

Schotterverklebung, effiziente und günstige Methode zur Stabilisierung von Bahnschotter

In letzter Zeit erfolgen immer mehr Massnahmen am Bahnkörper unter Verkehr. Für eine effiziente und schnelle Sicherung des Oberbaus bei der Ausführung von Grabungen am Schotterbett ist die Schotterverklebung die ideale Massnahme. Dabei sind aber die speziellen Anforderungen und Eigenheiten des Ober- und Unterbaus zu beachten. Der Artikel zeigt das technische Potential und die logistischen Vorteile der Anwendung auf.



1. Einleitung

Das Verkleben des Bahnschotters wird seit mehreren Jahren in verschiedenen Ländern mittels Handapplikationen erfolgreich angewandt. Auch in der Schweiz wird das Verfahren meist zur temporären Stabilisierung des Bahnschotters bei Grabungsarbeiten im Schotter entlang der Gleise eingesetzt.

Das Verfahren wurde in den letzten Jahren durch die Hürlimann Railtec AG modernisiert (es kann in der Ausführung hoch präzise gesteuert werden) und perfektioniert und stellt mittlerweile in der Schweiz ein gängiges Verfahren beim Bahnbau dar. Der Stand der Entwicklung in der Schweiz wird im folgenden Artikel aufgezeigt.

Bild 1 zeigt das Beispiel einer Verklebung bei Erneuerung des 2. Gleises im



Dr. sc. techn. Markus Schwalt
Bauingenieur und Experte der IM Maggia Engineering AG und Abteilungsleiter Bau der Niederlassung Zürich, Verantwortlicher Dimensionierungskonzept Schotterverklebung
markus.schwalt@im-maggia.ch



Adrian Hürlimann
Inhaber und CEO der Hürlimann Railtec AG, Verantwortlicher für die Entwicklung und Anwendung der Schotterverklebung
adrian@huerlimann-railtec.ch



1: Beispiel einer ausgeführten Verklebung im Villnachertunnel

Quelle: Hürlimann-Railtec

Villnachertunnel in der Schweiz. Auf dem Nebengleis lief der Bahnbetrieb weiter.

2. Warum Schotterverklebung?

Entscheidend dafür, dass sich das Verfahren immer mehr durchsetzt, sind die wirtschaftlichen, technischen und terminlichen Vorteile. Bedenken, welche Anfangs gegen das Verfahren vorlagen, wie z.B. negativer Umwelteinflüsse, Empfindlichkeit bei hohen Temperaturen oder eine starke Abhängigkeit von Schotterzustand bzw. der Schotterverschmutzung haben sich bisher nicht bestätigt oder sind durch systematische Entwicklung und den Einsatz hochpräziser Technik behoben worden, sodass einer systematischen Anwendung aus

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für IM Maggia Engineering AG und Hürlimann Railtec AG / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

Sicht der Technik und Umwelt nichts mehr im Wege steht.

3. Funktionsweise

Bahnschotter ist ein altes und sehr bewährtes Baumaterial für den Gleisoberbau. Nicht zuletzt hat die weltweite Verfügbarkeit des Schotters als gebrochenes Gestein, dem Bahnschotter zum Durchbruch verholfen. Die geomechanischen Eigenschaften des Bahnschotters sind durch hohe Festigkeiten gekennzeichnet, wobei es aber schwierig ist, diese Festigkeit durch gängige geomechanische Stoffgesetze exakt nachzubilden. Ursache für das spezielle geomechanische Verhalten des Bahnschotters ist, dass dieser eigentlich kohäsionslos ist, im geomechanischen Verhalten aber eine Kohäsion aufweist, welche als Verzahnungskohäsion angesehen werden kann. Dabei handelt es sich nach Ansicht der Verfasser aber eher um einen Massstabeffekt, welcher durch die grobe Korngröße des Schotters im Verhältnis zu und den Bauhöhen des Schotterbetts entsteht.

