

1 Einleitung

Faserverbundwerkstoffe – so lautet ein auf den ersten Blick recht sperriger und nicht allgemein geläufiger Fachbegriff für eine spezifische Werkstoffgruppe. Dabei hat schon jeder von uns das Material im Alltag in den Händen gehalten. Besser bekannt sind Faserverbundwerkstoffe unter vielen Marken- bzw. Produktnamen oder umgangssprachlichen Bezeichnungen wie zum Beispiel Carbon, Composite, Kohlenstofffaser und Fiberglas sowie den Abkürzungen CFK (carbonfaserverstärkter Kunststoff), GFK (glasfaserverstärkter Kunststoff) oder CFRP (carbon fiber reinforced polymer).

Einst als sehr spezielle Hochleistungswerkstoffe entwickelt, haben diese Materialien in den letzten Jahrzehnten zunehmend Einzug in unseren Alltag gehalten. Vor dem Hintergrund der steigenden Anforderungen an immer leichtere Bauteile in nahezu allen Industriezweigen, kommt es aufgrund der hervorragenden Leichtbaueigenschaften zu einem immer größer werdenden Einsatz von Faserverbundwerkstoffen. Beginnend in den Hochleistungstechnologien der Luft- und Raumfahrt, haben sich die Materialien in nahezu allen technischen Bereichen ausgebreitet. Heute begegnen uns Faserverbundwerkstoffe im Automobilbau, in der Sport- und Freizeitindustrie, bei verschiedensten Anwendungen im Maschinenbau, aber auch in der Architektur, im Bauwesen und in der Kunst.

Nicht nur in den prominenten Beispielen der Fahrzeuge BMW i3 und BMW i8 mit ihren Karosserien, die zu überwiegenden Anteilen aus Faserverbundwerkstoffen bestehen, haben die Werkstoffe den Weg auf unsere Straßen gefunden. Auch andere Fahrzeughersteller verwenden zunehmend Faserverbundwerkstoffe für ihre Fahrzeuge. So ist auch der Trend der jährlich zunehmenden Menge an eingesetzten Kohlenstofffasern keine Überraschung: diese steigt derzeit jedes Jahr um rund 10 % an. Dabei stehen wir erst am Anfang des »Faserzeitalters«, denn wegen der hervorragenden Materialeigenschaften rechnet man mit einer Verdopplung der jährlich eingesetzten Materialmengen bis Anfang der 2020er Jahre. Mit einer Trendwende ist dabei in absehbarer Zeit nicht zu rechnen.

Durch die vielfältigen Anwendungen ergeben sich auch immer mehr Berührungspunkte mit Faserverbundwerkstoffen im Feuerwehreinsatz. Brände und Technische Hilfeleistungen, bei denen Faserverbundwerkstoffe beteiligt sind, treten bereits heute auf und werden in den nächsten Jahren stark zunehmen. Dabei haben diese Werkstoffe Auswirkungen auf die Einsatztaktik der Feuerwehr und bringen neue

Gefahren für die Einsatzkräfte mit sich, die vielen Führungs- und Einsatzkräften derzeit gar nicht bewusst sind.

Obwohl der »Wunderwerkstoff Carbon« im Normalzustand völlig ungiftig und ungefährlich ist, ist dieser Faserverbundwerkstoff in den letzten Jahren in die Kritik geraten. Von den Schattenseiten des Materials bis hin zur möglichen Krebsgefahr für die Einsatzkräfte war in der (Fach-)Presse zu lesen. Dieses Buch liefert eine realistische Einschätzung, wo im Einsatz mit Faserverbundwerkstoffen gerechnet werden muss, welche Auswirkungen Faserverbundwerkstoffe auf den Einsatz der Feuerwehren haben, welche Einsatztaktik zu wählen und wie gefährlich das Material tatsächlich für die Einsatzkräfte der Feuerwehr ist. Daraus abgeleitet gibt es angepasste Empfehlungen für Schutzmaßnahmen im Umgang mit Faserverbundwerkstoffen im Feuerwehreinsatz. Dabei wird der Schwerpunkt auf praxisorientierte Empfehlungen für die Einsatzkräfte gelegt.

2 Einführung in Faserverbundwerkstoffe

Zum besseren Verständnis der einsatztaktischen Auswirkungen und der Sicherheitsempfehlungen im weiteren Verlauf dieses Buches soll zunächst der Aufbau und damit das Konstruktionsprinzip der Faserverbundwerkstoffe betrachtet werden. Zudem wird auf die Einsatzbereiche der Werkstoffe sowie auf Merkmale zum Erkennen der Stoffe im Feuerwehreinsatz hingewiesen. Dies soll zu einem Grundverständnis beitragen und die Einschätzungen zur Taktikauswahl und Risikoeinschätzung im Einsatz der Feuerwehr erleichtern.

