

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 112 (1994)
Heft: 21

Artikel: Brücken und Spannbeton: Verbesserung der Dauerhaftigkeit von Spannsystemen
Autor: Matt, Peter
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-78446>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.03.2025

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

Brücken in Spannbeton

Verbesserung der Dauerhaftigkeit von Spannsystemen

Innerhalb der bestehenden Verkehrssysteme Strasse und Schiene nehmen Brückenbauten einen wichtigen Platz ein. Deren Bedeutung wird auch einer breiteren Öffentlichkeit immer dann bewusst, wenn Brücken instandgesetzt oder gar ersetzt werden müssen und es deshalb zu Verkehrsbeeinträchtigungen kommt. Spannsysteme leisten einen bedeutenden Beitrag zur Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit von Spannbetonbrücken. Eine Möglichkeit zu einer verbesserten Dauerhaftigkeit stellt die Verwendung robuster Kunststoffhüllrohre und elektrisch isolierter Spannlieder dar. Theoretische Überlegungen, Laborversuche und Pilotprojekte haben deren Anwendungsreife für die Praxis gezeigt.

In den Vierzigerjahren wurden in der Schweiz die ersten Spannbetonbrücken erstellt. Vor allem mit dem

VON PETER MATT, ITTIGEN

Bau der Nationalstrassen fand diese Bauweise eine starke Verbreitung. Von den heute bei diesem Verkehrssystem vorhandenen 3 088 Brücken mit einer Fläche von 3 887 000 m² und einem Neubauwert von rund 6 Mia. Franken, besteht – auf die Brückenfläche bezogen – der überwiegende Teil in Spannbeton [1]. Das mittlere Alter dieser Brücken beträgt 19 Jahre. Eine weitere, beachtliche Anzahl solcher Brücken ist im übrigen Strassennetz vorhanden.

Gemäss Angaben der SBB sind auf deren Streckennetz Brücken mit einer Gesamtlänge von rund 79 km vorhanden, wovon rund 19 km in Spannbeton. Der relativ kleine Anteil von 25% rührt u.a. daher, dass das Streckennetz grösstenteils erstellt wurde, bevor diese Bauweise verfügbar war.

Diese kurze Zusammenstellung zeigt die wirtschaftliche Bedeutung auf. Brücken sind wesentliche Bestandteile eines Verkehrssystems. Ihre Funktionstüchtigkeit sollte während 70 bis 100 Jahren unter möglichst geringer Beeinträchtigung des Verkehrsflusses aufrechterhalten werden können. Es ist bekannt, dass die Instandsetzung oder gar der Ersatz bestehender Brücken zu unliebsamen Störungen und zu hohen Direkt- und Folgekosten führt. Dies zeigt deutlich, dass es sich lohnt, bei der Planung und Ausführung von neuen Brücken neben der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit, die Dauerhaftigkeit als gleichwertig einzubeziehen. Damit können spätere Erhaltungsar-

beiten und normalerweise damit einhergehende Verkehrsbehinderungen auf ein vernünftiges Mass reduziert werden.

Es ist ohne Zweifel so, dass Spannsysteme einen ausschlaggebenden Beitrag zur Funktionstüchtigkeit von Spannbetonbrücken leisten. Wie auch bei den andern Brückenbaustoffen zeichnen sich auch hier interessante Entwicklungen ab, über die nachfolgend berichtet wird. Dabei liegt der Schwerpunkt der Berichterstattung im technologischen Bereich. Es sei aber mit Nachdruck darauf hingewiesen, dass die Bauwerksqualität zu einem grossen Teil bei der Planung bestimmt wird. Die Stichworte hiezu sind Entwurf, Wahl der Baustoffe, konstruktive Durchbildung und Bemessung. Im übrigen ist der Aufsatz als Weiterführung der in [2] vom Verfasser dargestellten Sachlage zu verstehen.

Brückenschäden infolge Spannliedkorrosion

In der Schweiz ist es bis heute glücklicherweise zu keinen grösseren Schäden oder gar Brückeneinstürzen infolge Spannliedkorrosion gekommen. Bei einzelnen Bauherren und bei der EMPA sind zwar einige Fälle bekannt, bei denen auch die Integrität von Spannliedern fraglich war. Nach Kenntnis des Verfassers konnten bis anhin solche korrodierten Spannlieder jedoch stets instandgesetzt werden. Allerdings fehlen in unserem Land hiezu systematisch zusammengetragene und ausgewertete Informationen. In Europa haben vor allem zwei Brückeneinstürze in Grossbritannien und Belgien die Diskussion

über die Dauerhaftigkeit von Spannbetonbrücken in Gang gebracht.