Diese Verzahnungskohäsion ist vom Spannungszustand abhängig und kann nur unter einem 3-dimensionalen Spannungszustand aktiviert werden. Wird die Schotterschulter bei Grabungsarbeiten am Bahnoberbau freigelegt, so ist diese «Kohäsion nicht mehr sichergestellt und die Tragfähigkeit des Oberbaus nicht gewährleistet.

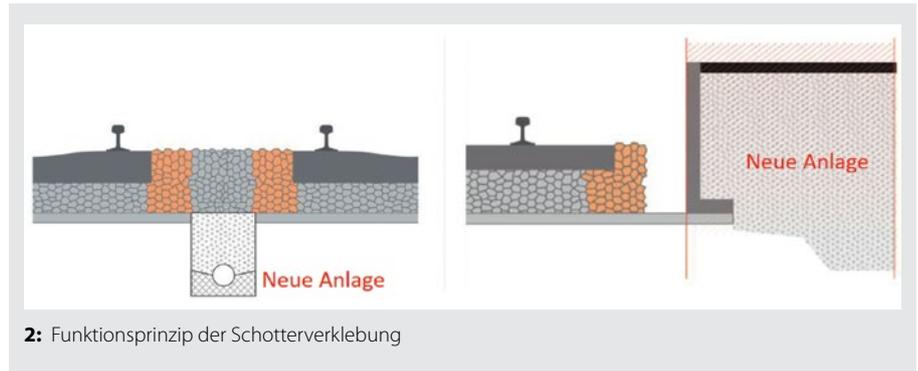
Die Funktionsweise der Schotterverklebung lässt sich mit Bild 2 leicht erklären. Dabei wird der Rand des Schotterbettes verklebt und gibt diesem dadurch die erforderliche Stabilität.

Die Verklebung des Bahnschotters erzeugt eine echte Kohäsion, welche unabhängig vom Spannungszustand erhalten bleibt und bewirkt grundsätzlich eine zuverlässige und berechenbare Erhöhung der Tragfähigkeit des Schotters. Dadurch lassen sich im Schotter vertikale Wände ausheben, ohne dass der Schotter instabil wird. Auch der Bahnverkehr kann weiterhin erfolgen.

4. Anwendung

Die Anwendungsmöglichkeiten der Schotterverklebung sind sehr vielseitig. Die Verklebung wird derzeit hier wie folgt eingesetzt:

- Bei verschiedenen Aushubarbeiten entlang der Gleise für z.B. Kabeltrassen,



2: Funktionsprinzip der Schotterverklebung

- Oberflächenstabilisierung von Bahnschotter kann durch Färbung sichtbar gemacht werden



- Drainageleitungen, Mastfundamente, Perronwinkel usw.
- Bei der Sanierung des Oberbaus von 2-gleisigen Abschnitten bzw. Zubau eines 2. Gleises, wenn auf dem Nachbargleis der Bahnbetrieb nicht unterbrochen werden soll.
- Zur Stabilisierung der Schotteroberfläche bei z.B. Schotterflug auf Hochgeschwindigkeitsabschnitten oder zur Verhinderung von Erosion bei Überflutungen
- Zur Stabilisierung von Trasseabschnitten in engen Bögen bzw. in der Nähe von Fixpunkten oder Weichen, um Verwerfungen zu verhindern.
- Zur Erhöhung der Lebensdauer des Schotterbetts, zur Verbesserung der Gleisstabilität
- Zur Verfeinerung der Schotteroberflächen in Bahnhofsbereichen um eine maschinelle Schotterreinigung zu ermöglichen
- Zur Angleichung von Steifigkeitssprüngen in Übergangsbereichen
- Zur Verfestigung/Erhöhung der Lebensdauer von Strassenfahrbahnübergängen

