

5. FRP Systeme aus vorgefertigten Laminaten

Bi-direktionale oder uni-direktionale Laminat werden werksmässig auf der Doppelbandpresse oder im Strangzugverfahren hergestellt. Die vorgefertigten Gewebe bzw. die uni-direktionalen Faserstränge werden kontinuierlich im Epoxydharz getränkt und unter Wärmeeinwirkung ausgehärtet. Verfahrenstechnisch bedingt ist eine maximale Faserverfüllung des UD-Laminates von ca. 70 % möglich. Aus den Eigenschaften der Fasern und der Matrix lassen sich theoretisch die Elastizitätskonstanten einer uni-direktionalen Schicht bestimmen. Da der E-Modul sowie die Zugfestigkeit der Matrix für die Berechnung des Laminates vernachlässigbar sind, liegen der E-Modul sowie die Zugfestigkeit des UD-Laminates annähernd bei 70 % der theoretischen Faserkennwerte.

Die S&P Lamellen CFK werden nach einer neuen Herstelltechnik fabriziert. Für die Herstellung von S&P Hybriden werden verschiedene Carbonfasern mit unterschiedlichem E-Modul sowie unterschiedlicher Zugfestigkeit eingesetzt. Normalerweise verläuft der E-Modul eines Hybridlaminates nicht linear. Die hochmoduligen Carbonfasern mit einer tieferen Bruchdehnung reissen früher als die tiefmoduligen Fasern. Im S&P Hybrid hingegen werden die C-Fasern mit der höheren Dehnung beim Herstellvorgang vorgespannt. Dies führt zu einem linearen Verlauf des Elastizitätsmoduls im S&P Laminat.

Während beim Handlaminierten nur mit dem theoretischen Faserquerschnitt und mit den Kennwerten der Faser gerechnet wird, darf beim Verarbeiten der vorgefertigten CFK-Lamellen mit dem Querschnitt des Laminates sowie mit den effektiven Kennwerten des Laminates gerechnet werden.



Bild 3: Einbau einer CFK-Lamelle

S&P Lamelle CFK

Für die Bemessung können die effektiven Kennwerte des Laminates verwendet werden.

Die Kennwerte des Laminates werden durch S&P nach einem ISO 9001 Qualitätskonzept kontrolliert. Die Laminatkennwerte müssen im Unterschied zu den FRP Gelegen/Geweben **nicht durch einen zusätzlichen Reduktionsfaktor abgemindert werden ($\gamma = 1$)**.

Technischen Daten	S&P Laminate 150/2000	S&P Laminate 200/2000
E-Modul für Bemessung (Mitterwert)	165'000 MPa	205'000 MPa
Empfohlene Zugfestigkeit für Biegezugbemessung	1'000 MPa	1'250 MPa
im Bruchzustand	1'300 MPa	1'650 MPa
	6‰	
	8‰	

Spezielle Lamellen CFK beispielsweise mit einem E-Modul von 300'000 N/mm² können hergestellt werden. Infolge der geringen ausnutzbaren Zugfestigkeit ist die Anwendung solcher Laminat jedoch nicht wirtschaftlich.

5.1 S&P Resin 220 Epoxykleber

2-K, Kleber auf Epoxidharzbasis für S&P FRP Systeme

Anwendung

- kraftschlüssiges Verkleben von S&P Lamellen CFK auf Beton, Stahl und Holz

Materialbeschreibung

S&P Resin 220 Epoxykleber ist ein lösungsmittelfreier, thixotroper, grauer 2-K-Epoxidharzkleber der speziell für die Verklebung von Kohlefaserlamellen (S&P Lamellen CFK) entwickelt wurde. Die Materialeigenschaften des frischen und erhärteten Klebers sind auf die speziellen Anforderungen des S&P Bauteilverstärkungssystems abgestimmt. Der Kleber ist im Verbund systemgeprüft für die Bemessungssoftware FRP Lamella.

Vorteile

- verarbeitungsfertig (keine Füllstoffzugabe notwendig)
- verarbeitungsfreundliche Topfzeit
- hohe Klebekraft und Haftfestigkeit
- thixotrop und damit weder verlaufend noch abfließend
- hohe mechanische Festigkeiten
- schwindminimiertes Aushärten
- haftet auf mattfeuchtem Untergrund
- lösungsmittelfrei

Untergrundvorbereitung

Eine Eigenzugfestigkeit des Traggrundes von mind. 1,5 N/mm² ist Voraussetzung für eine Nachverstärkung mit CFK Lamellen. Der Untergrund muss frei von Substanzen sein, welche die Haftung negativ beeinflussen können (Öle, Fette, etc.). Des weiteren muss er staubfrei, sauber, fest und weitgehend trocken sein.

Max. Untergrundfeuchte: 4 %

Betonalter je nach Klima mind. 3 bis 6 Wochen.

Hinweise

Bei Bauteilverstärkungen mit dem S&P FRP System müssen die Zugkräfte aus den Lamellen über den Kleber in den Traggrund eingeleitet werden können. Eine mechanische Bearbeitung (Reinigung) des Untergrundes ist daher immer vorzunehmen. Es können die üblichen Methoden wie Schleifen, Fräsen, Sandstrahlen, etc. eingesetzt werden. Vor der Montage von CFK Lamellen müssen Unebenheiten im Untergrund ausgeglichen werden. Dieser Arbeitsgang ist notwendig, damit bei Zugbeanspruchung keine Umlenkkkräfte entstehen. Auf einer Länge von 200 cm darf der Stich max. 0,5 cm betragen. Geeignetes Material: S&P Resin 230 Ausgleichsmörtel.

