DZSF-Forschungsprojekt TraBI – Methodik

Im Forschungsprojekt TraBI soll ein allgemeingültiges Nachweisformat für die Gleis-Tragwerks-Interaktion bei verschiedenen Oberbauformen entwickelt werden. (Teil 2)

MARC WENNER | SEBASTIAN SCHNEIDER | DAVID HUBER | CHONGJIE KANG | SEBASTIAN PLICA | ANDREAS HACKER | RANDY NACHTIGALL | KATARZYNA ZDANOWICZ | TOMÁS ARANA VILLAFÁN

Aktuell ist das Nachweisverfahren zur Gleis-Tragwerks-Interaktion in der Ril 804.3401 bzw. DIN EN 1991-2 geregelt. Allerdings lassen sich derzeit gemäß den beschriebenen Regelungen und Grenzwerten nur eng begrenzte Standardoberbaukonfigurationen nachweisen. Aus diesem Grund initiierte das Deutsche Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF) beim Eisenbahn-Bundesamt (EBA) das Forschungsprojekt „Track-Bridge-Interaction (TraBI)", durch welches die bestehenden Wissenslücken geschlossen und das Nachweisverfahren zum Längskraftabtrag perspektivisch für weitere, häufig eingesetzte Oberbauarten und Bogenradien ermöglicht werden sollen. Das Projekt hat im Februar 2025 begonnen. Aufbauend auf dem ersten Teil (EI 5/2025) werden nun die Methoden vorgestellt.

Durchführungskonzept

Für die Bearbeitung der Projektaufgaben ist das gesamte Forschungsvorhaben in vier Teilleistungen gegliedert, welche in weitere Teilaufgaben bzw. Arbeitspakete unterteilt werden. Die schematische Darstellung der übergeordneten Projektstruktur ist in Abb. 1 dargestellt.

Teilleistung 1: Stand des Wissens und Versuchsplanung

Teilleistung 1 erfasst systematisch den aktuellen Forschungsstand zur Gleis-Tragwerk-Interaktion und analysiert nationale und internationale Versuchsergebnisse. Alle recherchierten und im Zuge des Forschungsvorhabens gewonnenen Versuchsergebnisse werden in einer umfangreichen Versuchsdatenbank dokumentiert und am Ende des Vorhabens open-access veröffentlicht. Ziel ist es, dass perspektivisch auch weitere Forschende auf diese umfangreiche Datenbank in deutscher und englischer Sprache zurückgreifen können. Darüber hinaus wird der Hintergrund des aktuellen Nachweiskonzepts recherchiert und strukturiert dokumentiert. Alle gewonnenen Erkenntnisse dienen der Anpassung der formulierten Forschungsfragen und der Planung der experimentellen Untersuchungen in Teilleistung 2.

Teilleistung 2: Versuchsgestützte Untersuchungen

Ein zentraler Bestandteil des Projekts sind die experimentellen Untersuchungen zur Gleis-Tragwerk-Interaktion. Diese unterteilen sich in In-situ-Versuche an der Eisenbahnüberführung (EÜ) „Schwarze Elster" in Elsterwerda sowie in umfangreiche Laborversuche.

In den Versuchen an der EÜ „Schwarze Elster" sollen insbesondere die in den aktuellen Regelwerken beschriebenen Modellvorstellungen verifiziert und Ableitungen zum korrekten Aufbau eines numerischen Gesamtmodells erarbeitet werden.

In den Laborversuchen werden umfangreiche Versuche zu Längsverschiebewiderstand (LVW), Durchschubwiderstand (DSW), Verdrehwiderstand (VW), Querverschiebewiderstand (QVW), Ersatzträgheitsmoment, Gestaltfestigkeit und Eigenspannungen durchgeführt. Der Vorteil der Laborversuche liegt in der systematischen Durchführung sowie der Gewährleistung von wiederholbaren und gleichbleibenden Versuchsrandbedingungen. Die Laborversuche liefern die Grundlagen zur Beantwortung der Forschungsfragen.

Brückenversuche in situ in Elsterwerda

In den Versuchen an der EÜ „Schwarze Elster" sollen durch eine gezielte Verschiebung der Brücke entlang ihrer Längsachse die Auswirkungen der Brückenverformung auf den Oberbau und die Schienenspannungen experimentell unter kontrollierten Randbedingungen abgebildet und gemessen werden. Hierzu wird die bestehende Lagerung in eine schwimmende Lagerung umgebaut. Die Verschiebung erfolgt mithilfe von hydraulischen Pressen (Abb. 2). Als Oberbau kommt ein Schotteroberbau (SchO) mit Schwellen B70 und Schienen 60E2 zum Einsatz.

Insbesondere soll dabei der Einfluss des durchgehenden Schotterbettes an den Trennfugen untersucht werden. Daher unterteilen sich die Versuche in Referenzversuche sowie Ver-

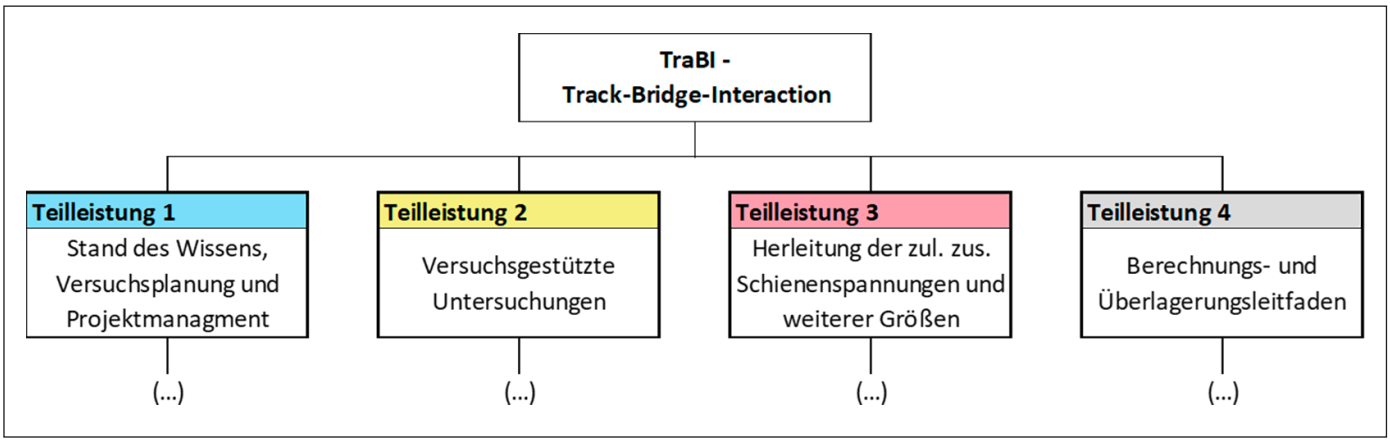

Abb. 1: Schematische Darstellung der übergeordneten Projektstruktur

Nutzung unter www.marxkrontal.com zeitlich unbefristet genehmigt durch DVV Media GmbH, 2025

