Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 91 (2000)

Heft: 1

Artikel: Optisches Monitoring von CFK-Kabeln

Autor: Frischknecht, Peter / Brönnimann, Rolf

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-855499

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: 09.12.2025

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

Optisches Monitoring von CFK-Kabeln

Seit knapp vier Jahren werden im Brückenbau Spannseile aus kohlefaserverstärktem Kunststoff (CFK) eingesetzt. Gegenüber gewöhnlichem Stahl hat dieses Material den Vorteil, wesentlich grösseren Zugbelastungen standzuhalten. Mit optischen Messmethoden überwacht die Eidgenössische Materialprüfungsanstalt (Empa) die Langzeitstabilität des neuartigen Materials.

Die 1996 errichtete Storchenbrücke in Winterthur war weltweit die erste Schrägseilbrücke, in der ein Teil der üblicherweise eingesetzten Stahlspannseile durch Seile aus kohlefaserverstärktem Kunststoff ersetzt wurde. Kabelkraft, Kabeleinzug, Temperatur und Feuchte dieser Kabel werden seither mit faseroptischen Sensoren kontrolliert. Diese Sensoren funktionieren bisher problemlos und die Resultate stimmen hervorragend mit Messungen von elektrischen Dehnungsmessstreifen überein.

Bei der neuen Stahlbetonverbundbrücke über die Kleine Emme (Bild 1) in Emmen kommen seit 1998 sogar ausschliesslich CFK-Vorspannkabel zum Einsatz. Auch hier übernimmt die Empa das Monitoring dieser Kabel. Auf Grund des neuartigen Materials und der im Vergleich zur Storchenbrücke fünfmal höheren Belastung der Seile ist diese Überwachung notwendig. Sie stellt eine grosse Anforderung an die Dauerhaftigkeit der Sensoren dar. Im Labor wurden deshalb umfangreiche Tests durchgeführt, um die Brauchbarkeit der optischen Fasern als Messmittel nachzuweisen.

Optische Faser mit Bragg-Gitter

Bild 2 zeigt den typischen Aufbau einer optischen Faser mit eingeschriebenem Bragg-Gitter, einer periodischen Struktur im Kern, die genau eine Wellenlänge des eingekoppelten Lichts reflektiert. Wird die Faser gedehnt oder erwärmt, verändert sich diese Wellenlänge. Somit kann die Dehnung oder die Temperatur gemessen werden.

Zur Attraktivität des faseroptischen Messsystems gehören unter anderem:

- eine Faser kann eine Vielzahl von aktiven Stellen enthalten
- die Fasern sind gegenüber elektrischen und magnetischen Störungen immun
- die Form und die kleinen Abmessungen der Sensoren
- lange Zuleitungen haben keinen Einfluss auf das Messresultat
- keine Hilfsenergie vor Ort ist nötig
- Einbetten der Sensoren in die CFK-Kabel

Die beiden Vorspannkabel für die Brücke über die Kleine Emme wurden aus je 91 CFK-Drähten hergestellt. CFK-Drähte werden im Strangziehverfahren (Pulltrusion), welches eine kontinuierliche Produktion erlaubt, hergestellt. Ausgangsmaterial für die 5 mm dicken Drähte sind Kohlenstoffasern von ungefähr 7 Mikrometern Durchmesser. Sie werden durch ein Imprägnierbad gezogen, in einer beheizten Form zu Drähten geformt und anschliessend in einem Ofen gehärtet. Die optische Faser mit den Bragg-Gittern wird während des Produktionsprozesses zentriert in die imprägnierten Kohlenstoffasern eingeführt.

Lebensdauerschätzung

Mit einem Modell über die Rissausbreitung, dessen Parameter wir experimentell bestimmen, kann die Lebensdauer geschätzt werden. Die Messungen ergaben, dass beispielsweise bei 2% Dehnung die Lebenserwartung für die Sensorfaser über 100 Jahre beträgt. Da die Kabel in der Brücke nur um rund 0,8% gespannt sind, ist eine geringe Ausfallwahrscheinlichkeit wegen Spannungsrisskorrosion zu erwarten. Hingegen zeigen streuende Haftwerte der Faser in der CFK-Matrix, dass der Einbettprozess noch optimiert werden kann.

