

# Konzentriert umgelenkte Karbonkabel - erstmaliger Einsatz: Verstärkung der Brücke über den Ri di Verdasio

Autor(en): **Guidotti, N. / Keller, T. / Como, G.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **117 (1999)**

Heft 17

PDF erstellt am: **10.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-79721>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

N. Guidotti, Bellinzona, T. Keller, Zürich, G. Como und C. Haldemann, Locarno

## Konzentriert umgelenkte Karbonkabel – erstmaliger Einsatz

Verstärkung der Brücke über den Ri di Verdasio

**Bei der Brücke über den Ri di Verdasio in Intragna wurde nach nur 14 Jahren Gebrauch erhebliche Lochfrasskorrosion an einem einbetonierten und ausinjizierten Stahl-Vorspannkabel festgestellt. Die notwendige Brückenverstärkung erfolgte erstmals mit einer externen Vorspannung aus polygonal konzentriert umgelenkten Karbonkabeln. Diese neue Technologie erwies sich dabei als zukunftsweisende Alternative zum Einsatz von Stahlkabeln.**

Die 1984 erstellte Brücke über den Ri di Verdasio liegt auf der Kantonsstrasse A 560, die von Locarno zur Staatsgrenze in Camedo und weiter nach Domodossola führt. Die Brücke wurde als zweifeldriger Beton-Kastenträger mit Spannweiten von 31,40 und 37,60 m konzipiert (Bild 1). Die Höhe der Mittelstütze beträgt 25 m. Die zweispurige Fahrbahn ist 6 m breit und weist keine Trottoirs auf. Der Kastenträger ist mit 6 bzw. 8 Spanngliedern pro Feld voll vorgespannt.

### Zustandserfassung 1997/98

Mit dem Unterhalt der Kunstbauten wurde im Kanton Tessin Anfang der 70er Jahre bei den Nationalstrassen begonnen. 1984 wurden diese Inspektionen auch auf das Kantonsstrassennetz ausgedehnt. 1993 wurde aufgrund der zunehmenden Wichtigkeit eines gezielten Unterhalts eine eigene Dienststelle für Brückenbau (Ufficio dei Ponti) innerhalb der Bauabteilung (Divisione delle Costruzioni) gebildet. Die rund 1600 Brücken im Kanton Tessin werden heute in einem Fünf-Jahre-Zyklus inspiziert. Etwa 20 Objekte pro Jahr werden dabei detailliert untersucht und instandgesetzt. Im Rahmen dieser Massnahmen wurde die Brücke über den Ri di Verdasio 1997/98 einer detaillierten Zustandsuntersuchung unterzogen. Die Untersuchung erfolgte in zwei Phasen.

In einer ersten Phase wurde das ganze Bauwerk visuell begutachtet. Aufgrund dieser Aufnahmen wurden gezielt material- und korrosionstechnische Untersuchungen angeordnet. Nebst den «üblichen» Schäden und Mängeln an Abdich-

tung, Belag, Konsolköpfen, Fahrbahnentwässerung und Fahrbahnübergängen zeigte bereits die visuelle Untersuchung ein gravierendes Schadensbild an der erst vierzehnjährigen Brücke. Die im Abstand von rund 2 m talseitig versetzten Belagsentwässerungsröhrchen, welche die Kragplatte beim Konsolkopf durchdringen, waren zu kurz und undicht. Salzhaltiges Wasser lief an diesen Stellen von der Fahrbahn durch die Kragplatte, an deren Unterseite entlang, über den Steg und um die Ecke bis an die Unterseite der unteren Kastenplatte. Entsprechende Aussinterungen und Korrosions Spuren zeigten sich im Raster der Belagsentwässerungen ab (Bild 2). In einem 12 m langen Stegbereich des Feldes Locarno wurden deshalb Potentialfeldmessungen mit zugehörigen Chloridanalysen durchgeführt. Unterhalb der Belagsentwässerungen wurden Potentiale bis  $-600$  mV(CSE) gemessen (Bild 3). Die Chloridgehalte auf Höhe der schlaffen Bewehrung betragen bis zu 2,8 und auf Höhe der Vorspannung bis zu 2,0 Massenprozent bezogen auf die Zementmasse. Die Chloride drangen dabei bis zu 12 cm in den Steg ein. Ein aufgrund der Potentialmessungen lokalisiertes Sondierfenster im Tiefpunkt der Vorspannung, Seite Locarno (Bild 3), eröffnete ein entsprechendes Schadensbild. Die schlaffe Bewehrung wies lokal bis zu 100% Querschnittsverlust auf. Das in der Ecke aussen/unten exponierteste Stahlkabel zeigte nach Öffnung des korrodierten

