

# Verstärkung einer Autobahnbrücke mit vorgespannten CFK-Lamellen

Thierry Berset, Gregor Schwegler, Luc Trausch



**Sika AG**  
Corporate Construction  
CH-8048 Zürich  
Switzerland  
Phone +041 1 436 40 40  
Fax +041 1 436 46 86  
[www.sika.com](http://www.sika.com)

**Locher AG Zürich**  
Bauingenieure  
Pelikan-Platz 5  
CH-8022 Zürich  
Tel. 01 218 92 34  
Fax 01 218 92 61  
[www.locher-ag.ch/ib](http://www.locher-ag.ch/ib)



# Verstärkung einer Autobahnbrücke mit vorgespannten CFK-Lamellen

**Bei der Instandsetzung der Brücke der A3 über den Escherkanal werden erstmals in der Schweiz vorgespannte CFK-Lamellen zur Verstärkung einer Autobahnbrücke eingesetzt. Der Zustand des Bauwerks und die Ergebnisse der statischen Überprüfung erforderten die Verstärkung der Fahrbahnplatte in Querrichtung. Unter restriktiven Ausführungsbedingungen war nur die Verbindung von vorgespannten CFK-Lamellen an der Unterseite und geklebten CFK-Lamellen an der Oberseite für die Instandsetzung der Fahrbahnplatte praktikabel.**

Die im Jahr 1957 erstellte Brücke der Autobahn A3 Sargans-Zürich überquert den Escherkanal bei Weesen mit drei Feldern von 21.40 m, 55.40 m und 21.40 m Spannweite (Bild 1). Der Überbau besteht aus einem 2.00 m bis 2.45 m hohen, voll vorgespannten Hohlkasten (Bild 2) mit Gelenken in den Randfeldern. Auf der 11.10 m breiten Fahrbahnplatte verlaufen heute zwei Fahrspuren A3 Richtung Zürich. Am Objekt wurden bisher keine baulichen Instandsetzungsarbeiten vorgenommen.

Sechs Jahre nach der Fertigstellung musste die Brücke angehoben werden, um die aufgetretenen Setzungen in

der Grösse von 10–15 cm zu kompensieren. Bei einer Inspektion wurde 1964 in der Mitte der Untersicht der Fahrbahnplatte ein über die ganze Brückenlänge durchlaufender Riss entdeckt. Bei einer weiteren Inspektion wurde 1985 festgestellt, dass die Dauerhaftigkeit der Brücke durch die ungenügende Bewehrungsüberdeckung und das Fehlen einer Abdichtung der Fahrbahnplatte ernsthaft gefährdet ist.

Eine statische Nachrechnung nach aktuellen Normen ergab, dass der Biege widerstand in Brückenlängsrichtung genügend ist. Die Tragsicherheit der Fahrbahnplatte über dem Steg ist in Ordnung. Im Feld ist der Biege widerstand klar ungenügend, was den Längsris in der Fahrbahnplatte erklärt. Die vorhandene obere Bewehrung im Feld erfüllt die Anforderungen an eine Mindestbewehrung nicht. Die Massnahmen zur Instandsetzung verfolgen die folgenden Ziele:

- Behebung von Schäden und Mängeln
- Beseitigung der Schadensursache
- Schutz des Bauwerks

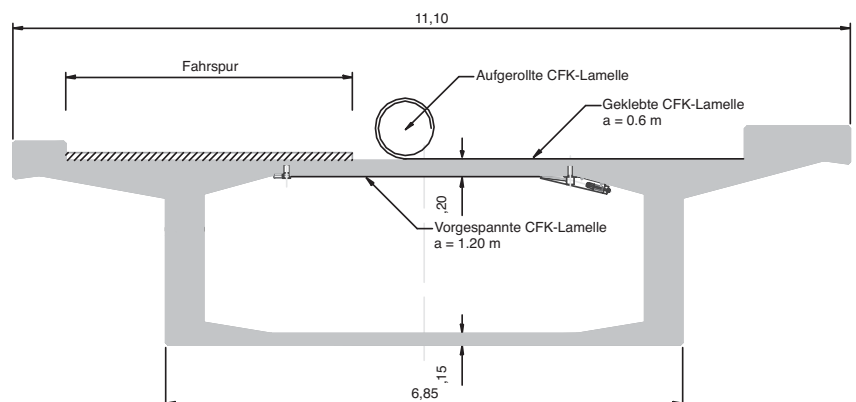
Die angestrebte Restlebensdauer der Haupttragelmente beträgt 50 Jahre. Bauteile, welche verstärkt werden, sind nach den aktuellen Tragwerksnormen des SIA zu bemessen:

- Die Fahrbahnplatte wird in Querrichtung im Feld für positive und negative Momente verstärkt (siehe S. 28).
- Eine weitere Öffnung des Risses an der Unterseite der Fahrbahnplatte ist zu verhindern.



1/2

**Gesamtansicht Escherkanalbrücke. Querschnitt der Brücke und Verstärkungsmassnahmen in Querrichtung Mst. 1:100 (Bilder: Thierry Berset und Luc Trausch)**





3

Spannkopf für CFK-Lamellen «Stress Head»



4

Feste Verankerung

CFK-Lamelle	CarboDur S624
Querschnitt	60 mm * 2,4 mm
Charakteristische Zugfestigkeit f <sub>tk</sub>	2800 N/mm <sup>2</sup>
Elastizitätsmodul	170 kN/mm <sup>2</sup>
Abmessungen des Spannkopfs	60/80 mm * 110 mm
Initiale Vorspannkraft P <sub>0</sub>	220 kN
Spannung in der Lamelle bei P <sub>0</sub>	1540 N/mm <sup>2</sup> (0,55 f <sub>tk</sub> )
Dehnung der Lamelle bei P <sub>0</sub>	0,95 %
Minimaler Umlenkradius (ohne spezielle Massnahmen)	1,0 m

5

Technische Daten des Spannsystems Sika-Stress-Head

**AM BAU BETEILIGTE:**

**EIGENTÜMER**

Kanton Glarus

**BAUHERR**

Baudirektion Kanton Glarus, Tiefbauamt

**OBERBAULEITUNG**

Baudirektion Kanton Glarus, Tiefbauamt

**PROJEKTVERFASSER UND ÖRTLICHE BAULEITUNG**

Locher AG, Zürich / Ingenieurbüro

**UNTERNEHMER**

Spaltenstein AG, Zürich

Sika Bau AG, Zürich

**CFK-SPANNSYSTEM**

Stress Head AG, Luzern

Während der ganzen Bauzeit muss mindestens eine Fahrspur für den Verkehr zur Verfügung stehen. Das Innere des Hohlkastens ist nur durch eine kleine Öffnung an der Unterseite zugänglich.

**Vergleich verschiedener Verstärkungsmöglichkeiten**

*Vergrossern der statischen Höhe durch Aufbetonieren:*

Neuer bewehrter Beton, über Dübel schubfest mit dem Altbeton verbunden, vergrössert den Biege- und Schubwiderstand für positive und negative Momente. Eine Ausführung in zwei Etappen in Querrichtung ist möglich. Die Tragsicherheit der Brücke in Längsrichtung ist aufgrund der zusätzlichen Auflast nicht mehr gewährleistet, und eine Biege- und Schubverstärkung des Längsträgers ist notwendig. Die zusätzliche Belastung der Fundamente könnte neue Setzungen verursachen.

*Geklebte CFK-Lamellen:*

Aufgeklebte Lamellen aus kohlenstoffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) an der Ober- und Unterseite der Fahrbahnplatte vergrössern den Biege- und Schubwiderstand für positive und negative Momente. Die Lamellen für die Oberseite der Fahrbahnplatte werden zunächst nur auf einer Hälfte der Fahrbahnplatte aufgeklebt, der Rest wird aufgerollt. Nach dem Wechsel der Verkehrsrichtung werden die CFK-Lamellen auf der zweiten Hälfte aufgeklebt. Die Dauerhaftigkeit der CFK-Lamellen unter Abdichtung und Belag ist für die Restlebensdauer von 50 Jahren gesichert. Der Biege- und Schubwiderstand der Fahrbahnplatte für positive Feldmomente wird kurz nach dem Ende der Vouten überschritten, wobei der Momentengradient beträchtlich ist. Für geklebte CFK-Lamellen steht keine genügende Verankerungslänge zur Verfügung.

