

Versuche zur Schienentemperatur und deren Reduktion

Erkenntnisse über die maximal zu erwartende Schienentemperatur sowie deren Beeinflussung durch Farbe oder das Abschirmen mit Schienenstegabschirmungen

HERMANN PATRICK BRAESS |
GÜNTHER KOLLER

Kenntnis über die maximal mögliche Schienentemperatur ist relevant für die Dimensionierung des Oberbaus und die Sicherstellung der Gleislagestabilität. In diesem Forschungsbeitrag wird dargelegt, welchen Einfluss der Kalendertag, die Exposition, die Farbe sowie die Verschattung der Schiene auf die Temperatur haben. Dank der Versuche kann nun gut abgeschätzt werden, welche Temperatur im Jahresverlauf bei vergleichbaren Verhältnissen maximal erreicht werden kann. Schienen mit südwestlicher Exposition haben die höchste thermische Belastung, welche durch eine weiße Lackierung merklich reduziert werden kann. Auch eine Verschattung der Schienen mit Schienenstegabschirmungen (SSA) hat einen ähnlichen Effekt wie die direkte weiße Lackierung der Schienen.

Einleitung

Im lückenlos verschweißten Gleis (LVG) führt die thermische Belastung durch Konvektion und Sonneneinstrahlung zu Schienenlängsspannungen, welche durch die fehlenden Stoßlücken nicht abgebaut werden können. Insbesondere die Druckkräfte, die im Sommer entstehen, können zu Gleislageveränderungen führen, welche im Falle von Gleisverdrückungen (seitliche Verschiebung des Gleises < 5 cm) zu ungeplanten Unterhaltseinsätzen führen, im Falle von Gleisverwerfungen (seitliche Verschiebung > 5 cm) sogar ein Sicherheitsrisiko darstellen.

Ob durch den Klimawandel erheblich höhere Schienentemperaturen zu erwarten sind, ist zu diskutieren. Nichtsdestotrotz wurde kürzlich bei der Neuauflage des Schweizer Regelwerkes für das lückenlos verschweißte Gleis (RTE 22041) die anzunehmende maximale Temperatur von 60 auf 65°C erhöht [1]. Einen größeren Einfluss auf die Schienentemperatur hat der Klimawandel wahrscheinlich eher indirekt: Um Sturmschäden zu verringern, schneiden die Bahnen die angrenzende Vegetation weiter zurück, auch fallen einige Bäume Schädlingen zum Opfer. Dadurch werden plötzlich Gleisabschnitte besonnt, welche vorher ein Schattendasein führten.

Die Effektivität einer weißen Lackierung der Schienen zur Reduktion der Schienentemperatur wurde bereits in mehreren Forschungsarbeiten nachgewiesen [3, 4]. Die Bahnen der DACH-Länder führen derzeit verschiedene Feldversuche durch, und in Südländern wie Spanien und Italien sind weiß lackierte Schienen bereits seit langem üblich. In den Versuchen für diesen Forschungsbeitrags wurde der Fokus auf weitere Aspekte gelegt, welche einen Einfluss auf die Schienentemperatur haben. Zuerst sollte eine Formel entwickelt werden, mit der abhängig vom Kalendertag die maximal mögliche Schienentemperatur prognostiziert werden kann. Parallel wurde der Einfluss der Schienenfarbe verifiziert sowie der Einfluss der Schienenexposition eruiert. Auch wurde überprüft, wie sich die Verwendung von SSA auf die maximale Schienentemperatur auswirkt. Im Unterschied zu Schienenstegdämpfern reduzieren SSA nicht die Resonanz der Schienen, sondern fungieren quasi als Minilärmschutzwand am Schallemissionsort. Sie umhüllen den Schienenfuß und -steg und schirmen ihn dadurch gegen Sonneneinstrahlung ab. Nach [6] reduzieren sie den von den Schienen ausgehenden Schall ca. 50% wirksamer als SSA.

