Die Amplitude der Schwingung ist unveränderlich. Dies hat den Nachteil, dass für das Eintauchen bei unterschiedlichen Schotterverhältnissen keine optimale Wahl der Parameter Frequenz und Amplitude gewählt werden

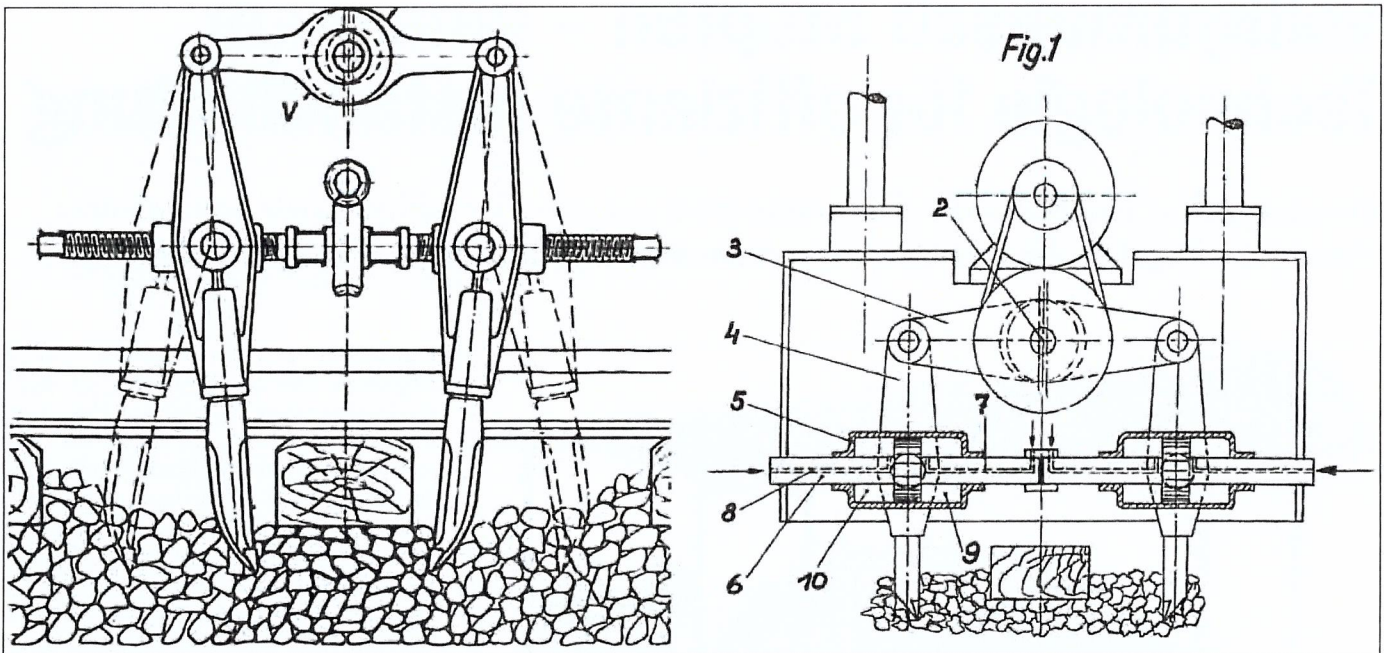


Abb. 2: links: Stopfaggregat System Scheuchzer (1938) [1]; rechts: Stopfaggregat mit hydraulischer Beistellvorrichtung System Plasser (1953) [2]

kann. Der hohe Wartungsaufwand dieser rotierenden Antriebe steht im Gegensatz zum gestiegenen Kostendruck, dem sich die Bahn und die Maschinenbetreiber ausgesetzt sehen.

