

Diploma Thesis

Influence of the Power Car on the Dynamic Response of Single-Span Bridges under High-Speed Railway Traffic

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieurin
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

DIPLOMARBEIT

Einfluss des Triebwagens auf die dynamische Tragwerksantwort von einfeldrigen Eisenbahnbrücken bei Hochgeschwindigkeitsverkehr

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades einer
Diplom-Ingenieurin
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Lara Bettinelli, BSc BSc

Matr.Nr.: 01426895

unter der Anleitung von

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Josef Fink**

Univ. Ass. Dipl.-Ing. **Bernhard Glatz**

Institut für Tragkonstruktionen
Forschungsbereich Stahlbau
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13/212, A-1040 Wien

Wien, im Dezember 2018

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die durch ihre Unterstützung zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen haben. Das Studium des Bauingenieurwesens an der Technischen Universität Wien hat es mir nicht nur erlaubt fachliche Kompetenzen zu erwerben und zu vertiefen, sondern auch meinen Interessen zu folgen, mich persönlich weiterzuentwickeln und meine Leidenschaft für den konstruktiven Ingenieurbau zu entdecken. Ich danke Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Josef Fink und dem Forschungsbereich Stahlbau, der mir die Möglichkeit geboten hat, dieses Studium mit einer ausgesprochen spannenden und herausfordernden Arbeit abzuschließen und mir alle dazu erforderlichen Ressourcen zur Verfügung gestellt hat.

Mein besonderer Dank gilt Univ. Ass. Dipl.-Ing. Bernhard Glatz, der mich für die Thematik begeistert hat, mir mit vollem Engagement fachlich und organisatorisch zur Seite stand, und auf dessen Unterstützung ich jederzeit vertrauen konnte. Ohne seine stets hilfsbereite und motivierende Betreuung wäre diese Arbeit in der Form nicht möglich gewesen.

Zuletzt danke ich noch meiner Familie und meinem Freund, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit mit persönlichem Beistand, Korrekturlesungen, und manchmal auch der erforderlichen Ablenkung begleitet haben.

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Thematik der dynamischen Tragwerksantwort von einfeldrigen Eisenbahnbrücken bei Hochgeschwindigkeitsverkehr und den Einfluss, den der Triebwagen auf resonanzbedingte Beschleunigungsspitzen ausübt. Die Fragestellung, ob sich bestimmte Eigenschaften der Brückentragwerke und Triebwagen für einen ausgeprägten Einfluss auf die maximalen Vertikalbeschleunigungen als besonders kritisch erweisen, und wie groß der Einfluss des Triebwagens ist, wird anhand von mehreren numerischen Analysen beantwortet. Für diese werden drei europäische Hochgeschwindigkeitszüge herangezogen. In vielen Untersuchungen des dynamischen Verhaltens werden die Triebwagen in den eingesetzten Lastmodellen vernachlässigt. Welche Auswirkungen diese Vernachlässigung haben kann, wird in dieser Arbeit untersucht.

Mithilfe einer Voruntersuchung an einer Auswahl real existierender Tragwerke wird überprüft, ob ein Zusammenhang zwischen diversen Längenverhältnissen der Trieb- und Reisezugwagen und den maximalen Vertikalbeschleunigungen festgestellt werden kann. Die daran angeschlossene Parameterstudie untersucht den Einfluss des Triebwagens für ein breites Feld an Brückentragwerken. Zudem werden die in den Berechnungen eingesetzten Zugkonfigurationen sowohl als Folge von Einzellasten, als auch als Mehrkörpersystem unter Berücksichtigung der Fahrzeug-Brücken-Interaktion modelliert.

Anhand der Ergebnisse beider Studien kann das Brückenparameterfeldes in Bereiche, unterteilt werden, in denen das Auftreten bestimmter Resonanzszenarien wahrscheinlich ist. Für diese werden geometrische Eigenschaften der Triebwagen definiert, die sich auf die maßgebenden Beschleunigungsspitzen besonders günstig oder ungünstig auswirken. Darüber hinaus zeigt der Vergleich der Berechnungsergebnisse mit Lastmodellen unterschiedlicher Komplexität, dass sich mit dem weniger rechenintensiven Modell der bewegten Einzellasten zum Teil sehr unwirtschaftliche und auch unsichere Ergebnisse im Zusammenhang mit den Triebwagen ergeben können.