Messaufbau

Die Versuche erfolgten auf dem Dach der ETH Zürich (Hönggerberg) in den Jahren 2016 und 2017. Vier Schienenstücke à 1,20 m Länge wurden im Labor mit Temperaturfühlern jeweils in Schienenmitte am Schienensteg sowie an der Unterseite des Schienenfußes bestückt. Zusätzlich wurden in 2 m Höhe die Lufttemperatur sowie -feuchte gemessen. Die Schienentemperaturen wurden zwei Jahre lang bei verschiedenen Expositionen gemessen. Die Messwerte wurden alle 60 Sekunden aufgezeichnet. Durch die Nähe des Messstandorts zu den Büroräumlichkeiten konnten die Messungen gut überwacht und konnte die Messkonfiguration bei Bedarf kurzfristig modifiziert werden.

Schienentemperatur

Die gemessenen Extremwerte wurden ergänzt mit Messdaten von anderen Standorten sowie Werten aus der Literatur [3, 4, 7]. Über diese Punkte wurde eine Sinuskurve gelegt, welche die maximal möglichen Temperaturen je Kalendertag beschreibt (Abb. 1). Die Kurve ist eine Hüllkurve und stellt keine Regression der maximal gemessenen Werte dar. Die maximal möglichen Temperaturen je Kalendertag können so abgelesen oder mit der folgenden For-

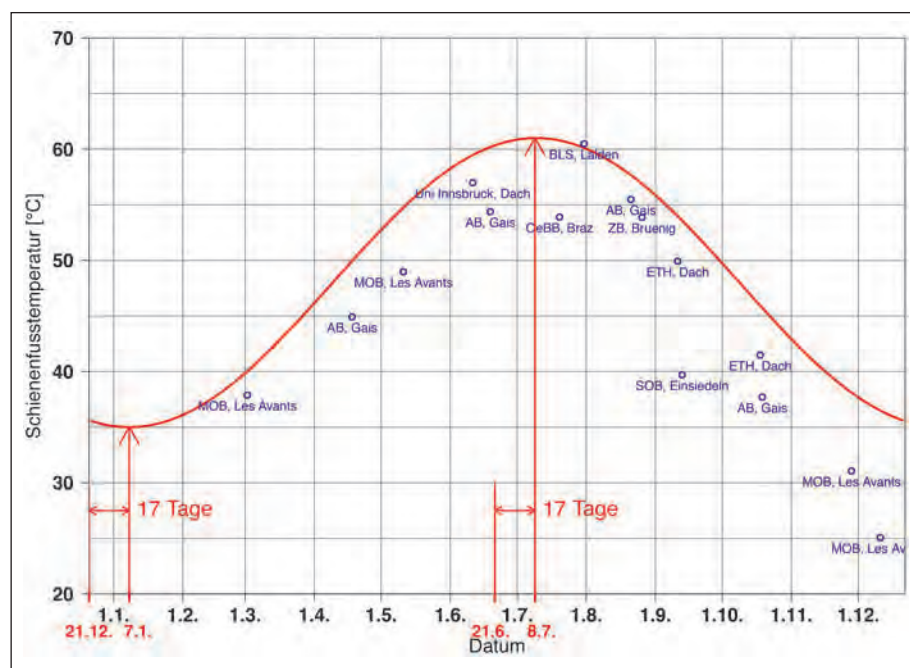


Abb. 1: Maximal mögliche Temperatur am Schienenfuß [2]



