

# Untersuchungen zur Tragschichtvergütung im Bahnbau im Zuge einer Probebaustelle

A. Hausenberger<sup>1</sup>, B. Brandner<sup>2</sup>, H. Ramsbacher<sup>2</sup>, S. Blovsky<sup>1</sup>, D. Adam<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Geotechnik, Technische Universität Wien, Wien, Österreich

<sup>2</sup> SWIETELSKY Baugesellschaft m. b. H., Zweigniederlassung Bahnbau, Fischamend, Österreich

**Kurzfassung.** Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit einem aktuellen und durch die österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) unterstützten Forschungsprojekt der Swietelsky Bauges.m.b.H. und der TU Wien, dessen Ziel es ist, ein leistungsfähiges gleisgebundenes Verfahren zur Vergütung maschinell ausgebauter Tragschichten bzw. zur Stabilisierung des anstehenden Untergrundes zu entwickeln. Im Rahmen des Projekts wurden umfangreiche Laboruntersuchungen zur Klassifizierung und Bewertung der eingesetzten Materialien für die Vergütung durchgeführt. Im Herbst 2013 folgten großmaßstäbliche Feldversuche im Rahmen einer konventionellen Probebaustelle. Dabei wurde auf einer stillgelegten Strecke der ÖBB einerseits eine Vergütung einer neu eingebauten Tragschicht mit bituminös gebundenem Tragschichtmaterial und andererseits eine Stabilisierung des anstehenden Untergrundes mit mehreren konventionellen und alternativen Bindemitteln hergestellt. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse und Erfahrungen dieser Probebaustelle zusammengefasst, welche im nächsten Projektschritt in die geplante Umrüstung bzw. Erweiterung einer Untergrundsanierungsmaschine PM 1000 URM einfließen werden.

*Schlagerwörter: Untergrundsanierung; Tragschicht; Bodenstabilisierung*

## 1 EINLEITUNG

Das geförderte Forschungsprojekt „Maschinelle Tragschichtvergütung im Bahnbau“ der Kooperationspartner Swietelsky Bauges.m.b.H. und TU Wien hat sich zum Ziel gesetzt, ein leistungsfähiges, gleisgebundenes Verfahren zur Vergütung maschinell ausgebauter Tragschichten zu entwickeln. Durch den Wiedereinbau von mechanisch aufbereitetem Material (gereinigter Gleisschotter sowie geeignetes bzw. stabilisiertes Untergrundmaterial) können einerseits Deponierungs- und Logistikkosten minimiert und Ressourcen geschont werden, andererseits soll die Möglichkeit des Einbaues einer stabilisierten Planumsschutzschicht unterhalb des Gleisschotters geschaffen werden (siehe beispielhaft Abbildung 1). Bei Strecken im Bestand mit empfindlichen Untergrundverhältnissen soll damit eine abdichtende Schicht unterhalb des Gleisschotters hergestellt werden, um das Eindringen von Niederschlags- und Oberflächenwasser und die damit verbundene Verminderung der Tragfähigkeit bei wasserempfindlichen Böden zu vermeiden. In den Voruntersuchungen wurde ausgehend von einer umfassenden Grundlagenrecherche anhand von Index- und Kombinationsversuchen eine Vorauswahl für in Frage kommende Bindemittel getroffen. Dabei wurde für die Ausführung der Tragschichtvergütung ein bituminöses Kaltmischgut und für den Anwendungsfall einer Bodenstabilisierung verschiedene konventionelle sowie alternative /spezielle Bindemittel herangezogen.

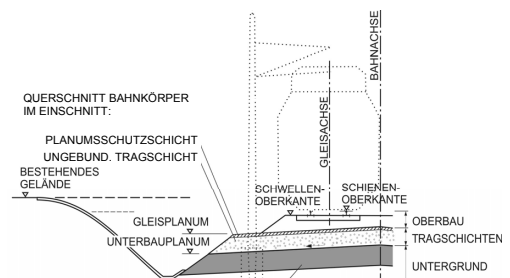


Abb. 1. Bahnkörper im Querschnitt.

