

Verstärkung von Betonbauteilen mit Stahllaschen und CFK-Lamellen

Dipl.-Ing. Christoph Schmidhuber, Dipl.-Ing. Richard Laumer sen.
Laumer Bautechnik GmbH, Massing

Einleitung

Bauwerke sind Wirtschaftsgüter mit sehr langer Lebensdauer. Wirtschaftliche Aspekte bzw. der verantwortungsvolle Umgang mit der vorhandenen Bausubstanz machen oft eine über die ursprünglich geplante Dauer weit hinausreichende Nutzung und Unterhaltung eines Bauwerkes erforderlich. Infolge gestiegener Ansprüche, veränderter Randbedingungen bzw. verringerter Bauteilwiderstände (z.B. durch Verschleiß) stellt die nachträgliche Verstärkung mit Klebarmierung der tragenden Bauteile aus Stahl- bzw. Spannbeton eine wirtschaftliche Alternative zum Abriss oder Neubau des gesamten Bauwerks dar. Seit in Deutschland das Deutsche Institut für Bautechnik in Berlin vor etwa 20 Jahren erstmals eine Zulassung für das Verfahren mit aufgeklebten Stahllaschen erteilte, gewinnt die Klebarmierung für derartige Aufgaben zunehmend an Bedeutung. Dieses Verfahren stellt in vielen Fällen eine kostengünstige, mit geringen Eingriffen verbundene Alternative zu anderen Verstärkungsverfahren wie z.B. Spritzbeton dar. Seit einigen Jahren kommen neben Stahllaschen auch faserverstärkte Kunststoffe (CFK) zur Anwendung. Diese sind durch eine hohe Zugfestigkeit bei gleichzeitig hohem Elastizitätsmodul, durch ausgezeichnete Ermüdungsfestigkeit sowie hervorragende Dauerhaftigkeitseigenschaften gekennzeichnet. Alternativ zu den 1,2 bzw. 1,4 mm dicken CFK-Lamellen werden insbesondere für Stützenumschnürungen sowie Schubverstärkungen von Balken etwa 0,2 mm dicke CFK-Folien, die in mehreren Lagen aufgebracht werden, verwendet.

Grundlagen und Anwendungsbeispiele

In der Regel ist es erforderlich, in der Biegezugzone der zu verstärkenden Bauteile zusätzliche Bewehrungselemente anzuordnen. Vor der Applikation der CFK-Lamellen bzw. der sandgestrahlten und mit einem Primer (Voranstrich) versehenen Stahllaschen muss der Beton durch Sandstrahlen, bei kleineren Flächen durch Bearbeiten mittels Nadelhammer aufgeraut werden. So wird Zementstein entfernt und das Korn des Betons teilweise freigelegt. Während der anschließenden Klebearbeiten mit leistungsfähigen Klebstoffen auf Epoxidharzbasis sind bestimmte Mindestwerte für Luft- und Betontemperatur, für die relative Luftfeuchtigkeit (< 75%) sowie die Mindestbetonfestigkeit (B15) einzuhalten. Grundlage der wirkungsvollen Verklebung ist die Haftzugfestigkeit des Betons an den Klebestellen, die mindestens $1,5 \text{ N/mm}^2$ betragen muss. Außer bei sehr alten Betonbauten kann dieser Grenzwert in der Regel eingehalten werden.

Die Bemessung erfolgt in Deutschland nach DIN 1045 (7.88) in Kombination mit den entsprechenden Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassungen für klebarmierte Bauteile. Diese erlauben sowohl Verstärkungen für vorwiegend als auch für nicht vorwiegend ruhende Lasten.