Abb. 2: Aufbau Schientemperaturmessungen (v. l. n. r. SSO, SSW, OSO) [2]

mel berechnet werden, natürlich unter dem Vorbehalt vergleichbarer Verhältnisse (d : Anzahl Tage im Jahr ab 7. Januar):

$$T_{s,max} = 48 - 13 \cdot \cos\left(\frac{d \cdot 2\pi}{365}\right)$$

Die Sinuskurve ist gegenüber dem Zeitpunkt der Wintersonnenwende um 17 Tage phasenverschoben, d. h. die niedrigste Tagesmaximaltemperatur ergibt sich am 7. Januar und nicht am 21. Dezember. Auch die höchste Maximaltemperatur ist nach diesem Modell am 8. Juli, 17 Tage nach der Sommersonnenwende. Dies

liegt daran, dass die maximale Lufttemperatur um rund 34 Tage gegenüber dem Lauf der Sonne verschoben ist [5]. Da sich die Schientemperatur aus der maximalen Einstrahlung (21. Juni) sowie der maximalen Lufttemperatur (je nach Standort um den 25. Juli) ergibt, wurde die Verschiebung genau hälftig (17 Tage) angesetzt, was gut mit den gemessenen Werten korrespondiert.

Die Schienenfußtemperatur stellt nicht die maximale Temperatur dar, welche an einer Schiene gemessen werden kann (in Abb. 1 wurde der Höchstwert bei der BLS am Schienenkopf gemessen). Sie ist jedoch mit einem speziellen Thermometer, welches am Schienenfuß verspannt wird, in situ am einfachsten zu messen. Des Weiteren kann man davon ausgehen, dass die gemessene Schienenfußtemperatur vollumfänglich als Schienenlängsspannung wirkt. Lokale Temperaturmaxima am Schienenkopf bzw. Temperaturgradienten innerhalb des Schienenprofils führen hingegen zu inneren Spannungen im Schienenquerschnitt. Das maximale Delta zwischen Luft- sowie Schienenfußtemperatur betrug im gesamten Messzeitraum rund 21°C.

Die wichtigste Erkenntnis ist, dass ungefähr ein halbes Jahr, zwischen Mitte April und Ende September, das Gleis bei entsprechenden Randbedingungen 50°C oder wärmer werden kann. Gleisbauarbeiten werden jedoch größtenteils innerhalb dieses Zeitraums terminiert, sodass davon ausgegangen werden muss, dass der Oberbau unter ungünstigen Umständen keine

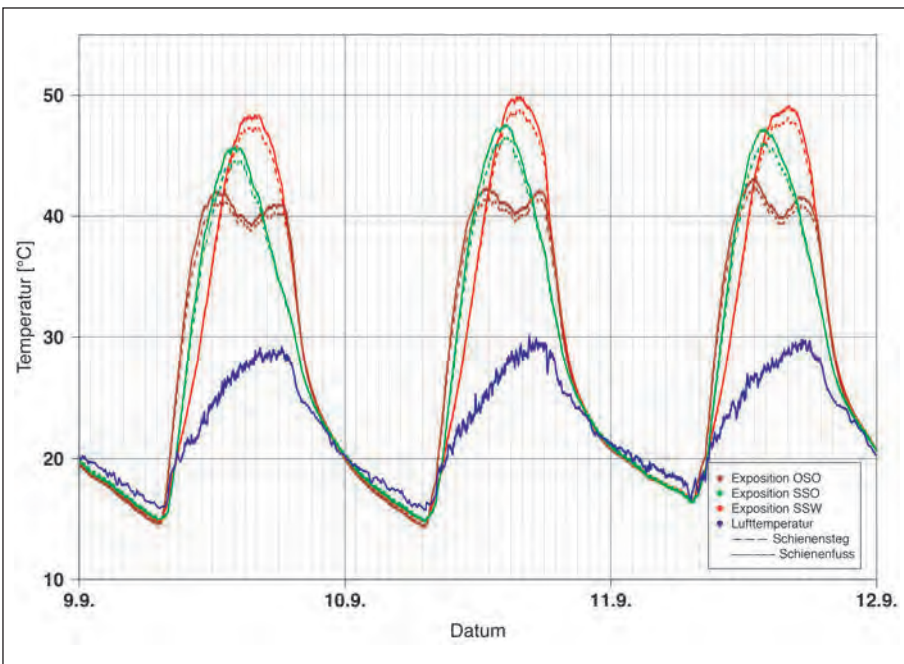


Abb. 3: Einfluss der Exposition auf die Schientemperatur [2]

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für koocoo technology & consulting GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

Zeit hat zu konsolidieren, bevor er einer hohen thermischen Belastung ausgesetzt ist. Dies erhöht das Risiko einer Gleisverdrückung oder -verwerfung nach Baumaßnahmen erheblich.

