Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 116 (1998)
Heft: 43

Artikel: CFK-Schubverstärkungselemente
Autor: Meier, Heinz
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79584

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 07.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Heinz Meier, Zürich

CFK-Schubverstärkungselemente

Im Bereich der Tragwerksverstärkungen werden anstelle von Stahl immer mehr Verbundwerkstoffe wie CFK (kohlenstoffaserverstärkte Kunststoffe) eingesetzt. Während sich die Anwendung als zusätzliche externe Biegebewehrung in Lamellenform in unzähligen Objekten weltweit bewährt hat, waren die Lösungen im Bereich der Schubverstärkung bisher nicht befriedigend. Eine an der Empa Dübendorf systemgeprüfte Neuentwicklung beseitigt viele dieser Mängel.

Die vor allem in den USA und Japan angebotenen Schubverstärkungen mit CFK-Geweben weisen Nachteile im Verankerungsbereich sowie in der Handhabung auf der Baustelle auf. Die neuartigen CFK-Schubwinkel können vom Ingenieur definiert bemessen und auf der Baustelle einfach und sauber verarbeitet werden. Die wichtigste Voraussetzung für dauerhafte Anwendungen, die Systemkompatibilität zwischen CFK-Winkel und Klebstoff, wurde an der Empa mit den notwendigen Bauteilversuchen geprüft.

Seit Beginn der 90er Jahre sind externe Tragwerksverstärkungen im Biegebereich nicht mehr nur auf das Anbringen von Stahlelementen beschränkt. Dank Forschungsarbeiten an der Empa Dübendorf kam im Jahre 1991 an der Ibachbrücke bei Luzern weltweit erstmals eine externe Biegeverstärkung mit CFK-Lamellen zum Einsatz. In nur zwei Nachtschichten wurde die beschädigte Brücke wieder in den ursprünglichen Zustand gebracht. Dieses Beispiel machte international Schule: in den vergangenen Jahren wurden durch verschiedenste Firmen im In- und Ausland mehrere hundert Objekte unter Einsatz von mehreren hundert Kilometern CFK-Lamellen mit dieser Technik verstärkt. Dieses Verstärkungssystem ist von einer Mehrheit der Ingenieure akzeptiert und kann als Stand der Technik angesehen werden.

Immer gefragter sind auch einfache Lösungen zur Schubverstärkung. Wie bei der Biegeverstärkung stehen hier mehrere Systeme zur Verfügung. Meist sind sie aufwendig in der Applikation, sie verlangen Schweiss- und Korrosionsschutzarbeiten, gefolgt von Verankerungs- und Klebearbeiten am Bauwerk (Stahl). Oder aber sie weisen Nachteile, wie mangelnde Verankerung, unklare Dimensionierung und schwieriges Handling auf der Baustelle (Gewebe), auf.

Eine weitere Schweizer Innovation auf dem Gebiet der Tragwerksverstärkungen mit Faserverbundwerkstoffen sind CFK-Winkel zur Schubverstärkung von Betontragwerken. Diese L-förmigen Elemente zeichnen sich dank ihres geringen Gewichts mit einem einfachen Handling auf der Baustelle aus.

Für den Ingenieur ist die Bemessung aufgrund klar definierter Werkstoffdaten von grossem Vorteil. Dazu weisen die Winkel alle weiteren Vorteile von CFK-Produkten, wie Korrosionsbeständigkeit und hohe Festigkeit, auf. Durch die Systemkompatibilität von Bauteil und verwendetem Klebstoff kann von einer dauerhaften Verstärkung ausgegangen werden.

CFK-Winkelelement

Die CFK-Winkel unterscheiden sich von den CFK-Lamellen nebst der Formgebung insbesondere durch eine andere Produktionstechnologie. Die verwendeten hochfesten Kohlenstoffasern sind vom gleichen Typ wie diejenige der CFK-Lamellen der Empa-Forschungsarbeiten ab 1990. Die Winkel sind ebenfalls mit einer dauerhaften, duromeren Matrix auf Epoxidharzbasis versehen. Nach dem Entformen werden die Elemente auf die gewünschte Breite und Schenkellänge zugeschnitten.

Die Winkel weisen eine Umlenkung von 90° mit einem Innenradius von 25 mm auf, ihre Dicke beträgt etwa 1,2 mm. Bei den in diesem Artikel beschriebenen Versuchen wurde immer mit einer Winkelbreite von 40 mm gearbeitet (Bild 1). Die Oberflächen der Winkel sind werkseitig auf beiden Seiten mit einem trennmittelfreien Abreissgewebe versehen. Dieses wird erst unmittelbar vor der Applikation abgezogen, die Oberflächen sind dann sofort bereit zum Verkleben. Dank dieser Massnahme kann das materialabtragende Schleifen des Winkels und der Einsatz von Lösungsmitteln auf der Baustelle für die Reinigung vermieden werden.

