

# DYNAMISCHES LASTMODELL FÜR EISENBAHNBRÜCKEN



ISM+D

Institute of Structural Mechanics and Design  
Institut für Statik und Konstruktion

Antonia Kohl, M.Sc.

Brücken jeglicher Art sind faszinierende Bauwerke und schaffen Verbindungen über Wasser und Täler sowie andere Verkehrswege, die sonst nicht überwunden werden könnten. Wie alle Bauwerke müssen sie vielen Ansprüchen genügen. Dabei sind die Eigen- und Verkehrslast, sowie äußere Einflüsse wie beispielsweise Wind und außerdem die ästhetische Anpassung an das Umfeld zu beachten.

Für den Entwurf von Eisenbahnbrücken ist auf Hochgeschwindigkeitsstrecken neben der statischen Bemessung auch die dynamische Belastung zu beachten. Da dynamische Berechnungen sehr aufwändig sind, werden hierfür vereinfachte Lastmodelle verwendet, die aktuell einer Erneuerung bedürfen, um alle vorhandenen Zugtypen abzudecken.

## Einleitung

Der Eurocode EN 1991-2, welcher in den 1990er Jahren entwickelt wurde, umfasst die Grundlagen der Lastannahmen für Berechnungen von Eisenbahnbrücken. Insbesondere enthält er die für dynamische Berechnungen der Zugüberfahrten anzusetzenden Hochgeschwindigkeits-Modellzüge HSLM-A und HSLM-B. Neue Fahrzeugkonzepte, neue Wagenkastenlängen und Drehgestellabstände sowie immer schneller fahrende (Güter-)Züge führen dazu, dass die aktuell gültigen Modellzüge aus der Norm unzureichend für die dynamische Beurteilung von Eisenbahnbrücken sind.

| Zugtyp        | $P$<br>in kN  | $D$<br>in m         | $D_{ic}$<br>in m        | $e_c$<br>in m        |
|---------------|---|---------------------|-------------------------|----------------------|
| Gelenkig      | 170   | $18 \leq D \leq 27$ | -                       | -                    |
| Konventionell | < 170<br>oder mit einem Wert<br>nach Gleichung (E.2)<br>(unten) | $18 \leq D \leq 27$ | -                       | -                    |
| Regelmäßig    | 170   | $10 \leq D \leq 14$ | $8 \leq D_{ic} \leq 11$ | $7 \leq e_c \leq 10$ |

Abbildung 1: Grenzwerte für Hochgeschwindigkeitszüge, die dem Lastmodell HSLM entsprechen [DIN EN 1991-2]

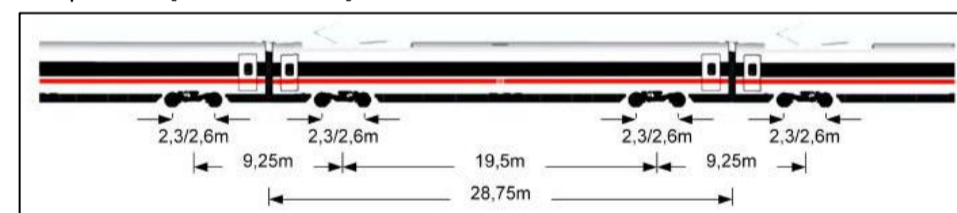


Abbildung 2: Radsatzanordnung ICE 4 [DB Netz]