Abb. 3: Stopfaggregat mit oben längs in Gleisrichtung liegenden hydraulischen Beistellzylindern

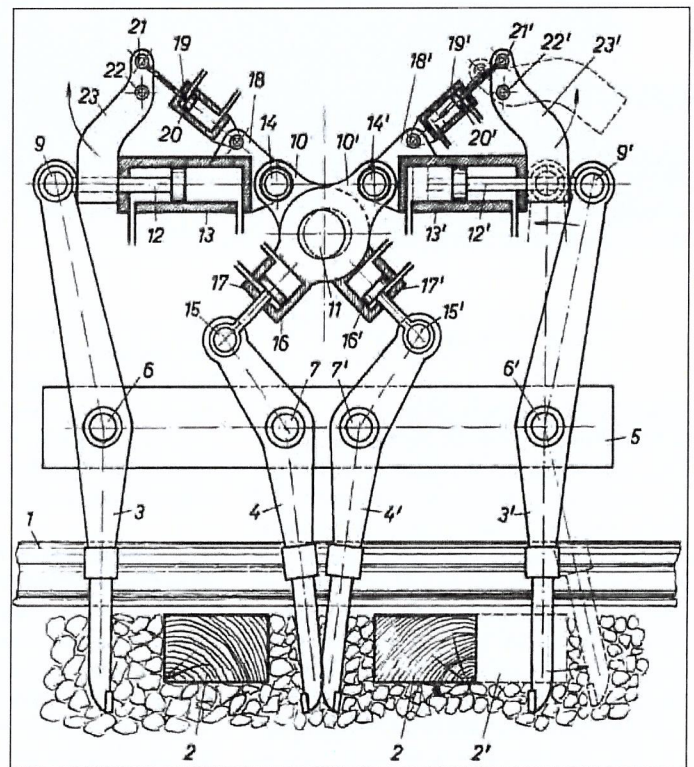
### Der neue vollhydraulische Stopfantrieb

2013 entwickelte die Firma System7 railsupport GmbH einen neuen Stopfantrieb mit dem Ziel, die oben beschriebenen Nachteile der üblichen Stopfantriebe zu vermeiden. Das Design des Stopfantriebes ist so ausgeführt, dass vorhandene konventionelle Ausführungen umgerüstet werden können, wenn beispielsweise eine Überholung ansteht. Dadurch werden Kosten gespart, da der Stopfkasten, sofern er gebrauchstauglich ist, weiter eingesetzt werden kann. Falls der gesamte Stopfkasten zu erneuern ist, steht das von System7 railsupport neu entwickelte und auf der Innotrans 2014 vorgestellte Stopfaggregat zur Verfügung (Abb. 5).

Seit 2014 ist der voll hydraulische Stopfantrieb erfolgreich beim österreichischen Maschinenbetreiber Bahnbau Wels GmbH (100% Mitglied der Rhomberg Sersa Rail Group) im regulären Baueinsatz (Abb. 4). 2015 wurde ein Aggregatsatz einer 08-475 4S Weichenstopfmaschine der DB Bahnbau Gruppe umgerüstet. Weitere Umrüstungen und Einbauten des voll hydraulischen Stopfantriebes und der neuen Stopfaggregate erfolgen 2015.

### Funktionsprinzip und Eigenschaften

Im Gegensatz zu herkömmlichen mechanischen Vibrationsantrieben über Exzenter-



welle erzeugt beim vollhydraulischen Stopfantrieb Vibration und Beistellbewegung ein Regelventil. In jeden Beistellzylinder ist ein berührungsloser Wegsensor integriert. Drucksensoren messen die Hydraulikzylinderdrücke. Aus den gemessenen Drücken wird die Beistellkraft und mittels der Wegsensoren der Beistellweg und die Amplitude geregelt. Dadurch ergeben sich die folgenden Vorteile:

- einstellbare Frequenz,

- einstellbare Vibrationsamplitude,
- einstellbare Öffnungsweite der Stopfwerkzeuge (ohne Stoßklappen),
- vibrierender Betrieb des Stopfaggregates nur beim Eintauchvorgang und beim Verdichten selbst,
- kraftabhängige Verdichtungssteuerung (optimale Verdichtung von Schwelle zu Schwelle),
- keine rotierenden verschleißabhängigen Teile,

- an die Schotterbedingungen angepasste Frequenz und Amplitude zum leichteren und schnelleren kräftereduzierten Eindringen,
- Verringerung des Wartungsaufwandes (Wegfall rotierender verschleißanfälliger Teile und Minimierung der aktiven Betriebszeit),