2.1 Konstruktionsprinzip von Faserverbundwerkstoffen

Das Konstruktionsprinzip von Faserverbundwerkstoffen lässt sich sehr gut aus dem Fachbegriff ableiten. Bei »Faser-Verbund-Werkstoffen« handelt es sich um ein Verbundmaterial aus mindestens zwei Einzelkomponenten. Diese beiden Einzelkomponenten werden miteinander kombiniert, um eine Eigenschaftsverbesserung des neu geschaffenen Verbundwerkstoffes zu erreichen. Dabei werden die negativen Eigenschaften des jeweiligen Einzelwerkstoffes ausgeglichen und die positiven Eigenschaften der beteiligten Werkstoffe zum Vorteil des Verbundwerkstoffes genutzt.

Anschaulich lässt sich dieses Bauprinzip am bekannten Beispiel Stahlbeton erklären. Dabei werden die Einzelmaterialien Baustahl und Beton in einem Werkstoff zusammengeführt. Es entsteht der »Verbundwerkstoff« Stahlbeton. Im Werkstoff übernimmt der Baustahl die Zugkräfte und der Beton überträgt die Druckkräfte. So wird ein Material geschaffen, das Zug- und Druckkräfte aufnehmen kann und neue Einsatzbereiche abdeckt. Die jeweiligen Nachteile der Einzelkomponenten wurden durch den Verbund der Einzelwerkstoffe ausgeglichen.

Überträgt man das dargestellte Prinzip des Stahlbetons auf die Faserverbundwerkstoffe so zeigt sich, dass auch Faserverbundwerkstoffe aus mindestens zwei Einzelwerkstoffen bestehen: diese sind die textilen Verstärkungsfasern und die sogenannte Matrix. Dabei übernehmen die Verstärkungsfasern, ähnlich dem Baustahl im Stahlbeton, die Aufgabe Zugkräfte zu übertragen. Die Matrix ist vergleichbar mit dem Beton: Sie umhüllt die Fasern, gibt dem Bauteil die gewünschte Geometrie

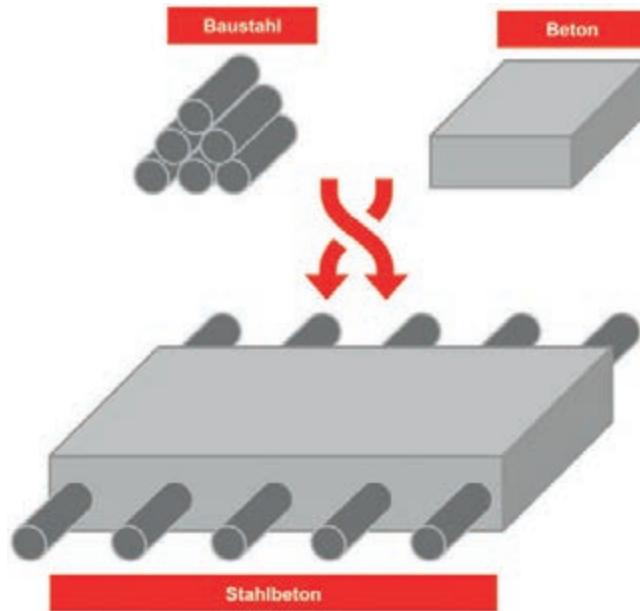


Bild 1: *Prinzipdarstellung des Verbundes Stahlbeton bestehend aus den Einzelwerkstoffen Baustahl und Beton.*

und sorgt für die Übertragung der Druckkräfte. Der Verbund aus textilen Verstärkungsfasern und der umhüllenden Matrix wird als Laminat bezeichnet.

2.2 Textile Verstärkungsfasern

Als Ausgangsmaterial für Verstärkungsfasern werden extrem dünne Faserfilamente verwendet. Dabei werden je nach Anwendungsfall verschiedenste Faserarten eingesetzt. Neben den bekannten und am häufigsten eingesetzten Kohlenstoff-, Glas- und Aramidfasern werden auch Verstärkungsfasern aus anorganischen Materialien wie Basalt, Bor oder Keramik und aus organischen Materialien wie Polyester, Nylon und Polyethylen für die Herstellung von Faserverbundwerkstoffen verwendet. Weitere Anwendungen setzen Naturfasern u. a. aus Flachs, Hanf, Holz oder Sisal ein.

