

Neubewertung der Gleis-Tragwerks-Interaktion einer Bestandsbrücke

Untersuchung von alternativen Oberbauausbildungen zur Einsparung von Schienenauszügen auf der Fuldataalbrücke Kragenhof (Teil 2)

SARAH PITTERS | MARC WENNER | STEFFEN MARX | HEIKO DIEHL | JIA LIU

Für die 250 m lange Kragenhöfer Talbrücke, die im Bestand über sechs Schienenauszüge verfügt, wurden in Teil 1 dieses Beitrags (EI 04/2022 [1]) das Bauwerk und die Modellbildung vorgestellt und die Bestandssituation rechnerisch untersucht. Durch die Trennung des Gleises mit drei Schienenauszügen (SA) je Gleis werden die Effekte aus der Gleis-Tragwerks-Interaktion vollständig kompensiert; die Nachweise der Schienenspannungen und die berechneten Lagerkräfte zeigten jedoch, dass Einsparpotenzial hinsichtlich der Anzahl an SA vorhanden ist. In Vorbereitung auf die Oberbauerneuerungsarbeiten auf der SFS 1733 sollte untersucht werden, ob die Interaktion zwischen Gleis und Tragwerk auch mit weniger SA nachgewiesen werden konnte. In diesem zweiten Teil des Beitrags werden unterschiedliche Alternativen untersucht sowie die Auswirkungen auf die rechnerischen Nachweise zusammengefasst. Abschließend wird die bauliche Durchbildung für die favorisierte Lösung beschrieben und eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt. Die nachfolgenden Ausführungen bauen auf den Ausführungen des Teils 1 auf.

Analyse von Alternativen

Lückenlose Gleisführung

Es wurde in einem ersten Schritt untersucht, ob eine lückenlose Gleisführung über die gesamte Bauwerkslänge möglich ist. Die Ergebnisse sind analog zum Status quo in Abb. 1 zusammengefasst. Zur Vergleichbarkeit der Schienenspannungen sind für die lü-

ckenlose Gleisführung die Spannungen aus dem Lastfall Temperaturdehnung Schiene ($\Delta\sigma = 120$ MPa) mitberücksichtigt.

Der Verlauf der zusätzlichen Schienenspannungen mit den Spitzen über den Fugen ist charakteristisch für das vorliegende System der Einfeldträgerkette. In den Achsen 1 und 5 kommt es zu einer Überschreitung der zulässigen zusätzlichen Schienenspannungen: maximale Druckspannungen $233 > 192$ MPa, maximale Zugspannungen $227 > 212$ MPa. Die Maximalwerte der Relativverschiebungen treten ebenfalls an den Fugen auf und ergeben sich in Achse 4 zu 11,4 mm. Für das lückenlose Gleis ergeben sich durch die Mitwirkung der gesamten Brücke geringere Relativverschiebungen als für den Status quo mit sechs SA.

Die Lagerkräfte in den Achsen 2 und 3 sind deutlich kleiner als im Status quo, in den Achsen 4 und 5 ergeben sich jedoch deutlich höhere Längskräfte, und in Achse 5 ergibt sich eine Überschreitung des Grenzwertes. An dieser Stelle wird deutlich, dass die SA im Status quo augenscheinlich auch zur Kompensation der hohen Lagerkräfte in den Achsen 4 und 5 eingebaut wurden.

Aufgrund der Überschreitung der zulässigen zusätzlichen Schienenspannungen und Lagerkräfte sowie der großen Relativverschiebungen wurde eine lückenlose Schieneführung für das Bauwerk ausgeschlossen.

