

Bauverfahren

Instandsetzung eines Regenrückhaltebeckens

Bauwerksverstärkung mit CFK-Lamellen

Jörg de Hesselte, Hennef

Kohlefaserkunststoffe (CFK) sind eine innovative Form der Bauwerksverstärkung und bieten verschiedene Einsatzmöglichkeiten zur nachträglichen Verstärkung von Bauwerken. Für den Einsatz von CFK-Lamellen spricht ihre schnelle, unkomplizierte und zudem kostengünstige Applikation, wodurch sie in vielen Fällen eine Alternative zu konventionellen Verstärkungsmaßnahmen darstellen. Im folgenden Beitrag werden Verwendungsmöglichkeiten sowie die praktische Anwendung am Beispiel der Instandsetzung eines Regenrückhaltebeckens (RRB) in Offenbach beschrieben.

1 CFK-Lamellen

Seit ca. zehn Jahren werden in Europa sowie in Japan Kohlefaserprodukte in der Tragwerksverstärkung verklebt. Kohlefasern zeichnen sich durch eine geringe Rohdichte, hohe Festigkeit, ausgezeichnete Ermüdungseigenschaften und hervorragende Korrosionsbeständigkeit aus. Während in Japan reine Kohlefaser-Gelege verklebt werden, haben sich in Europa stranggezogene CFK-Lamine durchgesetzt. Kohlefaser-Gelege werden bisher im europäischen Raum nur für bestimmte Sonderfälle eingesetzt.

Die Lamellen werden nach dem Pultrusionsverfahren hergestellt, bei dem die Kohlefasern, nachdem sie durch ein

Epoxidharzbad gezogen und in die gewünschte Lamellenform gebracht worden sind, unter Einwirkung von Hitze ausgehärtet werden. Die so hergestellten Lamellen bestehen zu 70% aus Kohlenstofffasern und zu 30% aus Epoxidharz. Durch das Pultrusionsverfahren ist es im Prinzip möglich, unendlich lange Lamellen herzustellen. In der Regel werden Lamellen mit einer Länge von ca. 150 m hergestellt, die auf Rollen auf die Baustelle angeliefert werden. Da das Gewicht einer solchen Rolle je nach Querschnitt zwischen 15 kg und 40 kg beträgt, sind die Lamellen im Gegensatz zu Bewehrungsstählen und -matten problemlos auf der Baustelle zu transportieren.

Die ersten Objekte zur Verstärkung von Bauwerken mit CFK-Lamellen in Europa wurden in der Schweiz ausgeführt. Dabei zeigte sich, dass CFK-Lamellen nicht nur an Betonbauwerken, sondern auch z.B. zur Verstärkung von Mauerwerk sowie bei Holzbauwerken eingesetzt werden können.

Da Bauwerke in den meisten Fällen für eine lange Lebens- und Nutzungsdauer bemessen und erbaut werden, ist es für den planenden Ingenieur oder Architekten schwer, vorauszu-sehen, welchen wechselnden Belastungen eine Konstruktion möglicherweise in der Zukunft ausgesetzt sein wird. Durch veränderte Nutzungsformen können sich statische Belastungen im Laufe der Jahre erhöhen. Wird die Statik eines Bauwerks in Folge veränderter Nutzung rechnerisch als nicht mehr tragfähig angesehen, müssen nachträglich Verstärkungen eingebaut werden.



Bild 1: CFK Lamellenverstärkung im RRB Offenbach

Der Autor:

Dipl.-Ing. Jörg de Hesselte studierte Bauingenieurwesen an der FH Köln, im Anschluß daran war er ab 1990 als Bauleiter am Projekt „JV Basrah Airport“ in Basrah / Irak tätig. 1991 wechselte er zur Strabag Bau-AG, NL Frankfurt, als Bauleiter für Betonsanierung und Kanalsanierung und wurde dort 1993 Abteilungsleiter für Bausanierung und Bautenschutz. 1996 war er Technischer Leiter bei der BBZ GmbH Injektionstechnik. Seit 1997 betreibt er das Ingenieurbüro für Bauwerkserhaltung (IBE), Hennef.

2 Regenrückhaltebecken Offenbach

Ein im Jahr 1968 erbautes unterirdisches Regenrückhaltebecken (RRB) in Offenbach war innenseitig in Stand zu setzen. Die Bauwerksanalyse des Ingenieurbüros Josef Schütz stellte erhebliche Korrosionsschäden an der Bewehrung fest. Diese waren auf eine mangelnde Betonüberdeckung der Bewehrung sowie auf eine Anhäufung von Lunkern und Rissen zurückzuführen. Die Instandsetzung war unter Betrieb auszuführen, d.h. Schmutz- und Regenwasser konnten nicht abgesperrt bez. umgeleitet werden. Aus diesem Grund waren zusätzliche Schutzmaßnahmen auch in

Bezug auf eine mögliche Explosionsgefährdung zu treffen. Da das Bauwerk statisch den nötigen Erfordernissen nicht mehr entsprach, mußte der Kanal mit einer Länge von rd. 120m und einer Breite sowie Höhe von rd. 4,00m verstärkt

werden. Statische Schwierigkeiten lagen nicht vor. Die Konstruktion entsprach einem ebenen Rahmensystem.

