

# Großmaschineneinsatz bei Untergründen mit geringer Tragfähigkeit

Gleisgebundene Planumsverbesserungsmaschinen realisieren das notwendige Fundament zur nachhaltigen Nutzung des Eisenbahnfahrwegs bei erheblichen Kostenreduktionen.

**FABIAN HANSMANN**

**Für den nachhaltigen Betrieb einer Eisenbahnanlage stellt die ausreichende Dimensionierung des Untergrunds eine essentielle Grundlage dar. Basierend auf einer detaillierten Planung der Baustelle erlauben gleisgebundene Planumsverbesserungsmaschinen über den Einbau mehrteiliger Tragschichtsysteme eine schnelle, prozesssichere und wirtschaftliche Ertüchtigung des Untergrunds unter Wahrung unerwarteter Flexibilität.**

Ein tragfähiger Untergrund ist die Grundvoraussetzung für die sichere Errichtung und Bewirtschaftung eines Bauwerks. Bereits Anfang des 20. Jahrhunderts erkannte man die Auswirkungen des Untergrundes auf die Fahrwegstabilität der Eisenbahn und somit den sicheren Betrieb der Anlage. Der Untergrund ist das letzte Glied einer Kette von unterschiedlichen Komponenten, die es erlauben, die hohen Lasten der Eisenbahn aufzunehmen, zu verteilen und abzutragen. Die Abstimmung der einzelnen Komponenten und deren kontinuierliche Weiterentwicklung gelten als Schlüssel zum Erfolg für den sicheren und nachhaltigen Betrieb einer Eisenbahnanlage.

Dort wo der Bau einer Eisenbahnstrecke auf gering tragfähigen Untergründen nicht zu vermeiden ist bzw. die gestiegenen Anforderungen an die Strecke zu Unterbauproblemen führen, ist es erforderlich, eine Ertüchtigung vorzunehmen. In ersten Erprobungen wurde versucht, die geringe Tragfähigkeit von Untergründen mit Hilfe von Packlagen, Schlacke, Reisig etc. nachhaltig zu verbessern. In den Jahren 1954/55 unterzog die Deutsche Bundesbahn unterschiedliche Methoden, insbesondere die Anwendung von Sand-Kies-Gemischen als Tragschicht einer eingehenden Prüfung. Die unterschiedlichen Ergebnisse mündeten 1957 in den Standard DV 836 und definierten erstmalig den genauen Aufbau unterschiedlicher Tragschichtsysteme. Die Aufgaben der eingebrachten Tragschichten liegen in der Vermeidung von schädlichen Verformungen und dem Schutz vor Frosteinwirkung [1]. Bei besonderen Anforderungen wird diese Tragschicht aktuell mit Geokunststoffen

unterstützt. Neben tiefgehenden Sanierungsmethoden bildet die Einbringung von Tragschichten mit oder ohne Geokunststoffen eine kostengünstigere Alternative und zeigt bewährte Ergebnisse.

## Untergrundsanierung zahlt sich aus

Der Ausspruch „wie man sich bettet so liegt man“ beschreibt den Zusammenhang zwischen dem Unterbau und dem darüber liegenden Fahrweg wohl am prägnantesten. Der Gutmütigkeit des Gesamtsystems Eisenbahn ist es zu verdanken, dass die Bedeutung eines ausreichend dimensionierten Unterbaus von Zeit zu Zeit noch unterschätzt wird. Probleme im Bereich des Unterbaus entstehen erst nach Jahren bzw. lassen sich vielfach erst dann an ihren Auswirkungen an der Oberfläche erkennen. Umso verheerender sind schlussendlich aber ihre Konsequenzen auf die Verfügbarkeit der Anlage, da oftmals bereits eine nachhaltige irreversible Schädigung des Gesamtsystems eingetreten ist.