1

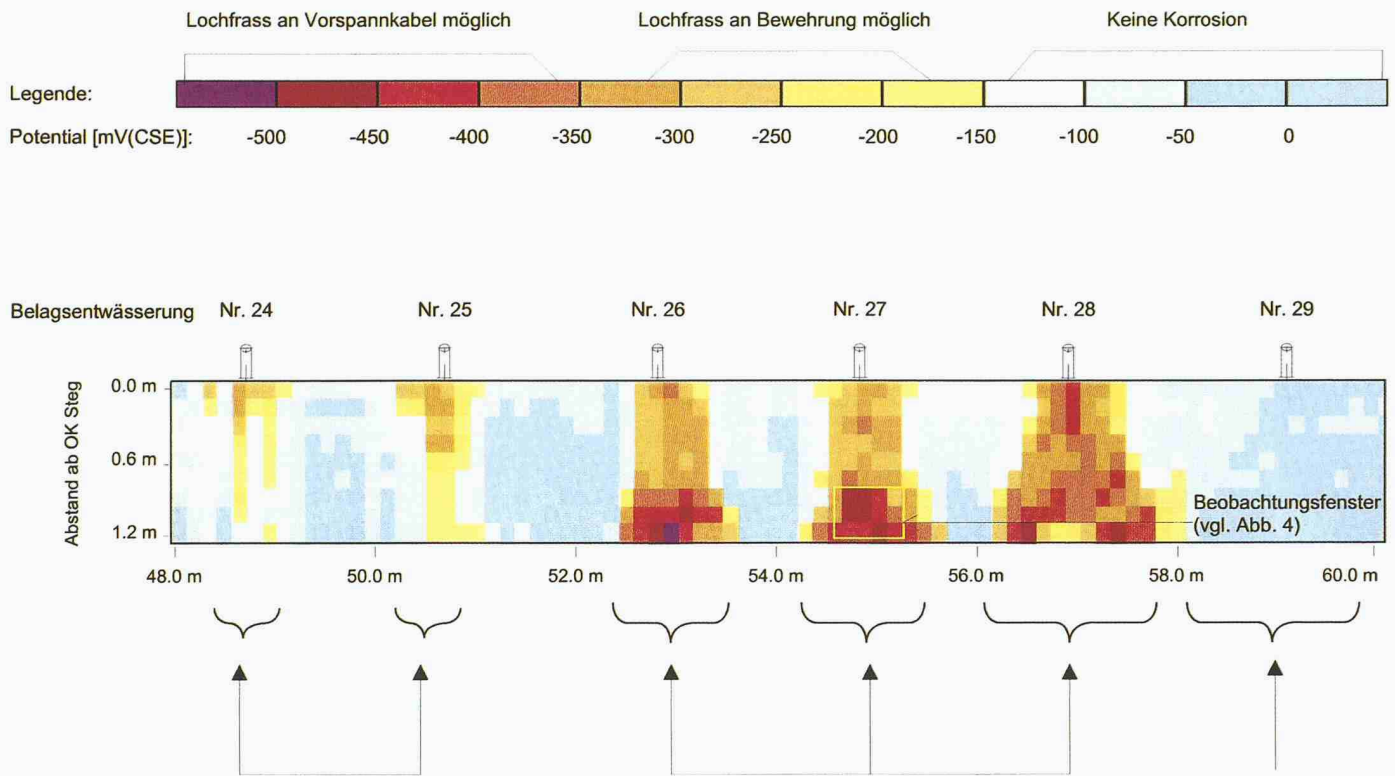
Brücke über den Ri di Verdasio, Ansicht



2

Talseitige Untersicht der Kragplatte und des Stegs mit Aussinterungen und Rostspuren unterhalb der Belagsentwässerungen





**Zustand unterhalb**

**Belagsentwässerung: Bewehrungskorrosion**

**Lochfrass an Bewehrung und Vorspannung**

**Keine Korrosion**

3

Potentialfeldmessungen am talseitigen Steg, Korrosion unterhalb der Belagsentwässerungen

Hüllrohrs erhebliche Spuren von Lochfrasskorrosion, die restlichen drei Kabel waren trotz des hohen Chloridgehalts noch intakt (Bild 4).

