

Sehr geehrte/r Leserin, Leser!

In Kürze ist das 1. Halbjahr 2024 schon wieder vorbei und in der FSV sind viele Prozesse weitergelaufen. Einer davon, die Standardisierte Leistungsbeschreibung Verkehr und Infrastruktur (LB-VI) in der Version 7, ist in der Fertigstellungsphase. Der bereits 2021 ausgegebene Termin, die LB-VI V07 im Spätherbst 2024 zu veröffentlichen, wird eingehalten werden. Die LB-VI ist ein sehr umfassendes Werk, es dient mittlerweile fast dem gesamten Tiefbau zur Anwendung im Auftragsmanagement. Auch im Bereich des Eisenbahnoberbaus wurden die Leistungsgruppen sorgfältig überarbeitet. Die FSV bedankt sich bei allen Mitgliedern der Fachausschüsse zur akribischen Überarbeitung der LB-VI. Mitte Juni findet der FSV-Verkehrstag mit Fachausstellung statt. Im Rahmenprogramm werden aktuelle Entwicklungen in den Arbeitsgruppen der FSV präsentiert. Von Seiten des Eisenbahnwesens sind unter anderen Eisenbahnkreuzungen, Korrosionsschutz und gefährliche Güter thematisiert. Die Fachausstellung ermöglicht der Industrie aktuelle und neue Produkte einem breiten Publikum vorzustellen. Nutzen Sie Ihre Möglichkeit sich beim Verkehrstag mit anderen Expertinnen und Experten auszutauschen.



Dipl.-Ing. Martin Car
Generalsekretär der FSV



Einfluss des nichtlinearen Schotteroberbauverhaltens auf die horizontale Gleis-Tragwerk-Interaktion zur dynamischen Beurteilung von Eisenbahnbrücken

Im Hinblick auf die Tendenz zu ansteigenden Streckengeschwindigkeiten sowie einer Steigerung des Verkehrsvolumens ist die Fortentwicklung der Forschung zur effizienten Dimensionierung, Berechnung und Instandhaltung aller Bauwerke, welche Teil des Eisenbahnsystems sind, von großer Bedeutung.

Über 6000 Bestandsbrücken, meist mit kleineren bis mittleren Spannweiten (< 35 m), sind allein im österreichischen Bahnnetz zu finden. Insbesondere bei Hochgeschwindigkeitsverkehr erweisen sich diese Brücken als besonders schwingungsanfällig, was sowohl ihre Gebrauchstauglichkeit als auch ihre Tragfähigkeit und den Fahrkomfort beeinträchtigen kann. Die daraus resultierenden potenziellen Schäden am Tragwerk sowie die Reduktion des Fahrkomforts bei übermäßigen Schwingungen können zu einem Verlust an Wettbewerbsfähigkeit und Attraktivität des Eisenbahnsystems führen.

Die Problemstellung einer genaueren, aber zugleich einfach anwendbaren, mechanischen Modellierung zur Erfassung des dynamischen Verhaltens von Eisenbahnbrücken bildet das Leitmotiv der vorliegenden Diplomarbeit. Ein wesentlicher Aspekt ist vor allem die Berücksichtigung des Einflusses des Schotteroberbaus und des Vorlandbereichs auf die Schwingungsantwort von Eisenbahnbrücken hinsichtlich auftretender Resonanzeffekte infolge Zugüberfahrt.

Die aus mechanischer Hinsicht komplexe Beschaffenheit von Eisenbahnbrücken mit Schotteroberbau macht es immer noch sehr aufwändig, ihr Schwingverhalten bei Zugüberfahrten realitätsnah zu prognostizieren. Die Hauptproblematik einer zuverlässigen Schwingungsprognose liegt in der Unsicherheit der verwendeten Eingangsparameter in mechanischen Modellen, insbesondere aufgrund der hohen Streuung der Kennwerte zur rechnerischen Erfassung des Schotteroberbauverhaltens und der Vielzahl an möglichen Modellbildungen.

In dieser Arbeit werden die maßgebenden Steifigkeits- und Dämpfungsbeiträge des Schotteroberbaus zur Systemsteifigkeit



Dipl.-Ing. Alessio Cocci, BSc.

und -dämpfung in verschiedenen Rechenmodellen implementiert. Dabei liegt der Schwerpunkt auf dem Koppelbalkenmodell, das aus zwei Euler-Bernoulli Balken besteht, jeweils einer für das Tragwerk und einer für die Schiene. Diese Balken sind durch eine horizontale kontinuierliche Feder-Dämpferkopplung miteinander verbunden, die die Steifigkeits- und Dämpfungseigenschaften des Schotteroberbaus repräsentiert. Es wird zudem angenommen, dass beide Balken vertikal starr gekoppelt sind und daher eine identische Biegelinie aufweisen, wie in Bild 1 dargestellt.