Die Art der auftretenden Schadensfälle ist unterschiedlich. Sie reicht von klassischen Frosthebungen über Tragfähigkeitsschäden bis hin zu Kontakterosion [2]. Ihnen allen

gemeinsam sind jedoch der rapide Anstieg des notwendigen Instandhaltungsaufwands und eine Reduktion der Nutzungsdauer. Die Auswirkungen der Unterbauprobleme auf das Gesamtsystem demonstrieren die tragende Rolle des Bauwerksfundaments für den Anlagenzustand. Dieser Zusammenhang lässt sich beispielhaft anhand der Konsequenzen von Feinteilen aus dem Unterbau beschreiben. Diese treten aus dem Unterbau in das Schotterbett ein und reduzieren die Elastizität des Gesamtsystems. Als Konsequenz der fortschreitenden Versteifung des Schotterbetts ist es dem System nicht mehr möglich, auftretende Spannungen zu kompensieren. Die daraus resultierende Überbeanspruchung des Systems mündet in einem Verschleiß einzelner Komponenten und schlussendlich im Teilversagen dieser (s. Abb. 1).

Neben einer technischen Begründung für eine Maßnahme wird oftmals die Darstellung ihrer finanziellen Auswirkungen auf die Lebenszykluskosten der Anlage gefordert. Schließlich führen einzelne Planumsverbesserungsmaßnahmen zu nicht negierbaren Mehrkosten im Rahmen einer Gleisbaustelle. Zahlreiche Studien beschäftigten sich



**Abb. 1:** Typischer Längsschnitt eines Streckenabschnitts mit fortgeschrittenen Untergrundproblemen

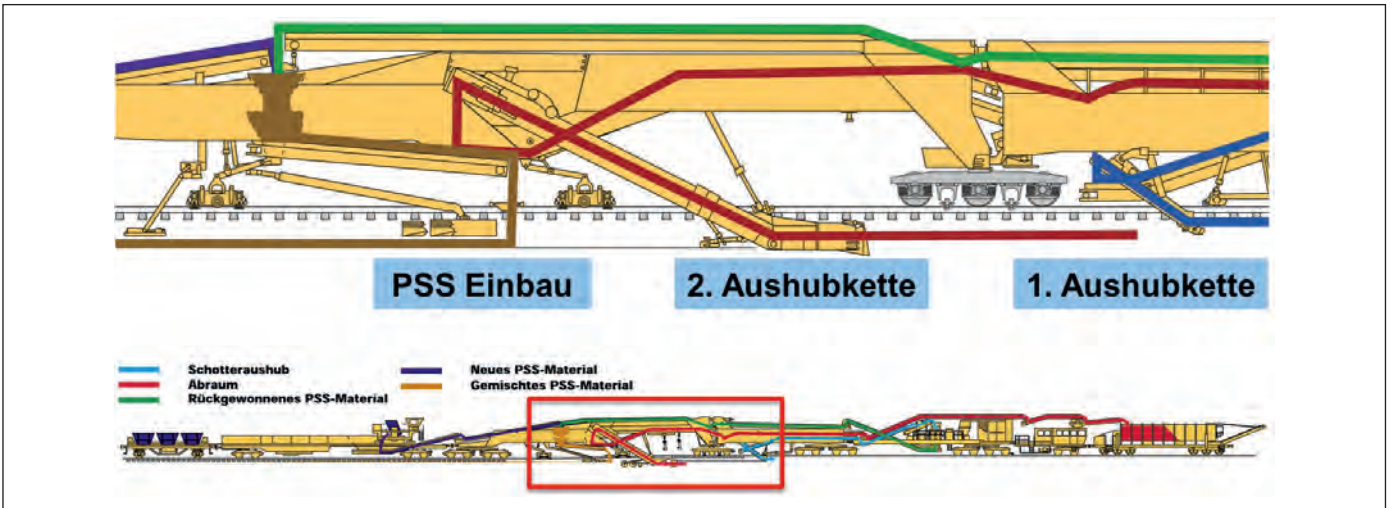


Abb. 2: Schematische Darstellung der Planumssanierungsmaschine AHM 800 R

mit dieser Thematik und abhängig von den resultierenden Kosten, Streckenarten, Berechnungsmöglichkeiten etc. führten diese zu unterschiedlichen Ergebnissen. Im Durchschnitt ergeben sich für den Infrastrukturbetreiber beim Nichtdurchführen von notwendigen Untergrundmaßnahmen mindestens zwei- bis dreimal so hohe jährliche Kosten der Anlage [3, 4, 5].