Am 4. Dezember 1985 stürzte in Wales die Ynis-y-Gwas-Brücke ohne Vorankündigung ein, obwohl sie regelmässig, letztmals im Juni des gleichen Jahres, inspiziert wurde.

Der Einsturz ist eindeutig auf das Versagen von Spannliedern infolge Korrosion zurückzuführen (Bild 1). Es handelt sich hier um einen Überbau, der im Jahre 1953 in Segmentbauweise hergestellt wurde; die 8 vorfabrizierten, 2,45 m langen Betonelemente der insgesamt 19,6 m langen Hauptträger sind mit dünnen Mörtelfugen und Spannliedern längs zusammengefügt worden. Die 9 Träger waren auch in Querrichtung mit Spannliedern zusammengespannt (Bild 2). Über die Jahre sind Salzwasser und damit Chloride in erheblichen Konzentrationen in die Mörtelfugen eingesickert (Bild 3) und haben die Spannstähe bis zum Versagen korrodiert. In [3] berichten Woodward und Williams über die sehr detaillierte und vorbildlich ausgeführte Untersuchung dieses Schadenfalles. Dabei wurden auch erhebliche Injektionsmängel festgestellt. Im übrigen zeigt dieser Fall die Problematik von Segmentbrücken mit dünnen Fugen.

Als Folge dieses Versagens und zusätzlicher festgestellter Schäden bei anderen Brücken, die vor allem auf Injektionsmängel zurückzuführen sind, beschloss das britische «Department of Transport» im September 1992 eine Art Moratorium für Spannbetonbrücken mit Spannliedern im Verbund mit folgendem Originalwortlaut (Auszug):

«Evidence gathered over recent years has indicated that this type of structure can suffer from corrosion, mainly caused by the chlorides from de-icing salts.»

«Until new standards are available, the Department will not commission any new bridges of the grout-duct post-tensioned type. Schemes involving bridges currently at an advanced stage of design or under construction will continue, although additional quality control will be adopted during construction.»

Im Lichte des doch überwiegend guten Verhaltens der zahllosen anderen Spannbetonbrücken hat dieser Bauherr zweifellos überreagiert. Das Verbot wurde bis heute noch nicht wieder aufgehoben; es wurde allerdings auch nicht in aller Schärfe

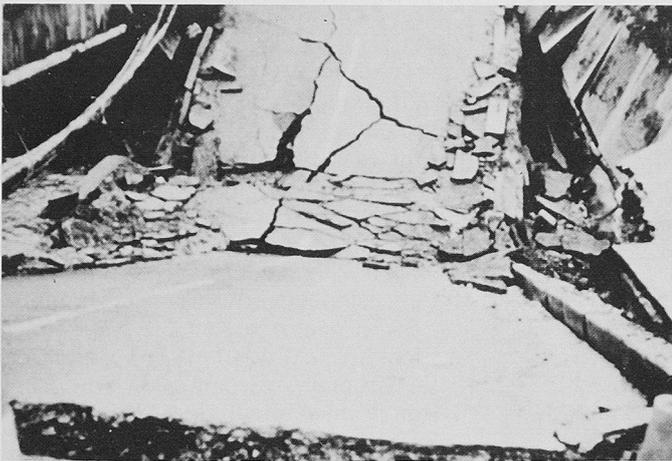


Bild 1. Eingestürzte Ynis-y-Gwas-Brücke in Wales

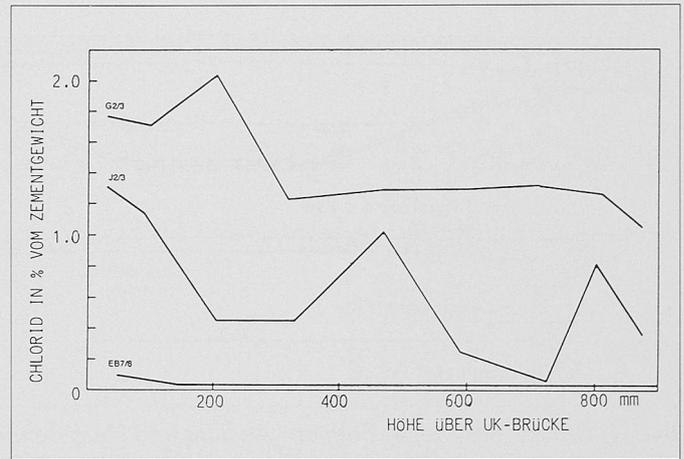


Bild 3. Ynis-y-Gwas-Brücke: Vertikale Chlorid-Profile durch den Fugenmörtel in drei verschiedenen Segmentfugen, aus [3]

durchgesetzt. Eine positive Auswirkung dieser Behördenmassnahme besteht darin, dass sich unter Leitung der britischen «Cement & Concrete Association» verschiedene Arbeitsgruppen bildeten, mit dem Ziel, die Grundlagen für Qualitätsverbesserungen zu schaffen.

