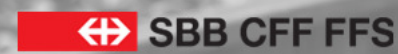




Plasser & Theurer

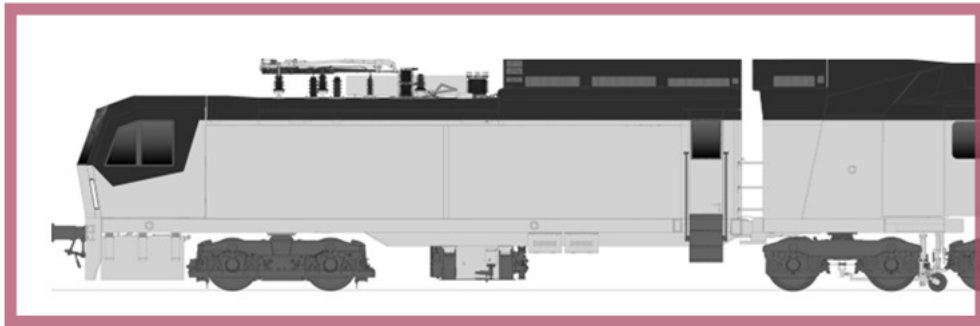


Stopfmaschinen als Datenquelle für einen nachhaltigeren Fahrwegzustand

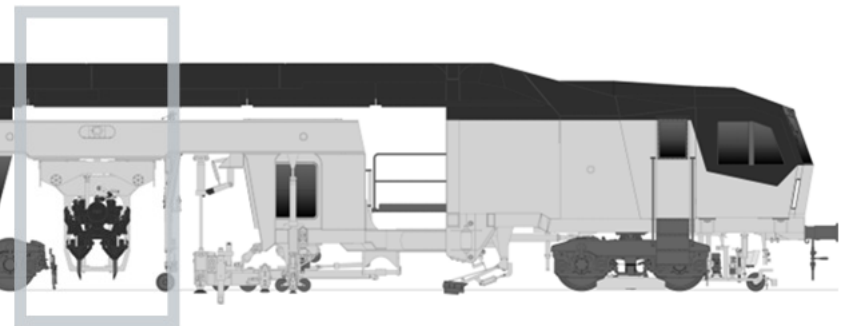
Stefan Offenbacher (TU Graz) & Robert Reschke (SBB)

„Stopfmaschinen als Datenquelle...” – welche Daten?

Abnahmemessung („DRP-Schrieb“)



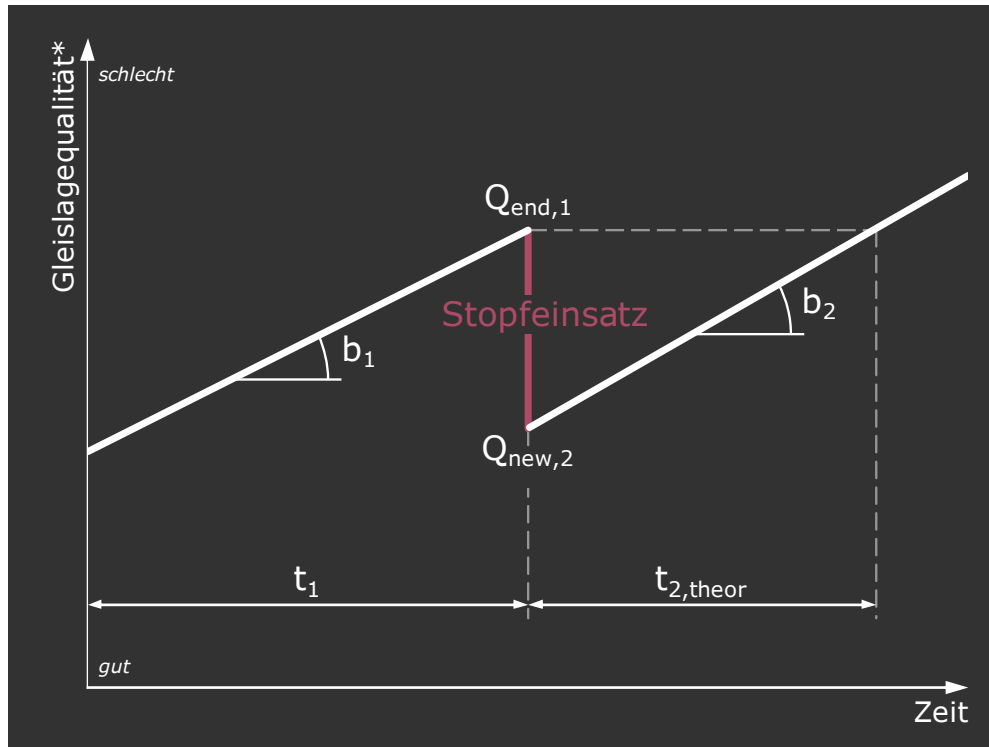
Stopf-Sensorik



Auswirkungen genereller Stopfparameter
(z.B. Hebung) auf die Gleislagequalität

Erfassung des Schotterzustands
(Beschreibung der erfolgten
Verfüllung + Verdichtung und deren
Auswirkung auf die Gleislagequalität)

Die Auswirkung eines Stopfprozesses



* Standardabweichung der Längshöhe D1 (3–25 m),
Einflusslänge = 25 m

Relative Fehlerreduktion

$$\Delta Q_{s-t} = \frac{Q_{end,1} - Q_{new,2}}{Q_{end,1}} \quad \text{short-term quality change}$$

Änderung der Verschlechterungsrate

$$\Delta Q_{l-t} = \left(\frac{b_2}{b_1} \right)^{-1} \quad \text{long-term quality change}$$