Exposition

Bei den Messungen sollte überprüft werden, welchen Einfluss die Exposition auf die Schientemperatur hat. Aus diesem Grund wurden drei Schienenstücke in der theoretischen Gleisachse rechtwinklig zu den Expositionen Süd-Süd-West (SSW), Süd-Süd-Ost (SSO) sowie Ost-Süd-Ost (OSO) ausgerichtet (Abb. 2). Auch eine weiß lackierte Schiene wurde SSW exponiert. Abb. 3 zeigt den Temperaturverlauf der drei Schienenstücke und den Einfluss der Exposition. Die maximalen Temperaturen bei Schienen mit OSO-Exposition (in braun dargestellt) liegen rund 5°C unter denen mit SSO-Exposition. Schienen mit SSW-Exposition werden nochmal rund 2,5°C wärmer. Dies hängt damit zusammen, dass die Sonne am Nachmittag hier genau rechtwinklig auf die

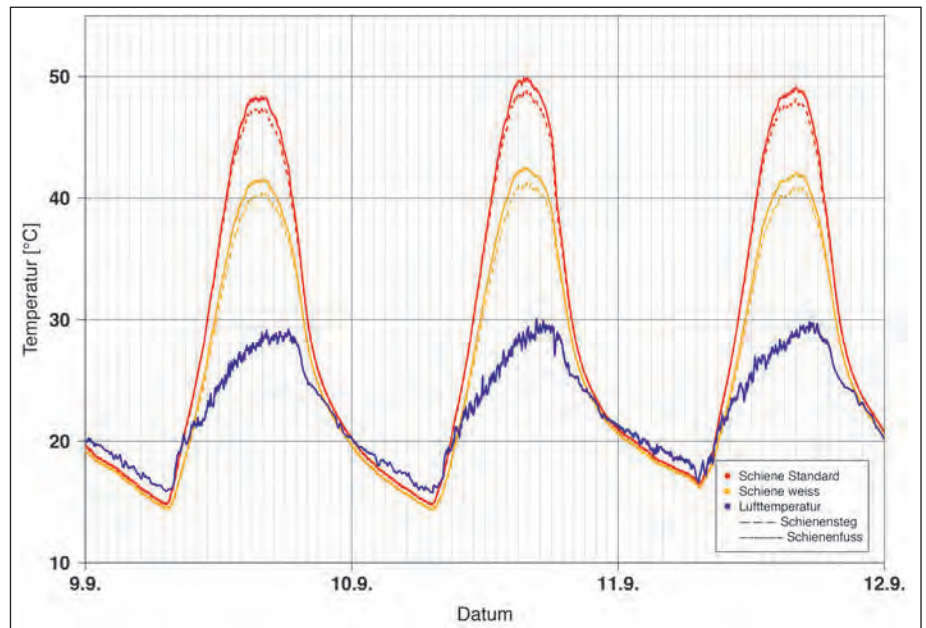


Abb. 4: Einfluss weißer Farbe auf die Schientemperatur [2]

