

Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 130 (2004)
Heft: Dossier (22/04): Werkstoff Beton

Artikel: Langzeitüberwachung vorgespannter Tragwerke
Autor: Elsener, Bernhard
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-108406>

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](#)

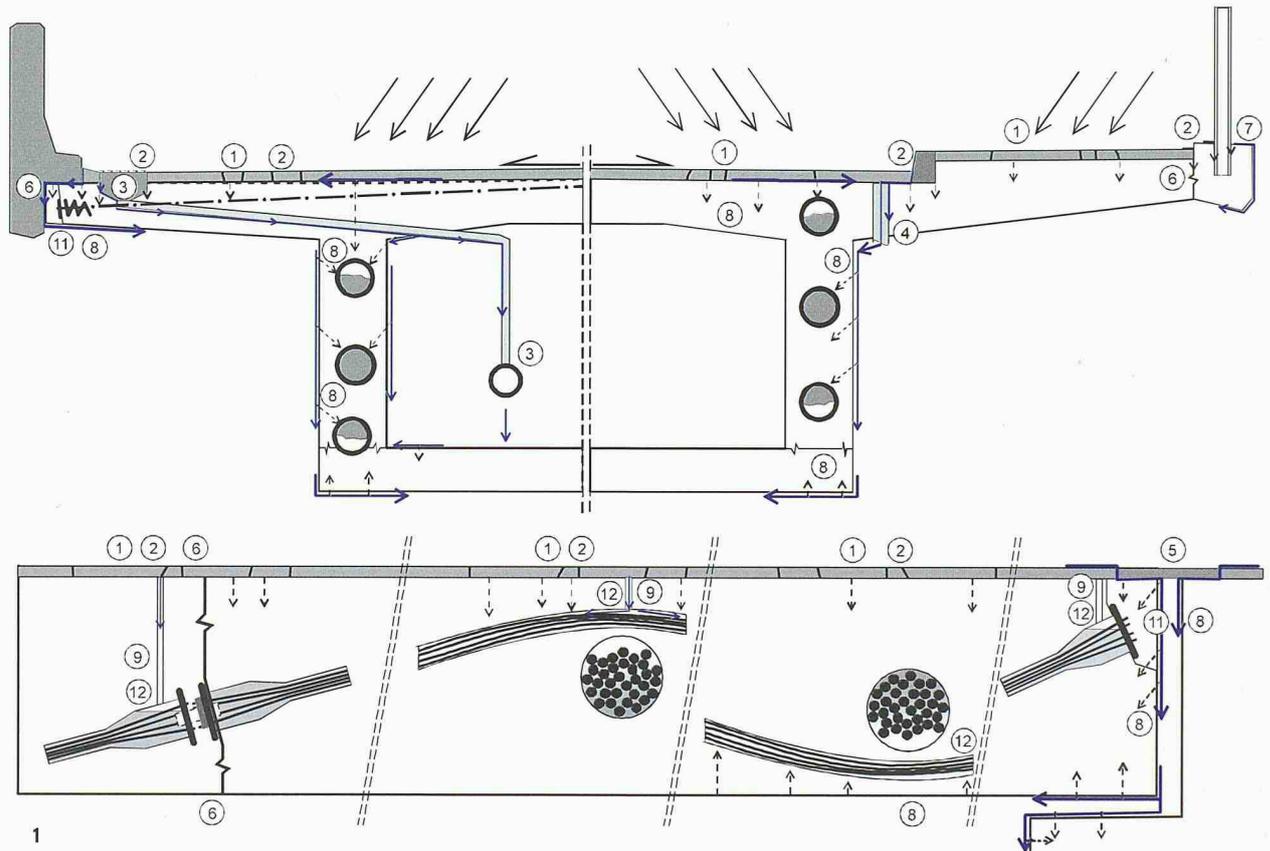
Terms of use

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: 16.07.2025

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

Langzeitüberwachung vorgespannter Tragwerke

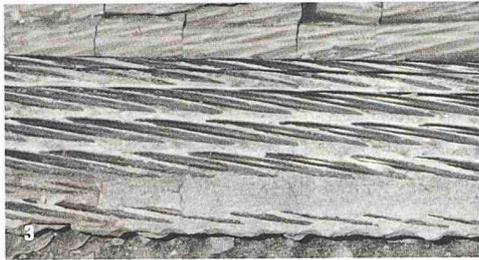


Die weltweit ersten mit Kabeln mit Verbund vorgespannten Tragwerke wurden zwischen 1940 und 1945, also vor gut 60 Jahren, in der Schweiz, in Deutschland und in Frankreich erstellt. Nach dem Zweiten Weltkrieg erlebte die Vorspanntechnik einen starken Aufschwung, und dank den technischen Vorzügen und der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens wurden immer mehr Brückenbauten in Spannbeton erstellt. Bis heute sind über 80 % der Brücken des Schweizer National- und Hauptstrassennetzes und eine grosse Anzahl von Eisenbahnbrücken in der Spannbetonbauweise erstellt worden. Das Durchschnittsalter der Brücken beträgt heute gegen 30 Jahre¹.

Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit und Tragsicherheit von Spannbetontragwerken sind in hohem Mass durch die Spannglieder bestimmt. Der Korrosionsschutz der empfindlichen hochfesten Stahlzugglieder muss vor allem bei Spanngliedern mit nachträglichem Verbund dauerhaft sein, da diese im Falle von Korrosion nicht einfach ausgewechselt werden können. Nationale und internationale Normen und Richtlinien sollen den Korrosionsschutz und die Dauerhaftigkeit sicherstellen. Trotz der insgesamt bewährten Spannbetonbauweise treten mit zunehmendem Alter der Brücken vermehrt Korrosionsschäden an den Spannstählen auf, was – wenn nicht rechtzeitig entdeckt – zu Tragsicherheitsproblemen oder gar zu Einstürzen führen kann.

Zustand der vorgespannten Tragstrukturen

Schäden an Spannstählen werden sporadisch in Fachzeitschriften oder Tagungsdokumentationen erwähnt, spektakulärere Einstürze wie etwa jener der Berliner



1

Gefährdungsbilder für Spannstähle im Brückenbau im Längs- und Querschnitt (Bild aus Hunkeler et al.):

Nichttragende Bauteile:

- 1 **Schadhafter Belag (z.B. Risse)**
- 2 **Fehlende oder schadhafte Abdichtung und Randanschlüsse**
- 3 **Schadhafte Entwässerungsschächte und -leitungen**
- 4 **Falscher Einbau und falsche Anordnung der Belags und Abdichtungsentwässerungssysteme**
- 5 **Undichte Fahrbahnübergänge bei Dilatationsfugen**
- 6 **Schadhafte Arbeits- und Elementfugen**
- 7 **Einlagen**

Korrosionsschutzsystem:

- 8 **Mangelhafter Überdeckungs Beton**
- 9 **Mangelhafte oder nicht verschlossene Injektions- und Entlüftungsröhrchen**
- 10 **Undichte, beschädigte oder korrodierte Hüllrohre**
- 11 **Undichter Nischenbeton**
- 12 **Mangelhafte Injektion im Verankerungsbereich, in den Hoch- und Tiefpunkten**

2 + 3

Korrosionszustand der Spannstähle nach Freilegen und Öffnen des Hüllrohrs: oben teilweise injiziertes Hüllrohr mit korrodierten Spanndrähten, unten vollständig injiziertes Hüllrohr mit intakten Spannritzen (Bilder: P. Matt)

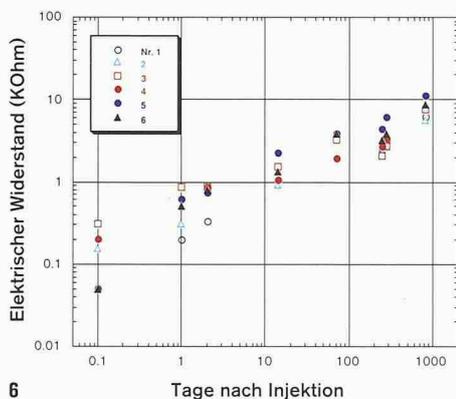
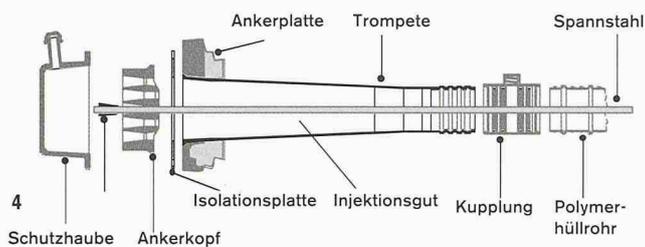
Kongresshalle (21. Mai 1980) oder der Brücke S. Stefano bei Messina (23. April 1999) machten Schlagzeilen. Verschiedene Schadensfälle führten dazu, dass die Vorspanntechnik in Grossbritannien von 1992 bis 1996 vorübergehend verboten wurde². Aus verschiedenen Untersuchungen (siehe Anmerkungen) geht hervor, dass sich die Vorspanntechnik insgesamt sehr gut bewährt hat, gravierende Korrosionsschäden treten nur vereinzelt auf. Analyse und Auswertung der Schadensfälle erlauben es, typische Gefährdungsbilder für Spannstähle abzuleiten. Das korrosionsauslösende, chloridhaltige Wasser erreicht das Spannglied bei Brücken über Schwachstellen der Konstruktion und des eigentlichen Korrosionsschutzsystems. Konstruktive Schwachstellen sind z.B. Fahrbahnübergänge, die Entwässerung der Fahrbahn, des Belags oder der Abdichtung, Elektrodröhrchen u. Ä., wo das anfallende Oberflächenwasser nur ungenügend abgeleitet wird und daher leicht zum Spannglied vordringt (Bild 1).

