



*Prof. Dr. Leander Bathon
Fachhochschule Wiesbaden,
D*

Faserverstärktes Leimholz – erste Forschungsergebnisse und Anwendungsperspektiven

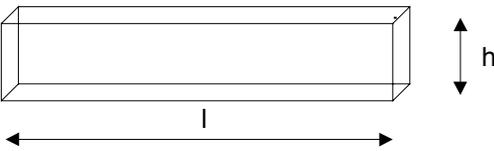
Faserverstärktes Leimholz – erste Forschungsergebnisse und Anwendungsperspektiven

Aufgabenstellung und Zielsetzung der Arbeit

Die Streuung der Festigkeit und Steifigkeit von BS-Holzträger ist gross, obwohl die bei der Herstellung verwendeten Lamellen nach ihrer Güte sortiert werden. Ursache für diese Streuungen sind insbesondere die unterschiedlichen Zugfestigkeiten der Lamellen und deren Keilzinkenverbindungen. Diese Gegebenheit führt bei Biegeträgern aus BS-Holz zu einer erheblichen Minderung der zulässigen Biegefestigkeit. Zur Verbesserung dieses Phänomens können Biegesysteme in BS-Holz bewehrt werden. Weltweit gibt es Bestrebungen Bewehrungssysteme für BS-Holz Anwendungen zu entwickeln. Die hier vorgestellte Bewehrung erfolgt durch kohlenfaserverstärkten Kunststoff (CFK).

Die inmittenstehende Forschungsarbeit ist ein Pilotprojekt, um die Auswirkungen der CFK-Verstärkung an Brettschichthölzer auf deren Tragfähigkeit insbesondere Biegezugfestigkeit zu untersuchen..

Zu diesem Zweck werden drei Serien CFK bewehrte Biegeträger aus BSH mit jeweils unterschiedlichen Biegeschlankheiten und Bewehrungsgraden hergestellt.



Serie	Trägerhöhe h [cm]	Trägerlänge l [cm]	Biegeschlank- heit h/l [-]	Bewehrungsgrad α [‰]
A	50	520	10	2.8
B	30	520	17	4.7
C	36	880	24	3.9

Abbildung 1: Biegeschlankheit und Bewehrungsgrad Trägerserie A bis C

Für jede Serie wurden drei Träger mit aufgeklebter CFK- Lamelle und ein Referenzträger ohne Faserverstärkung hergestellt. Die CFK- Lamelle wurde in der vollen Trägerlänge am Biegezugrand aufgeklebt, jedoch nicht über das Auflager gezogen.



Das eingesetzte CFK Hybrid in der Lamelle kann durch einen neu entwickelten Herstellungsprozeß entscheidend kostengünstig hergestellt werden. Zudem lässt sich die Zugfestigkeit und E-Modul der Lamelle variieren.

Ziel der Versuche ist es, durch das Anbringen der CFK- Faserverstärkung in der vollen Trägerlänge, Schwachstellen in den Holzlamellen, wie Keilzinkenverbindungen und Äste, zu überbrücken. Der hohe Elastizitätsmodul von CFK- Lamellen soll eine Erhöhung der Biegesteifigkeit des gesamten Verbundwerkstoffes herbeiführen. Damit sollen die Biegespannungs- und Durchbiegungswerte minimiert werden, um somit eine verbesserte Tragfähigkeit und Nutzung zu erzielen. Dies bedeutet bei gleicher Spannung eine erhebliche Reduzierung des Holzquerschnittes. Ausserdem will man bei den Biegeversuchen Aufschluss erlangen, ob es möglich ist, das Biegezugversagen des Holzes auszuschliessen.

Über die Tragfähigkeit und das Tragverhalten des bewehrten BS-Holzes (in CFK) liegen zur Zeit keine Erkenntnisse vor. Zur ungefähren Einschätzung des Tragverhaltens der bewehrten Brett-schichtholzträger werden den Laborversuchen vorausgehend einige Modelluntersuchungen vorgeschaltet. Dabei werden Computerberechnungen mittels Finite-Elemente-Methode (FEM) durchgeführt.

Beschreibung der Biegeträger

Für die Biegeversuche werden drei Serien Biegeträger unterschiedlichen Querschnitts und Trägerlänge verwendet. Jede Serie besteht aus drei mit CFK- Lamellen bewehrtem Brettschichtholzträgern und einem Referenzträger ohne Bewehrung.