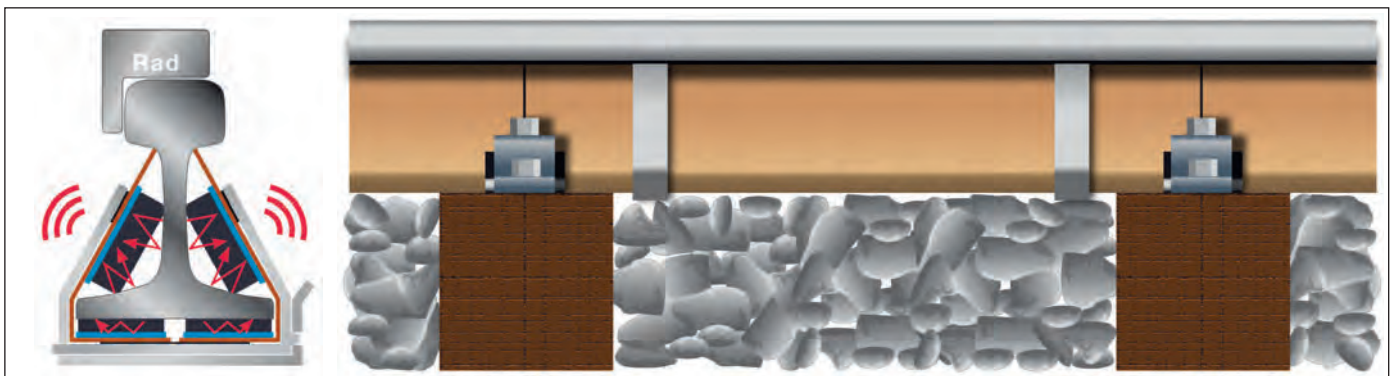


Abb. 5: Querschnitt und Ansicht Calmmoon Rail SSA

Quelle: koocoo technology & consulting GmbH



Abb. 6: Versuchsaufbau zur Messung der Schientemperatur [2]

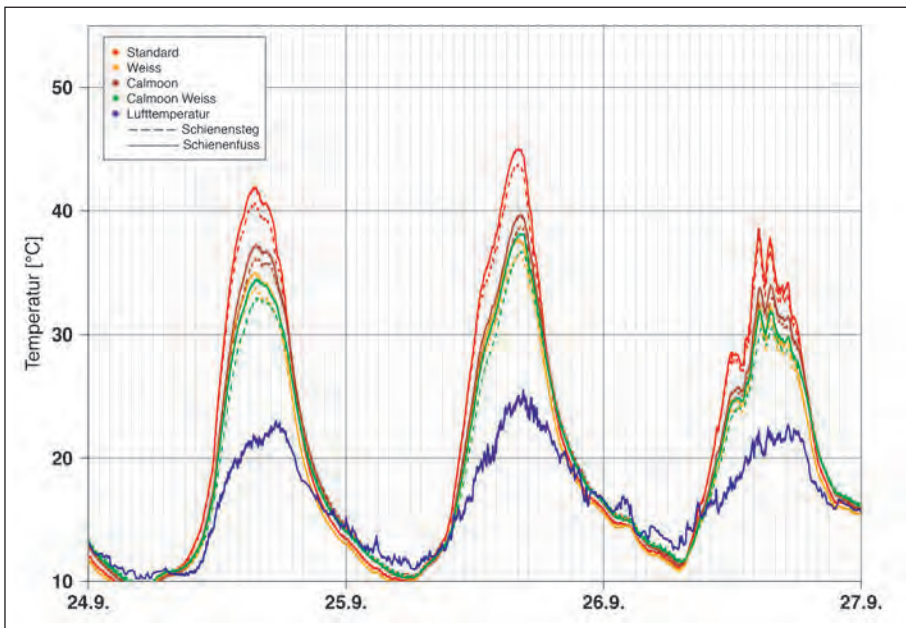


Abb. 7: Einfluss der Calmoon Rail SSA auf die Schienentemperatur [2]

Schienen scheint und sie über den Tagesverlauf mehr Zeit hat, die Schiene zu erwärmen. Auch steht die Sonne am Nachmittag tiefer, sodass auch in vertikaler Richtung eine größere Angriffsfläche besteht. Über Mittag beschattet der Schienenkopf in den Sommermonaten seinen eigenen Schienensteg. Die Schienentemperatur wurde je Schiene am Steg auf der sonnenabgewandten Seite sowie auf der Unterseite des Schienenfußes gemessen. Die Schienenfußtemperatur ist dabei stets marginal niedriger, was sich gut

