Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte

Band: 55 (1987)

Artikel: Hochleistungs-Verbundwerkstoff für die Vorspannung von Betonbauwerken

Autor: König, Gerd / Wolff, Reinhard

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-42758

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: 06.08.2025

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

Hochleistungs – Verbundwerkstoff für die Vorspannung von Betonbauwerken

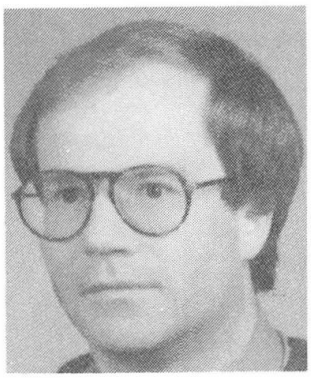
Heavy Duty Composite Material for Prestressing of Concrete Structures

Matériau composite à haute résistance pour la précontrainte d'ouvrages en béton

Gerd KÖNIG
Prof. Dr.
König und Heunisch
Frankfurt, Bundesr. Deutschland

Gerd König, geboren 1934. Promotion an der TH Darmstadt. Seit 1971 Beratender Ingenieur, seit 1975 Professor für Massivbau an der TH Darmstadt. Arbeitsgebiete : Brückenbau, Hochhäuser, Kraftwerke, Baudynamik.

Reinhard WOLFF
Dr. - Ing.
Strabag Bau - AG
Köln, Bundesrep. Deutschland



Reinhard Wolff, geboren 1945. Promotion an der TH Darmstadt. Mehrere Jahre im Techn. Büro der Strabag Bau-AG, Köln u. Düsseldorf. Seit 3 Jahren Leiter der Hauptabteilung Technik und Projektbearbeitung der Strabag Hauptverwaltung in Köln.

ZUSAMMENFASSUNG
Faserverbundwerkstoffe, die bisher fast ausschließlich in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt wurden, haben jetzt auch Anwendung in der Bauindustrie gefunden, z.B. bei der Vorspannung von Betonbauwerken. Durch Kombination von Glasfasern und Polyesterharzen wurde, als korrosionsbeständige Alternative zum herkömmlichen Spannstahl, ein Werkstoff hergestellt, der sehr hohe Medienbeständigkeit besitzt und Festigkeiten aufweist, die in der Größenordnung hochfester Spannstähle liegen.

SUMMARY
Fibre composite materials, previously employed almost exclusively in the air and space industries, are now being used in the construction industry, e.g. for prestressing of concrete structures. A material with high resistance to corrosive media, and with material strengths comparing with the strongest prestressing steels, has been manufactured as a highly corrosion resistant alternative to commonly used prestressing steels by correct choice of glass fibres and polyester resin.

RÉSUMÉ
Des matériaux composites renforcés par des fibres, qui, jusqu'à présent, ont été utilisés presque uniquement dans le domaine aéronautique et spatial, sont également mis en application dans le génie civil, par exemple dans la précontrainte d'ouvrages en béton. Par la combinaison des fibres de verre et de résine polyester on a obtenu un matériau anti-corrosif qui présente une alternative à l'acier de précontrainte traditionnel et dispose d'une résistance très élevée aux milieux corrosifs, et des caractéristiques comparables à celles des plus forts aciers de précontrainte.

1. STABMATERIAL

Die Arbeitsgemeinschaft HLV-Elemente, bestehend aus den Firmen Strabag Bau-AG, Köln (Federführung) und Bayer AG, Leverkusen, entwickelte in einem vom Bundesministerium für Forschung und Technologie geförderten Vorhaben Glasfaserverbundstäbe bis zur Anwendungsreife als hochfeste Zugbewehrung für vorgespannte Konstruktionen.

Diese, unter dem Markennamen Polystal (R), von der Bayer AG hergestellten Glasfaserstäbe haben einen Durchmesser von 7,5 mm und bestehen aus 60.000 Glasfasern von 10 - 25 μm Dicke. Der Querschnitt enthält 68 % Glasfasern und32 % ungesättigtes Polyesterharz. Stränge aus je 2000 Glasfasern werden in einem Tauchbad mit flüssigem Polyesterharz imprägniert, zu einem Rundstab geformt und unter Wärmezufuhr ausgehärtet. Gegen chemische Einflüsse (wie Chloride und Alkalien) sowie gegen mechanische Beschädigungen erhält der Glasfaserstab eine ca. 0,5 mm starke Polyamidummantelung, die in einem "on-line" Extrusionsverfahren aufgebracht wird.