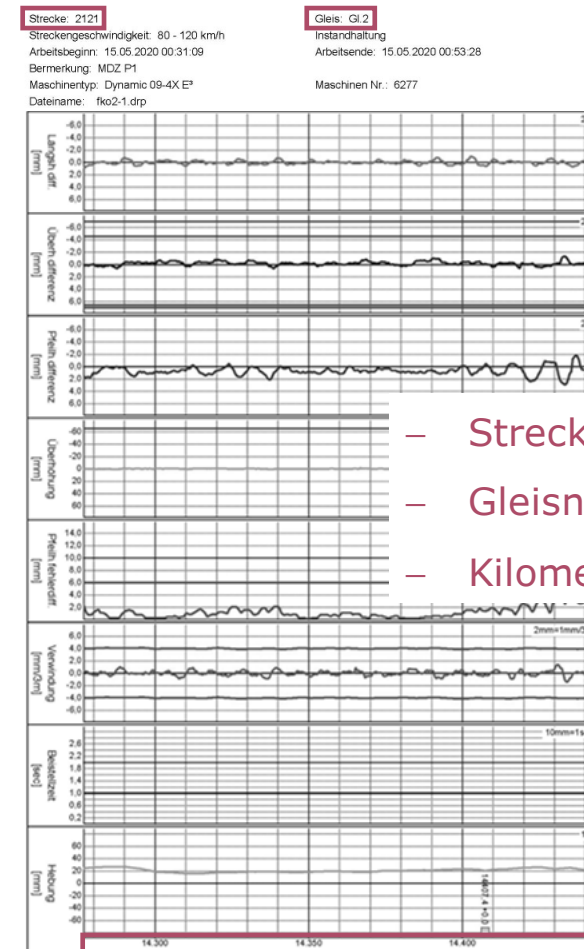
Gesamteffekt der Stopfung

$$\Delta Q_{oa} = \frac{t_{2,theor}}{t_1} \quad \text{overall quality change}$$

Ausgangspunkt für die Analysen: DRP-Schriebe der 4X

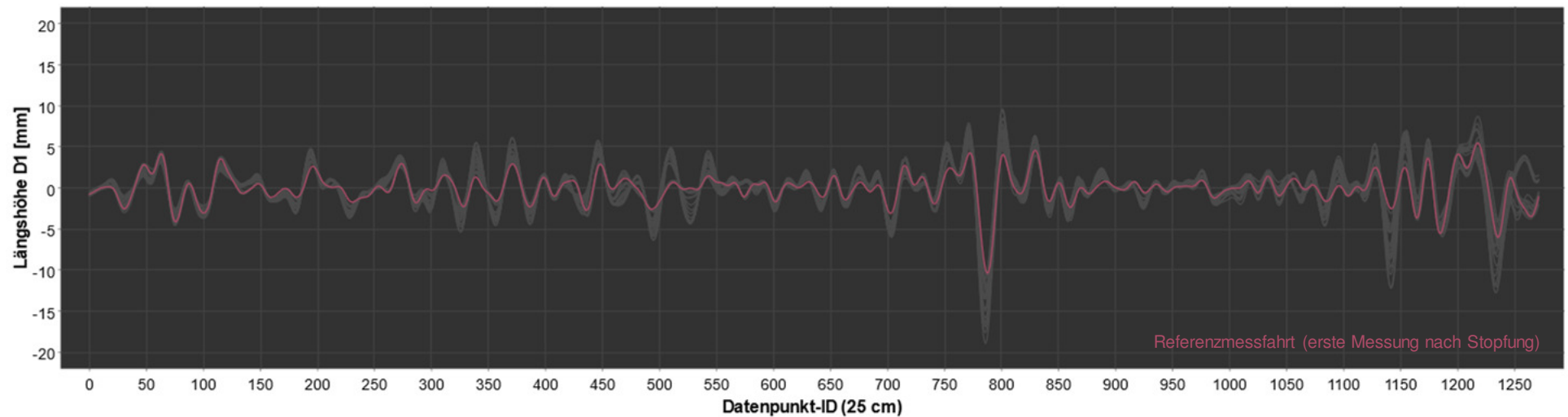
Aufzeichnungen von mehreren Hundert Stopfeinsätzen im Netz der ÖBB aus den Jahren 2015–2021.

Dynamic Stopfexpress 09–4X E³



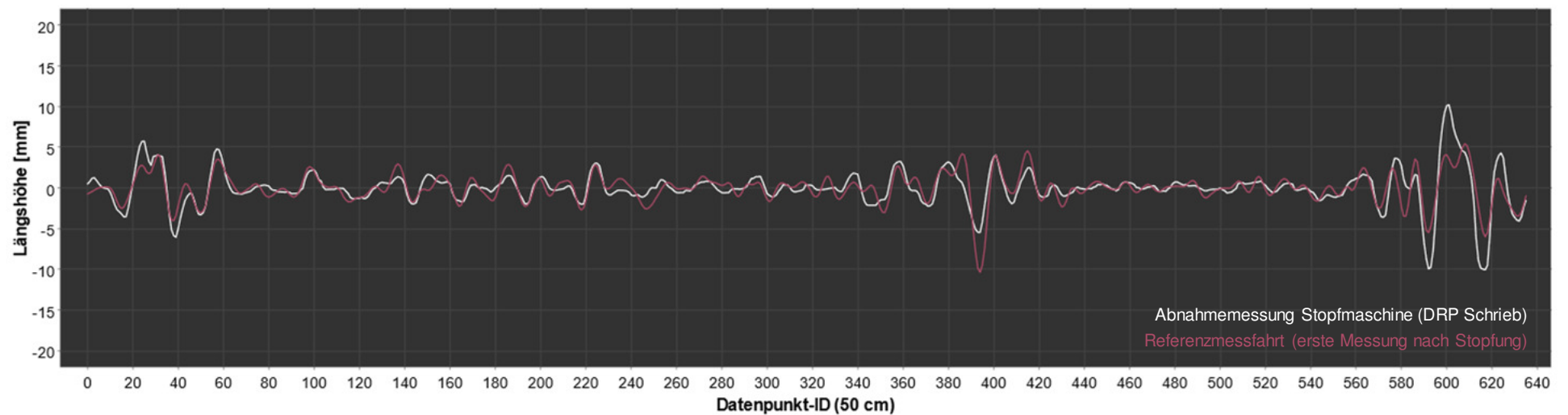
Festlegung einer „Referenzmessfahrt“

(Stopfabschnitt + 100 m vor und nach Stopfbeginn bzw. Stopfende)



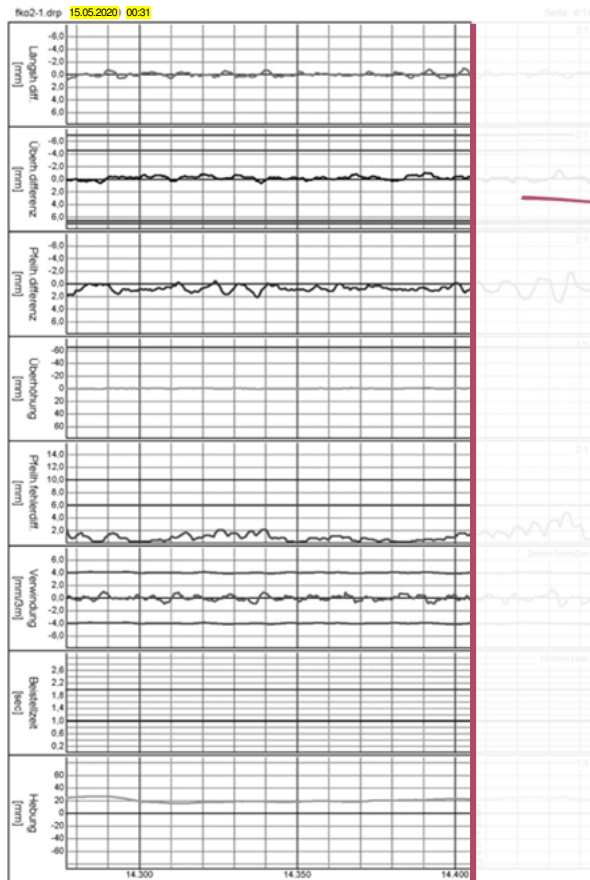
Die Kilometrierung der Referenzmessfahrt (erste Fahrt des Messwagens nach Stopfeinsatz) dient als Anhaltspunkt für die Verknüpfung von Gleislage- und Stopfmaschinendaten.

Stationierung von Gleislage- und Stopfmaschinendaten



Durch Stationierung der Abnahmemessung der Stopfmaschine mit der nachfolgenden Messfahrt des Oberbaumesswagens können Stopfdaten präzise mit Oberbaumessdaten verknüpft werden.