Einbau von SA in unterschiedlichen Varianten

Es wurde in der weiteren Bearbeitung überprüft, ob bei Anordnung eines SA-Paares die Nachweise zum Längskraftabtrag eingehalten werden können. Dafür wurde jeweils ein SA je Gleis in Achse 1, Achse 2 und Achse 3 angeordnet und der Einfluss auf die Schienenspannungen und Lagerkräfte betrachtet. Weiterhin wurde auch die Anordnung eines

SA mittig auf Überbau 2 (zwischen Achse 2 und 3), im weiteren als Achse 2,5 bezeichnet, betrachtet (Abb. 2). Die Ergebnisse sind in Tab. 1 dargestellt. Es wird deutlich, dass die Schienenspannungen mit SA in Achse 1 bzw. Achse 3 den Grenzwert erreichen bzw. überschreiten. Für die Lage des SA in Achse 2 bzw. Achse 2,5 wurden anschließend detailliertere Betrachtungen durchgeführt.

Für den Fall mit SA in Achse 2 ergaben sich Überschreitungen der Lagerlängskräfte in den Achsen 3 und 5 von fast 400 kN. Aufgrund der Überschreitung wurde ebenfalls der Einbau eines weiteren SA-Paares zusätzlich zu dem SA in Achse 2 untersucht. Im Ergebnis der Rechnungen wurde deutlich, dass mit zwei SA-Paaren (Achse 2 und Achse 4) die Lagerkräfte deutlich ansteigen und in der Größenordnung von 4000 kN liegen. Die Anordnung von zwei SA-Paaren konnte damit ebenfalls ausgeschlossen werden. Nur bei der Variante mit einem SA-Paar in Überbaumitte Achse 2,5 sind sowohl die Schienenspannungen als auch die Lagerkräfte eingehalten. Diese Variante wurde favorisiert.

Favorisierte Variante mit Einbau des SA in Achse 2,5

Rechnerische Ergebnisse

In Anlehnung an den Status quo und an die lückenlose Gleisführung werden für die Variante SA_2,5 die Ergebnisse der Berechnung in Abb. 3 zusammengefasst.

Die maximalen Relativverschiebungen infolge Verkehrslasten treten im Bereich zwischen dem SA in Achse 2,5 und Achse 3 auf und betragen 13 mm, womit die Relativverschiebungen in der gleichen Größenordnung liegen wie für den aktuellen Zustand mit sechs SA. Trotz rechnerischer Überschreitung des regelwerksseitigen Grenzwerts der Relativverschiebungen von 4 mm kann durch den

	SA_A1	SA_A2	SA_A2,5	SA_A3	SA_A2_A4	lückenloses Gleis
Max Schienenspannungen [MPa]	212 / -175 100% / 91%	200 / -161 94% / 84%	198 / -174 93% / 91%	192 / -211 91% / 110%	175 / -146 82% / 69%	227 / -233 117% / 157%
Max. Lagerkraft [kN]	2469 85%	2891 (A3) / 3070 (A5) 116% / 106%	2763 95%	2601 90%	3832 132%	3127 108%

Tab. 1: Vergleich der maximalen Schienenspannungen und Lagerkräfte für unterschiedliche Lagen des SA