Verarbeitung

Mischen:

Die einzelnen Komponenten getrennt aufrühren und dann die Komp. B der Komp. A zugeben und gründlich mischen, bis die Farbe gleichmäßig grau und schlierenfrei ist. Gemischtes Material umtopfen, um eventuelle Mischfehler aufzudecken. Niedertourig (< 400 U/Min.) mischen, um möglichst wenig Luft einzurühren.

Die Lamellenoberfläche muss vor dem Kleberauftrag mit S&P Cleaner gereinigt und entfettet werden.

Eventuell vorgängig Kleber mit einem Spachtel in einer Schichtdicke von ca. 1 mm auf den Untergrund auftragen.

Kleber dachförmig in einer Schichtdicke von ca. 2-3 mm gleichmäßig auf die Lamelle aufbringen.

Innerhalb der Offenzeit des Klebers die Lamelle in die vorgespachtelte Kleberschicht eindrücken und mit Anpressroller gleichmäßig einbetten bis der Kleber beidseitig aus der Fuge gedrückt wird. Verbleibende Mindestkleberdicke: 1 mm, Maximaldicke: 4 mm. Das Aufbringen des Klebers auf die Lamelle erfolgt am besten unter Verwendung eines sogenannten Applikationsschlittens.

Die applizierte Lamelle ist nach Erhärtung des Klebers durch Abklopfen auf vollflächigen Verbund zu prüfen.

Brandschutzanforderungen sind zu beachten, da Epoxykleber nur bedingt temperaturbeständig sind.

Für eine optische Anpassung kann die Lamellenoberfläche überstrichen werden.

Verbrauch

ca. 1,75 kg/m²/mm

Reinigung

Noch nicht erhärtetes Material kann mit S&P Cleaner abgewaschen werden. Erhärtetes Material kann nur noch mechanisch entfernt werden.

Lieferform

Einheiten zu 5 kg und 15 kg (A+B)

Sicherheitshinweise

Sicherheits-, Gefahren- und Entsorgungshinweise können Sie dem Sicherheitsdatenblatt und der Gebindeetikette entnehmen.

Technische Daten

Form	Paste	Komp. A and B
Farbe	hellgrau	Komp. A
	schwarz	Komp. B
Dichte	ca. 1,75 g/cm ³	Komp. A
	ca. 1,75 g/cm ³	Komp. B
Mischungsverh. A:B	4 : 1	in Gewichtsteilen
	4 : 1	in Volumenteilen
Topfzeit	~30 Min.	bei +10 °C
	~60 Min.	bei +20 °C
	~90 Min.	bei +30 °C
Biegezugfestigkeit	> 30 N/mm ²	
Druckfestigkeit	> 90 N/mm ²	
Haftzugfestigkeit	> 3 N/mm ²	auf Beton; 3 Tage; 20°C
	> 3 N/mm ²	auf S&P Lamellen CFK
	> 2 N/mm ²	auf S&P Resin 230 Ausgleichmörtel
	> 14 N/mm ²	Stahl auf Stahl (ohne Primer)

Verarbeitungstemperatur

Verarbeitbar von +10° C bis +35° C

Die Untergrundtemperatur muss mindestens 3° C über der Taupunkttemperatur liegen!

Lagerbedingungen

Die Komponenten A + B sind 1 Jahr lagerfähig. Lagerung bei + 5° C bis + 25° C. Gefrorenes oder unterkühltes Material langsam erwärmen und homogenisieren.

5.2 Oberflächlich geklebte S&P Lamellen CFK

Die S&P Lamelle CFK wird mit dem systemgeprüften Klebstoff S&P Resin 220 schubfest an die Zugzone des Biegebauteils angeschlossen. Dadurch erhält man ein Stahlbetonbauteil mit einem linear-elastisch-plastischen (Betonstahl) und einen ideal-elastischen Zuggurt (S&P Lamelle CFK). Mit Verbundversuchen wurden Rechenansätze der Verbundtragfähigkeit und für die Verankerungslängen formuliert.

