

## Allgemeine Angaben

Kohlenstofffasern sind synthetisch anorganische Fasern, die über Zwischenstufen (Precursoren) aus Polyacrylnitril (PAN) oder Pech hergestellt werden können. Dabei erfolgt nach einer Stabilisierung des Precursors, seiner anschließenden Karbonisierung und dem Ziehen der Faser die Nachbehandlung der Faseroberfläche und das Aufbringen einer zusätzlichen Präparation. Die Nachbehandlung erfolgt meist als Nassoxidation in Salpetersäure oder als thermische Oxidation. In Verbindung mit der Präparation im Sinne einer Be-

schichtung verbessert sich die Verarbeitbarkeit und es erhöht sich in der Folge die Benetzbarkeit der Faser mit dem Matrixharz. In Abhängigkeit von der Temperaturstufe bei der Behandlung entstehen drei unterschiedliche Fasertypen mit einem Filamentdurchmesser um 5-7 µm:

- HT-Typ High-Tensioning (1200...1500°C)
- IM-Typ Zwischenmodulfasern (1500...1800°C)
- HM-Typ High-Modulus (bis 3000°C)

## Mechanische Kennwerte

	Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruchdehnung [ <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ]	E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]	Laminat (50 Vol.%) [N/mm <sup>2</sup> ]
Kohlefaser - IM	1,80	3500...4500	1,9	150000...290000	560...650 (0°/90°) 950...2000 (UD)
Kohlefaser - HT	1,75	4000...6000	1,5	240000...250000	
Kohlefaser - HM	1,83	3000...3500	0,5...0,9	...400000	

## Weitere Eigenschaften

- sehr hohe Zugfestigkeit, hoher Elastizitätsmodul, niedrige Bruchdehnung
- gute elektrische und thermische Leitfähigkeit
- hohe Korrosionsbeständigkeit
- sehr kerb- und scherempfindlich
- chemisch inert
- unschmelzbar
- biokompatibel
- negativer Wärmeausdehnungskoeffizient (Faser verkürzt sich bei Temperaturzunahme, der Durchmesser nimmt dabei zu)
- sehr gute Lösungsmittelbeständigkeit
- gute Beständigkeit gegen Elektronenstrahlen, durchlässig für Röntgenstrahlung
- gute UV-Beständigkeit
- keine Wasseraufnahme
- hohe Schmelztemperatur bei 335°C

Dadurch entstehen Bauteile oder Halbzeuge mit hohem Faservolumengehalt und sehr guten technischen Eigenschaften.

Wegen der hohen Kerbempfindlichkeit müssen alle Verarbeitungsprozesse auf eine besonders faserschonende Behandlung hin optimiert werden. Die Empfindlichkeit der gegenüber quer zur Faserorientierung eingetragenen Kräften existiert im weitesten Sinne auch für kohlefaserverstärkte Faserkunststoffverbunde. Dies muss beim Konstruieren beachtet werden. Aufgrund des geringen Elementarfadendurchmessers werden häufig Garne oder Rovings aus bis zu 48000 Einzelfäden hergestellt. Dies erfordert eine ausgezeichnete Präparation, um das Garn bei der Weiterverarbeitung zu schützen.

## Beschichtungen und Anstriche

Die Präparation/Beschichtung erfolgt mit einer ähnlichen Zielstellung wie bei Glasfasern. Neben der Verbesserung der textilen Verarbeitbarkeit soll das Finish die Faser schützen und haftvermittelnd zur Matrix wirken. Aus diesem Grund steht für die Konsolidierung auch ein breites Spektrum von Matrixharzen zur Auswahl. Epoxyde sind ebenso geeignet wie Polyesterharze und thermoplastische Matrixsysteme (siehe auch HHT-Merkblatt „Matrixsysteme“). Dabei hat die Fertigung von Hybridgarne und -halbzeugen zusammen mit Polyetheretherketon-(PEEK)-Matrixsystemen mit der Zielstellung, den Verbund in beheizbaren Formen auszuhärten, eine große Bedeutung gewonnen.

Die Eignung von lösungsmittelbasierten 1K- und reaktiven Mehrkomponenten-Systemen von Lacken und Anstrichen zum Beschichten der kohlefaserverstärkten Kunststoffe muss im Einzelfall geprüft werden. Systeme auf Basis un-

## Verarbeitungshinweise

Kohlefasern können zu Garnen, Zwirnen und Rovings weiterverarbeitet werden. Neben dem Filamentwickel für Rohre, Wellen und Behälter kann Carbon zu folgenden textilen Flächen und Halbzeugen weiterverarbeitet werden: Gelege, Gewebe, Gewirke, Geflechte. Eine besondere Bedeutung hat das Strang- oder Profiliziehen/Extrudieren (siehe auch HHT-Merkblatt „Textile Flächenbildung“). Dabei werden Kohlenstofffaserstränge zusammen mit einem heißhärtenden Harz kontinuierlich durch ein beheiztes Werkzeug geführt.

Kontakt	Ansprechpartner	Telefon	E-Mail
Institut für angewandte Forschung im Bauwesen (laFB) e.V., Sophienstr. 33A, D-10178 Berlin	Hr. Hamann, Hr. Birk	++49 (0)30 28 39 28 -0	mail@iafb.de

gessättigter Polyesterharze (PU) sind für Lack- und Anstrichsysteme zumeist gut geeignet.