2. WERKSTOFFVERHALTEN

Die Längszugfestigkeit des Werkstoffes von 1670 N/mm^{2}ist Folge des hohen Glasfaseranteils mit streng unidirektionaler Orientierung. Die Zeitstandfestigkeit erreicht ca. 70 % des Endwertes der Zugkraft bei einem nahezu konstanten E-Modul von 51.000 N/mm^2(Bild 1).

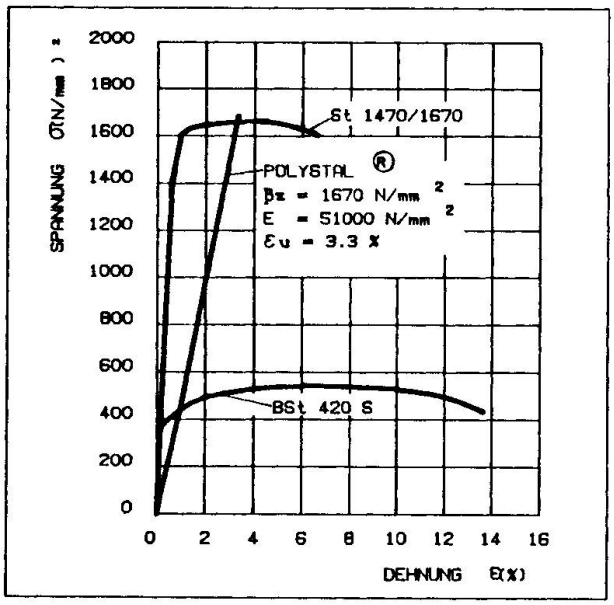


Bild 1 Spannungsdehnungsdiagramm von POLYSTAL-Stäben im Vergleich mit Betonstahl und Spannstahl

Die wesentlichen Unterschiede der HLV-Spannglieder im Vergleich zum Spannstahl sind:
- Der E-Modul der HLV-Spannglieder hat nur 1/4 der Größe des E-Moduls der Stahlspannglieder.
- Die HLV-Spannglieder zeigen nahezu einen linearen Zusammenhang zwischen Dehnung und Spannung bei fehlendem Fließvermögen.
- Die Dauerstandfestigkeit ist kleiner als die Kurzzeitfestigkeit.

Als weitere nennenswerte Werkstoffeigenschaften sind genannt:
- gute Medienbeständigkeit
- sehr gute Hitzebeständigkeit der tragenden Glasfasern
- elektromagnetische Neutralität
- geringes Gewicht von 2 g/cm^3.

Es wurde ein Bemessungskonzept entwickelt, das den vom Stahl abweichenden Eigenschaften Rechnung trägt.

Das fehlende Fließvermögen läßt vermuten, daß mit HLV-Spanngliedern vorgespannte Tragwerke nur eine geringe Systemzähigkeit aufweisen. Andererseits ist zu erwarten, daß der kleine Elastizitätsmodul der HLV-Spannglieder in Verbindung mit dem Aufreißen des Querschnitts ein duktiles Systemverhalten ermöglicht. Am Beispiel eines Durchlaufträgers, der zu einen mit HLV-Spanngliedern, zum anderen mit Stahlspanngliedern vorgespannt ist, wird das Verhalten bei Überlastung eines Feldes gezeigt.

Als Querschnitt für den zu untersuchenden Träger wurde ein Hohlkasten mit 3 m Bauhöhe und 45 m Spannweite gewählt. Die Querschnitte bei Spannbewehrung wurden so festgelegt, daß sich für Spannstahl und HLV die gleiche zulässige Vorspannkraft ergab. Die Belastung bestand aus den ständigen Lasten in allen Feldern und einer Verkehrslast als Gleichstreckenlast im mittleren Feld. Diese Gleichstreckenlast wurde schrittweise solange gesteigert, bis Systemversagen auftrat.