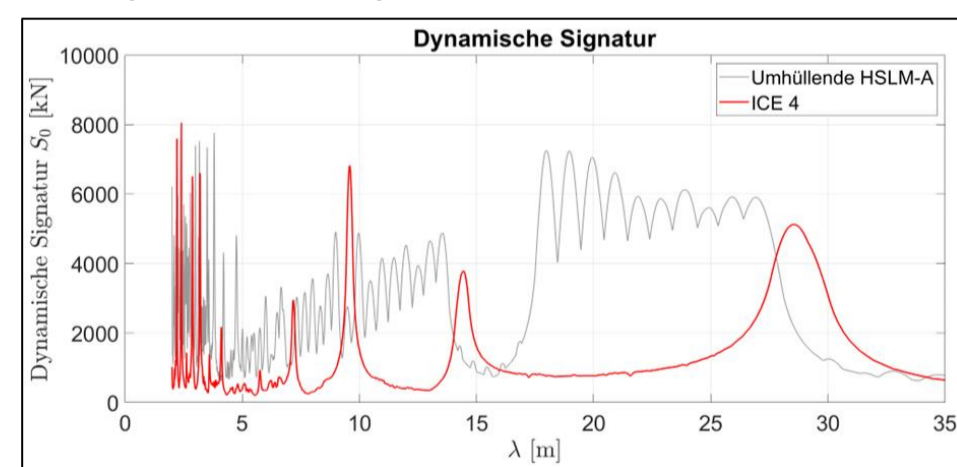


Abbildung 3: Dynamische Zugsignatur für HSLM-A und ICE 4

Es besteht daher die dringende Notwendigkeit zur Entwicklung neuer dynamischer Lastmodelle, welche die Neuerungen der Fahrzeugindustrie sowie verkehrende Betriebszüge abdecken, was das Ziel des vorliegenden Projekts war, das von dem internationalen Konsortium AIT, REVOTEC, KU Leuven und TU Darmstadt bearbeitet wurde.

## Zugsammlung und Brückenset

Basis für die Entwicklung der Modellzüge für ein neues Lastmodell war eine umfangreiche Zugsammlung der aktuell in Europa verkehrenden Betriebszüge, die in enger Abstimmung mit Fahrzeugherstellern und auf Basis von Achslastmessdaten erstellt wurde. Aus einer Sammlung von über 3.000 Personen- und 140.000 Güterzügen unter Einbezug von möglichen künftigen Modifikationen von Zügen wurden mit Anwendung der DER- und LIR-Spektren sowie dynamischen Signatur die relevanten Betriebszüge abgeleitet. Mit den Daten der Fahrzeughersteller konnte auch ein Datensatz mit 25 Mehrkörpermodellen erstellt werden. Zusätzlich wurde anhand des Brückenportfolios der DB und ÖBB ein parametrisiertes Brückenset definiert.

