**Zeitschrift:** IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

**Band:** 13 (1988)

**Artikel:** Spannkraftmessungen mit integrierten Lichtwellenleitersensoren

**Autor:** Levacher, Friedrich Karl / Miebeler, Hans-Joachim

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-13008

**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:** 09.08.2025

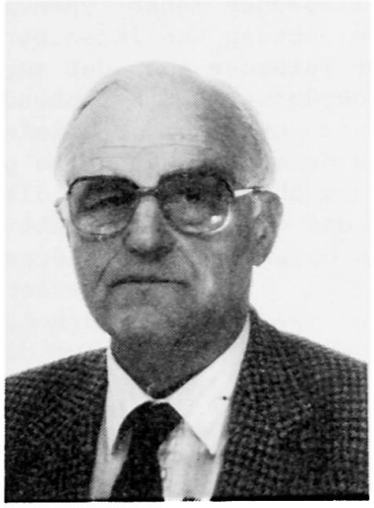
**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

# Spannkraftmessungen mit integrierten Lichtwellenleitersensoren

Monotoring Stressing Behaviour with Integrated Optical Fibre Sensors

Tensions mesurées à l'aide de détecteurs à fibre optique

**Friedrich Karl LEVACHER**
Dr. rer. nat.
Felten & Guilleaume
Köln-Mühlheim,
Bundesrep. Deutschland



Friedrich Karl Levacher, geb. 1924. Promotion an der Universität Köln, Seit 1955 Mitarbeiter der Firma Felten & Guilleaume Carlswerk AG, Köln-Mühlheim, zunächst als wiss. Assistent, dann als Leiter der Versuchsanstalt für Nachrichtentechnik, heute als Leiter des Fachbereiches Entwicklung.

**Hans-Joachim MIEßELER**
Dipl-Ing.
Strabag Bau AG
Köln, Bundesrep. Deutschland

Hans-Joachim Mießeler, geb. 1944. Studium in Wuppertal, von 1967 im Technischen Büro der Strabag Hauptverwaltung in Köln, seit 1987 in der Hauptabteilung Technik und Pro-Projektbearbeitung Leiter der Abteilung Forschung und Entwicklung.

**ZUSAMMENFASSUNG**
An die Früherkennung irgendwelcher Schäden an den Tragwerksstrukturen werden heute hohe Anforderungen gestellt. Durch Integration von Sensoren in Faserverbundwerkstoffe, die als Vorspannbewehrung Anwendung finden, werden die Verbundwerkstoffe kontrollierbar, man kann von sogenannten ''intelligenten Tragstrukturen'' sprechen. In dem Beitrag werden die Funktionsweise dieses permanenten Ueberwachungsverfahrens und die ersten Anwendungen vorgestellt.

**SUMMARY**
Today great emphasis is placed on the early detection of defects in load bearing structures. By integrating sensors into composite fibre materials which are used as prestressing reinforcement, the composite materials become controllable and one speaks of a so-called ''intelligent load bearing structure''. The structural application of this permanent monotoring process and its initial cases of application are shown in this article.

**RÉSUMÉ**
Il devient de plus en plus important de reconnaitre en temps utile des détériorations dans des structures porteuses. En intégrant des détecteurs dans les matériaux composites renforcés par des fibres – lesquels servent de précontrainte – les matériaux composites deviennent contrôlables. Il est possible d'é voquer le terme de ''structures porteuses intelligentes''. L'article explique le fonctionnement de tels procédés de surveillance permanente et les premières applications.

## 1. DIE WIRKUNGSWEISE DES LWL-DEHNUNGS-SENSORS

Die Entwicklung von Lichtwellenleiter-Sensoren (LWL-Sensoren) fußt auf dem gesicherten Kenntnis- und Qualitätsstand bezüglich der Lichtwellenleiter, die seit nahezu einem Jahrzehnt in Nachrichtenkabeln eingesetzt werden.