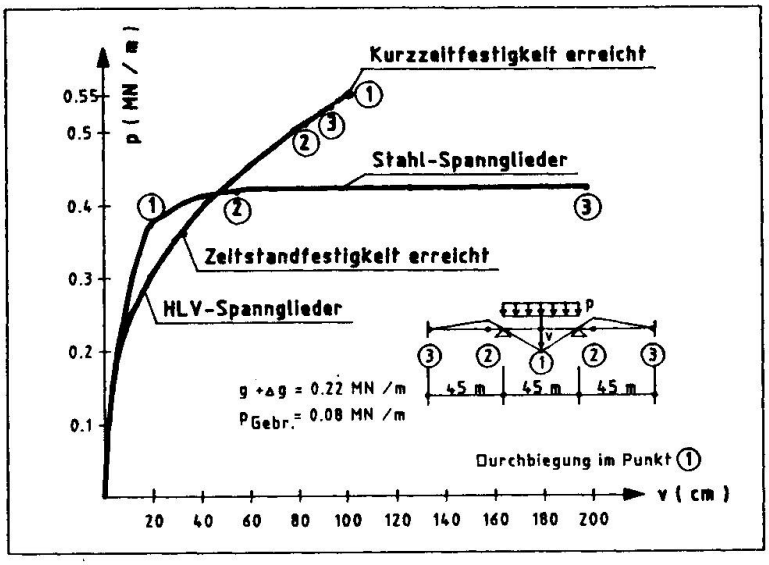


Bild 2 Last-Verformungs-Verhalten bei Überlastung eines Innenfeldes eines Durchlaufträgers

Aus dem Vergleich der beiden Kurven ist erkennbar, daß auch HLV-bewehrte Tragwerke große Verformungen ertragen können. Obwohl die HLV-Spannglieder kein Fließvermögen besitzen, sorgt ein "Systemfließen" für diese relativ großen Verformungen. Wegen des bei der Bemessung einzuhaltenden großen Sicherheitsabstandes gegenüber der Kurzzeitfestigkeit ist bei kurzfristigen Beanspruchungen eine höhere Traglast vorhanden als bei Tragwerken mit Stahlspanngliedern (Bild 2).

3. SPANNGLIEDER

Durch die nur ca. 10 % der Längszugfestigkeit betragende Querdruckfestigkeit mußten für die Einleitung der hohen Längszugkräfte an den Stabenden der Faserverbundwerkstoffe von der Strabag Bau-AG, die im Rahmen der Arbeitsgemeinschaft für die Verankerungstechnologie zuständig war, neue Wege beschritten werden:

- Die Möglichkeit einer Kaltverformung fehlt.
- Im Bereich der Verankerung muß ein gleichmäßig verteilter Querdruck aufgebracht werden.
- Die Verankerungslänge wird von der Schubfestigkeit der Staboberfläche bestimmt.

Die Lösung ist eine spezielle Vergußverankerung mit einem Kunstharzmörtel. Bisher wurden drei verschiedene Spanngliedervarianten mit 8, 14 und 19 Stäben bis zur Anwendungsreife entwickelt, mit Gebrauchslasten von 278 kN, 486 kN und 660 kN.

Die Spannkanäle werden bei Vorspannung mit nachträglichem Verbund nach dem Vorspannen mit einem von Bayer entwickelten Kunstharzmörtel verpreßt. Die wesentlichen Vorteile dieses Mörtels sind

- kein Ausfiltern des Zuschlags an Umlenkstellen,
- Möglichkeit des Nachverpressens,
- kein Vermischen mit Hüllrohrwasser,
- gutes Fließvermögen.

Für das Stabmaterial, die Spannglieder und den Verpreßmörtel wird z.Z. eine allgemein bauaufsichtliche Zulassung bei dem Institut für Bautechnik in Berlin beantragt.

Die Integration von Lichtwellenleitern und leitenden Metalldrähten als Sensoren in den Faserverbundwerkstoffen ermöglicht künftig den Einblick in das Spannungs-Dehnungsverhalten im Bauteil. Damit ist der Weg zur Verwirklichung des "intelligenten" Spanngliedes vorgezeichnet. Die Sensoren lassen dann bei Änderung ihrer physikalischen Eigenschaften (Dämpfung bei Lichtleitern, Kapazitätsänderung bei Drähten) z.B. Rückschlüsse auf Veränderungen des Spannungszustandes und deren Lokalisierung zu.

4. BAUTEILVERSUCHE

Zur Untermauerung der theoretischen Ergebnisse wurden am Otto-Graf-Institut in Stuttgart Bauteilversuche durchgeführt. Zum Vergleichist in Bild 3 die Last-Verformungskurve des Biegeversuches der theoretisch ermittelten Kurve eines spannstahlbewehrten Versuchskörpers gegenübergestellt. Bemerkenswert ist hierbei, daß die Verformung bei einer Entlastung vor dem Bruch nahezu vollständig reversibel ist. Die Bauteilversuche bestätigten, daß der Bruch auch bei HLV-bewehrten Konstruktionen durch große Verformung wie bei spannstahlbewehrten Konstruktionen angekündigt wird.

