TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ Institut für Bahnsystem und Öffentlichen Verkehr Professur für Gestaltung von Bahnanlagen

DIPLOMARBEIT

Vergleich von räumlicher und lokaler Stopftechnologie



Bearbeitung:
cand.-Ing. Natalja Pfaff

Betreuung:
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Fengler
Dr.-Ing. Ulf Gerber

1.Aufgabenstellung

Im Bereich der Deutschen Bahn erfolgt das Schotterstopfen ausschließlich auf der Grundlage von Stopfpickeln (Stopfpickelverfahren). Das Stopfpickelverfahren arbeitet lokal. Im Bereich der GUS- Eisenbahnen wird neben dem Stopfpickelverfahren ein Stopfkeilverfahren angewendet, welches global arbeitet.

Im deutschen Sprachraum ist die Stopfkeilmethode kaum bekannt. Ziel der Diplomarbeit ist der systematische Vergleich beider Technologien in technischer wie ökonomischer Hinsicht.

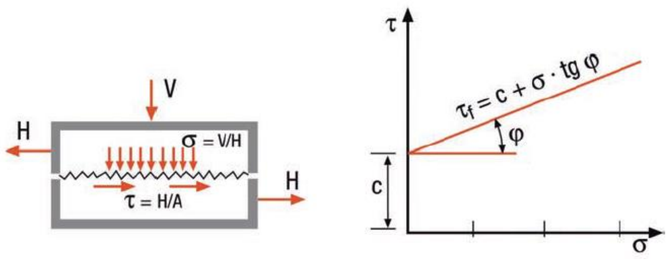
Unter der Einwirkung der Verkehrslasten auf das Gleis ist das Schotterbett am größten beansprucht. Dabei treten im Schotterbett die elastischen und plastischen Verformungen auf. Diese werden im Laufe der Zeit akkumuliert und verursachen die Inhomogenität und Setzungen der Schotterbettung und folglich des Gleisrostes. Die dadurch entstehenden unzulässigen Gleisfehler werden mittels Instandhaltungsmaßnahmen, wie z.B. das Gleisstopfen mit erforderlichen Stopfintervallen beseitigt.

Die mangelnde Verdichtung des Schotters verursacht die ungleichmäßigen Gleissetzungen und somit die Zeitverkürzung zwischen den Stopfinterwale mit entsprechend zunehmenden Instandsetzungskosten.

2. Tragfähigkeit des Schotters

- **Scherfestigkeit**

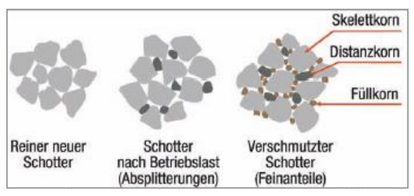
Der Schotter, im mechanischen Sinne ist ein Lockergestein. Das Versagen des Schotters ist mit einer Bewegung der Körner zueinander identisch. Die Tragfähigkeit des Schotterbettes kann man auf der Grundlage der Scherfestigkeit beschreiben.



$$\tau_f = c + \sigma_{eff} \times tan\varphi, \qquad bzw\left(\frac{\tau_f}{\sigma}\right) = \frac{c}{\sigma_{eff}} + tan\varphi$$

- **Schotterbett**

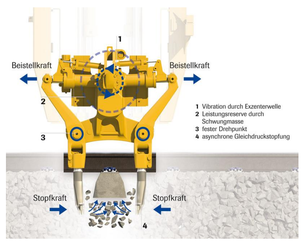
Das Schotterbett besteht aus dem Skelettkorn, anteilig je nach Betriebsdauer und Oberbauverhältnisse aus dem Distanzkorn und dem Füllkorn.



3.Beschreibung des Stopfpickel- und Stopfkeilverfahrens

- **Stopfpickelverfahren in technologiescher und kinematischer Form**

Die Arbeitsaggregate bei dem Stopfpickelverfahren sind die Stopfpickel, die mittels gerichteten horizontalen Schwingungen und druckgesteuerten Beistellkraft auf den Schotter einwirken.