mit der größeren zu erwärmenden Masse des Fußes gegenüber dem Steg erklären lässt. Es zeigt sich also, dass die Exposition einen erheblichen Einfluss auf die Schienentemperatur hat. Natürlich kann deswegen nun nicht die Trassierung angepasst werden, jedoch verdeutlichen diese Messungen, dass es von großer Relevanz ist, an welcher Stelle z. B. im Gleis die Temperatur gemessen wird. Bei weiteren hier nicht aufgeführten Versuchen wurde festgestellt, dass um die Sommersonnenwende herum die höchst-

ten Schienentemperaturen sogar bei WSW-Exposition auftreten, also in fast westlicher Richtung [2]. Bisher wurde oft davon ausgegangen, dass die höchsten Temperaturen bei südlicher Exposition auftreten.

Farbe

In Italien und Spanien werden die Schienen weiß lackiert, um die Reflexion der Schienenoberfläche zu erhöhen. In diesem Versuch wurde die Schiene mit handelsüblichem Heizkörperlack eingesprüht. Die Oberfläche wurde nicht vorbehandelt, um ähnliche Bedingungen zu erhalten wie im Gleis. Auch wurde die Farbe in nur einem Durchgang aufgespritzt, sodass die Lackierung absichtlich nicht perfekt deckend ist. Nach Abschluss der Messkampagnen, in denen das Schienenstück zwei Jahre der Witterung ausgesetzt war, zeigten sich noch keine Korrosionsstellen.

Abb. 4 zeigt den Einfluss der weißen Farbe bei gleicher Schienenexposition (in diesem Fall SSW). Die maximale Schienentemperatur liegt um ca. 7,5°C niedriger als bei natürlicher Schienenoberfläche. Auch Pospischil [3] hat den Einfluss der Farbe auf die Schienentemperaturen gemessen und konnte sogar eine Reduktion um 10°C bei weiß lackierten Schienen feststellen. Diese waren jedoch zweifach lackiert, sodass sich die höheren Werte gut erklären lassen im Vergleich zu den einfach lackierten Schienen in den Versuchen an der ETH Zürich.

Die Lackierung der Schiene im Gleis ist mit überschaubarem Aufwand und Kosten verbunden. Durch Staub und Bremsabrieb wird



Abb. 8: Weiße Calmoon Rail SSA

Quelle: Hermann Patrick Braess

die Schiene zwar im Lauf der Zeit verschmutzt und verliert die reflektierenden Eigenschaften, jedoch überdauert die Lackierung bei Applikation im Frühjahr die klimatisch relevanten Monate. Es muss beachtet werden, dass die Schienenspannungen abhängig sind von der Temperaturdifferenz zwischen Neutraltemperatur und Schiene. Bei einer Neutraltemperatur von z. B. 25°C sowie einem Schienentemperaturmaximum von 55°C bedeutet eine Senkung um 7,5°C bereits eine Reduktion der Längsdruckspannungen um 25 %. Dieser Betrag ist erheblich, vor allem in Hinblick auf die einfache Umsetzbarkeit dieser Maßnahme.

Schienenstegabschirmung

In einem weiteren Versuch wurde untersucht, welchen Einfluss eine lokale Verschattung des Schienenstegs und -fußes hat und welche Ergebnisse erzielt werden können im Vergleich zu einer weißen Lackierung der Schiene. Dazu wurden Calmmoon Rail SSA verwendet, welche bereits als Lärmreduktionsmaßnahme üblich sind (Abb. 5). Verglichen wurden die folgenden Konfigurationen:

- eine naturbelassene Schiene
- eine weiß lackierte Schiene
- eine Schiene mit den standardmäßig braunen Calmmoon-Elementen
- eine Schiene mit einlagig weiß lackierten Calmmoon-Elementen.

Alle Schienen wurden in SSW-Richtung exponiert.

Die SSA reduziert die maximalen Schienentemperaturen (Abb. 6, 7). So liegt die Temperaturdifferenz z. B. beim Tagestemperaturmaximum am 25. September 2016 um 16 Uhr bei rund 5,5°C. Die einfach weiß lackierten SSA senken die maximale Temperatur sogar um ca. 7°C.