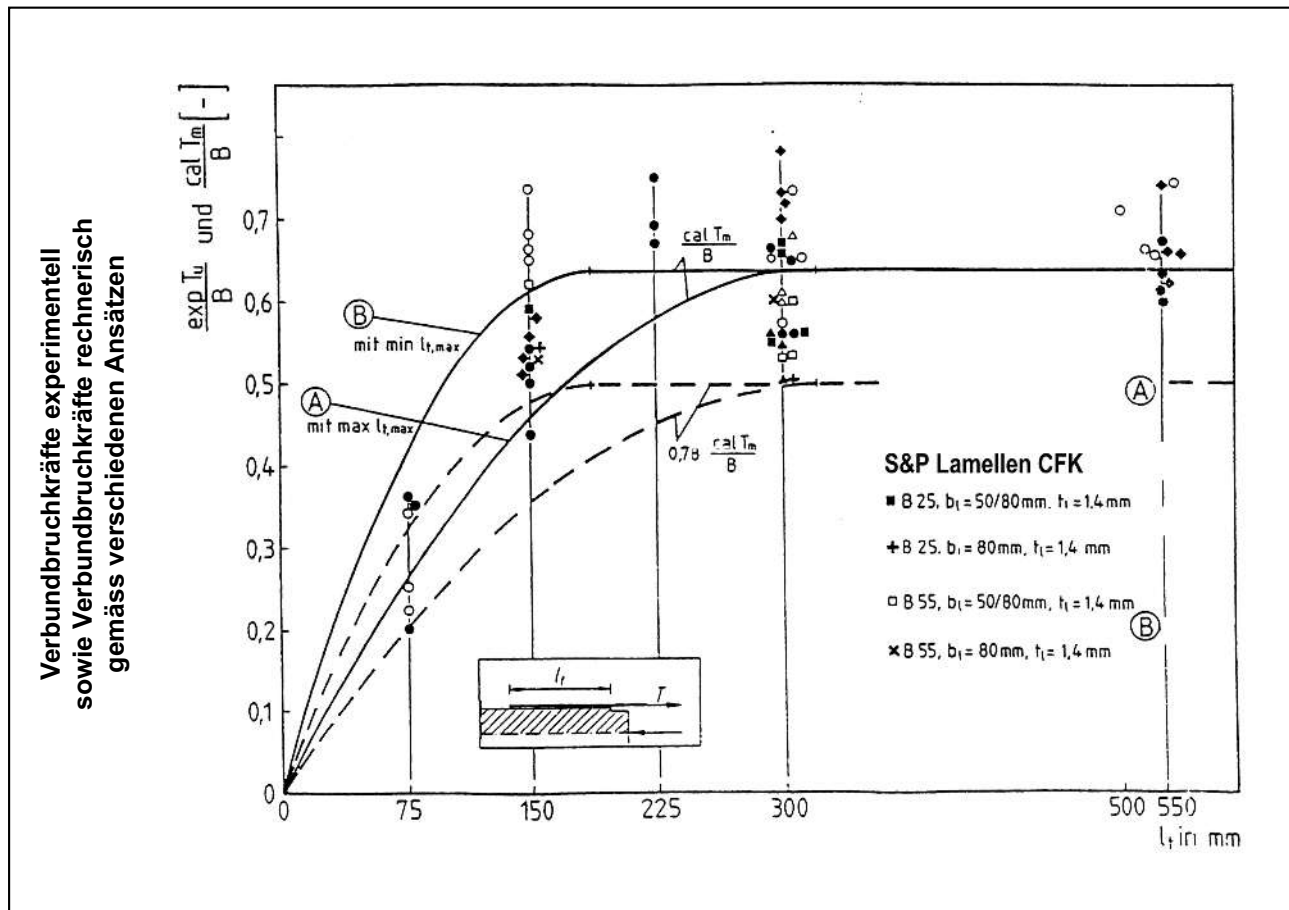


Bild 4: Bezogene Verbundbruchkräfte aller Verbundversuche an CFK-Lamellen in Abhängigkeit von der Verbundlänge (TU Braunschweig D)

Die maximale Verbundkraft wird bei ca. 300 mm Klebelänge der CFK-Lamelle erreicht. Bei grösseren Klebelängen kann die Verbundkraft nicht mehr erhöht werden. Die maximale **Verbundkraft** einer **oberflächlich geklebten CFK-Lamelle** von 80 mm Breite beträgt **ca. 35 – 40 kN**.

Das bestehende Ingenieurmodell des Verbundes geklebter Bewehrung auf Beton beruht im wesentlichen auf der nicht-linearen Spröbruchmechanik und lässt sich für beliebige elastische Lamellenwerkstoffe formulieren. Mit den im Rahmen des Zulassungsverfahrens für S&P Lamellen CFK in Deutschland durchgeführten Verbundversuchen wurde die Übertragbarkeit der bestehenden Ansätze nachgewiesen. Zwischen zwei Biege- oder Schubrisen werden die Verbundkräfte jeweils in den Untergrund eingeleitet. Bei positivem Biegemomentenverlauf wird der Verankerungsnachweis für den theoretischen Endpunkt der Lamelle (Punkt E) geführt. Die in Punkt E verbleibende Restzugkraft der CFK-Lamelle wird über die rechnerische Verbundbruchkraft der Lamelle verankert. Bei negativem Biegemomentenverlauf (Stützmente) wird die Lamelle bis zum Momentennullpunkt geführt und dort mit dem Versatzmass und der Verbundlänge verankert.

Für oberflächlich geklebte S&P Lamellen CFK ist der Verankerungsnachweis in jedem Falle zu führen. Die Software FRP Lamella tätigt den Verankerungsnachweis für S&P FRP Systeme. Die Software basiert auf den Materialkennwerten der S&P Lamine sowie der systemgeprüften Klebstoffe. Werden andere Komponenten verwendet, ist der Nachweis nicht mehr gültig. Unter diesen Umständen wird durch S&P jegliche Haftung abgelehnt.

Im Rahmen von Zulassungsverfahren für die S&P Lamelle CFK in Frankreich, Deutschland, England, Korea usw. wurden die Lamine im Verbund mit Biegebalken geprüft. Beim Versagen des Bauteils betrug die Lamellendehnung ca. 1.3%.

Biegeversuche an schlanken Platten zeigten, dass ein vorzeitiges Delaminieren der CFK-Lamelle teilweise bei einer Grenzdehnung zwischen 0.6 und 0.7 % bereits möglich ist. Die maximale Grenzdehnung für die Bemessung von CFK-Lamellen wurde aus diesem Grunde in international anerkannten Richtlinien sowie in Zulassungsentscheiden bei 0.6 – 0.8 % ϵ festgelegt.

