

Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 135 (2009)
Heft: 16: Im Takt

Artikel: Dynamik kurzer Brücken
Autor: Wörndle, Pierre
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-108251>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

DYNAMIK KURZER BRÜCKEN

Für die AlpTransit Gotthard AG sausen virtuelle Hochgeschwindigkeitszüge über computermodellerte Brücken. So kann das Verhalten der Bauwerke simuliert werden, um die Sicherheit der neuen Eisenbahn-Alpentransversale (Neat) nachzuweisen. In der Schweiz sind derartige dynamische Analysen noch selten, sie werden aber an Bedeutung gewinnen.

Mit dem Gotthard-Basistunnel entsteht neben dem Lötschberg-Basistunnel die zweite Hochgeschwindigkeitsstrecke durch die Alpen. Nicht nur das zentrale Tunnelbauwerk, auch zahlreiche Kunstbauten auf den Zufahrten müssen für diese erhöhte Beanspruchung ausgelegt werden. Sie macht aus Bauwerken, die auf den ersten Blick unscheinbar wirken, anspruchsvolle Ingenieurprojekte. Dazu gehören zum Beispiel kurze Unterführungen. Im untersuchten Fall handelt es sich um eine schlichte Zweifeldträgerbrücke mit Spannweiten von je ca. 10m, über die drei Gleise führen (Abb. 1 und 2). Ab 2017 werden auf zwei der drei Gleise Hochgeschwindigkeitszüge mit bis zu 250km/h fahren und den Norden Europas durch den längsten Eisenbahntunnel der Welt mit dem Süden verbinden.

KURZE BRÜCKE + HOHE TEMPI = BESONDERE ANFORDERUNGEN

Die Kombination «kurze Brücke» und «hohe Tempi von Hochgeschwindigkeitszügen» hat es in sich. Dies haben Erfahrungen auf den Steckennetzen des TGV in Frankreich und des ICE in Deutschland gezeigt. Als Folge der über die gesamte Zuglänge nahezu gleichmässigen geometrischen Anordnung der Radsätze bei Hochgeschwindigkeitszügen neigen insbesondere Brücken mit kurzen Spannweiten bei Geschwindigkeiten über 200km/h zu besonders starken Schwingungen aufgrund der regelmässigen Anregung. Wenn die Schwingungen durch Resonanz aufgeschaukelt werden, vermindert sich nicht nur der Fahrkomfort. Zusätzlich besteht auch die Gefahr, dass das Schotterbett zerrieben wird, zu wandern beginnt und dass sich Hohllagen unter den Schwellen ausbilden. Beide Erscheinungen können die Stabilität der Fahrspur beeinträchtigen. Resonanzschwingungen mit ungünstigen Auswirkungen auf das Bauwerk sind dann möglich, wenn ein ganzzahliges Vielfaches der Erregerfrequenz gleich der Eigenfrequenz der Brücke ist. Die Erregerfrequenz wird im Wesentlichen durch die Zuggeschwindigkeit und durch die Fahrzeuglänge der Reisezugwagen bestimmt. Die Eigenfrequenz der Brücke wiederum ist abhängig von den konstruktiven Gegebenheiten (siehe die Auflistung in Kasten S. 31).

ANWENDUNG INTERNATIONALER NORMEN

Im EU-Raum gelten aufgrund der genannten Gefahrenpotenziale spezielle Anforderungen und Auflagen an Kunstbauten für Hochgeschwindigkeitsstrecken. Der Gotthard-Basistunnel wird ein wichtiger Bestandteil des europäischen Hochgeschwindigkeitsnetzes. Eine Norm wie die EN 1991-2, die in Frankreich, Deutschland und dem grössten Teil Europas für solche Strecken Gültigkeit hat, fehlt jedoch in der Schweiz. Abgestützt auf die Eurocode-Normen hat die AlpTransit Gotthard AG deshalb für ihre Kunstbauten besondere Auflagen definiert, die insbesondere für zweifeldrige Brücken spezielle dynamische Untersuchungen mit Zeitlaufberechnung erforderlich machen. Ist der zeitliche Verlauf der einwirkenden Kraft bekannt, können die daraus folgenden zeitlichen Antwortreaktionen der Struktur (Zeitantwort) berechnet werden. Es ist somit möglich, eine zeitabhängige Bauwerksantwort zu ermitteln. Das Verfahren wurde in der Schweiz in dieser Form im Praxiseinsatz bisher erst selten durchgeführt. Es erfordert neben Spezialkenntnissen auch die entsprechenden Simulationsprogramme und grosse Rechenkapazitäten.