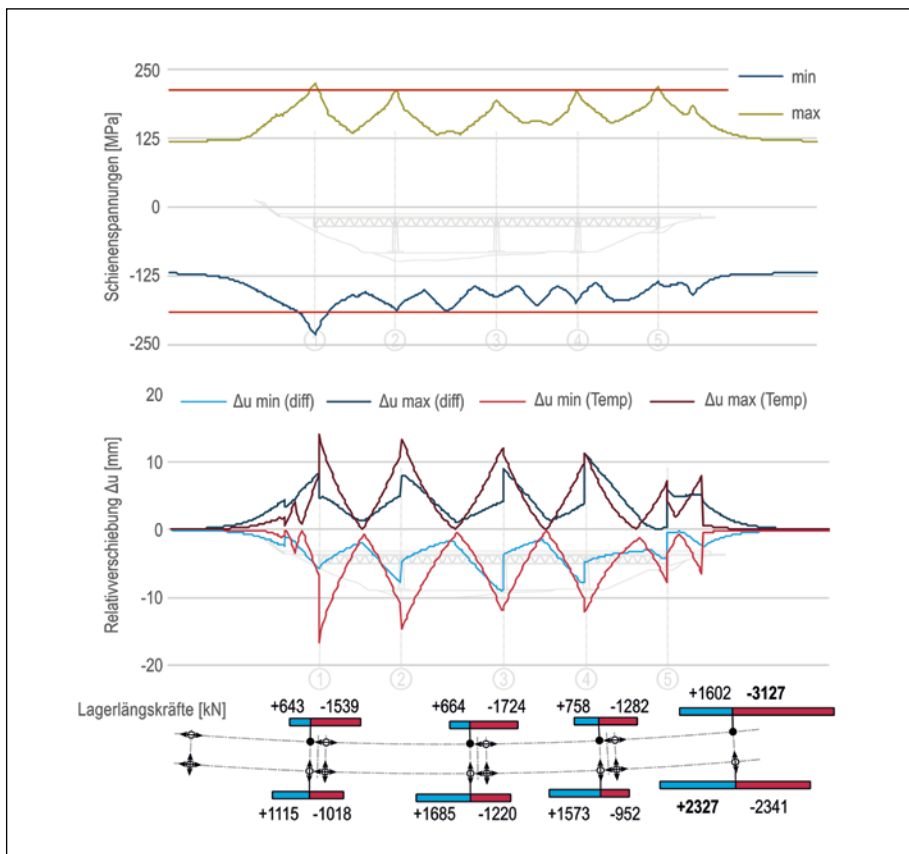


Abb. 1: Ergebnisse der Analyse für die Schienenspannungen, Relativverschiebungen und Lagerlängskräfte für den Fall der lückenlosen Gleisführung (Umhüllenden mehrerer Lastfälle)

Quelle aller Abb.: MKP GmbH

Vergleich mit dem Status quo von gleichen Randbedingungen ausgegangen werden. Die Anordnung eines SA in Feldmitte eines Überbaus ist ungewöhnlich. Nach Ril 820.2040 [5] sollen SA im Bereich von Fugen in Kombination mit einer Schotterbettrennung angeordnet werden, wobei eine alternative Position nicht ausgeschlossen wird. Die Anordnung in Feldmitte wirkt sich für das vorliegende Bauwerk positiv auf die Schienenspannungen und vor allem auf die Lagerlängskräfte aus. Längskräfte, die durch die Schienenbewegung im SA bei Temperaturdehnung der Schiene in den Überbau eingeleitet werden, heben sich durch die mittige Anordnung nahezu auf, wodurch die längsfesten Lager entlastet werden. Darüber hinaus erfolgt eine stringente geometrische Trennung der Unstetigkeiten im SA selbst und der Singularität der Übergangsfuge, was sich positiv auf die Instandhaltung und den Fahrkomfort auswirken sollte.

Die rechnerisch auftretenden Relativverformungen aus den Lastfällen Bremsen/Anfahren sind, trotz gleicher Größenordnung für den aktuellen Zustand und den Fall SA in Achse 2,5, groß. Auf dem Streckenabschnitt auf der Kragenhöfer Talbrücke finden keine planmäßigen Brems- und Anfahrvorgänge statt, wodurch dieser Parameter keine primäre Rolle im Entscheidungsprozess gespielt hat. Die maßgebende Einwirkung hinsichtlich der sich

tatsächlich einstellenden Relativverschiebungen zwischen Gleis und Tragwerk stellt demnach der Lastfall Temperatur dar. Aus diesem Grund wurden die Relativverschiebungen infolge Temperatureinwirkung ermittelt und für die beiden Systeme Status quo und SA in Feldmitte Überbau 2 verglichen. Zusätzlich wurden die relativen Fugenverformungen ermittelt (negative Fugenverformung = Schließen der Fuge).

Exemplarisch sind für den Lastfall konstante Erwärmung des Überbaus um $\Delta T_U = +30\text{ K}$ und der Schiene um $\Delta T_R = +50\text{ K}$ die Relativverschiebungen und die Fugenverformungen in Abb. 4 dargestellt. Dem Modell werden die relativen Fugenverformungen ermittelt (negative Fugenverformung = Schließen der Fuge).