- große Arbeitslärmverringering.
- Der Umbausatz ist kompatibel zum vorhandenen Originalstopfaggregat. Die Maschinensteuerung bleibt unbeeinflusst, da die Steuersignale nur gelesen werden. Der Antrieb selbst wird über eine eigene mitgelieferte Elektronik gesteuert. Die Bedienung erfolgt durch den Bediener wie gewohnt. Zusätzlich hat der Maschinist die Möglichkeit, die Aggregatöffnungsweite frei einzustellen. Dies bietet in komplexen Weichen erhebliche Vorteile.

Abgestimmt mit dem Betreiber und der Bahnverwaltung kann eine automatische Einstellung des Stopfdruckes und die optimale Verdichtzeit vorgegeben werden. Durch diesen Automatikmodus sind die Einstellungen für eine optimale Verdichtung gewährleistet. Dies steigert Qualität und Arbeitsleistung.

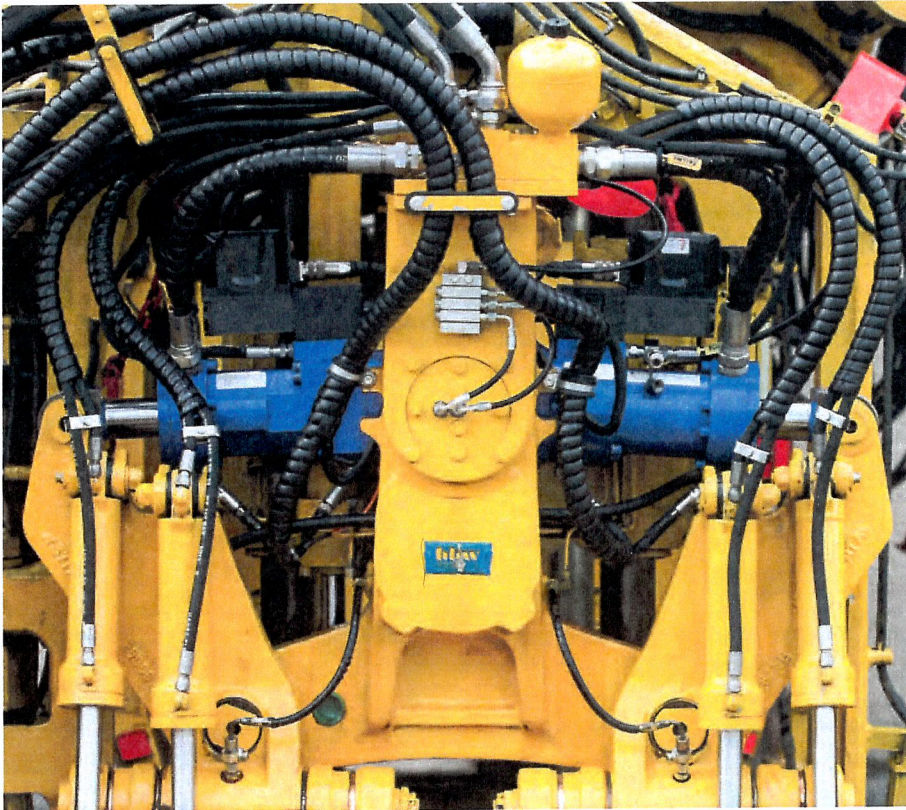
Beim neuen System7-Stopfaggregat können die Pickel um ca. 10 cm höher geschwenkt werden, es entfällt in manchen Weichen die Demontage der Deckel der Weichenantriebskästen, wo sonst die Pickelplatten anschlagen. Die Pickelarme sind symmetrisch ausgeführt, damit verringert sich die Anzahl der vorzuhaltenden Ersatzteile. Bisher anzuschweißende Konsolen sind in die Gussform integriert. Die Beistellzylinder sind mittels zweier Bolzen befestigt. Damit ist der Austausch eines Beistellzylinders auch vor Ort auf der Baustelle durchführbar. Beim Defekt eines klassischen rotierenden Antriebes ist hingegen ein Reparaturwerk aufzusuchen.

