

# **Dynamik von Eisenbahnbrücken unter Hochgeschwindigkeitsverkehr**

Entwicklung eines Antwortspektrums  
zur Erfassung der dynamischen Tragwerksreaktion

Vom Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie  
der Technischen Universität Darmstadt  
zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)  
genehmigte

DISSERTATION



von

**Dipl.-Ing. Markus Spengler**

aus  
Simmern / Rheinland-Pfalz

**D 17**

**Darmstadt 2010**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Formelzeichen und Variablen</b> .....	<b>IV</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Problemstellung und Motivation.....	1
1.2 Zielsetzung.....	4
1.3 Vorgehensweise.....	5
<b>2 Einwirkungen auf Eisenbahnbrücken</b> .....	<b>7</b>
2.1 Einführung.....	7
2.2 Historische Eisenbahnlasten für Brücken.....	7
2.3 Aktuell gültige Regelungen zu Einwirkungen auf Eisenbahnbrücken.....	12
2.3.1 Allgemeines.....	12
2.3.2 Brücken ohne Resonanzgefahr.....	13
2.3.2.1 Das Lastmodell UIC 71.....	13
2.3.2.2 Hintergründe zur Entwicklung des Lastmodells UIC 71.....	15
2.3.3 Brücken mit Resonanzgefahr.....	21
2.3.3.1 Abgrenzungskriterien zur Notwendigkeit einer dynamischen Berechnung.....	21
2.3.3.2 Berechnungsgrundlagen für resonanzgefährdete Brücken.....	24
2.4 Zusammenfassung.....	33
<b>3 Dynamik von Brücken unter bewegten Lasten</b> .....	<b>35</b>
3.1 Einführung.....	35
3.2 Grundlagen.....	35
3.3 Rechenverfahren.....	39
3.3.1 Modale Superposition.....	39
3.3.2 Zeitschrittverfahren.....	42
3.4 Besonderheiten bei Eisenbahnbrücken.....	46
3.4.1 Modellbildung von Eisenbahnbrücken.....	46
3.4.2 Angeregte Eigenformen infolge Zugüberfahrt.....	51
3.4.3 Einwirkungen infolge Zugüberfahrt und Berücksichtigung der Interaktion Zug – Brücke.....	54

<b>4</b>	<b>Dynamische Berechnungen zur Simulation von Zugüberfahrten .....</b>	<b>57</b>
4.1	Einführung .....	57
4.2	Beschreibung des Berechnungsmodells.....	58
4.2.1	Allgemeines.....	58
4.2.2	Modellbildung einer Eisenbahnbrücke.....	61
4.2.3	Dynamisches Berechnungsverfahren .....	68
4.2.4	Vergleich ausgewählter Berechnungsergebnisse mit Schnittkrafttabellen aus der DB-Richtlinie 804.....	71
4.3	Eingangsgrößen für das Berechnungsmodell.....	72
4.4	Einfluss der Lastverteilung durch den Oberbau in Längsrichtung .....	79
4.5	Dynamische Effekte am Beispiel des Biegemoments in Feldmitte .....	87
4.5.1	Einführung.....	87
4.5.2	Hochgeschwindigkeitslastbilder HSLM-A01 bis A10.....	87
4.5.2.1	Maximale statische Biegemomente .....	87
4.5.2.2	Dynamischer Zuwachs.....	91
4.5.2.3	Bezogene dynamische Vergrößerung .....	96
4.5.3	Aktuelle Betriebszüge im deutschen Streckennetz .....	101
4.5.3.1	Allgemeines .....	101
4.5.3.2	Auswahl maßgebender Betriebszüge.....	105
4.5.3.3	Maximale statische Biegemomente .....	106
4.5.3.4	Dynamischer Zuwachs.....	109
4.5.4	Vergleich der Betriebszüge mit den Hochgeschwindigkeitslastbildern...	112
4.6	Berücksichtigung beliebiger Bauwerksdämpfungen .....	114
4.6.1	Allgemeines.....	114
4.6.2	Approximation des Dämpfungseinflusses.....	116
4.6.3	Beispiel.....	120
4.7	Beziehung zwischen Biegemoment und anderen Antwortgrößen .....	124
4.7.1	Allgemeines.....	124
4.7.2	Approximationsgleichungen für Querkraft, Durchbiegung und Beschleunigung .....	125
4.8	Zusammenfassung.....	129

<b>5</b>	<b>Entwicklung eines Antwortspektrums</b> .....	<b>131</b>
5.1	Einführung .....	131
5.2	Kritische Zuggeschwindigkeiten .....	132
5.3	Ermittlung eines Antwortspektrums .....	134
5.3.1	Hochgeschwindigkeitslastbilder HSLM-A .....	134
5.3.2	Betriebszüge .....	141
5.4	Beispiele.....	142
5.4.1	Beispiel 1: Spannbetonbrücke, L = 25m .....	142
5.4.2	Beispiel 2: Stahlbetonbrücke, L = 6,50m.....	145
5.4.3	Beispiel 3: Verbundbrücke, L = 12m, Betriebszüge .....	148
5.5	Zusammenfassung.....	150
<b>6</b>	<b>Bemessungshilfen zur Vordimensionierung</b> .....	<b>151</b>
6.1	Einführung .....	151
6.2	Entwicklung von Abgrenzungskriterien .....	153
6.3	Zusammenfassung.....	162
<b>7</b>	<b>Resümee und Ausblick</b> .....	<b>165</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>171</b>
<b>Anhang</b> .....		<b>177</b>