Ende März 1992 stürzte in der Nähe von Gent (Belgien) die Brücke bei Melle ein. Zum Zeitpunkt dieses Ereignisses befand sich ein Treibstofftankwagen auf der Brücke, der ebenfalls in den darunterliegenden Kanal fiel. Nach dem Wissensstand des Verfassers sind die Untersuchungen bzw. auch die gerichtlichen Beurteilungen noch nicht abgeschlossen. Es kann aber doch davon ausgegangen werden, dass die eigentliche Ursache im Versagen von Spanngliedern infolge Korrosion begründet ist und

die Nutzlast des Fahrzeuges nur noch der einsturzauslösende Faktor war. Auch diese Brücke wurde regelmässig inspiziert und stürzte ohne Vorankündigung durch sichtbare Zeichen ein. Die Unglücksbrücke gehört zu einer Serie von insgesamt 20 ähnlichen Brücken, welche als Sonderentwurf in den frühen Fünfzigerjahren gebaut wurden und in [4] und [5] beschrieben sind.

Es handelt sich dabei um eine Art Rahmenbrücke mit Druck- und Zug-elementen in den Auflagerbereichen (Bild 4). Bild 5 zeigt diese Bereiche im Detail. Die Korrosionsprobleme sind in den Spanngliedern der Zugelemente aufgetreten. Diese Spannglieder waren unzureichend injiziert, d.h. bei einzelnen fehlte der Zementstein im oberen Bereich, bei andern auf die ganze Länge. Ungünstig wirkten sich

auch die beiden Gelenke der dünnen, vorgespannten Wandelemente aus, denn auch an diesen Stellen konnten sowohl Wasser wie Chloride zum Spannstahl vordringen.

In der Folge haben die Brückenbau-behörden die übrigen 19 Brücken dieses Types überprüft. Erste Massnahmen führten zum Sperren dreier Brücken. Bei einer vierten Brücke wurde die Nutzlast reduziert. Bei einer der 3 gesperren Brücke wurden bei 60% der Spannglieder sehr starke Korrosionsschäden vorgefunden, ohne dass dies von aussen visuell feststellbar gewesen wäre. Auch Untersuchungen mittels Radiographie und Potentialmessung gaben keine schlüssigen Beweise auf die vorhandenen Schädigungen. Diese konnten nur durch das Öffnen des Betons bis zu den Spanngliedern festgestellt wer-