Durch die Verklebung wird der Schotter zu einer kohäsiven Einheit verbunden,

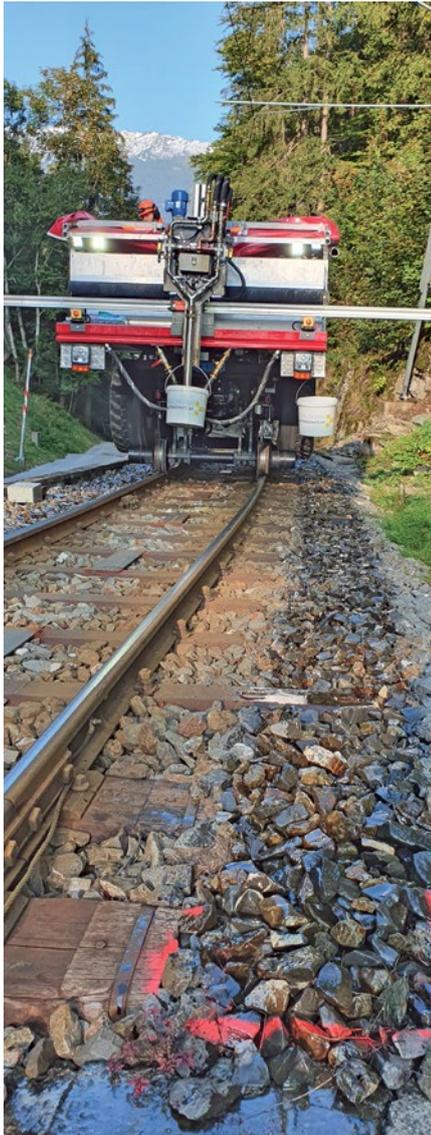
was das Lösen von einzelnen Schottersteinen aus dem Bahnkörper stark erschwert. So kann z.B. der Schotterflug bei Hochgeschwindigkeitsstrecken unterbunden werden, indem die oberste Schicht des Schotters verklebt wird und Schottersteine, welche aufgrund ihrer Form oder Lage durch Wirbel abgehoben werden könnten, werden durch die Verklebung stabilisiert.

Durch die Schotterverklebung kann auch verhindert werden, dass Bahnschotter als Wurfgegenstand bei Ausschreitungen oder Kravallen (Bild 3) z.B. nach Fussballspielen verwendet wird.

Weiter wird die Schotterverklebung auch als permanente Massnahme zur Vorbeugung gegen Verwerfungen eingesetzt. Solche Bedürfnisse entstehen v.a. bei sonnenexponierten Strecken mit hohen Temperaturen und engen Kurven, wie sie bei Bahnen auf Bergstrecken oft vorzufinden sind (Bild 4). Durch die Verklebung wird der Bahnschotter seitlich der Schwellen versteift und eine lokale seitliche Bewegung wie sie bei Verwerfungen vorkommt, wird wirkungsvoll verhindert.

5. Applikationsanlage

Entscheidend für die erfolgreiche Anwendung ist neben der Verwendung von



4: Verklebter Bahnschotter mit sichtbaren Harzspuren. Anwendung im Innen- und Aussenbogen als permanente Massnahme zur Gleisstabilisierung gegen Verwerfung

qualitativ hochwertigem Verklebematerial (Hürlimann Railtec AG verwendet das Gleisbauharz der Firma MC Bauchemie aus Bottrop (Deutschland)) auch die hochprofessionelle Anwendung vor Ort. Dazu wurde seit 2015 ein entsprechendes Gerät durch Hürlimann-Railtec entwickelt und patentiert. Um die Qualität der Verklebung und die Umweltverträglichkeit sicherzustellen, müssen die Mengen von Harz und Härter mit höchster Genauigkeit dosiert und die beiden Komponenten perfekt durchmischt werden. Zudem müssen sie sehr gleichmässig in Menge/Weg und Applikationsbreite unter Baustellenbedingungen ausgetragen werden. Bild 5 zeigt das Applikationsgerät im Einsatz.

