

Bauwerksverstärkung mit eingeschlitzten CFK-Lamellen in Beton

DI Ronald Mihala

Institut für Konstruktiven Ingenieurbau
BOKU Wien

1 Einleitung

Die innovative Werkstoffkombination „Eingeschlitzte CFK-Lamellen und Stahlbeton“ eröffnet völlig neue und viel versprechende Möglichkeiten in der Gestaltung von Bauteilen und Tragstrukturen. Durch diese Kombination wird die Möglichkeit gegeben, ermüdungsfeste und dauerhafte Betonkonstruktionen mit geringem Rohstoffverbrauch für den Einsatz im Bauwesen herzustellen. Die nachträgliche Verstärkung von Bauwerken und anderen Strukturen mit Kohlenstofffaser-Lamellen – kurz CFK-Lamellen genannt – stellt auch eine ökologisch sinnvolle Maßnahme dar, da sie einen Beitrag zur Reduktion des Verbrauchs an Ressourcen im Bauwesen leistet. Auf die energie- und rohstoffintensive Erstellung neuer Bauwerke kann oftmals verzichtet werden, weil sich mit CFK bauliche Schäden beheben oder bestehende Bauten neuen Anforderungen anpassen lassen. Ökonomische Vorteile ergeben sich bei der Wartung der Tragwerke sowie beim Transport und der Montage der Strukturen.

Dieser Artikel beschäftigt sich mit dem Verbundverhalten zwischen den beiden Werkstoffen. Die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau zeigen, dass die Verbundtragwirkung eingeschlitzter CFK-Lamellen wesentlich höher ist als die oberflächlich aufgeklebter Lamellen – es also möglich ist, die Zugfestigkeit der CFK-Lamellen effizienter auszunützen. Eingeschlitzte CFK-Lamellen sind überdies besser gegen mechanische und thermische Einwirkungen geschützt. Diese Technologie räumt somit einige Nachteile aus, die sich durch die Anwendung oberflächlich geklebter CFK-

Bewehrung ergeben. Aufbauend auf den Verbundversuchen wurde außerdem eine Methode entwickelt, die es ermöglicht, eingeschlitzte CFK-Lamellen nicht nur im schlaffen, sondern auch im vorgespannten Zustand zu verwenden, um somit die vorhandenen mechanischen Eigenschaften der CFK-Lamellen optimal nutzen zu können.

2 Herstellung und Eigenschaften von CFK-Lamellen

Kohlenstofffaser-Lamellen werden im Pultrusionsverfahren (Abb. 1) hergestellt und sind unidirektionale Flachprofile mit einer Breite von 50 bis 300 mm, einer Dicke von 1 bis 3 mm und Lieferlängen bis 500 m. Die mechanischen Eigenschaften in Längsrichtung werden vor allem durch den Fasertyp und den Faservolumengehalt (etwa 70 %) bestimmt. Sie weisen in Faserrichtung eine sehr hohe Festigkeit (bis 3.000 N/mm²) und Steifigkeit (bis 300.000 N/mm²) sowie ein hervorragendes Ermüdungsverhalten auf. Die Festigkeiten quer zur Faserrichtung sowie die Schubfestigkeiten sind niedrig und werden in erster Linie durch die Eigenschaften der Matrix beeinflusst. Die Grenzdehnung liegt zwischen 1,5 und 2,0 %, wobei bei Einhaltung eines Teilsicherheitsfaktors von 2,0 – bezogen auf die Bruchdehnung – der Bemessungswert der Dehnung zwischen 0,6 und 0,8 % angenommen werden kann.

Kohlenstofffaser-Lamellen können entweder schlaff oder vorgespannt an die zu verstärkenden Bauteile angeklebt werden. Auf die Baustelle werden sie in Form von Rollen (250-m-Rollen, Gewicht rund 25 kg) geliefert und sind somit auch bei schlecht zugänglichen Platzverhältnissen einsetzbar. [1], [2], [3]