## 2 PROBEBAUSTELLE

### 2.1 Allgemeines

Als Probebaustelle wurde seitens der ÖBB eine stillgelegte Güterverkehrsstrecke der Klasse B2 zwischen Margarethen am Moos und Götzendorf im Bezirk Bruck an der Leitha, NÖ, zur Verfügung gestellt. Die Trasse verläuft hier neben der Bundesstraße B60 in einem niveaugleichen, annähernd geraden Abschnitt außerhalb des Siedlungsgebietes bei ca. km 21,5. Wie die Bodenaufschlüsse und Laboruntersuchungen zeigten, lagen im untersuchten Bereich weitgehend homogene Untergrundverhältnisse mit einem einheitlichen Schichtaufbau vor. Dadurch ergab sich die Möglichkeit, mehrere Vergütungssysteme parallel zu testen.

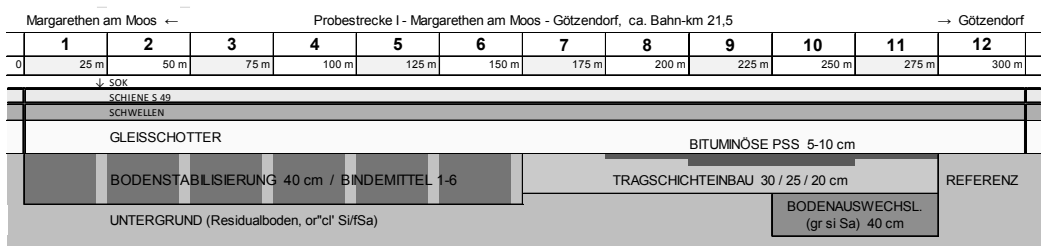
### 2.2 Konzept der Probestrecke

Das Konzept für die konventionelle Probestrecke sah einerseits eine Vergütung von zugeführtem Tragschichtmaterial mittels Bitumenemulsion in verschiedenen Varianten und andererseits eine Bodenstabilisierung des anstehenden Untergrundes mit konventionellen bzw. alternativen Bindemitteln vor.

Besonderes Ziel hinsichtlich der Tragschichtvergütung war die Herstellung eines Mischguts unter Baustellenbedingungen und der erfolgreiche Einbau als Planumsschutzschicht (PSS), in einer Qualität, wie sie bei künftigen Einsatz einer Gleisbaumaschine zu erwarten ist. Darüber hinaus sollte jeder Bearbeitungsabschnitt durch eine entsprechende Instrumentierung (Messquerschnitt in Abschnittmitte) Aufschluss über folgende Punkte liefern:

- Festigkeitsentwicklung (Früh- und Langzeit);
- Reproduzierbarkeit der gewonnenen Ergebnisse sowie allgemein der Vergleich zwischen Feld- und Laborversuchen;
- Lastverteilungswirkung (Vertikalspannungen im Untergrund);
- Gleiseinsenkung (Verformungen des Oberbaus/Unterbaus/Untergrund unter Lasteinwirkung)

Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sollten im Idealfall einen Vergleich der eingesetzten Vergütungssysteme zulassen. Zu diesem Zweck wurde der zur Verfügung stehende Trassenabschnitt in 12 Abschnitte á 25 m Länge gemäß Abbildung 2 eingeteilt.



**Abbildung 2.** Konzept der Probestrecke mit 12 Versuchsabschnitten (schematischer Längenschnitt).

In den ersten sechs Abschnitten erfolgte eine Bodenstabilisierung mit konventionellen Bindemitteln (Abschnitte 1-4) bzw. alternativen/speziellen Bindemitteln (Abschnitte 5-6) mit einer Schichtstärke (Frästiefe) von ca. 40 cm. In den Abschnitten 7-11 wurde der Einbau einer ungebundenen Tragschicht mit Schichtstärken von 30 cm, 25 cm bzw. 20 cm direkt auf dem gewachsenen Untergrund vorgenommen bzw. bereichsweise auf einer Bodenausschüttung aus schluffig kiesigem Sand zur Simulierung von günstigeren Untergrundverhältnissen. Danach wurde ein bituminöses Mischgut als Planumsschutzschicht (BPSS) mit einer Schichtstärke von 5 cm (Abschnitte 8 und 11) bzw. 10 cm (Abschnitte 9 und 10) eingebaut und während des Baufortschritts eine Optimierung der Mischgutrezeptur und der Verdichtungsmethode vorgenommen.