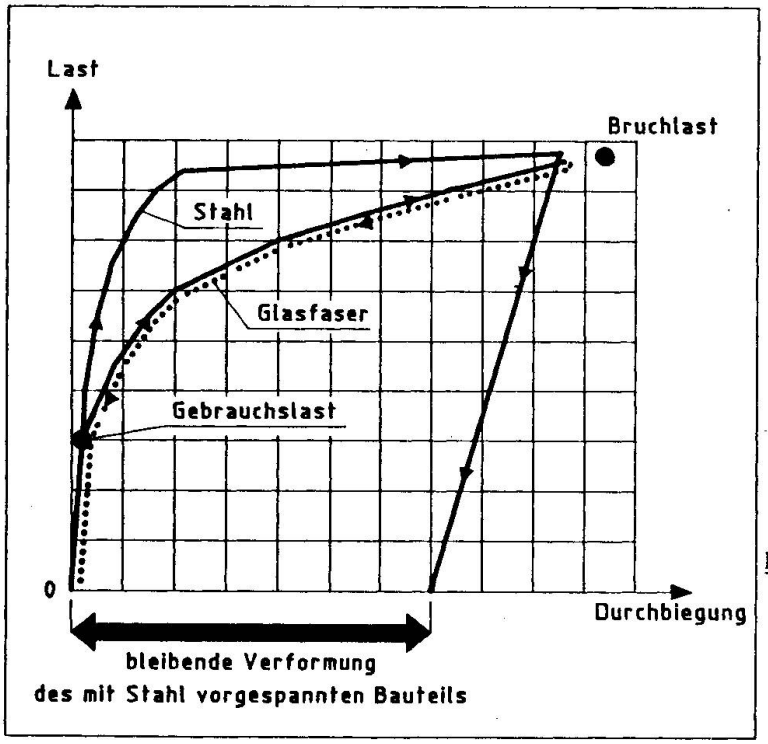


Bild 3 Last-Durchbiegungsbeziehung eines mit POLYSTAL vorgespannten Bauteils zu einem mit Stahl vorgespannten Bauteil.

5. BRÜCKE ULENBERGSTRASSE

Die erste großmaßstäbliche Anwendung der HLV-Spannglieder im Brückenbau erfolgte bei der Brücke Ulenbergstrasse in Düsseldorf. Diese Brücke der Brückenklasse 60/30 ist eine zweifeldrige massive Plattenbrücke, die in Längsrichtung mit nachträglichem Verbund beschränkt vorgespannt ist. Die Feldweiten betragen 21,30 m und 25,60 m bei einer Plattendicke von 1,44 m (Bild 4 und 5).