3 Anwendung eingeschlitzter CFK-Lamellen im Betonbau

Ausgehend von Verbundproblemen zwischen oberflächlich geklebten CFK-Lamellen und Betonoberflächen wurde Ende der Neunzigerjahre ein neues Verfahren, das Verfahren der „Eingeschlitzten CFK-Lamellen“, entwickelt. Kohlenstofffaser-Lamellen können somit auch normal zu den Außenseiten eines Betonkörpers in Schlitze geklebt werden, wodurch sich im Gegensatz zu oberflächlich geklebten Lamellen das duktile Verhalten wesentlich verbessert und die Gefahr eines unangekündigten Sprödbrechens nicht mehr gegeben ist. Dazu werden Schlitze senkrecht in den Betonkörper, deren Tiefe innerhalb der Betondeckung liegt, geschnitten. Da die Betondeckung einen limitierenden Faktor darstellt, ist vor allem bei Anwendung dieses Verfahrens die Kenntnis der Betondeckung am Bauteil von immenser Wichtigkeit, weshalb sie schon im Rahmen der Planung genauestens überprüft werden muss. Die vorhandene Betondeckung muss mindestens 25 mm betragen, um ein Beschädigen der Bügel oder der Querbewehrung durch den Schlitzvorgang zu vermeiden. Zweiachsige Bewehrungslagen sind aufgrund der dann nötigen großen Betondeckung kaum herstellbar. Je nach Lamellengeometrie (Dicke bis 2 mm) sind diese Schlitze in der Regel 15 bis 30 mm tief und besitzen eine Breite bis zu 3 mm. Anschließend werden die CFK-Lamellen nach sorgfältiger Reinigung der Schlitze mit Epoxidharzklebstoff in diese hineingepresst.

Dieses Verfahren weist im Vergleich zu oberflächlich geklebten CFK-Lamellen wie auch zu anderen Verstärkungsmaßnahmen folgende Vorteile auf: [5], [6]

- Besseres Verbundverhalten zwischen Lamelle und Betonoberfläche, dadurch kann die Lamelle besser ausgenützt und ein geringerer Lamellenquerschnitt erzielt werden.
- Unebenheiten der Betonoberfläche sind durch eine entsprechende Schnitttiefe leicht korrigierbar.

Abb. 1: Schematischer Ablauf des Pultrusionsverfahrens

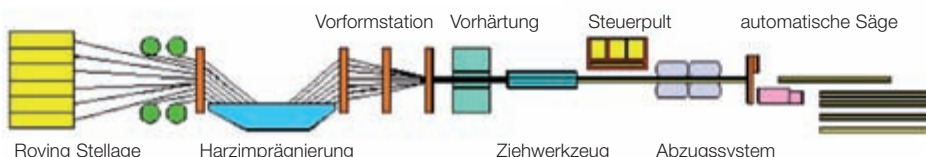


Abb. 2: Permanenter Anker



- Einschlitzan ist oft preiswerter als das Ausgleichen und Aufräumen für oberflächlich geklebte Lamellen.
- Die Einschlitzlamelle ist gegen mechanische Beschädigung geschützt, außerdem zeigt sie ein günstigeres Verhalten im Brandfall.

An dieser Stelle muss auch erwähnt werden, dass CFK-Lamellen als Verstärkungsmaßnahmen nicht nur im Betonbau ihre Anwendung finden, sondern dass auch im Holz- sowie im Stahl- und Verbundbau verstärkt auf diese Techniken zurückgegriffen wird.

4 Vorspannung eingeschlitzter CFK-Lamellen

Mit dieser am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau (BOKU) entwickelten Methode soll ein Vorspannen der CFK-Lamellen vor dem Verkleben in die Betonschlitzte und somit eine effizientere Ausnutzung vorhandener Materialeigenschaften ermöglicht werden. Ziel der Arbeit ist es, einen Grundstein für die praktische Handhabung dieses Verfahrens zu schaffen. Mit Kohlenstofffasern vorgespannte Stahlbeton-Produkte sind vergleichbaren Konstruktionsbauteilen hinsichtlich mehrerer Aspekte überlegen:

- wesentlich reduzierte Durchbiegung im Gebrauchszustand
- positiv verändertes Rissbild und reduzierte Rissöffnung
- markant höhere Verstärkungswirkung
- verbesserte Duktilität