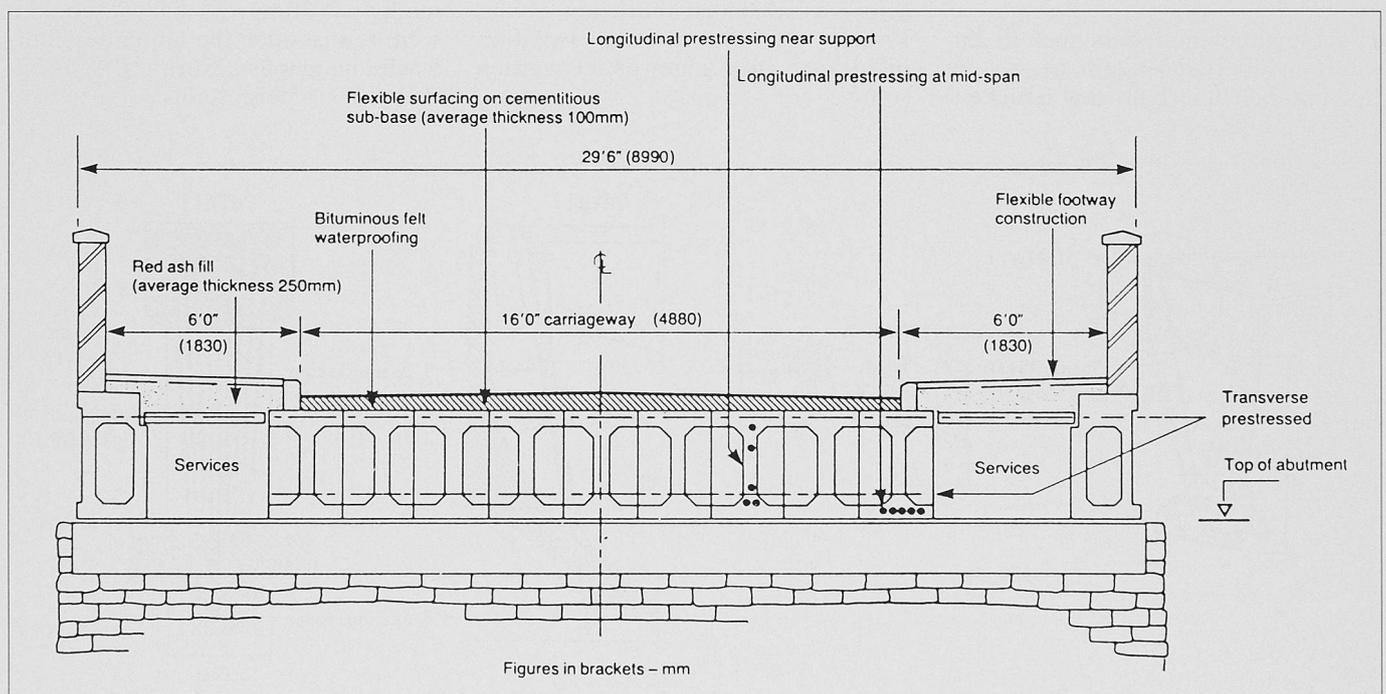


Bild 2. Querschnitt der Ynis-y-Gwas-Brücke, aus [3]

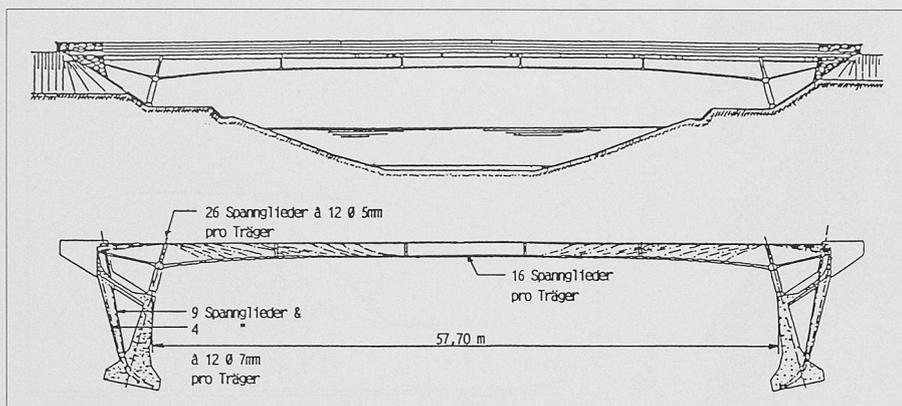


Bild 4. Brücke bei Melle, Belgien: Ansicht und Längsschnitt, aus [4]

den. Immerhin gaben die genannten Methoden Hinweise zur Lokalisierung möglicher Probleme.

Aus diesen beiden Brückeneinstürzen wie auch aus andern Schadensanalysen sind auch für unsere Brücken die entsprechenden Folgerungen zu ziehen. In [2] sind in bezug auf mögliche Gefährdungen bei bestehenden Brücken Hinweise gegeben, auf die hier nicht weiter eingegangen wird.

Entwicklungen zu verbesserter Dauerhaftigkeit

Es bestehen mehrere Möglichkeiten zu qualitativer Verbesserung von Spannsystemen. Dabei ist immer im Auge zu behalten, dass eines der Ziele sein sollte, die spätere Inspektion der Spannglieder ohne grossen Aufwand zerstörungsfrei und aussagekräftig zu erlauben.

Es ist anzunehmen, dass auch in Zukunft in überwiegender Masse die Spannkabel innerhalb des Brücken-

querschnittes angeordnet werden. Die Verwendung von elektrisch isolierten Spanngliedern ist ein Weg, um einerseits einen verbesserten Korrosionsschutz zu erreichen und andererseits eine Überprüfung mit verschiedenen Methoden zu erlauben. Es ist zu erwarten, dass sich in der Zukunft noch weitere Entwicklungen auf dem Markt präsentieren werden. Die elektrische Isolation wird erreicht durch ein robustes Kunststoffhüllrohr und mit zweckmässiger Ausbildung im Verankerungs- und Kupplungsbereich (Bild 6). Damit ist es möglich, mit elektrischen Methoden die Wirksamkeit des Schutzes festzustellen und über den Zustand des Spannstahles eine brauchbare Aussage zu erhalten.

Ein anderer Weg besteht darin, aussenliegende Spannglieder anzuordnen. Damit werden grosse Abschnitte auch visuell überprüfbar. In Verankerungs- und Umlenkbereichen wird aber i.a. die Einsehbarkeit gestört sein. Deshalb ist zu überlegen, ob das Prinzip der elektrischen Isolation nicht auch hier angewendet werden sollte.