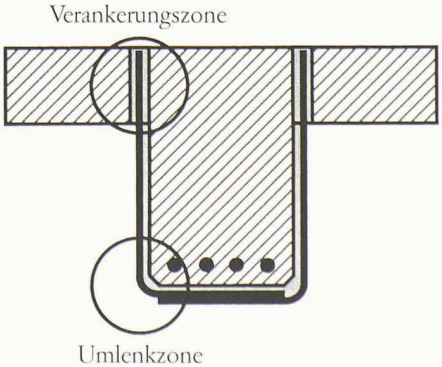
Nachfolgend sind drei verschiedene Vorversuche am Winkelelement beschrieben. Sie bestimmen seine mechanischen Eigenschaften und das Verhalten im Einbauzustand (Bild 2).

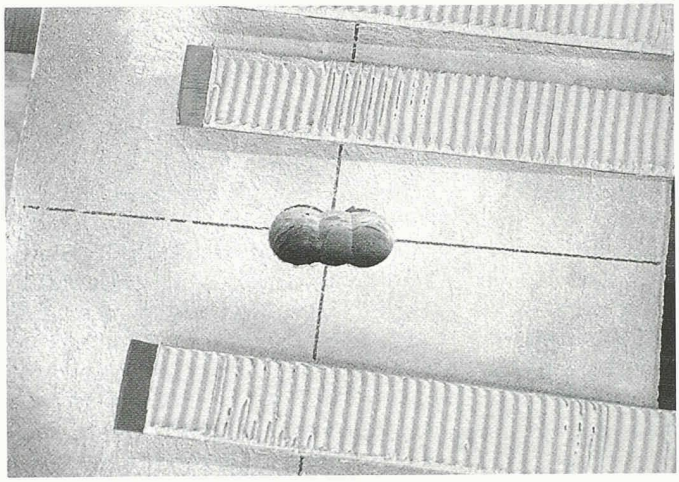
Zugversuch

Der CFK-Winkel weist im Zugversuch des nicht umgelenkten Bereichs bei der gegebenen Dicke von 1,2 mm eine mittlere Bruchlast von 3,15 kN pro mm Winkelbreite auf [1]. Diese Werte wurden im Zugversuch in Anlehnung an die Prüfnorm ISO 527-5 «Determination of tensile

1
CFK-Winkelelement «CarboShear L» (Bild: Empa)

2
Im Bericht beschriebene Zonen (Einbauzustand)





3
Prüfkörper vor dem Einkleben der CFK-Winkel (Bild: Empa)

4
Verankerungszone des CFK-Winkels (Bild: Empa)

properties, part 5», bei einer freien Länge von 650 mm bestimmt. Die Lasteinleitung erfolgte über an den Enden aufgeklebte GFK-Pads von 1 mm Dicke und Faseranordnung ±45°, wie sie für derartige Zwecke üblich sind.

Diese mittlere Zugkraft diente für die beiden folgenden Versuche als Referenz und wird für die folgenden Versuche als 100% eingesetzt.

Verankerungslänge

Um die CFK-Winkel in der Druckplatte des Bauteils verankern zu können, müssen in dieser vorgängig Kernbohrungen angebracht werden, deren Tiefe vor allem abhängig von der bestehenden Plattendicke ist. Da externe Schubverstärkungen oft im Rahmen von Totalsanierungen durchgeführt werden, ist das Anbringen von einfacheren, durchgehenden Verankerungsbohrungen von der Plattenoberseite her jedoch meist möglich.

Herstellung der Prüfkörper

Die für alle Versuche gewählte Bohrungsgeometrie war ein Langloch von 50 mm Länge, erstellt aus 3 Bohrungen mit Durchmesser 26 mm im Abstand von rund 12 mm (Bild 3). Die weitere Vorbereitung dieses Langlochs bestand lediglich im Entfernen von losen Partikeln mit einem Staubsauger. Als Prüfkörper dienten Betonquader mit drei verschiedenen Höhen 100, 150 und 200 mm. Diese Höhen entsprachen dann auch den Verankerungslängen der CFK-Lamellen. Beim verwendeten Klebstoff in der Verankerungszone handelt es sich um einen bewährten Armierungskleber, der auch für die Verklebungen von CFK- und Stahllamellen im Biegebereich eingesetzt wird. Die Langlöcher werden mit dem Klebstoff gefüllt und das eine Ende der CFK-Lamelle zentrisch hineingestossen. Dieses Ende wurde am Vortag auf der ganzen Verankerungslänge mit dem gleichen Klebstoff mittels eines Spitzzahnspachtels beidseitig beschichtet (Bild 4). Vorgängig wurden natürlich die Abreissgewebe auf dieser Länge entfernt.