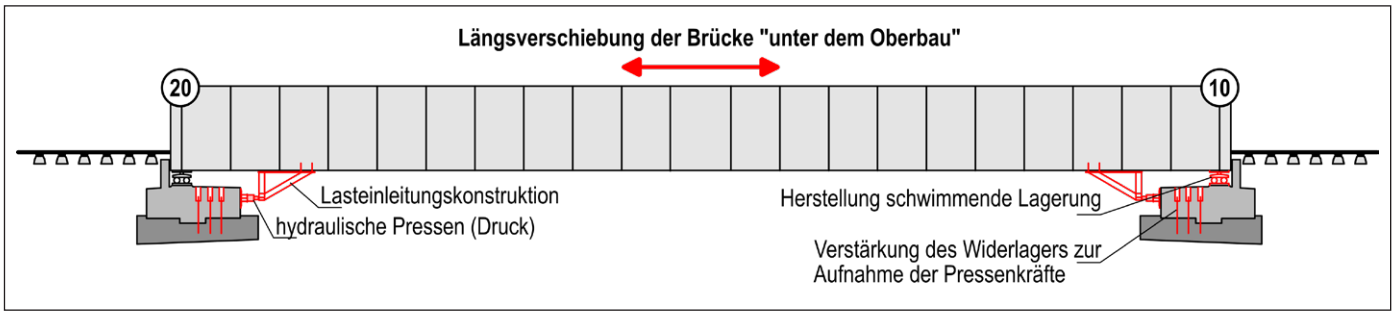

Abb. 2: Umbau der Brücke zum Versuchsstand

suche mit und ohne Schotterbetttrennung. Die messtechnisch umfangreich ausgestatteten Untersuchungen dienen zur Verifizierung der entsprechenden Modellvorstellungen am Bauwerk und zur Ableitung von entsprechend anzuwendenden Verschiebegesetzen im Brücken-, Fugen- und Dammbereich. Dabei werden u. a. die Umgebungs-, Bauwerks- und Schienentemperatur, die Schienendehnungen, die Längsverschiebung der Schienen und Schwellen sowie die Verformung des Schotterbetts gemessen. Zusätzlich werden Lager- und Widerlagerverschiebungen, Brückendurchbiegungen sowie Verschiebungswege und -kräfte an den Lasteinleitungspressen aufgezeichnet.

Referenzversuche

Vor Beginn der eigentlichen Brückenversuche werden zunächst vier Referenzversuche an der EÜ „Schwarze Elster" durchgeführt. Hierbei werden drei verschiedene Zustände für den Oberbau auf der Brücke und das Schotterbett an der Trennfuge unterschieden.

- Brückeneigengewicht ohne Schotter und Schienen (Abb. 3a)
- Brückeneigengewicht zzgl. Schotter und Schienen, mit Schotterbegrenzung und getrennten Schienen über den Fugen (Abb. 3b)
- Brückeneigengewicht zzgl. Schotter und Schienen, ohne Schotterbegrenzung, getrennte Schienen über den Fugen (Abb. 3c)

Ziel dieser Referenzversuche ist es, für jeden der drei genannten Zustände zu ermitteln, welcher Kraftanteil beim Verschieben der Brücke durch den Schotter und welcher durch die Reibung der Lager aufgenommen wird. Die Auswertung der Referenzversuche ermöglicht somit eine eindeutige Bestimmung des Kraftanteils im Schotter in den späteren Brückenversuchen.

Brückenversuche ohne Schotterbetttrennung

Nach den Referenzversuchen wird das lückenlose Gleis auf der gesamten Versuchsstrecke (Brücke zzgl. 70 m hinter beiden Widerlagern) hergestellt und die Messtechnik an Brücke und Gleis vervollständigt. Ziel ist die Untersuchung der Auswirkungen von Brückenverformungen auf den Oberbau und die Schienenspannungen, insbesondere im Fugenbereich. In fünf Teilversuchen mit und ohne vertikale Verkehrslast sowie mit horizontaler Verschiebung werden Schienendehnungen, Schwellenverschiebungen, Schotterverformungen sowie Temperaturverläufe erfasst. Ergänzend erfolgen Überwachungsmessungen an Brücke und Lagern. Eine wesentliche Innovation ist der Einsatz der faseroptischen Sensoren (DFOS, Distributed Fiber Optic Sensing) durch die FOLAB GmbH, die eine hochauflösende Erfassung der Dehnungsverläufe in der Schiene sowie voraussichtlich der Verformungsverläufe im Schotterbett ermöglicht.