Standardmäßig wird der Antrieb mit den bewährten 35 Hz und 4–5 mm Pickelamplituden betrieben. Die Wahl der möglichen vollautomatischen Optimierung der Einstellung der Stopfparameter ist mit der jeweiligen Bahn abzustimmen.

Testeinsätze bei den Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) wiesen eine mindestens gleichwertige Haltbarkeit und Qualität der Gleislage auf. Zum Nachweis wurden gestopfte Weichen messtechnisch – unmittelbar nach der Arbeit und nach entsprechender Betriebsbelastung – begleitet.

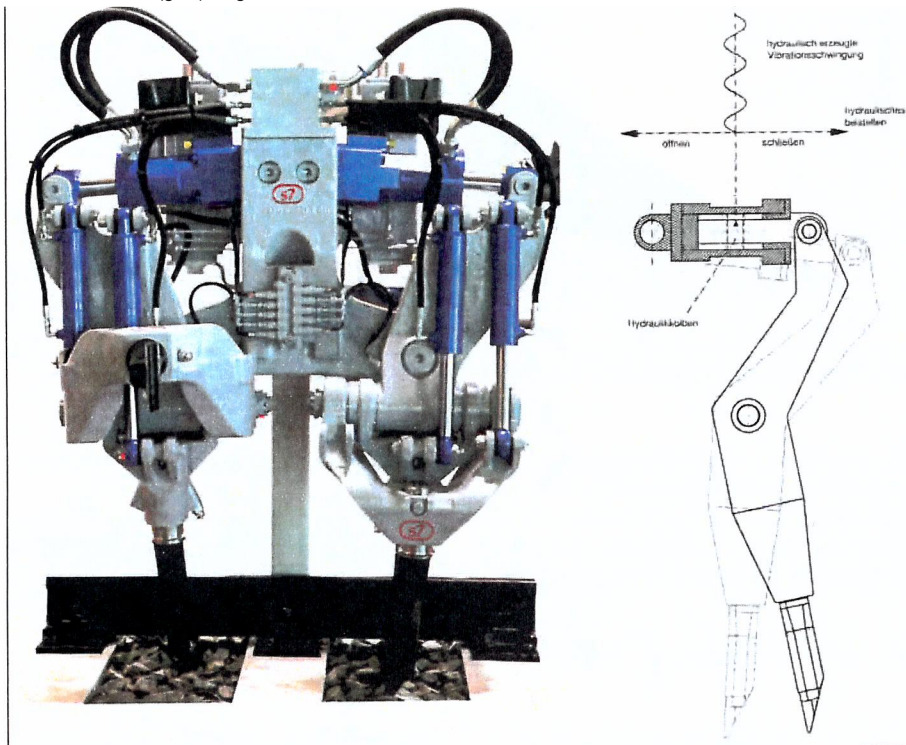
## Betriebserkenntnisse

Während der Betriebseinsätze wurden die Verdichtkräfte und die Beistellwege aufgezeichnet. Es erwies sich, dass die Form der Verdichtkraftverläufe stark von der Schotterbetthärte abhing. Die Kurvenverläufe und ihre Bedeutung werden nachfolgend erläutert. Nach einer Untersuchung der Technischen Universität Graz „verflüssigt“ (elasto-liquides Verhalten) sich der Schotter bei Frequenzen oberhalb von 35 Hz [4]. Diese Eigenschaft gilt nach den vorliegenden Erkenntnissen aber nur für Schotterbettungen, die einem losen Schotterhaufwerk entsprechen. In der untersuchten Praxis zeigt sich, dass „harte“ Schotterbettungen



**Abb. 4:** Voll hydraulischer Stopfantrieb System7 – ohne rotierende Teile, direktes Angreifen der Beistellzylinder an still stehendem Widerlager [3]

Auf dem Foto sehen Sie beispielhaft einen system7 Umbaukit (blau), der in einen Stopfkasten von Plasser & Theurer (gelb) eingebaut ist.