Klebarmierungsarbeiten dürfen nur von Firmen ausgeführt werden, die über geschultes Personal mit einem entsprechenden Eignungsnachweis verfügen. In der Baupraxis sprechen unterschiedliche Gründe für die Anwendung nachträglich angeklebter Bewehrungselemente:

- Nachträgliches Verstärken von Stahlbetonbauteilen zur Erhöhung der Tragfähigkeit für erhöhte Nutzlasten
- Erhöhung der Traglast von Brücken durch nachträgliches Anbringen zusätzlicher Längs- und Querbewehrung an Fahrbahnplatten und Balken
- Veränderung des statischen Systems

- Bewehrungsergänzungen beim nachträglichen Ausschneiden von Türen, Fenstern und Montageöffnungen
- Zusätzliche Horizontalaussteifungen von Gebäuden durch nachträgliches Bewehren von Wand- und Deckenscheiben
- Nachbesserung der Bewehrung bei Bemessungsfehlern
- Ergänzung zerstörter Bewehrung aus unsachgemäßen Installationsschlitzarbeiten
- Ergänzung und Ersatz korrodierter Bewehrung

Die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes der Klebarmierung ist immer dann gegeben, wenn durch nachträgliche Verstärkung ein Abbruch mit Neubau vermieden werden kann. Das Material der Lamellen, die Klebefläche, Anzahl der Verankerungen, die Notwendigkeit evtl. erforderlicher Schubverstärkungen bei Balken, das Handling und die technische Bearbeitung bestimmen den Preis. Als Richtwerte können für Verstärkungsmaßnahmen mit Stahllamellen als Preis ca. 800 bis 1100 €/pro m² Klebefläche, für Verstärkungsarbeiten mit CFK-Lamellen ca. 50 bis 70 €/je Laufmeter der CFK-Lamelle angegeben werden.

Im Folgenden werden exemplarisch einige von der Firma Laumer Bautechnik GmbH ausgeführte Verstärkungsmaßnahmen vorgestellt.

Bei einer Großsiloanlage nahe Rhyad, der Hauptstadt Saudi-Arabiens, waren die Stahlbetonbodenplatten der Silos infolge örtlicher Überlastungen stark gerissen. Als Grund für die Schädigungen der Bodenplatte stellte sich heraus, dass das Sojafüllgut zu nass eingebracht wurde. Dadurch wurde beim Entleeren der Silos der kontinuierliche Abfluss des Füllgutes gestört. Als Folge bildeten sich durch das verklebte Füllmaterial Gewölbe, die dann beim Nachfüllen immer wieder einstürzten. Dabei kam es zu stoßförmigen Überlastungen der Stahlbetonbodenplatten. Im Zuge der Sanierungsmaßnahme wurden dabei zuerst die vorhandenen Risse verpresst, anschließend die Bodenplatten durch sternförmig angebrachte Stahllaschen für die erhöhten Belastungen verstärkt.



Bild 1: Großsiloanlage bei Rhyad

Bei der ca. 500 m langen Talbrücke Kronsdorf an der A3 musste die vorgespannte Querbewehrung durch zusätzliche CFK-Lamellen ergänzt werden. Die vorhandene Spannbewehrung in Querrichtung war dabei insbesondere in den Verankerungsbereichen durch Chlorideinwirkung z.T. erheblich korrodiert. Durch das Freilegen der korrodierten Verankerungsköpfe kam es zum Verlust der ursprünglich vorhandenen Vorspannung. Nach Beseitigung der korrodierten Stellen durch Sandstrahlen wurde für die statische Berechnung des verstärkten Zustandes die Spannbewehrung als schlaffe Bewehrung in Kombination mit den applizierten CFK-Lamellen angesetzt.



Bild 2: Talbrücke Konsdorf

In einer Tiefgarage in München-Neuperlach wurde die durch Salzkorrosion stark beschädigte Bügelbewehrung durch nachträglich applizierte CFK-Gelege ergänzt. Mit Hilfe dieser Sanierungsmaßnahme konnte die ursprüngliche Tragfähigkeit der Stützen ohne Querschnittsvergrößerung wiederhergestellt und zusätzlich eine vorbeugende Abdichtung des Stützenfußes gegen weitere Salzeinwirkungen erreicht werden.