4.1 Systembeschreibung

Es wird zwischen temporären Ankern für den reinen Spannvorgang und Permanentankern (Abb. 3) zur dauerhaften Verankerung der Vorspannkraft am Bauteil unterschieden. Diese Arbeit beschäftigt sich nahezu aus-

schließlich mit der permanenten Verankerung, wobei zunächst das Prinzip des Spannvorgangs vorgestellt wird. Das andere Ende des Spannsystems, die temporäre Verankerung also, wird theoretisch abgehandelt. Die permanente Verankerung besteht aus einer zweiteiligen scheibenförmigen Ankerhülse mit keilförmigen Ausnehmungen. Die entsprechenden Keile werden über eine Zwischenlage aus 1,5 mm starken Aluminiumplättchen an das Ende der CFK-Lamellen geklebt und entwickeln bei Belastung Spreizkräfte, die über die Hülse an den Beton übertragen werden. Diese Verklebung der Lamelle mit den Keilen ist insofern wichtig, als am Beginn der Belastung die Spreizkräfte nicht ausreichen, um die Lamelle in der Verankerung zu halten – der Schlupf wäre zu groß beziehungsweise die Lamelle würde sofort ausreißen. (Abb. 3)

Der Temporäranker besteht aus zwei Komponenten: einerseits aus einer Ankerhülse mit keilförmigen Ausnehmungen, andererseits aus einem zur Krafteinleitung für den Spannvorgang aufgesetzten Adapter. Der Adapter selbst, der über eine hydraulische Hochdruckpresse in Bewegung gesetzt wird, gleitet wie ein Schlitten über zuvor montierte Stahlplatten. Die Übertragung der Vorspannkraft vom Adapter zur Ankerhülse erfolgt über Formschluss. Der Vorteil dieses entkoppelten Systems besteht darin, die zunächst temporären Ankerhülsen für den Spannvorgang in fixe Verankerungen überzuführen, wodurch die Presse mit dem Adapter ausgebaut und an der nächsten Spannstation wieder eingesetzt werden kann. Eine Stirnvermörtelung sorgt zusätzlich für eine werkstoffgerechte Einleitung der Vorspannkraft über Stirndruck in den Beton. Bis zur vollständigen Aushärtung der Stirnvermörtelung wird die Ankerhülse mit einem Bolzen gehalten.

4.2 Ergebnisse und Ausblick

Zum Studium der prinzipiellen Funktionsfähigkeit der Endverankerung wurden Versuche ohne und mit Einfluss eines freien Bauteilrandes in Beton der Festigkeitsklasse C 20/25 und C 50/60 durchgeführt. Die Versagensursache bei Versuchen mit Beton beider Festigkeitsklassen ohne Randeinfluss ist Lamellenbruch. Bis zu einem Randabstand von 200 mm ist stets ein Versagen des Bauteilrandes erkennbar. Die Geometrie der Ausbruchkörper ist ähnlich jener mit Querkräften belasteten Dübel nahe einem Bauteilrand. Sowohl in Zugrichtung als auch auf der gegenüberliegenden Seite der Ankerhülse bilden sich ausgehend vom Scheitelpunkt der Hülse mit zunehmender Belastung Risse. Die Risse schließen mit dem freien Plattenrand einen Winkel von ungefähr 30° ein. Dieser Ausbreitungswinkel ist für geringe Randabstände (bis 100 mm) nicht beobachtbar – hier verlaufen die Risse wesentlich steiler. Bei Überschreiten der Zugfestigkeit des Betons kommt es anschließend zum abrupten Versagen des Bauteilrandes. Bei einem Randabstand von 250 mm hingegen entstehen nur feine Haarrisse im Beton, deren Ausbreitungswinkel ebenfalls rund 30° betragen. Der Plattenrand hält der Beanspruchung stand. Maßgebend für das Versagen in diesem Fall ist Lamellenbruch.

Wie jede neue Entwicklung ist auch diese Idee noch mit einer Vielzahl von Kinderkrankheiten behaftet. Hier gilt es, in Zukunft das System vor allem im Hinblick auf die temporäre Verankerung zu verbessern und praxistauglich zu machen.

5 Literatur

- [1] Luggin W., Die Applikation vorgespannter CFK-Lamellen auf Brettschichtholzträger, Dissertation, BOKU Wien 2000
- [2] Bergmeister K., Vorlesungsskript zu Konstruktion I, 6. Auflage, Oktober 2002
- [3] Bergmeister K., Kohlenstofffasern im Konstruktiven Ingenieurbau, Ernst & Sohn Verlag, Berlin 2003, 300 Seiten
- [4] <http://www.faserprofil.com>, 1. September 2003
- [5] Blaschko A., Zum Tragverhalten von Betonbauteilen mit in Schlitzte eingeklebten CFK-Lamellen, Dissertation, TU München, Juni 2001
- [6] http://www.spreinforcement.ch/pdf_de/kap_10de.pdf, [8. September 2003]