DYNAMISCHE ÜBERPRÜFUNG VON EISENBAHNBRÜCKEN

Kategorie 1

Einfache dynamische Überprüfung: Die einfache dynamische Überprüfung ist für alle Bauwerke durchzuführen und verlangt die Bestimmung der ersten Eigenfrequenz des Systems. In die Kategorie 1 fallen alle Bauwerke, die gewissen Kriterien gemäss EN 1991-2 genügen.

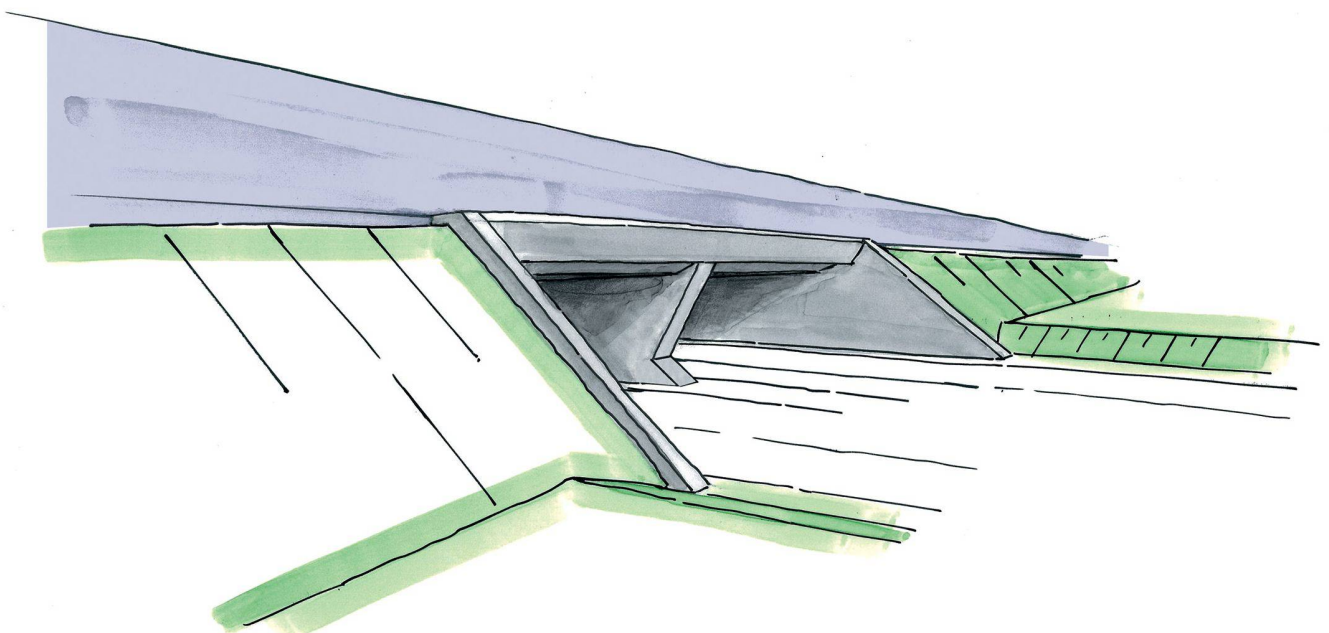
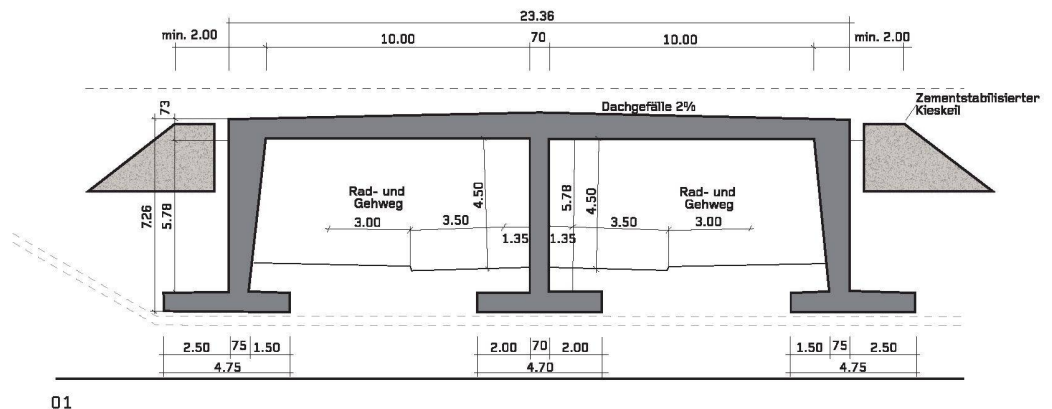
Kategorie 2