Die Lösung wurde mit technisch hochentwickelten und hochgenauen Anlagenkomponenten gefunden, welche die für die Qualität der Ausführung wichtigen Parameter überwachen und permanent selbsttätig justieren. Das Ergebnis einer solchen Anwendung kann Bild 6 entnommen werden. Sie zeigt eine verklebte Schotterschulter. Das verbleibende Bestandsgleis steht dem Bahnbetrieb zur Verfügung.

6. Technische Hintergründe und Nachweise

6.1. Allgemeines

Die stabilisierende Wirkung des Schotters wirkt sowohl unter Verkehrslast bei Befahrung als auch bei Einwirkungen durch z.B. hohe Schientemperaturen, um eine Verwerfung zu verhindern. Gegenstand der zu führenden Nachweise ist daher die Stabilität des Gleises mit und ohne Verkehrslast.

Analog zu den klassischen Nachweisen in der Bautechnik werden die auslenkenden Kräfte (Einwirkungen) bestimmt und mit den rückhaltenden (Widerstand) verglichen. Die Stabilität ist dann gegeben, wenn sichergestellt ist, dass die beiden Kräfte im Gleichgewicht sind. Als Ausgleich zu den herrschenden Unsicherheiten jeglicher Art werden Sicherheiten dazugeschlagen.

Eine Verklebung kann aber auch aus konstruktiven Gründen erforderlich sein, z.B. um den Aushub möglichst gering zu halten bzw. das Schotterbett möglichst wenig zu stören und den Bahnschotter vor Auflockerungen im Zuge der angrenzenden Bauarbeiten zu schützen, damit im Zuge der Arbeiten eine stabile Gleislage erhalten bleibt.

6.2. Stabilität ohne Verkehrslast – Verwerfung

Es wird an dieser Stelle nicht der gesamte Nachweis aufgezeigt, da dies den Rahmen der Publikation sprengen würde. Dargestellt werden grob das Vorgehen und die wesentlichen Grundlagen.

Die Einwirkungen werden nach der Theorie nach Meier oder nach anderen gleichwertigen Verfahren (z.B. CWERRI) ermittelt. Das Nachweisverfahren ist an die geltenden nationalen Reglements angepasst. In die Berechnung gehen Schienentyp, Kurvenradius, Neutralisationstemperatur, Schientemperatur, Brems- und Beschleunigungskräfte, bzw. weitere je nach geltendem Reglement oder Situation einzubeziehende Parameter ein.

Auf der Seite Widerstand werden die Geometrie des Bahnkörpers, Schienen und Schwellenart, Zustand des Bahnschotters



5: Schotterverklebung mit Spezialgerät im Einsatz



6: Vertikale Wand nach Verklebung mit Bahnbetrieb auf dem Bestandsgleis

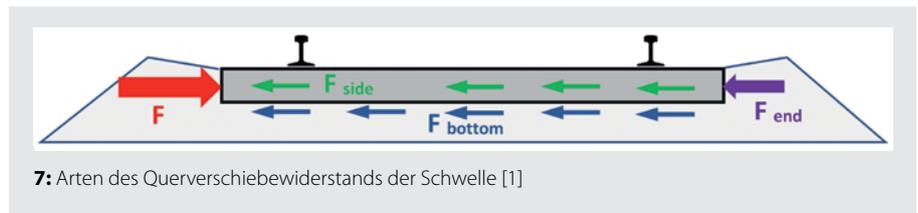
Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für IM Maggia Engineering AG und Hürlimann Railtec AG / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

(Verdichtung), Fahrzeuginduzierte Verwerfung und Gleislagefehler sowie je nach Situation und Reglement weitere Parameter berücksichtigt.