Für die Lösung mit dem SA in Achse 2,5 treten diese großen Verformungen rechnerisch auf einem deutlich längeren Bereich auf als im Fall des Status quo. Dies ist dadurch zu begründen, dass der SA nicht in der Nähe der Fuge liegt, sondern in der Überbaumitte, und die thermischen Bewegungen der Schiene entgegengesetzt sind zu den thermischen Bewegungen der Brücke. Weiterhin sind in beiden Fällen große Relativverschiebungen mit großen Fugenverformungen gekoppelt. Regelwerksseitig gibt es für die Verschie-

bungen aus Temperatur keinen expliziten Nachweis bzw. Grenzwert. Da die Größenordnung der Relativverformungen in den beiden Fällen gleich ist und im Bestand keine offensichtlichen Gefügestörungen des Schotter aufgetreten sind, wurde entschieden, die Variante mit einem SA-Paar in Feldmitte Überbau 2 umzusetzen. Diese Variante wurde im Mai 2021 im Zuge der Oberbauerneuerungsarbeiten realisiert.

Die Ausbildung des Oberbaus mit kontinuierlicher Gleisführung ohne Schotterbettrennung über den Achsen 2 und 3 (siehe auch Folgeabschnitt), kombiniert mit den großen rechnerischen Relativverformungen, erfordern ein besonderes Augenmerk im Rahmen der regulären Oberbauinspektionen nach Handbuch 82101 [4]. Zusätzlich sollen zum Nachweis der Gleislagebeständigkeit mit nur einem SA Spannungs- und Verformungsmessungen vorgenommen werden.

Bauliche Durchbildung und Einstellung des SA

In den Anschlussbereichen des SA erfolgt die Ausbildung des Oberbaus nach Ril 820.2040 [5] und low 60.1836be (Abb. 5): Beidseitig werden 40 Schwellen B 93-So mit Spannklemme Skl 24SA und Schwellenabstahlhaltern eingebaut, wodurch ein verminderter Durchschubwiderstand und eine gezielte Verschiebung der Schiene in der Schienenbefestigung bewirkt werden soll. Der Bereich reicht bis etwa 7 m hinter Achse 2 bzw. vor Achse 3. Daran anschließend wird über die gesamte Brückenlänge der Oberbau W 21 K 1000-60-B 07 So verlegt. Über den Fugen wird damit der Oberbau wie bei einer lückenlosen Führung kontinuierlich und ohne Schotterbettrennung ausgebildet. Erfahrungen zeigen, dass eine Stumpf befahrung (Befahren von der Zungenschiene in Richtung der Backenschiene) von SA hinsichtlich des Instandhaltungsaufwandes Vorteile bringt [6]. Auf der Kragenhöfer Talbrücke wurden allerdings beide SA gleichgerichtet eingebaut, sodass nur der SA 3 regulär stumpf befahren wird (Abb. 5).

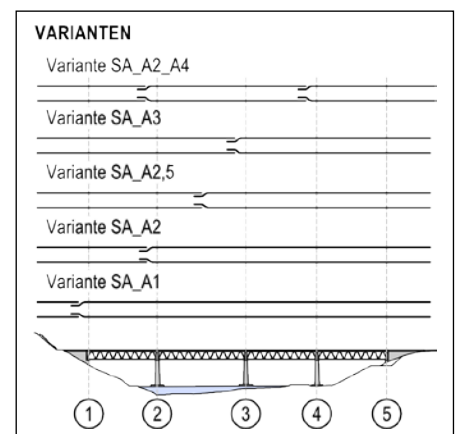


Abb. 2: Untersuchte Varianten

Personen schützen.
Bahnbetrieb sichern.