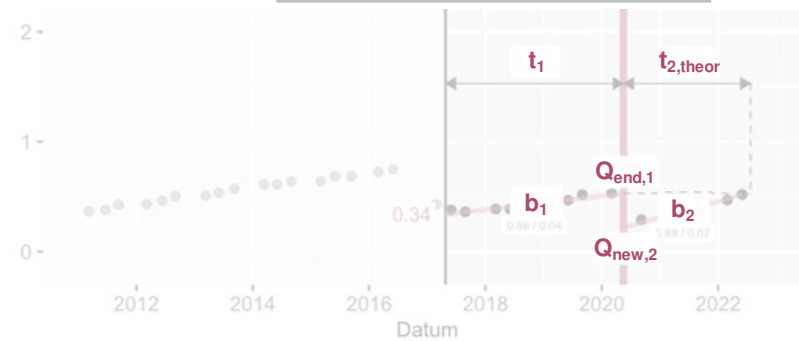
Nach erfolgreicher Datenverknüpfung: Stopfdaten + Gleislageverhalten



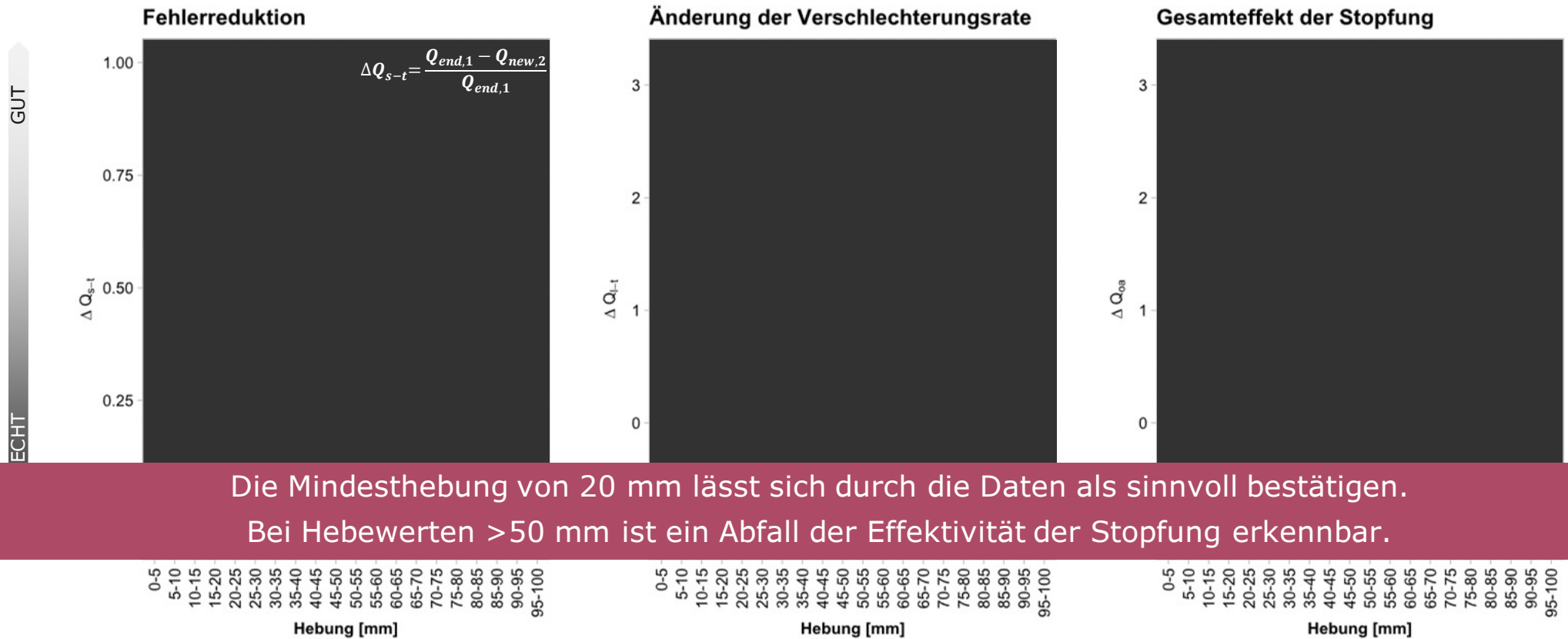
$$\Delta Q_{s-t} = \frac{Q_{end,1} - Q_{new,2}}{Q_{end,1}}$$

$$\Delta Q_{l-t} = \left(\frac{b_2}{b_1} \right)^{-1}$$

$$\Delta Q_{oa} = \frac{t_{2,theor}}{t_1}$$



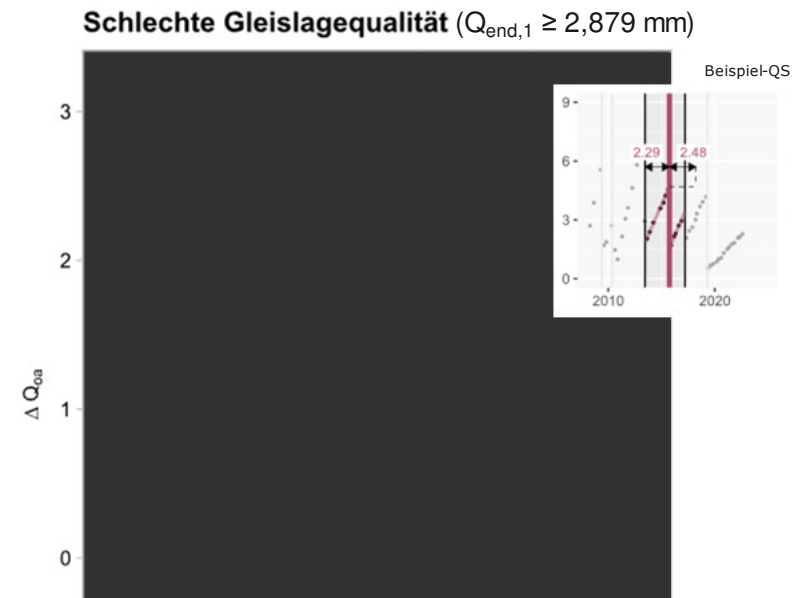
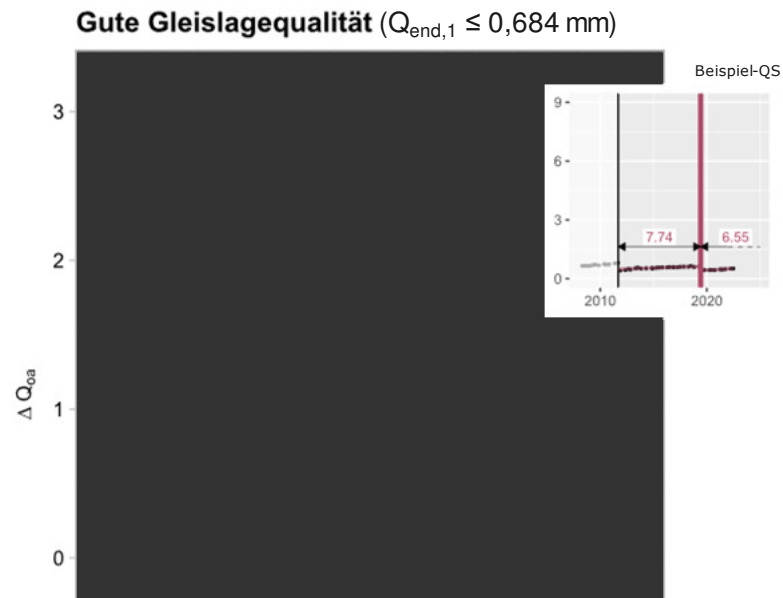
Wie beeinflusst die Hebung die Gleislagequalität?



keine Neulagenstopfungen; keine Qualitätsstopfung; keine Start- und Endrampen; mind. 200 QS (0,5 m); mind. 20 Stopfeinsätze

Einfluss der Hebung bei guter / schlechter Gleislagequalität

Beste und schlechteste 10% der analysierten Querschnitte bezogen auf die Eingriffsschwelle $Q_{end,1}$.



Bei guter Gleislagequalität sinkt die Wirksamkeit der Stopfung mit steigenden Hebewerten.