Eine konventionell geplante Verstärkung gestaltete sich schwierig, da der Kanal nur über vier Schachteinstiege (\varnothing 62,5cm) und einen Versorgungsschacht (1,42mx0,70m) zu begehen war. Die Verstärkung der Deckenplatte sollte konventionell über eine zusätzliche Stahlbewehrung und Spritzbeton erfolgen. Weil aufgrund der beengten Schachteinstiege eine Verstärkung mit Mattenbewehrung nicht möglich war, sah die Planung vorgefertigte Stabstahlkonstruktionen vor, die dann an der Decke befestigt werden sollten. Ausgeführt werden sollten Flacheisen (1390mmx150mmx15 mm), die alle 16cm rechtwinklig an einen Bewehrungsstahl (\varnothing 12mm) angeschweißt worden wären. Die Fächer hätten sich überlappt, so dass im fertigen Zustand ein Stababstand von 8cm bis 10cm entstanden wäre. Nicht nur die Herstellung der Stabstahlkonstruktionen, sondern auch der Transport in das RRB sowie die Montage wären mit einem großen Zeitaufwand verbunden gewesen. Aus diesem Grund bemühte sich die ausführende Firma Wiede-

mann, Wiesbaden, um Alternativen und entschied sich dafür, die Verstärkungselemente, d.h. den Stabstahl durch Kohlefaserlamellen (CFK-Lamellen) zu ersetzen (Bild 1).

Bemessung und Zulassung

Der Auftrag zur Bemessung der CFK-Verstärkung sowie zur Bauüberwachung wurde an das Ingenieurbüro für Bauwerkserhaltung IBE vergeben, das sich auf CFK-Verstärkungen spezialisiert hat. Die Bemessung wurde mit einer S&P-Lamelle durchgeführt. Durch geschickte Wahl der Lamellenabstände und die effektive Ausnutzung der Lamellen konnte die vorab kalkulierte Meteranzahl von ca. 900m auf 750m reduziert werden.

Geklebte Bewehrung darf nicht an Bauwerken eingesetzt werden, die unter ständiger Durchfeuchtung stehen. Obwohl das RRB nicht ständig bis zur Decke mit Regenwasser gefüllt ist, muss an der Deckenunterseite mit Kondensationswasser gerechnet werden. Aus diesem Grund musste die Lamellenebene geschützt werden. Dies geschah mit folgendem Aufbau: Der im Hauptangebot zur Einbettung des Stabstahls vorgesehene Spritzbeton von 7cm Dicke wurde auf 3cm reduziert und auf der aufgeklebten Lamellenebene aufgebracht. Um einen Haftverbund zwischen der Lamelle und dem Spritzbeton zu erreichen, wurden die CFK Lamellen mit einer abgestreuten EP-Haftbrücke versehen. Zusätzlich wurde ein Kanalspritzmörtel mit einer Wassereindringtiefe von ca. 1,5mm auf den Spritzbeton gespritzt.

Da das verwendete System aus Kleber und S&P noch keine bauaufsichtliche Zulassung besitzt, musste eine „Zulassung im Einzelfall“ beantragt werden. In der Regel ist dafür die Oberste Baubehörde zuständig. Da jedoch Abwasserbauwerke der Obersten Baubehörde nicht unterstellt sind, war in diesem speziellen Fall das Regierungspräsidium Darmstadt der Ansprechpartner. Nach Einreichung aller Unterlagen wurde dem Betreiber des RRB's, der ESO (Eigenbetriebe der Stadt Offenbach), die Zustimmung im

Einzelfall ohne Schwierigkeiten in sehr kurzer Zeit erteilt.

3 Applikationstechnik Vorbereitung des Betonuntergrundes

Bei einer Verstärkung von Stahlbetonbauteilen mit Lamellen ist ein tragfähiger Betonuntergrund Grundvoraussetzung. Die Lamellen können ihre Zugkräfte nur über Schub- und Zugspannungen senkrecht zur Betonoberfläche in den Betonuntergrund einleiten. Da die Haftzugwerte im Kleber sowie an den Anschlußfugen Kleber/Lamelle und Kleber Betonoberfläche in der Regel das zwei- bis dreifache der Betonzugfestigkeit betragen, ist die Eigenzugfestigkeit des Tragbetons das maßgebliche Bemessungskriterium für die Schubspannungseinleitung. Somit muss vorrangig die Zugfestigkeit des Untergrundbetons am Bohrkern (\varnothing 50mm) bestimmt werden. Weist der Betonuntergrund eine Zugfestigkeit $< 1,5 \text{ N/mm}^2$ auf, ist von einer Verstärkungsmaßnahme mittels Klebelamellen abzusehen. Bei einer wesentlich größeren Haftzugfestigkeit kann der höhere Wert in die Bemessung mit einfließen.