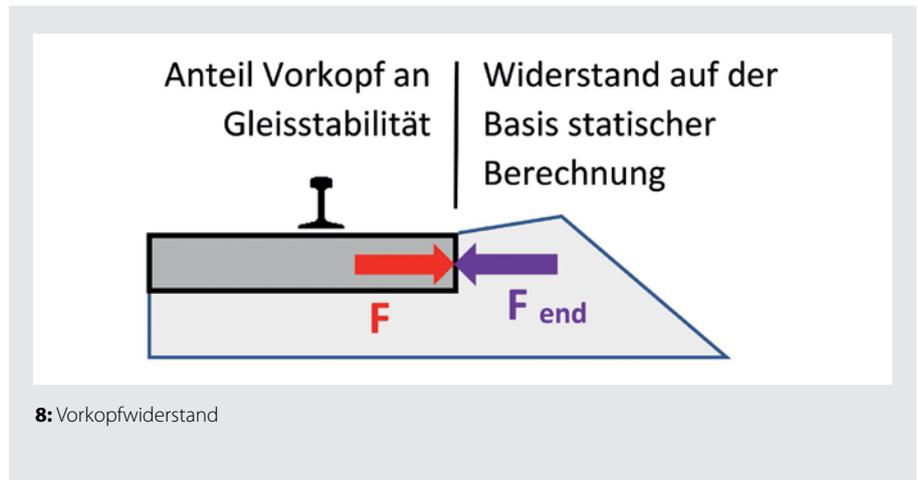
Aus den oben angegebenen Parametern kann eine kritische Temperatur ermittelt werden, bei welcher bei hohen Temperaturen bzw. kleinen Kurvenradien Stabilitätsprobleme auftreten können.

Das Gleis weist einen Querverschiebewiderstand (QVW) gegen die Verwerfung auf. Dieser wird v.a. durch die Schwellen bestimmt, welche sich wiederum im Schotter abstützen. Da bei Arbeiten am Bahnkörper meist der Vorkopfschotter betroffen ist, muss bestimmt werden, welchen Beitrag dieser für die Stabilität des Gleises leistet. Es wird daher zwischen «Vorkopf» und der restlichen Widerstände (Sohl- und Flankenwiderstand der Schwelle) unterschieden (Bild 7).

Der Querverschiebewiderstand des Gleises auf der Basis von Sohl- und Flanken-



7: Arten des Querverschiebewiderstands der Schwelle [1]



8: Vorkopfwiderstand

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für IM Maggia Engineering AG und Hürimann Railtec AG / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

Für Ihre Werbeplanung – die kommenden Ausgaben im Überblick



THEMEN

6/2022

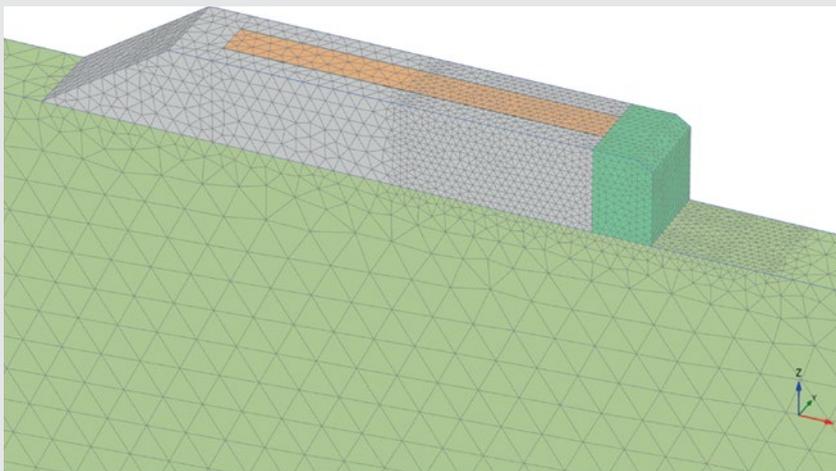
7+8/2022

- Neue Services und Technologien für Stadt und Region
- Bahnverkehr im Großraum Frankfurt und im Land Hessen
- Kombiniertes Verkehr
- Betrieb von Regionalbahnen
- Mit ETR-Austria 2/2022

