

Betoninstandsetzung im Ingenieur- und Wirtschaftsbau
Güteschutzgemeinschaft Betoninstandsetzung
Berlin und Brandenburg
Seminar Potsdam 17. April 2007

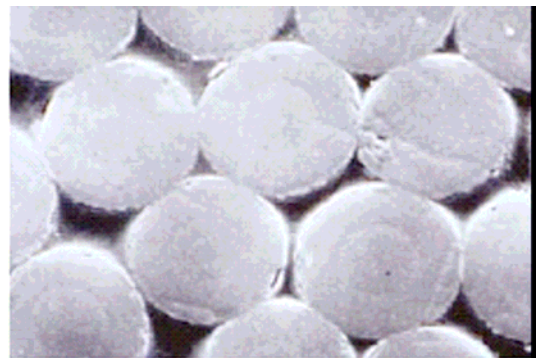
CFK-Verstärkung im Ingenieurbau Anwendung und Bemessung

.....

Werkstoffe für die CFK-Verstärkung

CFK-Lamellen für die Biegeverstärkung (schlaff)

Diese Methode ist in Europa nach wie vor die wichtigste Verstärkungstechnik mit FRP. Trotz vergleichsweise hoher Materialkosten stellen CFK-Lamellen gegenüber Stahllaschen eine zukunftsweisende Alternative für die Bauteilverstärkung dar. Oft wird als wichtigster Vorteil der CFK-Lamellen gegenüber den auf der Baustelle zu formenden Strukturen aus Geweben und Gelegen (Fabrics) die Werksfertigung genannt. Diese und die damit zusammenhängende Fremdüberwachung gewähren eine gleich bleibend hohe Qualität der Halbzeuge. Vielfach unterscheiden aber auch eher anwendungstechnische Gründe über den Einsatz von CFK-Lamellen.



In über 90% der ausgeführten Verstärkungen wird die CFK-Lamelle mit einem E-Modul von 170Gpa als schlaff appliziertes Zugglied eingesetzt. Falls jedoch die Durchbiegung maßgebend wird, oder wenn die Rissbreiten im Zugbereich minimal sein sollen, kommen hochmodulige Lamellen mit E-Moduli von 210 bis 300Gpa zum Einsatz. CFK-Lamellen sind sehr leicht: 1m einer 50cm breiten und 1,2mm dicken Lamelle wiegt ca. 100g. Für die gleiche Verstärkung mit Stahllaschen müsste man ca. das 7-fache ansetzen. Da die CFK-Lamellen auf Rollen mit einem Innendurchmesser von 90cm geliefert werden, sind sie viel handlicher als Stahlteile. Große Längen sind kein Hindernis, Stöße somit nicht erforderlich.



Sika Deutschland GmbH

Horst Peters, 70489 Stuttgart, mail to: peters.horst@de.sika.com

Im November 1997 wurde die erste „Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung“ (Z-36.12-29) erteilt. Viele Problemlösungen sorgten jetzt für eine schnelle Einführung und Verbreitung. Die hier beschriebenen Projekte sollen das breite Einsatzspektrum veranschaulichen und einen Überblick über den Stand der Entwicklung bis hin zur Technologie der vorgespannten Lamellen vom Typ „SLC“ geben.

CFK-Schubwinkel für die Schubverstärkung

Viele Tragwerke weisen nicht nur einen zu geringen Biege- und Schubwiderstand auf, sehr oft ist auch der Schubwiderstand zu erhöhen. In Deutschland wird dies in der o.a. Zulassung mit Stahlwinkeln und angeschweißten Gewindestäben geregelt. Zwei dieser Winkel bilden einen Schubwinkel, der den Querschnitt vollflächig umfassend, aufgeklebt werden. International und in Deutschland mit „ZiE“ wurden CFK-Winkel eingeführt. Es handelt sich hierbei um werksseitig vorgeformte Schubwinkel in Form von Winkellamellen ($\perp 90^\circ$) für die Schubverstärkung von Trägern und Balken. Sie weisen die gleichen Materialvorteile wie die normalen CFK-Lamellen auf. Das Paar, zu einem U geformt, um den Steg geklebt und in der Druckplatte verankert ergibt eine vergleichbare Schubverstärkung. Bauteilversuche durch die EMPA-Dübendorf (CH) an realitätsnahen Stahlbetonkonstruktionen belegen eindrücklich die Leistungsfähigkeit des Systems.



CFRP-Gewebe und -Gelege (Wraps) für die Schub- und Biegezugverstärkung

Parallel zu den Forschungsarbeiten mit CFK-Lamellen in Europa ab Mitte der 80er-Jahre wurde insbesondere in Japan und Kalifornien intensiv über die Anwendung von Fabrics im Brückenbau nachgedacht. Während in Europa die Biegezugverstärkung im Vordergrund stand, machten in den USA die unterarmierten Stützen der High- und Freeways im Erdbebenfall große Sorgen. Da viele der Stützen einen kreisförmigen Querschnitt aufweisen, spielt die Verformbarkeit der Verstärkungselemente eine entscheidende Rolle. Durch die Verstärkung mit FRP-Wraps wird insbesondere die Verformungsfähigkeit der Knoten erhöht und somit der Erdbebenwiderstand verbessert. In Europa ist diese Technik inzwischen auch etabliert, teilweise allerdings in anderen Bereichen als in den USA. Bei uns werden vorwiegend Träger gegen Schubbelastungen verstärkt oder Stützen zur Erhöhung der vertikalen Lastaufnahme umwickelt. Besonders bei Kühltürmen und Industrieschornsteinen hat sich mittlerweile der Einsatz der Gewebeverstärkung durchgesetzt.