Grundsätzlich muß jede Betonfläche, auf die eine Lamelle geklebt werden soll, durch Strahlen vorbereitet werden. Dazu können fast alle Arten von Strahlgeräten verwendet werden. Jedoch sind Geräte mit festen Strahlmitteln zu bevorzugen, da z.B. beim Höchstdruckwasserstrahlen zu viel Feuchtigkeit in das Bauwerk eingetragen wird, was eventuell zu langen Wartezeiten bei der Fortführung der Arbeiten führen kann. Von einer Vorbereitung mit schlagenden Geräten und von Flammstrahlen ist abzusehen, da durch den Einsatz dieser Geräte Gefügestörungen im oberen Betonbereich hervorgerufen werden können. Im vorliegenden Fall kam aufgrund der Explosionsgefahr nur das Verfahren der Höchstdruckwasserstrahlung in Frage. Anschließend wurde das RRB beheizt und belüftet, bis ein Klima und eine Untergrundfeuchtigkeit erreicht waren, um die geklebte Bewehrung applizieren zu können.

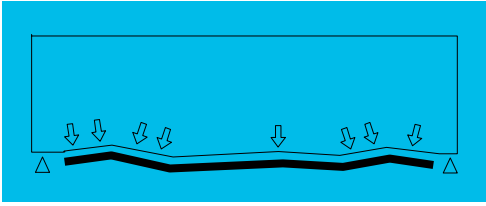


Bild 2: Abschälen einer Lamelle infolge von Umlenkkräften

Beim Aufbringen der Lamellen sind große Unebenheiten im vorbereiteten Untergrund zu vermeiden, da bei Belastung die Umlenkkräfte ein Abschälen der Lamellen hervorrufen können (Bild 2). Der Untergrund darf auf einer Länge von 2,00m keine Unebenheiten von >5mm besitzen. Vorhandene Unebenheiten sowie Kiesnester und Fehlstellen sind mit einem zugelassenen EP-Mörtel auszugleichen.

Klebarbeit

Da die Untergrundfeuchtigkeit im allgemeinen 4% nicht überschreiten sollte, müssen vor den Klebearbeiten folgende Parameter bestimmt werden:

- Untergrundfeuchte <4% (Ermittlung mit CM-Gerät)
- Temperatur (Luft- und Objekttemperatur)
- Relative Luftfeuchte <75% (Thermo-Hydrographbestimmung)
- Taupunktbestimmung (Die Temperatur der Betonoberfläche muß mindestens 3°C über dem Taupunkt liegen.)

Die Lamellen können auf der Rolle oder fertig vorkonfektioniert bezogen werden. Bei großen Verstärkungsmaßnahmen wie der Instandsetzung des RRB ist eine Konfektionierung auf der Baustelle sinnvoll. Die Konfektionierung erfolgte außerhalb des Beckens, da beim Schneiden der Lamellen Staub entsteht.

Die einzelnen CFK-Lamellen mit einer Länge von ca. 4,00m wurden durch eine Schachtöffnung in das RRB gereicht. Dort wurde die raue Klebefläche der Lamelle mit einem Lösemittel vor dem Verkleben gründlich gereinigt um alle trennenden Bestandteile auf der Klebefläche zu entfernen (Bild 3). Nachdem der Kleber gemäß den Herstellerangaben gemischt worden war, wurde auf die vorbereitete, abgeklebte

Betonfläche eine Kratzspachtelung aufgetragen. Damit diese Spachtelung auch an der Decke haftete, war die Deckenfläche vorher mit einer tixotropen Grundierung vorbehandelt worden.

Der Kleber wird im Dachprofil auf die Lamelle aufgetragen, damit sich bei der Verklebung keine Hohlräume und Blasen bilden können. Im Anschluss daran wird die Lamelle mit der Kleberseite leicht auf die Kratzspachtelung angedrückt. Durch die Adhäsionskraft des Klebers und das geringe Gewicht der CFK-Lamelle ist eine Unterstützung mit Hilfskonstruktionen wie z.B. bei Stahl nicht erforderlich. Mit einer Hartgummirolle wird die Lamelle gegen den Betonuntergrund gedrückt, wobei überschüssiger Kleber an den Seiten heraustreten kann. Die Dicke der Kleberschicht sollte zwischen 2mm und 3mm liegen. Das Andrücken muss gleichmäßig und mit wenig Krafteinsatz geschehen. Sollte eine Lamelle in eine eventuell vorhandene Vertiefung gedrückt werden, würde sie sich anschließend wieder strecken und dadurch Hohlstellen in die Klebeflä-

che bringen. Der Anpressdruck hat keinen Einfluß auf die Festigkeit der Verklebung. An den Seiten austretender Kleber muß vor dem Erstarren ordentlich und sauber entfernt werden, ohne dass die Lamelle in ihrer Lage beeinträchtigt wird.