Diese gravierenden Erkenntnisse, die klar auch auf ein mögliches Tragsicherheitsproblem hinwiesen, machten es unerlässlich, in einer zweiten Phase den gesamten talseitigen Steg mit Potentialfeldmessungen vollflächig zu untersuchen. Die Ergebnisse zeigten, dass aufgrund der visuellen Beurteilung in der ersten Phase eine der schlimmsten Stellen erfasst worden war, die restlichen Stegbereiche wiesen jedoch immer noch beträchtliche Korrosion in den kritischen Bereichen auf. Vor allem das exponierteste, aussen/unten in der Ecke liegende Kabel zeigte an weiteren sechs Stellen erhebliche Lochfrasskorrosion.

Die Tragsicherheit der Brücke wurde unter Annahme des Ausfalls des korrodierten sowie eines zweiten Kabels und unter Berücksichtigung der lokal korrodierten Bügelbewehrung überprüft. Vor allem aufgrund der durch die volle Vorspannung vorhandenen Tragreserven konnte die Tragsicherheit der Brücke auch in diesem kritischen Zustand dennoch nachgewiesen werden. Um ein weiteres Fortschreiten der sich im Gange befindli-

chen Korrosion zu stoppen und um die noch intakten Vorspannkabel vor Korrosion zu schützen, wurde jedoch beschlossen, die Brücke umgehend instandzusetzen.

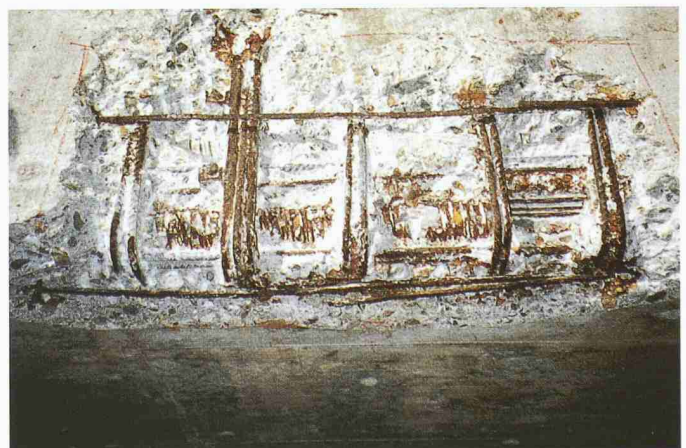
**Instandsetzungsprojekt**

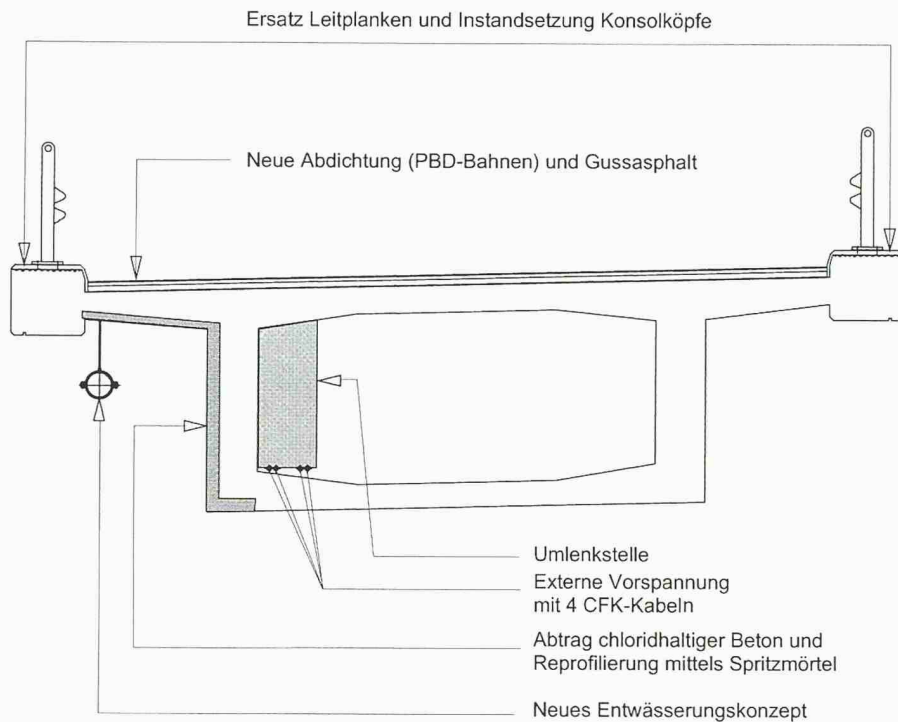
Die wesentlichsten Elemente der Brückeninstandsetzung sind in Bild 5 zusammengefasst. Aufgrund des neuen Abdichtungs- und Belagskonzepts konnte auf die erneute Anordnung einer Belagsentwässerung