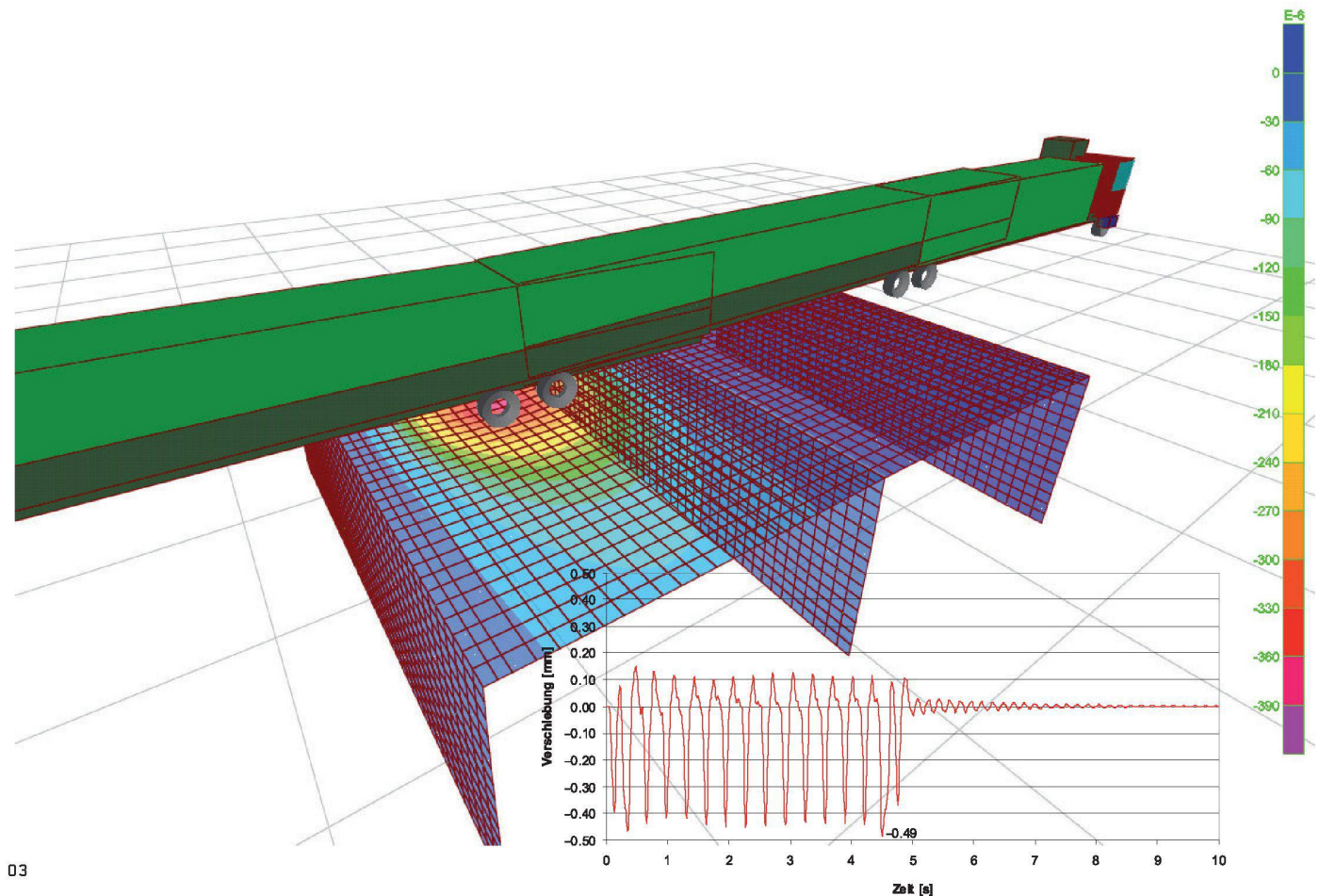
Vollständige dynamische Untersuchung: Eine vollständige dynamische Berechnung erfordert die Berechnung der Überbaubeschleunigungen und ist insbesondere bei Mehrfeldträgerbrücken anzuwenden. Darüber hinaus können jedoch auch Einfeldbrücken in die Kategorie 2 gelangen, sofern gewisse Kriterien gemäss EN 1991-2 erfüllt sind.