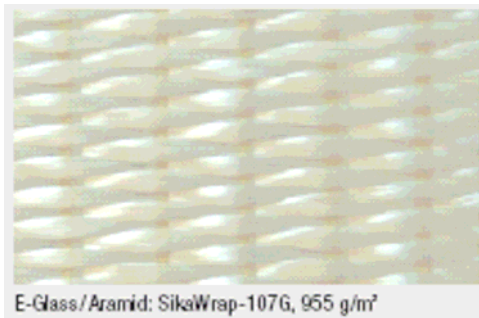
Gewebe können unidirektional (mit klarer Vorzugsrichtung) oder mit tragenden Fasern in beide Richtungen (biaxial) produziert werden. Auch Kombinationen von verschiedenen Fasertypen (CFK, Glas, Aramid) sind möglich, sie werden Hybride genannt. Bedingt durch den Webprozess kreuzen sich die eingesetzten Fäden der beiden Richtungen. Dies hat zur Folge, dass sie nicht absolut gestreckt sind und ein kleiner Steifigkeitsverlust in Kauf genommen werden muß. Dieser liegt bei einem unidirektionalen Gewebe mit ca. 97% in Kettrichtung. Um Gewebe für eine bessere Handhabung zu stabilisieren, werden als Schussfäden oft dünne thermoplastische Fäden eingesetzt.



Sika Deutschland GmbH

Horst Peters, 70489 Stuttgart, mail to: peters.horst@de.sika.com

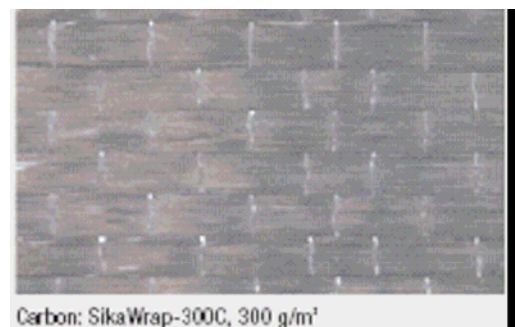
Unmittelbar nach dem Weben werden sie aufgeschmolzen und verbinden sich an den Kreuzungsstellen mit den Kettfäden.
Gelege weisen im Gegensatz zu den Geweben keine Umlenkungen der Fasern auf.
Meist werden sie ein- oder beidseitig mit einem feinen Schmelzgittergewebe versehen, welches die Position der Fasern hält.



E-Glass/Aramid: SikaWrap-107G, 955 g/m²



Aramid: SikaWrap-300A, 300 g/m²



Carbon: SikaWrap-300C, 300 g/m²

Klebstoffe



Durch Kleben können Bauteile aus verschiedenen Materialien auf der Baustelle wirtschaftlich miteinander verbunden werden. Bei Klebeverbindungen erfolgt die Kraftübertragung gleichmäßig über die gesamte Kleberfläche. Es entstehen somit keine Spannungsspitzen wie z.B. bei punktförmigen Schraubverbindungen. Die für die FRP-Verstärkungsarbeiten im Bauwesen eingesetzte Klebstoffe sind hauptsächlich 2-K Epoxidharze. Sie eignen sich sehr gut für CFK-Lamellen und FRP-Wraps auf Beton, Holz, Stahl, Alu oder Mauerwerk.

Die Verarbeitungseigenschaften der Harze werden je nach Anwendung spezifisch eingestellt. Dies wird üblicherweise über die Art und Größe der Füllstoffe gesteuert. Die mit Quarzsand gefüllten Kleber für die Lamellen weisen eine Korngröße von ca. 0,5mm auf. Harze für Wraps sind entweder ungefüllt oder verfügen lediglich über einen geringen Anteil an feinen Quarzmehlen.

Beim Arbeiten mit EP-Klebstoffen ist der Arbeitssicherheit besondere Beachtung zu schenken. Obligatorisch sind Schutzbrille und Schutzhandschuhe. Beim Sägen der Lamellen ist eine Staubmaske mit Feinstaubfilter aufzusetzen. Die Entsorgung ist dem Datenblatt zu entnehmen.



Sika Deutschland GmbH

Horst Peters, 70489 Stuttgart, mail to: peters.horst@de.sika.com

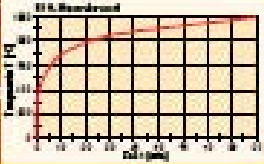
Beschichtung, Brandschutz

Als Schutz gegen Bewitterung und UV-Einwirkung werden die Verstärkungsmaterialien mit einem deckenden Anstrich versehen. Ein heller Farbton schützt die schwarzen Materialien vor übermäßiger Erwärmung. Über eine Haftbrücke können auch zementöse Mörtel aufgetragen werden.


Brandverhalten des Systems

Im Horizontalofen der EMPA wurde ein mit CFK-Lamellen und Sikadur-30 verstärkter Stahlbetonträger einem ISO-Normbrand unterworfen. Während der Prüfung entstand keine gefährliche Rauchentwicklung.

Es konnte aufgezeigt werden, dass CFK-Lamellen mit Brandschutzplatten erfolgreich gegen Brandeinwirkung geschützt werden können. Ein Sichern der CFK-Lamellen gegen Herabfallen ist nicht notwendig.