### 3 UNTERSUCHUNGEN

#### 3.1 Voruntersuchungen – Bodenaufschlüsse

Bereits in der Vorbereitungsphase der Probebaustelle erfolgten Bodenaufschlüsse auf einem rund 280 m langen Abschnitt der stillgelegten Strecke. Anhand von insgesamt 15 Schürfen im Schulterbereich des Bahnkörpers wurde der Oberbauzustand und das Bodenprofil bis zu einer Tiefe von max. 3,2 m unter Schienenoberkante (SOK) dokumentiert. Es wurde ein relativ einheitliches Bild des Untergrundes mit folgendem Schichtaufbau unter dem Gleisschotter angetroffen:

- Deckschichten aus humosem Mutterboden, or'cl' Si/Sa mit steifer bis halbfester Konsistenz bzw. mitteldichter Lagerung (bis zu einer Tiefe von 1,2 bis 1,8 m u. SOK);
- Löss/Lösslehm (Si/fSa) mit steifer bis halbfester Konsistenz bzw. dichter Lagerung; bis zu einer Tiefe von rund 2,5 bis 3,0 m u. SOK;
- Terrassenschotter (sa Gr) mit lockerer bis mitteldichter Lagerung
- Grundwasser wurde bis zur Endaushubtiefe nicht angetroffen; anhand von Pegelständen in der näheren Umgebung war der Grundwasserspiegel in Tiefen > 3,5 m u. SOK zu erwarten.

#### 3.2 Laborversuche

##### 3.2.1 Untersuchungen zur Tragschichtvergütung

Bereits in den Voruntersuchungen wurden 4 repräsentative Tragschichtmaterialien bodenmechanisch klassifiziert und in Kombination mit einem bituminösen Bindemittel wurde ein Kaltmischgut hergestellt. Anhand eines ausgewählten Tragschichtmaterials wurde die Eignung für den angedachten Zweck - die Herstellung einer abdichtenden Planumsschutzschicht - mit Bestimmung der Raumdichte, Wasserdurchlässigkeit sowie mit Abkühlversuchen, Druck-Zug-Wechselastversuchen getestet. Diese Standardprüfungen aus dem Straßenbau wurden im Labor des Instituts für Verkehrswissenschaften durchgeführt, weitere Erkenntnisse sollte der großmaßstäbliche Einbau bringen.

##### 3.2.2 Untersuchungen zur Bodenstabilisierung

Sämtliche aus den Schürfen entnommene Bodenproben wurden am Erdbaulaboratorium der TU Wien klassifiziert. Neben bodenmechanischen Versuchen wurden auch bodenchemische und tonmineralogische Untersuchungen durchgeführt, um insbesondere das Deckschichtmaterial, ein gering toniges Schluff/Sand-Gemisch (Größtkorn 4 mm), auf seine Eignung zur Stabilisierung zu prüfen. Die Körnungslinien von insgesamt 6 Einzelproben aus dem Tiefenbereich 0,8 – 1,5 m u. SOK lagen in einem sehr engen Bandbereich wobei der natürliche Wassergehalt  $w_n$  in der Bandbreite von 10,4% bis 15,2% variierte. Die Untersuchungen ergaben die folgende Bandbreite der Atterberg'schen Konsistenzgrenzen:

- Fließgrenze  $w_L = 20,5\%$  bis  $27,0\%$
- Ausrollgrenze  $w_p = 15\%$  bis  $19,0\%$
- Plastizitätszahl  $I_p = 4,5\%$  bis  $8,0\%$