Brückenversuche mit Schotterbetttrennung

Zur Analyse des Einflusses einer Schotterbetttrennung auf die Gleis-Tragwerk-Interaktion wird diese in den Achsen 10 und 20 eingebaut. Anschließend werden zwei Teilversuche ohne vertikale Auflast durchgeführt. Die Experimente ermöglichen die Ableitung des Ober-

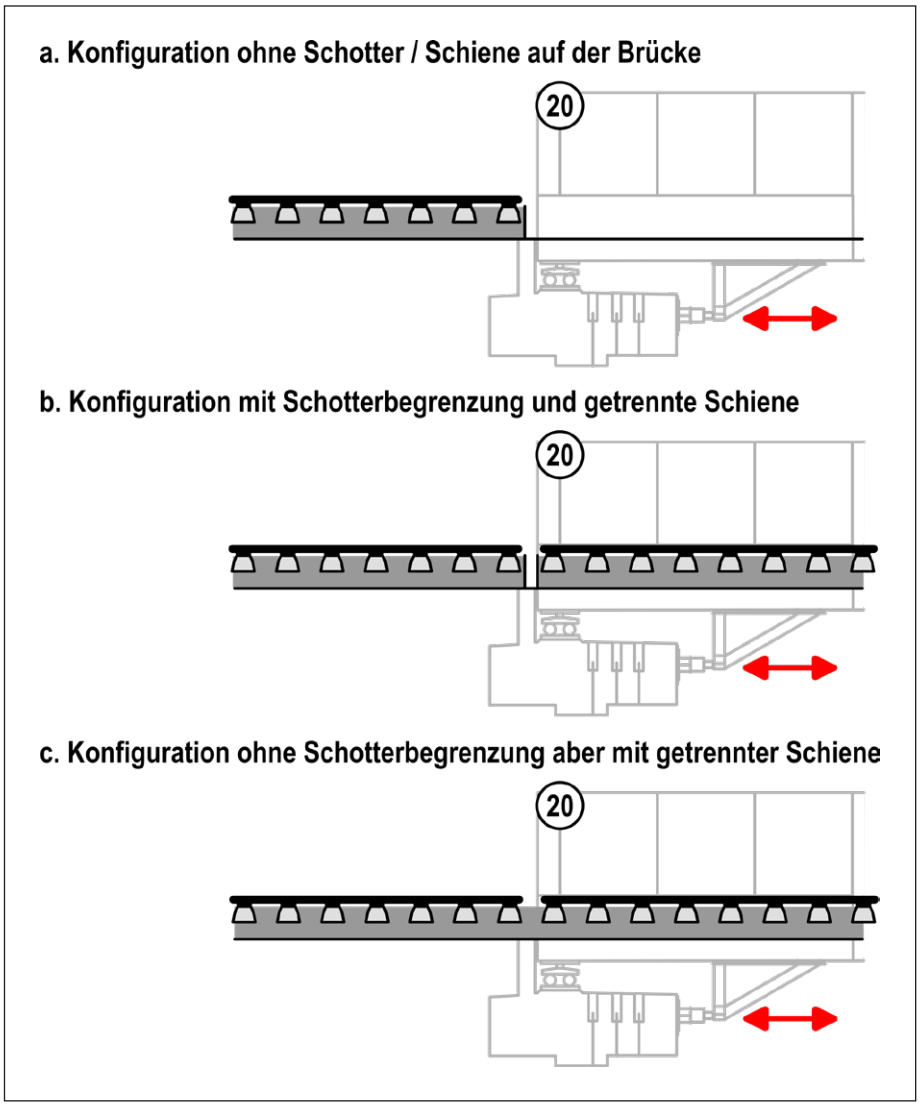

Abb. 3: Verschiedene Oberbau- bzw. Fugenausbildungen für die Durchführung von Referenzversuchen

Nutzung unter www.marxkrontal.com zeitlich unbefristet genehmigt durch DVV Media GmbH, 2025

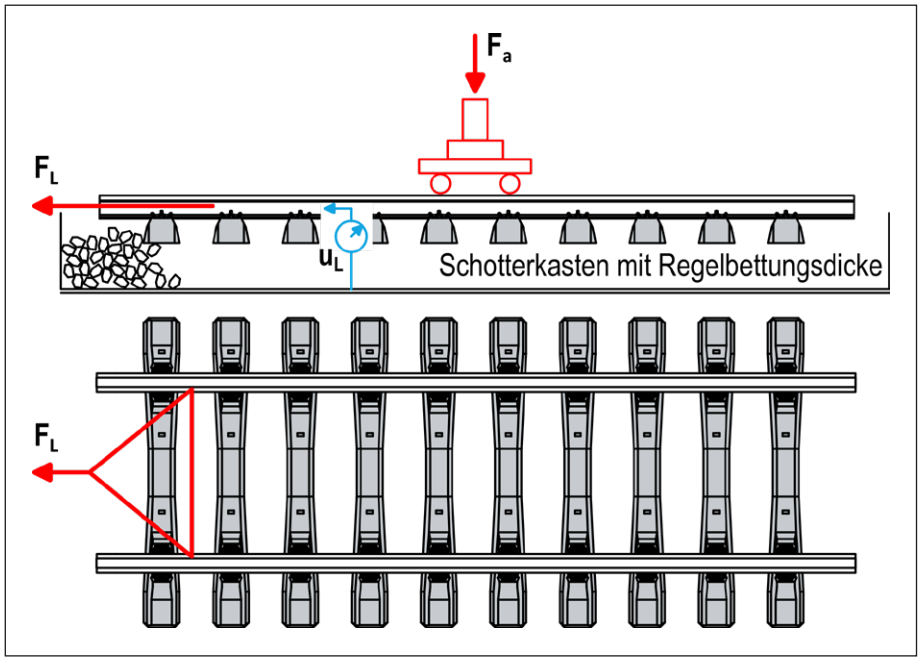

Abb. 4: Laborversuch Längsverschiebewiderstand (LVW): schematischer Versuchsaufbau

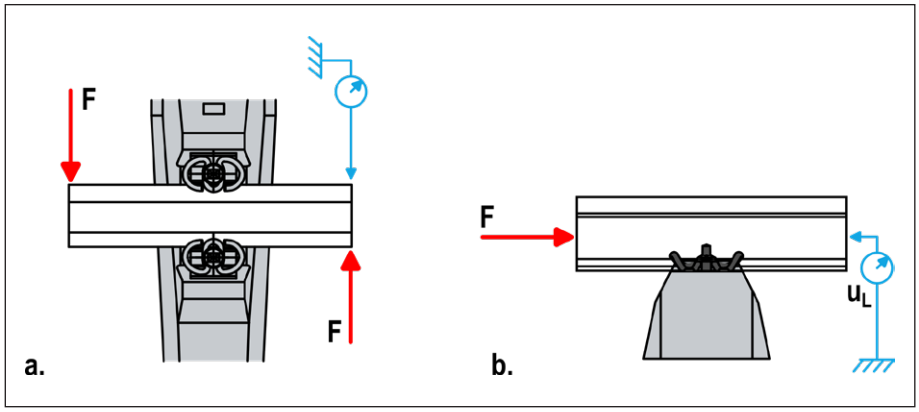

Abb. 5: Laborversuch Verdrehwiderstand (VW) und Durchschubwiderstand (DSW): schematischer Versuchsaufbau