*Vorgespannte CFK-Lamellen:*

Gespannte CFK-Lamellen an der Unterseite der Fahrbahnplatte wirken als externe Vorspannung. Die Kräfteinleitung in den Beton erfolgt ausschliesslich am Lamellenende und kann dort angeordnet werden, wo es zum Erzielen einer optimalen Verstärkungswirkung erforderlich ist. Die Kraftübertragung zwischen Lamelle und Beton ist nicht abhängig von der Qualität der Betonoberfläche und von der Art der Beanspruchung. Das Spannglied beteiligt sich unmittelbar nach dem Spannen an der Abtragung der Lasten; es sind keine zusätzlichen Verformungen notwendig. Das Material ist flexibel und leicht und kann problemlos durch die Zustiegsöffnung ins Innere des Hohlkastens gebracht werden.

*Weitere Möglichkeiten:*

Aufgeklebte Stahllamellen an der Ober- und Unterseite der Fahrbahnplatte wirken wie geklebte CFK-Lamellen, jedoch mit geringeren Materialkosten und einem duktilen Materialverhalten. Auf der Oberseite der Fahrbahnplatte sind sie durch Korrosion gefährdet und können nicht kontrolliert werden. Die Etappierung in Querrichtung erfordert einen geklebten Stoss, sodass die zulässige Stahlspannung in der Lamelle stark reduziert werden muss. Die Verankerungslänge bei den Vouten ist für Stahllamellen nicht ausreichend, sodass eine

zusätzliche Endverankerung notwendig ist. Zusätzliche Bewehrungsstäbe, welche in anschliessend verfüllte Schlitzte eingelegt werden, ergänzen die vorhandene Bewehrung. Aufgrund der Etappierung in Querrichtung bzw. wegen der beschränkten Zugänglichkeit im Kasten sind Stösse erforderlich, was zu einer sehr engen Bewehrungsanordnung und zu Verankerungsproblemen führt. Die neu eingelegte Bewehrung weist die gleiche, teilweise ungenügende Überdeckung auf wie die bestehende. Diese Art der Verstärkung weist bei dem erforderlichen Verstärkungsgrad erhebliche Risiken bei der Ausführung auf.

Bei einem konventionellen externen Spannsystem an der Unterseite der Fahrbahnplatte werden die Spannlieder unter den Vouten durch den Steg geführt und auf der Aussenseite verankert. Dabei kann die Beschädigung von Spannkabeln nicht ausgeschlossen werden. Um die Vorspannkraft von den Stegen in die Fahrbahnplatte übertragen zu können, ist eine Verstärkung der Rahmenecken notwendig.

Die ungenügende Verankerungslänge von geklebten CFK-Lamellen an der Unterseite der Fahrbahnplatte könnte durch die Verwendung von Endverankerungen, wie bei den gespannten CFK-Lamellen, verbessert werden. Die Verformung, welche zum Aktivieren der Endverankerung notwendig ist, überschreitet jedoch die Verformungsfähigkeit der Verklebung bei weitem. Ein Zusammenwirken von Verklebung und Endverankerung ist daher nicht möglich.

#### **Das CFK-Lamellen-Vorspannsystem**

Das Spannsystem Sika-Stress Head umfasst ein Spannlied, bestehend aus einer CFK-Lamelle und einem Spannkopf (Bild 3) an jedem Ende, sowie eine feste oder bewegliche Verankerung. Dieser Teil des Spannsystems wird projektspezifisch angepasst. Die feste Verankerung, welche bei der Verstärkung der Escherkanalbrücke eingesetzt wird, ist in Bild 4 zu sehen. Die technischen Daten des Spannsystems sind in Bild 5 zusammengefasst.

Die Vorspannkraft wird ausschliesslich über die Verankerungen in den Beton eingeleitet. Eine Verklebung ist zum Erreichen der Verstärkungswirkung nicht notwendig. Der Schutz der Lamelle vor mechanischer Beschädigung erfolgt entweder durch ein Hüllrohr oder durch eine Verklebung ohne Qualitätsanforderungen.