verzichtet werden. Der chloridhaltige Beton des talseitigen Stegs wurde abgetragen, anschliessend wurde mit Spritzbeton reprofiliert. Die nach der Instandsetzung der Fahrbahnabdichtung durch Austrocknen verminderte Feuchtigkeit im Stegbeton reduzierte die Intensität der Korrosionsreaktion markant. Dies erlaubte, die Abtragstiefen auf ein Minimum zu reduzieren. Die dennoch lokal notwendigen Abtragstiefen von bis zu 10 cm - bei Stegdicken von 40 cm - konnten erst nach weiteren statischen Überprüfungen erfolgen.

4

Korrodierte Bewehrung und Vorspannung im Sondierfenster UK talseitiger Steg





5  
Überblick über die Instandsetzungsmassnahmen

Obwohl die Tragsicherheit auch beim Ausfall des korrodierten Stahlkabels noch gegeben gewesen wäre, wurde seitens der Bauherrschaft gefordert, die ursprüngliche Tragfähigkeit der Brücke wiederherzustellen. Die Tragkraft des talseitig korrodierten Kabels sollte durch eine externe, im Brückenkasten verlaufende Vorspannung ersetzt werden.

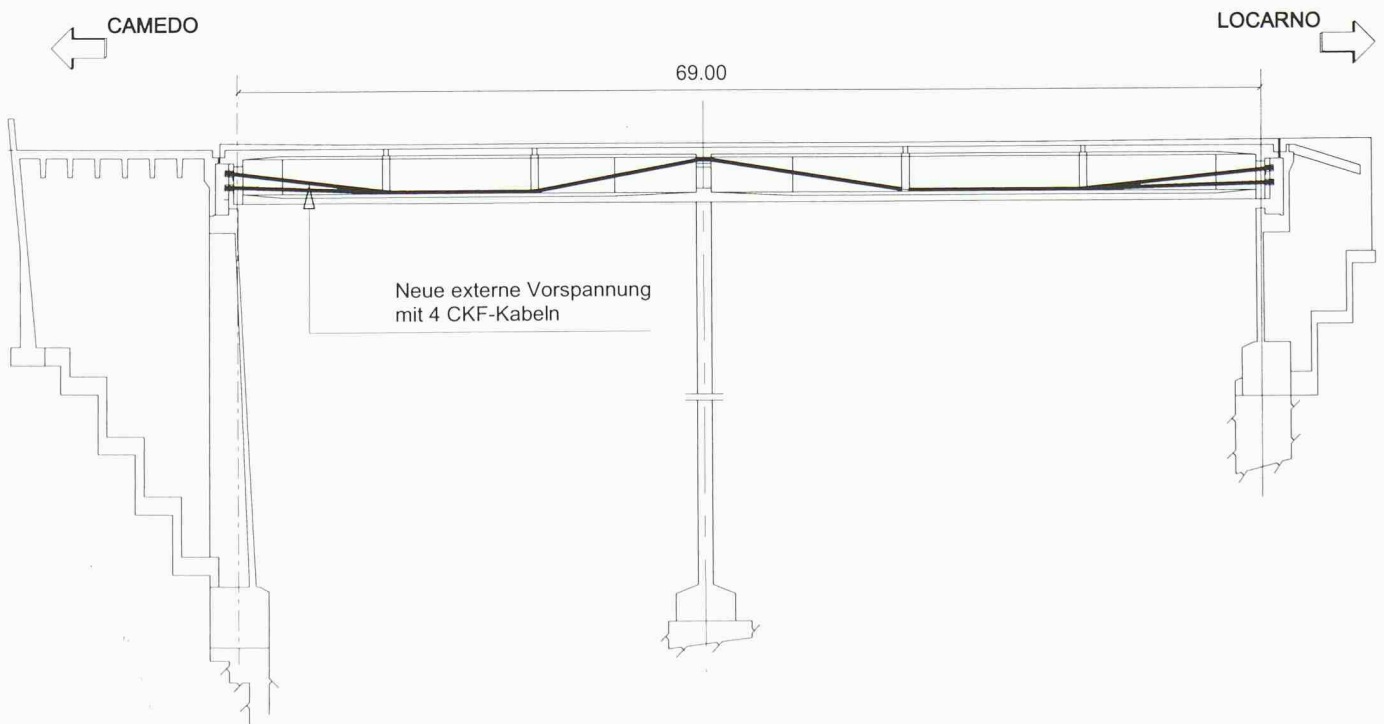
**Verstärkung mittels externer Carbon-Vorspannung**