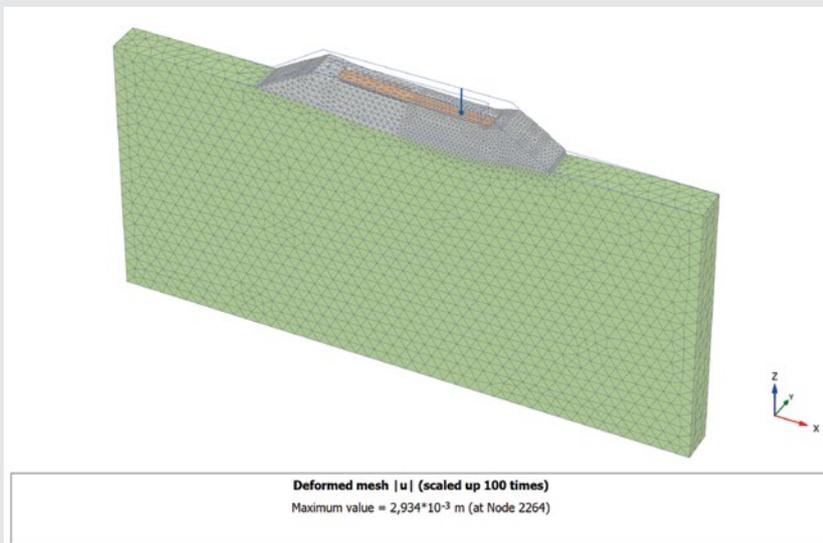
Erscheinungstermin: 14.06.2022
 Anzeigenschluss: 10.05.2022
 Druckunterlagenschluss: 18.05.2022

- Fokus Europa: Planen, Bauen und Instandhalten von Bahninfrastruktur
- Konstruktiver Ingenieurbau: Brücken, Tunnel
- Ausbau von Knoten
- Nachtzüge
- Fernverkehrsfahrzeuge

Erscheinungstermin: 10.08.2022
 Anzeigenschluss: 11.07.2022
 Druckunterlagenschluss: 19.07.2022



9: 3-D-Modell von Schwelle und Schotter in ausgelenkter Position



10: FE Modell der Schwelle mit Oberbau und Lasten (Pfeile) der Schiene auf die Schwelle (deformiert, berücksichtigt Exzentrizität durch Fliehkraft, Überhöhung und exzentrische Lasten)

widerstand der Schwellen wird auf der Basis von Werten aus der Literatur [4], [5], [6] und [9] ermittelt. Der Gesamtwiderstand des Gleises kann durch die Verklebung gesteuert werden, indem der Vorkopf mehr oder weniger verklebt wird (Bild 8).

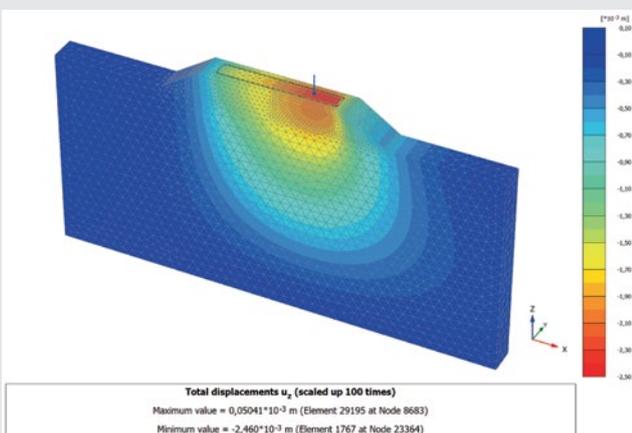
Der entsprechende Nachweis erfolgt durch eine Berechnung mittels 3D-FE-Methode (Bild 9).

Die Berechnungen zeigen, dass bei einer Verklebungsbreite von 30 cm vor dem Vorkopf der Widerstand der unverklebten Schulter je nach Situation bereits übertriften wird und bei 40 cm Widerstände erreicht werden können, welche über jenen der unverklebten Schulter liegen. Das Versagensbild bei weiteren Deformationen ist bei entsprechend hochwertiger Verklebung meist nicht in einem Bruch der Verklebung, sondern das Kippen oder Gleiten des verklebten Schotterkörpers auf dem Unterbau.