Unter den verschiedenen vorliegenden Sensortypen ist der LWL-Dehnungs-Sensor besonders für die Zustandsüberwachung von Ingenieurbauwerken geeignet. Seine Wirkungsweise geht von der Tatsache aus, daß mechanische Einflüsse, die an der Oberfläche von LWL Mikrokrümmungen (Microbending) erzeugen, zu einer Schwächung (Dämpfung) des im LWL fortgeleiteten Lichtes führen. Dieser Effekt wird beim LWL-Dehnungs-Sensor in der Weise genutzt, daß ein Gradient-LWL eine Bewicklung aus einem dünnen Draht erhält (Abb. 1). Die Schlaglänge des Drahtes ist so bemessen, daß der von der Drahtwendel umschriebene Kreis bei einer axialen Dehnung des Gesamtgebildes stärker abnimmt, als der Durchmesser des LWL. Infolgedessen drückt die Drahtwendel radial auf den LWL. Sie erzeugt an ihm Mikrokrümmungen, die entsprechende Dämpfungszunahmen verursachen und damit den LWL zu einem LWL-Dehnungs-Sensor machen. Zum mechanischen Schutz umgibt kraftschlüssig den LWL-Dehnungs-Sensor eine Hülle, beispielsweise aus längslaufenden in eine Harzmatrix eingebetteten Glasfasern.

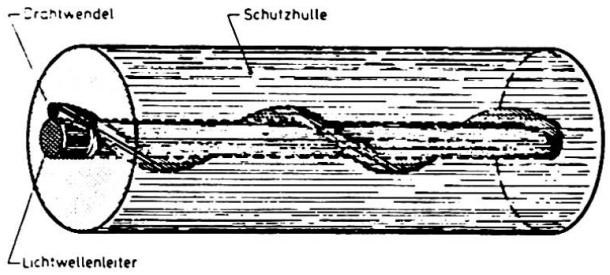



Abb. 1: Aufbau des LWL-Dehnungssensors

Zur Untersuchung der Tauglichkeit des LWL-Dehnungs-Sensors für die Überwachung von Ingenieurbauwerken wurden mit ihm im Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig praxisnahe Untersuchungen, unter anderem an einer Stahlbetonplatte von 180 mm Dicke und 3620 mm Belastungslänge, durchgeführt. Der Sensor war zu diesem Zweck in einer längslaufenden Nut an der sich beim Biegen wölbenden Seite der Platte eingeklebt worden. Über die Untersuchungsergebnisse geben die Abbildungen 2 und 3 Auskunft. Hierin sind die Dämpfung des LWL-Dehnungs-Sensors als Funktion der Durchbiegung bzw. der Biegekraft der Stahlbetonplatte aufgetragen. Beide Kurven ergänzen einander. Sie informieren über die Größe der Durchbiegung und zeigen gleichzeitig durch ihre Unstetigkeitsstellen an, bei welchen Belastungsgrößen spontane Änderungen, d.h. Risse im Betongefüge aufgetreten sind.

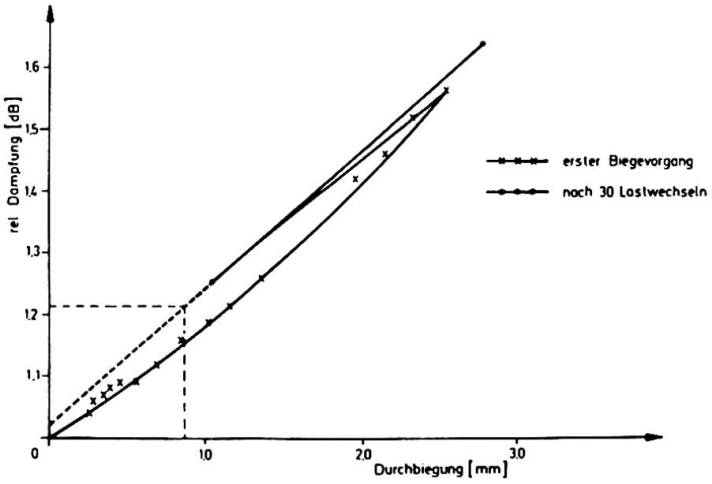



Abb. 2: Dämpfung eines LWL-Dehnungssensors in einer Betonplatte (180x3920 mm) als Funktion der Durchbiegung der Platte

