

Themenvorschlag für eine Master Thesis

Machbarkeitsstudie zur Anwendung von Bridge-Weigh-in-Motion (BWIM) für typische Brückensysteme

Betreuer

Jonas Geng / Marcel Nowak
Zimmer: N3609
Tel.: 089/289-23083
E-Mail: jonas.geng@tum.de / marcel.nowak@tum.de

Allgemeines und Hintergrund

Beim Verkehrs(einwirkungs)monitoring kann prinzipiell zwischen "direktem Einwirkungsmonitoring" (direkte Messung der Verkehrseinwirkung) und "indirektem Einwirkungsmonitoring" (indirekte Messung der Verkehrseinwirkungen) unterschieden werden. Verfahren des indirekten Einwirkungsmonitorings versuchen den Belastungsprozess durch Lösung eines inversen Problems („Eingangsproblem“) zu beschreiben. Hierzu wird am Tragwerk die resultierende Beanspruchung gemessen, und hiervon – bei Bekanntsein des Tragwerksverhaltens und -zustands – auf die tatsächliche Einwirkungsgröße zurückgeschlossen [1]. Für Verkehrslasten haben sich hierbei verschiedene Methoden des sog. „Bridge-Weigh-in-Motion“ (BWIM) etabliert. Ausgehend vom ursprünglichen Verfahren aus [2] haben sich im Laufe der Zeit unterschiedliche Varianten des BWIM herausgebildet (z.B. [3]–[6]). Ihnen gemein ist das grundlegende Prinzip, dass aus verkehrsinduzierten Messsignalen der Tragwerksbeanspruchung (in aller Regel erfasst durch Dehnmessstreifen) mit Hilfe von Erkenntnissen zur Tragwerksbeanspruchung aus definierten Probelastungen („bekannte Einwirkung“) auf die verursachende Einwirkung zurückgeschlossen werden soll, häufig durch Lösung eines Optimierungsproblems.

Hinsichtlich der Anordnung von Messsensoren für BWIM kann grundsätzlich die globale und die lokale Tragwerksbeanspruchung unterschieden werden [7]. Die für das Gesamttragverhalten des Bauwerks maßgebende globale Tragwerksbeanspruchung (Beispiel Plattenbalkenbrücke: z.B. Dehnung in Längsrichtung an der Stegunterseite) wird überwiegend dominiert durch das Fahrzeuggesamtgewicht und die Anzahl an gleichzeitig vorhandenen Fahrzeugen auf der Brücke. Die lokale Tragwerksbeanspruchung (bei einer Plattenbalkenbrücke z.B. die Dehnung in Längsrichtung an Fahrbahnplattenunterseite zwischen den Stegen) hingegen wird dominiert von den einzelnen Achslasten und den zugehörigen Achsabständen innerhalb eines Fahrzeugs. Manche BWIM-Algorithmen arbeiten lediglich mit Messdaten weniger globaler Tragwerksbeanspruchungen, für die dann das Optimierungsproblem gelöst wird. Prinzipiell ließen sich alle mit der BWIM-Methode zu erfassenden Einwirkungsparameter (Gesamt- und Achsgewichte, Achsabstände, Achsanzahl, Fahrgeschwindigkeit) entsprechend als Optimierungsvariablen definieren, was das Optimierungsproblem jedoch äußerst komplex und sensitiv in Bezug auf seine Startwerte macht. Zudem ist für einen Teil der Parameter (z.B. Achslastverteilung, Achsabstände

und Achsanzahl) mit einer geringeren Messgenauigkeit zu rechnen, da diese Parameter das globale Messsignal nicht wesentlich beeinflussen. Durch eine sinnvolle Anordnung zusätzlicher Messgeber für lokale Tragwerksbeanspruchungen und die Kombination mit den globalen Sensoren lassen sich diese Parameter direkt aus den Messdaten ermitteln [3], [7]. Die Anzahl der Optimierungsvariablen und damit auch die Komplexität des Optimierungsproblems wird so erheblich reduziert. Allerdings erfordert dieses Vorgehen eine deutlich höhere Anzahl an Messsensoren.

Ziel

Das Ziel der Arbeit ist eine umfassende Bewertung der Anwendbarkeit verschiedener etablierter Methoden des BWIM auf verschiedene typische Brückensysteme (Unterscheidung v.a. hinsichtlich statisches System und Querschnittstypen) auf Grundlage von Untersuchungen an numerischen Brückenmodellen. Zusätzlich sollen für die verschiedenen Anwendungsfälle Empfehlungen zu geeigneter Sensoranordnung und erforderlichen Messrandbedingungen erarbeitet werden.