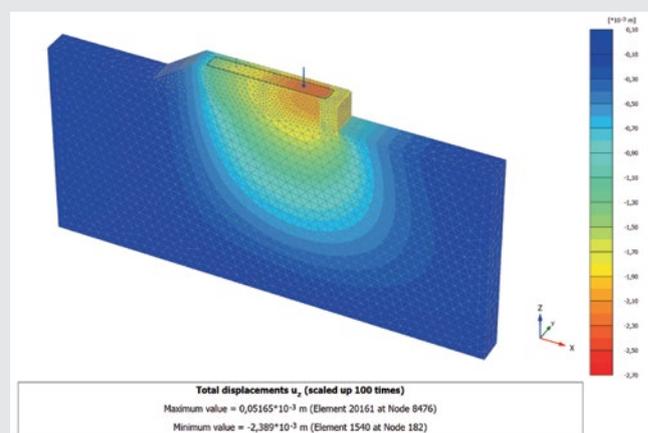
Damit kann gezeigt werden, dass die Schotterverklebung eine statisch sehr wirksame und effiziente Massnahme ist, um das Gleis gegen Verwerfung zu stabilisieren, wenn eine entsprechende Mindestbreite eingehalten wird.

6.3. Stabilität unter Verkehrslast

Wesentlich für die Stabilität des Gleises ist neben dem Nachweis der Verwerfungssicherheit der Nachweis der Lastabtragung unter Verkehr. Die Verkehrslasten sind mit jenen ohne Verkehr zu superponieren und stellen damit einen neuen, kombinierten Lastfall dar. Es werden die folgenden Einwirkungen berücksichtigt:



11: FE Modell mit Verformungen unter Last



12: FE Modell mit Verformungen unter Last mit einem 35 cm breiten, verklebten Vorkopf

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für IM Maggia Engineering AG und Hürimann Railtec AG /
 Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten
 genehmigt / © DVV Media Group GmbH

Die Einwirkungen wurden im vorliegenden Fall auf der Basis der Schweizer Richtlinie, v.a. der AB-EBV [2] sowie der europäischen Richtlinien [7], [8] bestimmt. Die Belastung aus Temperatur wird ebenfalls berücksichtigt. Aus den Einwirkungen resultiert eine Last pro Schwelle, welche den Berechnungen als Grundlage dient.

Die Widerstände werden mittels geotechnischer Berechnungen im Plaxis 3D ermittelt (Bild 10). Als Grundlagen dienen übliche geomechanische Kennwerte des unverklebten Schotters und jene des verklebten Schotters aus Laborversuchen mit dem verwendeten Harz und der entsprechenden Dosierung.

Bild 11 zeigt das FE-Modell mit den Verformungen unter Last am Ausgangsmodell mit Bahnschotter ohne Verklebung und Bild 12 dieselbe Situation mit verklebter Schulter (Verklebung 35 cm) und Aushub.

Bei einem Damm als Unterbau ist oft nicht die Tragfähigkeit des verklebten Schotters, sondern jene des Untergrundes massgebend. Eine äquivalente Situation ist dann erreicht, wenn die Beanspruchung des Unterbaus mit Verklebung nicht grösser ausfällt als ohne Verklebung.

Bei tragfähigem Unterbau (z. B. Fels oder Beton), ist dieser für die Tragsicherheit nicht massgebend und die Lastabtragung wird durch die Festigkeit des verklebten Schotters bestimmt. Dies ermöglicht es, die Breite der Verklebung weiter zu reduzieren, es sind dabei aber die Nachweise der Tragfähigkeit des verklebten Schotters im Einzelfall zu erbringen, um den verklebten Schotter nicht einer Überbeanspruchung auszusetzen.

7. Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der Untersuchungen und Berechnungen zeigen, dass die Verklebung ein grosses technisches und wirtschaftliches Potential hat und je nach Umfang der Verklebung erhebliche Stabilität gegen die Einwirkungen ohne und mit Verkehr erzeugt werden kann.