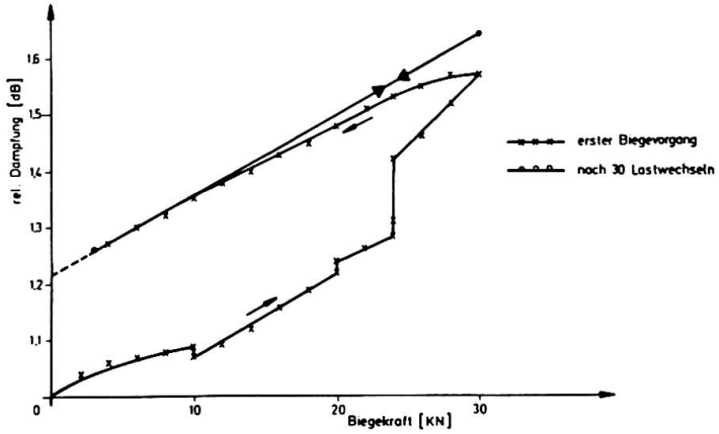



**Abb. 3: Dämpfung eines LWL-Dehnungs-Sensors in einer Betonplatte (180 x 3920 mm) als Funktion der auf die Platte wirkende Biegekraft**

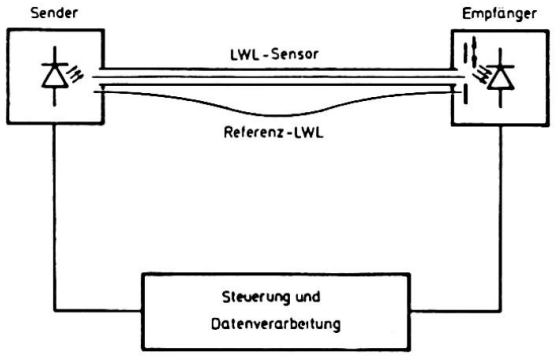



**Abb. 4: Schema des temperaturkompensierten Dämpfungsmeßverfahrens**

Das benutzte Meßverfahren mit optischem Sender bzw. Empfänger am Anfang bzw. Ende des Sensors gibt Information über die Beeinflussung auf der Gesamtlänge des Sensors. Für diese integrale Bewertung verfügt der Entwickler heute über zwei Meßprinzipien. Das Grundsätzliche hierzu zeigt schematisch die Abb. 4. Hierin dient der Referenz-LWL zur Temperaturkompensation und zur Korrektur eventueller Veränderungen der Senderleistung und der Empfängerempfindlichkeit.

Das zweite integrale Meßverfahren (Abb. 5) ist dadurch gekennzeichnet, daß Sender und Empfänger über Strahlenteiler am gleichen Ende mit dem LWL-Dehnungs-Sensor und dem Referenz-LWL verbunden sind. Am entgegengesetzten Ende werden die LWL beider Sensoren verspiegelt. Das dort ankommende Licht des Senders wird somit reflektiert. Es gelangt wieder zum Ausgangsort zurück und wird dort über Strahlteiler zum Pegelempfänger abgezweigt und bewertet. Dieses Verfahren bietet überall dort Vorteile, wo nach der Montage ein Ende der Sensoren nicht mehr zugänglich ist.

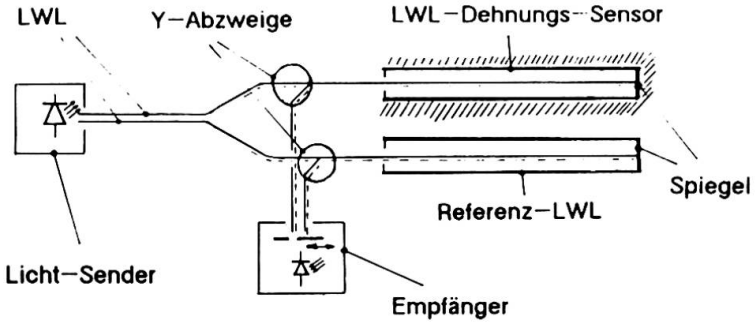



**Abb. 5: Meßprinzip für die temperaturkompensierte Dämpfung von LWL-Dehnungs-Sensoren; von einem Sensorende aus gemessen.**

Ergänzend zu den für die integrale Dauerüberwachung von LWL-Dehnungs-Sensoren entwickelten Verfahren und Geräten ermöglicht das aus der optischen Nachrichtenkabeltechnik bekannte Reflexionsverfahren, das örtliche Dämpfungsverhalten von LWL-Sensoren zu messen und damit räumlich verteilte Belastungsschwerpunkte dezimetergenau zu orten wie etwa Dehnungsveränderungen in Glasfaser-Spanngliedern. Dabei können die Sensorstrecken im Kilometerbereich liegen.