Alles für die
Bahnerdung

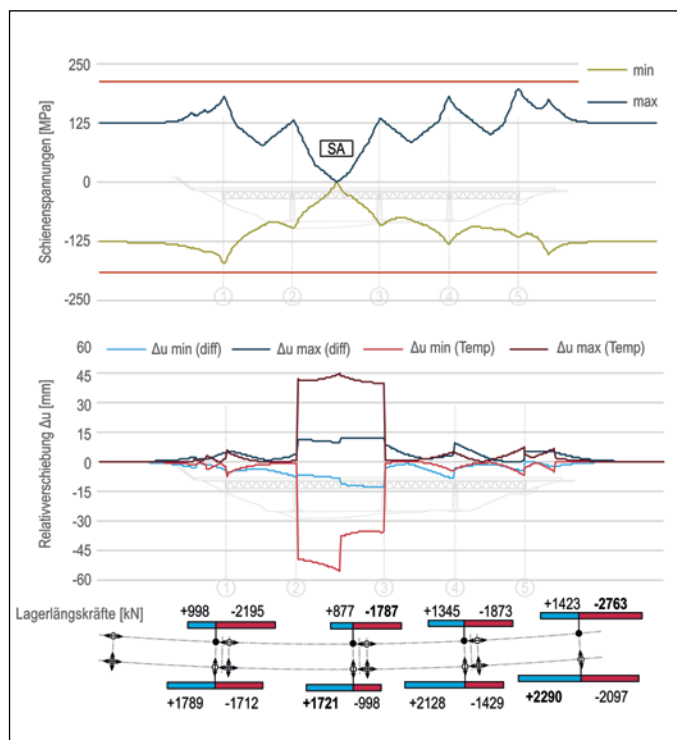


Abb. 3: Ergebnisse der Analyse für die Schienenspannungen, Relativverschiebungen und Lagerlängskräfte für den Fall mit SA in der Achse 2,5 (Umhüllenden mehrerer Lastfälle)

Für den regulären Einbau von SA über Brückenfugen ist das Einstellmaß abhängig von der thermischen Längenänderung der Schienen, Einflüssen aus Bremsen/Anfahren, Kriech- und Schwindverformungen (K+S) der Brücken sowie den Brückenbewegungen infolge Temperaturänderung, siehe Ril 820.2040 [5]. Für den vorliegenden Fall konnten Einflüsse aus K+S aufgrund des Brückenalters vernachlässigt werden. Die Verformungen im SA infolge Temperaturänderung des Tragwerks wurden rechnerisch untersucht und sind ebenfalls vernachlässigbar (< 10 mm). Die Verformungen aus Bremsen und Anfahren sind rechnerisch in beide Richtungen (Öffnen und Schließen des SA) gleich groß und damit symmetrisch. Der Einfluss der Schientemperatur muss im Bereich von 25 Schwellen vor und hinter dem SA berücksichtigt werden, da dieser Bereich nicht neutralisiert wird (Ril 820.2040A02, Abs. 2). Da das Einschweißen der Zungen- und Backenschienen zwischen $+5$ °C und $+26$ °C durchgeführt werden soll (Ril 820.2040A02 [5]), bleibt ein möglicher Einfluss von etwa 10 mm. Bedingt durch die großen Reserven im SA (berechnete erforderliche Auszugslänge = 221 mm, Kapazität 340 mm) wurde der SA unabhängig von der Überbau- und Schientemperatur in Mittelstellung eingebaut und verschweißt.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

SA sind teuer, sowohl in der Beschaffung als auch in der Instandhaltung. In der Literatur sind genaue Kosten selten dokumentiert. Durch den konkreten Fall der Fuldataalbrücke Kragenhof konnte anhand der tatsächlichen Kosten während der Arbeiten im Frühling 2021 als auch durch die Erfahrung der letzten Jahre für die Instandhaltung eine genaue Betrachtung durchgeführt werden. Es wurden zwei Fälle betrachtet:

- Fall 1: Status quo: sechs SA
- Fall 2: optimierte Lösung mit SA in Achse 2,5

Der Betrachtungsbereich bezieht sich auf die Brückenlänge von 250 m zzgl. der angrenzenden Dammbereiche 100 m vor und hinter den Widerlagerfugen (Gesamtlänge von 450 m). Es wird ein Zeitraum von 25 Jahren, der sich an einem Oberbauzyklus orientiert, zugrunde gelegt. Die Kosten gestalten sich wie folgt:

Komplettes Sortiment
mit Freigabe der DB Netz AG

DEHN Erdungsbrücken

Im Beton verlegt, sichern sie Erdung,
Rückstromführung und Potentialausgleich.