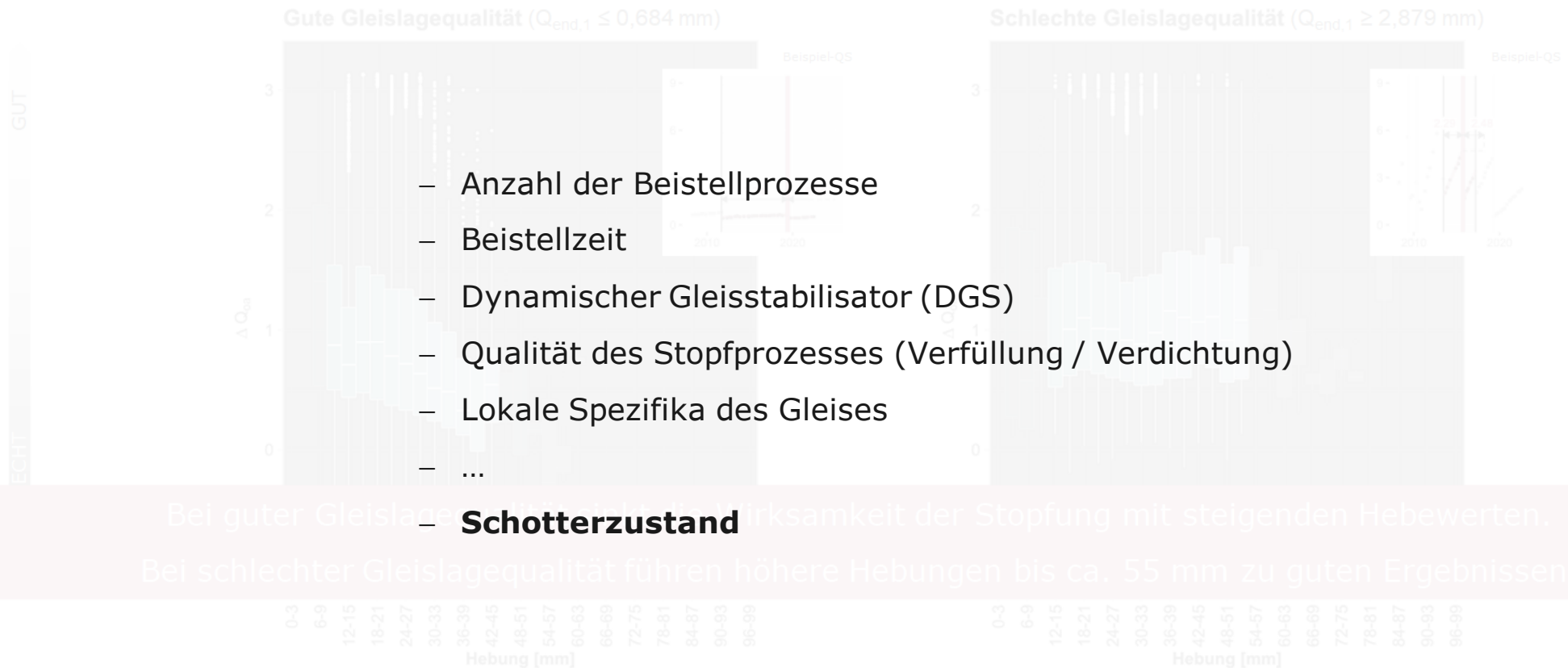
Bei schlechter Gleislagequalität führen höhere Hebungen (*Daten bis ca. 55 mm zuverlässig*) zu guten Ergebnissen.

0-3 6-9 12-15 18-21 24-27 30-33 36-39 42-45 48-51 54-57 60-63 66-69 72-75 78-81 84-87 90-93 96-99
Hebung [mm]

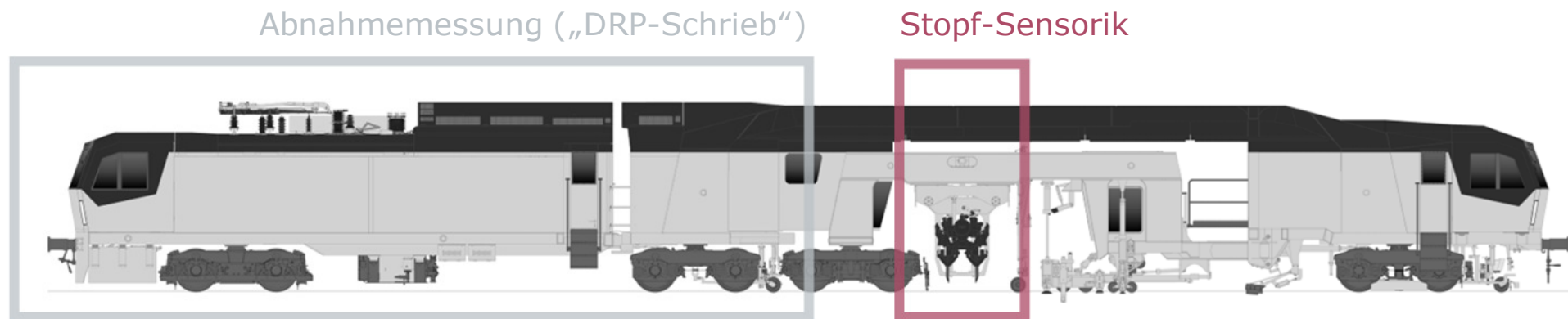
0-3 6-9 12-15 18-21 24-27 30-33 36-39 42-45 48-51 54-57 60-63 66-69 72-75 78-81 84-87 90-93 96-99
Hebung [mm]

keine Neulagenstopfungen; keine Qualitätsstopfung; keine Start- und Endrampen; mind. 200 QS (0,5 m); mind. 20 Stopfeinsätze

Woher kommt die Streuung der Daten?



„Stopfmaschinen als Datenquelle...” – welche Daten?



Abnahmemessung („DRP-Schrieb“)

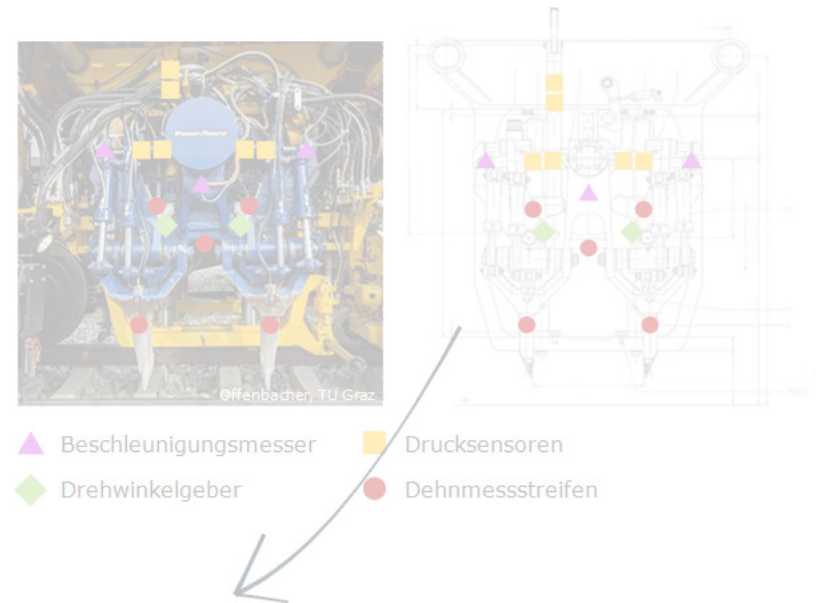
Stopf-Sensorik

Auswirkungen genereller Stopfparameter
(z.B. Hebung) auf die Gleislagequalität

Erfassung des Schotterzustands

(Beschreibung der erfolgten
Verfüllung + Verdichtung und deren
Auswirkung auf die Gleislagequalität)

„Versuchsstopfmaschine“ Unimat 09–4x4/4S E³



Ballast Coefficient:

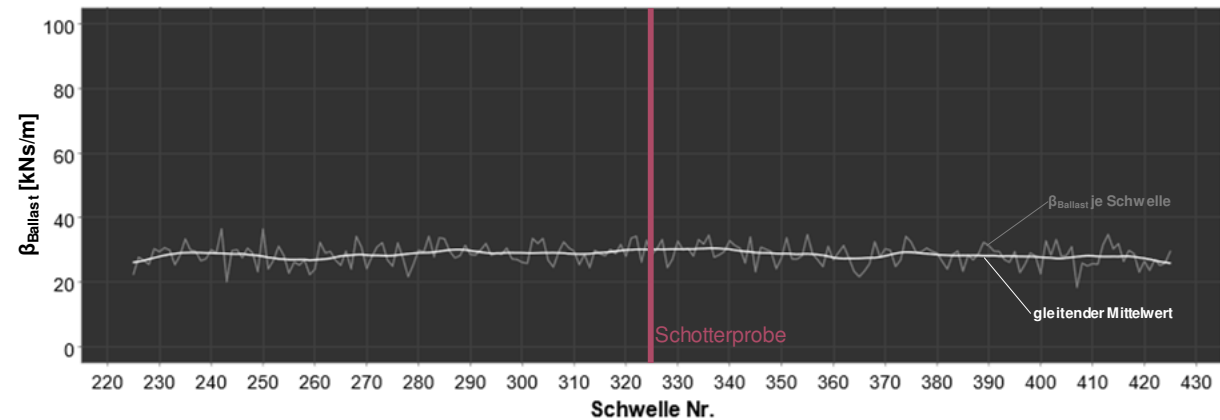
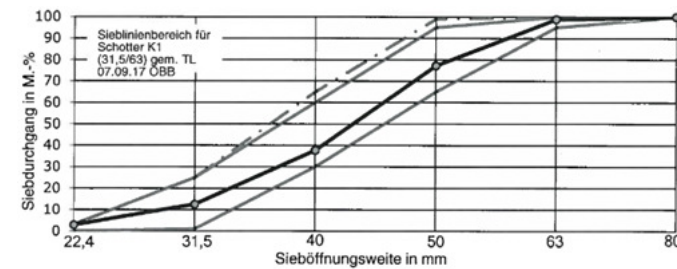
$$\beta_{Ballast} [kNs/m] = \frac{F_{max} [kN]}{v_{max} [m/s]}$$

F_{max} = maximale Eindringkraft

v_{max} = maximale Eindringgeschwindigkeit

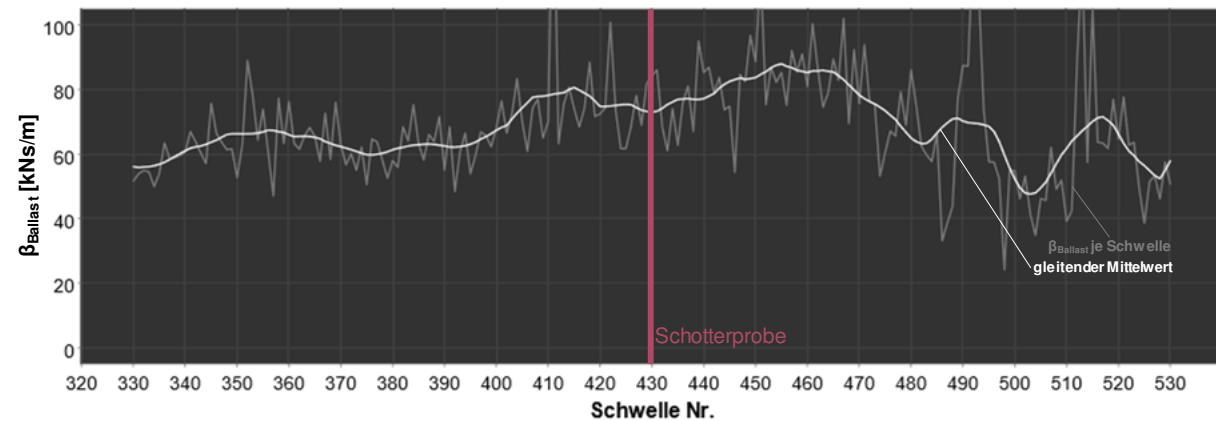
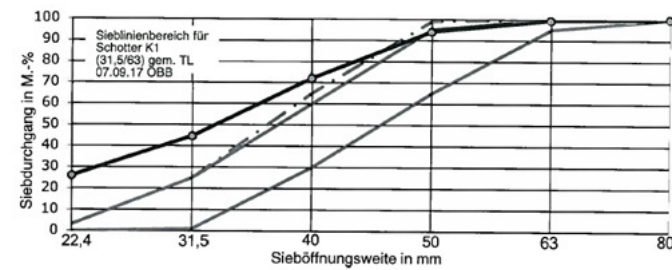
Validierung der Messparameter durch Schotterproben

1 Jahr altes Gleis, Belastung ~ 20.000 to/Tag, besohlte Betonschwellen



Validierung der Messparameter durch Schotterproben

38 Jahre altes Gleis, Belastung ~ 55.000 to/Tag, Holzschwellen



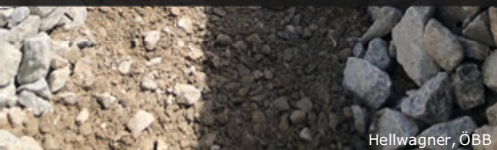
Validierung der Messparameter durch Schotterproben

Boxplots: Daten von 50 Schwellen (25 vor und nach dem beprobten Schwellenfach).



Der generelle Schotterzustand kann von der Stopfmaschine während des Eindringvorgangs in das Schotterbett erfasst werden und liegt damit frühzeitig vor.

Für detaillierte Aufschlüsse über Sieblinie, Feuchtegehalt, Gesteinsart, Schotterbettstärke, etc., sind Schotterbeprobungen auch in Zukunft unabdingbar.



Stopfeinsatz Solothurn, Schweiz (SBB)



Oberbau:

Holzschwellen (2001)

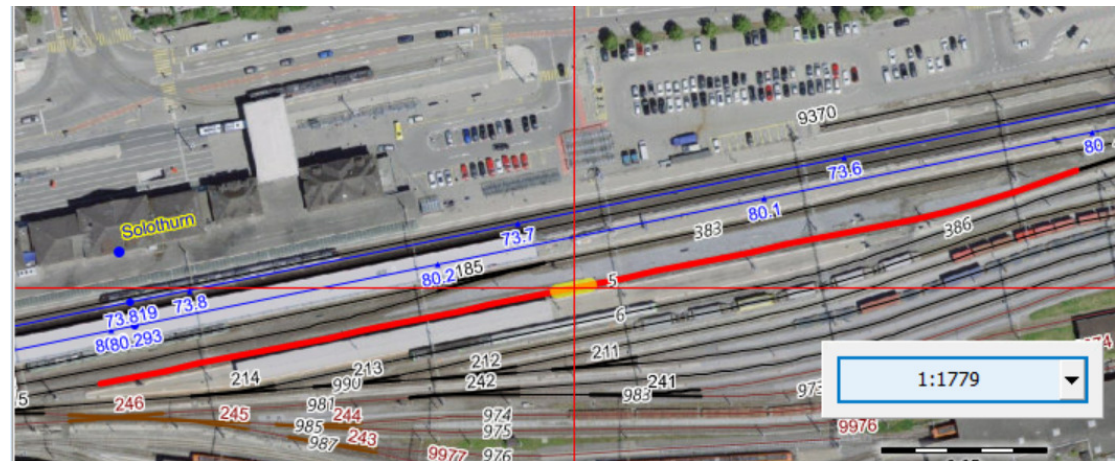
Schotterbettdicke 21-35 cm
(Schotterklasse 1)