EMPA-Horizontalofen
EMPA-Bericht Nr. 140785, 1994
DMS, TU/Straßensiebzig: Brandschutzztechnische Beurteilung der Gefährdung von Klebearmierungen an Stahlbetonbauteilen



Im Brandfall liegt die Schwachstelle der Verstärkung (ob Stahl oder FRP) beim EP-Kleber. Bei Temperaturen ab +50°C verliert er sehr schnell seine Festigkeit und die Verstärkung versagt. Diese Erwärmung kann durch geprüfte Brandschutzplatten (Kalzium-Silikat) bis auf F90 gedämmt werden.

CFK-Lamellen werden auch auf der Beton-Oberseite von Fahrbahnplatten eingesetzt. Beim Einbringen des 240°C heißen Gussalphalts sind Schutzmaßnahmen einzuplanen. Ein Gutachten der FMPA-Leipzig liegt für diesen Anwendungsfall vor.

Ausgeführte Objekte aus Hoch- und Ingenieurbau

Hier werden Anwendungen und technischen Vorteile von CFK-Verstärkungen an ausgewählten Ausführungsbeispielen beschrieben:

Lamellen können einfach gekreuzt werden - FH Stuttgart



Die Aufstockung 1998 des Hörsaalgebäudes bedeutete eine Verkehrslasterhöhung auf 500 kg/m². Die Traglasterhöhung der kreuzweise gespannten Rippendecke war mit einer aufgeklebten Verstärkung aus Stahllaschen geplant. Sie können aber nur durch Futterstücke oder Ausklinkungen gekreuzt werden. CFK-Lamellen Kreuzungen sind durch einfache Überklebung der ersten Lage (1,2 mm Lamelle plus ca. 1 mm Kleber) mit der Querlage auszuführen. Der Brandschutz erfolgt über eine abgehängte Decke. In anderen Fällen kann eine F90 Beplankung angedübelt werden.

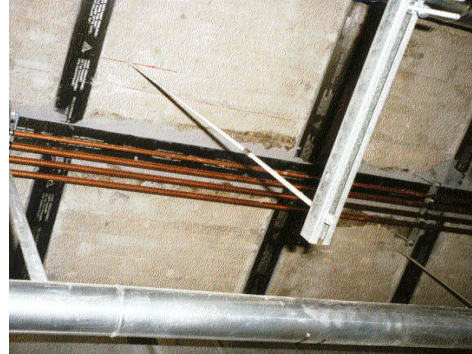


Sika Deutschland GmbH

Horst Peters, 70489 Stuttgart, mail to: peters.horst@de.sika.com

Die magnetfeldfreie Verstärkung – **Klinikum Augsburg**

Durch das Aufstellen neuer Kernspins mit einer Zusatzlast von über einer Tonne wurde die Verstärkung von Decken notwendig. Durch das unterhalb der Decke verlaufende Gewirr von Versorgungsleitungen kann nur ein sehr flexibles Material zum Einsatz kommen. Die CFK Lamellen ließen sich elegant einfädeln und ordnungsgemäß verkleben. Ausschlaggebendes Argument war, dass durch die Verstärkung keine Veränderung des Magnetfeldes für das empfindliche Gerät entsteht.



Schnelle und saubere Verstärkung - Kaufhäuser

Bei den Umbaumaßnahmen des **Kaufhof Hamburg** wurden die Rolltreppen neu angeordnet. Das statische System änderte sich. Ehemalige Mittelfelder wurden zu Endfeldern und Haupt- und Nebenunterzüge des Deckensystems wurden durchtrennt. Mehrlasten in Folge von Deckenschließungen und Überbeanspruchung ehemaliger Mittelfelder waren die Folge. Die Untergrundvorbereitung und die Verstärkungsmaßnahme erfolgte nachts innerhalb von Staubwänden. Durch entsprechende Einstellung der Klimaanlage konnte der normale Geschäftsbetrieb tagsüber beibehalten werden. Die 2200 m Lamelle waren in weniger als vier Wochen verklebt.



Chloride in Decke – **Parkhäuser**



Auf den Stell- und Fahrflächen der Maßnahme Parkhaus **Stuttgart** war eine Betonin-Betoninstandsetzung auszuführen. Die Maßnahme der statischen Verstärkung wurde notwendig, da im Zuge der Sanierung die Druckzone der Decken unsachgemäß heraus gestemmt und zusätzlich auf



Sika Deutschland GmbH

Horst Peters, 70489 Stuttgart, mail to: peters.horst@de.sika.com



dem geschwächten Querschnitt die Paletten mit den neuen Materialien gelagert wurden. Wegen der deutliche sichtbaren Durchbiegung wurden vor der Verstärkung die Decke bis in das Kellergeschoß abgesprießt und überwacht hochgepresst. Jetzt konnte die Verklebung erfolgen. Eine geringe Vorspannkraft wurde somit in die Lamellen eingebracht.

Obenliegende, korrodierte Bewehrungen infolge der Chloridbelastung ist ein weiterer häufiger Verstärkungsgrund. Nur

eine sehr geringe Aufbauhöhe steht für die Ergänzung des notwendigen Bewehrungsquerschnitts zur Verfügung. Um hierzu eine gesicherte Aussage zu treffen, wurden 2001 Belastungsversuche an der MFGPA Leipzig geführt, in die auch die Beanspruchung der Schubkräfte durch Einparken mit einbezogen wurden.

Deckendurchbrüche – Gewerbe- und Verwaltungsbauten

Durch den Umbau eines 15-geschossigen Verwaltungsgebäudes **Burda-Hochhaus in Offenburg** wurde die Umgestaltung des statischen Systems notwendig.