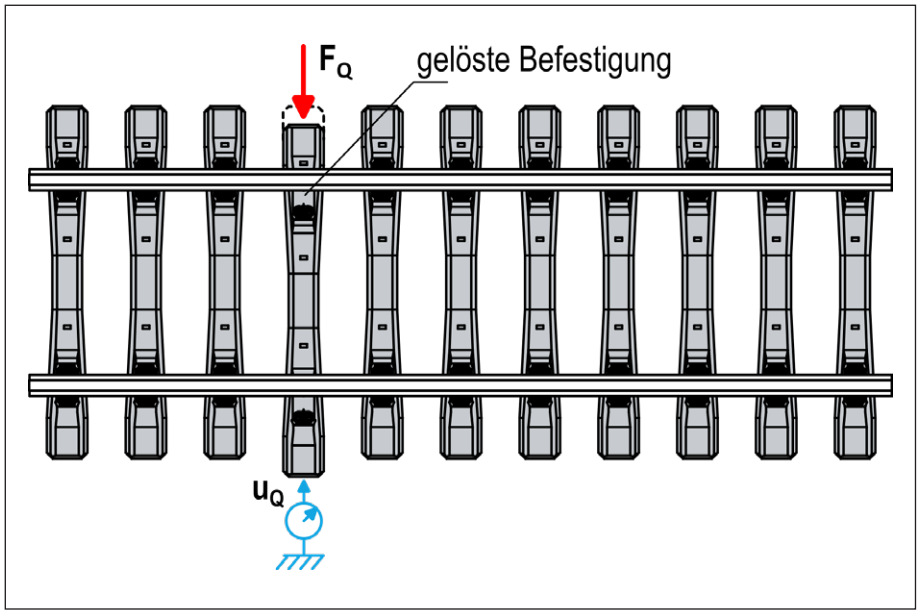

Abb. 6: Laborversuch Querverschiebewiderstand QVW) (Einzelschwellenmethode)

bauverhaltens in Teilleistung 3. Besonders der Dehnungsverlauf entlang der Schiene und die Relativverformung von Schwellen und Schienen im Vergleich zum Damm bzw. zum Überbau erlauben Rückschlüsse auf den aktivierten LVW, der mit den Ergebnissen aus den Laborversuchen verglichen wird.

Laborversuche

Neben den Versuchen an der Brücke in Elsterwerda erfolgen umfangreiche Laborversuche unter bekannten, repräsentativen und wiederholbaren Randbedingungen. Die Versuche werden in den Laboren der Technischen Universität München (TUM) sowie der Technischen Universität Dresden (TUD) durchgeführt. Nachfolgend erfolgt eine kurze Darstellung der geplanten Laborversuche.

Längsverschiebewiderstand (LVW)

Ziel der Versuchsserie zum LVW ist es, die maßgebenden Gleisrost-LVW unterschiedlicher Oberbauarten zu bestimmen. Die Ermittlung des LVW in Betriebsgleisen entsprechend [9] ist sehr aufwendig, wodurch die bestehenden Informationsdefizite erklärbar sind. Daher sollen im Großprüfstand der TUM mehrere Versuchsserien zum LVW im Maßstab 1:1, d. h. Gleisjoch bestehend aus zehn Schwellen, eingeschottert im Regelbettungsquerschnitt, durchgeführt werden. Es werden fünf verschiedene Oberbauarten (u. a. B70, B70So, B93 Schwelle, Kunstholzschwelle) mit konsolidierter und unkonsolidierter Schotterbettung sowie mit und ohne Auflast untersucht. Die Abb. 4 zeigt den schematischen Versuchsaufbau.

Durchschub- und Verdrehwiderstand (DSW, VW)

Mit den geplanten Untersuchungen sollen DSW und VW für die am häufigsten eingesetzten Schienenbefestigungssysteme ermittelt werden. Die Versuchsdurchführungen folgen den Prinzipien der DIN EN 13146-1 [10] sowie EN 13146-2 [11], siehe Abb. 5. Es werden sechs verschiedene Schienenbefestigungssysteme untersucht. Der DSW wird mit und ohne vertikaler Auflast untersucht, die Versuche zum VW erfolgen ohne Auflast.

Querverschiebewiderstand (QVW)

In dieser Serie von Laborversuchen ist die Bestimmung des QVW verschiedener Oberbauarten und -zustände, die für die Nachweise der Gleislagestabilität in Gleisabschnitten mit erhöhten Gleisdruckkräften entscheidend sind, das Ziel. In Betriebsgleisen erfolgt die Messung des QVW meist durch das Verschieben von Einzelschwellen (Einzelschwellenmethode), da dadurch das Gleis im Gegensatz zur Gesamtverschiebung des Gleisrostes nicht beeinträchtigt wird und verfügbar bleibt. Im Forschungsprojekt TraBI wird in den Laborversuchsreihen ebenfalls die Einzelschwellenmethode unter Verwendung von maßstäblich erstellten Gleisrosten mit je elf Schwellen in

Nutzung unter www.marxkrontal.com zeitlich unbefristet genehmigt durch DVV Media GmbH, 2025

Regelbettung verwendet, siehe Abb. 6. Dabei werden je Teilversuch fünf der elf Schwellen verschoben. In den Untersuchungen wird der QVW von fünf verschiedenen Schwellentypen untersucht. Dabei wird der Einfluss von Sicherungskappen, einer konsolidierten bzw. unkonsolidierten Schotterbettung sowie einer statischen bzw. dynamischen Lastaufbringung untersucht.

