

| | |
|---------------------|--|
| Zeitschrift: | Tec21 |
| Herausgeber: | Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein |
| Band: | 129 (2003) |
| Heft: | 19: Adaptive Werkstoffsysteme |
| Artikel: | Eine instrumentierte geregelte Brücke: experimentelle Strukturmechanik im Massstab 1:1 an der Empa |
| Autor: | Gsell, Daniel / Weber, Felix / Feltrin, Glauco / Motavalli, Masoud |
| DOI: | https://doi.org/10.5169/seals-108748 |

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 14.02.2026

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

Eine instrumentierte geregelte Brücke

Experimentelle Strukturmechanik im Massstab 1:1 an der Empa

An Brücken und anderen Tragkonstruktionen werden in Zukunft vermehrt adaptive Dämpfungs-systeme für schwingende Komponenten zum Einsatz kommen. Gegenwärtig sind die erforderlichen strukturdynamischen Kenntnisse aber noch unvollständig. Um das Verhalten realer gedämpfter Strukturen zu erforschen, wird an der Empa Dübendorf eine mit Sensoren instrumentierte «intelligente» Versuchsbrücke entwickelt.

Der Einsatz moderner, hochfester Werkstoffe erlaubt die Konstruktion von weit gespannten, schlanken Brücken (Bild 4). Dies führt zu eleganten Bauwerken, die jedoch durch Wind und Verkehr leicht in Schwingungen versetzt werden können. Frühzeitige Ermüdungsschäden und eine Verunsicherung der Benutzer bezüglich der Sicherheit solcher Brücken sind die Folge. In der Forschung werden für die Lösung dieser Probleme die folgenden Ansätze untersucht:

- Zustandsüberwachung mittels Sensoren (siehe Kasten) und Computermodellen
- Aktive Schwingungsdämpfung mittels geregelter Aktoren (siehe Kasten).

Adaptives Dämpfungssystem

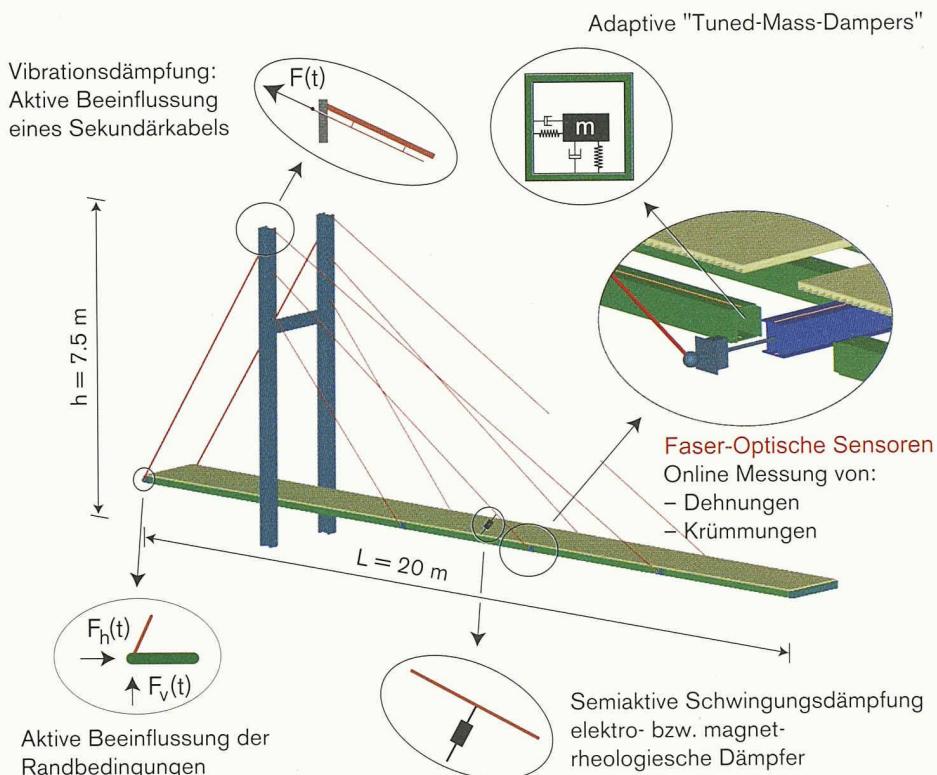
An der Abteilung Ingenieur-Strukturen der Empa Dübendorf wird zurzeit ein adaptives Dämpfungs-system für schwingende Brückenseile entwickelt. Es wird versucht, die Schwingungen mittels eines regelbaren Dämpfers möglichst wirksam zu reduzieren (Bild 3). Aufgrund des aktuellen Schwingungszustandes des Seiles wird computergestützt die optimale Dämpferkraft berechnet und in einem geschlossenen Regelkreis eingestellt. Im Vergleich zum Seil mit nicht geregeltem Dämpfer konnte so am Prüfstand bis anhin eine Schwingungsreduktion von bis zu 36% verifiziert werden (Bild 2).