Das Mittelfeld wird für neue Treppenaussparungen genutzt und nach der Verstärkungsmaßnahme herausgeschnitten. Aus dem Durchlaufsystem wurden 2 Einfelddecken. Die vorhandene Feldbewehrung war hierfür nicht ausreichend und musste durch eine Klebbewehrung aus CFK Bändern ergänzt werden. Die Ausführung mit 800m wurde in 2 Wochen erbracht.



Die leichte - Kühlturmverstärkung mit CFK-Gewebe Sika-Wrap.

VEO-Kühlturm Eisenhüttenstadt

Bei älteren Naturzug-Kühltürmen treten häufig in großen Bereichen Beton- und Korrosionsschäden vor allem an der Außenseite der nur 10 cm dünnen Stahlbetonschale auf. Eine großflächige Schädigung der äußeren Ringbewehrung macht bei einer herkömmlichen Stahlbetonsanierung das Aufbringen von Bewehrungsmatten und einer entsprechend dicken, korrosionsschützenden Spritzbetonschale notwendig. Diese erhebliche Mehrbelastung kann zur Überlastung der Kühlturmkonstruktion führen und ist bei einer Verstärkung mit Gewebe vermeidbar. Hier wird die geschädigte äußere Ringbewehrung mit CFK-Gewebebänder im Abstand von 30 bzw. 50 cm verstärkt. Auf dem reprofilierten Betonuntergrund wird das Epoxidharz aufgebracht, das Gewebe aufgelegt und unter leichtem Anpressdruck einlaminiert. Die Arbeiten erfolgen von einer



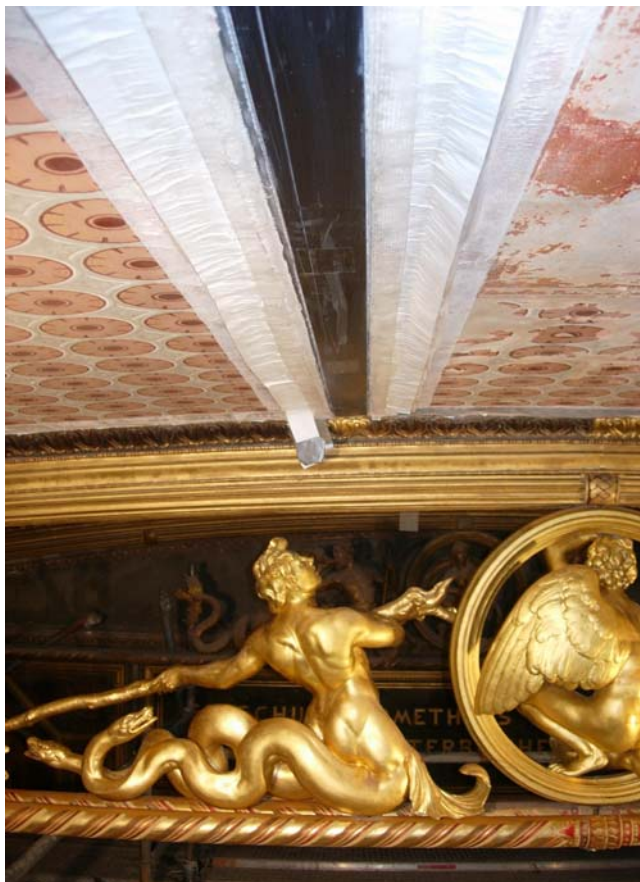
Sika Deutschland GmbH

Horst Peters, 70489 Stuttgart, mail to: peters.horst@de.sika.com



Hängerüstung, das auf dem Kühlturmkranz fährt. Zum Schutz vor Witterung und Sonnenbestrahlung wird die verstärkte Kühlturmschale abschließend mit einem Anstrich (*Sikagard 680S-Betoncolor*) versehen.

Historische Gusseisenträger – „Neues Museum“ Berlin



Anlässlich der umfassenden Sanierung des über 150 Jahre alten, kriegsbeschädigten „Neuen Museums“ auf der Museumsinsel in Berlin wurde bei der MPA Braunschweig durch Versuche belegt, dass die Tragfähigkeit historischer Guss-Biegeträger durch im Zugbereich aufgeklebte CFK-Lamellen deutlich erhöht werden kann. Diese Verstärkung beeinträchtigt das Erscheinungsbild der denkmalgeschützten Konstruktion kaum und bietet daher die Möglichkeit der Ertüchtigung historischer Gussträger. Der Verstärkungsgrad mit einer CarboDur H-Lamelle ($E=300000\text{N/mm}^2$) wurde an Versuchsträgern mit $\eta=2,35$ ermittelt. Diese Verstärkungswirkung geht bei Kerbwirkungen deutlich über die bloße Erhöhung des Trägheitsmomentes hinaus. Hier werden die inneren und äußeren

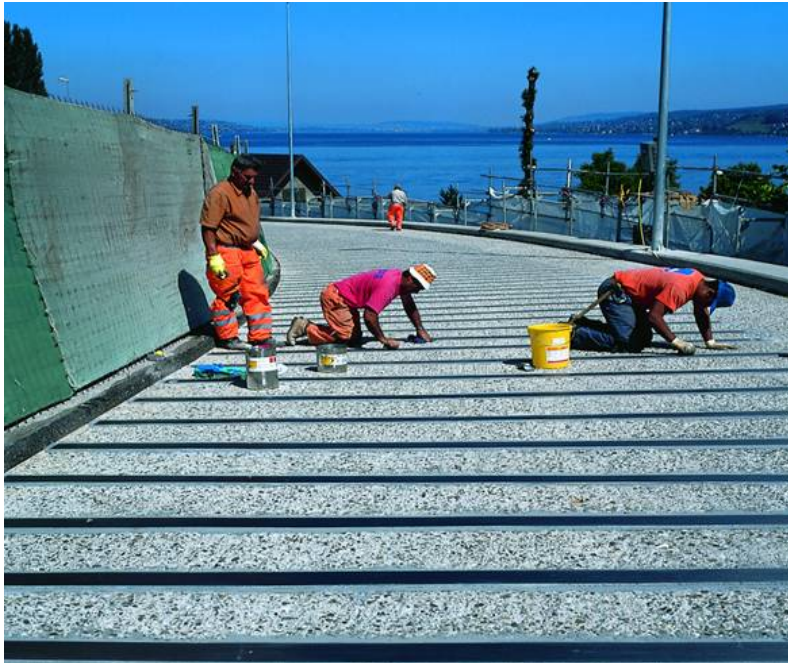
Kerben entschärft.