Trägeraufbau:

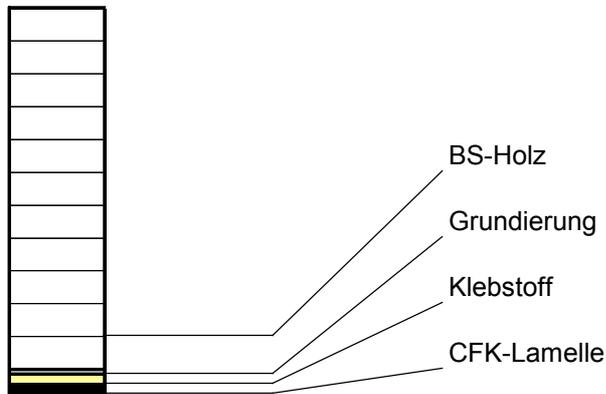


Abbildung 2: Aufbau des Trägerquerschnitts

Eigenschaften der verwendeten Materialien

- **Brettschichtholz (BS-Holz)**

Für alle Prüfungen wurde BS-Holz der Festigkeitsklasse BS-14 verwendet.

- **Grundierung zur Vorbereitung der Holzoberfläche**

Als Grundierung hat man sich für die Verwendung eines lösemittelfreien nicht pigmentierten 2-komponentigen Epoxidharzes entschieden.

Als günstige Eigenschaften, bei Verwendung des Harzes in Verbindung mit Fichtenholz sind zu nennen:

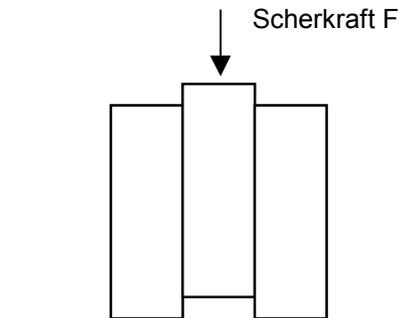
Das Epoxidharz ist niedrig viskos und ermöglicht durch die hohe Kapillaraktivität ein tiefes Eindringen in die Holzfasern. Im gehärteten Zustand ist es mechanisch und chemisch hoch belastbar.

- **Klebstoff**

Bei der Wahl des Klebstoffs ist es von entscheidender Bedeutung, daß eine kraftschlüssige Verbindung zwischen Holz und CFK-Lamelle gewährleistet wird. Nur so kann ein vollständiger Verbundwerkstoff hergestellt werden. Dabei bestand beim Applizieren der verwendeten CFK-Lamelle mit dem Werkstoff Holz noch keine Erfahrung. Um die Tragfähigkeit zwischen Kleber und Holz besser abschätzen zu können wurden Scherversuche durchgeführt.

Durchführung von Scherversuchen zur Wahl des Klebstoffs:

Scherversuch EN 302 / T4



Bei den grundierten Probekörpern wurde die Holzoberfläche vor der Klebung, mit Grundierung versiegelt.

Die höchsten Scherkräfte weist dabei der 2-komponentige-Epoxidharzkleber (Bezeichnung SK41) mit Grundierung auf.

Probe Nr.	Klebstoff	Grundierung	Scherfläche [cm ²]	Scherkraft [kN]	Schersp. [N/mm ²]	Rißbild % Holzausriß
A	SK41	X	442.2	236.8	5.36	100
B	SK41	X	442.2	233	5.27	100
C	SK41	X	440	238.7	5.43	100
D	SK41		440	209.4	4.75	100
E	SK41		440	183.8	4.18	90
F	SK41		448	209.9	4.69	100
G	PUK	X	456	186.6	4.09	20
H	PUK		448.4	76.4	1.71	0

- **CFK-Lamelle**

Kohlefasern zeichnen sich durch eine geringe Rohdichte, hohe Festigkeit, gute Ermüdungseigenschaften und eine hohe Korrosionsfestigkeit aus. Diese Eigenschaften sollen es möglich machen, Kohlefaserlaminat im konstruktiven Holzbau so einzusetzen, daß ein qualitativ hochwertiger Verbundwerkstoff hergestellt werden kann.