Ausziehversuch

Sieben Tage nach Herstellung der Prüfkörper (bei einer Aushärtetemperatur von 18 °C) wurden die Ausziehversuche durchgeführt. Die Betonquader wurden in die Prüfmaschine eingespannt und am herausragenden Ende der Winkel gezogen. Als Lasteinleitung dienten auch hier aufgeklebte GFK-Pads (Bild 5).

Die Ausziehversuche ergaben sehr positive Resultate und bestätigten die hohe Systemkompatibilität zwischen CFK-Winkel und Klebstoff. Bereits sehr kurze Verankerungslängen erlauben eine hohe Ausnützung der mittleren Bruchlast: 100 mm Verankerungslänge erlauben eine Ausnützung der Bruchlast von etwa 60%, 150 mm rund 80% und 200 mm etwa 95% der Bruchlast des nicht umgelenkten Elements [1]. Diese Werte stellen einen unteren Grenzwert dar, da die Winkel im Gebrauchszustand immer auf ihrer ganzen Länge verklebt sind, und deshalb die Verankerungszone nicht derart hoch belastet ist.

Trotz dieser ermutigenden Resultate sollte die Verankerungslänge immer so lang wie möglich gewählt werden (ganze Druckplatte).

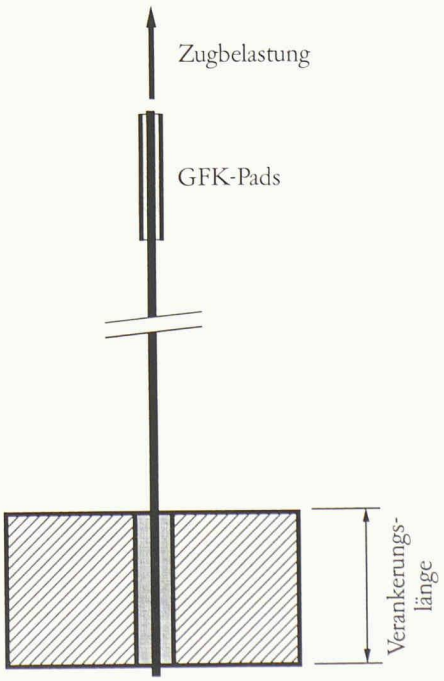
Umlenkbereich

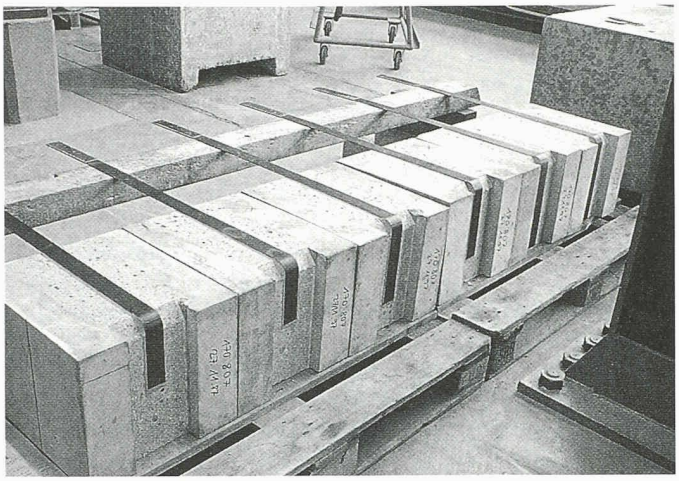
Beim Anblick des eingangs beschriebenen CFK-Winkels fällt auf, dass der für die Bemessung kritische Teil vermutlich der Umlenkbereich sein wird. Um diese Frage zu klären und um Werte für den dafür massgebenden Lastbereich zu erhalten, wurde eine dritte Versuchsserie durchgeführt.