Schnittstelle Oberbau-Brücke

Ziele der Versuche im Großversuchsstand des Labors sind die Beschreibung der Längskraftübertragung zwischen Brücke und Schotterbettung für drei verschiedene Reibverhältnisse und die experimentelle Untersuchung der Situation des durchgehenden Schotterbettes am beweglichen Brückenende im Labor. In den ersten Versuchen werden drei typische Reibverhältnisse (Schotter / Stahl, Schotter / Beton, Schotter / Unterschottermatte) unterschieden. Dabei wird ein kurzer SchO auf einem längsbeweglichen Unterbau gelagert und gegen ein mit Kraftaufnehmern ausgestattetes Druckschott verschoben (Abb. 7a). Mithilfe der gemessenen Kräfte und Verschiebewege können für die drei untersuchten Reibverhältnisse spezifische Kraft-Weg-Diagramme erzeugt werden, welche die Längskraftübertragung zwischen Brücke und Schotterbettung beschreiben. Die Ergebnisse werden mit denen des In-situ-Versuchs in Elsterwerda verglichen und dienen der Kalibrierung der Simulationsmodelle in der Teilleistung 3 des Projekts.
Anschließend wird für alle drei Reibverhältnisse jeweils eine Versuchsreihe mit durchgehendem Schotterbett an der Brückenfuge durchgeführt (Abb. 7b). Hierzu wird eine durchgehende Schotterbettung mit Langschienen erstellt, und der bewegliche Unterbau wird dann gegen den Gleisabschnitt mit festem Unterbau verschoben. Zur Simulation einer großen Gleislänge wird am Ende des festen Unterbaus ein Schotter-Druckschott mit Kraftaufnehmern und entsprechend instrumentierten Festhaltungen der Schienenenden angeordnet. Bei den Versuchen ist die Verwendung eines B70 Gleisrostes wie an der EÜ „Schwarze Elster“ in Elsterwerda geplant. Die erzielten Laborergebnisse sollen anschließend mit denen aus den Versuchen in Elsterwerda verglichen werden.

Ersatzträgheitsmoment (I_{ers})

Ziel der Untersuchungen ist die Bestimmung des Ersatzträgheitsmoments des Gleisrostes I_{ers}, das für den Nachweis der Gleislagestabilität nach dem Verfahren nach Meier / Chatkeo [8] erforderlich ist. Die Bestimmung von I_{ers} erfolgt anhand der Biegetheorie, wobei der Gleisrost in einer horizontalen Ebene als Balken auf zwei Stützen idealisiert und mittig durch eine Einzellast belastet wird (Abb. 8). Im Labor der TUM wird ein Versuchsaufbau mit neun Schwellen und entsprechend verspannten Schienen realisiert. Insgesamt werden 27 Versuchsreihen

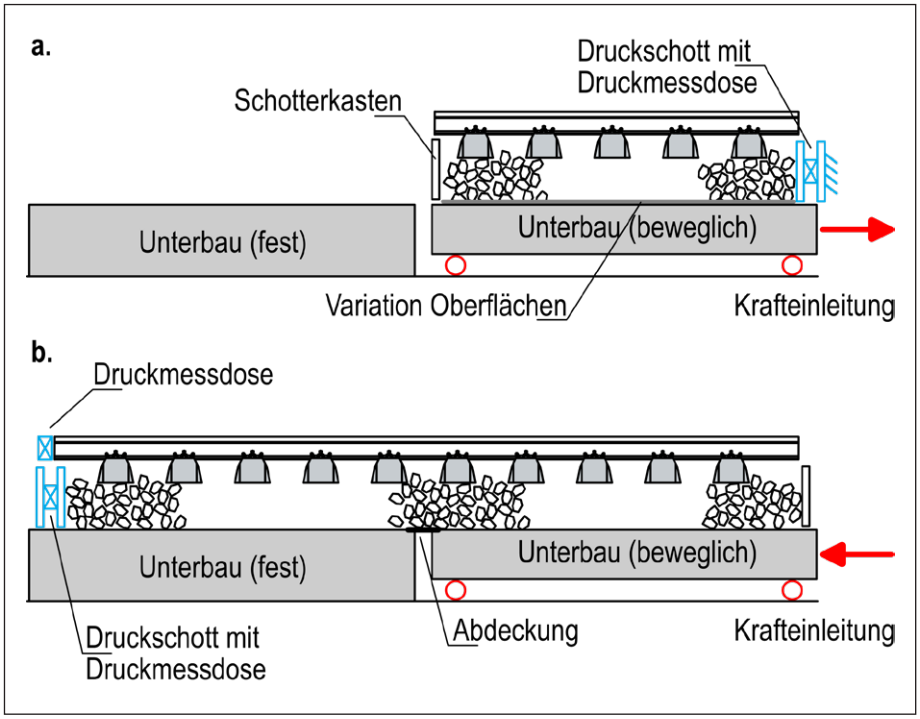

Abb. 7: Laborversuche zur Untersuchung verschiedener Reibverhältnisse zwischen Schotter und Brücke (a) und zur Untersuchung der Schnittstelle Oberbau-Brücke im Bereich von Brückenfugen mit durchgehendem Schotter (b)

