

Rail track resistance verification considering track-bridge-interaction

Verifizierung des Schienenwiderstands unter
Berücksichtigung der Gleis-Tragwerk-Interaktion

DISSERTATION

Vorgelegt an der Fakultät Bauingenieurwesen
der Technischen Universität Dresden
zur Erlangung der Würde eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften
– Dr.-Ing. –

von Chongjie Kang, geboren am 20. Juli 1990
in Wentang, Hunan, China

Vorsitzender:	Prof. Dr.-Ing. habil. Ivo Herlo
Gutachter:	Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx Prof. Dr.-Ing. Stephan Freudenstein Prof. Gonglian Dai
Weitere Mitglieder:	Prof. Dr.-Ing. Peer Haller

Dresden 05.2021

Rail track resistance verification considering track-bridge-interaction

Abstract: As rails are vital parts of a track system, it is essential to ensure their safe and reliable operation. The present verification approaches and limit values regarding the permissible additional stresses of the rail under compression and tension considering track-bridge-interaction (TBI) were developed in the 1980s. However, with the rapid development of the railway industry and the increasing of train speeds, rail infrastructures are subjected to ever more frequent, greater loads and more complicated loading conditions, especially in the area of bridges. Moreover, the manufacturing technologies of railway components have been further developed. Taking all the aforementioned variations into account, the current verification approaches and limit values do not apply properly today and shall be updated. For this purpose, new investigations are carried out in this dissertation.

As major parts of this cumulative dissertation, the published investigations are divided into three main blocks. The first block is the state of the art. In this block, a detailed background knowledge and a state of the art description of the permissible additional stresses in railway tracks due to TBI are given. Furthermore, the motivation for the studies within the scope of this dissertation is addressed. The second block deals with the rail resistance under compressive forces in ballastless track systems. Accordingly, numerical investigations on the behaviour of rails in ballastless track systems under compressive axial forces in the vicinity of bridge joints were performed. Experimental tests were also carried out on two 8.17 m long rails fixed with BSPFF-B-1 and SBS300-1 fasteners on the ÖBB-Porr slab track system. It was found that the rail resistance under longitudinal compressive loads can be largely increased. The third block focuses on the rail resistance under tension. First, extensive experiments were conducted on rail behaviour for up to five million cyclic loads in both vertical and transverse directions under different minimum stress levels. Subsequently, the sectioning method and the X-Ray diffraction method were applied to determine the residual stress distribution in the rail. Afterwards, the determined residual stress results and the fatigue test results are analysed together. As a result, a new comprehensive Smith-diagram, which took into account the actual rail residual stresses, up to five million load cycles in both vertical and transverse directions of the rail, was achieved.

In addition, two studies are supplemented. One deals with the fatigue behaviour of rails for up to 50 million load cycles and the other concerns the fatigue behaviour of rails from a different batch for up to five million load cycles. Based on all these aforementioned investigations, it is concluded that the current limit values and approaches regarding the rail resistance in ballastless track systems under compression and tension considering TBI are too conservative. In the end, new verification approaches and limit values are proposed.

Keywords: Track-bridge-interaction; Ballastless track system; Rail resistance; Permissible additional stress; Smith-diagram; Rail fatigue behavior; Residual stress;

Verifizierung des Schienenwiderstands unter Berücksichtigung der Gleis-Tragwerk-Interaktion

Kurzfassung: Da Schienen ein elementarer Bestandteil des Gleissystems sind, muss ihr sicherer und zuverlässiger Betrieb gewährleistet werden. Die gültigen Nachweisansätze und die Grenzwerte der zulässigen zusätzlichen Schienenspannung unter Druck und Zug mit Berücksichtigung der Gleis-Tragwerks-Interaktion wurden in den 1980er Jahren entwickelt. Mit der rasanten Entwicklung im Bereich des Eisenbahnverkehrs und den erhöhten Zuggeschwindigkeiten ist die Schieneninfrastruktur immer häufiger, höheren Belastungen und komplexen Belastungszuständen, insbesondere im Bereich der Brücken, ausgesetzt. Zudem haben sich die Fertigungstechnologien von Oberbaukomponenten weiterentwickelt. Unter Berücksichtigung aller vorgenannten Veränderungen sind die bisherigen Nachweisansätze und Grenzwerte für die heutigen Gegebenheiten nicht mehr geeignet und sollen aktualisiert werden. Die im Rahmen der Dissertation durchgeführten Untersuchungen befassen sich mit neuen Untersuchungen zu dieser Thematik.

Als wesentliche Teile dieser kumulativen Dissertation sind die veröffentlichten Untersuchungen in drei Abschnitte gliedern. Der erste Abschnitt zeigt den Stand der Technik. In diesem Block wird der Stand der Technik bezüglich der zulässigen Zusatzspannungen in Eisenbahnschienen infolge der Gleis-Tragwerks-Interaktion beschrieben und ein detailliertes Hintergrundwissen vermittelt. Weiterhin wird die Motivation für die im Rahmen dieser Dissertation durchgeführten Untersuchungen dargelegt.

Der zweite Abschnitt befasst sich mit dem Schienenwiderstand unter Druck in Feste Fahrbahn-Systemen. Dazu wurden numerische Untersuchungen zum Verhalten von Schienen in Feste Fahrbahn-Systemen unter axialen Druckkräften in der Nähe von Brückenfugen durchgeführt. Außerdem wurden experimentelle Versuche an zwei 8,17 m langen Schienen auf einem Festen Fahrbahn-System der ÖBB-Porr durchgeführt. Als Befestigung kamen die Typen BSPFF-B-1 und SBS300-1 zum Einsatz. Dabei wurde festgestellt, dass der Schienenspannungswiderstand unter Längsdruckbelastung deutlich erhöht werden kann.

Der dritte Abschnitt beschäftigt sich mit dem Schienenspannungswiderstand unter Zug. Zunächst wurden umfangreiche Versuche zum Schienenverhalten bei bis zu fünf Millionen Lastwechseln in Längs- und Querrichtung auf verschiedenen Unterspannungsniveaus durchgeführt. Anschließend wurden die Schnittmethode und die Röntgen-Diffraktometrie angewandt, um die Eigenspannungsverteilung in der Schiene zu bestimmen. Anschließend werden die ermittelten Eigenspannungsergebnisse und die Ergebnisse der Ermüdungsversuche gemeinsam analysiert. Als Ergebnis wurde ein neues umfassendes Smith-Diagramm erstellt, das die tatsächlichen Schieneneigenspannungen bis fünf Millionen Lastzyklen sowohl in vertikaler als auch in transversaler Richtung der Schiene berücksichtigt.

Darüber hinaus werden zwei Studien präsentiert. Die erste befasst sich mit dem Ermüdungsverhalten von Schienen für bis zu 50 Millionen Lastwechsel und die zweite mit dem Ermüdungsverhalten von Schienen aus einer anderen Charge für bis zu fünf Millionen Lastwechsel. Aus all diesen vorgenannten Untersuchungen wird gefolgert, dass die derzeitigen Grenzwerte und Nachweisansätze bezüglich des Schienenspannungswiderstandes in Feste Fahrbahn-Systemen unter Druck und Zug mit Berücksichtigung der

Gleis-Tragwerks-Interaktion zu konservativ sind. Abschließend werden neue Nachweisansätze und Grenzwerte vorgeschlagen.

Schlagwörter: Gleis-Tragwerks-Interaktion; Feste Fahrbahn; Schienenwiderstand; Zulässige Zusatzspannung; Smith-Diagramm; Schienenermüdungsfestigkeit; Eigenspannung;