



DIPLOMARBEIT  
Master's Thesis

**Entwicklung eines alternativen Berechnungsansatzes  
für das Moving Load Model zur dynamischen  
Berechnung von Eisenbahnbrücken**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des  
akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Josef Fink und Dipl.-Ing. Bernhard Glatz

E 212

Institut für Tragwerkskonstruktionen – Forschungsbereich für Stahlbau

eingereicht an der Technischen Universität Wien  
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Andreas Stollwitzer

01126812

Sechsschimmelgasse 22, A-1090 Wien

Wien, am

eigenhändige Unterschrift



# Danksagung

Im Laufe meines Studiums an der Technischen Universität Wien war eine Vielzahl an Weggefährten an meiner Seite, die mich begleitet, motiviert und unterstützt haben. An dieser Stelle möchte ich mich bei folgenden Personen besonders bedanken:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Josef Fink vom Institut für Tragkonstruktionen, der mich von Beginn an für den Fachbereich Stahlbau begeistert hat und mir die Möglichkeit bot, diese Diplomarbeit mit einer äußerst interessanten und spannenden Aufgabenstellung zu verfassen.

Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Bernhard Glatz, der immer offen für meine Fragen war und mir mit viel Geduld, Interesse und Hilfsbereitschaft zur Seite stand. Mit zahlreichen Anregungen und konstruktiver Kritik sorgte er für ein sehr professionelles und freundschaftliches Betreuungsverhältnis.

meiner gesamten Familie, insbesondere meinem Vater Hubert, der mich zum Studium ermutigte und mich auf meinem Lebensweg immer moralisch und finanziell unterstützte.

# Zusammenfassung

Bei der dynamischen Berechnung von Eisenbahnbrücken hängt der Berechnungsaufwand wesentlich vom Detaillierungsgrad des verwendeten mechanischen Modelles ab. Je genauer der Detaillierungsgrad ist, desto mehr entsprechen die berechneten Schwingungsantworten einer Brücke dem realen Tragwerksverhalten, womit jedoch ein deutlich höherer Berechnungsaufwand einhergeht. In dieser Arbeit werden zwei mechanische Modelle verwendet, bei denen die überfahrende Zugkonfiguration entweder als Folge von Einzelkräften oder als Mehrkörpersystem modelliert wird, wobei das Mehrkörpersystem realitätsnähere Schwingungsantworten liefert.

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, das Modell der überfahrenden Einzelkräfte so zu adaptieren, dass die damit berechneten Schwingungsantworten bei vergleichsweise sehr geringem Rechenaufwand jenen des Mehrkörpersystems entsprechen. Auf Basis einer rechnerisch berücksichtigten zusätzlichen Brückenmasse in Kombination mit einer Variation der Achslasten des Zuges wurden insgesamt vier alternative Berechnungsansätze formuliert und anschließend in einer Vorstudie und einer umfangreicheren Parameterstudie untersucht. Dabei wurden die Schwingungsantworten der alternativen Berechnungsansätze mit jenen des Mehrkörpersystems verglichen, wobei sich letztendlich einer der vier alternativen Berechnungsansätze als akkurate und zufriedenstellende Näherung des Mehrkörpersystems herausgestellt hat.

## **Abstract**

The extend of calculating the dynamic behaviour of railway bridges caused by crossing high-speed trains depends in large part on how detailed the mechanical model used actually is. The more thorough this model is, the more a bridge's calculated vibration responses correspond to the actual behaviour of its bearing structure. However, such an approach requires a substantially greater calculating effort. This thesis introduces two mechanical models: in the first one, the bridge-crossing train system is configured as a series of moving loads. The second model is based on a multi-body system consisting of masses, springs and dampers, producing vibration results much closer to reality.