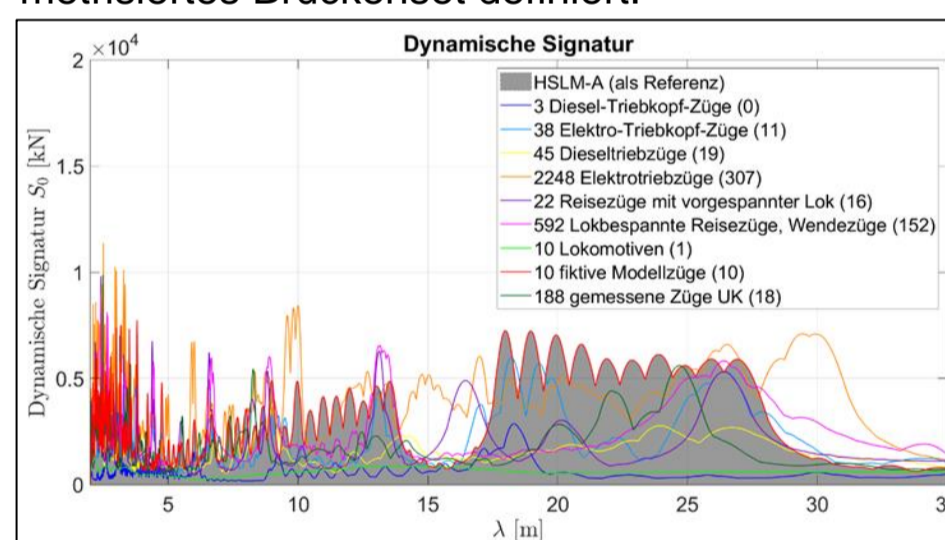


Abbildung 4: Dynamische Zugsignatur für Personenzüge

## Interaktion und Zusatzdämpfung

Mit dem Datensatz der Mehrkörpermodelle wurden umfangreiche Untersuchungen zur Zusatzdämpfung durchgeführt, die zu dem Ergebnis geführt haben, dass ein zugunabhängiger Zusatzdämpfungsansatz nicht definiert werden kann. Jedoch hat eine Validierung mittels mesdatengestützter Systemidentifikation ergeben, dass die auf Angaben der Fahrzeughersteller basierenden Mehrkörpermodelle zur dynamischen Berechnung von Brückenüberfahrten geeignet sind. Die durchgeführten Untersuchungen haben ergeben, dass die Modellierung mit bewegten Lasten, welche als Grundlage für die Entwicklung der neuen dynamischen Lastmodelle verwendet wurde, eine gute Annäherung für die Tragwerksantworten infolge einer Zugüberfahrt liefert.

## Optimierung Lastmodellzüge

Mit den abgeleiteten relevanten Betriebszügen wurden über 20 Millionen dynamische Brückenüberfahrten simuliert und eine Lastumhüllungsfläche als Referenz ermittelt. Die Lastumhüllungsflächen wurden im Weiteren dazu genutzt, die gesuchten neuen Modellzüge mit konventionellen sowie mit Jakobs-Drehgestellen abzuleiten und zu optimieren. Letztlich konnten so ein Personenzuglastmodell (DLM-PT), ein Güterzuglastmodell (DLM-FT) sowie mit Hilfe eines empirisch abgeleiteten Abminderungsfaktors auch ein Lastmodell für leichte, schnell fahrende Güterzüge (DLM-FT light) entwickelt werden, das anhand von ca. 350 realen Eisenbahnbrücken unterschiedlicher Bauart und Spannweite erfolgreich validiert wurde.

## Vereinfachung und Validierung des Lastmodells

Zusätzlich wurden im Projekt für die Abschätzung der dynamischen Tragwerksantworten infolge Zugüberfahrt im Entwurfsprozess einer Eisenbahnbrücke vereinfachte Verfahren auf Grundlage eines Antwortspektrums und eines Meta-Modells entwickelt und an den realen Brückentragwerken erfolgreich validiert.

Das entwickelte Hochgeschwindigkeitslastmodell soll in der vereinfachten Form in der Ingenieurpraxis Anwendung finden und dafür als Normentwurf formuliert werden.

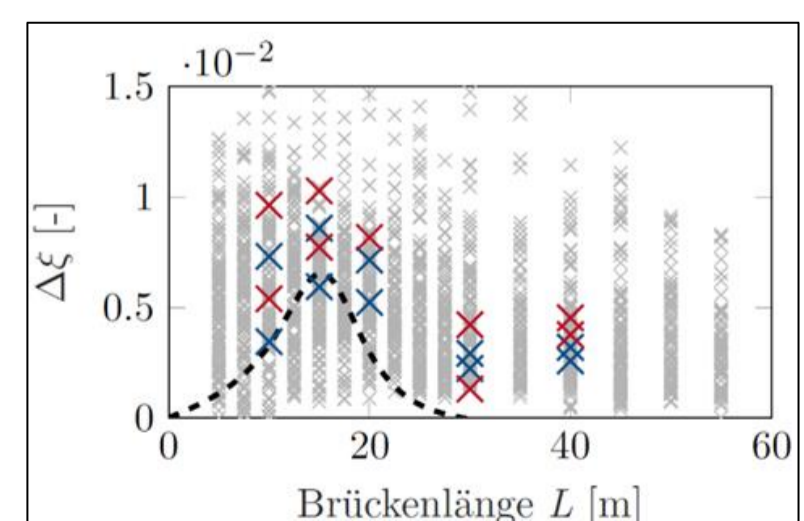


Abbildung 5: Zusatzdämpfung; ADM Eurocode 1 (---), ICE 2 (x) und Eurostar (x), 25 Züge und 100 Brücken (x)

## Kontakt:

Antonia Kohl, M.Sc.  
kohl@ismd.tu-darmstadt.de

Technische Universität Darmstadt  
Institut für Statik und Konstruktion

Franziska-Braun-Str. 3  
64287 Darmstadt