Der Vollständigkeit halber sei noch auf die mögliche Verwendung von Faserverbundwerkstoffen hingewiesen. Seit einiger Zeit ist in diesem Zusammenhang von Glasfasern, Aramiden und Kohlestofffasern die Rede. Obwohl im Rahmen von Entwicklungsprogrammen bereits auch einige kleinere Brückentragwerke mit solchen neuen Zuggliedern ausgeführt wurden, ist der Verfasser der Meinung, dass in nächster Zeit die Marktreife nicht erreicht werden wird. Zukünftige Brücken werden auch weiterhin mit Stahlspanngliedern vorgespannt werden. Eine Anpassung der vorhandenen Spannverfahrenstechnik an neue Anforderungen ist aber aus heutiger Sicht notwendig.

Im Zusammenhang mit den oben erwähnten elektrisch isolierten Spanngliedern unter Verwendung robuster Kunststoffhüllrohre sind in der Schweiz in jüngster Zeit weitere Erkenntnisse zu dem in [2] beschriebenen Wissensstand hinzugekommen. Im Rahmen der nach der Norm SIA 162 geforderten erstmaligen Prüfung wurden eingehende Untersuchungen durchgeführt. Auf die Resultate kann an dieser Stelle aus Platzgründen nicht eingegangen werden. Immerhin sei auf die Versuche und die theoretischen Überlegungen im Zusammenhang mit dem Verbundverhalten bei der Verwendung von Kunststoffhüllrohren hingewiesen [6]. Die überprüften Hüllrohre vom Typ PT-PLUS sind vor kurzem von der SBB und dem Bundesamt für Strassenbau (ASB) für deren Brückenbauten zugelassen worden, d.h. für diesen Hüllrohrtyp wurde die Eignung durch eine erstmalige Prüfung nachgewiesen. Im weiteren ist auch die laufende Überwachung gemäss Norm SIA 162/1, Ziffer 4.3 sichergestellt.

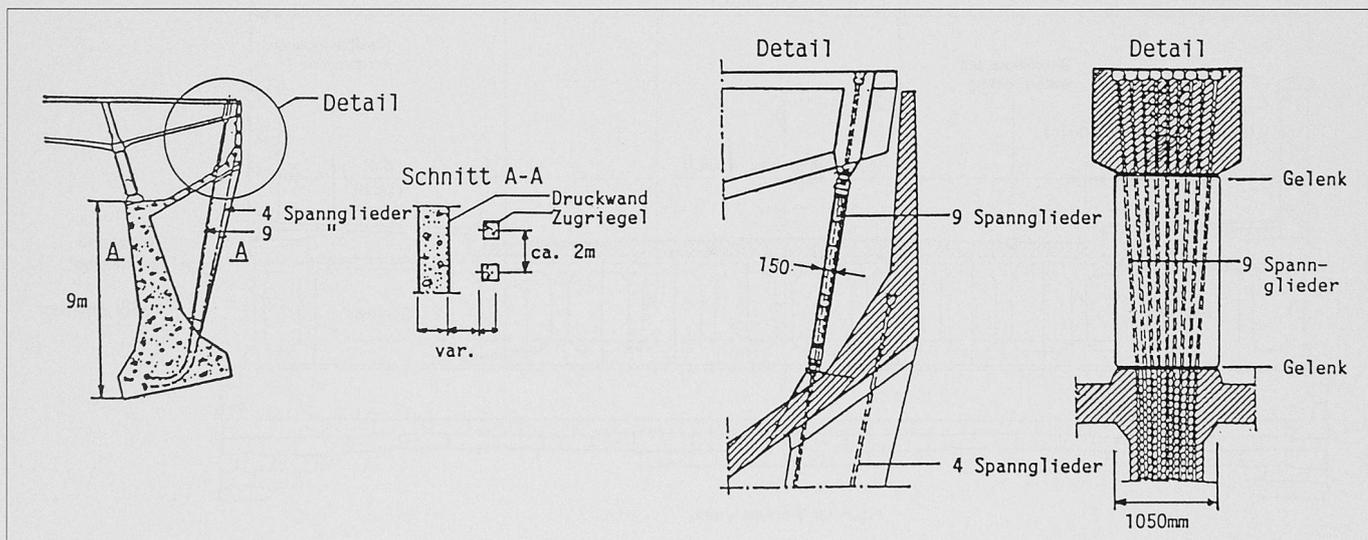


Bild 5. Brücke bei Melle, Belgien: Details im Auflagerbereich, aus [5]

Resultate verschiedener Pilotprojekte

Um die Anwendung von Kunststoffhüllrohren vom Typ PT-PLUS in der Praxis zu überprüfen, sind im Bereich der Nationalstrassen insgesamt drei Pilotprojekte und bei der SBB ein Pilotprojekt ausgeführt worden bzw. befinden sich noch in Ausführung. Es sind dies die folgenden Objekte:

- Überführung Burg- Aderahubel über die N1 bei Murten (Bauherr: Autobahnbüro des Kantons Freiburg)
- Überführung «du Milieu» über die N1 bei Avenches (Bauherr: «Bureau de construction des autoroutes du canton de Vaud»), (vgl. Bild 7)
- Wendeplatte B88 der N8 bei Brienzwiler (Bauherr: Tiefbauamt des Kantons Bern)
- Brücke Überwerfung Mitte in Zürich-Herdern (Bauherr: SBB Kreis III)

Bei den Objekten a) und b) wurden Kunststoffhüllrohre der Typen 59 und 100 (Zahlen entsprechen dem Innendurchmesser in mm) kombiniert mit elektrisch isolierten Spannverankerungen des VSL Litzenspannverfahrens eingesetzt (Bilder 8 und 9). Die Verankerungen weisen elektrische Anschlüsse auf, die permanent zugänglich sind (Bild 10). Damit ist eine elektrische Überprüfung beispielsweise mittels Widerstandsmessung oder Reflektometrie jederzeit möglich. Die elektrische Widerstandsmessung gibt darüber Auskunft, ob der Spannstahl auf die gesamte Spannliedlänge gegenüber dem Bauwerk elektrisch isoliert ist bzw. ein festgelegter, minimaler Widerstandswert eingehalten ist. Ist dies der Fall, so kann daraus geschlossen werden, dass der Spannstahl auf die ganze Spannliedlänge wasserdicht umhüllt ist.

Beim Objekt a) erfüllten 5 der 6 Spannlieder diese Bedingung, beim Objekt b) hingegen nur 1 von 6. Um das Ausmass lokaler Hüllrohrverletzungen abzuklären, wurde beim letzteren der Spannstahl nochmals ausgebaut und das Innere des Hüllrohres mittels Fernsehkamera und elektrischer «Bürste» überprüft. Die Bilder zeigten, dass es zu einzelnen Eindellungen des Hüllrohres gekommen ist. Eigentliche Verletzungen konnten visuell nicht festgestellt werden. Die elektrische Prüfung mittels «Bürste» ergab aber einzelne Kurzschlüsse im Hochpunktbereich über der Mittelstütze dieser Zweifeldbrücke.

Es kann davon ausgegangen werden, dass trotz dieser geringfügigen Ver-

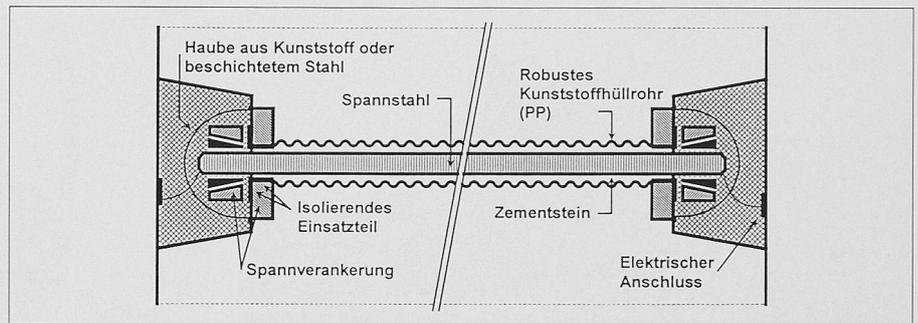


Bild 6. Elektrisch isoliertes Spannlied – schematische Darstellung



Bild 7. Überführung «du Milieu» über die N1 bei Avenches

letzungen, die gegenüber traditionellen Spannliedern erhöhte Dauerhaftigkeit nicht beeinträchtigt ist. Um bei zukünftigen Anwendungen eine höhere Erfolgsrate zu erzielen, sind von der Spannverfahrensfirma weitere Massnahmen, wie die Verwendung von Halbschalen bei Spannliedunterstützungen an kritischen Stellen, eingeführt worden.

Es wurden auch Messungen mittels der Reflektometrie gemacht. Es zeigt

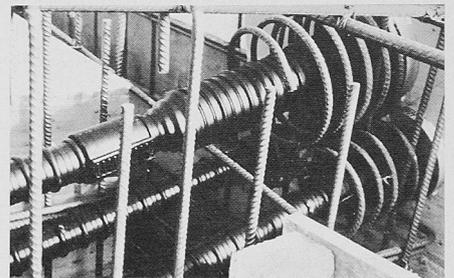


Bild 8. Überführung «du Milieu»: Hüllrohr und Ankerstützen aus robustem Kunststoff