DEHN Erdungsverbinder

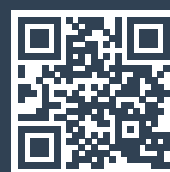
Immer von außen zugänglich, verbinden sie,
was zusammen gehört.



DEHN protects.

www.dehn.de

de.hn/a6ZCU



	Fall 1 (6 SA)	Fall 2 (2 SA)
Kosten für Gleis (Rückbau, Einbau inkl. Material und Bauleistung)	449 000 EUR	725 000 EUR
Kosten für Übergangsbereich SA / Gleis (Ausbau alter Bereich, Einbau neuer Bereich inkl. Material und Bauleistung)	475 000 EUR	149 000 EUR
Kosten für Schienenauszug (Erstellung Verlegeplan, Material, Herstellung, Transport bis Übergabestelle auf Baustelle)	250 000 EUR	83 000 EUR
Kosten Einbau Schienenauszug (Ausbau des alten, Einbauen des neuen: auf Bettung setzen, montieren, von Übergabestelle zur Einbaustelle transportieren, verlaschen, einstellen und verschweißen)	97 000 EUR	32 000 EUR
Kosten für Instandhaltung SA (4350 EUR p.a. und SA)	653 000 EUR	218 000 EUR
Summe für 25 Jahre	1924 000 EUR	1207 000 EUR

Tab. 2: Kosten für Beschaffung und Instandhaltung bezogen auf das Beispiel der Fuldataalbrücke Kragenhof

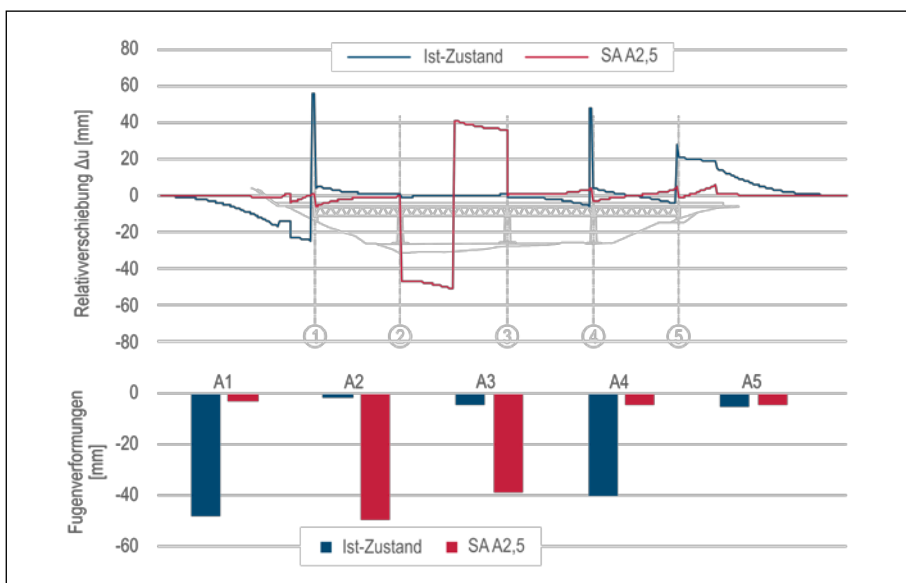


Abb. 4: Relativverformungen für den Lastfall konstante Erwärmung des Oberbaus um $\Delta T_0 = +30\text{ K}$ und der Schiene $\Delta T_r = +50\text{ K}$ für beide Systeme: Status quo mit sechs SA und favorisierte Lösung mit SA in Achse 2,5 sowie zug. Fugenverformungen