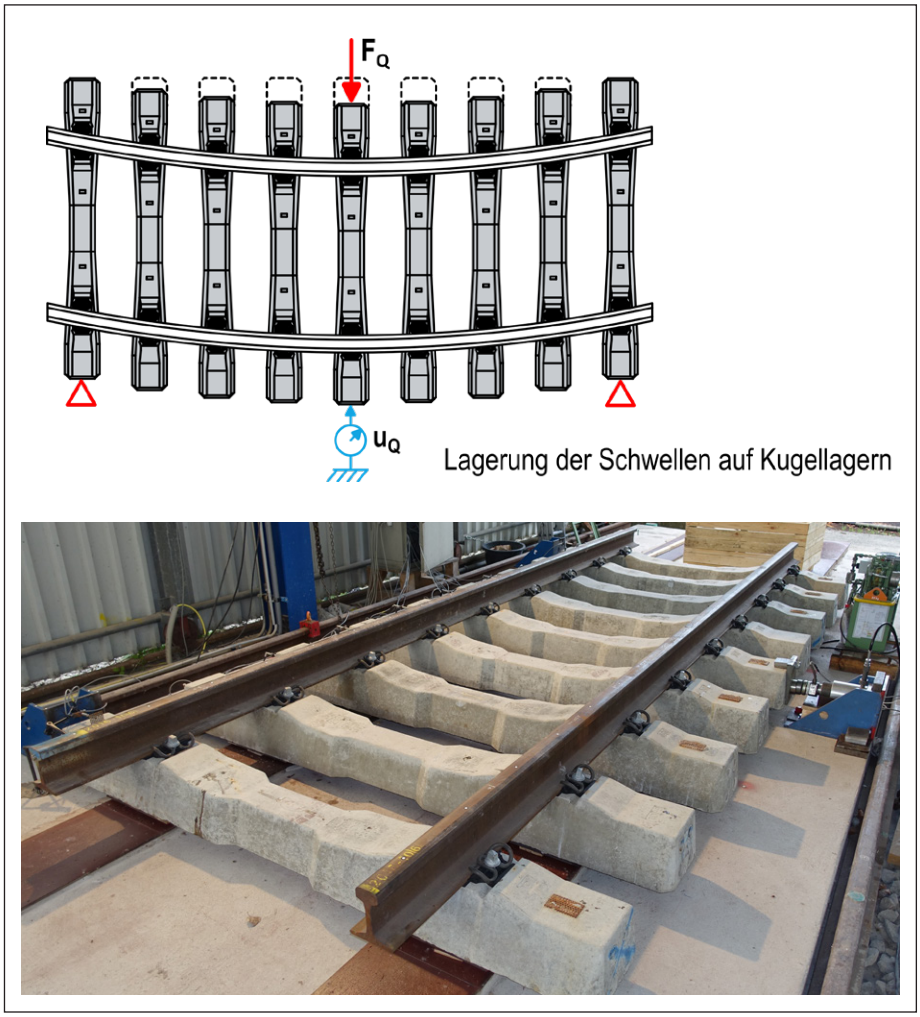

Abb. 8: Laborversuch Ersatzträgheitsmoment I_{ers} *Quelle: TUM*

Nutzung unter www.marxkrontal.com zeitlich unbefristet genehmigt durch DVV Media GmbH, 2025

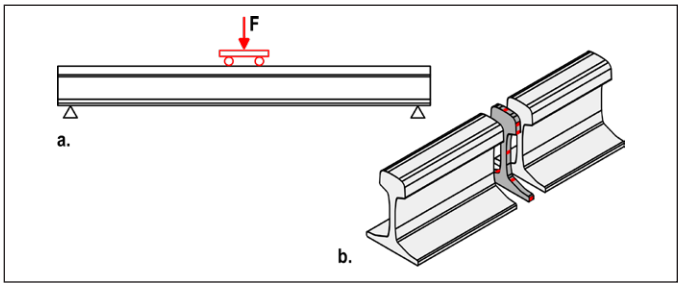

Abb. 9: Ermüdungsversuch im Labor als Vierpunkt-Biegeversuch (a) und Eigenspannungsversuche mittels Zerlegeverfahren (b)

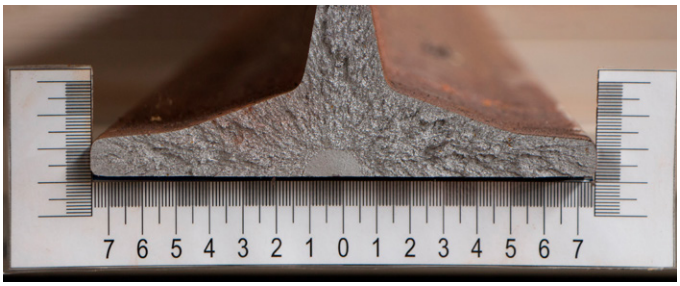

Abb. 10: Ermüdungsbruch einer Schiene 60E2

Quelle: Leibniz Universität Hannover

mit entsprechenden Gleisrostvarianten durchgeführt. So werden Gleisroste mit Schienenprofilen 60E2, 54E4 und 49E5 mit und ohne Führungsschienen und mit verschiedensten Schienenbefestigungssystemen untersucht. Anschließend wird aus der resultierenden Verschiebung im Bereich der mittleren Schwelle und der aufgebrachten horizontalen Einzellast das jeweilige Ersatzträgheitsmoment berechnet.

Ermüdungsfestigkeit und Eigenspannungen

Diese Serie an Laboruntersuchungen zielt darauf ab, fehlende Daten zur Ermüdungsfestigkeit und zu herstellungsbedingten Eigenspannungen von spezifischen Schienenprofilen, Schienenwerkstoffen und Korrosionszuständen experimentell zu bestimmen. Während für das Schienenprofil 60E2 (R260) bereits umfangreiche Ergebnisse vorliegen, bestehen Datenlücken für weitere häufig verwendete Schienentypen und Stahlgüten. Zur Schließung dieser Lücken werden im Labor der TUD umfangreiche Ermüdungsversuche an korrodierten Schienenprofilen 49E5 (R260), 54E4 (R260) und 60E2 (350HT) durchgeführt. Die Ermüdungsversuche finden als Vierpunkt-Biegeversuch vertikal zur Schienenachse und im Treppenstufenverfahren statt und sollen die technische Dauerfestigkeit für eine Grenzlastwechselzahl von $5 \cdot 10^6$ liefern (Abb. 9 u. 10). Ergebnisse zu Eigenspannungsverläufen liegen für die genannten Schienenprofile ebenfalls nur sehr beschränkt vor. Daher werden die Ermüdungsuntersuchungen durch zusätzliche Eigenspannungsversuche ergänzt. Die Ermittlung der Eigenspannungen erfolgt in Anlehnung an die Zerlegemethode nach DIN EN 13674-1 Anhang C [12] und DBS 918 254-1 [13] über den gesamten Schienenumfang (Abb. 9 u. 11). Mit den Ergebnissen aus den Ermüdungs- und Eigenspannungsversuchen lassen sich anschließend das jeweils schienenspezifische, komplette Smith-Diagramm und somit die zulässige zusätzliche Schienenzugspannung für alle drei untersuchten und zugelassenen Schienenprofile im Netz der Deutschen Bundesbahn AG (DB) ermitteln.