Belastung:

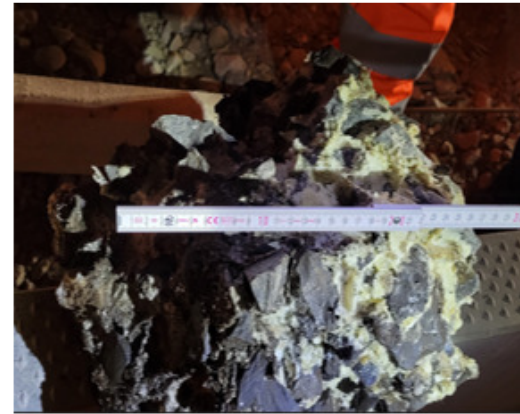
4.000 GBRT/Tag
(ca. 26 Züge/Tag)

Geschwindigkeiten:

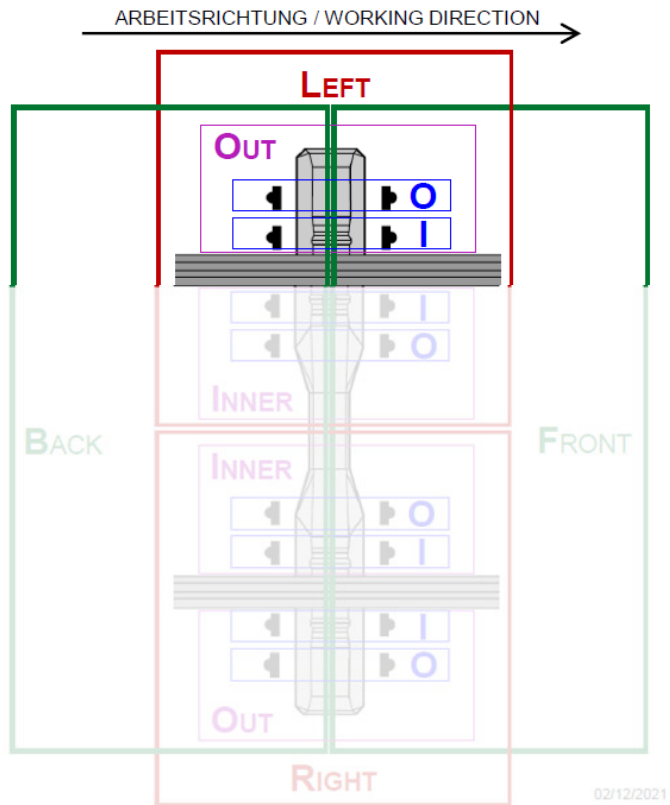
VMAX: 40 km/h



Stopfeinsatz Solothurn, Schweiz (SBB)

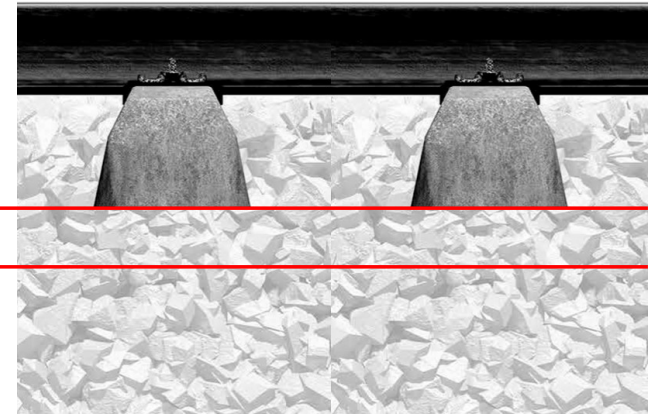


Stopfeinsatz Solothurn, Schweiz (SBB)