Daher ist es bei der Neulage oder dem Neubau von Streckenabschnitten unabdingbar, die historische Entwicklung des Anlagenzustands (sofern vorhanden) in Kombination mit dem geotechnischen Gutachten von Fachexperten für die Planung heranzuziehen. Nur diese Betrachtung erlaubt es zu bewerten, ob für die nachhaltige Nutzung der Infrastrukturanlage eine Planumssanierung notwendig ist oder nicht.

**Flexibel im Einsatz – Prozesssicher in der Umsetzung**

Bereits 1984 hat Plasser & Theurer mit der Entwicklung der PM 200 erste Versuche unternommen, die Verbesserung des Planums gleisgebunden in Fließbandtechnik durchzuführen [6]. Die ursprünglichen Planumssanierungsmaschinen konzentrierten sich auf den Ein- und Ausbau der Materialien. Sie boten nicht die Möglichkeit, das bestehende Ma-

terial aufzubereiten und wieder einzubauen. Eine Aufbereitung des bestehenden Oberbauschotter konnte erst mit der Entwicklung der AHM 800 R erfolgreich in das bestehende Maschinenkonzept integriert werden. Die AHM 800 R gilt damit als erfolgreicher Grundstein einer ganzen Serie von Planumssanierungsmaschinen und eignet sich daher dafür, die prinzipielle Funktionsweise näher zu erklären.

Die Maschine (s. Abb. 2) hebt mit Hilfe zweier Räumketten den bestehenden Oberbauschotter und den anstehenden Boden bis zu einer Höhe von 1200 mm ab Schienenoberkante aus. Der Oberbauschotter der obersten 20 bis 25 cm wird mit der ersten Kette aufgenommen. Förderbänder führen diesen anschließend in einem im vorderen Bereich der Maschine situierten Brecher zur weiteren Verarbeitung zu. Durch das Brechen des Materials auf eine Korngröße von 0 bis 35 mm ist es möglich, nach der kontrollierten Zugabe von Wasser und Neumaterial das Sand-Kies-Gemisch als Planumsschutzschicht wieder einzubringen. Vor diesem Einbau wird das übrig gebliebene restliche Bettungsmaterial mit der zweiten Räumkette ausgebaut und der anstehende Boden mit Hilfe der Glätteinrichtung für den nachfolgenden Einbau abgezogen. Das aufbereitete Material der Planumsschutzschicht

wird unter dem Gleisrost gleichmäßig verteilt und über sechs nachlaufende Rüttelplatten verdichtet. Auf dem fertig verdichteten Planumsmaterial wird der Gleisrost abgelegt. Neben dem Einbau der Schutzschicht ist es möglich, diese über die synchrone Verlegung von Geokunststoffen zusätzlich zu verstärken. In Zusammenarbeit mit Bauunternehmer und Eisenbahninfrastrukturbetreibern haben sich in den letzten Jahren unterschiedliche Maschinenkonzepte ergeben, die auf die individuellen Ansprüche der einzelnen Beteiligten perfekt abgestimmt wurden. Trotz der hohen Flexibilität der Maschinen hinsichtlich unterschiedlicher Einsatzparameter lassen sich diese anhand der Verfahren in folgende Gruppen unterscheiden:

- Verfahren mit Aufarbeitung des Aushubmaterials als Schutzschicht,
- Verfahren mit Aufarbeitung des Materials als Gleisschotter,

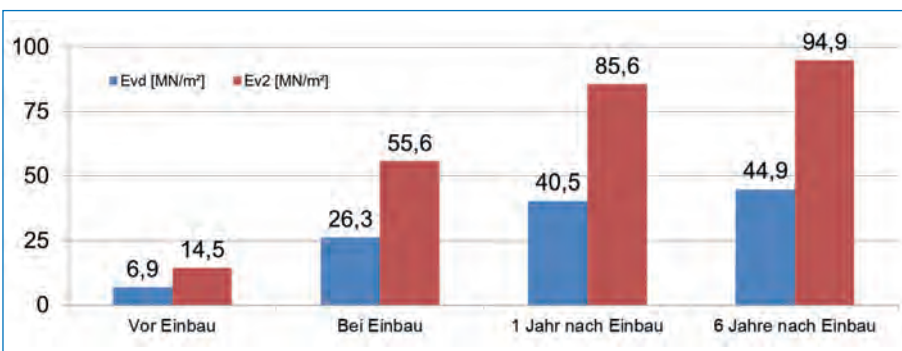


Abb. 3: Zeitliche Entwicklung der Tragfähigkeit nach dem Einbau einer Planumsschutzschicht [1]