Nachdem die Empa soeben Full-Scale-Tests mit umgelenkten Carbon-CFK-Parallelstrahlbündeln erfolgreich abgeschlossen hatte [1], bot sich bei der Brücke über den Rì di Verdasio erstmals die Gelegenheit, diese neue Technologie einzusetzen. Carbonkabel bieten gegenüber Stahlkabeln allgemein folgende Vorteile :

- **Korrosionsanfälligkeit:** Die Karbondrähte sind nicht korrosionsgefährdet. Das aufgeschrunppte HDPE-Hüllrohr dient einzig dem mechanischen Schutz während der Installation und hält das Bündel in der hexagonalen Konfiguration zusammen. Stahlstränge oder -litzen hingegen müssen gegen Korrosion geschützt werden.

- **Zugfestigkeit/Gewicht:** Die hohe Zugfestigkeit der Carbonkabel ergibt kompakte Bündelabmessungen. Infolge des niedrigen spezifischen Gewichts sind die Kabel zudem um den Faktor sieben leichter als Stahlkabel mit einem vergleichbaren Bruchwiderstand. Neben den resultieren-

6  
Polygonale Kabelführung der externen Verstärkung mit Carbonkabeln (überhöht)



den Vorteilen vor allem hinsichtlich Montage ergeben sich auch in konstruktiver Hinsicht neue Möglichkeiten (kleinere Umlenkvorrichtungen usw.).

▪ **Langzeitverluste:** Die Relaxation der Karbondrähte liegt markant unter derjenigen von Stahldrähten, die Langzeitverluste sind deshalb minimal.

▪ **Ermüdungsverhalten:** Die Karbonkabel sind gegen Ermüdung weitgehend unempfindlich.

▪ **Monitoring:** Karbonkabel werden mit Sensoren ausgerüstet, die eine Kontrolle des Spannungszustands in den Karbon-Drahtbündeln erlauben. Das Verhalten der Kabel kann dadurch jederzeit überprüft oder aufgezeichnet werden. Die HDPE-Hüllen können zudem bei Bedarf ohne weitere Folgen geöffnet und die Karbondrähte inspiziert werden, Stahldrähte hingegen können nicht zerstörungsfrei begutachtet werden.

Die einzelnen Karbondrähte werden mit Durchmesser 5 mm im Pultrusionsverfahren hergestellt. Als Basismaterialien werden Karbon-Endlosfasern Toray T700S sowie Epoxidharz als Matrix verwendet. Der Fasergehalt beträgt rund 70 Vol.-%. Die theoretische Bruchspannung beträgt 3000 MPa, die nominelle 2400 MPa. Die garantierte Bruchlast eines Drahts liegt bei 48 kN. Der E-Modul beträgt 160 000 MPa, das spezifische Gewicht 1,62 t/m<sup>3</sup>.

Für die Verstärkung der Brücke wurden vier Karbonkabel mit je 19 Drähten Ø 5 mm eingesetzt, wie sie auch bei den erwähnten Versuchen getestet worden waren. Aufgrund der beschränkten Platzverhältnisse für die Anker in den Widerlagerkammern hätten auch keine grösseren Einheiten verwendet werden können. Bei einem üblichen Vorspanngrad von 65% resultiert eine initiale Spannkraft von 4×600 kN. Die Bruchlast beträgt 4×912 kN und liegt etwa 10% über derjenigen des Stahlkabels.