This thesis seeks to adapt the model for the calculation of moving loads in a way that the resulting vibration responses correspond to those from the multi-body system, with considerably less calculation effort by comparison. Based on calculated, additional bridge mass combined with a variation of axis loads of the train, a total of four alternative calculation models have been designed. These were subsequently analyzed in a preliminary study as well as in a comprehensive parameter study. The vibration responses of alternative calculation models were being compared with those of the multi-body system. At long last, one of the four calculation systems emerged as an accurate and satisfactory approximation of the multi-body system.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>1 Mechanische Grundlagen und Berechnungssoftware</b> .....	<b>3</b>
1.1 Modellbildung der Brücke .....	3
1.2 Verwendete Zugmodelle und zugehörige Lastterme .....	6
1.2.1 Moving Load Model .....	7
1.2.2 Detailed Interaction Model .....	8
1.3 Berechnung der Schwingungsantwort.....	10
1.4 Numerische Integration der Bewegungsgleichungen.....	12
1.4.1 Überblick der <i>ODE-solver</i> in MATLAB .....	12
1.4.2 Definition stiff/nonstiff ODE .....	13
1.4.3 Anwendung auf das MLM und DIM Modell.....	14
1.5 Schwingungsantworten zufolge MLM und DIM anhand einer Beispielbrücke .	16
<b>2 Alternative Berechnungsansätze und Vorstudie</b> .....	<b>19</b>
2.1 Brückentragwerke .....	19
2.2 Zugkonfigurationen.....	22
2.2.1 Railjet.....	23
2.2.2 ICx-Reihe .....	25
2.3 Berechnungsansätze .....	28
2.3.1 Berechnungsansatz 1 – Zusatzmasse 2000 kg/m und volle Achslasten .....	29
2.3.2 Berechnungsansatz 2 – Zusatzmasse entsprechend Radsatzmassen und volle Achslasten .....	30
2.3.3 Berechnungsansatz 3 – Zusatzmasse entsprechend Radsatzmassen und reduzierte Achslasten .....	31
2.3.4 Berechnungsansatz 4 – Zusatzmasse entsprechend Radsatz- und Drehgestellmassen und reduzierte Achslasten.....	31
2.4 Vorstudie .....	32

2.4.1	Verwendete Brücken- und Zugparameter .....	33
2.4.2	Analyse der Beschleunigungsverläufe und der verschiedenen Berechnungsansätze für den ICx3 .....	35
2.4.3	Detailanalyse ausgewählter Tragwerke für den ICx3 .....	41
2.4.4	Analyse der Beschleunigungsverläufe und der verschiedenen Berechnungsansätze für den Railjet B2 .....	47
2.4.5	Detailanalyse ausgewählter Tragwerke für den Railjet B2.....	54
2.4.6	Bewertung der vier neuen Berechnungsansätze .....	59
<b>3</b>	<b>Parameterstudie .....</b>	<b>60</b>
3.1	Verwendete Brücken- und Zugparameter .....	60
3.2	Schwingungsantworten infolge der ICx-Konfigurationen .....	64
3.2.1	Analyse der Beschleunigungsverläufe und Berechnungsansätze .....	64
3.2.2	Detailanalyse ausgewählter Tragwerke .....	70
3.3	Schwingungsantworten infolge der Railjet-Konfigurationen .....	72
3.3.1	Analyse der Beschleunigungsverläufe und Berechnungsansätze .....	72
3.3.2	Detailanalyse ausgewählter Tragwerke .....	78
3.4	Tragwerke über 30 m Spannweite.....	83
3.4.1	Schwingungsantworten ausgewählter langer Tragwerke zufolge der ICx-Konfigurationen .....	83
3.4.2	Schwingungsantworten ausgewählter langer Tragwerke zufolge der Railjet-Konfigurationen .....	85
3.5	Fazit der alternativen Berechnungsansätze .....	90
<b>4</b>	<b>Schlussfolgerungen und Ausblick.....</b>	<b>91</b>

## **Anhang**

### **Tabellenverzeichnis**

### **Abbildungsverzeichnis**

### **Literaturverzeichnis**