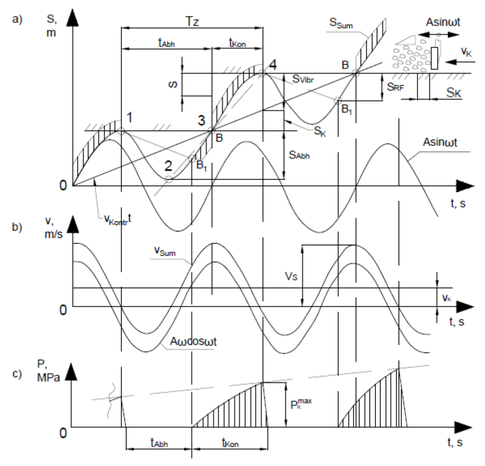


Frequenz f= 35 Hz
Pickelamplitude A_0= 3- 5 mm
Stopfdruck p= 115- 125 bar
Beistellzeit t= 0,8- 1,2 s
Stopftiefe h= 15- 20 mm

Bei diesem Verfahren tauchen die Stopfpickel von oben in das Schotterbett ein und verdichten den Schotter mit einer Schließbewegung zur Schwellen hin im Bereich unter dem Schienenauflager.
Bei dieser Technologie werden sukzessiv die folgenden Zyklen ausgeführt:

- ✓ Eintauchen der Stopfpickel,
- ✓ Kontraktion des Schotters durch die Einwirkung von Beistellkraft in die Schwellenrichtung,
- ✓ Öffnung der Stopfpickel,
- ✓ Anheben der Stopfpickel und die Vorfahrt zur anderen Schwelle oder Schwellengruppe.

- **Interaktion der Stopfpickel mit dem Schotter**

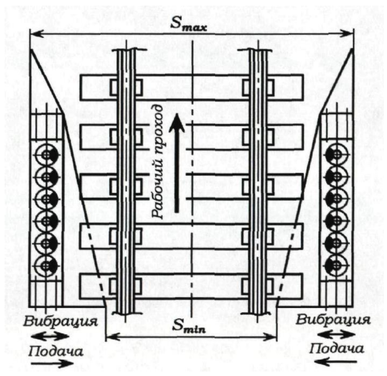


Die Interaktionsparameter werden mit folgenden Gleichungen bestimmt:

- Stopfdruck des Schotters: $S = v_K \times T = 2\pi v_K/\omega$;
- Verschiebung des Schotters: $S_{Abr} = 2Asin\alpha_0 - 2\pi v_K/\omega$;
- Stoßgeschwindigkeit: $v_S = A\omega\cos(\omega t_{B1}) + v_K$;
- Abrückenzeit: $t_{Abr} + t_{Kon} = T; \qquad t_{Abr} = t_{B1} - t_1.$

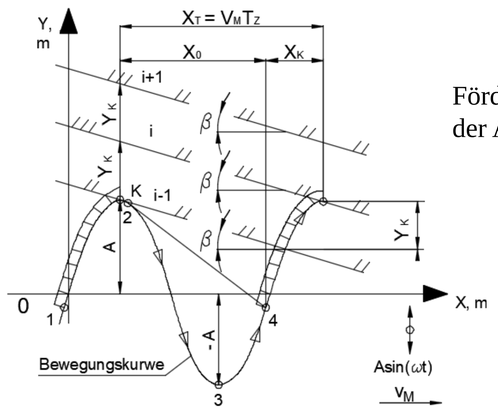
- **Stopfkeilverfahren in technologiescher und kinematischer Form**

Die Vibrationsplatten verdichten den Schotter unter den Schwellen von Seite der Schwellenflanken mittels der Einwirkung der horizontalen Schwingungen und gerichteten Beistellkraft zur Gleisachse hin. Dabei leistet die Vibrationsplatte im Arbeitszustand die Bewegungen in zwei Richtungen: entlang der Gleisachse mit der Geschwindigkeit der Stopfmaschine und die Schwingungsbewegungen in Querrichtung.



Körperlänge: ca. 2,7 m;
Absenktiefe: ca. von 15- 50 cm;
Anragung unter der Schwelle: ca. von 15 bis 17,5 mm

- **Interaktion der Stopfplatte mit dem Schotter**



Fördergeschwindigkeit der Arbeitsfläche:

$$V_K = V_M \times tg\beta$$

Versatz des Schotters infolge des Stopfdruckes für eine Schwingungsperiode: $Y_K = V_M \times T_Z \times tg\beta$

4. Gegenüberstellung des Stopfpickel- und Stopfkeilverfahrens

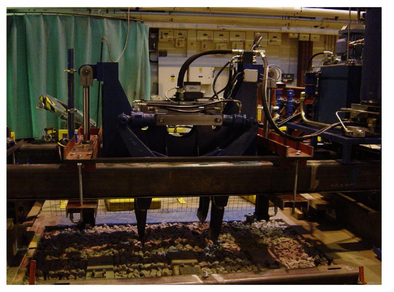
- **Intensität und Verteilung der Verdichtung unter Berücksichtigung der Lockerung**