Für die Stabilisierung des Deckschichtmaterials wurde zunächst eine Eignungsprüfung in Anlehnung an (TP BF-StB 2010) durchgeführt. Dabei wurde die einaxiale Druckfestigkeit an zylindrischen Prüfkörpern ( $\varnothing$  60 mm, Höhe 125 mm) bestimmt. Im Zuge der Ausführung erfolgten ebenfalls Druckversuche an Prüfkörpern in Intervallen von 2h / 1d / 3d / 7d und 28 Tagen, die im Labor möglichst zeitnah nach dem Fräsvorgang, aus stabilisiertem Material hergestellt wurden.

Die Ergebnisse der einaxialen Druckversuche am stabilisierten Material der Probestrecke bestätigen die Ergebnisse der Labormischungen in der Eignungsprüfung und zeigten die Festigkeitsentwicklung sowie die qualitativen Unterschiede zwischen den Bindemitteln (Abbildung 3).

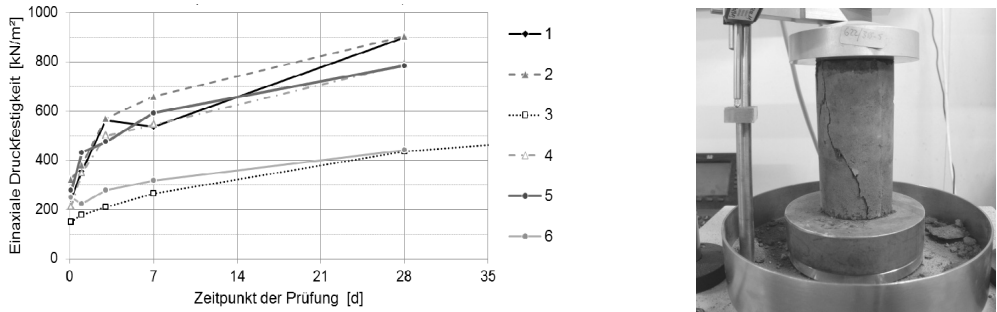


Abbildung 3. Links: Ergebnisse der einaxialen Druckfestigkeiten an stabilisiertem Material der Abschnitte 1-6 im Zeitraum bis 4 Wochen nach dem Einbau; rechts: Beispiel Probekörper nach Erreichen des Bruchpunktes.

### 3.3 Feldversuche

#### 3.3.1 Dynamische Lastplattenversuche

Die Tragfähigkeit bzw. Steifigkeit des vergüteten Gleisplanums, d. h., einerseits die Bodenstabilisierung in den Abschnitten 1-6 sowie andererseits die bituminös gebundene Tragschicht in den Abschnitten 8-11, wurde anhand von umfangreichen dynamischen Lastplattenversuchen mittels des Leichten Fallgewichtsgerätes (LFG) ermittelt. In jedem Abschnitt wurden im Zeitintervall 1 Tag / 28 Tage / 4 Monate nach Herstellung zumindest je 5 Lastplattenversuche durchgeführt und gemittelt (siehe Abbildung 4). Dabei wurde generell eine Zunahme des dynamischen Verformungsmoduls  $E_{vd}$  festgestellt. In den Bereichen der Bodenstabilisierung (Abschnitte 1-6) ließen die Ergebnisse eine deutliche Steigerung der Steifigkeit gegenüber dem unverbesserten Zustand erkennen und ermöglichten einen direkten Vergleich der eingesetzten Bindemittel 1-6 untereinander sowie zur ungebundenen Tragschicht (Abschnitt 7). Die Abschnitte 2 und 5 lieferten insgesamt die höchsten dynamischen Verformungsmoduln (i. M.  $E_{vd} = 85-95 \text{ MN/m}^2$ ), während die Abschnitte 1, 3 und 6 auf einem etwas geringeren Niveau lagen (i. M.  $E_{vd} = 65 \text{ MN/m}^2$ ).