Monitoring System für Spannkabel

Mit den Sensoren ist es nun erstmals möglich, die Belastungen innerhalb des Ankerkopfes zu messen. Ausserhalb des Ankerkopfes sind neben Bragg-Gittern auch Dehnungsmessstreifen, Wider-

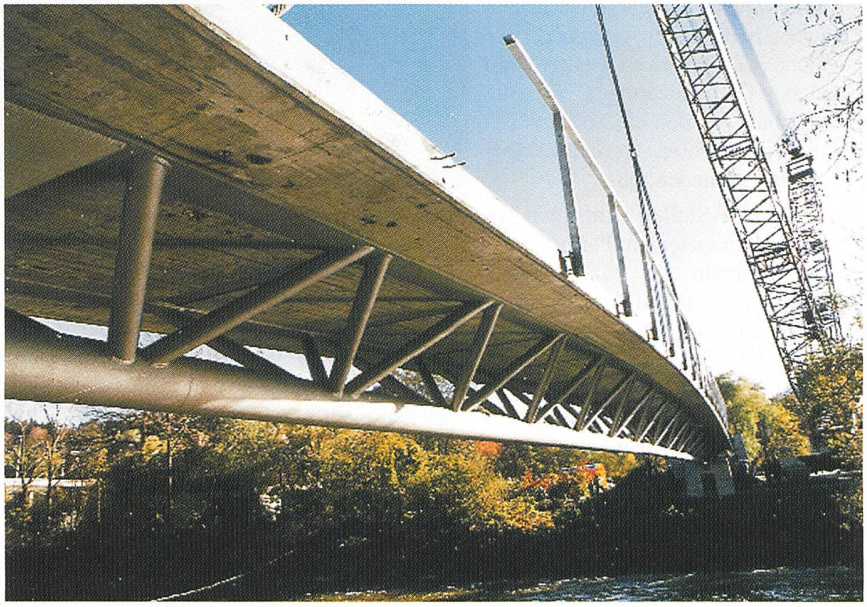


Bild 1 Die Schrägseilbrücke über die Kleine Emme

Adresse der Autoren
Peter Frischknecht, Empa St. Gallen
Lerchenfeldstrasse 5, 9014 St. Gallen
Dr. *Rolf Brönnimann,* Empa Dübendorf
Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf

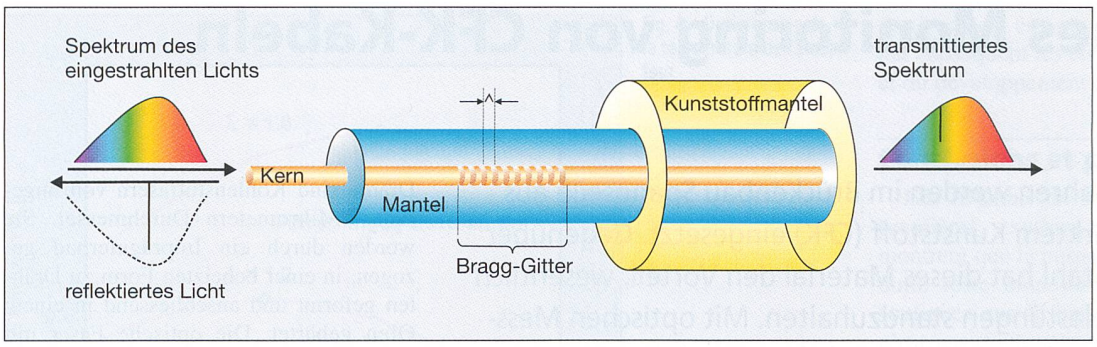


Bild 2 Schema der optischen Faser mit eingeschriebenem Bragg-Gitter

standsthermometer (Pt-100) und ein Wegaufnehmer für die Einzugsmessung eingebaut. Die elektrischen Messwerte beider Kabel werden von einem Datalogger kontinuierlich erfasst.

Am 26. Oktober 1998 wurde die Brücke vom grössten Baukran der Schweiz angehoben und in die Widerlager eingesetzt. Freihängend wurden die CFK-Kabel der Brücke stufenweise auf die Betriebslast gespannt. Erst dann setzte der Baukran die Brücke in die Widerlager. Von Mitte Dezember 1998 bis Anfang Januar 1999 wurde die Brücke auch faseroptisch kontinuierlich überwacht. Die Auswertung der faseroptischen und der DMS(Dehnungsmessstreifen)-Messung zeigten, dass beide Messungen weniger als 2% voneinander abweichen. Die täglichen Belastungsschwankungen, hervorgerufen durch die thermische Ausdehnung der Brücke, werden von beiden Messsystemen übereinstimmend wiedergegeben.

Technologietransfer mit Hilfe des Internets

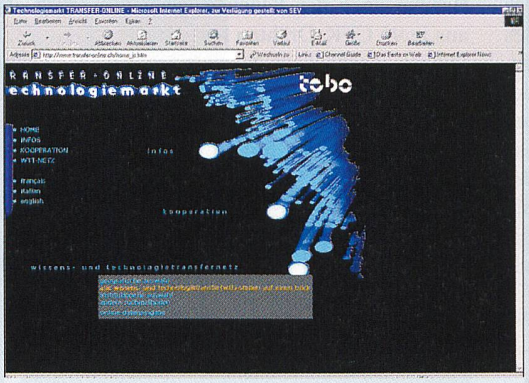
Unter der Internet-Adresse www.transfer-online.ch unterhält die Empa St. Gallen in Kooperation mit dem Technologiezentrum für die Euregio Bodensee (Tebo) den Technologiemarkt Transfer-Online. Damit soll der Wissens- und Technologietransfers (WTT) zwischen den Schweizer Hoch- und Fachhochschulen und der Industrie gefördert werden. Die nun vorhandene Applikation enthält folgende drei Schwerpunkte.