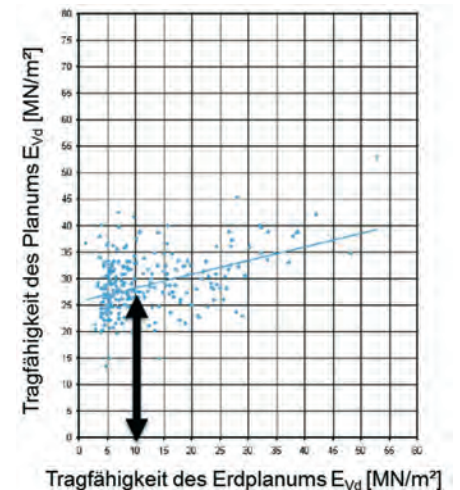


Abb. 4: Veränderung des dynamischen Veformungsmoduls nach dem Einbau einer Planumsschutzschicht [4]

- Kombinierte Unterbausanierungs- und Bettungsreinigungsmaschinen
- Verfahren ohne Materialaufbereitung.

Mit der PM 1000 URM wurde in der Entwicklung der bis jetzt letzte Schritt gesetzt. Mit den drei Aushubketten und einer Schotterwaschanlage ermöglicht die Maschine eine weitere Leistungssteigerung: eine noch bessere Anpassung an streuende Ausgangssituationen und eine massive Erhöhung der Nachhaltigkeit der Maßnahme. So unterschiedlich sich jede Maschine auch in einzelnen Attributen darstellt, so geschlossen repräsentieren sie gesamt die Vorteile des gleisgebundenen Einbauverfahrens. Die maschinenseitige Materialdisposition gestattet es, die Gleisbaustelle ausschließlich auf dem Baugleis abzuwickeln. Dies beeinflusst die benachbarten Gleisanlagen minimal und erhöht dadurch die Verfügbarkeit der Anlage. Die hohen Leistungswerte der Maschinen reduzieren außerdem die geplanten Sperrpausen und minimieren somit die Auswirkungen für den Bahnkunden. Der Regelprozess erlaubt eine kontinuierliche Überwachung des Gesamtprozesses. Die Maschine zeichnet einzelne Parameter, wie Aushubtiefe, Querneigung, Tragschichtstärke etc., für eine kontinuierliche Qualitätssicherung auf. Über die Kombination mit begleitenden geotechnischen Prüfungen erlaubt dies eine Kontrolle der Einbauqualität und garantiert so die Zuverlässigkeit der Maßnahme.

Die Grundvoraussetzung für die hohen Leistungen ist eine sorgfältige Planung der Baustelle im Vorfeld. Sie bildet die Grundlage für einen optimalen Materialkreislauf. Die Wiederverwendung des Oberbauschotters erspart dem Eisenbahninfrastrukturunternehmer unnötige Kosten für Transport, Deponie und Neumaterial. Ein wirtschaftlicher Vorteil, der sich über die Erstellung von Ökobilanzen eindeutig darstellen lässt [7].

#### Von der klassischen Tragfähigkeit bis zur dynamischen Stabilität

Mit dem Beginn des gleisgebundenen Einbaus von Tragschichten wurden in unterschiedlichen Ländern umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, die die Qualität dieser Methode überprüfen sollten. Dies war unter anderem notwendig, da durch die kontinuierliche Einbauweise der Tragschicht bekannte Prüfmethode nicht angewandt werden konnten. Dies ergibt sich aus dem Umstand, dass zum einen die angestrebte nachlaufende Messung der Verdichtungsqualität beim gleisgebundenen Verfahren aufgrund des Bauverfahrens nicht bei allen Maschinen möglich ist und zum anderen statische Plattendruckversuche aufgrund des notwendigen Zeitaufwands nicht durchgeführt werden können. Daher war es notwendig, auf den dynamischen Plattendruckversuch auszuweichen [8].