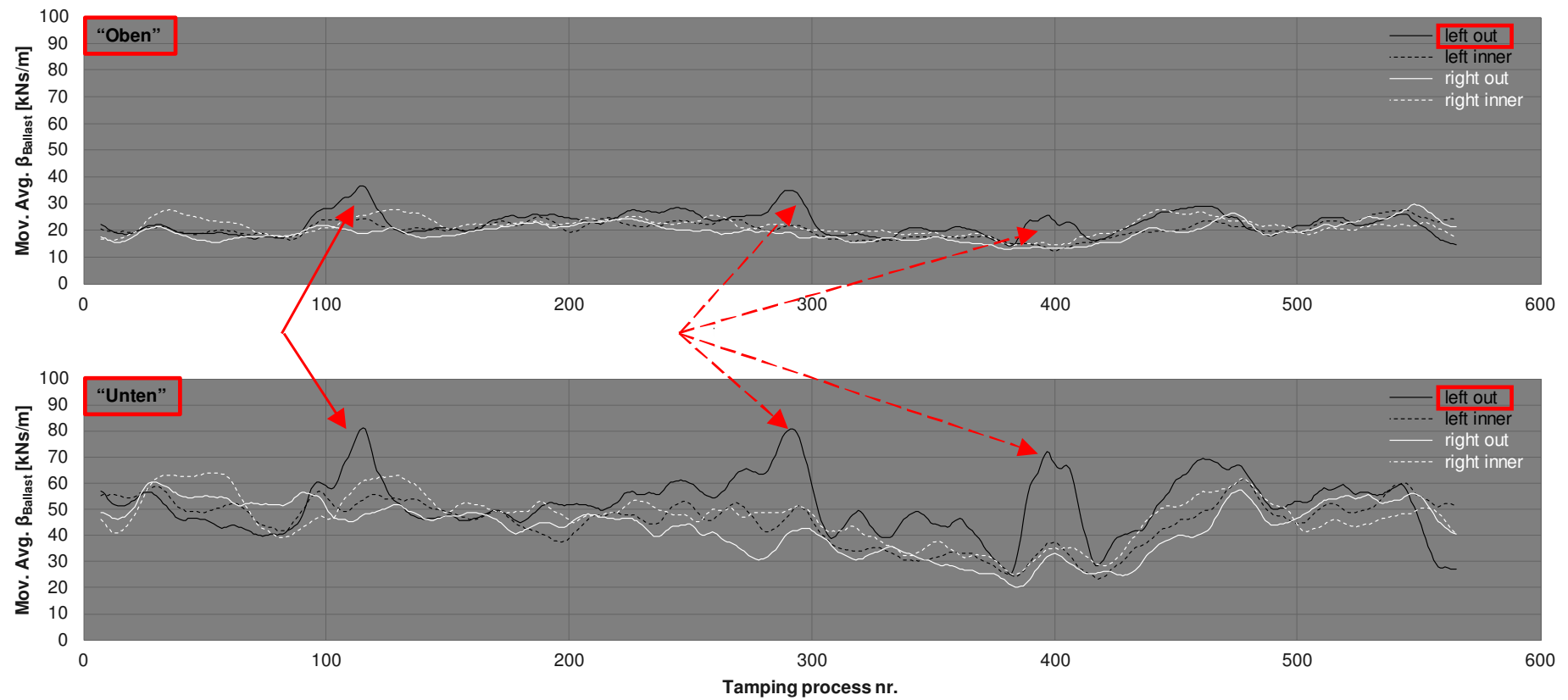


„Oben“

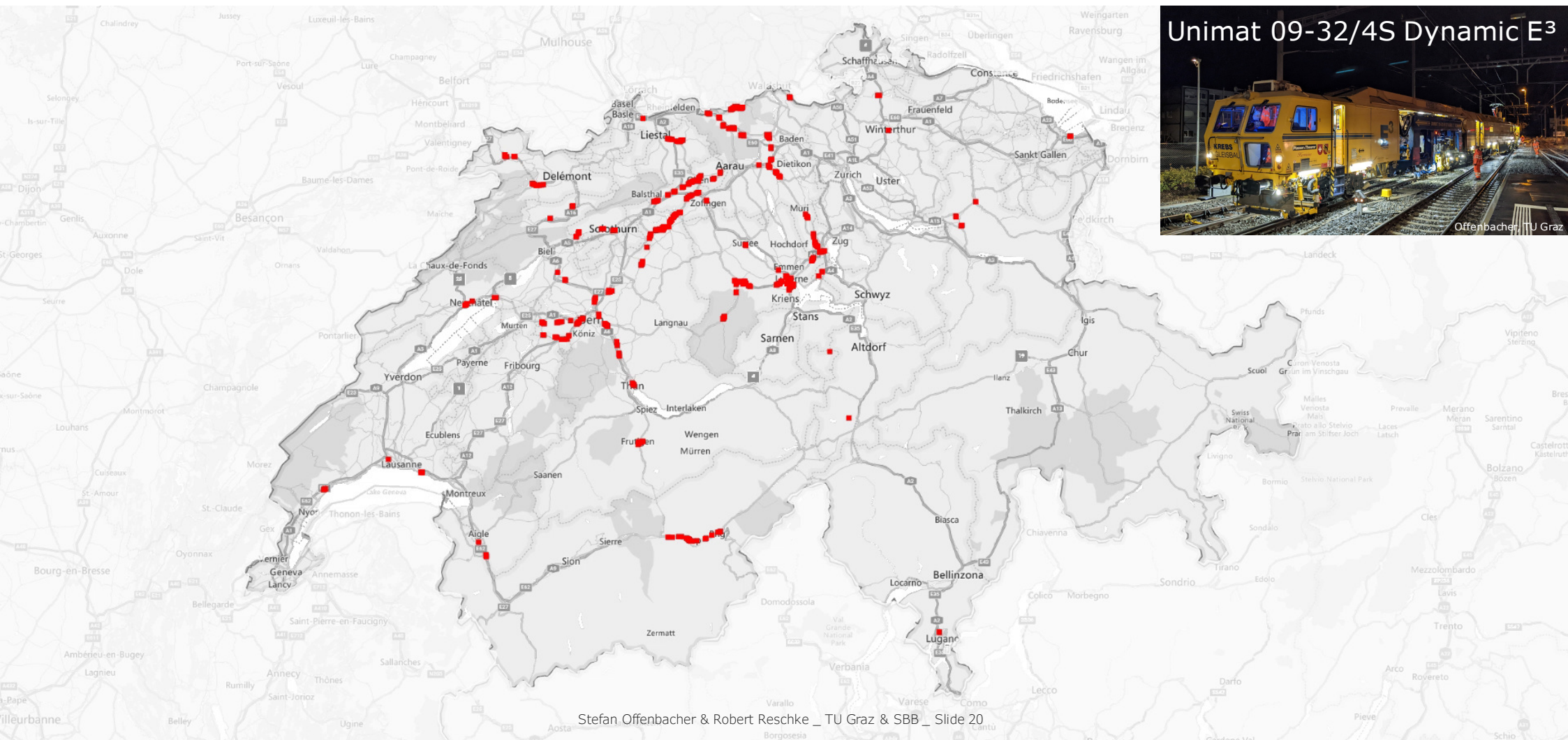
„Unten“



Stopfeinsatz Solothurn, Schweiz (SBB)