Ein weiterer essenzieller Aspekt bei der umfassenden Modellierung von Eisenbahnbrücken liegt in der Berücksichtigung des Einflusses der Vorlandbereiche vor und nach der Brücke bei der Bestimmung der dynamischen Parameter. Sofern keine Schienenauszugsvorrichtung vorhanden ist, unterliegt auch der Schotteroberbau im Vorlandbereich einer dynamischen Anregung, was einen bedeutenden Beitrag zur Masse und Steifigkeit des gesamten Brückensystems darstellt. Die Vorlandbereiche werden bis zu einer bestimmten Länge über den Auflagerbereich hinaus als Einmassenschwingersysteme mit einer

Ersatzmasse und -steifigkeit mitmodelliert, die mit dem Brückensystem gekoppelt sind. Die Erfassung der Vorlanddämpfung erfolgt in Verbindung mit den Dämpfungsmechanismen im Brückenbereich durch Energiebetrachtungen, um eine quantitative Abschätzung zu ermöglichen.

Im Fall eines Überganges ohne Schienenauszug verursacht die Kontinuität der Schienen zwischen Brücke und Vorland eine Einspannwirkung, die einen Widerstand gegen Verdrehung und gegen Längsverschiebung an der Brückenauflegerstelle leistet. Zur Berücksichtigung dieser Einspannwirkung wird jeweils eine Feder mit einer zu bestimmenden Federkonstanten an den Stabenden des Oberbaustabes angeordnet.

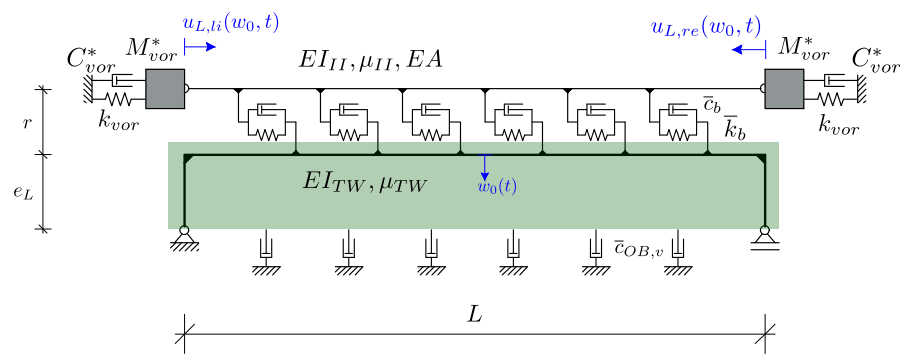
Das Vorlandssystem im Dammbereich kann als horizontal gebetteter Dehnstab mit einer begrenzten Länge modelliert

werden. Da es sich um die Fortführung des Oberbaubalkens aus dem Feldbereich handelt, kann dieser erneut als Stab bestehend aus Schienen, Schwellen und dem dazwischen liegenden Schotter idealisiert werden. Der Stab ist hierbei mit dem Untergrund durch eine kontinuierliche, horizontale Federbettung verbunden, die den Längsverschiebewiderstand des Schotters wiedergibt. Die dadurch ermittelten Kennwerte können folglich für die oben genannten Vorland-Einmassenschwingersysteme herangezogen werden und somit in das Gesamtmodell integriert werden.

Als wesentliches Ergebnis dieser Arbeit werden Bestimmungsgleichungen für die dynamischen Parameter Biegeeigenfrequenz und Lehr'sches Dämpfungsmaß des gesamten Brückensystems Brücke und Vorland abgeleitet, siehe Bild 1. Dabei können

das nichtlineare Stoffverhalten des Schotteroberbaus und des Vorlandbereichs berücksichtigt werden.

Bei der Erforschung der zur Gleis-Tragwerk Interaktion zugehörigen dynamischen Kennwerte des Oberbauschotters und haben sich Nichtlinearitäten im Materialverhalten gezeigt: eine zunehmende relative Horizontalverschiebung führt zu einer Abnahme der Steifigkeit. Die Annahme eines linearen Verhaltens entspricht somit nicht der Realität. Zur Erhöhung der Genauigkeit der Ergebnisse, wird in dieser Arbeit das tatsächliche nichtlineare Verbundverhalten des Schotters zwischen Gleisrost und Tragwerk bzw. Untergrund erfasst und in das Vorlandmodell, sowie in das Koppelbalkenmodell, durch Eingabe nichtlinearer Federkennwerte implementiert, siehe Bild 2.