Untersuchungsmethoden

Vor dem Hintergrund, dass Korrosionsschäden an Tragstrukturen grundsätzlich jederzeit auftreten können, ist eine Beurteilung des Zustands der Spannstähle besonders wichtig. Ausgehend von der Kernfrage «Wo fällt chloridhaltiges Wasser an und wie fließt es ab» können das Studium der Bauwerksakten und eine visuelle Untersuchung bereits konkrete Hinweise auf eine mögliche Schädigung der schlaffen Bewehrung und/oder des Spannsystems liefern. Bei Kenntnis der Lage der Spannglieder können Potenzialmessungen weitere Hinweise auf eine mögliche Schädigung des Spannsystems liefern (z.B. Korrosion des Hüllrohrs). Es existiert nach wie vor keine etablierte Methode für die zerstörungsfreie Zustandserfassung und die Überwachung der Spannglieder mit Metallhüllrohren. Labor- und in der Folge Feldversuche an Pilotobjekten im Rahmen eines Forschungsprojektes des Bundesamtes für Strassen (Astra)³ zeigten, dass die reflektometrische Impulsspektroskopie zur zerstörungsfreien Prüfung injizierter Spannglieder nicht angewendet werden kann. Andere zerstörungsfreie Prüfmethode wie Impact-Echo, magnetische Verfahren, Durchstrahlungsprüfung etc. sind sehr kostspielig, nur lokal anwendbar und führten bis heute ebenfalls nicht zum Erfolg. Das hängt primär damit zusammen, dass Spannbetonbrücken und die dabei verwendeten Spannsysteme nicht so projektiert und gebaut wurden, dass die Möglichkeit einer zerstörungsfreien Prüfung eingeplant worden wäre. Im Rahmen eines kürzlich begonnenen europäischen Forschungsprojektes, COST 534 «Neue Materialien und Systeme für vorgespannte Betontragwerke», werden neue Untersuchungsmethoden getestet. Tatsache bleibt, dass heute der Korrosions- und der Injektionszustand der Spannglieder weiterhin nur schwer überprüfbar sind. Eine direkte Aussage kann nur durch sorgfältiges Öffnen des Hüllrohrs und Freilegen des Injektionsguts/Spannstahls erhalten werden (Bilder 2 und 3) – dazu muss aber der Ort der möglichen Schädigung bereits bekannt sein.

Neue, überwachbare Spannsysteme

Ausgehend von den Grundsätzen des Korrosionsschutzes von Spanngliedern, die aggressive Umgebung (chloridhaltiges Wasser) fernzuhalten, eine elektrische Vermaschung mit dem Bauwerk zu vermeiden und die Kontrollierbarkeit sicherzustellen, wurde in den letzten Jahren auf verschiedenen Ebenen intensiv an einer Verbesserung sowohl des Korrosionsschutzes als auch der Überprüfbarkeit von innen liegenden, injizierten Spanngliedern gearbeitet. So bietet die Industrie seit mehreren Jahren Spannsysteme mit verbessertem Korrosionsschutz und auch verbessertem Ermüdungsverhalten an (Kunststoffhüllrohre und elektrisch isolierte Spannglieder). Zusätzlich zu einer vollständig dichten Umhüllung (Trompete, Hüllrohr, Kupplungen) auf der Basis von dickwandigen gerippten PE-Rohren ist der Einbau einer isolierenden Ankerplatte im Ankerkopf zentrale Voraussetzung für die zerstörungsfreie Überwachung (Bild 4). An verschiedenen Pilotobjekten wurde von 1993 bis 1998 sowohl der Einbau als auch