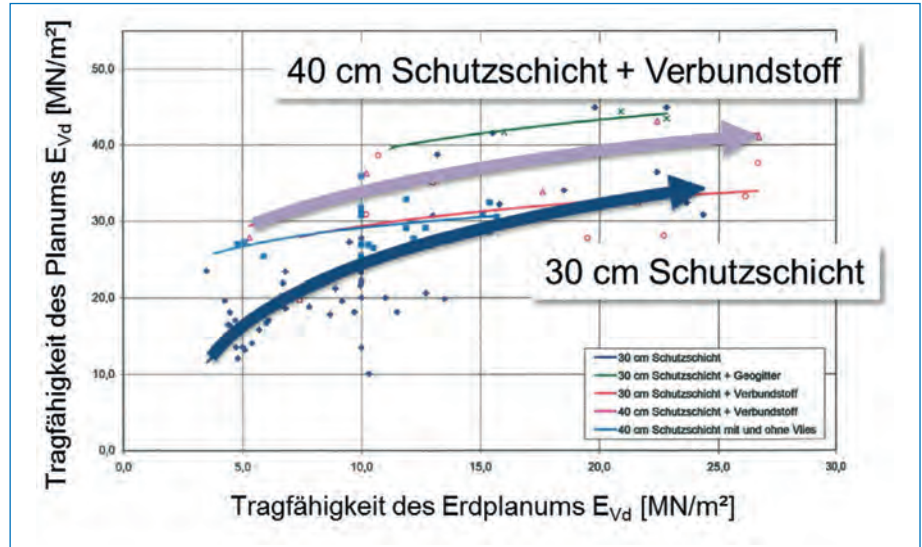


Abb. 5: Einfluss unterschiedlicher Aufbauten der Planumsschutzschicht auf das dynamische Verformungsmodul [1]

Sowohl die ÖBB als auch die DB beschäftigen sich in ausgedehnten Messkampagnen mit dem Anstieg des dynamischen Verformungsmoduls über die Zeit. Eine derartige Betrachtung war notwendig, um die Zunahme des dynamischen Verformungsmoduls

sowie den Einfluss des vorliegenden Wassergehalts bzw. der daraus resultierenden Porenwasserspannung näher zu quantifizieren. Am Beispiel der österreichischen Strecke Bruck-Fusch nach Zell am See lässt sich ein typischer Verlauf einer derartigen Entwicklung

## Überall – direkt vom Gleis

### Mikropfahl TITAN



- keine Zugangsbeschränkungen
- Schwell- und Wechsellasten
- dynamische Lasten
- Kombination mit Betonfertigteilen
- nur punktuelle Bohrungen

Weitere Infos: [www.ischebeck.de](http://www.ischebeck.de)

