

Verstärkung mit vorgespannten S&P CFK-Lamellen

Seit ca. 10 Jahren werden im Rahmen der Umnutzung und Instandsetzung bestehender Bauwerke für die Biegezugverstärkung von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen zunehmend angeklebte kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe eingesetzt. Diese werden meist in Form von vorgefertigten CFK-Lamellen als außen liegende Bewehrung auf die Betonoberfläche geklebt.

Die hohe Zugfestigkeit der Kohlefasern lässt sich bei oberflächlich aufgeklebten Lamellen nur zu einem geringen Teil ausnutzen. Weit vor Erreichen der Bruchdehnung der CFK-Lamellen führen lokale Entkopplungseffekte im Bereich von Biege- und Schubrisen zu einem plötzlichen reiverschlussartigen Versagen des Verbundes. Aus diesem Grund muss nach den derzeit gültigen Zulassungen die in den angeklebten Lamellen auftretende Zugkraft durch eine ausreichende Verankerung im Bereich der Biegerisse nachgewiesen werden. Wegen der geringen Verbundbruchkraft des Betons wird der Nachweis des Verbundes bei oberflächlich aufgeklebten Lamellen häufig maßgebend für die Bemessung.

Die geringe Ausnutzung von schlaff applizierten CFK-Lamellen führte in den letzten Jahren zu der Entwicklung von vorgespannten Systemen. Wird die Lamelle vor dem Verkleben mit dem Betonuntergrund vorgespannt, kann die einwirkende Vorspannkraft einerseits zur Erhöhung der Tragfähigkeit eines Bauteils genutzt werden und andererseits die Gebrauchstauglichkeit positiv beeinflussen indem die Rissweiten und Verformungen verringert werden.

Bei vorgespannten CFK-Lamellen wird der Verbund mit der Betonoberfläche durch das Aushärten des zuvor aufgetragenen Klebers aktiviert. Die gesamte Vorspannkraft wird durch die Verankerungen aufgenommen, während der Kleber spannungsfrei erhärtet. Bei weiterer äußerer Belastung des Bauteils erfährt das angeklebte Spannglied infolge des schubfesten Verbundes mit dem Beton eine zusätzliche Dehnung. Dieser Vorteil lässt sich beim Nachweis des verstärkten Bauteils im Grenzzustand der Tragfähigkeit nutzen.

S&P CFK Spannverfahren

Seit dem Jahr 2001 bietet die Fa. S&P Reinforcement ein Spannverfahren für CFK-Lamellen an, das je nach Anwendungsfall mit einer Vorspanndehnung zwischen 4 ‰ und 8 ‰ arbeitet. Dies entspricht je nach Größe der Lamelle einer Vorspannkraft von 40 bis 220 kN. Bei dem Spannverfahren wird die Vorspannkraft über Stahlplatten, die mit dem Betonuntergrund verklebt und verdübelt werden, in das zu verstärkende Bauteil eingeleitet. Die Vorspannkraft wird nach dem Verkleben der Lamellen auf dem Betonuntergrund, jedoch vor Erhärten des Klebers aufgebracht. Dazu werden die Lamellenenden unter den am Bauteil verdübelten Verankerungsplatten hindurchgeführt und an beiden Enden in speziellen Klemmschuhen gefasst. Auf der Festankerseite stützt sich der Klemmschuh an der zuvor montierten Verankerungsplatte ab, auf der Spannseite wird die im Klemmschuh verankerte Lamelle mit einer Hydraulikpresse gegen die Verankerungsplatte vorgespannt (Bild 1). Nach dem Erhärten des Klebers werden die beiden Klemmschuhe abgetrennt. Das S&P

Spannverfahren benötigt im Gegensatz zu konventionellen externen Spannverfahren keine aufwendigen Verankerungselemente. Stemm- und Betonierarbeiten im und am Bestand sind nicht erforderlich, die Aufbauhöhe der Verankerungselemente ist gering.