4 Schematische Darstellung eines elektrisch isolierten Spannsystems mit Kunststoffhüllrohr und elektrisch isoliertem Ankerkopf (Bild: VSL AG)

5 Ein vorfabriziertes Segment des Viadukts «Piacenza» der neuen italienischen Hochgeschwindigkeitsbahnlinie TAV (Bild: M. Della Vedova)

6 Entwicklung des elektrischen Widerstands zwischen den Spannstäben und der schlaffen Bewehrung der Überführung Pré du Mariage der A1 (Bild: B. Elsener)

die Überwachung der Spannglieder mit elektrischer Widerstandsmessung in der Praxis durchexerziert⁴, was zu deutlichen Verbesserungen bei den Systemen führte. Parallel dazu wurde im Auftrag des Astra und der SBB eine Richtlinie «Massnahmen zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit von Spanngliedern in Kunstbauten» erarbeitet⁵, welche in Ergänzung zur Norm SIA 162 die Spanngliedkategorien definiert, die Einsatzbereiche angibt und die Anforderungen an den Korrosionsschutz und die Überwachbarkeit bei Spannsystemen im Brückenbau festhält.

Überwachbare Spannglieder (Kunststoffhüllrohre mit elektrisch isolierten Ankerköpfen) werden nicht nur in der Schweiz zunehmend verwendet, sondern auch in den in vorfabrizierter Segmentbauweise erstellten Viadukten der neuen Hochgeschwindigkeitsbahnlinien TAV in Italien⁶ (Bild 5). Im über 5 km langen Viadukt «Piacenza» enthält jedes der 33 m langen und 950 t schweren Segmente 24 elektrisch isolierte Vorspann-

glieder, welche alle während der Vorfabrikation und nach dem Einbau geprüft wurden⁷.

Überwachung durch «smart structures»

Die Messung des elektrischen Wechselstromwiderstands (Impedanz) zwischen dem Spannstaahl im Kunststoffhüllrohr (Bild 3) und der schlaffen Bewehrung im Beton erlaubt eine rasche und zerstörungsfreie Überprüfung der Integrität des schützenden Hüllrohrs. Schlecht verschlossene Entlüftungsröhrchen oder Defekte im Hüllrohr bilden einen elektrolytischen Pfad – der gemessene Widerstand sinkt. Im Rahmen eines Astra-Forschungsprojektes⁸ wurde der in der Astra/SBB Richtlinie⁵ festgesetzte Minimalwert für den elektrischen Widerstand intakter Hüllrohre (Durchmesser 59 mm) von 500 kΩ·m überprüft. An einem 100 m langen Spannglied muss demnach ein Mindestwert des Widerstands von 5 000 Ω gemessen werden. Verschiedene Pilotobjekte⁴ und die Praxiserfahrung zeigen, dass dieser untere Grenzwert bei sorgfältiger Arbeitsausführung auch erreicht werden kann. Die ebenfalls gemessenen Kapazitätswerte erlauben eine Qualitätskontrolle (Dicke) des Kunststoffhüllrohrs^{4,8}.

Messungen des elektrischen Wechselstromwiderstands über die Nutzungsdauer eines Tragwerks erlauben, die zeitliche Entwicklung des Widerstands der einzelnen Spannglieder im Tragwerk und damit die Integrität des Korrosionsschutzes zu verfolgen. Am Beispiel der Überführung Pré du Mariage über die A1 bei Estavayer-le-Lac konnte gezeigt werden, dass die Widerstandswerte über Jahre mit der Zeit kontinuierlich ansteigen (Bild 6). Dies ist durch die Hydratation des Injektionsguts und des Betons sowie durch Austrocknungsprozesse zu erklären^{4,8}. Fällt nun der gemessene Widerstand eines der Spannglieder über die Zeit ab, deutet dies auf das örtliche Eindringen von Wasser (und damit Chloriden) an einer Verletzung des Hüllrohrs hin.

Die Kontrolle und Überwachung der Tragwerke mit elektrisch isolierten Spanngliedern mittels Wechselstrom-Widerstandsmessung erlaubt somit erstmals eine Qualitätskontrolle bei der Erstellung und insbesondere ein Frühwarnsystem für das Auftreten von Korrosion an den Spannstäben während der Nutzung. Lange bevor ein Korrosionsschaden auftritt, kann das Eindringen von Feuchtigkeit und Chloriden zerstörungsfrei detektiert werden, und es bleibt genügend Zeit, um präventiv Massnahmen zu ergreifen. Mit der Entwicklung und Einführung der elektrisch isolierten Spannglieder wurde in der Schweiz eine bahnbrechende Entwicklung zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit vorgespannter Tragwerke eingeleitet, welche durchaus mit den früheren Pionierleistungen in der Vorspanntechnik vergleichbar ist.