**Abb. 5:** links: Voll hydraulisches System7 railsupport-Stopfaggregat (Innotrans 2014); rechts: Funktionsprinzip des vollhydraulischen Stopfantriebes

viele zusammengebackte Feianteile aufweisen, die sich nicht mehr frei bewegen können. Daher sind für ein verbessertes Eindringen der Stopfwerkzeuge angepasste Einstellungen von Frequenz und Amplitude vorzunehmen.

Die Messkurven (Abb. 6) zeigen oben den gemessenen Verdichtkraftverlauf einer „weichen“ Bettung, wie sie bei Neulagen oder nach Gleisreinigung vorliegen und einer „harten“ Schotterbettung, wie sie nach langem Gebrauch ohne Schotterbettreinigung auftritt. Den Kurven ist, wie zu erwarten, zu entnehmen, dass bei der „weichen“ Schotterbettung nur eine geringe Verdichtkraft von etwa 20 kN erforderlich ist. Bei einer „harten“ Bettung steigen die notwendigen Verdichtkräfte erheblich an (bis 60 kN).

Unterhalb ist der zeitliche Verlauf des Beistellweges zu sehen. Bei der „weichen“ Bettung nimmt der Beistellweg linear und schnell zu. Ein abflachender Verlauf ist nicht zu sehen und der optimale Verdichtgrad kann mit einem Stopfzyklus nicht erreicht werden. Daher wird bei „weichen“ Bettungen üblicherweise Doppelstopfen (zweimaliges Tauchen und Verdichten an der gleichen Schwelle) mit kurzen Verdichtzeiten angewandt. Rechts unten ist der Verdichtvorgang einer „harten“ Bettung zu sehen. Deutlich kann dem Signalverlauf eine Abflachung der Kurve entnommen werden. Der lineare Bereich der Kurve verkürzt sich. Im verflachenden Bereich nimmt der Beistellweg langsam weiter zu. Die Kraft allerdings bleibt konstant.

Was bedeutet dieses Verhalten?

### Die optimale Verdichtung

Die optimale Verdichtung ist nach dem Ende des linearen Beistellweganstieges erreicht – dies ist an der konstant bleibenden Verdichtkraft zu ersehen. Weiteres Beistellen bewirkt keine Erhöhung der Verdichtung. Beistellen nach dem linearen Bereich führt zu einem Schotterfluss in Richtung Vorkopf und verkleinert die verdichtete Auflagefläche. Aus diesem Verhalten wird der optimale Beistellweg automatisch aus den Messkurven abgeleitet. Der optimale Zeitpunkt zum Beenden der Verdichtung ist der Bereich nach dem Abflachen der Beistellkurve. Im obigen Beispiel ist die optimale Verdichtung bereits nach ca. 0,8 Sekunden erreicht.

### Eine Qualitätsziffer für die Schotterbetthärte

Die Abb. 7 zeigt die Beistellkraft, abhängig vom Beistellweg für verschiedene Schotterbetthärten. Mit zunehmender Schotterbetthärte steigt die Beistellkraft und der Beistellweg sinkt. Das Produkt aus Kraft mal Weg entspricht physikalisch der Arbeit. In unserem Fall entsprechen die Flächen also