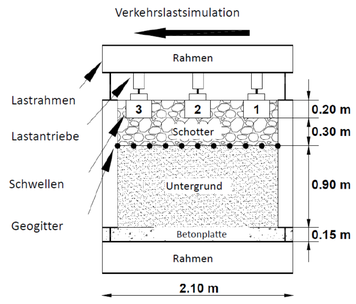
Die Verdichtung des Schotters wird lokal im Bereich des Eingriffs der Stopfpickel nachgewiesen. Dabei bleiben der Schwellenenden- und Gleismittenbereich unverdichtet. Infolge des Entnehmens der Stopfpickel wird der Schotter teilweise im Arbeitsbereich gelockert.

Bei der Verdichtung des Schotters mittels der Vibrationsplatten wird der Unterschwellenbereich infolge der kontinuierlichen Arbeitsweise global umfasst. Die Vibrationsplatten werden von Seiten der Schwellenflanken auf einer Tiefe von ca. 15- 20 cm positioniert, rage dabei seitlich unter den Schwellen von ca. 15 cm an leisten. Somit wird der erforderliche Verdichtungsgrad im Schienenauflagerbereich gewährleistet.

- **Intensität und Verteilung der Schotterzerstörung infolge der dynamisch arbeitenden Arbeitsorgane**

Railway Test Facility (RTF- Test):





RTF- Test liefert ab: die Verkehrsbeanspruchung und Stopfdruck der Pickel haben einen ähnlichen Charakter der Körnerbeschädigung. Dabei ist der Abriebanteil deutlich geringer als bei der Schotterbeanspruchung infolge des Eintauchens der Pickel im Schotterbett. Die Konzentration der gebrochenen Körnerteile ist in der Stopfzone immer größer als bei der Verkehrsbelastung.



a) Eintauchen der Stopfpickel b) Stopfen und Verkehrslast

Die Änderung des Erwartungswertes infolge der Spannungsdifferenz nach der Durchführung der bestimmten Anzahl der Belastungszyklen:

$$\mu = \frac{\mu_\infty \cdot (\sigma_E/\sigma_B)^\xi}{1+(\sigma_E/\sigma_B)^\xi} = \frac{17{,}5*(0{,}135/11{,}5)^{0{,}39}}{(1+(0{,}135/11{,}5)^{0{,}39})} = 2{,}6\ mm$$

Der ermittelte Wert für den Stopfdruck der Stopfkeiltechnologie entspricht 15 % der Schotterzerstörung, die bei dem Stopfdruck der Stopfpickeltechnologie (11,5 MPa) besteht.

- **Produktivität der Verdichtung infolge der Stopfpickel- und Stopfkeiltechnologie**

Stopfmaschine	09-3x/09-4x Dymamic	09-32+Pflug+ Stabilisator	WPO -3-3000	WPO-3-3000C
Heben und Richten	Automatisch Standart-abweichung <±1 mm	Automatisch Standart-abweichung <±1 mm	Automatisch Standart-abweichung <±10 mm	Automatisch Standart-abweichung <±2 mm
Stabilisieren	DGS-Aggregat in Maschine integriert volle Stabilisierung	Dynamische Gleis-stabilisator volle Stabilisierung	Dynamische Gleis-stabilisator volle Stabilisierung	DGS-Aggregat in Maschine integriert volle Stabilisierung
Durcharbeitungs-intervalle	4-5 Jahre	5. Jahre	4-5 Jahre	4-5 Jahre
Durchschnittliche Arbeitsleistung [m/h]	>2000 m/h (09-3x) >2400 m/h (09-4x)	>1500 m/h	1600 m/h	2000 m/h
Hebung pro Durchgang	Max 5 cm	Max 5 cm	Max 6 sm	Max 10 sm
Weichenarbeit möglich	ja	nein	nein	nein
Anzahl der Feinbestandteile unter den Schienenauflagern	1,6- 3,9 kg je Schwelle	1,6-3,9 kg je Schwelle	0,6 kg	0,6 kg
Strecken-neigung	Vornehmlich für Schnellfahr-strecken	Vornehmlich für Hauptstrecken	Vornehmlich für Hauptstrecken	Vornehmlich für Schnellfahr-strecken
Fläche des Arbeitsorgans, m2	0,01	0,01	0,35	0,35
Stopfdruck, MPa	11.5- 12.5	11.5- 12.5	0.135	0.135