## 2. DAS "INTELLIGENTE" SPANNGLIED

Glasfaserverbundwerkstoffe für die Anwendung im Spannbetonbau, von der Arbeitsgemeinschaft HLV-Elemente in einem langjährigen vom Bundesministerium für Forschung und Technologie geförderten Forschungsvorhaben entwickelt und erstmalig eingesetzt, sind die korrosionsbeständige Alternative zum herkömmlichen Spannstahl.

Die daraus hergestellten Spannglieder bestehen aus 19 Glasfaserstäben (HLV-Stäbe) mit einem Nenndurchmesser von 7,5 mm und haben eine Gebrauchslast von 660 kN (Abb. 6). Der Querschnitt eines einzelnen Glasfaserstabes enthält ca.68 % Glasfasern und 32 % ungesättigte Polyesterharze bzw. Epoxidharze. Die Längszugfestigkeit des Werkstoffes von 1670 N/mm2 ist Folge des hohen Glasfaseranteiles mit strenger unidirektionaler Orientierung (Abb. 7). Die bei der Herstellung in die einzelnen Glasfaserstäbe integrierten Lichtwellenleiter ermöglichen infolge einer besonderen Präparation den Einblick in das Spannungsdehnungsverhalten des damit vorgespannten Bauteils. Die Lichtwellenleiter wirken als Dehnungssensoren und lassen Rückschlüsse auf Veränderungen des Spannungszustandes und deren Lokalisierung zu. Durch die integrierten Sensoren werden vorgespannte Konstruktionen kontrollierbar, man kann von sogenannten "intelligenten Tragstrukturen" sprechen. Die Arbeiten hierzu werden auch über ein Forschungs- und Entwicklungsvorhaben der EG (BRITE Projekt 1353) gefördert.

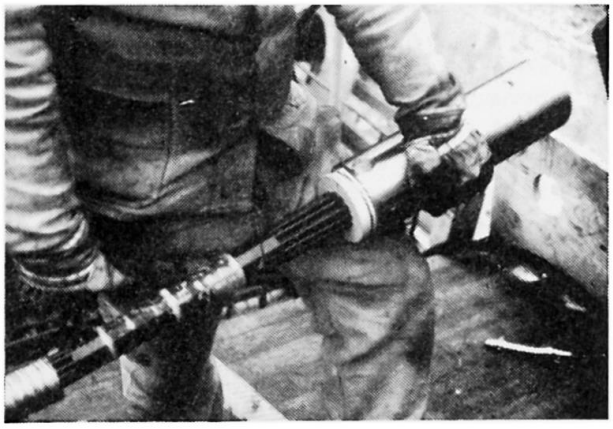


Abb. 6: HLV-Sapnnglied mit 19 Stäben

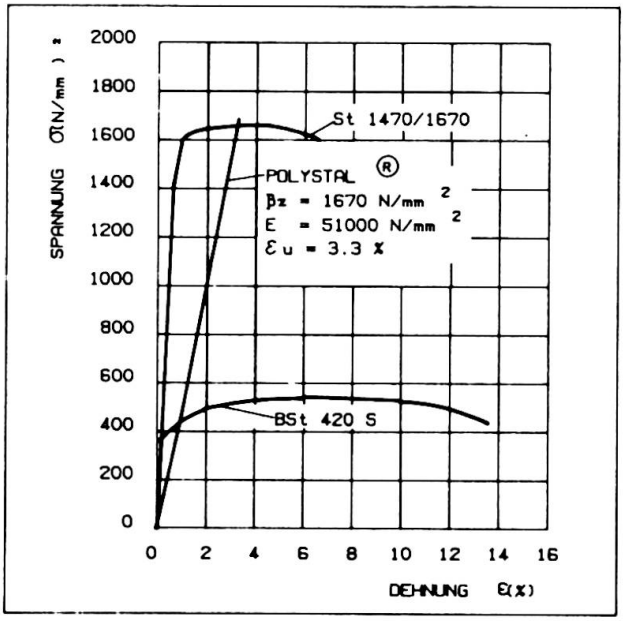



Abb. 7: Spannungsdehnungsdiagramm von Glasfaserverbundstäben im Vergleich mit Beton- und Spannstahl

## 3. DIE ANWENDUNGEN, BRÜCKE ULENBERGSTRASSE DÜSSELDORF

Diese weltweit erste für schwerste Lasten des Straßenverkehrs ausgelegte Spannbetonbrücke (Brückenklasse 60/30), anstatt der bisher üblichen Stahlspannglieder mit Spanngliedern aus hochzugfesten Glasfaserstäben vorgespannt, wurde im Auftrage der Stadt Düsseldorf durch die Arge HLV-Elemente als Demonstrationsbauvorhaben des Bundesministers für Forschung und Technologie in den Jahren 1985/1986 errichtet.