Da die CFK-Lamelle am Biegezugrand des BS-Holz-Trägers appliziert werden soll, ist es bei der Wahl der Lamelle entscheidend, eine hohe Zugbruchfestigkeit gepaart mit einem hohen Elastizitätsmodul sicherzustellen.

Eine neu entwickelte Herstellungsmethode macht es möglich CFK-Lamellen mit einem stahläquivalenten E-Modul wirtschaftlich herzustellen. Dabei werden bei den zur Anwendung gekommenen *CFK-Hybride 210 GPa*, tiefmodulige Carbonfasern durch Vorspannung der Fasern und anschließender Epoxid-Harz-Verleimung hergestellt.

Materialkennwerte des zum Einsatz gekommenen CFK-Hybrids:

E-Modul CFK-Hybrid	210 - 230 GPa
Zugfestigkeit	2400 - 2500 N/mm ²

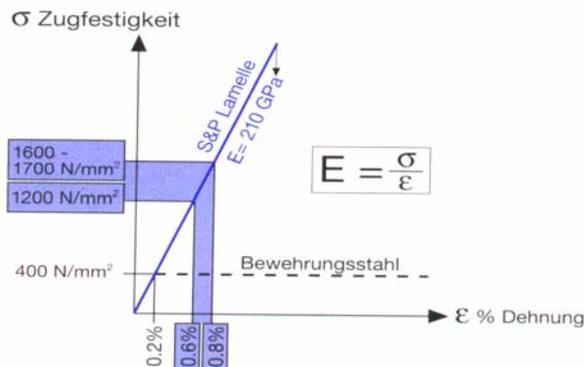


Abbildung 3: Zugfestigkeit des CFK-Hybrids

Es soll in den Biegeversuchen gewährleistet sein, daß eine maximale Grenzdehnung der CFK-Lamelle von 0,8 % nicht überschritten wird. Die obere Lamellendehnung bei Zugbelastung beträgt 1,3 %.

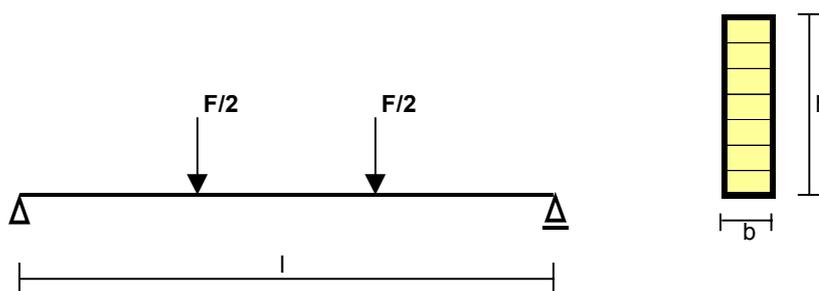
Biegeversuche

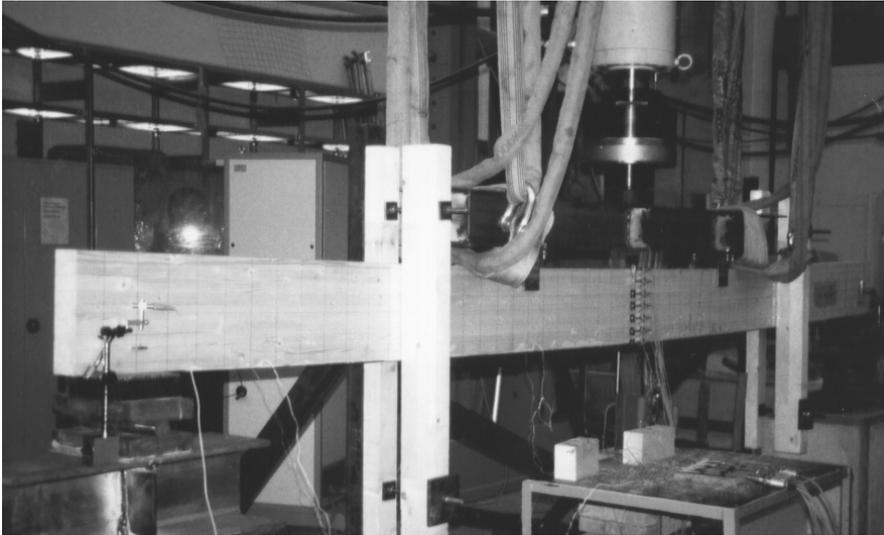
Anordnung der Biegeträger

Die Versuche werden auf einer 1000kN Biegeprüfmaschine an der MPA des Fachbereiches Bauingenieurwesen der FH Wiesbaden durchgeführt. Die Biegeträger werden am Auflager und an den Lasteinleitungen zur Kippsicherung seitlich gehalten.