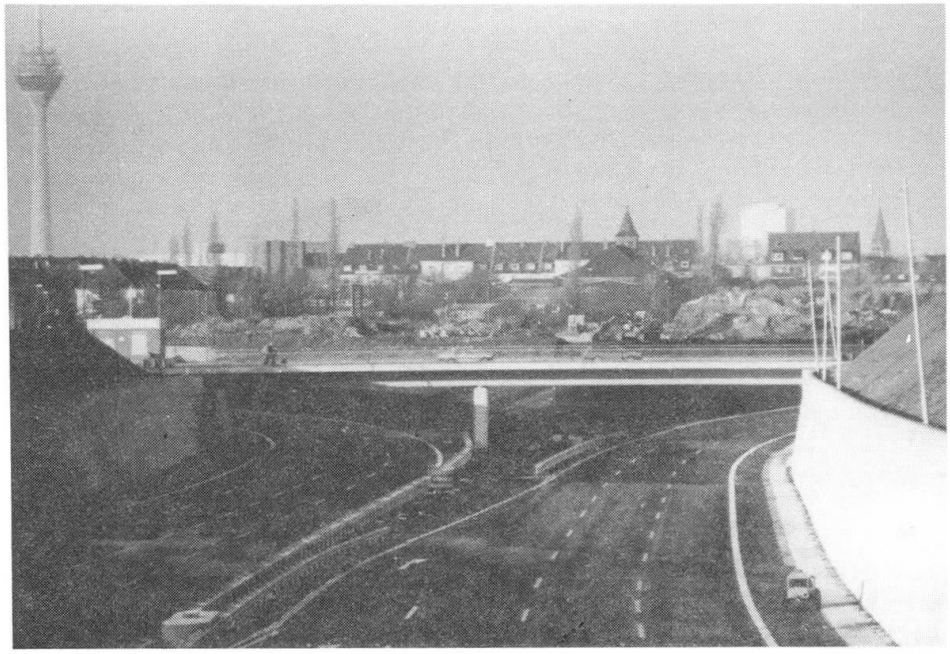


Bild 4 Gesamtaufnahme Brücke Ulenbergstraße, Düsseldorf

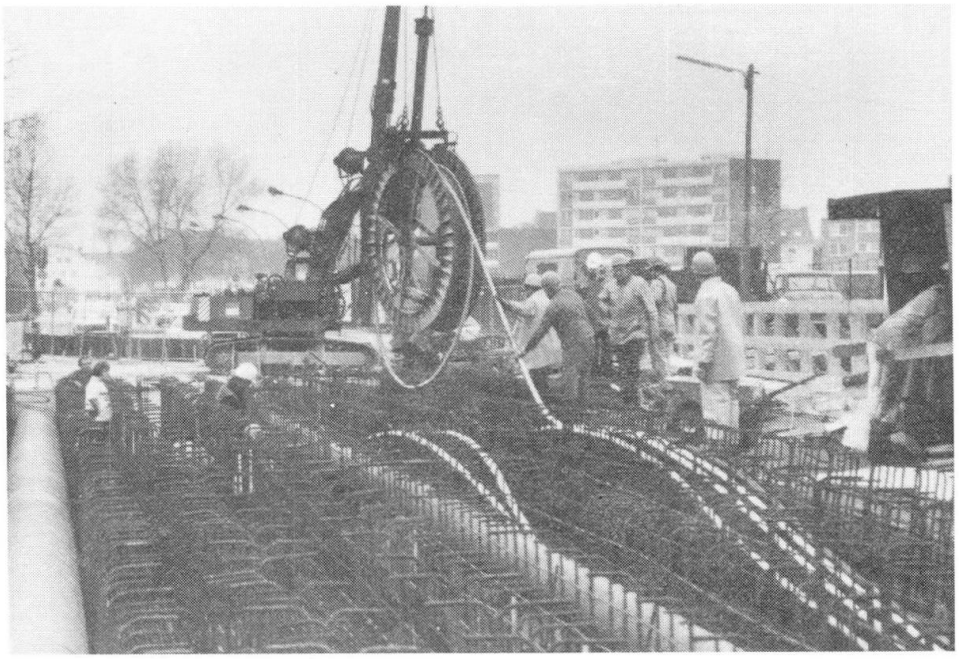


Bild 5 Verlegen der HLV-Spannglieder

Der Ausführung der Brücke Ulenbergstrasse lagen Befürwortungen durch gutachtliche Stellungnahmen zugrunde über "Beurteilung der Standsicherheit und Gebrauchsfähigkeit" (Prof. König, Frankfurt), "Material- und Verbundeigenschaften der HLV-Elemente im Hinblick auf einen Einsatz als Spannbewehrung" (Prof. Rehm, Stuttgart), "Beurteilung von Konstruktion und Tragverhalten der Verankerungen" (Prof. Rostasy, Braunschweig).

6. AUSBLICK

Der Bau der Brücke Ulenbergstrasse, der weltweit ersten großen Anwendung von Glasfaserverbundwerkstoffen für den Spannbetonbau, steht am Anfang einer Serie weiterer Anwendungsmöglichkeiten, z.B. der Einsatz von Hochleistungs-Faserverbund-Werkstoffen für alle Grade von Vorspannung mit und ohne Verbund, Erd- und Felsanker sowie Antennen- und sonstige Abspannungen.

Für die zunächst noch teureren HLV-Spannglieder werden sich die ersten Marktchancen bei korrosionsgefährdeten Bauwerken ergeben. Durch Befriedigung einer wachsenden Nachfrage wird dann bei Erreichen vergleichbarer Produktionsserien auch die Konkurrenzfähigkeit der HLV-Vorspannung mit den herkömmlichen Stahlspanngliedern erwartet.

LITERATURVERZEICHNIS

1. WEISER, M.; PREIS, L.: Kunstharzgebundene Glasfaserstäbe - eine korrosionsbeständige Alternative zum Spannstahl, Sonderdruck aus: Fortschritte im konstruktiven Ingenieurbau, Gallus Rehm zum 60. Geburtstag. Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1985.

2. WAASER, E.; WOLFF, R.: Ein neuer Werkstoff für Spannbeton, "beton" 36 (1986), H. 7, S. 245 - 250.