REALITÄT IM MODELL ABSTRAHIERT

Für die hier betrachtete Unterführung wurde mit der Finite-Elemente-Methode eine detaillierte dynamische Berechnung der Kategorie 2 (siehe nebenstehenden Kasten) durchgeführt. Analysen dieser Kategorie beinhalten eine vollständige dynamische Überprüfung des Bauwerks. Dazu wurde auf der Basis der Bauwerkspläne mit Grundriss, Längsschnitten und Querschnitten ein dreidimensionales Computermodell des Bauwerks erstellt. Dabei wurden auch die zwischen 73 cm und 97 cm variierende Dicke der Decke und die versteifenden Riegel berücksichtigt. Anhand dieses Modells konnten die verschiedenen möglichen Schwingungsformen der Brücke ermittelt und untersucht werden.

Die mechanischen Einwirkungen unterschiedlicher Zugseinheiten auf das virtuelle Brückenbauwerk wurden daraufhin mit Spezialsoftware simuliert und das dynamische Verhalten der Brücke im Zeitverlauf auf Einflussfaktoren wie Zuggeschwindigkeit, Gewicht oder Art der Zugkombination hin analysiert (siehe Kasten S. 31). Mit zehn verschiedenen virtuellen Zugkompositionen bestehender Praxis haben die Ingenieure insgesamt 86 unterschiedliche Kombinationen von Zügen, Geschwindigkeiten und Materialeigenschaften am Computer durchgespielt, um diejenige mit dem grössten Einfluss auf das dynamische Verhalten der Brücke zu bestimmen. Dabei zeigte sich, dass die schnellsten Züge nicht unbedingt massgebend sind.





03

01 Längsschnitt der berechneten Hochgeschwindigkeits-Eisenbahnbrücke, Mst. ca. 1:250 (Plan: Basler & Hofmann)

02 Visualisierung der berechneten Hochgeschwindigkeits-Eisenbahnbrücke (Grafik: Beratungsgruppe für Gestaltung ATG)

03 Beispiel für die Ergebnisse der dynamischen Analyse des Schwingungsverhaltens der untersuchten Brücke für ein bestimmtes Zugmodell und Parameter wie Geschwindigkeit und Gewicht. Die berechneten Verschiebungen sind durch Farben gemäss der Skala rechts (Einteilung in m^{-6}) dargestellt (Grafik: Basler & Hofmann)

EINHALTUNG DER GRENZWERTE UND BETRIEBLICHE SICHERHEIT

Bei der untersuchten Unterführung wurde mit der Methodik der dynamischen Zeitverlaufsrechnung belegt, dass die geplante Brückenkonstruktion den dynamischen Belastungen durch den Hochgeschwindigkeitsverkehr gewachsen ist (Abb. 3). Der zulässige Beschleunigungswert von $3.5 m/s^2$ wird selbst dann nicht überschritten, wenn zwei Hochgeschwindigkeitszüge mit ungünstigstem dynamischem Einfluss gleichzeitig in derselben Richtung die Brücke passieren. Die zu erwartenden dynamischen Verschiebungen liegen im Bereich von wenigen, noch zulässigen Millimetern. Somit sind für diesen konkreten Lastfall keine konstruktiven Massnahmen erforderlich.

Im Vergleich zu konventionellen Berechnungen lassen sich die Kräfte- und Schwingungseinwirkungen durch eine detaillierte dynamische Analyse viel wirklichkeitsnaher bestimmen. Sicherheitsmängel, die erst während des Betriebs auftauchen, können somit nach heutigem Wissensstand im Voraus bestimmt und für diesen konkreten Fall ausgeschlossen werden. Mit dem weiteren Ausbau der nationalen Hochgeschwindigkeitsstrecken wird die dynamische Zeitverlaufsrechnung auch in der Schweiz an Bedeutung gewinnen.

FAKTOREN, DIE DAS DYNAMISCHE VERHALTEN BEEINFLUSSEN

Bauwerkseitig:

- Spannweite bzw. Schlankheit der Tragelemente
- Masse des Bauwerks
- Dämpfung der Struktur
- vertikale Unregelmässigkeit der Struktur
- dynamische Eigenschaften der Spur

Zugseitig:

- Anzahl Achsen und Achslasten
- Achsabstand
- Geschwindigkeit
- dynamische Eigenschaften der Fahrzeuge
- Imperfektionen der Fahrzeuge

Pierre Würndle, Fachspezialist Baudynamik, Diplom-Bauingenieur RWTH Aachen, Basler & Hofmann Ingenieure und Planer AG, Zürich, Pierre.Woerndle@bhz.ch