Statisches System und Belastungseinrichtung:

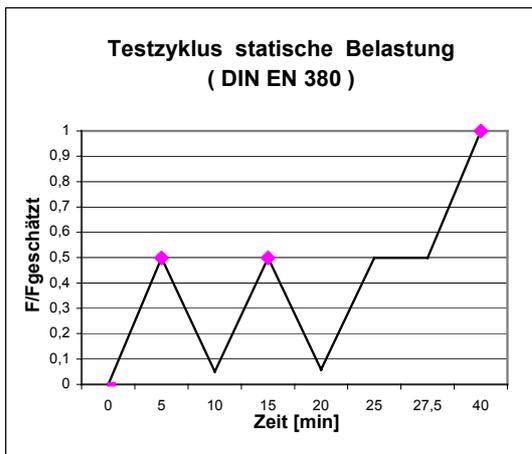
Querschnitt:





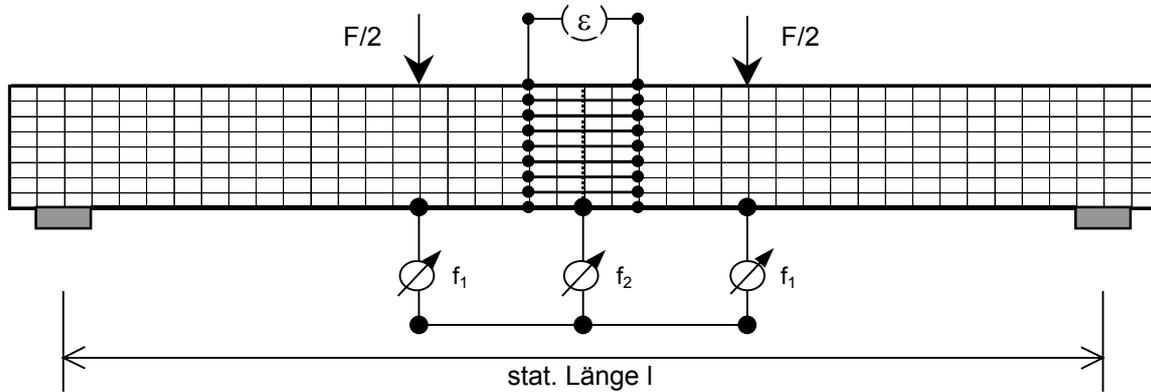
Belastungszyklus

Die Grundlage dieses Prüfverfahrens besteht darin, ein Tragsystem über einen festgelegten Zeitraum einem festgelegten Belastungssystem zu unterziehen. Dabei werden die beobachteten Verformungen zur Messzeit fortlaufend aufgezeichnet und zur späteren Auswertung abgespeichert.



Anordnung der Messstellen

Für die Messung der Durchbiegung an den Lasteinleitungspunkten und in der Mitte des Biegeträgers werden LVDT's eingesetzt. Die Dehnungsmessung in Trägermitte am Holzquerschnitt über die komplette Querschnittshöhe und an der CFK-Lamelle erfolgt durch Verwendung von Dehnungsmesstreifen (DMS).



f_i = Durchbiegungsmessung

ε = Dehnungsmessung im Querschnitt

Testergebnisse bei Bruchlast

Träger	BRUCH		RANDDEHNUNG im Holzquerschnitt	
	Kraft [kN]	Durchbiegung [mm]	Druck [mm/m]	Zug [mm/m]
Serie A				
B 50 ohne CFK	168.7	56.4	-3	3.1
BC 50 mit CFK	169.3	49.1	-2.55	2.4
Differenz [%]	0.4	12.9	0.2	38
Serie B				
B 30 ohne CFK	56.2	68.8	k. Messg.	2.6
BC 30 mit CFK	95.1	112.6	k. Messg.	4.8
Differenz [%]	69.2	63.7	k. A.	84.6
Serie C				
B 36 ohne CFK	38.3	119.3	-2.2	2.35
BC 36 mit CFK	62.6	183.1	-3.82	3.4
Differenz [%]	63.4	53.5	73.6	44.7