Abstract

The present thesis addresses the topic of the dynamic response of single-span bridges under high-speed railway traffic and the influence of the power car on resonance-induced acceleration peaks. The question of whether certain characteristics of the bridge structures and vehicles prove to be particularly critical for a significant influence on the maximum vertical accelerations, and how great the influence of the power car becomes, is answered with the aid of several numerical analyzes. These analyzes are carried out using three European high-speed trains. Many studies of dynamic behavior have neglected the power cars in the implemented load models. The impact of this neglect is studied in this thesis.

Throughout a preliminary investigation on a selection of real existing bridges correlations between various length ratios of the power car and passenger car and the maximum vertical accelerations can be determined. A subsequent parametric study examines the impact of the power car on a wide range of bridge structures. Furthermore, the train configurations used in the calculations are modeled as a series of moving axle loads as well as a multi-body system, which considers the vehicle-bridge interaction.

Based on the results of both studies, the parameter field of bridges can be divided into subsections in which the occurrence of certain resonance scenarios is probable. Geometric properties of the power cars, which have a particularly beneficial or unfavorable impact on the relevant acceleration peaks, can be defined for each subsection. In addition, the comparison of the calculation results, which use load models of different complexity shows that the less sophisticated moving load model can possibly result in very uneconomical or even unsafe results regarding the influence of the power car.

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1 Einleitung	1
1.1 Normative Vorgaben und Modellierungsstrategien für dynamische Berechnungen	1
1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit	2
Kapitel 2 Mechanische Grundlagen.....	5
2.1 Modellbildung Brücken	5
2.1.1 Bewegungsgleichung des beidseits gelenkig gelagerten Bernoulli-Euler-Balkens.....	6
2.1.2 Eigenschwingungen des Bernoulli-Euler-Balkens.....	7
2.1.3 Modalanalyse	8
2.2 Modellbildung Züge	10
2.2.1 Moving Load Model.....	10
2.2.2 Detailed Interaction Model	12
2.2.3 Computerunterstützte Auswertung.....	14
2.3 Einflussparameter	15
2.3.1 Brückenparameter.....	16
Charakteristische Geschwindigkeiten für Resonanz und Auslöschung	16
Massenbelegung	19
Spannweite	20
Eigenbiegefrequenzen.....	20
Dämpfung.....	22
2.3.2 Zugparameter	23
Railjet	24
ICE 2.....	25
ETR Y-500.....	26
2.4 Überblick über den Stand der Technik.....	27
2.4.1 State of the Art – Lastmodelle und deren Einfluss.....	27
2.4.2 State of the Art - Einfluss des Triebwagens.....	31
Kapitel 3 Parameterstudie: Variation der Triebwageneigenschaften.....	35
3.1 Rahmen und Ziel der ersten Studie.....	35

3.2	Brückenparameter.....	35
3.3	Zugparameter.....	36
3.4	Berechnungsparameter.....	38
3.5	Ergebnisse der Berechnungen mit dem Railjet (zwei zentrale Triebwagen)	39
3.5.1	Variation der Wagenlänge d_{TW}	39
3.5.2	Variation des Drehgestellabstandes r_{TW}	42
3.5.3	Vergleichsberechnung mit nur einem Drehgestell in der Mitte	45
3.5.4	Interpretation der Ergebnisse.....	46
3.5.5	Schlussfolgerungen	51
3.6	Ergebnisse der Berechnungen mit dem ICE 2 bzw. ETR Y-500 (Triebwagen vorne und hinten): Zusammenfassung und Interpretation	52
Kapitel 4 Parameterstudie: Variation der Tragwerkseigenschaften.....		57
4.1	Rahmen und Ziel der zweiten Studie.....	57
4.2	Brückenparameter.....	58
4.3	Zugparameter.....	59
4.4	Berechnungsparameter	60
4.5	Ergebnisse der Berechnungen mittels MLM	62
4.5.1	Überfahrtssimulationen für den Railjet mittels MLM.....	63
4.5.2	Überfahrtssimulationen für den ICE 2 und ETR Y-500 mittels MLM	76
4.5.3	Schlussfolgerungen der Berechnungen mittels MLM.....	88
4.6	Ergebnisse der Berechnungen mittels DIM.....	90
4.6.1	Überfahrtssimulationen für den Railjet mittels DIM	90
4.6.2	Überfahrtssimulationen für den ICE 2 und ETR Y-500 mittels DIM	99
4.7	Vergleich MLM und DIM	102
4.8	Schlussfolgerungen der Berechnungen mittels DIM	116
Kapitel 5 Schlussfolgerungen und Ausblick.....		119
Appendix.....		123
Literatur.....		145
Abbildungsverzeichnis.....		149
Tabellenverzeichnis		157