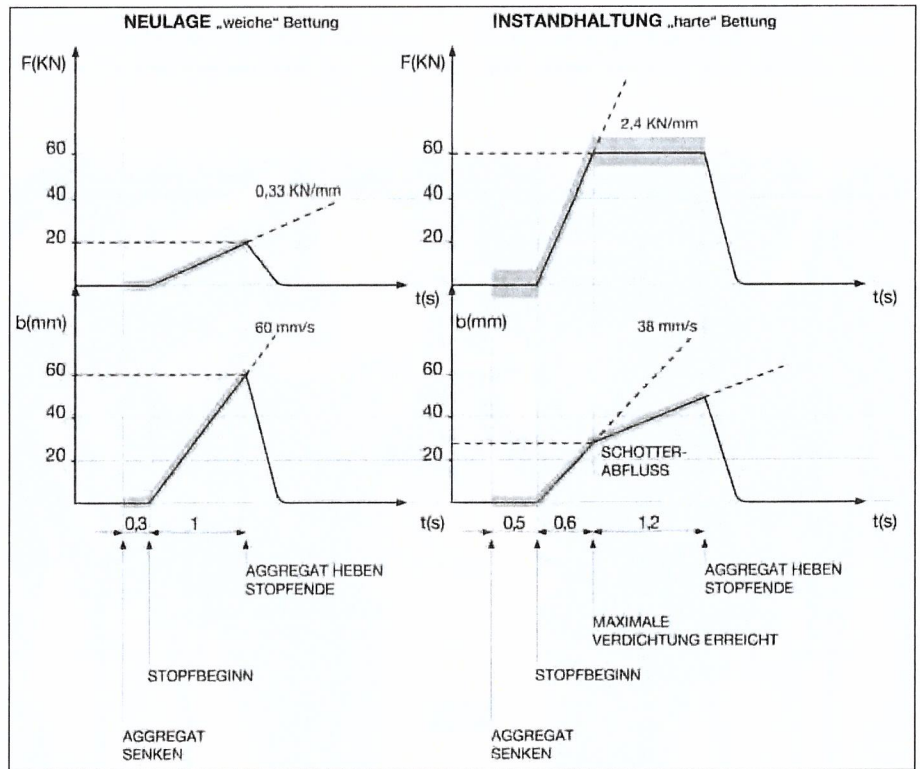


Abb. 6: Schematische Darstellung typischer Messkurven von Stopfungen einer „weichen“ und einer „harten“ Schotterbettung

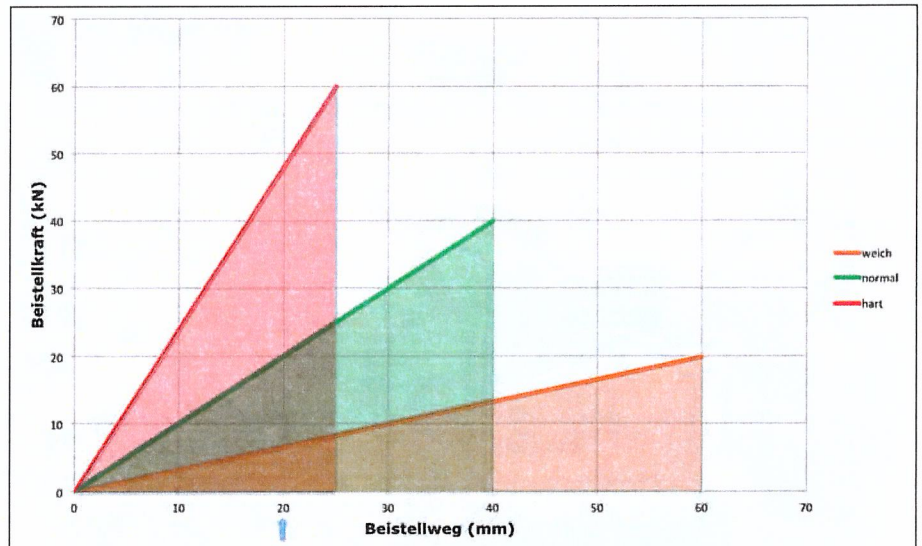


Abb. 7: Beistellkraft abhängig von der Schotterbetthärte und Beistellweg

der zugeführten Verdichtungsenergie. Der Anstieg der Verdichtungsenergie lässt sich dazu benutzen, eine Qualitätsziffer für die Schotterbetthärte zu definieren. Dazu wird die benötigte Verdichtungsenergie auf einen

definierten Beistellweg, z. B. 20 mm bezogen.

Für die Verdichtungsenergie einer Stopfung bei einem Beistellweg von 20 mm ergibt sich:

$$W_N = \int_0^{20} F(s) ds = \int_0^{20} k \cdot s ds = k \cdot \int_0^{20} s ds = k \cdot \frac{s^2}{2} = k \cdot \frac{20^2}{2} = k \cdot 200$$

$W_N$  = Normalisierte Verdichtungsenergie in (Nm)  
 $k$  = Steigung des Beistellkraftverlaufes (N/m)

Mithilfe der normalisierten Verdichtungsenergie wird eine Qualitätsziffer von eins bis zehn für die Schotterbetthärte abgeleitet.

