Weiterentwicklungen von CFK-Lamellen

Autor(en): **Scherer, Josef**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **114 (1996)**

Heft 44

PDF erstellt am: **16.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-79073

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Josef Scherer, Brunnen

Weiterentwicklungen von CFK-Lamellen

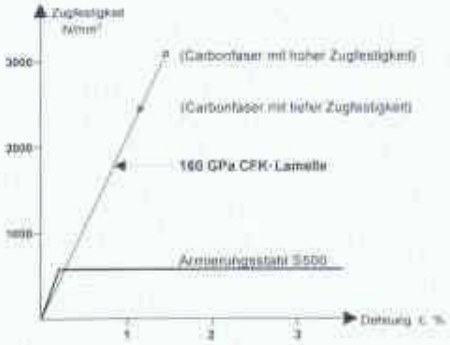
Für das Nachverstärken von Tragwerken wurden bisher in den meisten Fällen Lamellen aus kohlenstoffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) mit einem E-Modul von 160 GPa (160 000 N/mm²) verwendet. Da Carbonfasern mit einem hohen E-Modul sehr teuer sind, wurden hochmodulige CFK-Laminate bisher nur in Ausnahmefällen eingesetzt. Dank einer verbesserten Herstelltechnik kann der E-Modul von CFK-Lamellen neuerdings gezielt eingestellt werden.

Das optimale Kombinieren von verschiedenmoduligen Carbonfasern verbessert das Kosten-/Nutzen-Verhältnis von CFK-Laminaten massgeblich. 1996 wurden in der Schweiz über zwanzig Stahlbetonobjekte mit den neuentwickelten CFK-Hybriden nachverstärkt. Dank der Hybridtechnik werden CFK-Lamellen mit einem E-Modul von 160 GPa bedeutend preiswerter angeboten. Dies führte dazu, dass sich das Nachverstärken mit CFK-Lamellen auch in finanzieller Hinsicht zu einer interessanten Alternative entwickelte. Diese neuentwickelten CFK-Hybride werden im folgenden vorgestellt.

Herkömmliche CFK-Lamellen 160 GPa

CFK-Laminate werden im Strangzugverfahren hergestellt. Die Carbonfasern werden kontinuierlich im Epoxid-Harz getränkt und unter Wärmeeinwirkung ausgehärtet. Verfahrenstechnisch bedingt ist eine maximale Faserverfüllung des Laminats von rund 70% möglich. Aus den Eigenschaften der Fasern und der Matrix lassen sich theoretisch die Elastizitätskonstanten einer unidirektionalen Schicht (CFK-Lamelle) bestimmen. Da der E-Modul sowie die Zugfestigkeit der Matrix für die Berechnung des Laminats vernachlässigbar sind, liegen der E-Modul sowie die Zugfestigkeit annähernd bei 70% des Werts der Carbonfasern. Versuchsreihen an der Empa Dübendorf sowie am TGM Wien zeigen, dass bei einer siebzigprozentigen Laminatverfüllung üblicherweise ein E-Modul von 160 GPa erreicht wird. Die Zugfestigkeit variiert in der beschriebenen Weise in Abhängigkeit der eingesetzten Carbonfasern bzw. deren Zugfestigkeit (Bild 1).

1
Idealisiertes Spannungs-Dehnungs-Diagramm für CFK-Lamelle mit 160 GPa

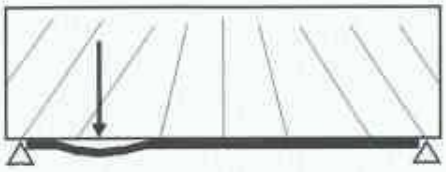


Für die Berechnung wird die Zugfestigkeit üblicherweise um 20% abgemindert. CFK-Lamellen mit hoher Zugfestigkeit können in der Praxis selten ausgenützt werden, da für die Bemessung von CFK-Lamellen normalerweise die Lamellenablösung infolge Schubrissversatz massgebend wird (Bild 2). CFK-Lamellen mit hohen rechnerischen Zugfestigkeiten können den Statiker tendenziell zu Falschdimensionierungen verleiten. Aus diesem Grunde werden durch die Lamellen-Lieferanten Produkte mit tieferen rechnerischen Zugfestigkeiten, aber grösseren Lamellendicken angeboten. Durch Erhöhung der Lamellendicke bleibt die Lamellenzugkraft identisch. Bei dickeren Lamellen ist zusätzlich das Verkleben in der Hauptzugrichtung der Lamelle besser gewährleistet. Die Gefahr des Abschälens der Lamelle durch Umlenkkräfte wird dadurch verkleinert (Bild 3).