Herstellung der Prüfkörper

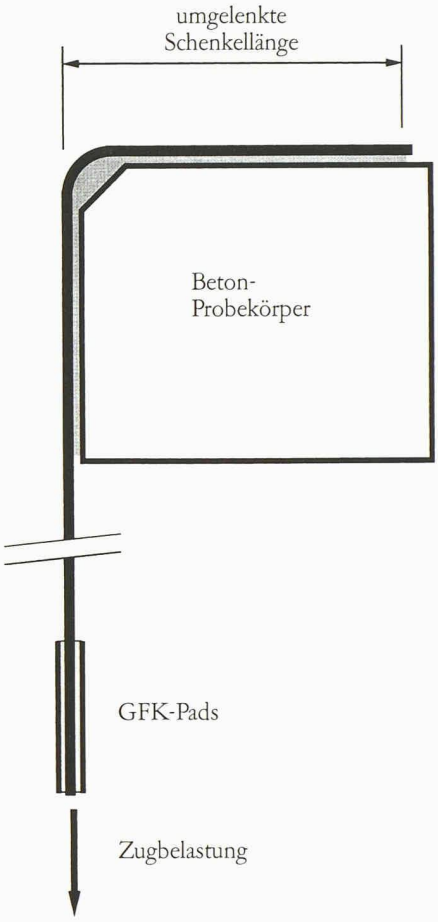
Es wurden Betonelemente gegossen, die einem Stegausschnitt von später für weitere Tests vorgesehenen Plattenbalken entsprachen. Im Umlenkbereich der Win-

5
Zugversuch Verankerungszone, schematisch





6
Prüfkörper und Winkel vor dem Zugversuch (Bild: Empa)



7
Zugversuch Umlenkzone, schematisch

kel wies das Betonelement eine Fase von 30×45° auf. Der CFK-Winkel wurde mit dem Armierungskleber auf die vorgängig geschliffene Betonoberfläche geklebt. Das Abreissgewebe wurde unmittelbar vor dem Beschichten mit Klebstoff abgezogen: ein Einsatz von Lösungsmitteln ist somit nicht mehr notwendig. Der freie Raum zwischen Elementfase und Winkel wurde ebenfalls vorgängig mit Armierungskleber reprofiliert und der Winkel dann nass in nass auf die vorgesehene Klebefläche positioniert. Der längere Schenkel ragte 600 mm über den Elementrand hinaus und war am Ende wieder mit den beschriebenen aufgeklebten GFK-Pads versehen. Um den Einfluss der Klebelänge des umgelenkten Schenkels zu eruieren, wurde diese variiert (150, 225 und 300 mm, Bild 6).

Zugversuch

Nach der Aushärtung bei einer Temperatur von 18 °C wurden die Betonelemente in die Prüfmaschine eingespannt und am freien Schenkel gezogen. Im Zugversuch wurden dann die Last und verschiedene Dehnungen des CFK-Winkels registriert. Die dazu notwendigen Dehnmessstreifen waren direkt vor und nach der Umlenkzone sowie an den Enden des verklebten Bereichs angeordnet (Bild 7).

Die Kraft, die zum Versagen führt, entspricht ungefähr der erreichbaren Ausziehkraft bei 100 mm Verankerungslänge (60% der Zugkraft des nicht umgelenkten Elements) [2]. Die verklebte Länge des umgelenkten Schenkels hat einen geringen Einfluss auf die Versagenslast. Die Versagensursache war nie ein primärer Bruch im Umlenkbereich, sondern immer ein Abscheren des gesamten Winkels.

Folgerungen aus den Vorversuchen

Die Resultate aller Vorversuche an Kleinkörpern sind in Bild 8 zusammengefasst. Diese Resultate waren so vielversprechend, dass die Empa beauftragt wurde, die Versuchsserie auf Plattenbalken aus Beton auszudehnen und in mehreren Grossversuchen die Umsetzung auf realitätsnahe Strukturen zu untersuchen. Die Versuche, Resultate und daraus folgende Modelle sind im Artikel von C. Czaderski, Empa Dübendorf, beschrieben. Weitere Versuche werden im Rahmen eines KTI-Projekts auf dem Aufspannboden der Empa Dübendorf durchgeführt.

8
Resultate der Vorversuche. a: Zugversuch, b: Verankerungszone, c: Umlenkzone

a

Freie Länge [mm]	Mittlere Versagenskraft [kN]	Effizienz [%]
650	126	100

b

Verankerungslänge [mm]	Mittlere Versagenskraft [kN]	Effizienz [%]
100	77	61
150	100	79
200	121	96

c

Umgelenkte Schenkellänge [mm]	Mittlere Versagenskraft [kN]	Effizienz [%]
150	67	53
225	69	55
300	74	59

Adresse des Verfassers:
Heinz Meier, dipl. Ing. HTL, Produkteingenieur/Projektleiter, Sika AG Zürich, Tüffenwies 16-22, 8048 Zürich

Literatur

[1]
Empa-Untersuchungsbericht Nr. 170 469: Betonausziehversuche von CFK-Lamellen, Dübendorf, 1998

[2]
Empa-Untersuchungsbericht Nr. 170 807: Zugversuche an CFK-Winkelprofilen, Dübendorf, 1998