Brückenverstärkungen

Als Pilotprojekte dienten drei Rahmen-**Brücken bei Niederwartha** (Dresden) aus den 30-er Jahren. Ihre Tragfähigkeit war durch das starke Abrostern der Bewehrung sehr eingeschränkt. Im Jahr 1996 konnte ihre Tragfähigkeit mittels *CarboDur*-Lamellen um bis zu 98 % erhöht werden. Die Grundlage bildeten Balkenversuche und ein Gutachten der TU Braunschweig. Die Versuchsbalken ertrugen über 2 Mio. Lastspiele ohne Ermüdungsbruch. Viele Lamellenkilometer wurden seither zu Brückenverstärkungen eingesetzt. Seit der Zulassungsfassung von 2002 muss der Schwingbreitennachweis geführt werden. Der MFPA Braunschweig wurde ein Forschungsauftrag erteilt, um diesen Nachweis neu zu untersuchen.

Gussasphalt auf CFK-Bewehrung

Die 120 m lange **Fährbrücke am Zürichsee**



aus dem Jahr 1972 über eine Bahnlinie wurde 1997 saniert. Die obenliegende Querbewehrung der Fahrbahnplatte zu gering war. Der Biege widerstand dieser Zone war zu erhöhen. Durch die geringe Dicke der CFK Lamellen von nur 1,2 mm änderte sich die Aufbauhöhe nicht. Durch Beschichten der Kohlefaserstreifen mit 5mm Epocem konnte die Bitumendichtungsbahn aufgeflammt werden. Speziell zum Thema

„Temperaturverhalten von *CarboDur* -Lamellen unter Gußasphalt“ wurde ein Versuchsprogramm an die MFPA Leipzig vergeben, um das Verhalten des Klebstoffes nach Einwirken von Temperaturen durch Einbringen von Gußasphalt bis 240 °C zu prüfen.

Brücken BAB A3 / ICE Neubaustrecke (bei Montabaur)



Mehrere Brücken im Verlauf der A3 im Raum Montabaur wurden in den Jahren 1999 bis 2001 wegen der Anhebung der Brückenklasse saniert. Die Straßen- und Verkehrsverwaltung Rheinland-Pfalz hatte das Überführungsbauwerk der A3 über die Bahnstrecken aus dem Jahr 1939 zum



neuen ICE Bahnhof ausgeschrieben. Risse, Betonabplatzungen und unzureichende Tragfähigkeit machten eine Sanierung erforderlich. Um den erhöhten Belastungen gerecht zu werden, erfolgte die Bemessung auf die Klasse 60/30. Verstärkt wurden Rahmendeckenober- und Unterseiten sowie die Vorderseiten der Rahmenwände. Der Abschluß bildet eine vollständige Überschichtung der Maßnahme mit einem PCC.

Brücke Krondorf, BAB A3 Nürnberg-Regensburg

Die Sanierung der Talbrücke Krondorf im Auftrag der Autobahndirektion Nordbayern erfolgte im Herbst 2000. Wegen der Chloridverseuchung mußte die Fahrbahnplatte intensiv gestrahlt werden. Hierbei lösten sich alle Quervorspannglieder. Während der Ertüchtigung mußten die Kragarme durch ein Gerüst gehalten werden. Im Sanierungskonzept wurden die Stützmomente durch Stahlzulagen $\varnothing 20$ alle 20 cm und einen Aufbeton abgedeckt. Das verbleibende Feldmoment im Hohlkasten wurde mit 4,90 m langen Lamellen S1214 alle 25 cm verstärkt. Im zweiten Bauabschnitt wurde die Rückspur im Herbst 2001 in mehreren Feldern gleichermaßen ertüchtigt.



Sika Deutschland GmbH

Horst Peters, 70489 Stuttgart, mail to: peters.horst@de.sika.com

Verstärkung durch nachträgliches Vorspannen

Die unbefriedigende Ausnutzung der hervorragenden Materialeigenschaften von CFK Bändern beim schlaffen Verstärken und die Forschungsarbeiten der EMPA Zürich über das Vorspannen mit CFK Lamellen ergab 1998 eine Kooperation der *Sika Construction* mit dem *Ing. Büro Leonhardt, André und Partner*. Die Aufgabe lautete: ein Spanungsverfahren zu entwickeln, das sowohl die hervorragenden Materialeigenschaften ausnutzt, die Vorspannrichtlinien erfüllt (ETAG 013) und baustellentauglich auch über Kopf einzusetzen ist.

Die Spanngliedverankerung muß die Zulassungsrichtlinien für Spanverfahren in Bezug auf die maximal von der Verankerung aufnehmbare Kraft erfüllen, um die Forderung „Spanngliedbruch vor Verankerungsbruch“ (Wirkungsgrad > 1,0) zu erreichen.