Rund 4 Monate nach der Herstellung wurden dynamische Lastplattenversuche zusätzlich auch auf der bituminösen Tragschicht (Abschnitte 8-11) durchgeführt. Damit wurde die Steifigkeit des eingebauten Schichtpakets BPSS [5 - 10 cm] + ungebundene Tragschicht [20-25 cm] + anstehender Untergrund [bis zu 30 cm aufgrund der Messtiefe des LFG von bis zu 60 cm] erfasst. Die hier gemessenen  $E_{vd}$ -Mittelwerte lagen in der Größenordnung der qualitativ besten Bodenstabilisierung. Es ließ sich ein deutlicher Unterschied zwischen der bituminösen Vergütung von 5 cm („weicher“, i. M.  $E_{vd} = 85-95 \text{ MN/m}^2$ ) und 10 cm BPSS („steifer“, i. M.  $E_{vd} = 105-115 \text{ MN/m}^2$ ) erkennen. In den Abschnitten 10-11, in denen mit Bodenaustausch ein besserer Untergrund simuliert wurde, lagen die Messwerte jeweils um etwa  $10 \text{ MN/m}^2$  höher. Die laut LFG-Kalibrierung oberhalb des Maximums gelegenen Messwerte ( $E_{vd, \text{kal}} = 90 \text{ MN/m}^2$ ), wurden relativ in ihrer Größenordnung betrachtet, da von einer Abweichung zwischen Messgröße und tatsächlicher Steifigkeit auszugehen war.

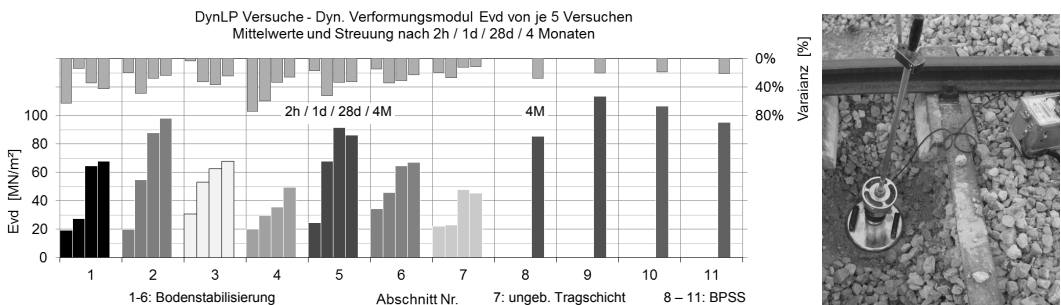
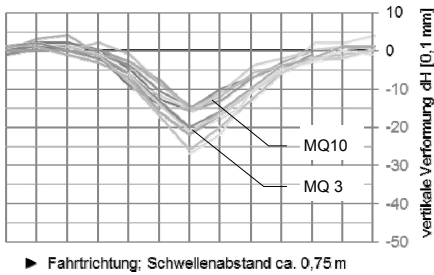
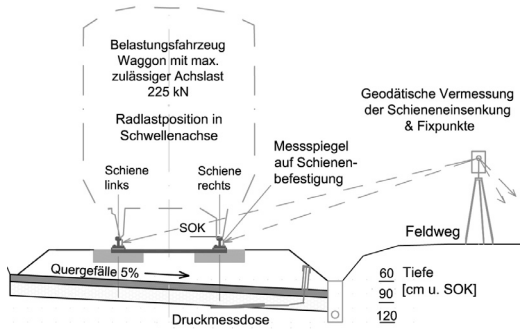


Abbildung 4. Ergebnisse der dynamischen Lastplattenversuche im Zeitraum bis 4 Monate nach dem Einbau.