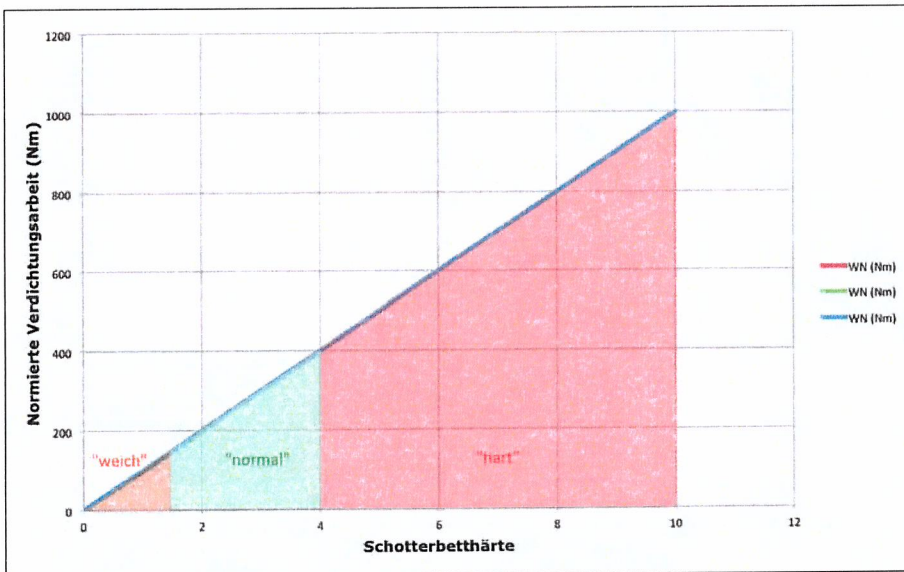


Abb. 8: Normierte Verdichtungsarbeit via Schotterbetthärte

tet (Abb. 8). Aus den Messungen des Verdichtkraftverlaufs kann so automatisch die herrschende Schotterbetthärte angegeben werden. Dies bedeutet, dass

- automatisch die optimale Auswahl für die Senkgeschwindigkeit des Stopfaggregates,
- die optimale Kombination aus Frequenz und Amplitude für ein schnelleres kräfte-reduziertes Tauchen und
- der optimale hydraulische Stopfdruck von der Steuerung eingestellt sowie
- gemessene Qualitätsziffern für die Schotterbetthärte und die erreichte Verdichtung ohne Mehraufwand angegeben werden können.

Die Tab. 1 zeigt die bisher aus Messungen bekannten Zusammenhänge.

## Lärmreduktion

Lärm, der bei notwendigen Bauarbeiten entsteht, stellt eine der großen Herausforderungen für die Bahnen dar. Immer öfter beschweren sich betroffene Anrainer über den meist während der Nachtstunden entstehenden Arbeitslärm vor der Haustüre. Die hohe Geschwindigkeit des Regelkreises und des Regelventils des voll hydraulischen Stopfantriebes erlaubt es, die Vibration des Stopfaggregates schnell und ohne Nachlauf unmittelbar ein- und auszuschalten. Erst beim Senksignal wird die Vibration des Stopfaggregates eingeschaltet. Mit dem Befehl zum Heben des Stopfaggregates nach erfolgter Verdichtung wird die Vibration ausgeschaltet. Während der Vorfahrt der

Maschine und während des Einrichtens der Stopfwerkzeuge und des Hebe-Richtaggregates bleibt das Stopfaggregat in Ruhe und emittiert keinen Lärm.