Prinzipieller Ablauf

- Grundlagenrecherche zu Bridge-Weigh-in-Motion (Konzepte und Anwendungsbedingungen) und Festlegung zu untersuchender BWIM-Konzepte (unter Zuhilfenahme KI-basierter Werkzeuge)
- Aufarbeitung typischer Brückensysteme (statisches System, Querschnittstypen) anhand von Literaturrecherche, beispielhaften Bauwerksdaten und Vorarbeiten am Lehrstuhl
- Numerische Modellierung typischer Brückensysteme mit SOFiS-TiK (teilw. aufbauend auf Vorarbeiten am Lehrstuhl)
- Numerische Implementierung von Auswerte-Routinen zu verschiedenen BWIM-Konzepten (teilw. aufbauend auf Vorarbeiten am Lehrstuhl)
- Numerische Untersuchungen an den Brückenmodellen zur Anwendung von verschiedenen BWIM-Konzepten
 - Systematische Auswertung der Einflussflächen für potentielle Sensorpunkte zur Identifizierung einer geeigneter Sensoranordnungen
 - Modellierung von Einzelfahrzeug-Überfahrten und Auswertung "fiktiver" Messsignale; Validierung mit Modell und Messdaten von A92
 - Untersuchung des Einflusses der Variation verschiedener geometrischer Parameter der Brückensysteme (Variation der Abmessungen von statischen System und Querschnitt)
 - Untersuchung komplexerer Überfahrts-Szenarien (Kolonne, Überholvorgang, Fahrzeugbegegnung)
- Abschließende Bewertung der untersuchten BWIM-Konzepte hinsichtlich Anwendbarkeit auf die verschiedenen untersuchten Brückensysteme, ggf. mit Differenzierung verschiedener Messparameter (z.B. Fahrzeuggewicht, Achsanzahl, Achsabstand, Achsgewicht, etc.)

- Ableitung von Empfehlungen zu geeigneten Sensoranordnungen und erforderlichen Messrandbedingungen für verschiedene Anwendungsfälle

Voraussetzungen

- Motivation und Interessen am Thema
- Gute Grundlagen in Statik und Mechanik
- Gute Grundlagen im Brückenbau
- Vorkenntnisse in SOFiSTiK und Programmierung mit Python sind vorteilhaft

Literatur

- [1] Schnellenbach-Held, M., Karczewski, B.; Kühn, O. (2014) Intelligente Brücke – Machbarkeitsstudie für ein System zur Informationsbereitstellung und ganzheitlichen Bewertung in Echtzeit für Brückenbauwerke. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Heft B 105, Bundesanstalt für Straßenwesen. (URL: <https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/index/index/docId/736>)
- [2] Moses, F. (1979) Weigh-in-motion system using instrumented bridges. Journal of Transportation Engineering 105, H. 3, S. 233-249. (DOI: 10.1061/TPEJAN.0000783)
- [3] Nowak, M.; Fischer, O. (2023) Verkehrsmonitoring an einer Autobahnbrücke – Datenerfassung zur lokalen Verkehrscharakteristik als Grundlage für objektspezifische Verkehrslastmodelle. Beton- und Stahlbetonbau 118, H. 9, S. 636-648. (DOI: 10.1002/best.202300043)
- [4] Nowak, M.; Fischer, O. (2020) Estimation of truck weights based on strain measurements from tendons of a post-tensioned concrete bridge. Chen, A.; Ruan, X.; Frangopol, D. (Hrsg.) Life-Cycle Civil Engineering: Innovation, Theory and Practice – Proceedings of the 7th International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering (IALCCE 2020), Shanghai, China. (DOI: 10.1201/9780429343292-227)
- [5] Kathmann, T.; Scotti, C.; Kucera, U. (2020) Bridge-WIM Pilotversuch – Begleitung und Auswertung. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Heft V 337, Bundesanstalt für Straßenwesen. (URL: <https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/index/index/docId/2462>)
- [6] Freundt, U.; Vogt, R.; Böning, S.; Pierson, C.; Ehrle, P. (2014) Roadtraffic Management System (RTMS). Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Heft B 100, Bundesanstalt für Straßenwesen. (URL: <https://www.bast.de/DE/Publikationen/Berichte/unterreihe-b/2014-2013/b-100.html>)
- [7] Lubasch, P. (2009) Identifikation von Verkehrslasten unter Einsatz von Methoden des Soft Computing. Dissertation an der Universität Duisburg-Essen. (URL: <https://portal.dnb.de/opac.htm?method=simpleSearch&cqlMode=true&query=idn%3D994030630>)