Grenzdehnung im Bruchzustand von schlaff applizierten CFK-Lamellen für Bemessung 6 – 8 ‰ (Biegezugbeanspruchung)

5.3 Endverankerungen von oberflächlich geklebten S&P Lamellen CFK

Steigt die Momentenlinie nahe beim Auflager steil an oder müssen mehrere CFK-Lamellen übereinander geklebt werden, ist es oft nicht möglich, den Verankerungsnachweis zu führen. Unter diesen Umständen werden zusätzliche Endverankerungen am Lamellenende benötigt. Die nachfolgend aufgeführten Varianten sind möglich:

A) Nachverstärkung von Platten

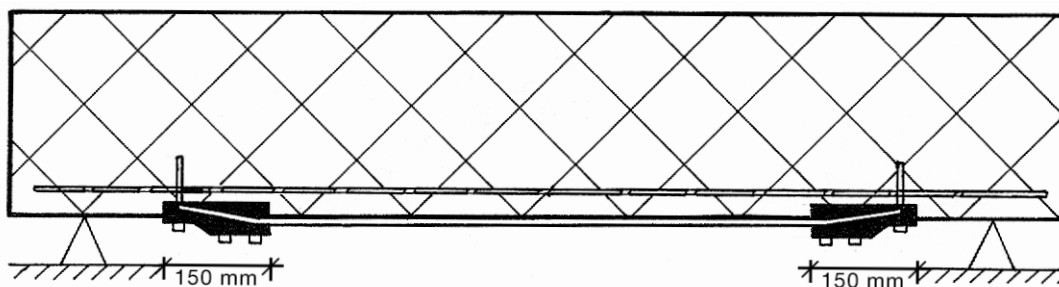
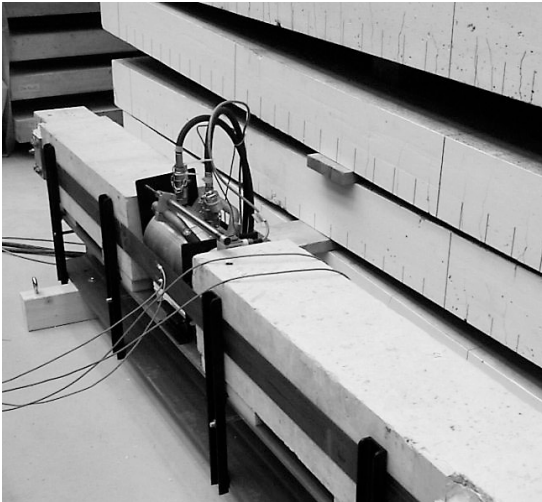


Bild 5: Zum Patent angemeldetes Endverankerungssystem für S&P Lamellen CFK

Durch 2 Aluminiumschuhe an den Lamellenenden wird das frühzeitige Delaminieren von Lamellen verhindert. Diese speziellen S&P Endverankerungen garantieren einen aktiven Anpressdruck auf die Lamelle und durch den erzwungenen Radius werden die Lamellenkräfte optimal in den Stahlbetonquerschnitt eingeleitet.

B) Endverankerungsversuche



An der FH Fribourg und TU München wurden Verbundversuche mit dem S&P Verankerungssystem für schlaff geklebte FRP Lamellen durchgeführt. Hierbei wurden drei verschiedene Betonqualitäten und drei verschiedene Lamelldimensionen getestet. Bei den Versuchen wurde ein unbewehrter Betonblock verwendet. Das Versagen bei allen Versuchen erfolgte durch Betonbruch. Die Bruchkraft ist abhängig von der Betonqualität und der Anordnung der Verankerungsplatten.

Bild 6 : Test an der TU Fribourg, Schweiz

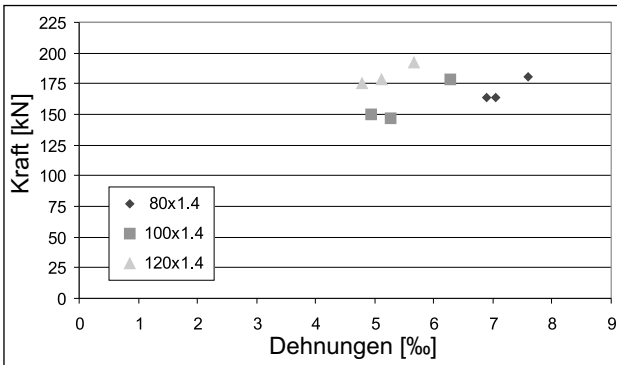


Bild 8 : Test Resultate (für min. Beton Qualität C20/25)



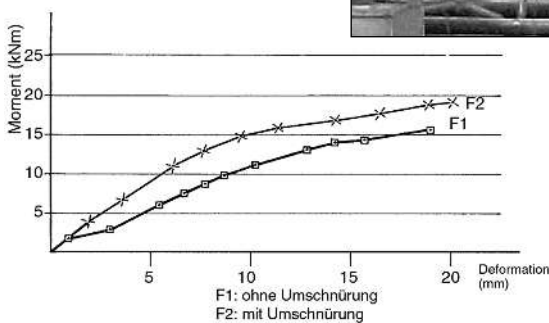
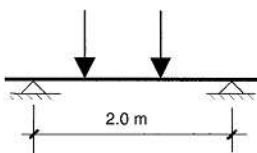
Die Verbundkraft der **verankerten CFRP-Lamellen** von 80 mm breite beträgt **ungefähr 150 kN**.