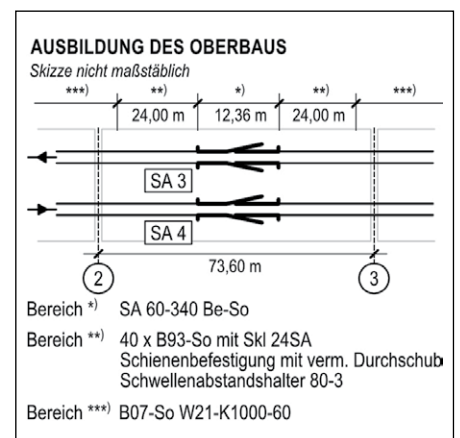


Abb. 5: Ausbildung des Oberbaus in den Anschlussbereichen des SA

Bezogen auf den Zeitraum von 25 Jahren ergibt sich durch den Entfall von vier SA eine Einsparung von 717 000 EUR, davon ca. 40 % Baukosten und 60 % Instandhaltungskosten. Diese Einsparungen, vor allem von Eigenmitteln der DB Netz AG, gekoppelt mit einer Verbesserung der Verfügbarkeit und des Fahrkomforts durch die Reduktion von singulären Gleisstellen zeigen, dass sich der Aufwand einer rechnerischen Bewertung von Brücken im Zuge von Oberbauerneuerungsarbeiten lohnt. Dazu sollte projekt- und streckenbezogen ein Screening durchgeführt werden, und es sollten Bauwerke identifiziert werden, die ein Potenzial für eine Einsparung aufweisen.

Schlussfolgerung

Für die 250 m lange Kragenhöfer Talbrücke konnte durch eine detaillierte rechnerische Betrachtung der Gleis-Tragwerks-Interaktion die Anzahl an SA von insgesamt sechs auf zwei reduziert werden. Ein kompletter Verzicht auf SA kam aufgrund von rechnerischen Über-

schreitungen der Schienenspannungen und der Lagerkräfte nicht infrage.

Durch die unkonventionelle Lage eines SA in Feldmitte eines Überbaus konnten sowohl die Nachweise der Schienenspannungen als auch der Lagerlängskräfte eingehalten werden. Durch die Verschiebung des SA von der regulären Lage hinter der Brückenfuge hin in die Überbaumitte werden die Diskontinuität im Oberbau (SA) und die Diskontinuität im Tragwerk (Fuge) voneinander getrennt und damit eine Überlagerung von negativen Effekten verhindert.

Bei der Fuldataalbrücke Kragenhof wird der Oberbau ohne Schotterbettrennung über die geschlossenen Bauwerksfugen hinweg geführt in Anlehnung an die reguläre Ausfuhrung bei lückenloser Gleisführung über Brücken. Allerdings erfolgt diese durchgängige Führung des Schotter über die Fuge bei der betrachteten Brücke in Kombination mit einem SA: im Bestand direkt neben der Fuge, in der neugebauten Variante ca. 36 m

neben der Fuge. Es entstehen daraus rechnerisch große Relativverformungen zwischen Gleis und Tragwerk. Es ist davon auszugehen, dass der gesamte Gleisrost als versteifendes Element des Schottergerüsts wirkt und bei Relativbewegungen der Überbau unter dem steifen System Gleisrost und Schotter durchrutscht. In den zurückliegenden 25 Jahren Betrieb konnten jedoch keine offensichtlichen Probleme oder Schotterbetttauflockerungen festgestellt werden, ebenso wie bei anderen Brücken mit lückenloser Führung des Schotteroberbaus über geschlossenen Fugen. Zu diesem Sachverhalt sind den Autoren jedoch keine Untersuchungen oder Abhandlungen bekannt. Deshalb sollte dieses Verhalten zukünftig untersucht und beobachtet werden. Am konkreten Beispiel der Fuldataalbrücke Kragenhof sollen Erfahrungen aus der Nutzung gesammelt und flankierende Messungen initiiert werden. ■