CFK-Hybride

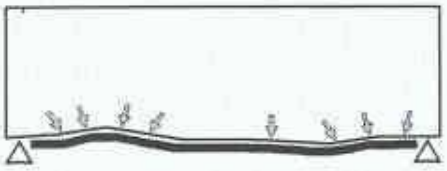
Für die Herstellung von CFK-Hybriden werden verschiedene Carbonfasern mit unterschiedlichem E-Modul sowie unterschiedlicher Zugfestigkeit eingesetzt. Normalerweise verläuft der E-Modul eines Hybridlaminats nicht linear. Die hochmoduligen Carbonfasern mit einer tiefen Bruchdehnung reissen früher als die tiefmoduligen Fasern (Bild 4).

In der neu entwickelten Hybridtechnik werden die tiefmoduligen Carbonfasern beim Herstellvorgang durch Bremsen beim Strangziehen vorgespannt. Die Bremsen werden so eingestellt, dass die Bruchdehnung für alle verwendeten Ausgangsfasern identisch wird. Bei der Entwicklung dieser neuartigen CFK-Hybride zeigten sich verschiedene Probleme. Wurde beispielsweise die notwendige Vorspannkraft zu hoch, knickten die CFK-Hybride faserparallel in sich zusammen. Entsprechend galt es, die Ausgangsfasern bezüglich E-Modul, Lage, Anordnung und Vorspannkraft gezielt aufeinander abzustimmen. Mit der neuen Hybrid-Technik werden seit diesem Jahr erfolgreich Lamellen hergestellt, nachdem die notwendigen Prüfresultate und die System-Prü-

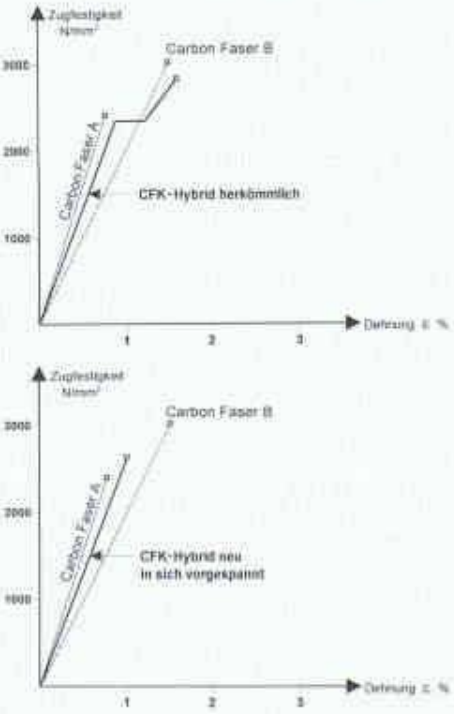


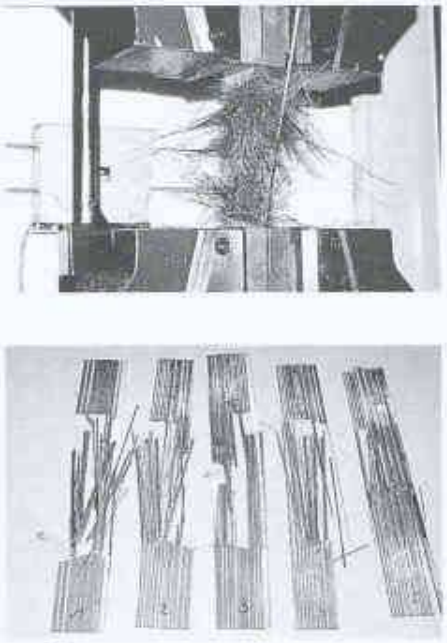
2
Ablösung der Lamelle infolge Schubrissversatz

3
Abschälen der Lamelle infolge Umlenkkräften



4
Idealisierte Spannungs-Dehnungs-Diagramme für CFK-Hybride. Oben: herkömmliche Hybride. Unten: neue, in sich vorgespannte Hybride





5
Rissbilder bei Zugversagen. Oben: Unifaserlamellen reissen als Einzelfasern. Unten: Vorgespannte Hybride reissen als Faserbündel

fungen vorgenommen wurden. Das Bruchbild beim Zugversuch zeigt dabei deutlich, ob es sich beim Laminat um einen Hybrid oder um eine herkömmliche Unifaserlamelle handelt (Bild 5).