Bild 7 : Beschädigter Beton

C) Nachverstärkung von Balken

Die Enden der S&P Lamelle CFK werden mit dem S&P C-Sheet 640 umwickelt. An verschiedenen Fachhochschulen sowie technischen Universitäten wurden entsprechende Versuchsreihen durchgeführt.

Testanordnung



Die Tests zeigen, dass das Bruchmoment des umschnürten Balkens um ca. 20% gesteigert werden konnte.

Bild 9: Versuche an der Universität Lissabon (P)

5.4 Eingeschlitzte S&P Lamellen CFK

Die S&P Lamellen CFK 10/1.4 und 20/1.4 mit einer Breite von 10 mm oder 20 mm und einer Dicke von 1.4 oder 2.8 mm werden speziell für das Einschlitzeln in Beton oder in Holzbauteilen hergestellt. Bei der Applikation werden mit einer Betonfräse Schlitze von ca. 5 mm Breite und 12 – 25 mm Tiefe in den Untergrund eingeschnitten. Die Schlitze werden mit dem systemgeprüften Epoxydharzkleber verfüllt. Danach werden die S&P Lamellen hochkant in den Epoxydharzkleber eingelegt.



Bild 10: Einschlitzeln der Betonoberfläche



Bild 11: Auftragen des Klebers

Die Wirkungsweise von eingeschlitzten Lamellen wurde an der TU München (D), der TU Porto (PT) sowie an der TU Rolla (USA) eingehend untersucht. Das Tragverhalten wurde mit Verbundversuchen getestet. Eingeschlitzte Lamellen zeigen eine hohe und robuste Verbundtragfähigkeit auf. Ein Versagen infolge Schubrissversatz, wie bei der aufgeklebten CFK-Lamelle trat nicht ein. **Dadurch konnte die hohe Zugfestigkeit der Lamelle bis zum Versagen der C-Faser ausgenutzt werden.**

Verschiedene Versuchsbalken aus Stahlbeton wurden an der TU München (D) im Dreipunktbiegeversuch mit einer Stützweite von 2.5 m geprüft.

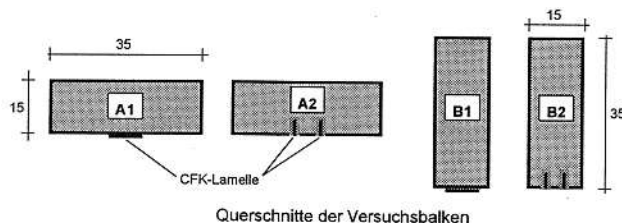


Bild 12: Versuchsaufbau

Es wurde jeweils eine CFK-Lamelle 50/1.2 oberflächlich aufgeklebt oder 2 CFK-Lamellen 25/1.2 eingeschlitzelt.

- Bei Versuchsbalken A1 und B1 erfolgte das Versagen durch Abschälen der CFK-Lamelle.
- Bei Versuchsbalken A2 erfolgte das Versagen durch einen Zugbruch der eingeschlitzten Lamelle.
- Bei Versuchsbalken B2 mit geringer Schubbewehrung aus Stahl erfolgte ein Schubversagen im Beton.

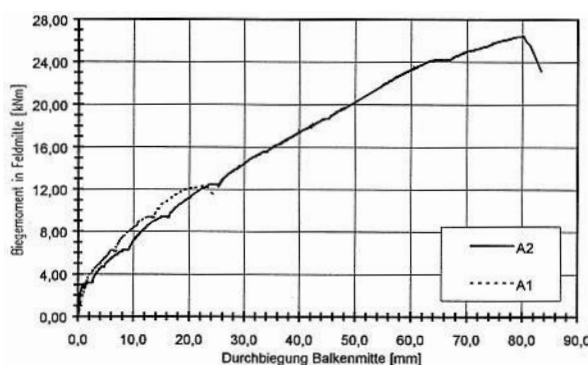


Bild 13: Momenten-Durchbiegungslinie der Versuche A1 und A2

Interpretation Versuchsbalken A

Bei gleicher Steifigkeit konnte die Bruchlast dank der Einschlitzlamelle mehr als verdoppelt werden. Dies ist auf die hohe Ausnutzung der CFK Zugfestigkeit zurückzuführen.

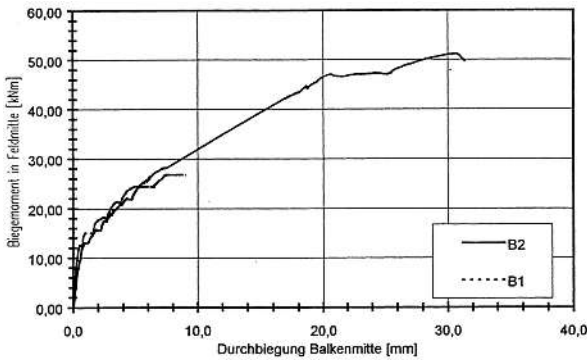


Bild 14: Momenten-Durchbiegungskurve der Versuche B1 und B2

Interpretation Versuchsbalken B

Das Last-Verformungsverhalten ist nahezu identisch. Mit Ausnahme der Tatsache, dass der Balken mit der eingeschlitzten CFK-Lamelle eine wesentlich höhere Bruchlast erreichte.