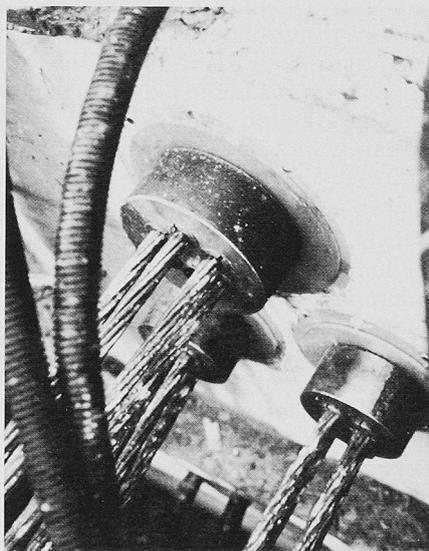


Bild 9. Überführung «du Milieu»: Elektrisch isolierte Spannverankerung

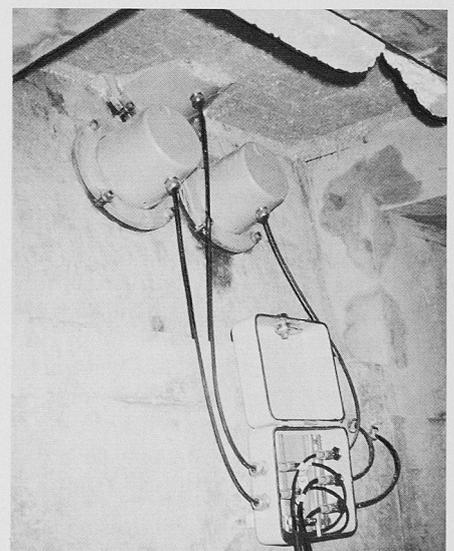


Bild 10. Überführung «du Milieu»: Verankerungshauben und elektrische Anschlüsse zur periodischen Überwachung der Spannlieder

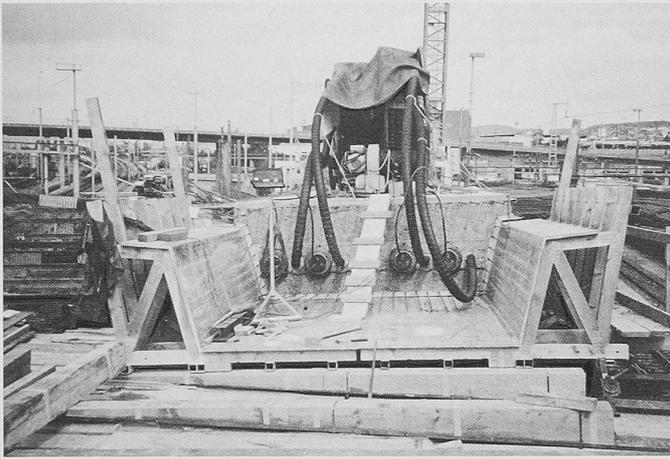


Bild 11. Brücke Überwerfung Mitte in Zürich-Herdern: werksgefertigte Spannlieder mit spiegelgeschweissten Kunststoffhüllrohren auf Rollen

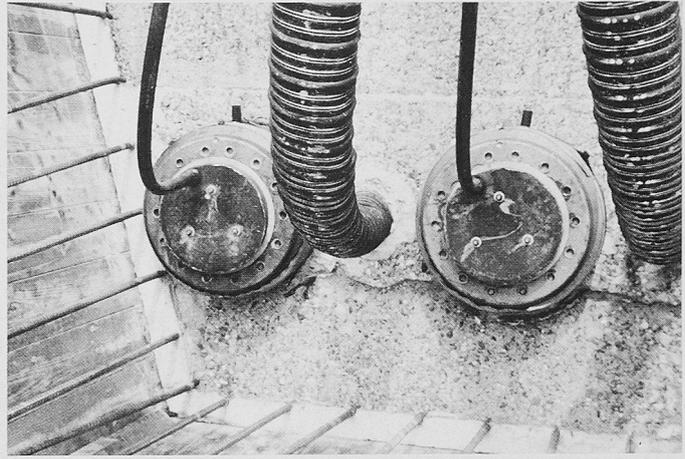


Bild 12. Brücke Überwerfung Mitte in Zürich-Herdern: Detail in der Arbeitsfuge

te sich dabei, dass immer noch unklar ist, wie deren Resultate zu interpretieren sind. Es gilt hier, die Ergebnisse des Forschungsprojektes Nr. 81/93 abzuwarten, welches das Institut für Baustoffe, Werkstoffchemie und Korrosion (IBWK) der ETH Zürich in Zusammenarbeit mit der Fachgruppe Hochspannungstechnik der ETH Zürich und der Firma Grundbauberatung AG, St. Gallen, im Auftrag der Arbeitsgruppe Brückenforschung des ASB z.Z. ausführt.

Die erwähnten elektrischen Messungen bei den Objekten a) und b) standen im übrigen unter Aufsicht des IBWK.