Das Verfahren wurde durch die Hürliemann Railtec entwickelt und international patentiert.

Literatur

- [1] Kish A.: On the Fundamentals of Track Lateral Resistance, Arema annual Conference, 2011
- [2] AB-EBV (2020) Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung 2020, Bundesamt für Verkehr (BAV), Bern.
- [3] R RTE 21110:2015 Unterbau und Schotter, Normalspur und Meterspur
- [4] D RTE 22040:2010 Fahrbahnpraxis Normalspur Handbuch
- [5] R RTE 22041:2019 Lückenlose und verlaschte Gleise und Weichen Normalspur
- [6] SBB Auswertung QVW Gleislagegüte basierend auf Messberichten der QVW-Messungen im Gleis, Version 2 vom 4.11.2013, Philippe Schneider
- [7] DIN EN 16432-1: 2017, Bahnanwendungen – Feste Fahrbahn-Systeme – Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- [8] DIN EN 16432-2: 2017, Bahnanwendungen – Feste Fahrbahn-Systeme – Teil 2: Systementwurf, Teilsysteme und Komponenten
- [9] Iliev, Dimitre Lubomirov (2011), «Die horizontale Gleisstabilität des Schotteroberbaus mit konventionellen und elastisch besohlenen Schwellen», Technische Universität München, Lehrstuhl für Verkehrswesen, Dissertation
- [10] E. Steiner, C. Kuttelwascher, G. Prager: «Druckausbreitung von belasteten Eisenbahnschwellen im Gleisschotter», ETR-Eisenbahntechnische Rundschau, Dezember 2012, Nr. 6, S. 71 – 75
- [11] E. Steiner, C. Kuttelwascher, G. Prager: «Druckausbreitung von belasteten Eisenbahnschwellen im verschmutzten Gleisschotter», ETR-Eisenbahntechnische Rundschau, Juni 2014, Nr. 6, S. 68 – 72
- [12] E. Steiner, C. Kuttelwascher, G. Prager: «Lastabtragung im Schotterbett, Änderungseffekte durch Konsolidierung und Bahnbetrieb», ETR-Eisenbahntechnische Rundschau, Dezember 2014, Nr. 6, S. 72 – 76
- [13] C. Kuttelwascher, M. Zuzic: «Oberbauschotter, Kompendium für Österreich», Bahnanlagen und Instandhaltung, EIK 2013, S. 100 – 126

Summary

Ballast bonding, efficient and economic method to stabilize rail ballast

For constructional measures in the area of ballast superstructure, bonding is an alternative to the usual ballast spraying. It can be quickly worked in and is mechanically very efficient. The application possibilities are highly versatile. In comparison to the traditional procedures enormous cost and time savings result. The authors have researched the bonding effect and developed the corresponding dimensioning principles. An approval process is currently running at the Federal Office for Transport, Bern.



Bahnübergangssysteme

EINFACH | SICHER

veloSTRAIL eliminiert die Spurrille



- veloSTRAIL eliminiert die Spurrille mit Wechselteilen aus Neugummi. So wird die Querung des Bahnüberganges barrierefrei.
- bei Schnee und Eis kein Freihalten der durch veloSTRAIL abgedeckten Spurrille notwendig
- beliebte Einsatzgebiete: **innerstädtisch**, z.B. vor Schulen, Kitas, Einkaufszentren vor **kritischen Kreuzungswinkel**, z.B. für Zweirad- und Rollstuhlfahrer, Kinderwägen, Inlinefahrer, Rollkoffer, etc.

STRAIL auf der **iaf** in Münster

HALLE SÜD | STAND S-414

WIR FREUEN UNS AUF IHR KOMMEN!

www.strail.de [in @kraiburg strail](https://www.linkedin.com/company/kraiburg-strail) [@strail_official](https://www.instagram.com/strail_official)

KRAIBURG STRAIL GmbH & Co. KG

84529 Tittmoning / Göllstraße 8 / info@strail.de