Vorteile der eingeschlitzten Lamelle

- Da grössere Kräfte verankert werden können, wird die Lamelle besser ausgenützt; somit wird ein geringerer Lamellenquerschnitt benötigt.
- Die Qualität des Untergrundes (Oberflächen-Zugfestigkeit) ist von untergeordneter Bedeutung. Einschlitzlamellen können auch in schlechte Untergründe (Mauerwerk) Kräfte einleiten.
- Einschlitzten ist oft preiswerter als das Ausgleichen und Aufräumen für oberflächlich geklebte Lamellen.
- Die Einschlitzlamelle ist gegen mechanische Beschädigung geschützt. Das Verhalten im Brandfall ist günstiger. Brandschutzmassnahmen werden massgeblich preiswerter ausfallen.

Das ideale **Einsatzgebiet** für die Einschlitzlamelle ist die Verstärkung des Negativmomentes (Stützmoment).

**Grenzdehnung im Bruchzustand von eingeschlitzten
S&P Lamellen CFK für Bemessung 10 – 12 ‰
(Biegezugbeanspruchung)**

Die Bemessung der S&P Einschlitzlamelle erfolgt mit der Software FRP Lamella.

5.5 Vorspannsystem für S&P Lamellen CFK

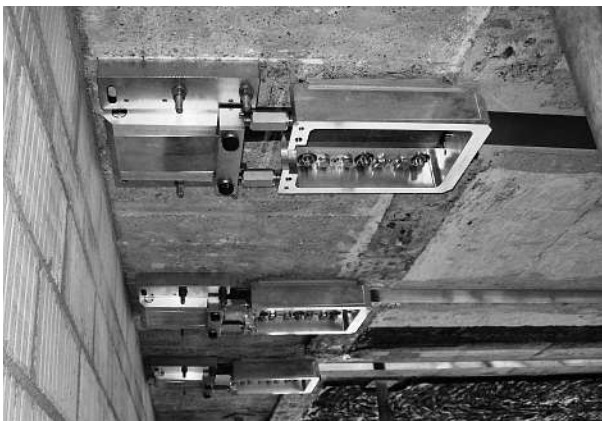


Bild 15/16: Das neue Vorspannsystem ist sehr leicht, da mehrheitlich aus Aluminium.

Durch S&P wurde ein Vorspannsystem für S&P Lamellen CFK entwickelt und zum Patent angemeldet. Durch ein weltweites Netz von spezialisierten Verarbeitern wird das System exklusiv genutzt.

Plattenversuche

Durch die Technische Universität Fribourg (CH) wurde anlässlich einer Versuchsreihe eine Betonplatte mit schlaffen sowie vorgespannten S&P Lamellen CFK verstärkt. Die Bruchversuche der Serie Lamellentyp 80/1.2 werden in Kurzform aufgezeigt. Verlangen Sie den ausführlichen Bericht bei S&P oder dem Systemverarbeiter.

Versuchsanordnung

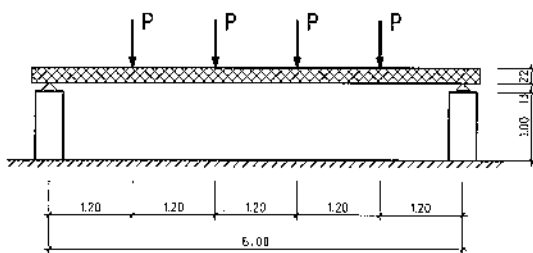


Bild 17: Versuchsaufbau

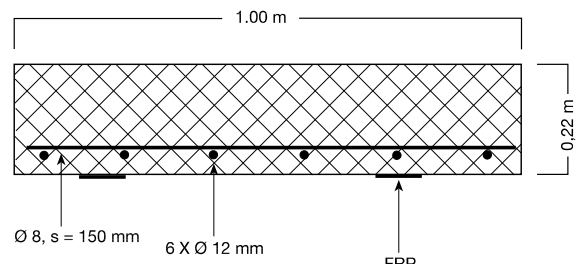


Bild 18: Querschnitt der Betonplatte

	Stahl		FRP	Vorspannung ‰	Vorspannung (N/mm ²)	Vorspannkraft (kN)
	längs	quer				
Referenz LC1	6 Ø 12	(Ø8 s=150)	0	0	0	0
LC5	6 Ø 12	(Ø8 s=150)	2 S&P Laminates CFK 150/2000, Type 80/1.2	0	0	0
LC2	6 Ø 12	(Ø8 s=150)		4.0	640	2x61 = 122
LC4	6 Ø 12	(Ø8 s=150)		6.0	960	2x92 = 184

Tabelle 1: Tabelle zum Versuch

Versuchsergebnisse

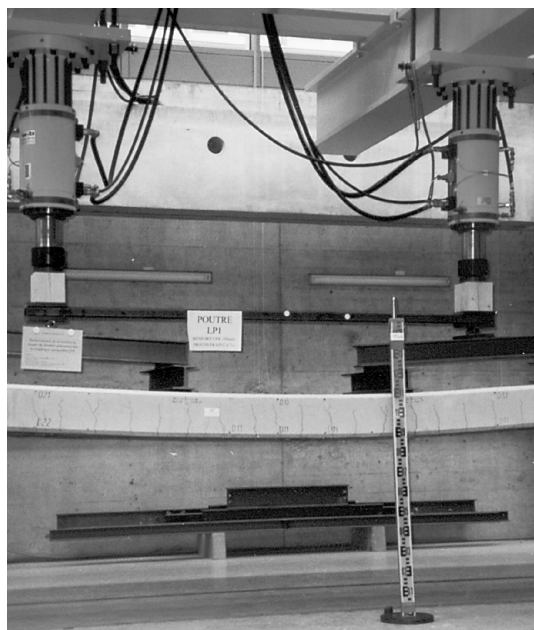


Bild 19: Prüfanlage Technische Universität Fribourg, CH

Im Gebrauchszustand zeigt sich eine starke Verringerung der Durchbiegung und Rissbreiten für die mit vorgespannten S&P Lamellen CFK verstärkten Versuchsplatten. Infolge der überlagerten Normalkraft verbleiben die Betonquerschnitte bis über die maximalen Gebrauchslasten im ungerissenen Zustand I.