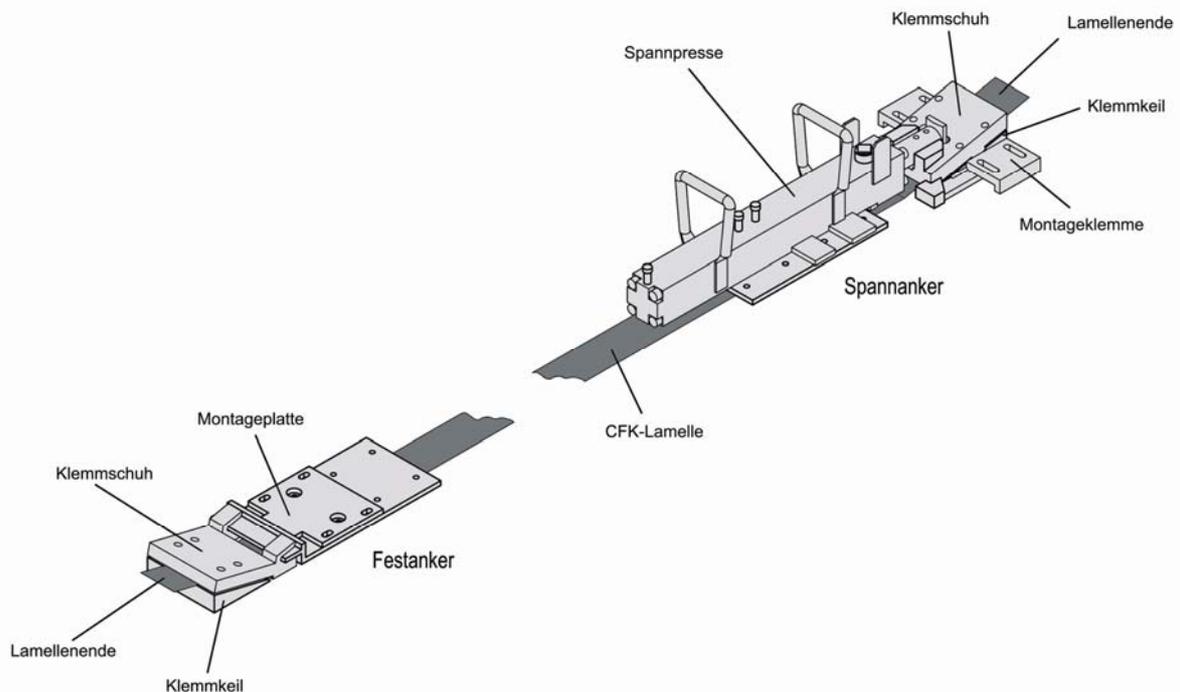


Bild 1. Schematische Darstellung des S&P Vorspannsystems

Praxisbeispiel

Bei einem in den 90er Jahren errichteten Wohn- und Geschäftsgebäude in Thüringen zeigten sich bereits kurz nach der Fertigstellung erhebliche Schäden, die durch hohe Verformungen der weitgespannten Stahlbetondecke über dem Einzelhandelsmarkt im Erdgeschoss verursacht wurden. Bei der Überprüfung des Systems wurde festgestellt, dass statt der geplanten Leichtbauwände massive Mauerwerkswände im Obergeschoss eingebaut worden waren. Durch Kriecheffekte hatten sich die anfänglichen Verformungen der Decke noch erheblich vergrößert. Starke Risse im Mauerwerk waren die Folge. Die statische Nachrechnung ergab, dass die Deckenplatte und Unterzüge aufgrund der hohen Wandlasten im 1. Obergeschoss keine ausreichende Tragsicherheit aufwiesen. Die zulässige Belastung war in Teilbereichen bis zu 80 % überschritten.

Um die weitere Nutzung des Gebäudes zu gewährleisten, mussten die Decke sowie die Unterzüge verstärkt werden. Dafür wurden verschiedene Varianten untersucht. Eine Lösung mit schlaff applizierten CFK-Lamellen ließ sich nicht realisieren, da sich die Übertragung der hohen Lamellenzugkräfte über den Klebeverbund rechnerisch nicht nachweisen ließ. Aus diesem Grunde wurde für die Verstärkung des Deckensystems schließlich das S&P CFK Spannverfahren ausgewählt.