QUELLEN

- [1] Pitters, S.; Wenner, M.; Marx, S.; Diehl, H.; Liu, J.: Neubewertung der Gleis-Tragwerks-Interaktion einer Bestandbrücke – Teil 1, EI – DER EISENBAHNINGENIEUR, 04/2022
 [2] Handbuch 80400 – Eisenbahnbrücken (und sonstige Ingenieurbauwerke) planen, bauen und instand halten, DB Netz AG, 01.06.2021
 [3] Wenner, M.; Meier, T.; Wedel, F.; Marx S.: Versuchsgestützte Ermittlung der Unterbausteifigkeit einer großen Eisenbahnbrücke, Bautechnik (96), 02/2019, S. 99 – 111
 [4] DB Netz AG, Handbuch 82101 – Oberbau inspizieren, 27.09.2021
 [5] DB Netz AG, Handbuch 82001 – Grundlagen des Oberbaus, 07.10.2021
 [6] Friedl, M.; Zimmermann, S.: Schienenauszüge der DB bei hohen Geschwindigkeiten im Schotteroberbau, Bachelorarbeit, 20.12.2012
 [7] DB Netz AG, Handbuch 82401 – Oberbauarbeiten durchführen, 11.10.2021



Sarah Pitters M. Sc.
Projektingenieurin
MKP GmbH, Hannover
sarah.pitters@marxkrontal.com



Dr.-Ing. Marc Wenner
Geschäftsführer
MKP GmbH, Weimar
marc.wenner@marxkrontal.com



Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx
Professor für Ingenieurbau
Technische Universität Dresden
Fakultät Bauingenieurwesen
Institut für Massivbau, Dresden
steffen.marx1@tu-dresden.de



Dipl.-Ing. Heiko Diehl
Fachbeauftragter Fahrbahn, SFI (Os),
Zfp-Prüfaufsicht
Technische Unterstützung (I.NA-MI-I 14)
DB Netz AG, Kassel
heiko.diehl@deutschebahn.com



Prof. Dr.-Ing. Jia Liu
Professorin für Verkehrswegebau
Technische Universität Darmstadt
Fachbereich Bau- und
Umweltingenieurwissenschaften
Institut für Verkehrswegebau,
Darmstadt
jliu@vwb.tu-darmstadt.de

Handbuch Erdbauwerke der Bahnen

Die überarbeitete und erweiterte Neuauflage des „Handbuch Erdbauwerke der Bahnen“ liefert eine **ganzheitliche Betrachtung des Tragsystems Oberbau-Unterbau-Untergrund** und berücksichtigt die aktuelle Fassung des Handbuch Ril 836 mit Stand 2022. Es ist eine **praxisorientierte Handlungsempfehlung und ein Nachschlagewerk** für alle am Neubau, dem Ausbau, der Ertüchtigung und der Instandhaltung von Eisenbahnstrecken beteiligten Fachleute.



Jetzt zum
Vorbestell-
preis!

3. überarbeitete und erweiterte Auflage 2022, Hrsg. Claus Göbel, Klaus Lieberenz, Ulrike Weisemann, ca. 600 Seiten, Hardcover, ISBN 978-3-96245-244-5, Vorbestellpreis € 69,-* (bis Erscheinen am 30.06.2022, im Anschluss € 79,-*)
www.pmcmedia.com/erdbauwerke

MIT
E-BOOK
INSIDE

Mehr Infos und Bestellung:
www.pmcmedia.com



MIT
E-BOOK
INSIDE

ETCS in Deutschland
Print mit E-Book Inside € 79,-*
www.pmcmedia.com/etcsdeutschland



MIT
E-BOOK
INSIDE

Handbuch Das System Bahn
3. Auflage 2021,
Print mit E-Book Inside € 99,-*
www.pmcmedia.com/systembahn

* Preise inkl. MwSt, zzgl. Versand

BESTELLUNGEN:
Tel.: +49 7953 718-9092
Fax: +49 40 228679-503
E-Mail: office@pmcmedia.com
Online: www.pmcmedia.com

PER POST:
GRT Global Rail Academy and
Media GmbH | PMC Media
Kundenservice
D-74590 Blafelden

Unsere Bücher erhalten Sie auch im gut sortierten Buchhandel.