FRIEDR. ISCHEBECK GMBH  
Loher Str. 31-79 | DE-58256 Ennepetal

**ISCHEBECK**<sup>®</sup>  
**TITAN**

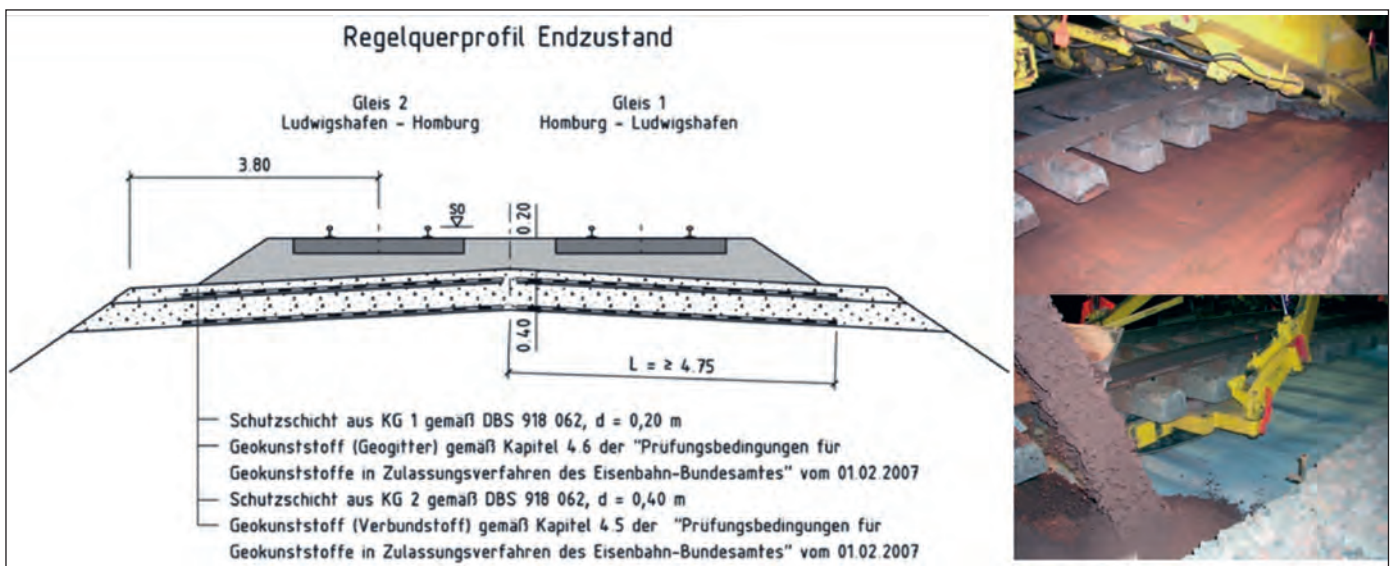


Abb. 6: Zweischichtiges Tragschichtsystem zur Gewährleistung der dynamischen Stabilität innerhalb der ABS 23 [9]

darstellen [1]. Im Jahr 1999 wurde in diesem Bereich der Unterbau von Gleis 2 mit Hilfe der AHM 800 R saniert. Über den Einbau einer 45 cm dicken mit Vliesstoff und Geogitter verstärkten Tragschicht konnte bereits kurz nach dem Einbau der vorliegende  $E_{vd}$  Wert von 6,9 MN/m<sup>2</sup> um den Faktor 4 auf 26,9 MN/m<sup>2</sup> verbessert werden. Ein positiver Trend, der sich auch ein Jahr nach dem Einbau weiter fortsetzt und sich anschließend bei einem Wert von 44,9 MN/m<sup>2</sup> konsolidiert (s. Abb. 3).

Der dargestellte Prozess der Nachverdichtung lässt sich in erster Linie auf die Austrocknung der Tragschicht und die Kornumlagerung zurückführen. Weiterführende Auswertungen [4] bestätigten den positiven Effekt von gleisgebundenen, eingebauten Tragschichten auf die Tragfähigkeit des Unterbaus. Abhängig vom Ausgangswert werden durch die Tragschicht zwei- bis fünffach höhere  $E_{vd}$ -Werte erreicht, wobei die Verbesserung bei höheren  $E_{vd}$ -Werten geringer ausgeprägt ist (s. Abb. 4). Im Mittel werden nach 2000 Tagen durchschnittlich  $E_{vd}$ -Werte von 45-50 MN/m<sup>2</sup> auf der Tragschicht erreicht.

Zu vergleichbaren Ergebnissen führte die Untersuchung von 13 Baustellen der Planumsverbesserungsmaschine RPM 2002 [1]. Die Auswertung zielte darauf ab, den Einfluss unterschiedlicher Aufbauten mit Geokunststoffen auf die Werte der Tragfähigkeit zu beschreiben. Bereits nach dem Einbau konnte eine Ertüchtigung deutlich nachgewiesen werden. Der festgestellte Verbesserungsfaktor von 3 bis 4 beim Einbau von Tragschichten ohne Verbundstoffe lässt sich auch bei dieser Untersuchung wiedererkennen (s. Abb. 5). Darüber hinaus ergibt sich bei einem EV2-Wert zwischen 10 und 30 MN/m<sup>2</sup> die Option beim ordnungsgemäßen Einbau eines Geokunststoffes, die Dicke der Planumsschutzschicht um den Faktor 0,75 zu reduzieren.