Hierfür waren eine Reihe rechnerischer Nachweise erforderlich. Neben der Berechnung des Ausgangszustandes, also der Beanspruchung des Deckensystems unter den einwirkenden

Gebrauchslasten, musste weiterhin der Vorspannungszustand und die Beanspruchung des verstärkten Systems im Grenzzustand der Tragfähigkeit untersucht werden. Um die Beanspruchungszustände - insbesondere die Wirkung der Vorspannkraft auf das bestehende Deckensystem - wirklichkeitsnah untersuchen zu können, wurden die betroffene Decke und die angrenzenden Bauteile mit Hilfe eines 3-dimensionalen FE-Modell simuliert. Im Gegensatz zu vorgespannten Neubauteilen, bei denen die Vorspannkraft in der Regel ausschließlich auf das vorzuspannende Bauteil wirkt, muss bei einer externen Vorspannung im Bestand der Verlauf und damit auch die Wirkung der eingeleiteten Vorspannkraft genau verfolgt werden. Angrenzende Bauteile wie Wände oder benachbarte Deckenfelder können erheblichen Einfluss auf den Spannkraftverlauf haben. Unter Umständen wird die Vorspannkraft wegen der steifen Anschlüsse im dem zu verstärkenden Deckenbereich gar nicht voll wirksam oder es können durch die Einleitung der Vorspannung sogar Schäden hervorgerufen werden, wenn bestimmten Bereiche dadurch unter Zugbeanspruchung gesetzt werden. So wird der rechnerische Nachweis der Verstärkung in der Regel zu einem iterativen Prozess, bei dem Anzahl, Lage und Abstände der Spannglieder mehrfach variiert werden müssen. Unter Umständen ist auch die Spannfolge zu beachten, da sich die Vorspannkraft bei mehreren, nacheinander applizierten Spanngliedern gegenseitig beeinflussen können.

Zur Verstärkung des Deckensystems und der Unterzüge kamen schließlich 23 S&P Spannglieder mit je einer CFK-Lamelle 120 x 1,2 mm und einer Vorspannkraft von 120 kN zur Ausführung. Die Lamellen wurden mit 6 ‰ vorgespannt, im Grenzzustand der Tragfähigkeit können die Lamellen bis zu einer Dehnung von 10 ‰ ausgenutzt werden. Zur Verbesserung der Quertragfähigkeit und zur Abdeckung örtlicher Beanspruchungen wurden zusätzlich schlaaffe Lamellen appliziert. Bild 2 zeigt die Verstärkungsmaßnahme während der Ausführung.



Bild 2. Ausführung der Verstärkungsmaßnahme

Wegen der hohen Beanspruchung durch die Deckenlasten musste neben der Biegetragfähigkeit auch die Querkrafttragfähigkeit der Unterzüge erhöht werden. Hierzu wurde gemäß der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für schubfest angeklebte CFK-Lamellen eine Verstärkung mit angeklebten Stahllaschenbügeln gewählt, die nach dem Vorspannvorgang eingebaut wurden (Bild 3).



Bild 3. Verankerungsplatten und Stahllaschenbügel am Unterzug

Wegen der F 90 Brandschutzanforderung an die bestehende Geschossdecke wurden die Spannglieder nach Abschluss der Verstärkungsarbeiten mit Calciumsilikatplatten verkleidet. Hierbei erwies sich die geringe Aufbauhöhe des S&P Verankerungssystems als besonders vorteilhaft.

Aussichten

Die Maßnahme wurde mit einer Zustimmung im Einzelfall durch das Land Thüringen realisiert. Das Beispiel zeigt, dass Vorspannsysteme mit CFK-Lamellen inzwischen praxistauglich sind und für besondere Verstärkungsfälle eine wirtschaftliche und anwendungsfreundliche Lösung darstellen. Im Gegensatz zu konventionellen externen Vorspannsystemen ohne Verbund bieten CFK-Vorspannsysteme zusätzliche Tragreserven durch den Klebeverbund mit dem Betonbauteil.

Für das Vorspannsystem wurde eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung beim DIBt beantragt. Die Zulassungsversuche sind inzwischen erfolgreich abgeschlossen. Mit der Erteilung einer Zulassung wird noch in diesem Jahr gerechnet.

Peter Onken, Wiebke vom Berg, Dirk Grunewald