Wissens- und Technologietransfernetz

Im WTT-Netz werden die Kernkompetenzen und Dienstleistungen schweizerischer Wissens- und Technologietransferstellen dargestellt. KMU sowie andere Interessierte können hier schnell erkennen, wer welche Kompetenzen besitzt, und welche Dienstleistungen für die Wirtschaft von den einzelnen WTT-Stellen angeboten werden. Dabei wird unterschieden, ob

- die WTT-Stellen Anfragen an einen kompetenten Partner weitervermitteln
- sie selber detaillierte Auskunft über das gewählte Themengebiet geben
- die WTT-Stellen im Rahmen eines öffentlichen Programms echte Managementdienstleistungen erbringen, wie zum Beispiel Initiierung und Begleiten einer Kooperation, Projektmanagement
- sie Aufträge im Bereich Forschung und Entwicklung bearbeiten.

Angaben zum Standort der einzelnen WTT-Stelle, deren Arbeitsgebiete, Ausstattung und Referenzen sowie Angaben zu wichtigen Mitarbeitern ergänzen die jeweils einheitlich gestaltete Darstellung der WTT-Stellen. Im Moment sind rund dreissig Institutionen eingetragen.



Die Homepage von Transfer-Online

Kooperationsbörse

Während das WTT-Netz eine grundlegende Übersicht über vorhandene Kompetenzen erlaubt, dient die Kooperationsbörse konkreten, schnellen Angeboten und Nachfragen betreffend Kooperationen irgendwelcher Art. Diese Angebote und Nachfragen werden online in den Technologiemarkt eingegeben. Je nach Bedürfnis kann dies offen mit Firmenangabe oder verdeckt unter Verwendung einer Chiffrenummer erledigt werden. Spätestens nach drei Monaten werden diese Daten wieder gelöscht.

Informationsteil

Ergänzt werden die oben erwähnten Elemente durch einen Informationsteil. Hier sind zum einen diverse Links aufgeführt, die weitere Informationen zu den Bereichen Firmen und Produkte, öffentliche Forschungsförderung, Patentinformationen und ähnlichem liefern. Zum anderen befindet sich hier die Dienstleistung «Know-how für KMU». Für Anfragen technologischer oder wirtschaftlicher Art, die nicht in die Kooperationsbörse passen, steht diese Anlaufstelle im Sinne einer Triage-Stelle jedermann zur Verfügung. Kommt hier eine Anfrage herein, wird sie sofort an ausgewiesene Fachleute aus der ganzen Schweiz weitergeleitet.

Die Technologieszene Schweiz ist sehr vielfältig. Informationen über diese Szene fördern zum einen Kooperationen und damit Innovationen im Inland, bieten aber auch dem ausländischen Interessenten einen guten ersten Eindruck, um geeignete Ansprechpartner zu finden. *Peter Frischknecht*

Ausblick

Der Erfolg des Projekts beruht einerseits auf Resultaten, die in anderen Forschungsprojekten wie dem Schweizerischen Schwerpunktsprogramm II (Bragg-Strain) und Cost 246 (Zuverlässigkeit optischer Fasern und Komponenten) gewonnen wurden, und andererseits auf der Zusammenarbeit mit dem Verkehrs- und Tiefbauamt des Kantons Luzern, den Firmen Plüss+Meyer Bauingenieure, BBR Systems, Stesalit sowie dem Naval Research Laboratory in Washington.

Faseroptische Sensoren sind ideale Überwachungselemente für CFK-Drähte. Dank dem Einbetten während der Produktion sind sie optimal in die Kabel integriert. Die bisherigen Erfahrungen und Abschätzungen zeigen, dass sie eine gute Langzeitstabilität aufweisen. Weltweit untersuchen viele Forschungsgruppen Einsatzmöglichkeiten faseroptischer Sensoren. Zahlreiche Firmen, auch schweizerische, entwickeln nicht nur faseroptische Sensorsysteme, sondern bieten solche für den Hoch- und Tiefbau bereits an. Es ist deshalb zu erwarten, dass faseroptische Sensoren bald eine weite Verbreitung finden werden.

Surveillance optique de câbles en matière plastique aux fibres de carbone

Depuis 1996 on utilise des câbles tendus en matière plastique renforcés aux fibres de carbone. Par rapport à l'acier inox ce nouveau matériau a l'avantage de supporter des forces de traction plus élevées. A l'aide de méthodes optiques, le Laboratoire Fédéral d'Essai des Matériaux (Empa) surveille la stabilité à long terme de ce matériau innovateur.