Im Zuge des Anstiegs der Geschwindigkeiten auf über 200 km/h gewann die dynamische Stabilität des Unterbaus zunehmend an Bedeutung. Wie das nachfolgende Beispiel [9] zeigt, finden gleisgebundene Verfahren ihre Anwendung nicht nur im Bereich der klassischen Tragfähigkeit, sondern bergen auch in der Ertüchtigung der dynamischen Gebrauchstauglichkeit ungeahnte Möglichkeiten. Auf der Verbindung von Paris – Ostfrankreich – Südwestdeutschland sollte die bisherige Geschwindigkeit von 160 km/h auf 200 km/h angehoben werden. Bei näherer Untersuchung des Untergrunds wurde festgestellt, dass in einem Teilbereich eine gleisnahe Torfschicht tiefgreifende Ertüchtigungsmaßnahmen notwendig machen würde. Die dynamische Gebrauchstauglichkeit wäre trotz des aktuellen Verformungsmoduls von  $E_{vd}$  25-30 MN/m<sup>2</sup> bei einem Anheben der Geschwindigkeit nicht mehr gegeben. Eine Detailuntersuchung ergab ein verstärktes zweiteiliges Tragschichtsystem als mögliche alternative Gründungsgestaltung (s. Abb. 6). Der Einsatz eines zweischichtigen Systems in Kombination mit der Anpassung der Oberbaukonstruktion verdeutlicht nicht nur das Potenzial derartiger ganzheitlicher Systemansätze, sondern ermöglichte auch den Einsatz von leistungsfähigen gleisgebundenen Maschinen. Im ersten Schritt der Maßnahme wurde das bestehende Schotterbett und die bereits vorhandene Schutzschicht mit einer Bettungsreinigungsmaschine des Typs RM 900 ausgebaut. Im Anschluss daran wurde das zweiteilige Tragschichtsystem schrittweise mit der SVV 100 hergestellt. Nach der erfolgreich durchgeführten Maßnahme konnten Messungen im System die Prognoseberechnungen bestätigen. Der Erfolg der getätigten Maßnahme wurde dadurch nachgewiesen. Die umgesetzten Baukosten des aufwendigen Tragschichtsystems betragen lediglich 40% der Kosten der ursprünglich geplanten tiefgreifenden

Ertüchtigungsmaßnahme, wodurch trotz der aufwendigen Nachweisführung eine Kosteneinsparung erzielt wurde. ■

#### QUELLEN

- [1] Lieberenz, K.; Piereder, F.: Entwicklung von Schutzschichten mit Geokunststoffen, in: EIK – Eisenbahn Ingenieure Kalender, 2013, S. 252
- [2] Göbel, C.; Lieberenz, K.: Handbuch Erdbauwerke der Bahnen, DVV Media Group GmbH | Eurailpress, 2013
- [3] Wenty, R.; Schreiner, H.: Rehabbing subgrade with track in place, in: Railway Track & Structures, 2005
- [4] Auer, F.; Zuzic, M.; Schilder, R.; Breyman, H.: 13 Jahre Erfahrung mit der gleisgebundenen Untergrundsanierung im Netz der ÖBB, in: ETR – Eisenbahntechnische Rundschau, 2007, S. 817
- [5] Veit, P.: Sanierung, Instandsetzung und Neubau im Lebenszyklus, iaf Kongress BahnBau, 2011
- [6] Schilder, R.; Piereder, F.: Planumsverbesserung mit der Aushubmaschine AHM 800-R, in: ETR – Eisenbahntechnische Rundschau, 2000, S. 577
- [7] Klügel, S.; Lieberenz, K.: Erste Untersuchungen zu Ökobilanzen bei der Unterbausanierung, in: EI – Der Eisenbahningenieur, 2015, S. 20
- [8] Göbel, C.; Großmann, S.; Fischer, R.: Qualitätssicherung gleisgebunden eingebauter Schutzschichten, in: EI – DER EISENBAHNINGENIEUR, 2008, S. 9
- [9] Fischer, R.; Kipper, R.; Moede, M.; Mortag, M.; Wegener, D.: Untergrundertüchtigung eines Streckenabschnitts über Weichschicht, in: EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 2009, S. 29



#### Dr. Fabian Hansmann

Senior Expert Track Technology  
Strategisches Marketing,  
Plasser & Theurer  
export@plassertheurer.com