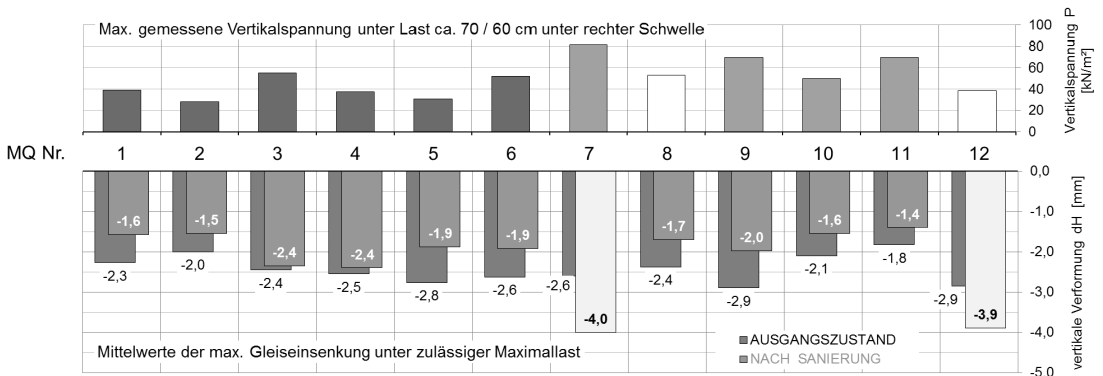


► Fahrtrichtung; Schwellenabstand ca. 0,75 m

**Abbildung 5.** Oben: Prinzip der statischen Belastungsversuche mit der maximal zulässigen Radlast 22,5 t. und der geodätischen Vermessung;

Links: Überlagerung der Lasteinflusslinien der Gleiseinsenkung [1/10 mm], Beispiel Abschnitte 3, 10.

Unten: Gemessene Vertikalspannungen [kN/m<sup>2</sup>], jeweils unter der verbesserten Schicht sowie Ergebnisse der statischen Einsenkungsmessungen in den 12 Versuchsabschnitten mit Vergleich vor und nach der Sanierung [mm];



### 3.3.2 Vertikalspannungen unter der Schwelle bei statischer Lasteinwirkung

Um in jedem der 12 Abschnitte eine messtechnische Überwachung der Vertikalspannungen im Untergrund während einer Zugüberfahrt zu ermöglichen, wurde jeweils in Abschnittsmitte ein Messquerschnitt mit einer Erddruckmessdose eingebaut. Die Druckmessdosen wurden dabei jeweils knapp unterhalb der neu eingebauten Schicht (Bodenstabilisierung bzw. ungebundenen Tragschicht) installiert. Im Zuge von statischen Belastungen mit einem beladenen Waggon mit einer maximalen Achslast von 22,5t wurden jeweils die Vertikalspannungen unterhalb der vergüteten Schicht gemessen, sowohl bei Lastannäherung als auch bei Lastentfernung (Lastposition jeweils zentral über jeder Schwelle (siehe Abbildung 5 oben). Daraus ließen sich Unterschiede zwischen den einzelnen Materialien feststellen und eine qualitative Bewertung („weicher“ / „steifer“) vornehmen; die Vergleichbarkeit der Spannungen ist unter Berücksichtigung der Messwertstreuung zulässig, da sich die Messdosen ca. im gleichen Tiefenbereich von 70 cm (1-6) bzw. 60 cm (7-12) unter der Schienenoberkante befinden. Generell weist die stabilisierte Schicht von 40 cm eine lastverteilende Wirkung auf (Plattenwirkung in den Abschnitten 1-6), wodurch die Vertikalspannungen im

Untergrund etwas niedriger sind, als in den Abschnitten mit der ungebundenen (7) bzw. der dünnen bituminösen Tragschicht (8-11).