Die Brücke "Ulenbergstraße" ist eine zweifeldrige massive Plattenbrücke, die durch 59 Stück HLV-Spannglieder mit je 19 HLV-Stäben, Nenndurchmesser 7,5mm, vorgespannt wird (Abb.8).

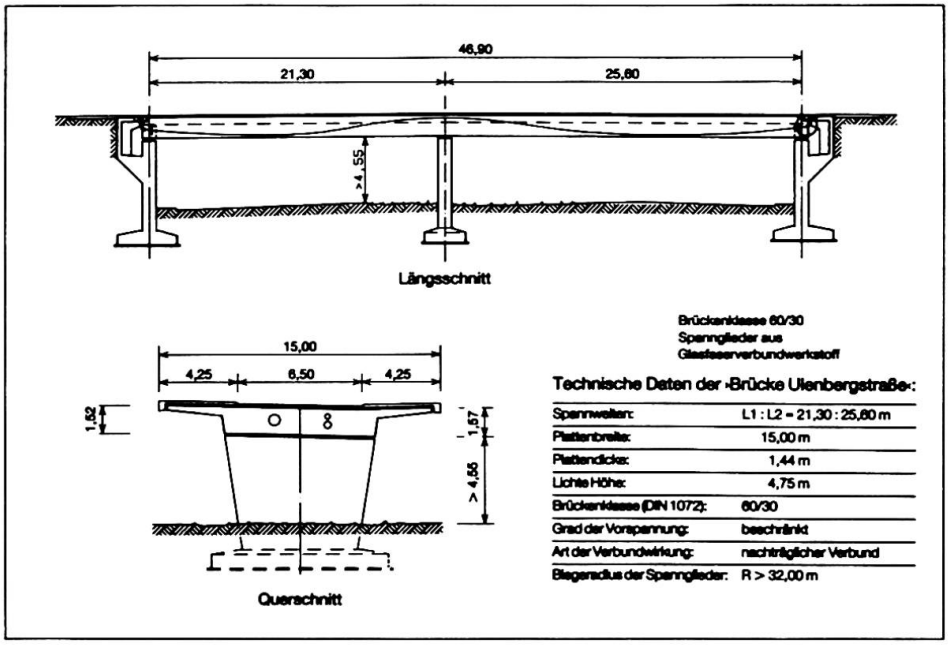



Abb. 8: Technische Daten Brücke "Ulenbergstraße"

In diesem Brückenquerschnitt werden Lichtwellenleiterdehnungssensoren, zwei in den Beton der Fahrbahnplatte und je einer in einem Glasfaserstab zweier HLV-Spannglieder integriert, permanent überwacht (Abb. 9). Diese moderne Form der Bauwerksüberwachung wird erstmalig an der Brücke Ulenbergstraße seit der Verkehrsübergabe der Brücke im Juli 1986 durchgeführt.