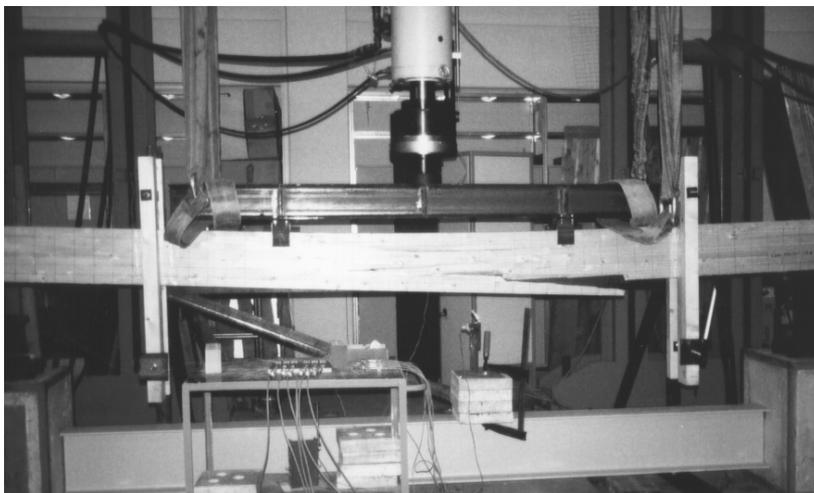
Zusammenfassung

Ziel der Versuche war es, durch applizieren einer kohlefaserverstärkten Kunststofflamelle am Biegezugrand des Brettschichtholzträgers, das Tragverhalten von Brettschichtholz zu verbessern. Zu diesem Zweck wurden drei Serien CFK verstärkte Brettschichtholzträger mit jeweils unterschiedlichen Abmessungen (Biegeschlankheiten) und Eigenschaften (Bewehrungsgraden) getestet. Durch die Prüfung eines Referenzträgers ohne Faserverstärkung, wurde eine Bezugsgrösse festgelegt.

Die Biegeversuche im Labor wurden nach EN 380 durchgeführt. Dabei brachte man die Probelastung erst durch einen Belastungszyklus im elastischen Bereich des Holzes auf, um es anschliessend im Bruchzyklus, bis zum plastischen Versagen des Trägers zu beanspruchen.

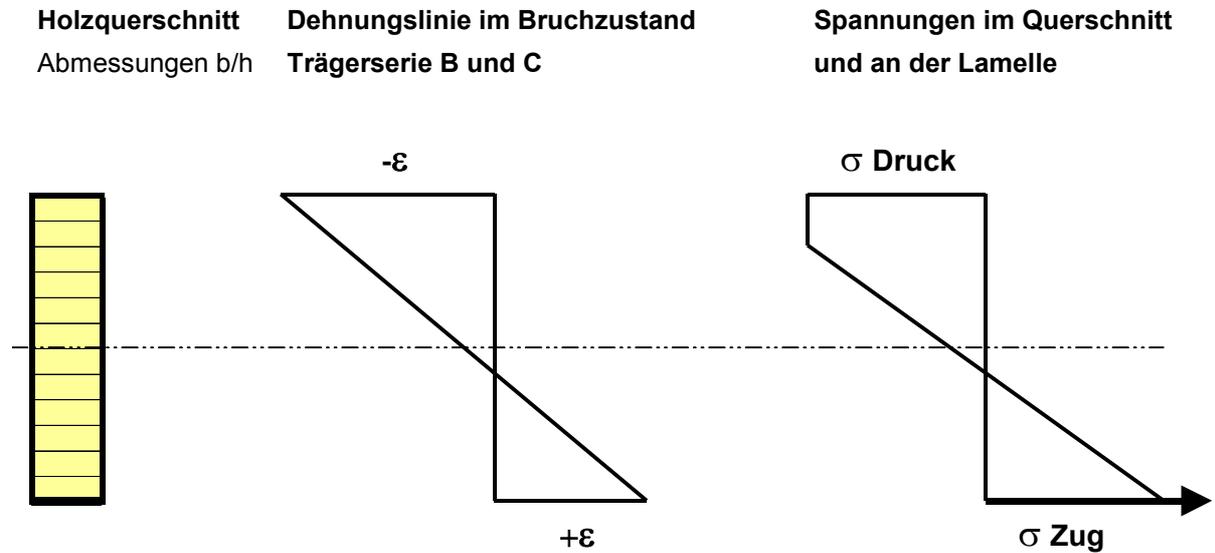
Umfangreiche Dehnungsmessungen im Querschnitt, sowie auf der CFK-Lamelle, erlaubten es, die Biegespannungen im Holzquerschnitt, als auch die Zugspannung in der CFK-Lamelle zu ermitteln. Für den elastischen Bereich des Tragsystems gab es eine weitestgehende Übereinstimmung zwischen den Laborversuchen und der zuvor am Computer simulierten Situation.