Im Bruchzustand kann eine starke Erhöhung der Bruchlast festgestellt werden, bei wesentlich größeren Durchbiegungen gegenüber LC5. Die Erhöhung des Bruchwiderstandes beträgt für die mit schlaffen S&P Lamellen CFK verstärkten Versuchsplatten 32%; für die vorgespannten S&P Lamellen CFK beträgt die Erhöhung 82% bei einer Vordehnung von 4‰ und 93% bei einer Vordehnung von 6‰. Die gemessenen Bruchdehnungen der vorgespannten S&P Lamellen CFK wurden im Vergleich zu den schlaff geklebten S&P Lamellen CFK um die jeweilige Vorspannkraft erhöht.

S&P Lamelle CFK	Betonplatte	Bruchkraft (kN)	Bruchmoment (kNm)	Bruchmoment (%)
–	LC1 Referenz	16.4	82.6	100
2 x 80/1.2	LC5 FRP	24.0	109.4	132
2 x 80/1.2	LP2 FRP 4‰	35.3	150.1	182
2 x 80/1.2	LP4 FRP 6‰	37.9	159.4	193

Tabelle 2: Bruchkraft/Bruchmoment

Schlussfolgerung

Die Vorspannung der S&P Lamelle CFK übt einen sehr positiven Einfluss auf das Verhalten von verstärkten Stahlbetonbauten aus. Im Gebrauchszustand werden Verformungen und Rissbildung reduziert. Das aufnehmbare Bruchmoment wird wesentlich erhöht.

Mit den leichten S&P Vorspannpresen ist es möglich, die S&P Lamellen CFK auf die Dehnung von 6‰ vorzuspannen. Das System eignet sich speziell für das Verstärken von Stahlbetondecken mit grossen Spannweiten.

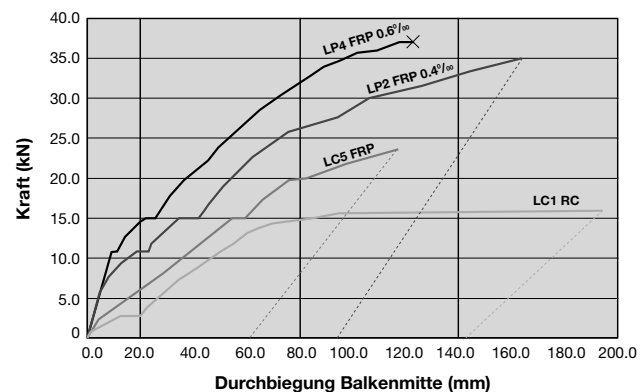


Bild 20: Versuchsergebnisse HTA Friburg (CH)

Balkenversuche

An der Universität in Gliwice (Polen) wurden anlässlich einer Forschungsarbeit Biegebalken mit schlaffen sowie vorgespannten S&P Lamellen CFK verstärkt

Anhand der Versuchsreihe sollte das Verhalten der Träger unter Last analysiert werden. Zusätzlich sollte der Einfluss des Vorspanngrades auf die Wirksamkeit der Nachverstärkung erarbeitet werden.

Die Bruchversuche der Serie Lamellentyp 90/1.4 werden nachfolgend in Kurzform aufgezeigt.

Versuchsergebnisse

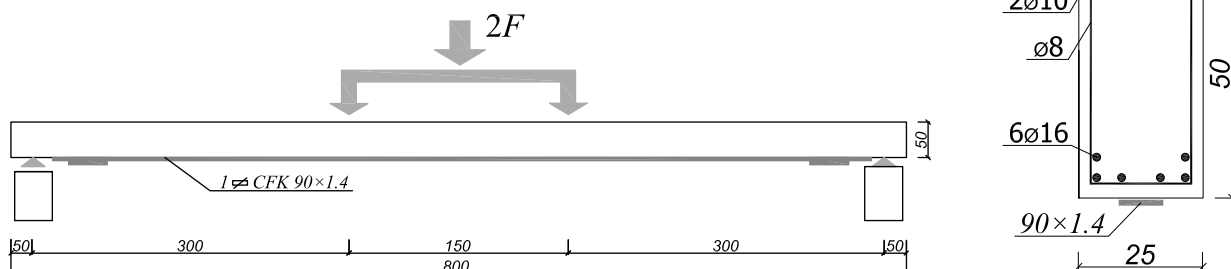


Bild 21: Versuchsaufbau / Querschnitt

Balken	Stahl	S&P Lamelle CFK	Vorspannung ‰	Vorspannung (N/mm ²)	Vorspannkraft (kN)
B1 Referenz	6 Ø 16mm (fy=340N/mm ²)	S&P Laminate CFK 150/2000 Type 90/1.4	0	0	0
B4 C FRP			0	0	0
B1 C-FRP 3‰			3.0	495	62
B6 C-FRP 6‰			6.0	990	125

Tabelle 3: Tabelle zum Versuch

Versuchsergebnisse

Die verstärkten Träger weisen eine enorme Erhöhung an Biegetragfähigkeit im Gebrauchszustand als auch im Bruchzustand auf.