Die Kraftübertragung in den Beton erfolgt bei diesem Projekt bei jeder Verankerung durch einen Dübel von 100 mm Durchmesser. Die Verankerung kann sich in Richtung der Zugkraft ausrichten, und eine Biegebeanspruchung der Lamelle wird vermieden.

#### **Prüfung des CFK-Lamellen-Spannsystems**

In der Schweiz dürfen an Autobahn- und Eisenbahnbrücken nur Spannsysteme eingesetzt werden, welche im Register der normkonformen Spannsysteme des Bundesamts für Strassen (Astra) und den SBB eingetragen sind. Die Anforderungen in den Normen sind für konventionelle Spannsysteme formuliert und können nicht direkt auf ein Spannsystem mit Zuggliedern aus Faserverbundwerkstoffen übertragen werden. Bei der

Prüfung des Spannsystems werden folgende Grundsätze angewendet:

- Ausreichende Sicherheit gegenüber Bruch des Zugglieds
- Versagen im Zugglied, nicht in der Verankerung des Spannlieds

In Kurzzeitprüfungen an Spannliedern, bestehend aus einer CFK-Lamelle von 1,60 m Länge und einem Spannkopf, darf die Bruchlast 75 % der Zugfestigkeit der CFK-Lamelle nicht unterschreiten. Die Zunahme der Dehnung in einem Spannlied ohne Verbund ist im Bruchzustand des verstärkten Systems sehr klein. Bei einem Vorspanngrad von 55 % der Zugfestigkeit der Lamelle ist eine ausreichende Sicherheit gegenüber dem Versagen der Lamelle gewährleistet.

Die im Spannsystem eingesetzten CFK-Lamellen weisen bei der aufgebrachtten Vorspannung eine vernachlässigbar kleine Relaxation auf. Die Verankerung der Lamelle im Spannkopf mit einem Keilsystem ist weniger anfällig für Kriechverformung als eine Verklebung oder ein Verguss. Erste Resultate von Langzeittests mit erhöhten Vorspannkraften zeigen, dass unmittelbar nach dem Spannen ein gewisser Schlupf zwischen Lamelle und Spannkopf auftritt, dessen weitere Zunahme aber nach kurzer Zeit auf ein vernachlässigbar kleines Mass zurückgeht.

Herstellung und Konfektionierung der CFK-Lamellen-Spannlieder sind durch einen übergeordneten Qualitätssicherungsplan geregelt. Querschnittsfläche, Fasergehalt, Zugfestigkeit und Elastizitätsmodul der CFK-Lamellen werden durch den Hersteller laufend überwacht. Als wichtigste Massnahme wird bei der Ausgangskontrolle jedes Spannlied bei einer Belastung von 110 % der Vorspannkraft  $P_0$  geprüft.

#### **Ausführung**

Für jede Verankerung muss eine Kernbohrung mit  $D = 110$  mm erstellt werden. Dabei ist sicherzustellen, dass keine tragenden Bewehrungsstäbe durchtrennt werden. Anschliessend wird die feste Verankerung im Bohrloch verklebt. Die bewegliche Verankerung wird trocken gesetzt und mit zwei Dübeln fixiert.

Die Untergrundvorbereitung am Beton erfolgt analog zu schlaff aufgeklebten Lamellen. Das mit Kleber beschichtete Spannlied wird in die Verankerungen eingesetzt, mit einer Hydraulikpresse kraft- und wegst kontrolliert gespannt, und anschliessend werden die Gewindestangen bei der beweglichen Verankerung fixiert.

#### **Ausblick**

Gespannte CFK-Lamellen bieten interessante neue Möglichkeiten zum Verstärken von Tragwerken. Weitere potenzielle Anwendungen sind die vertikale Vorspannung von Mauerwerkswänden zur Erhöhung der Erdbebenresistenz, die Verstärkung von Trägern und Unterzügen in Industriebauten oder der Einsatz als vorgespannte externe Schubbewehrung von Trägern.

---

Thierry Berset, dipl. Bauing. ETH, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich  
Dr. Gregor Schwegler, Stress Head AG, Luzern  
Dr. Luc Trausch, Locher AG, Zürich