### 3.3.3 Geodätische Messungen bei statischer Lasteinwirkung

Im Zuge der statischen Belastungsversuche wurde in jedem Abschnitt die Gleiseinsenkung anhand der Vertikalverformungen von jeweils 7 Schwellen mit Hilfe von geodätischen Messungen erfasst. Die Messungen erfolgten nach der Positionierung der Achslast von 22,5 t auf der jeweiligen Schwellenachse (Kurzzeitversuch) sowie nach 15 Minuten (Standversuch im Messquerschnitt). Die Ergebnisse wurden im Sinne von Einflusslinien bei Überfahrten der einzelnen Schwellen dargestellt (siehe Abbildung 5 links). Nach den Vergütungsmaßnahmen ließ sich eine deutliche Verringerung der gemittelten Maximaleinsenkungen von 1,5 mm bis 2,4 mm im Vergleich zum Ausgangszustand belegen (siehe Abbildung 5 unten). Bei den Stabilisierungsabschnitten lieferten die Bindemittel der Abschnitte 1, 2 und 5 die besten Ergebnisse. Die gemessenen Verformungen der bituminös gebundenen Abschnitte (8-11) lagen in einer ähnlichen Größenordnung. Die Abschnitte 3 und 4 wiesen etwas größere elastische Einsenkungen auf. Die unvergüteten Abschnitte 7 (ungebundene Tragschicht) und 12 (Referenz) wiesen deutlich höhere elastische Einsenkungen bis rund 4 mm auf, was auf deren geringere Steifigkeit zurückzuführen ist.

## 4 ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen eines aktuellen Forschungsprojektes, dass sich zum Ziel gesetzt hatte, ein gleisgebundenes System für die Tragschichtvergütung bzw. Bodenstabilisierung im Bahnbau zu entwickeln, wurden auf einer konventionellen Probebaustelle mehrere konventionelle und alternative Bindemittel zur Stabilisierung des Deckschichtmaterials im Labor und Feld getestet. Weiters konnte die Anwendbarkeit eines bituminösen Kaltmischguts für die Tragschichtvergütung erfolgreich erprobt werden. Insbesondere die zeitliche Entwicklung der Materialfestigkeiten und –steifigkeiten wurde anhand von dynamischen Lastplattenversuchen im Feld sowie mit einaxialen Druckversuchen im Labor bis 4 Monate nach der Herstellung dokumentiert. Beide Untersuchungen weisen ein ähnliches Bild auf. Anhand von geodätischen Messungen bei kurzfristigen (bis zu 15 Minuten) statischen Belastungen mit einer maximalen Achslast von 22,5 t vor und nach der Vergütung ließ sich generell eine Verringerung der gemessenen Einsenkungen in den vergüteten Abschnitten belegen. Die elastischen Einsenkungen liegen in den vergüteten Abschnitten im Bereich von 1,5 mm bis 2,4 mm. Auf Basis der gemessenen Einsenkungen und der Vertikalspannungen unterhalb der vergüteten Schicht lassen sich Unterschiede zwischen den einzelnen Materialien feststellen und eine qualitative Bewertung („weicher“ / „steifer“) vornehmen.

## LITERATUR

- Adam et al., Ground improvement techniques beneath existing rail tracks. *Proc. of 6th International Conference on Ground Improvement Techniques*, p. 79 – 86, 18 – 19 July 2005, Coimbra, Portugal (Invited paper).
- Adam, D., Paulmichl, I., Untergrundsanie rung von Bahnstrecken im Betrieb. *OVE-Schriftenreihe Nr. 55, 8. Wiener Eisenbahnkolloquium*, Technisches Museum, 11. März 2010, Wien.
- Auer F., Zuzic M., Schilder R., Breymann H., 13 Jahre Erfahrung mit gleisgebundener Untergrundsanie rung im Netz der ÖBB, *ETR Austria, Nr. 12*, Dezember 2007.
- Brandl, H. & Paulmichl, I. (2006): Substructure and superstructure interaction of high-speed railways, in: *Aktive Geotechnische Planung in der Infrastruktur-Entwicklung, XII Donau-Europäische Konferenz für Geotechnik, Band 2*, J. Logar, A. Gaberc, B. Majes (Hrg.); Slovenian Geotechnical Society, Ljubljana (2006).
- Göbel, C., Lieberenz K., *Handbuch Erdbauwerke der Bahnen*, Eurailpress, 2013.
- Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, RVS 08.03.01 (2010). *Erdarbeiten*.
- Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau, TP BF-StB Teil B 11.3 (2010). *Eignungsprüfung bei Bodenverbesserungen mit Bindemitteln*.