Die Balken mit vorgespannten Lamellen haben unter identischer Last eine geringere Durchbiegung gegenüber den Balken mit schlaffen Lamellen.

Bei allen verstärkten Trägern konnte man eine starke Verringerung der Rissbreite feststellen. Das plötzliche Versagen eines mit vorgespannten Lamellen CFK Balkens ist sehr unwahrscheinlich.

Im Bruchzustand kann eine starke Erhöhung der Bruchlast festgestellt werden. Die Erhöhung des Bruchwiderstandes beträgt für die schlaffen S&P Lamellen CFK verstärkten Versuchsbalken 33% gegenüber dem Referenzbalken. Bei den vorgespannten S&P Lamellen CFK beträgt die Erhöhung 42% bei einer Vordehnung von 3‰ und 58% bei einer Vordehnung von 6‰.

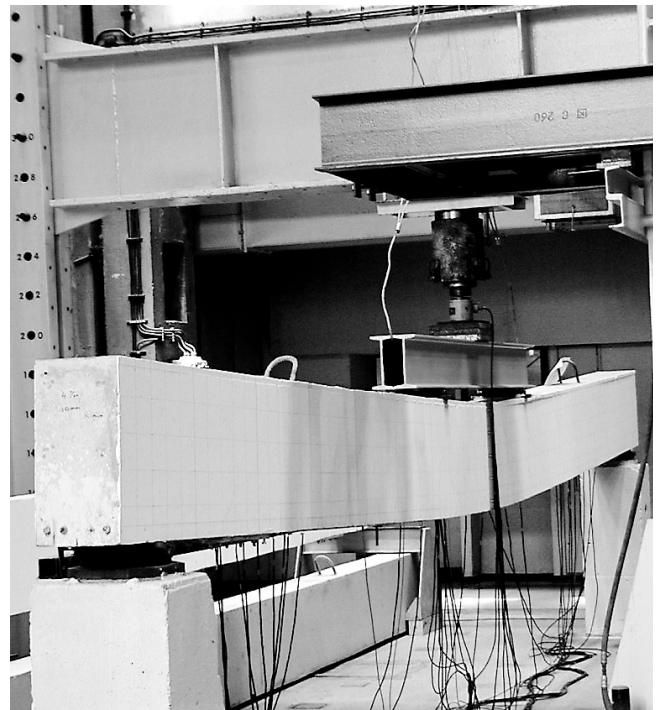


Bild 22: Versuche an der Universität in Polen

S&P Lamelle CFK	Betonbalken	Bruchkraft (kN)	Bruchmoment (kNm)	Bruchmoment (%)
	B5 Referenz	122.0	204.1	100
90/1.4	B4 C-FRP	166.2	270.4	133
90/1.4	B1 C-FRP 3‰	178.6	289.0	142
90/1.4	B6 C-FRP 6‰	201.6	322.7	158

Tabelle 4: Bruchkraft/Bruchmoment

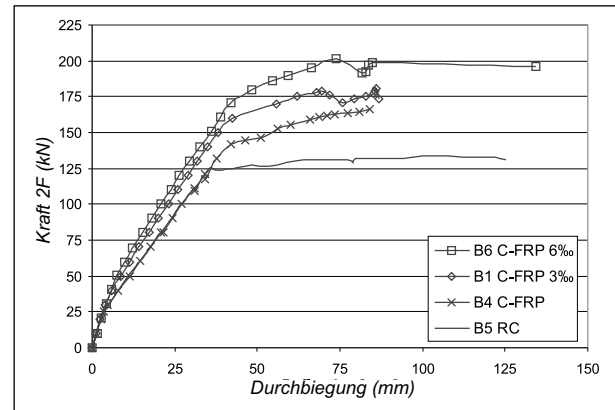
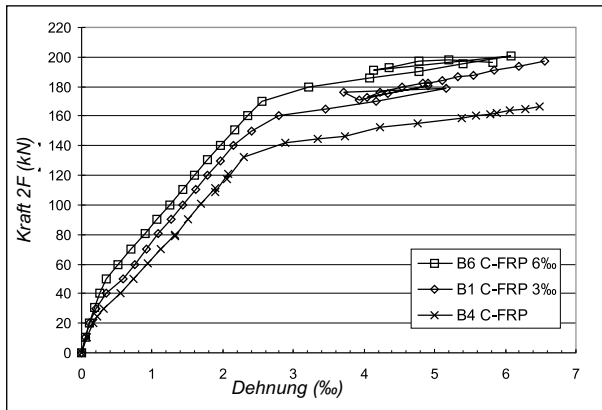


Bild 23/24: Versuchsergebnisse: Dehnungen in den Lamellen und Durchbiegungen

Schlussfolgerung

Wie für Platten, welche mit S&P Lamellen CFK extern vorgespannt wurden, wurden auch für Balken positive Resultate gefunden. Die Durchbiegung und Rissöffnung wurde reduziert. Die Bruchlast konnte markant gesteigert werden.

Die Grenzdehnung für die Bemessung im Bruchzustand von vorgespannten CFK Lamellen wird um die Vorspanndehnung erhöht und beträgt somit 10 – 12 ‰

Viele Anwendungen im Brückenbereich werden möglich:

- Nachverstärkung von überbelasteten Bauteilen
- Externe Vorspannung von Brücken mit korrodierten, internen Spannkabeln
- Sanierung von Koppelfugen