

Zusammenfassung

Die technischen Fortschritte im Bau von Eisenbahnbrücken ermöglichen die Realisierung von immer schlankeren und leichteren Tragwerken. Parallel dazu werden die Leistungen im Eisenbahnbetrieb ständig gesteigert, was sich in technischer Hinsicht in höheren Achslasten und schnelleren Betriebsgeschwindigkeiten auswirkt. Durch diese Entwicklungen wird das dynamische Verhalten von Eisenbahnbrücken immer bedeutender für Entwurf und Bemessung neuer Konstruktionen oder für etwaige Sanierungsmaßnahmen. Mit den derzeit in der Praxis verbreiteten Berechnungsmethoden gelingt es oft nicht, das Schwingungsverhalten der Brücken unter der Einwirkung von Zügen mit zufriedenstellender Genauigkeit vorauszusagen. Betroffen sind vor allem kurze Brücken mit Schotteroberbau, sodass Messungen und Versuche vor Ort notwendig werden, die einen erheblichen Aufwand mit sich bringen. Bei der Berechnung der Schwingungsantwort von Brücken unter bewegten Lasten spielen zwei Aspekte eine zentrale Rolle: die Detaillierung der mechanischen Modelle und die realistische Abschätzung deren Dämpfung. Dies sind die beiden Themenschwerpunkte der vorliegenden Arbeit.

In Bezug auf die mechanische Modellbildung wird die Problemstellung auf Transversalschwingungen von Balkenbrücken unter Berücksichtigung der Rotationsträgheit und Schubdeformation eingeschränkt. Ausgehend von einer strengen Herleitung der Bewegungsgleichungen wird die Methode nach *Ritz* und *Galerkin* (im Besonderen die Modalanalyse) zur Diskretisierung der Brücke eingesetzt. Für die Beschreibung der Fahrzeuge werden drei mechanische Modelle verwendet: eine Folge von Einzelkräften, eine Folge von Einzelmassen und eine Folge von Mehrkörpersystemen. Die Lastmodelle werden über Kopplungskräfte mit den Brückenmodellen verknüpft, um die Überfahrt von Zügen zu simulieren. Die daraus resultierenden Bewegungsgleichungen werden mit numerischen Methoden gelöst. Mit der Mathematiksoftware MATLAB wurde ein Anwendungsprogramm geschrieben, das die automatisierte Berechnung und Auswertung von Überfahrtsereignissen mit den vorgestellten Last- und Brückenmodellen ermöglicht. Die drei Lastmodelle werden anhand praxisbezogener Berechnungsbeispiele miteinander verglichen. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass mit Lastmodellen aus Einzelkräften oder Einzelmassen die Schwingungsantwort der Brücke überschätzt wird, während mit Lastmodellen aus Mehrkörpersystemen wesentlich genauere Ergebnisse zu erzielen sind.

Zur näherungsweisen Berechnung der Schwingungsantwort von Eisenbahnbrücken sind Lastmodelle aus Einzelkräften gut geeignet, wenn die Interaktion zwischen den Fahrzeugen und der Brücke mit zusätzlicher Dämpfung abgedeckt wird. Das in der Baudynamik vielfach bewährte Antwortspektrenverfahren wird auf die Berechnung der Schwingungsantwort von

Balken unter bewegten Einzelkräften angewendet. Es werden Antwortspektren entwickelt, mit denen die maximal zu erwartende Schwingungsantwort ohne aufwändige Berechnung aus Diagrammen ermitteln werden kann.

Im zweiten Themenschwerpunkt der Dissertation wird die Wirkung des Schotteroberbaus auf die Transversalschwingungen von Eisenbahnbrücken untersucht. Zur Analyse des dynamischen Zusammenspiels zwischen dem Schotteroberbau und dem Brückentragwerk wurde eine speziellen Versuchsbrücke gebaut. Die Versuchsbrücke wurde als einfeldrige Balkenbrücke mit 10 m Spannweite in Stahlbauweise errichtet und mit Sensoren zur Messung der Beschleunigungen und Wege ausgerüstet. Anschließend wurde ein kompletter Schotteroberbau im Maßstab 1:1 in die Brücke eingebaut. Die dynamischen Eigenschaften der Versuchsbrücke ohne und mit Schotteroberbau wurden mit einem innovativen System aus zwei Richterregern nach den Methoden der experimentellen Modalanalyse ermittelt. Mit dieser Vorgangsweise gelingt es, den Beitrag des Schotteroberbaus zum dynamischen Verhalten der gesamten Brücke versuchstechnisch exakt zu quantifizieren. Die Versuche zeigen, dass der Schotteroberbau eine nichtlineare Wirkung auf die Dämpfung und die dynamische Steifigkeit der Brücke hat. Die mathematische Abbildung des Schotteroberbaus erfolgt mit einem eigenen Biegebalken, der an den Ersatzbalken für das Tragwerk der Brücke gekoppelt wird, sodass ein System aus zwei gekoppelten Balken entsteht. Somit kann das Rechenmodell für den Schotteroberbau auch für andere Balkenbrücken angewendet werden, was in einem abschließenden Berechnungsbeispiel demonstriert wird. Hier wird deutlich, dass die Kenntnis über die Wirkung des Schotteroberbaus bei der Simulation von Zugüberfahrten von großer Bedeutung ist und damit das Schwingungsverhalten der Brücke realistischer berechnet werden kann.