Der CFK-Hybridlamelle mit stahläquivalentem E-Modul wurden durch das TGM Wien sowie die EMPA Dübendorf folgende Prüfwerte attestiert:

E-Modul CFK-Hybrid	210–250 GPa
Zugfestigkeit	2400–2500 N/mm²
Rechnerische Zugfestigkeit	2000 N/mm²

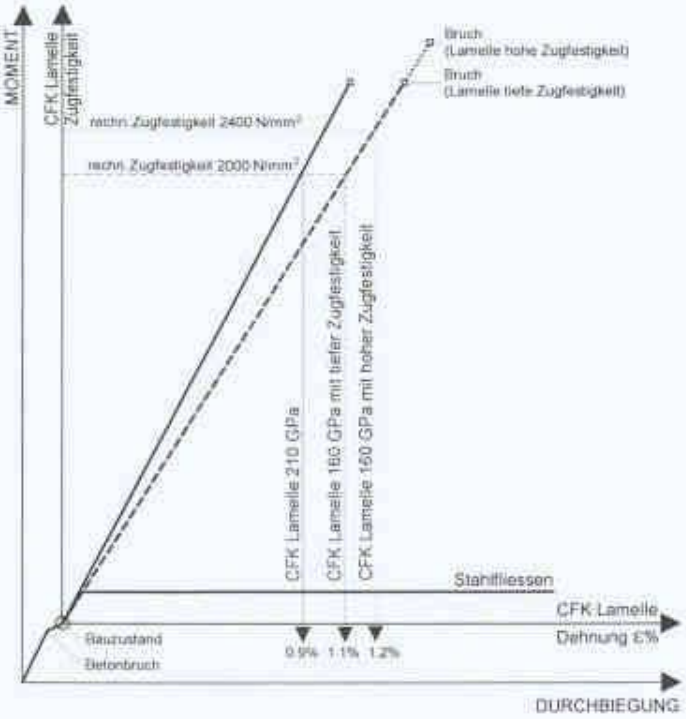
CFK-Lamellen im Vergleich

In Bild 6 wird die massgebliche Dehnung bei der rechnerischen Ausnützung der CFK-Lamelle von verschiedenen Lamellentypen verglichen. Die massgebliche Dehnung der neuen Hybridlamelle mit stahläquivalentem E-Modul ist 25% geringer als die Dehnung von herkömmlichen 160-GPa-Lamellen mit hoher Ausnützung der Zugfestigkeit. Die Gebrauchstauglichkeit des verstärkten Tragelements wird dank der reduzierten Lamellendehnung verbessert. Die Rissbreiten sowie die Durchbiegung werden reduziert. Es werden heute verschiedene Lamellentypen mit unterschiedlichen Kennwerten angeboten. Die Lamellenzugkraft ist das massgebliche Vergleichskriterium. Lamellen mit gleicher Breite sowie gleicher Lamellenzugkraft benötigen die identische Verankerungslänge. Wird die Lamellenzugkraft bei identischer Lamellenbreite erhöht, ist eine entsprechend grössere Verankerungslänge notwendig. Bei der Berechnung sowie bei der Submission hat der planende Ingenieur diesem Umstand unbedingt Rechnung zu tragen.

Abschliessend werden am Beispiel von CFK-Lamellen der Breite 100 mm sämtliche erhältlichen Produkte aufgelistet und verglichen (Bild 7). Alle im Vergleich aufgeführten Produkte werden gemäss ISO 9001 (zertifiziert) hergestellt und wurden zusammen mit den zugehörigen Epoxid-Zweikomponenten-Klebern systemgeprüft.

Klebebewehrungen aus CFK bieten verschiedene Einsatzmöglichkeiten. Die Lamellendehnung, und entsprechend die Bauwerksdeformation, ist jedoch bedeutend höher als beim Nachverstärken mit Stahllamellen. Zudem muss berücksichtigt werden, dass bei CFK-verstärkten Bauteilen keine plastische Verformung des Bauteils mehr möglich ist.

8
Montage von CFK-Lamellen



6
Einfluss der CFK-Nachverstärkung auf Durchbiegung des Bauteils

7
Erhältliche CFK-Laminate der Breite 100 mm

Typ	E-Modul [GPa]	Dicke [mm]	Zugfestigkeit [N/mm²]	Zugfestigkeit für Berechnung [N/mm²]	Zugkraft der Lamelle [N]	Dehnung bei rechn. Zugkraft [%]
1	160–170	1.2	~3000	2400	280×10^3	1.2
2	160–170	1.4	~3000	2400	336×10^3	1.2
3	160–170	1.2	~2500	2000	240×10^3	1.1
4	160–170	1.4	~2500	2000	280×10^3	1.1
5	210–250	1.4	~2500	2000	280×10^3	0.9

Adresse des Verfassers:
Josef Scherer, dipl.Ing. HTL/STV, Scherer & Partner, Bausysteme, Dammstrasse 2, 6440 Brunnen