Die Belastung der Biegeträger bis zum Bruch, sollte über die Tragfähigkeit und das Tragverhalten des Verbundwerkstoffes im plastischen Bereich Aufschluss geben. Dabei hat sich gezeigt, dass die Steigerung der Tragfähigkeit sehr deutlich auffiel. Die Bruchlast der faserverstärkten Biegeträger konnte in einem Versuch bis zu 93 %, gegenüber herkömmlichen BS-Holz Träger, gesteigert werden. Bei einem Bewehrungsgrad von 0,47% ist dies eine beachtliche Steigerung.



Basierend auf der Dehnungsmessung im Holzquerschnitt und der Lamelle wurde ein Spannungs-/Dehnungsdiagramm erstellen. Die Aufzeichnung der Dehnungen im Verbundquerschnitt soll Aufschluss geben, ab welcher Spannung das Holz in den plastischen Bereich geht und ob eventuell auch die CFK-Lamelle im Grenzbereich ihrer Zugfestigkeit beansprucht wird. In einem zweiten Teil der wissenschaftlichen Untersuchungen dieses Systems werden Bemessungsansätze definiert und appliziert. Bemessungsansätze sollten grundsätzlich so konzipiert sein, dass mit dem Ausfall der CFK-Verstärkung der Restquerschnitt in der Lage ist, die planmässige Einwirkung mit einem Sicherheitsfaktor von 1,1 aufzunehmen.

Spannungs-/Dehnungsdiagramm:



Bei den zwei Trägerserien mit grösserer Biegeschlankheit (Serie B und C) zeigte sich ein ausgeprägtes plastisches Verformungsverhalten in der Druckzone. Bei der Serie A, mit geringerer Biegeschlankheit, konnte ebenfalls beim Referenzträger ohne Faserverstärkung Biegezugversagen des Holzes beobachtet werden. Die faserverstärkten Träger wiesen dagegen einen anderen Bruchmechanismus auf. Hier versagte der Holzquerschnitt in Folge der hohen Lastaufbringung durch Schubversatz zunächst im Auflagerbereich und dann in der ganzen Trägerlänge. Dies bedeutet, dass die Bewehrung des Trägers den Versagensmechanismus änderte. In diesem Fall könnte man durch eine „Schubeinspannung“ gegebenenfalls die Bruchlast weiter erhöhen.



Anwendungsperspektiven

Die Anwendungsperspektiven können grundsätzlich in zwei Bereiche eingeteilt werden. Zum einen gibt es auf dem Gebiet der Ertüchtigung von bestehenden Tragsystemen eine Vielzahl von Möglichkeiten, z.B. Unterzüge, Balken, Stützen. Zum anderen lassen sich neue Tragsysteme in gleicher Weise verstärken, sowie in Bezug auf Verbundsysteme (z.B. Holz-Beton-Verbund) ganz neuartige, abgestimmte und optimierte Leistungssystem entwickeln.

Um bewehrte Tragsysteme effektiv einsetzen zu können ist es allerdings auch notwendig, leistungsfähige Verbindungssystem zur Verfügung zu haben, die in der Lage sind die hohen konzentrierten Kräfte verschiedener Bauteile zu koppeln. Hierzu gibt es neuartige Entwicklungen, die einen Lösungsansatz geben.