Bei den Objekten c) und d) gelangten die Verfahren der Firmen AVT AG (Litzenspannverfahren AVT mit Hüllrohrtyp 76) und SpannStahl AG (Dywidag Litzenspannverfahren mit Hüllrohrtyp 100) zur Anwendung; in diesen Fällen allerdings nicht kombiniert mit elektrisch isolierten Verankerungen. Die zweitgenannte Firma musste durch den vorgesehenen Bauvorgang bedingt werksgefertigte, auf Kabelrollen gewickelte Spannlieder liefern. Damit konnten die zum PT-PLUS-System gehörenden Rohrkupplungen nicht verwendet werden. Die Firma entschied sich für die im Rohrleitungsbau bei Kunststoffrohren übliche Spiegelschweissung. Eingehende Vorversuche in Absprache mit Bauherr, Projektverfasser und Experte ergaben die Brauchbarkeit der Methode. Diese hat sich inzwischen in der Praxis bewährt (Bilder 11 und 12).

Die hier beschriebenen Pilotprojekte haben gezeigt, dass das Hüllrohr PT-PLUS praxistauglich ist, wobei die dabei gemachten Erfahrungen für die weitere Anwendung wertvoll sind. Es sei noch erwähnt, dass sich der ge-

genüber Stahlwellrohren tiefere Reibungsbeiwert $\mu = 0.14$ bestätigt hat.

Als weitere Information ist noch auf die Verwendung von Kunststoffhüllrohren Durchmesser 45/55 mm für die Quervorspannung von Fahrbahnplatten bei je einer Brücke im Kanton Obwalden (BBR Drahtspannverfahren) und im Kanton Genf (Freysinnet Litzenspannverfahren) hinzuweisen. Hierzu wurden im Jahre 1989 an der EMPA Versuche durchgeführt. Es handelt sich dabei um einen Hüllrohrtyp geringer Wandstärke (mind. 1 mm), der sich nur für kleine, vorwiegend gerade geführte Spannlieder eignet.

Schlussbemerkungen

In den letzten Jahren ist in der Schweiz viel getan worden, um die bereits gute Qualität unserer Brückenbauten insbesondere in bezug auf Dauerhaftigkeit zu erhöhen. Dies aus der Erkenntnis heraus, dass Instandsetzungsarbeiten unter Verkehr auszuführen sind und hohe direkte und indirekte Kosten zur Folge haben.

Die Spannbetonbauweise hat im Schweizer Brückenbau einen grossen Stellenwert. Die dabei verwendeten Spannsysteme leisten einen sehr wichtigen Beitrag zur Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit von Spannbetonbrücken. Die hier beschriebene Entwicklung zu verbesserter Dauerhaftigkeit unter Verwendung robuster Kunststoffhüllrohre und elektrisch isolierter Spannlieder stellt einen vielversprechenden Weg dar. Auf andere, bereits vorhandene Möglichkeiten wird kurz hingewiesen. Es ist zu erwarten, dass sich weitere Alternativen im Markt zeigen werden.

Literatur

- [1] Donzel M.: Einführung in Erhaltung von Brücken – Aktuelle Forschungsergebnisse, SIA Dokumentation D 099, 1993, S. 9–15.
- [2] Matt P.: Spannsysteme – Zerstörungsfreie Prüfung bei bestehenden Brücken und überwachbare Systeme der Zukunft, SIA Dokumentation D 099 «Erhaltung von Brücken – Aktuelle Forschungsergebnisse», 1993, S. 95–103.
- [3] Woodward R.J., Williams F.W.: Collapse of Ynys-y-Gwas bridge, West Glamorgan, Proceedings Institution of Civil Engineers, Part 1, 1988, August, pp 635–669.
- [4] Capel J.: Construction de huit nouveaux ponts en béton précontraint, TRAVAUX, Novembre 1952, pp. 529–531.
- [5] Capel J.: Construction de huit ponts en béton précontraint, TRAVAUX, Décembre 1954, pp. 835–844.
- [6] Marti P.: Verbundverhalten von Spannliedern mit Kunststoff-Hüllrohren, Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Jörg Schneider, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, 1994.

Um das Ziel einer verbesserten Dauerhaftigkeit zu erreichen, genügt die hier beschriebene Entwicklung nur dann, wenn die in den entsprechenden Technischen Dokumentationen der Spannverfahren erwähnten Randbedingungen in der Projektierung und der Ausführung beachtet werden. Die Erarbeitung und Durchsetzung klarer Qualitätsziele im Rahmen einer sinnvollen Qualitätssicherung ist dabei von grosser Bedeutung.

Adresse des Verfassers: Peter Matt, dipl. Bauing. ETH/SIA/ASIC, Talweg 21, 3063 Ittigen.