Die SSA blockiert die direkte Wärmestrahlung auf Schienensteg und -fuß, es kommt jedoch zu einer eingeschränkteren Temperaturabgabe durch Konvektion, da die Wärme unter den Calmmoon Rail-Elementen weniger zirkuliert als ohne. Eine Perforation der Elemente würde eventuell Abhilfe schaffen, jedoch die eigentliche Funktion der Lärmreduktion konterkarieren. Die hier vorgestellten Ergebnisse hat der Hersteller zum Anlass genommen, dass ab sofort die SSA auf Kundenwunsch auch in weißer Farbe geliefert werden können (Abb. 8).

Synthese

Bei direkter Sonneneinstrahlung und sehr heißen Tagen kann die Schienentemperatur auf knapp über 60°C steigen. Dieser Wert ist durch die Anpassung des Regelwerks in der Schweiz auf eine maximal mögliche Temperatur von 65°C abgedeckt. Von wesentlich größerer Relevanz für die Praxis ist jedoch die Erkenntnis, dass die maximalen Schienentemperaturen in einem Zeitraum von fast einem halben Jahr auf über 50°C steigen können. Von Mitte April bis Ende September ist mit Schienentemperaturen zu rechnen, wel-

che zu erheblichen thermischen Belastungen führen können.

Die maximale Schienentemperatur kann durch eine weiße Lackierung um ca. 7,5°C gesenkt werden, was eine Spannungsreduktion von 25 % und mehr bedeutet. Insbesondere die Höchstwerte, welche nur an wenigen Tagen im Jahr erreicht werden, können so gebrochen werden. Eine Temperaturreduktion kann auch durch die lokale Verschattung des Schienensteges mit Calmmoon Rail SSA-Elementen erzielt werden, welche die Schienentemperatur um bis zu 7°C reduzieren.

Um das Risiko von Gleisdeformationen nach Baumaßnahmen zu reduzieren wäre es sinnvoll, dass die Schienen nach Fertigstellung des Gleises in der „heißen“ Phase weiß lackiert werden. Der Aufwand und die Kosten sind minimal, da der Bautrupp ja ohnehin bereits vor Ort ist. So kann das Gleis konsolidieren, ohne hohen Druckkräften ausgesetzt zu sein. ■

QUELLEN

[1] RTE 22041 (2020): Lückenlose und verlaschte Gleise und Weichen, Verband öffentlicher Verkehr, Bern

[2] Braess, H. P. (2018): Sicherstellung einer langfristig guten Gleislage in atmenenden Bögen, Dissertation, IVT, ETH Zürich

[3] Pospischil, F. (2015): Längsverschweißtes Gleis im engen Bogen – Eine Betrachtung der Gleislagestabilität, Dissertation, Schriftenreihe des Arbeitsbereichs Intelligente Verkehrssysteme der Universität Innsbruck; Band 1, TU Innsbruck

[4] Inglin, H.; Pingoud, P. (1979): Radial-Atmungseffekt lückenlos verschweißter Gleise in engen Kurven, ETH Zürich

[5] MeteSchweiz (2016): Klimabulletin Jahr 2016

[6] Deutsche Bahn Netze und BMVBS: Innovative Maßnahmen zum Lärm- und Erschütterungsschutz am Fahrweg, Schlussbericht 15.06.2012

[7] Bopp, B. M. (2014): Das Verhalten von lückenlos verschweißten Gleisen (LVG) in engen Radien der Meterspur, Dissertation, 21943, IVT, ETH Zürich



Dr. Hermann Patrick Braess

Fachspezialist Infrastruktur
Dr. Braess Ingenieure, CH-Zürich
patrick.braess@gmx.ch



Dr. Günther Koller

Geschäftsführer
koooco technology & consulting
GmbH, AT-Wien
guenther.koller@koooco.eu