$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\frac{EI_{ges} \pi^4 w_0^2}{2L^3} + \bar{k}_b \frac{\pi^2 w_0^2}{L^2} \left(\frac{r^2 L}{2} + e_L^2 L \right) + k_{vor} (u_{L,li}^2 + u_{L,re}^2)}{\mu_{ges} \frac{L w_0^2}{2} \left[1 + 2 \left(\frac{\pi e_L}{L} \right)^2 \right] + M_{vor}^* (u_{L,li}^2 + u_{L,re}^2)}$$

$$\zeta_{ges} = \zeta_{TW} + \overbrace{\frac{\Delta \zeta_{OB,v}}{4 M_{ges}^* \Omega_1} \frac{\bar{c}_{OB,v} L w_0^2}{2 L M_{ges}^* \Omega_1}}^{\Delta \zeta_{OB,v}} + \overbrace{\frac{\Delta \zeta_{OB,h}}{2 L M_{ges}^* \Omega_1} \frac{\bar{c}_b \pi^2 w_0^2}{2 L M_{ges}^* \Omega_1} \left(e_L^2 + \frac{r^2}{2} \right)}^{\Delta \zeta_{OB,h}} + \overbrace{\frac{\Delta \zeta_{vor}}{2 M_{ges}^* \Omega_1} \frac{C_{vor}^*}{2 M_{ges}^* \Omega_1} [u_{L,li}^2(w_0) + u_{L,re}^2(w_0)]}^{\Delta \zeta_{vor}}$$

1: Gesamtmodell Brücke mit Vorland und Bestimmungsgleichungen zur Ermittlung der Biegeeigenfrequenz f1 und des Lehr'schen Dämpfungsmaßes

Veranstaltungen und Seminare

FSV-Tagungen:

FSV-Verkehrstag 2024 mit Fachaussstellung

20.06.2024

Vienna Marriott Hotel, 1010 Wien

Brückenprüfer Erfahrungsaustausch

25.09.2024

Novotel Wien Hauptbahnhof, 1100 Wien

FSV-Preis 2024

14.11.2024

Riverbox, 1020 Wien

FSV-Schulung:

Gewässerschutzanlagen Ursache -

Funktion - Wirkung - mit Exkursion

26.-27.06.2024

FSV, 1040 Wien

Nähere Informationen zu diesen und weiteren Veranstaltungen, und eine Online-Anmeldemöglichkeit finden Sie auf unserer Homepage unter www.fsv.at.

FSV-AKTUELL SCHIENE

„Österreich-Teil“ und offizielles Organ des Bereichs Schiene der Österreichischen-Forschungsgesellschaft Straße · Schiene · Verkehr (FSV)

FSV-Geschäftsstelle:

A-1040 Wien, Karlsgasse 5

Tel.: +43 1 5855567 ·

Fax: +43 1 5855567 - 99

E-Mail: office@fsv.at · <http://www.fsv.at>

Schriftleitung:

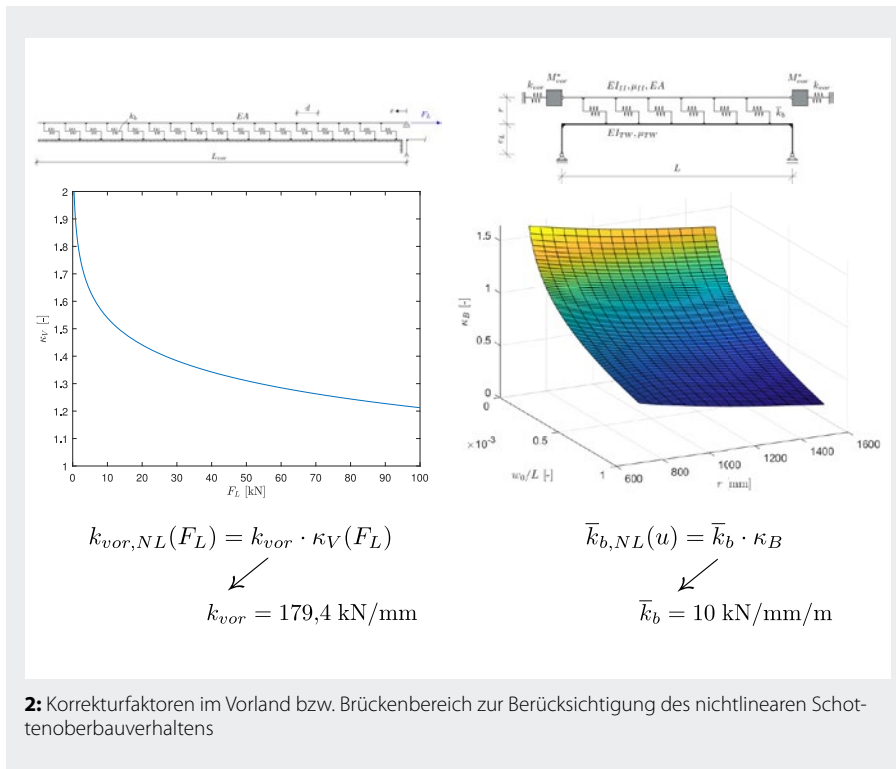
DI(FH) DI Ehrenfried Lepuschitz

(Kommentare, Anregungen, Beitragsideen etc. erwünscht!)

Weitere Informationen und Bestellmöglichkeit der Publikationen der FSV auf www.fsv.at.

Bei Bestellungen im EU-Raum bitte Ihre UID bekannt geben (in Deutschland = DE + 9 Ziffern), da Sie so die MwSt. sparen können.

Abonnementpreis der Zeitschrift ETR – Eisenbahntechnische Rundschau für **FSV-Mitglieder ermäßigt!**



Es werden daher Korrekturfaktoren formuliert, um die Nichtlinearität zu berücksichtigen, selbst wenn lineare Systemparameter verwendet werden, ohne auf computergestützte Methoden zurückgreifen zu müssen. Mithilfe dieser Korrekturfaktoren werden die Schotterfedersteifigkeit im Feldbereich und die Vorlandsteifigkeit im Vorlandbereich angepasst. Bei der Ermittlung der ersten Biegeeigenfrequenz hat die Erhöhung der Modellierungstiefe nur einen geringen Einfluss auf die Ergebnisse. Die Berücksichtigung der Nichtlinearitäten und des Vorlandbereichs des Schotteroberbaus führt jedoch zu zuverlässigeren Dämpfungsmaßen, wobei die Ergebnisse das gemessene Verhalten von Bestandsbrücken deutlich genauer reproduzieren.

Wie bereits erwähnt, stellt das Lehr'sche Dämpfungsmaß einen weiteren wesentlichen Kennwert dar. Dieses hat einen gravierenden Einfluss auf die rechnerisch ermittelten Schwingungsamplituden, insbesondere bei Auftreten von Resonanzspitzen. Das Vorgehen zur Ermittlung des Dämpfungsmaßes hierbei basiert auf dem Prinzip, dass die im Gesamtsystem dissipierte Energie aus mehreren unabhängigen Anteilen besteht, die getrennt betrachtet werden können. Einerseits wird eine Komponente für die vom Tragwerk dissipierte Energie identifiziert, die auch die Boden-Bauwerk-Interaktion, sowie die

Lagerung einbeziehen soll. Andererseits gibt es eine Komponente für die Dissipation im Schotteroberbau, die sich wiederum in einen horizontalen und vertikalen Anteil separieren lässt. Aus der Erweiterung des Koppelbalkenmodells um das Vorland kann die Bestimmungsgleichung für das Lehr'sche Dämpfungsmaß schließlich um den Beitrag der Vorlandbereiche $\Delta \zeta_{vor}$ ergänzt werden. Daraus lässt sich die Dissipation für das Gesamtsystem Brücke und Vorland quantifizieren, siehe Bild 1.

Die Evaluierung und Verifizierung des rechnerischen Ansatzes zeigen eine deutliche Übereinstimmung mit den dynamischen Parametern realer Eisenbahnbrücken, welche aus Messdaten identifiziert wurden. Dies stellt einen Fortschritt im Forschungskontext dar, der darauf abzielt, die Abweichung zwischen den gemessenen Werten und den berechneten Ergebnissen zu reduzieren und alternative Ansätze zu den konservativen normativen Vorgaben bereitzustellen. Dadurch wird eine präzisere Bewertung von Bestandsbrücken ermöglicht und gleichzeitig eine nachhaltigere Dimensionierung zukünftiger Eisenbahnbrücken angestrebt.

Dipl.-Ing. Alessio Cocci, BSc.

Zur Teilnahme beim FSV-Preis im November 2023 wurde die Diplomarbeit von Dipl.-Ing. Alessio Cocci in der FSV eingereicht.