### Ökologische Bewertung

Insbesondere die Hochtemperaturprozesse der Karbonisierung bei der Herstellung belasten die Ökobilanz der Kohlenstofffasern. Der damit verbundene Energieverbrauch ist im Vergleich zu anderen Fasern relativ hoch und bestimmt dadurch maßgeblich die potentielle Belastung für die Umwelt. Je sauberer die bei der Produktion eingesetzte Energie, desto besser auch die Ökobilanz der Faser.

Um die hohen Tragfähigkeiten der Faser zu erschließen, ist außerdem ein Nachtempern der FKV bei 50-80°C nach dem Aushärten sinnvoll. Dieser mehrstündige Prozess ist mit weiterem Energieeinsatz verbunden und wirkt sich in der Ökobilanz und auf der Kostenseite nachteilig aus. Vor allem vor dem Kostenhintergrund wird klar, dass der Einsatz der Kohlefaser im Bausektor beim jetzigen Preisniveau nur für Sonderanwendungen in Frage kommt.

Die angegebenen normalisierten Werte sind bezogen auf die Emissionen Westeuropas während des Jahres 1995.

Ökobilanzdaten	Ressourcenverbrauch [kg Sb eq]	Versauerungspotential [kg SO <sub>2</sub> eq]	Eutrophierungspotential [kg PO <sub>4</sub> eq]	Treibhauspotential [kg CO <sub>2</sub> eq]	Ozonabbaupotential [kg CFC eq]	Sommersmogpotential [kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq]	Primärenergieverbrauch (KEA fossil) [MJ]
1 kg Kohlefaser	0,176	0,109	0,019	12,59	0,45 * 10 <sup>-6</sup>	0,0034	338
normalisiert	1,18 * 10 <sup>-11</sup>	3,99 * 10 <sup>-12</sup>	1,54 * 10 <sup>-12</sup>	2,62 * 10 <sup>-12</sup>	5,36 * 10 <sup>-13</sup>	4,07 * 10 <sup>-13</sup>	-

### Bauphysikalisches Verhalten

Kohlenstofffasern nehmen kein Wasser auf und ihre mechanischen Eigenschaften sind unabhängig von der Umgebungsfeuchte. Der Dampfdiffusionswiderstand von kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffverbunden hängt maßgeblich vom eingesetzten Matrixharz ab und entspricht im wesentlichen dem der unverstärkten Kunststoffe. Ein schädigender Einfluss von UV-Strahlung auf die Eigenschaften des Carbons ist nicht bekannt.

### Kosten

Die Preise für Kohlenstofffasern unterliegen starken Schwankungen. Sie sind im konkreten Fall neben der aktuellen Marktsituation auch von Einzelfaktoren wie Elementarfadendurchmesser und Feinheit (Aufmachung) sowie Beschichtung und Weiterverarbeitung abhängig. Im verarbeiteten Zustand (Gewebe und Gelege) liegen die Preise für Kohlenstofffasern in etwa auf dem gleichen Niveau wie die für Aramidfasern. Beide Hochleistungsfasertypen sind in etwa viermal so teuer wie verarbeitetes Glas.

### Einsatzmöglichkeiten

Kohlenstofffasern haben ein geringeres spezifisches Gewicht, deshalb erfolgt ihr Einsatz vor allem in Leichtbaukonstruktionen der Luft- und Raumfahrt. Der Gewichtsaspekt spielt im Bauwesen allerdings nur eine untergeordnete Rolle, deshalb wird die hochpreisige Faser im Bauwesen nur in einem eng begrenzten Rahmen eingesetzt. Zu nennen wären dabei vor allem die Zugverstärkung von Bauteilen in Neubau und Sanierung und wegen der hohen Dauerstandsfestigkeit der Einsatz in dynamisch beanspruchten Bauteilen.

Ein besonderes Potential haben darüber hinaus die Hybridstrukturen (oder -garne). Bei diesen textilen Mischstruk-

turen wird das hochfeste und hochmodulige Carbon in einem Gewebe (oder Faden) mit dem duktilen Aramid mit seiner hohen Grenzdehnung kombiniert und man erhält Strukturen mit einem weiten Auslegungsbereich was Steifigkeit, Festigkeit und Duktilität betrifft (siehe auch HHT-Merkblatt „Faserkunststoffverbunde“).

Die elektrische Leitfähigkeit eröffnet ein weiteres Einsatzgebiet. Über Widerstandsmessungen können in die Verstärkungsstruktur eingearbeitete Kohlefasern Auskunft über den Dehnungs- und damit über den Spannungszustand der Bewehrungslagen geben. Neben diesem sensorischen Aspekt können die Fasern aber auch aktorisch wirken, indem sie durch angelegte Spannungen Schichten vorspannen oder versteifen.

Beim Einsatz von kohlefaserverstärkten Schichten im Umfeld von leistungsstarken spannungsführenden Teilen (Transformatorgebäude; Überlandleitungen o.a.) können durch die elektrische Leitfähigkeit magnetische Felder im Material induziert werden, die zu unerwünschten Zusatzbeanspruchungen führen können.

### Literatur

- [1] Moser, K.: Faserverstärkte Kunststoffe; VDI Verlag Düsseldorf, 1992
- [2] Bergmann, H.W.: Konstruktionsgrundlagen für Faserverbundbauteile; Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1992
- [3] Flemming, M., Ziegmann, G., Roth, S.: Faserverbundbauweise - Halbzeuge und Bauweisen; Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1996

Kontakt	Ansprechpartner	Telefon	E-Mail
Institut für angewandte Forschung im Bauwesen (laFB) e.V., Sophienstr. 33A, D-10178 Berlin	Hr. Hamann, Hr. Birk	++49 (0)30 28 39 28 -0	mail@iafb.de