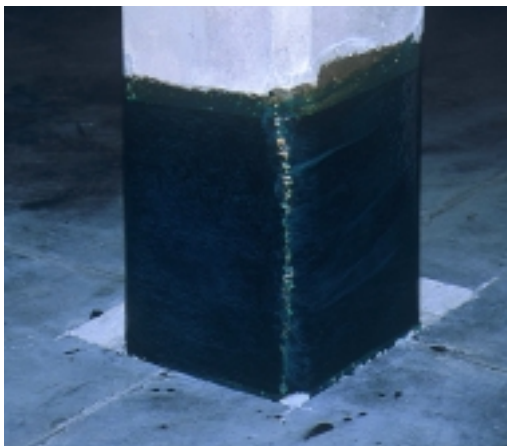


Bild 3: Tiefgarage in München-Neuperlach

Ausblick

Auf dem Gebiet der nachträglichen Verstärkung von Stahl- und Spannbetonbauteilen durch Klebarmierung sind weiterhin eine Vielzahl von neuen Entwicklungen zu verzeichnen. So wurden in jüngster Vergangenheit von der Firma Laumer Bautechnik GmbH angeregte Tastversuche erfolgreich durchgeführt, in denen die Wirksamkeit der Verstärkung von Stahlbetonbauteilen mit Laschen aus Holz bzw. Holzwerkstoffen untersucht wurde. Weitere neuere Anwendungsmöglichkeiten stellen die in eingefräste Schlitze eingelegten CFK-Lamellen zur Verbesserung des Verbundtragverhaltens sowie vorgespannte CFK-Lamellen in Kombination mit mechanischen Endverankerungen dar.

Strengthening of concrete construction elements with steel plates and CFRP-strips

Dipl.-Ing. Christoph Schmidhuber, Dipl.-Ing. Richard Laumer sen.
Laumer Bautechnik GmbH, Massing

Introduction

Buildings are economic goods with a very long life. Commercial aspects and the responsible handling with the existing building substance often require the use and maintenance of a building, that exceeds the originally planned duration. As a result of increased requirements, changed basic conditions resp. reduced construction element resistance (e. g. because of wear and tear) the post strengthening with adhesive reinforcement of the bearing construction elements of reinforced concrete is a economical alternative to the demolition or new construction of the whole building. Approx. 20 years ago as the Deutsches Institut für Bautechnik in Berlin gave the approval for the method of glued steel plates for the first time in Germany the adhesive reinforcement for such tasks gains more and more in importance. This method is in the most cases an economical alternative only connected with a few operations instead of other strengthening methods for example shotcrete. A few years ago also carbon fiber reinforced polymers (CFRP) are used beside steel plates. The remarkable features are a high tensile strength with high elastic module at the same time, an excellent fatigue strength as well as excellent durability features. As an alternative for the 1.2 resp. 1.4 mm thick CFRP-strips 0.2 mm thick CFRP-foils, which are applied in several layers, are especially used for post wrapping columns as well as for shearing strengthening on beams.

Basis and application examples

Usually it is necessary to arrange additional reinforcement elements in the bending zone of the construction elements, that have to be strengthened. Before application of the CFRP-strips resp. the sandblasted steel plates provided with a primer the concrete has to be roughened by sandblasting, on smaller surfaces by processing with needle hammer. So the hardened cement paste will be removed and the granulation of the concrete will be exposed in parts. During the following adhesive work with efficient adhesives on an epoxy-resin base certain minimum values for the air and concrete temperature, for the relative air humidity ($< 75\%$) as well as for the minimum concrete compressive strength (B15) have to be kept. The basis for effective gluing is the bonding tensile strength of the concrete on the gluing spots, which has to be at least 1.5 N/mm^2 . This limit can usually be kept except at very old concrete buildings.

The design in Germany is made by means of DIN 1045 (7.88) in combination with the appropriate approval documents for adhesive reinforced construction elements. These allow strengthening for mainly as well as for non-mainly resting loads.