4 Abschließende Untersuchungen

Nach der Aushärtungsphase des Klebers wurde die Lamelle einigen Prüfungen unterzogen, um festzustellen, ob der gewünschte Verstärkungserfolg eingetreten war. Dazu waren während der Klebearbeiten Probestücke verklebt worden, an denen Zugversuche durchgeführt wurden. Dabei sind nicht die erreichten Zugkräfte maßgebend, sondern es ist der Moment des Bruchs ausschlaggebend (Bild 4). Zur Eigenüberwachung des Klebers wurden täglich zwei Prismen 40mm x 40mm x 160mm pro Tag und Charge angefertigt.

Bei der Überprüfung der Ebenheit der Lamelle darf neben der zuvor beschriebenen Höhendifferenz des Betonuntergrunds von weniger als 5mm auf 2,00m zusätzlich die Unebenheit auf 30cm nicht mehr als 1mm betragen. Außerdem müssen die Lamellen auch abgeklopft werden. Sollten Hohlstellen vorhanden sein, hat ein fachkundiger Ingenieur zu entscheiden, ob die Lamelle noch als tragfähig eingestuft werden kann. Nicht alle Hohlstellen stellen



Bild 3: Reinigen der Lamellen im Inneren des RRB



Bild 4: Probestück nach der Haftzugprüfung an der abgesandeten Lamelle.

unweigerlich ein Risiko für die Tragfähigkeit dar. Um den großen Aufwand, der mit dem Entfernen einer fest verklebten Lamelle verbunden ist, zu vermeiden, werden die Lamellen zusätzlich sofort nach der Applikation abgeklopft, da sie dann noch sehr einfach zu entfernen und zu erneuern sind. Sollte eine Lamelle als nicht tragfähig eingestuft werden, wird man sie in den meisten Fällen nicht entfernen, sondern eine weitere daneben kleben. Wie in Bild 5 zu sehen, sind auch Lamellenkreuzungen unproblematisch auszuführen. Dies wäre mit Stahllamellen nicht möglich.

Klebebewehrungen aus CFK bieten die verschiedensten Einsatzmöglichkeiten im Brückenbau, Hochbau sowie im Nachverstärken gegen Erdbeben. Weltweit wurden bisher viele Kilometer dieses Werkstoffes erfolgreich eingesetzt. Da die Lamelle einfach, schnell und kostengünstig zu applizieren ist, kann sie in vielen Fällen eine Alternative zu allen anderen Verstärkungsmaßnahmen darstellen. Dennoch ist bei Einsatz von CFK-Lamellen Vorsicht geboten, denn sie sind nicht für alle Verstärkungsmaßnahmen geeignet. Deshalb sollte eine Verstärkungsmaßnahme immer von einem, sich auf diesem Gebiet spezialisierten Ingenieurbüro geplant werden und auch andere Verstärkungsmaßnahmen in Betracht gezogen werden.

Literatur:

- [1] Hankers, Ch.: Zum Verbundtragverhalten laschenverstärkter Betonbauteile unter nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung. Diss, TU Braunschweig, 1996
- [2] Kaiser, H.: Bewehren von Stahlbeton mit kohlefaserverstärkten Epoxidharzen. Diss, ETH Zürich, 1989
- [3] Kleist, A.: Laschenkleben, Tagungsband 17. Aachener Baustofftage, 1996, ibac
- [4] Rostasy, F.S.; Ranisch, E.-H.: Sanierung von Betontragwerken durch Aufkleben von Faserverbundstoffen. Forschungsbericht IBMB, TU Braunschweig, 1984
- [5] Schäfer, H.-G.: Verstärken von Betonbauteilen – Sachstandsbericht Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 467
- [6] Scherer, J.: Weiterentwicklung von CFK-Lamellen, Schweizer Ingenieur und Architekt SI+A, (1996) Heft 44
- [7] Schulungszentrum TFB, CH-5103 Widegg; Verstärken von Tragwerken mit CFK-Lamellen. Umdruck der Veranstaltung 5700, 1997
- [8] Zulassungsbescheid: Schubfeste Klebeverbindung zwischen Stahlplatten und Stahlbetonbauteilen, Deutsches Institut für Bautechnik Berlin



Bild 5: Lamellenkreuzung