Von Labormessungen zum realen Verhalten

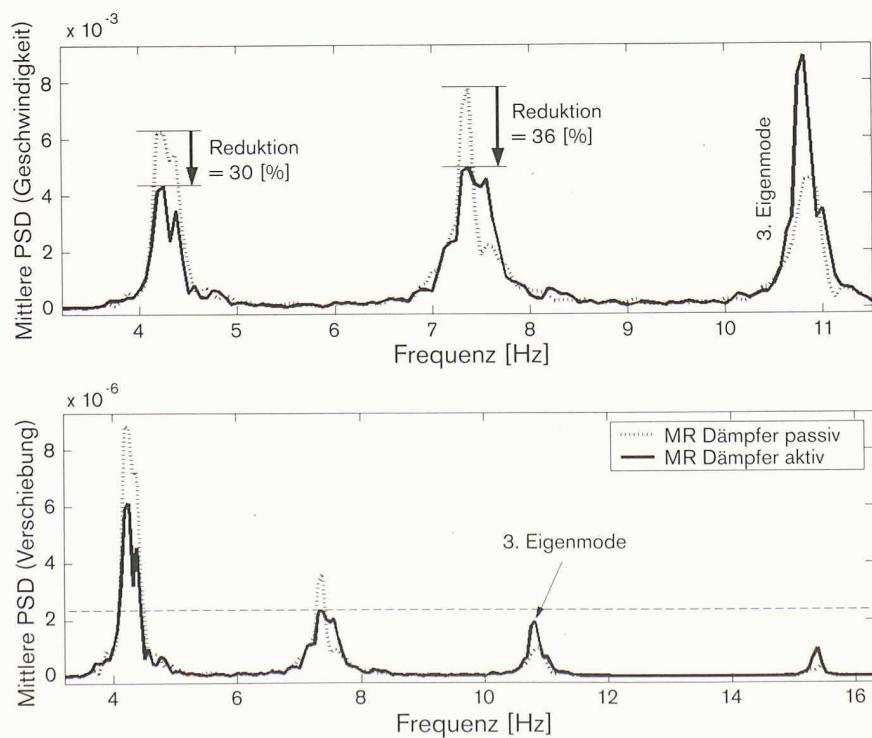
Um die Strukturdynamik und den Einsatz verschiedener Dämpfungsstrategien besser erforschen zu können, wird im Labor der Abteilung Ingenieur-Strukturen eine Schrägseilbrücke mit 20 m Spannweite gebaut (Bild 1).

Die wichtigsten heute und in nächster Zukunft technisch eingesetzten Sensoren und Aktoren

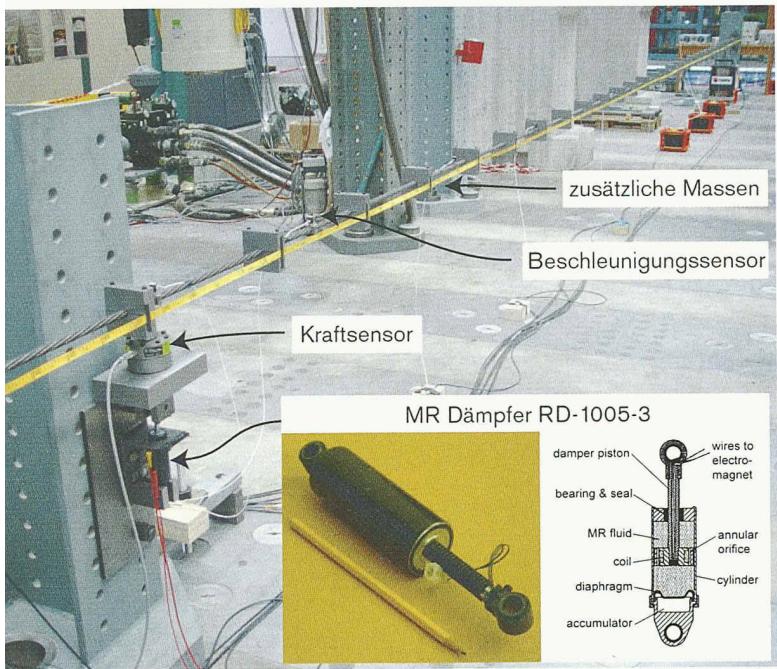
| Sensor | Wozu |
|--|--|
| Beschleunigungsgeber | Detektion von Vibrationen, Schwingungen |
| Weggeber | Detektion von Verschiebungen |
| Neigungsmesser | Detektion von Winkeln, Krümmungen |
| Kraftgeber | Detektion von Kräften (in der Regel zwischen Aktor und Struktur) |
| Dehnmess-Streifen (DMS) | Detektion von Dehnungen |
| Optische Faser | Detektion von Dehnungen |
| Piezoelektrische Faser | Detektion von Dehnungen |
| Temperaturgeber | Detektion der Temperatur (notwendig bei Schadensdetektion über Veränderung von Modalparametern) |
| Aktor | Wozu/Wirkungsweise |
| Hydraulische, pneumatische Zylinder | Aktive Beeinflussung der Struktur möglich, wenn die Zylinderkraft geregelt wird Auch als passiver Dämpfer einsetzbar, wenn die Zylinderkraft konstant bleibt |
| Elektrodynamisch angetriebene Aktoren | Aktive Beeinflussung der Struktur möglich Schneller Aktor |
| Passive Dämpfer (im weitesten Sinn Kunststoffe oder Fluide) | Nur passive Beeinflussung der Struktur möglich, es kann also nur Energie aus der Struktur dissipiert (vernichtet) werden Dämpfungskraft gegeben durch das verwendete Material |
| Regelbare Dämpfer, z. B. magnetorheologische oder elektrorheologische Fluide | Nur passive Beeinflussung der Struktur möglich, es kann also nur Energie aus der Struktur dissipiert (vernichtet) werden Die Dämpfungskraft kann im Bereich zwischen der Grundreibung und der maximalen Scherfestigkeit des verwendeten Fluids über den Strom (magnetorheologische Dämpfer) bzw. über die Spannung (elektrorheologische Dämpfer) eingestellt werden |
| Piezoaktoren | Aktive Beeinflussung von Strukturdeformationen Anwendung als Schalter für On/Off-Betrieb |
| Elektroaktive Polymere | Aktive Beeinflussung von Strukturdeformationen Geeignet für kleine Kräfte und grosse Deformationen |
| Formgedächtnislegierungen | Aktive Beeinflussung von Strukturdeformationen Anwendung für On/Off-Betrieb |