Adhesive reinforcement works are only allowed to be performed by companies, which have trained staff with an appropriate aptitude proof. Various reasons speak well for the use of later applied reinforcement elements in the building practice:

- Later strengthening of the reinforced concrete elements for increasing the bearing load for a higher usage load
- Increasing of the bearing load of bridges by later installation of additional longitudinal and cross reinforcement on plates and beams
- Change of the structural system
- Reinforcement additions at later cutting-outs of doors, windows and installation openings
- Additional horizontal strengthening of buildings by later reinforcing of wall and ceiling sections

- Improvement of the reinforcement at designing faults
- Addition of destroyed reinforcement of non-proper installation slit work
- Addition and replacement of corroded reinforcement

The economic efficiency for the use of adhesive reinforcement is always given, if a demolition or a new construction can be avoided by later strengthening. The material of the strips and plates, the adhesive surface, the quantity of the anchorings, the necessity of possibly required shearing stirrups at the beams, the handling and the technical processing determine the price. As guidelines for the strengthening-measures with steel plates can be given as price approx. 800 to 1000 € per m² adhesive surface, for strengthening works with CFRP-strips approx. 50 to 70 € per m CFRP-strip.

A few executed strengthening measures of the company Laumer Bautechnik GmbH will be introduced exemplary as follows.

At a large silo works near Rhyad, the capital of Saudi-Arabia, the reinforced concrete slabs of the silo were cracked because of local over-loadings. The reason for the damages of the floor slab was, that the soya filling material was too wet as it was brought in. Owing to that the continuous drain of the filling material during the emptying of the silo was disturbed. As a result the stuck filling material formed vaults, which tumbled down at re-filling. In course of this there have been impact-shaped overloads of the reinforced floor slabs. In the course of the renovation measures the existing cracks were pressed at first and afterwards the floor slabs were strengthened by star-shape installed steel plates for the increased loads.



Fig. 1: Large silo works near Rhyad

At the approx. 500 m long valley bridge Kronsdorf at the A3 the prestressed cross reinforcement had to be added with additional CFRP-strips. The existing prestressing reinforcement in cross direction was partly significantly corroded especially in the anchoring areas by chloride reaction. Due to the exposing of the corroded anchoring heads the original existing prestress was lost. After removing of the corroded parts by sandblasting the prestressed reinforcement was estimated as loose reinforcement in combination with the applied CFRP-strips for the structural design of the reinforced condition.



Fig. 2: Valley bridge Kronsdorf

In an underground-car park in Munich – Neuperlach the stirrup reinforcement extremely damaged by salt corrosion was added by later applied CFRP-foils. With the help of this renovation measures the original load-bearing capacity of the posts could be restored without cross cut widening and in addition a preventive sealing of the column foot against further salt reactions could be reached.

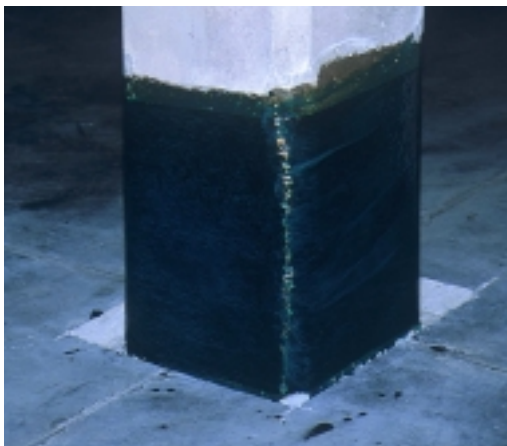


Fig. 3: Underground-car park in Munich – Neuperlach

Outlook

In the field of post strengthening of concrete construction elements by adhesive reinforcement a lot of new developments can be furthermore noted. Recently executed push tests, where the effectiveness of strengthening of reinforced concrete construction elements with plates of wood and/or wooden materials was examined, initiated by the company Laumer Bautechnik GmbH were successful. Further newer application possibilities are the laid in the milled slits CFRP-strips for improving of the composite bearing behavior as well as prestressed CFRP-strips in combination with mechanical end-anchoring.