Das Spanverfahren trägt den Namen „*Sika Leoba CarboDur*“ (SLC).

System SLC I

Brücke Gomadingen, L 230 in Ba-Wü

Im Oktober 1998 wurde weltweit zum ersten Mal der Einsatz von vorgespannten CFK-Lamellen zum Zwecke einer Bauwerksertüchtigung einer Brücke mit diesem Spanverfahren eingesetzt.

Die Spannbetonbrücke als 2-stegiger Plattenbalken aus den 60-er Jahren zeigte unterseitig neben den Stützen Risse in der vermeintlichen Druckzone. Gründe hierfür waren u.a. eine zu hohe interne Vorspannung und ein nicht an den tatsächlichen Momentenverlauf angepasste Spanngliedführung.

Die Schadstellen konnten nach einer vorrausgegangenen Rissinjektion mit je 4 *SLC I* Spanngliedern dauerhaft überdrückt werden. Zur Verwendung kam eine Lamelle mit einem Querschnitt von $A_L = 60 \text{ mm}^2$. Eine Vorspannung mit einer Dehnung von $\varepsilon_{L,V} = 6 \text{ ‰}$ und einer Vorspannkraft von $F_{L,V} = 60 \text{ kN}$ wurde aufgebracht; dies entspricht einer Lamellenspannung von $\sigma_{L,V} \approx 1000 \text{ N/mm}^2$ (ca. 40% der Bruchspannung).

System SLC II

Zwischenzeitlich wurde das Verfahren zum System *SLC II* weiterentwickelt, unter anderem durch Versuchsreihen am Institut für Massivbau und Baustofftechnologie der Universität Leipzig und der Technischen Universität Karlsruhe. Mit der Vorspannlamelle *Sika CarboDur V914* (90x1,4 mm) wird jetzt eine Vorspannkraft von 165kN eingebracht. Dies entspricht einer Vordehnung $\varepsilon_{L,V} = 7,5 \text{ ‰}$ und einer Lamellenspannung von $\sigma_{L,V} \approx 1300 \text{ N/mm}^2$.

Aufgrund des Alters aller Brücken mit ca. 40 Jahren sind zum Teil erhebliche Schäden an der Konstruktion des Spannbetonüberbaus aufgetreten. Durch Umwelteinflüsse, vor allem Taumittel und das immer größere Verkehrsaufkommen wurden die Beläge, Abdichtung und Entwässerung beschädigt. Der Konstruktionsbeton mit seiner innenliegenden schlaffen und vorgespannten Bewehrung war somit einem massiven Angriff von Tausalzen ausgesetzt.

Unabhängig davon zeigten sich seit Jahren an den Koppelfugen der Stege ein ausgeprägtes Rissbild. Diese Risse wurden in den vergangenen Jahrzehnten durch eine Rissinjektion kraftschlüssig verpresst. Den tatsächlich vorhandenen Spannungsverhältnissen an solchen Koppelfugen wurde zu Beginn des Spannbeton-Brückenbaus nur unzureichend Rechnung getragen. Dies hat zur Folge, dass sich die rechnerische Druckvorspannung nicht einstellt. Im gerissenen Querschnitt steigen die im Riss auftre-



Sika Deutschland GmbH

Horst Peters, 70489 Stuttgart, mail to: peters.horst@de.sika.com

tenden Spannungsänderungen im Spannstahl aus der Verkehrsbelastung entsprechend an (Schwingweiten) und können zu Schäden führen.

Die „Handlungsanweisung zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit vorgespannter Bewehrung von älteren Spannbetonüberbauten“ (Bundesanstalt für Straßenwesen, BAST) beinhaltet ein detailliertes Ablaufschema eines abgestuften Begutachtungsverfahrens. Hiernach kann festgestellt werden, ob tatsächlich ein Dauerhaftigkeitsproblem mit Ermüdungsbruchgefahr für die untersuchte Spannmitgliedlage im Rissquerschnitt besteht. Im Fall der vorgestellten Projekte wurde auf Grund dieser Untersuchung eine Überschreitung der zulässigen Schwingweiten festgestellt. Eine Verstärkung des betroffenen Querschnitts war erforderlich.

Körschtalbrücke B27, Stuttgart

Ertüchtigung 2001

Die Brücke im Zuge der B27 aus dem Jahre 1964 ist ein 7-feldriger Durchlaufträger. Die 2-stegigen längs- und quer vorgespannten Plattenbalkenquerschnitte wurden mit 2 Koppelfugen ausgebildet. Beide Koppelfugenquerschnitte zeigten ein ausgeprägtes Rissbild und die im Spannstahl auftretende Schwingweite wurde gemäß der „Handlungsanweisung...“ der BAST 1997 als unzulässig hoch festgestellt.

Mit einer Verstärkung von 5x4 vorgespannten CFK-Lamellen V914 konnte die Schwingweite auf 50% des zulässigen Wertes zurückgespannt werden.



Neckarbrücke, BAB-A6 Heilbronn Ertüchtigung 2003/04

Hier handelt es sich um die Stahlbetonvorlandbrücke mit einem „Homborgquerschnitt“. Dieser ist sehr „verwindungsweich“ und wurde schon vor Jahren mit zusätzlichen horizontalen Stahlrohraussteifungen versteift. Wie bei der Körschtalbrücke sind aber auch die Schwingweiten zu hoch. Diese Maßnahme ist allerdings um einiges umfangreicher, da 14 Koppelfugen mit jeweils 2x9 Spannmitgliedern V914 verstärkt werden; es müssen somit 252 Lamellen über die Koppelfugen gespannt werden. Die Spannmitglieder sind nur 7m lang und müssen nur die Spannungsspitze aufnehmen, die überlastet ist.