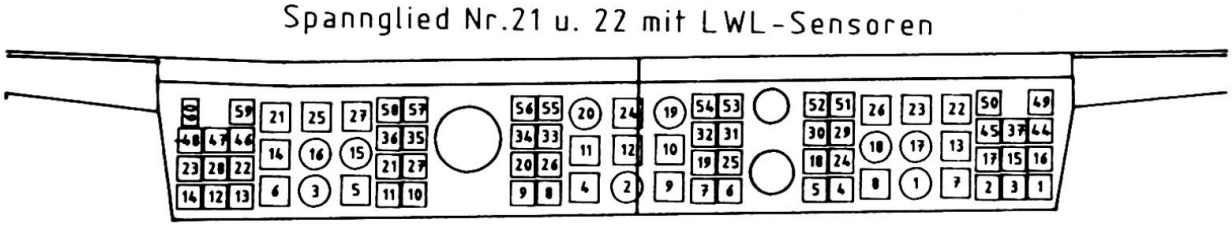
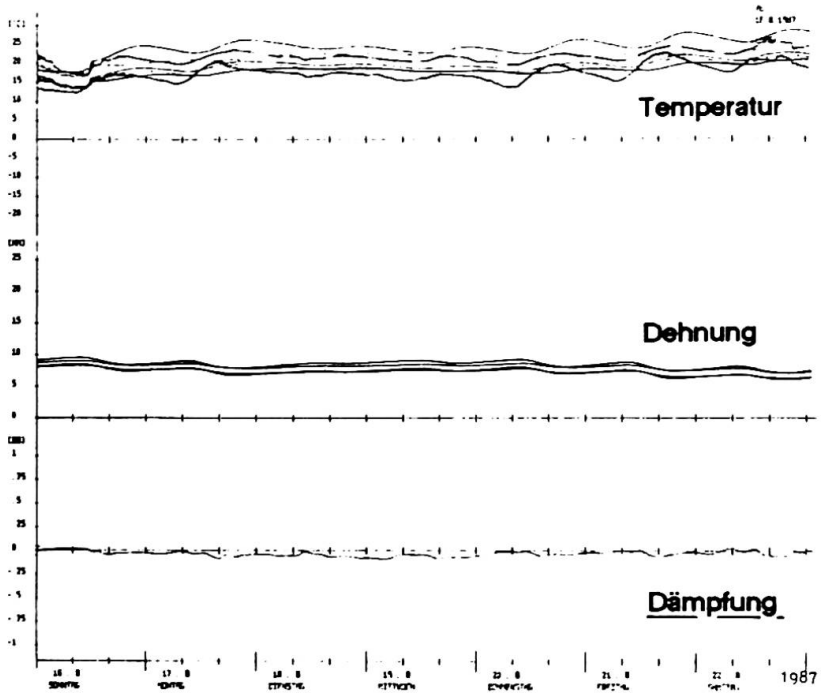



Abb. 9: Anordnung der LWL-Sensoren im Querschnitt

Das Ergebnis zeigt Abb. 10 als Beispiel für den Zeitraum von einer Woche im August 1987. Mit der Sensordämpfung werden hierin verglichen die im Brückeninneren laufend gemessenen Temperaturen sowie die an den Brückenköpfen gemessenen Dehnungen der Brücke. Aus den Aufzeichnungen wird erkennbar, daß sich der Temperaturgang auf die Dehnung der Brücke und damit auf den Dämpfungs-




verlauf des Sensors auswirkt. Das heißt, daß der LWL-Dehnungs-Sensor die Dehnung der Brücke ordnungsgemäß wiedergibt. Der Dämpfungsverlauf läßt dabei keine Unstetigkeiten erkennen. Das ist ein Hinweis dafür, daß im Beobachtungszeitraum praktisch keine Risse im Beton entstanden sein können. Diese Feststellung gilt für den gesamten bisherigen Beobachtungszeitraum von mehr als einem Jahr. Die Sensor-Überwachung an der Brücke Ulenbergstrasse, Düsseldorf, bestätigt somit ein unter den genannten Gesichtspunkten bewertetes völlig normales Verhalten dieses Bauwerkes.

Abb. 10: Überwachung der Brücke Ulenbergstraße durch Dämpfungsmessungen an einem LWL-Dehnungs-Sensor

## LITERATURVERZEICHNIS

1. FEDERMANN, H., LEVACHER, F., NOACK, G., BECK, M.
Entwicklung von Verfahren zur Qualitätskontrolle und Überwachung von kritischen Bauteilen aus Faserverbundwerkstoffen mittels Lichtwellenleiter, Springer Verlag, 1985, Faserverbundwerkstoffe Band 2, Seite 223-262

2. VOLLRATH, F., MIESSELER, H.J., Glasfaservorspannung für Betonbrücken - Erfahrungen beim Bau der Ulenbergstraße, TIEFBAU-BG 4/1987, S. 206-211

3. KÖNIG, G., ÖTES, A., GIEGERICH, G., MIESSELER, H.-J.
Monitoring of the structural Integrity of Bridge Ulenbergstraße in Düsseldorf, presented at the IABSE Colloquium Bergamo 1987 "Monitoring of Large Structures and Assesment of their Safety".