Die vier Karbonkabel sind im Brückenkasten, auf der Innenseite des talseitigen Stegs, nebeneinanderliegend und über die gesamte Brückenlänge polygonal verlaufend angeordnet (Bilder 5 und 6). Der Aussendurchmesser der HDPE-Hüllrohre beträgt lediglich 32 mm. Die Kabel sind beidseits mit spannbaren Anker verankert. Die Anker sind mit variabler Steifigkeit der Vergussmasse konstruiert, wie bei der Storchenbrücke Winterthur bereits eingesetzt. Die Kabel werden je zweimal etwa in den Feld-Drittelpunkten sowie über dem Pfeiler mit eigens angefertigten Umlenkkonstruktionen konzentriert um-



7  
Nachträglich einbetonierte Kabel-Umlenkstelle im Feld



8  
Externe Karbon-Vorspannung im Widerlagerbereich Seite Camedo



9  
Einziehen der Karbonkabel in den Kasten (Bild: Empa)



10  
Spannen der Karbonkabel in der Widerlagerkammer Seite Camedo (Bild: Empa)

gelenkt. Diese bestehen aus gekrümmten Stahlrohr-Halbschalen, der minimale Umlenkradius beträgt 3,00 m.

### Ausführung

Die Umlenkstellen im Feld wurden durch Bohröffnungen in der Fahrbahnplatte in den Kasten einbetoniert. Die Kabel können dabei von unten eingefahren werden (Bild 7). Die Umlenkstelle über dem Pfeiler erforderte vorgängig eine Bohrung im massiven Querträger, um Kabel und Anker durchziehen zu können. Die Umlenkstrukturen wurden dann in die Bohrung versetzt und einbetoniert. Auch in den Widerlagerquerträgern wurden Bohrungen vorgenommen. Die Krafteinleitung der Kabelkräfte benötigte zudem das Einbetonieren von zusätzlichen Lisenen als Verstärkungen. In die Widerlagerbohrungen und neuen Lisenen wurden Futterrohre eingelegt, die das nachträgliche Einziehen der Ankerköpfe und Kabel erlaubten (Bild 8).

Die Karbonkabel wurden anschliessend durch eine schrägliegende Bohrung in der Fahrbahnplatte von nur 150 mm Durchmesser in den Brückenkasten eingezogen (Bild 9), in die korrekte Lage versetzt und in zwei Stufen gespannt (Bild 10). Angesichts der engen Platzverhältnisse im Kasten sowie in den Widerlagerkammern erleichterte dabei das geringe Kabelgewicht das Handling erheblich.

### Monitoring

Im zweimonatigen Zyklus werden folgende Parameter gemessen:

- Kräfte im Kabel mit DMS auf den Stützschaalen
- Tiefenmass des Konus-Einzugs
- Temperatur

### Schlussfolgerungen

Das Auffinden und Instandsetzen korrodierter Stahlkabel wird nach wie vor als eine schwierige Aufgabe eingestuft. Ein kombiniertes Vorgehen mit visueller Begutachtung, Potentialfeldmessungen sowie einer gezielt angeordneten Sondieröffnung ermöglichte im vorliegenden Fall eine zuverlässige Beurteilung des Zustands der Vorspannung. Die Brückenverstärkung mit externer Karbonkabel-Vorspannung erwies sich dabei als zukunftsweisende Alternative zum Einsatz von Stahlkabeln.

Adresse der Verfasser:

*Nicola Guidotti*, dipl. Bauing. ETH, Dipartimento del Territorio, Via Ghiringhelli 9, 6500 Bellinzona, *Thomas Keller*, dipl. Bauing. ETH, Prof. Dr. sc. techn., WKP Bauingenieure AG, Verena Conzett-Strasse 7, 8004 Zürich, *Giovanni Como*, dipl. Bauing. ETH, *Christian Haldermann*, dipl. Werkstoffing. ETH, IM Ingenieurbüro Maggia AG, Via S. Francini 5, 6600 Locarno

### Am Bau Beteiligte

Bauherr und örtliche Bauleitung:  
Dipartimento del Territorio, Ufficio dei Ponti, Bellinzona

Projekt und technische Bauleitung:  
Ingenieurgemeinschaft IM Ingenieurbüro Maggia AG, Locarno, WKP Bauingenieure AG, Zürich

Bauunternehmung:  
Edilstrada SA, Lugano

CFK-Vorspannung:  
BBR Systems Ltd., Schwerzenbach, Empa, Dübendorf

### Literatur

[1]  
Vorspannung mit CFK-Paralleldrahtbündeln, Empa-Berichte 168 106/1 bis 3 sowie 171 440/1