Dr. sc. techn. Bernhard Elsener, dipl. Werkstoffing.
ETH/SIA
Institut für Baustoffe, Werkstoffchemie und Korrosion IBWK, ETH Zürich
Dipartimento di chimica inorganica e analitica Università di Cagliari (I)
elsener@ibwk.baug.ethz.ch

Literatur

- Eine umfassende Analyse und Auswertung von 242 Schadensfällen aus der Zeit von 1950 bis 1979 wurde von U. Nürnberger 1980 publiziert.
- Nürnberger, U.: Analyse und Auswertung von Schadensfällen an Spannstählen. Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 308, Bonn Bad Godesberg, 1980.
- Am fib/IABSE-Workshop 2001 wird die Situation weltweit (Nordamerika, Europa, Japan) in fünf Beiträgen zusammengefasst.
- Durability of Post-Tensioning Tendons, fib bulletin Nr. 15, Kapitel Inventory and Condition, 2001, S. 1-88.
- In der Schweiz wurden Korrosionsschäden an Spannstählen im Brückenbau in einem 1998 erschienen Forschungsbericht zusammengefasst. Die Arbeit erfasste insgesamt 143 Objekte, davon waren 27 Brückenbauwerke ausreichend dokumentiert und erlaubten eine Weiterbearbeitung.
- Hunkeler, F., Ungricht, H., Matt, P.: Korrosionsschäden an Spannstählen in Spanngliedern und vorgespannten Boden- und Felsankern. Astra-Forschungsbericht 534, Bern, 1998.

Anmerkungen

- 1 Matt, P.: Performance of Post-Tensioned Bridges in Switzerland. IABSE Kongress, Luzern, 2001.
- 2 Department of Transport, UK: Standards for Post-Tensioned Prestressed Bridges to be Reviewed, Press Notice No. 260, 25. 9. 1992.
- 3 B. Elsener, H. Böhni, R. Bränlich, A. Markees, Zerstörungsfreie Spannkabelprüfung mit reflektometrischer Impulsmessung, Astra-Forschungsbericht 528, Bern, 1997.
- 4 Ayats, J., Gnägi, A., Elsener, B.: Electrical Isolation as Enhanced Protection for Post-Tensioning Tendons in Concrete Structures, fib Kongress, Osaka 2002, Vol. 6, S. 169 - 176, Japan Prestressed Concrete Engineering Association, 2002.
- 5 Astra/SBB Richtlinie: Massnahmen zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit von Spanngliedern in Kunstbauten, Bern, 2001.
- 6 Della Vedova, M., Evangelista, L., Sacchi, F.: Simply Supported Prestressed Concrete Deck for High Speed Railway Bridges, Proc. IABSE Symposium «Structures for High-speed Railway Transportation», Vol. 87, Antwerp, 2003, S. 36 - 37.
- 7 Della Vedova, M., Elsener, B., Evangelista, L.: Corrosion Protection and Monitoring of Post-Tensioning Tendons, to be presented at the Third European Conference on Structural Control, Vienna University of Technology, Vienna, Austria, July 12-15, 2004.
- 8 Elsener, B., Toller, L., Vöute, C. H., Böhni, H.: Überprüfen des Korrosionsschutzes von Spanngliedern mit Kunststoffhüllrohren, Astra-Forschungsbericht 564, Bern, 2002.

SIA-Dokumentationen zum Thema:

D031 Korrosion und Korrosionsschutz, 1989

D099, Erhaltung von Brücken-Aktuelle Forschungsergebnisse 1993

D0129, Erhaltung von Brücken-Aktuelle Forschungsergebnisse, 1996

BARTEC®

Betonstahl-Verbindungen

Debrunner & Acifer

klöckner & co multi metal distribution

Grosse Sicherheit, einfaches Handling und hohe Wirtschaftlichkeit. Der Einsatz eines Drehmomentschlüssels ist nicht notwendig. Verlangen Sie unsere technischen Unterlagen oder unsere persönliche Beratung.

Überall in Ihrer Nähe!
Telefon 0844 80 88 18

www.d-a.ch