1
Schematische Darstellung des geplanten Schrägseil-Brückenmodells im Labor der
Empa mit möglichen Instrumentierungen



2
Experimentelle Ergebnisse: Vergleich zwischen adaptiver und passiver Dämpfung
(Bilder: Empa Dübendorf)



3
Adaptive Dämpfung der Seilschwingungen mit magnetorheologischen Dämpfern (MR-Dämpfern), Teststand an der Empa Dübendorf

4

Typisches Beispiel einer Schrägseilbrücke: Erasmus-Brücke in Rotterdam. Oben rechts sind die viskosen Dämpfer abgebildet, die zur Minderung der Kabelschwingungen installiert wurden (Bilder: Empa Dübendorf)



Die Brücke stellt ein Bindeglied zwischen Laborexperimenten an einfachen Tragelementen und den komplexeren realen Tragwerken mit all ihren Umwelteinflüssen dar. Es handelt sich dabei um ein modulares Fussgängerbrücken-System, bei dem die Brückenplatte aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) gefertigt wird. Die System- und Materialwahl ist so getroffen, dass am Tragwerk Schwingungsprobleme untersucht werden können.

Es ist vorgesehen, optische und piezoelektrische Fasern als permanente Sensoren in die GFK-Platten, die Seile und den Pylon zu integrieren. Solche Sensoren weisen als Vorteile auf, dass sie durch das Bauteil mechanisch geschützt sind, Temperatureinflüsse einfach kompensiert werden können und dass sie über lange Zeit stabil sind. Zusätzlich können im Fall der faseroptischen Sensoren mit einer Faser mehrere Messstellen realisiert werden. Die Sensoren dienen der Messung von Dehnungen an diversen definierten Punkten der einzelnen Bauteile.

Basierend auf diesen aktuellen Messdaten werden Systemparameter bestimmt, welche eine permanente Überwachung des materialtechnologischen Zustandes des Systems ermöglichen. Dadurch sollen Strukturschäden frühzeitig erkannt und gegebenenfalls entsprechende Massnahmen eingeleitet werden können. Die

Messdaten werden auch für die Regelung von Aktoren verwendet. So kann aktiv in den Systemzustand eingegriffen werden, um Schwingungen effizient zu dämpfen.

Nicht zuletzt soll diese Brücke auch als Schulungsobjekt verwendet werden. Sie bietet die einzigartige Möglichkeit, Studenten und interessierte Fachleute im Massstab 1:1 in den experimentellen Methoden der Strukturdynamik auszubilden.

Dr. Daniel Gsell, dipl. Bauing. ETH
Dr. Felix Weber, dipl. Maschinening. ETH

Dr. Glauco Feltrin, dipl. Bauing. ETH
Abteilung Ingenieur-Strukturen, Empa

Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf
Daniel.Gsell@empa.ch

Felix.Weber@empa.ch

Glauco.Feltrin@empa.ch

Dr. sc. techn. Masoud Motavalli

dipl. Bauing. ETH/SIA

Leiter der Abteilung für Ingenieur-Strukturen, Empa

Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf

Masoud.Motavalli@empa.ch

Wers schneller mag, mag **ADSL**

Der Expresszugang ins Internet ist jetzt auch der schnellste Weg zu diesen Vorteilen:
geschenkte Aufschaltgebühr von CHF 149.–, surfen zum Fixpreis, immer online, gleichzeitig telefonieren und surfen.
Infos und Anmeldung über Gratis-Telefon 0800 86 86 86, auf www.bluewin.ch und im Swisscom Shop.

JUERG MATTI / IMMAT



blu-win

www.bluewin.ch