Nach Montage und Vorspannung werden Lamellen plus Ankerplatten vollflächig mit einem Acrylharz-Schutzanstrich (*Sikagard 680S-Betoncolor*) beschichtet. Die Verstärkungsmaßnahme wird fast Unsichtbar.



Ravennabrücke, Italien

Ertüchtigung 2003

Durch einen Anfahrtschaden wurde die Vorspannbewehrung des Brückenträgers beschädigt. Der Ausfall dieser Spannglieder konnte durch 4 Vorspannsysteme SLCII kompensiert werden. Diese Spannglieder verlaufen von Auflager zu Auflager und sind 20m lang. Die Vorspannkraft V_0 betrug 150kN/Lamelle. Nach dem Vorspannen erfolgte eine Probelastung und Durchbiegungsmessung. Die Arbeiten wurden an einem Wochenende im Nov. 2003 durchgeführt.

Die Spanngliedverankerung erfüllt die Zulassungsrichtlinien für Spannverfahren in Bezug auf die maximal von der Verankerung aufnehmbare Kraft. Die Forderung „Spanngliedbruch vor Verankerungsbruch“ (Wirkungsgrad $> 1,0$) wird somit erfüllt.



System SLC III

Im Gegensatz zum *SLC II* werden beim Verfahren *SLC III* *Sika CarboDur V 914* zu einem Stapel-Spannglied hergestellt. Werksseitig werden durch *Paul Spannbeton* spezielle Spannschlösser als Dehnköpfe montiert. Die so auf die genaue Länge vorkonfektionierten Systeme werden in Transportkisten verpackt und zur Baustelle versandt. Die Lamellenbündel werden vor Ort in eine entsprechend vorbereitete Konstruktion am Bauwerk eingehängt und mit Spezialpressen gespannt. Diese Spanngliedbündel können sowohl ohne als im Verbund zum Bauwerk eingesetzt werden.



Sika Deutschland GmbH

Horst Peters, 70489 Stuttgart, mail to: peters.horst@de.sika.com

MRR2 Flyover Kuala Lumpur, Malaysia

In 2006 wurde ein Großprojekt mit 454 Spanngliedern in Kuala Lumpur, Malaysia ausgeführt. Hier wurden hammerförmige Brückenstützen einer doppelspurigen Autobahn mit bis zu 18 Spanngliedern verstärkt. Jedes *SLC III-Spannglied* besteht aus 2 *Sika CarboDur V914* Lamellen mit einer Länge von ca. 19m. Die Vorspannkraft pro Spannglied beträgt 400kN. Die Voraussetzung für den Auftrag war auch hier wieder die ETAG 013, damit u.a. sichergestellt ist, daß Verankerungsversagen erst nach Lamellenbruch eintreten darf.



Verstärkung von Rundbehältern (Silos)

Ein ideales Einsatzgebiet für die Spanngliedgeneration SLC-III ist auch die Verstärkung von schadhafte und gerissene Stahlbetonrundbehältern. Die Spannbänder können in einfacher Weise fassringartig um den Behälter gelegt und nach dem Spannen mit der entwickelten Verankerung gürtelschnallenartig festgelegt werden. Damit können Druckvorspannkraften von z.B. 3 MN/m aufgeteilt auf 7 SLC-III Spannglieder eingeleitet werden. Sie sichern insbesondere bei Flüssigkeitsbehälter die geforderte Rissefreiheit.

SCS-Software

Am 06. 11. 2006 wurde an der TU- Berlin das neue Bemessungsprogramm für die Verstärkung mit CFL- Lamellen vorgestellt.

Als Systemausstattung wird Windows® XP oder 2000 mit Pentium® III empfohlen.

Es ist für Ing. Büros entwickelt, die Verstärkungsmaßnahmen für Bauwerke bemessen:

- Verstärkung von Betonbauteilen durch oberflächlich geklebte CFK-Lamellen (*Sika® CarboDur*) oder Stahllaschen nach den aktuell gültigen Zulassungen Z-36.12-29 und Z-36.1-30.
- Verstärkungen von Betonbauteilen durch oberflächlich aufgeklebten CFK-Gewebe (*Sika® Wrap*)
- Verstärkungen von Betonbauteilen durch in Schlitze geklebte CFK-Lamellen.
- Verstärkungen von runden und rechteckigen Stahlbeton-Vollstützen durch Ummantelung mit Gewebe
- Verstärkungen von Holzbalken mit CFK-Lamellen
- Verstärkungen von Stahlprofilen mit CFK-Lamellen
- Bewehrungsergänzung bei Deckendurchbrüchen



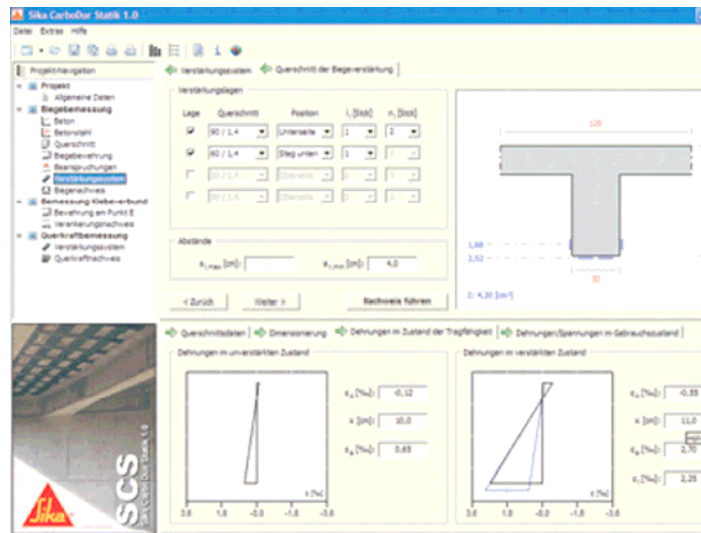
Sika Deutschland GmbH

Horst Peters, 70489 Stuttgart, mail to: peters.horst@de.sika.com

Das Programm liefert bzw. es können eingestellt werden:

- maßstabsgetreue Darstellung unterschiedlicher Bemessungsquerschnitte (Rechteckträger, Vollplatte, Plattenbalken Doppel-T-Träger)
- interaktive Programmoberfläche mit übersichtlicher Ein- und Ausgabe aller Kennwerte (z.B. Lage und Anzahl der inneren Längsbewehrung, Anordnung der Verstärkungslagen, etc)
- Festlegung eigener Materialkennwerte für Betone und Betonstähle
- grafische Darstellung der resultierenden Dehnungs- und Spannungsverläufe
- Ermittlung der günstigsten Zusammenstellung einzelner Lamellenquerschnitte
- Ausdruck der relevanten Ergebnisse als prüffähiges Dokument
- Legende für Firmendaten incl. Firmenlogo
- umfangreiches Handbuch

Bei Fragen steht eine Hotline zur Verfügung



Ausblick

Schlaff geklebte Verstärkungen werden auch in Zukunft die Hauptanwendung für CFK Bänder und CFK Gewebe bleiben.

Mit der Entwicklung der Vorspannsysteme können die CFK Lamellen optimal ausgenutzt werden. Durch ihre externe Vorspannung eröffnen sich neue Möglichkeiten beispielsweise die Sanierung und Verstärkung von gerissenen Bauteilen, die in den Zustand I rückgeführt werden können. Dabei können diese Oberflächenspannglieder auch ohne Verbund zum Bauteil eingesetzt werden. Es steht ein „aktives“ Verstärkungsverfahren zur Verfügung, welches die Bauteilbeanspruchung reduziert und schlupfverzögerungsfrei seine Tragwirkung entfaltet. Die Spanngliedverankerung erfüllt die Zulassungsrichtlinien für Spannverfahren (ETAG 013) in Bezug auf die maximal von der Verankerung aufnehmbare Kraft. Die Forderung „Spanngliedbruch vor Verankerungsbruch“ wird somit erfüllt.

Mit der zu erwartenden Zulassung wird dann der Einsatz geregelt und dem Planer die notwendige Sicherheit mit dem Hochleistungswerkstoff CFK bei Sanierung und Neubau gegeben

Horst Peters
Dipl.-Ing., Dr. rer. pol.
Stuttgart April 2007



Sika Deutschland GmbH

Horst Peters, 70489 Stuttgart, mail to: peters.horst@de.sika.com

Literatur:

Rostásy, F., Neubauer, U., Hankers, Ch.: Verstärken von Betontragwerken mit geklebter äußerer Bewehrung aus kohlenstoffaserverstärkten Kunststoffen, Beton- und Stahlbetonbau 92, 1997 Heft 5

Deutsches Institut für Bautechnik: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-36.12-29 Sika®CarboDur, 11.11.1997

Sika Information: Brücken aus Beton und Stahl, 12.1997

Bundesanstalt für Straßenwesen, Handlungsanweisung zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit vorgespannter Bewehrung von älteren Spannbetonüberbauten, 1998

Andrä, H.P., König G., Maier, M.: Einsatz vorgespannter Kohlefaser-Lamellen als Oberflächenspannglieder, Beton- und Stahlbetonbau 96, 2001 Heft 12

Peters, H.: CFK bei der Brückenverstärkung, Straßen- und Tiefbau 7-8/2002

Meier, H. CFK im Bauwesen – heute Realität
Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Urs Meier 1. 2003

Schäden an Betonbauwerken, AIV Band 2, 2003

König, G., Laubach, A., Maier, M.: Verstärkung von Möllerträgern in Leipzig – Externe Vorspannung mit Kohlefaserlamellen

Bücheler, L.: Vorgespannte CFK-Lamellen im praktischen Einsatz,
Diplom-Arbeit FH- Biberach 2003/04

Conference on Application of FRP-Composites in Construction and Rehabilitation of Structures Ministry of Housing and Urban Development, Teheran May 2004:
Andrä, H.P., Maier, M., Poorbiazar, M.: Carbonfibre Composites for a new generation of tendons

Fachtagung Züblin, Heilbronn Oktober 2004:
Verstärken von Spannbetonbrücken mit vorgespannten CFK-Lamellen

Andrä, H.P., Maier, M.:
Entwicklung des Leoba CarboDur Spannverfahrens

Maier, M., Hammer, U.:
Vorgespannte Kohlefaserlamellen – Theorie und Praxis

Andrä, H.P., Maier, M.: Instandsetzen von Brücken mit einer neuen Generation von Spanngliedern auf Basis von CFK-Bändern
Bauingenieur Band 80, Jan. 2005

Peters, H. Erfahrungen mit Sika CarboDur- Lamellen
Beton- und Stahlbeton 101 (2006) Heft 9

Zilch, K., Niedermeier, R.:
Verstärkung mit vorgespannten CFK-Lamellen
Internationale Fachtagung Innsbruck Jan. 2007



Sika Deutschland GmbH

Horst Peters, 70489 Stuttgart, mail to: peters.horst@de.sika.com