Für die Berechnung des äquivalenten Dauerschallpegels  $L_{eq}$  gilt die folgende Formel:

$$L_{eq} = 10 \lg \left[ \frac{1}{T_{total}} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{eqi}} \cdot T_i \right]$$

$$T_{total} = \sum_{i=1}^n T_i$$

Typische Werte für die Betriebszeiten und Stillstandszeiten sind:

- Weichenstopfmaschinen – Faktor Stillstand/Stopfzeit: 4,5 s
- durchschnittliche Zykluszeit einer Einschwellen-Weichenstopfmaschine: 7 s
- durchschnittliche Vorfahrts-/Einstellzeit: 5,7 s
- durchschnittliche Stopfzeit: 1,2 s
- angenommener Lärmpegel einer konventionellen Stopfmaschine: 80 dBA

Mit diesen Werten aus der Praxis ergibt sich ein äquivalenter Dauerschallpegel einer mit dem vollhydraulischen Stopfantrieb ausgestatteten Stopfmaschine von 72,6 dBA. Dies entspricht einer Reduktion des äquivalenten Dauerschallpegels von 7,4 dBA.

## LITERATUR

- [1] Geleise-Maschine System „Scheuchzer“; Schweizerische Bauzeitung Bd. 111, Heft Nr. 18, S. 234–235, 1938
- [2] Plasser, F.; Theurer, J.: Einrichtung bei Gleisstopfmaschinen, Österreichisches Patentamt, Patentschrift Nr. 184935, Kl. 19a 40, 30. November 1953
- [3] Plasser, F.; Theurer, J.: Maschine zum Unterstopfen eines Gleises, Österreichisches Patentamt, Patentschrift Nr. 294895, Kl. 19a 40, Int. Cl. E 01 b 27/16, 24. Juni 1965
- [4] Lichtberger, B.: Handbuch Gleis, 3. Neuauflage, DVV Media Group GmbH/Eurailpress, Hamburg, 2010
- [5] Fischer, J.: Einfluss von Frequenz und Amplitude auf die Stabilisierung von Oberbauschotter, Dissertation, Technische Universität Graz, Juni 1983



Univ.-Doz. Dr. Bernhard Lichtberger

Geschäftsführender Gesellschafter  
System7 railsupport GmbH, A-Linz  
bernhard.lichtberger@  
s7-railsupport.com

Bettungshärte	Beistellweg (mm)	Beistellgeschwindigkeit (mm/s)	Stopfkraft (kN)	Kraftanstiegsrate (kN/mm)
„weich“	60-70	50-60	10-20	0,14-0,35
„normal“	30-60	40-50	20-50	0,35-1,7
„hart“	20-30	35-40	50-60	1,7-3

Tab. 1: Übersicht über die Zusammenhänge verschiedener Stopfparameter

## Zusammenfassung

### Vollhydraulisch Stopfen – eine neue Technologie für effiziente Instandhaltung

Der Artikel beschreibt den neu entwickelten vollhydraulischen Stopfantrieb der Fa. System7 railsupport GmbH, welcher die Instandhaltungskosten von Stopfmaschinen reduziert. Der Antrieb vermindert die Arbeitslärmemission von Einschwellen-Weichenstopfmaschinen um mehr als 7 dBA. Das System erlaubt die automatische Steuerung der Parameter Stopfzeit, Stopfdruck und Senkgeschwindigkeit des Stopfaggregates und somit eine optimale Verdichtung von Schwelle zu Schwelle. Zusätzlich wird die Arbeitsgeschwindigkeit erhöht. Erstmals sind der Nachweis der tatsächlich erreichten Verdichtung des Schotters sowie die Angabe einer Qualitätsziffer für die Schotterbetthärte möglich.

## Summary

### Fully hydraulic tamping – a new technology for an efficient maintenance

The article describes the newly developed fully hydraulic tamping drive of the company system7 rail support GmbH that lowers the maintenance cost of tamping machines. The drive reduces the working noise emissions of single-sleeper turnout tamping machines by more than 7 dBA. The system allows for automatic control of the parameters tamping time, tamping pressure and lowering speed of the tamping aggregate and thus ensures an optimised compaction from sleeper to sleeper. Furthermore, the working speed is increased. For the first time the effectively achieved compaction of the ballast can be proved and a quality figure for the ballast bed hardness can be given.