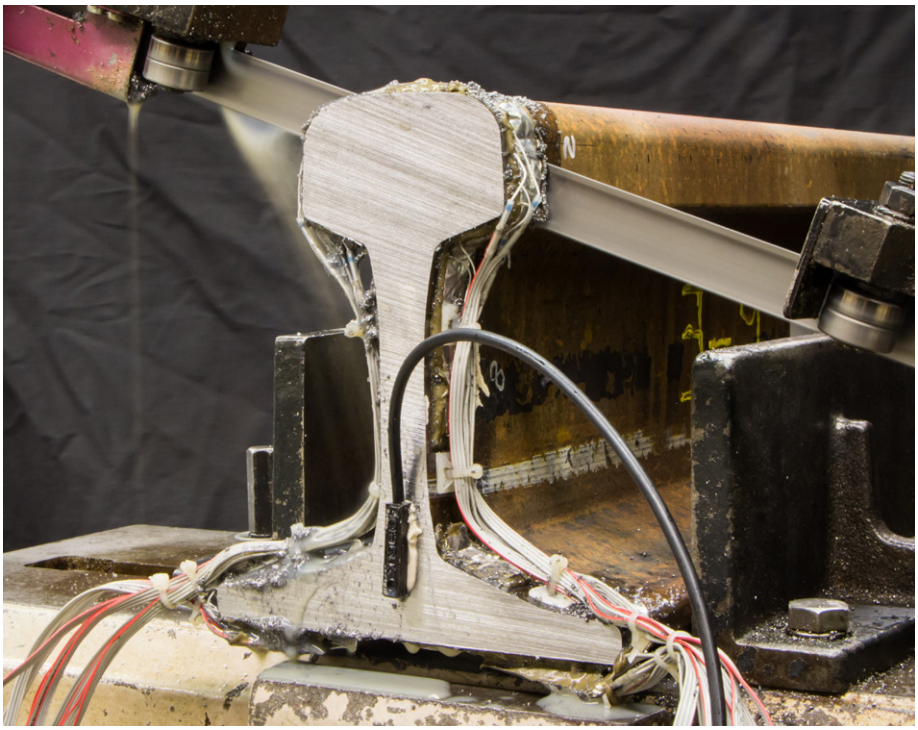

Abb. 11: Eigenspannungsermittlung mittels Zerlegeverfahren *Quelle: Leibniz Universität Hannover*

Teilleistung 3: Herleitung der zulässigen zusätzlichen Schienenspannungen und weiterer Größen

Auf Basis der experimentellen Untersuchungen werden im weiteren Projektverlauf verschiedene FE-Modelle zur Idealisierung wesentlicher Oberbauteilsysteme erstellt und anhand der Versuchsdaten kalibriert. Diese Modelle dienen zur Abbildung von Diskontinuitäten im Gleis, zur Durchführung von umfangreichen Parameterstudien und zur Überprüfung bestehender Berechnungsmethoden. Innerhalb der Parameterstudien werden verschiedene Einflüsse systematisch untersucht. Beispielsweise erfolgen umfangreiche Untersuchungen zum Einfluss der Schienenkopfabnutzung, von Fang- und Führungsschienen, des Bogenradius, des Konsolidierungsgrades etc. auf die Längskraftverteilung im Gleis und die Verwerfungssicherheit. Darüber hinaus erfolgen Parameterstudien zur zeitlichen Reihenfolge und Dauer des Auftretens der einzelnen Einwirkungen, um entsprechende Überlagerungsvorschriften abzuleiten.

Teilleistung 4: Berechnungs- und Überlagerungsleitfaden

Aktuell regelt die DIN EN 1991-2 bzw. die Ril 804.3401 den Nachweis der Schienenspannungen. Allerdings unterliegen die aktuellen Regelungen einem eng begrenzten Anwendungsbereich, sodass nur Gleise mit Schienenprofil 60E2, Schwellen B70 W und Bogenradien ≥ 1500 m mit den vorhandenen Regelungen und Grenzwerten nachgewiesen werden können. Für andere Oberbauarten und Gleisbogenradien sind aufwendige Sonderbewertungen anzufertigen.

Am Ende des Forschungsprojektes TraBI soll aus den Projektergebnissen ein anwenderfreundlicher Modellierungs-, Berechnungs-, Überlagerungs- und Nachweisleitfaden entstehen, der die Betrachtung verschiedener und häufig auftretender Oberbauarten und Bogenradien ermöglicht. Dieser orientiert sich in seinem Aufbau bzw. seiner Gliederung an den bestehenden Regelungen, erweitert diese jedoch deutlich.

Grundsätzlich ist die ausführliche Darstellung und Erläuterung von Ausschlusskriterien sowie vereinfachten und expliziten Schienenspannungs- bzw. Verformungsnachweisen

Nutzung unter www.marxkrontal.com zeitlich unbefristet genehmigt durch DVV Media GmbH, 2025

vorgesehen. Zukünftig ist die Integration dieses Leitfadens in die Ril 804.3401 bzw. DIN EN 1991-2 geplant.

Zusammenfassung

Im Zuge der Planungsphase von Eisenbahnbrücken ist rechnerisch nachzuweisen, dass die durch die Gleis-Tragwerk-Interaktion hervorgerufenen Gleislängsdruckkräfte, Schienenlängszugspannungen und Oberbauverformungen unterhalb von zulässigen Grenzwerten bleiben. Das dazu aktuell gültige Nachweisverfahren ist in der Ril 804.3401 und DIN EN 1991-2 geregelt. Die bestehenden Regelungen ermöglichen allerdings nur eine Nachweisführung für den „Standardoberbau" mit Schienenprofil 60E2, Betonschwellen B70, Schwellenabstand 60 cm, Gleisbogenradius >1500 m, Schotterbettdicke 30 cm und Spannklemmen mit einem DSW von maximal 9 kN. Aus diesem Grund hat das EBA dem DZSF einen Forschungsauftrag zur Durchführung des Forschungsvorhabens „TraBI – Track Bridge Interaction" gegeben, um bestehende Regelwerkslücken zu schließen. Im Zuge des Forschungsprojekts TraBI mit einer Projektlaufzeit vom 1. Februar 2025 bis zum 31. Januar 2028 wird zunächst der Stand des Wissens zum aktuellen Nachweiskonzept umfassend recherchiert und nachvollziehbar dokumentiert. Hierbei wird u.a. eine umfangreiche Versuchsdatenbank erstellt. Darüber hinaus werden aufwendige In-situ-Versuche an der EÜ „Schwarze Elster" in Elsterwerda durchgeführt, um bestehende Modellvorstellungen zu verifizieren und um weitere Modellvorstellungen für die Nachweisführung abzuleiten. Begleitet werden die Versuche durch umfassende Laborversuche, in denen der LVW, DSW, QVW, VW, das Ersatzträgheitsmoment I_{ers}, die Gestaltfestigkeit und Schieneneigenspannungen für verschiedene Oberbauarten bzw. Schienenprofile ermittelt werden. Im Anschluss werden mithilfe von systematischen Parameterstudien geeignete und zutreffende Ableitungen für häufig auftretende Oberbausituationen und Bogenradien erarbeitet, um dadurch einen praxistauglichen Modellierungs-, Berechnungs-, Überlagerungs- und Nachweisleitfaden zu erstellen. Dieser soll mittelfristig in die Ril 804.3401 bzw. DIN EN 1991-2 integriert werden.