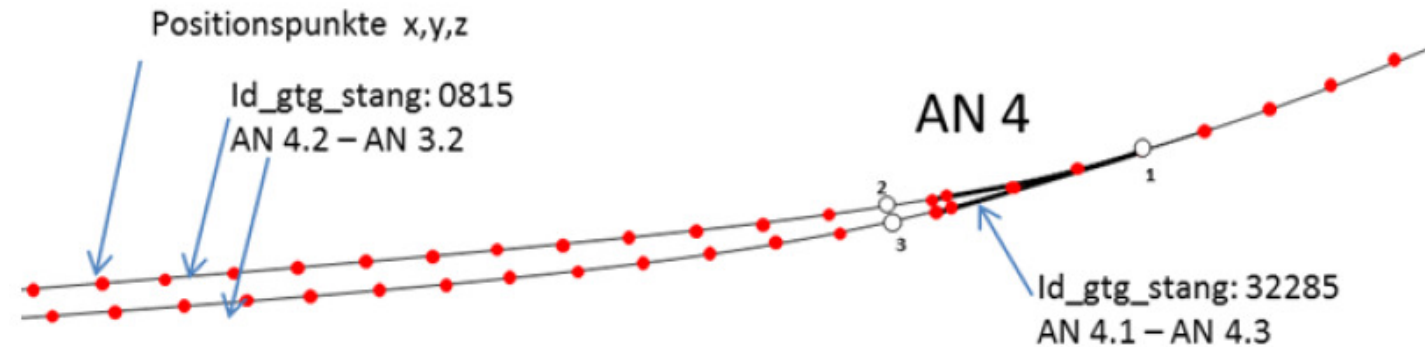
Messungen Schweiz 2022



Unimat 09-32/4S Dynamic E3



Rückspiegelung von Arbeitsdaten ins Gleisnetz

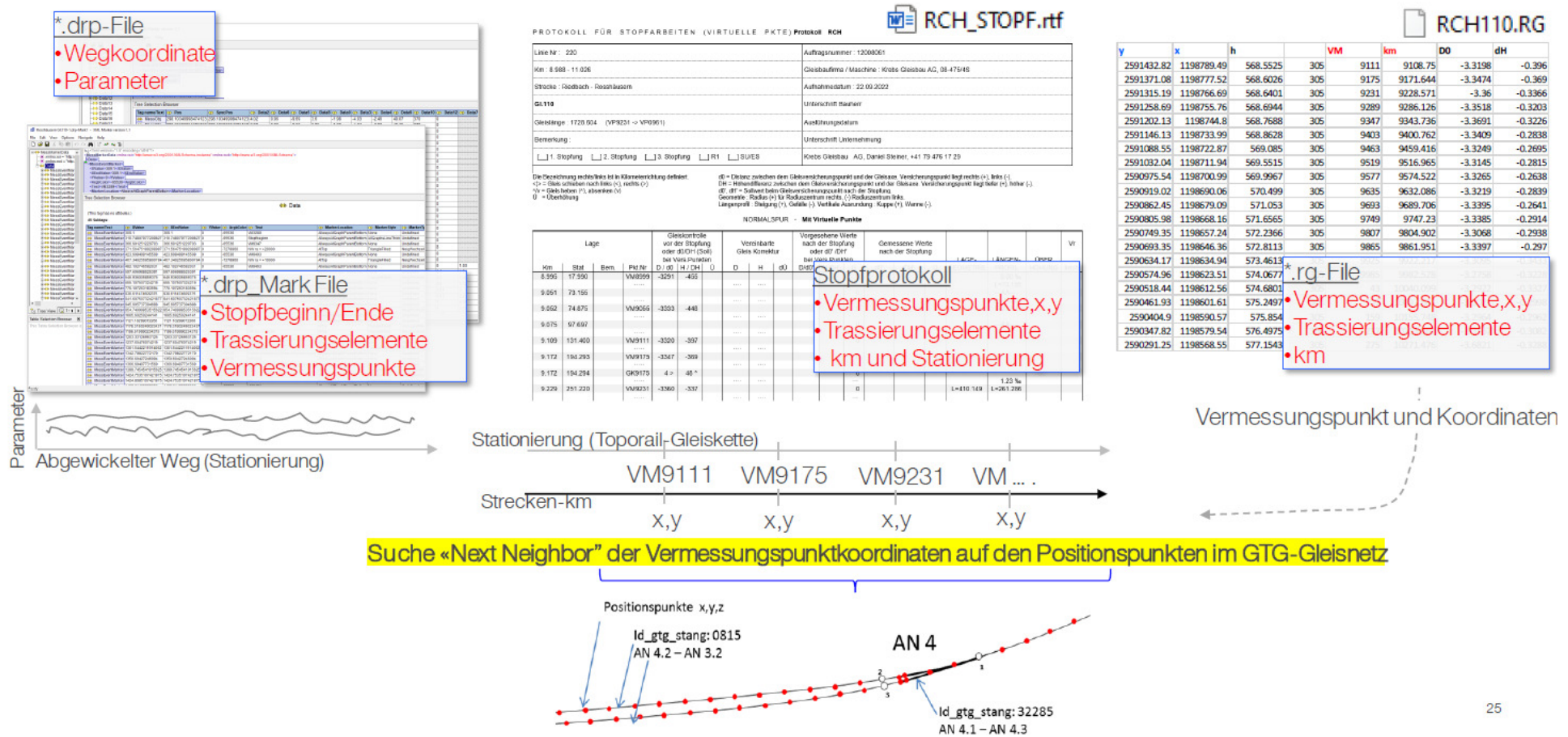


- **Stopfprotokoll** als .rtf, pdf oder auf Papier und wird je nach Prozessschritt manuell ausgefüllt
- Es können Transkribierungsfehler auftreten
- Verständnis des Aufbaus erfordert ein Eindenken und regelmässige Anwendung
- TopoRail-Files für ideale SOLL-Lage und Maschinenführung in Verwendung, jedoch im Rahmen der AVOR manuell übersteuert.
- Eine Daten-Rückführung der IST-Lage und der relativen Gleislage ist bei SBB derzeit in Vorbereitung. Bereits mit Aufheben der Quelldaten lassen sich Beauftragung in mm-Genauigkeit zur SBB zurückführen.

[illegible]

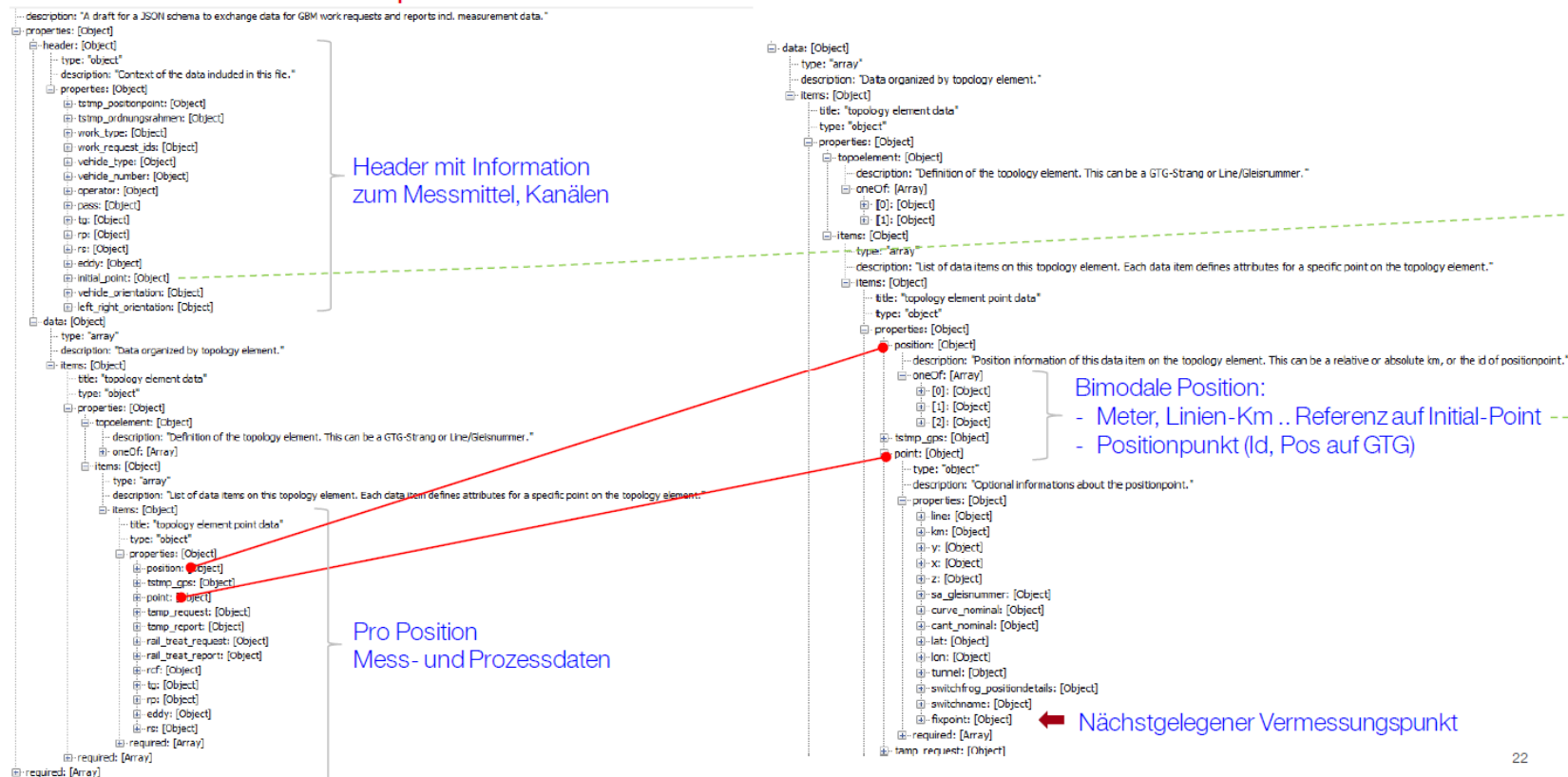
Rückspiegelung von Arbeitsdaten ins Gleisnetz

Rückspiegelung von Stopfdaten ins Gleisnetz mit verknüpften Bestandsdaten



Rückspiegelung von Arbeitsdaten ins Gleisnetz

Schema - Beispiel



22

SBB geht neue Wege der Prozessautomation von der Bahn-AVOR zur Maschine und zurück. Dafür wird mit diversen in CH tätigen Gleisbauunternehmen an einem vereinheitlichten, offenen, strukturierten und damit zukunftsfähigen Fileformat gearbeitet.

key takeaways

INTEGRIERTE ANALYSE VON **STOPFPARAMETERN, STOPFPROZESS-MESSUNGEN & GLEISLAGEDATEN!**

- Durch Stationierung der Abnahmemessung der Stopfmaschine mit der nachfolgenden Messfahrt des Oberbaumesswagens können Stopfdaten präzise mit den Oberbaumessdaten verknüpft werden.
- Pauschal formuliert sind Stopfungen bei Hebebewerten zwischen 20 und 50 mm am effektivsten. Jedoch zeigt sich eine deutliche Diskrepanz je nach Gleislagequalität zum Zeitpunkt des Stopfeinsatzes.
- Der generelle Schotterzustand kann von der Stopfmaschine während des Eindringvorgangs in das Schotterbett erfasst werden und liegt damit frühzeitig vor (*für Detailanalysen: Schotterbeprobungen*).
- Prozessautomation durch vereinheitlichte, offene, strukturierte und damit zukunftsfähige Fileformats.

Herzlichen Dank an unsere
Forschungspartner!

Plasser & Theurer