Die hier vorgestellte Methodik entspricht dem Planungsstand zu Beginn des Projekts und wird im Projekt weiterentwickelt, sodass sich einzelne Änderungen am Umfang und an der Vorgehensweise ergeben können. Die Ergebnisse des Projektes werden in den nächsten Jahren in Fachpublikationen veröffentlicht. ■

Danksagung

Dieser Aufsatz präsentiert die Ziele und Methoden des Forschungsprojekts – Track-Bridge-Interaction (TraBI) mit dem Förderkennzeichen 5317000058. Die Autoren bedanken sich beim Deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung für die Projektfinanzierung, -vergabe, -organisation und -verwaltung.

QUELLEN

[1] Wenner, M.: Messtechnische Validierung der Modelle zum Langzeitverhalten der Gleis-Tragwerks-Interaktion, Dissertation, Hannover, 2019

[2] Freystein, H.: Untersuchungen zu den zulässigen zusätzlichen Schienenspannungen aus Interaktion Gleis/Brücke, Dissertation, Berlin, Shaker, 2012

[3] Kang, C.: Rail track resistance verification considering track-bridge-interaction, Dissertation, Technische Universität Dresden, 2021

[4] Pitters, S.; Wenner, M.; Marx, S.; Diehl, H.; Liu, J.: Neubewertung der Gleis-Tragwerks-Interaktion einer Bestandbrücke – Teil 1 und Teil 2, EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 04/2022 und 05/2022

[5] Projektskizze – Anlage zum Kooperationsvertrag zwischen dem Deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF) beim Eisenbahn-Bundesamt (EBA) und der DB InfraGO AG zum Projekt Track-Bridge-Interaction (TraBI). Eisenbahn-Bundesamt. 18.04.2024

[6] Diers, J.; Wenner, M.; Slovak, B.; Marx, S.: Zulässige Schienendruckkräfte für den Nachweis der Gleis-Tragwerks-Interaktion bei Fester Fahrbahn, Bautechnik (100) 8/2023, S. 463 – 475

[7] Leistungsbeschreibung – für das Verfahren Track-Bridge-Interaction (TraBI) des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (DZSF) beim Eisenbahn-Bundesamt (EBA). Eisenbahn-Bundesamt. 04.07.2024

[8] Chatkeo, Y.: Die Stabilität des Eisenbahngleises im Bogen mit engen Halbmessern bei hohen Axialdruckkräften. Dissertation, Technische Universität München, Lehrstuhl und Prüfamt für Bau von Landverkehrswegen, 1985

[9] Seraphim et al.: Längsverschiebewiderstand eines Schottergleises – Messungen im Bf. Gohfeld, Bundesbahn-Zentralamt, München, 1980

[10] DIN EN 13146-1:2019-04 – Bahnanwendungen – Oberbau – Prüfverfahren für Schienenbefestigungssysteme – Teil 1: Ermittlung des Durchschubwiderstandes in Längsrichtung; Deutsche Fassung EN 13146-1:2019

[11] DIN EN 13146-2:2012-06 – Bahnanwendungen – Oberbau – Prüfverfahren für Schienenbefestigungssysteme – Teil 2: Ermittlung des Verdrehwiderstandes; Deutsche Fassung EN 13146-2:2012

[12] DIN EN 13674-1:2011-04 – Bahnanwendungen – Oberbau – Schienen – Teil 1: Vignolschienen ab 46 kg/m; Deutsche Fassung EN 13674-1:2011

[13] DBS 918 254-1 – Technische Lieferbedingungen – Schienen – Teil 1: Vignolschienen ab 46 kg/m; März 2019

Dr.-Ing. Marc Wenner
Projektleiter Forschungsprojekt TraBI
MKP GmbH, Weimar
marc.wenner@marxkrontal.com

Dr.-Ing. Sebastian Schneider
Projektingenieur
MKP GmbH, Hannover
sebastian.schneider@marxkrontal.com

David Huber, M.Sc.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Technische Universität München
Lehrstuhl und Prüfamt
für Verkehrswegebau, München
davidh.huber@tum.de

Dr.-Ing. Chongjie Kang
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Technische Universität Dresden
Fakultät Bauingenieurwesen
Institut für Massivbau, Dresden
chongjie.kang@tu-dresden.de

Dr.-Ing. Sebastian Plica
Geschäftsführer
Dr. Plica Ingenieure – Beratende Ingenieure – PartG mbB, München
sebastian.plica@dr-plica-ingenieure.de

Dipl.-Ing. Andreas Hacker
Vorstand
Konstruktionsgruppe Bauen AG, Kempten
andreas.hacker@kb-group.com

Dipl.-Ing. Randy Nachtigall
Projektingenieur
DB Bahnbau Gruppe GmbH, Dresden
randy.nachtigall@deutschebahn.com

Dr.-Ing. Katarzyna Zdanowicz
Geschäftsführerin
FOLAB GmbH, Weimar
k.zdanowicz@folab.de

Dr.-Ing. Tomás Arana Villafán
Wissenschaftlicher Referent
Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF), Dresden
aranat@dzsf.bund.de

Nutzung unter www.marxkrontal.com zeitlich unbefristet genehmigt durch DVV Media GmbH, 2025