In Hochleistungsbauteilen werden häufig Kohlenstofffasern eingesetzt. Die extrem dünnen Fasern übertragen hohe Zugkräfte und erlauben so die Konstruktion

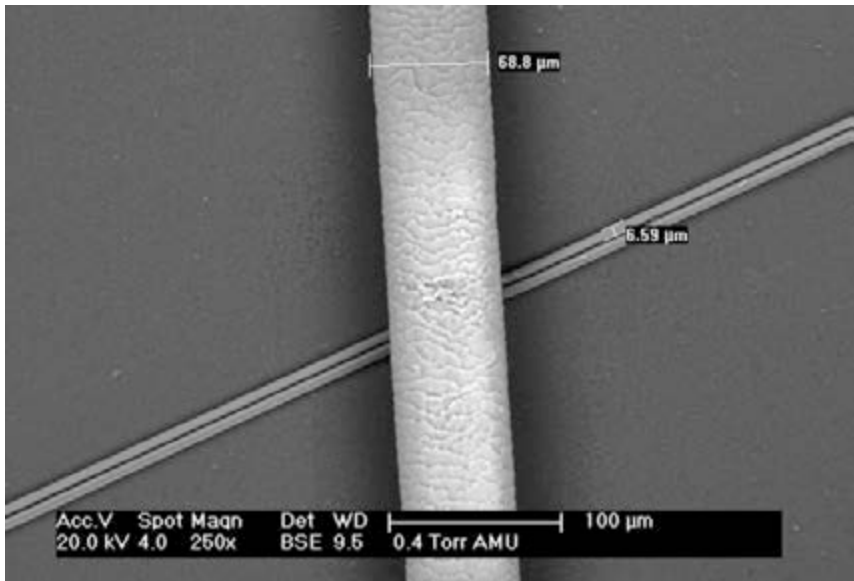


Bild 2: *Größenvergleich zwischen einem menschlichen Haar und einer Kohlenstofffaser im Rasterelektronenmikroskop. (Foto: Carbon Composites e.V./AMU Universität Augsburg.)*

von Bauteilen hoher Leistungsfähigkeit bei geringem Gewicht und geringen Bauteilabmessungen. Gängige Kohlenstofffasertypen haben einen Durchmesser um sieben Mikrometer. Damit sind die Fasern etwa ein Zehntel so dick wie ein menschliches Haar.

Die Verstärkungsfasern werden entweder direkt als Faser verwendet oder in einem weiteren Verarbeitungsschritt zu textilen Faserhalbzeugen verarbeitet. Diese textilen Strukturen können Gewebe, Gelege, aber auch Strick- oder Flechtwaren sein, die bereits die spätere Bauteilkontur erahnen lassen. Die Auswahl der Fasern erfolgt nach den Anforderungen, die an das herzustellende Bauteil gestellt werden. Diese können beispielsweise verschiedene mechanische, elektrische, Gewichts- oder Kostenanforderungen sein.

Während Kohlenstofffaserverstärkte Verbundwerkstoffe (CFK) üblicherweise eine hohe Zugfestigkeit in Faserrichtung bei sehr geringem Gewicht aufweisen, besitzen glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) neben einer hohen Druck- und Zugfestigkeit vor allem eine gute isolierende Wirkung. Verwendet werden Glasfasern z. B. im Bootsbau, bei Tanks und Rohrleitungen oder mechanisch beanspruchten

Isolatoren. Faserverbundwerkstoffe, deren Verstärkungsfasern aus Aramid bestehen, besitzen im Vergleich zu kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen eine niedrigere Zug- und Druckfestigkeit, dafür eine wesentlich höhere Schlagzähigkeit. Sie werden daher häufig für Schutzausrüstungen, z. B. Splitterschutz, Panzerungen für Fahrzeuge und Schnittschutzhandschuhe, verwendet.

Um die gewünschten Eigenschaften zu erreichen, werden unterschiedliche Fasertypen auch kombiniert (z. B. Aramid- und Kohlenstofffasern) eingesetzt.

2.3 Matrix-Systeme

Die zweite Komponente bei einem Faserverbundwerkstoff ist die Matrix. Zu den wichtigsten Aufgaben der Matrix zählen neben dem Halten der Fasern in der geometrischen Form die Übertragung der in das Bauteil eingeleiteten Kräfte auf die Fasern. Die Matrix beeinflusst unter anderem die Temperatur- und Medienbeständigkeit, das Brandverhalten und die Schadenstoleranz des Werkstoffs und besteht meist aus verschiedenen Kunststoffen. Es werden überwiegend duromere, reaktive Harzsysteme oder thermoplastische Kunststoffe eingesetzt. Duromere Harzsysteme zeichnen sich durch ihre chemische Aushärtung aus. Sie können nach der Aushärtereaktion nicht mehr durch Erwärmung verformt werden.

Thermoplastische Kunststoffe lassen sich durch Erwärmung in einem bestimmten Temperaturbereich verformen. Dieser Vorgang kann wiederholt durchgeführt werden, wobei der Kunststoff beliebig oft geschmolzen und in einen flüssigen Zustand gebracht werden kann.

Die Kunststoffe, die für die Matrix verwendet werden unterscheiden sich in ihrer Art und den Eigenschaften sehr stark und werden je nach Einsatzzweck entsprechend ihrer benötigten charakteristischen Merkmale ausgewählt. Je nach Auswahl und durch die Zugabe von Zusatzstoffen, sogenannten Additiven, lassen sich die unterschiedlichsten Eigenschaften, z. B. Schlagzähigkeit, Entzündbarkeit, Brandverhalten und Farbe, beeinflussen und zielgerichtet entsprechend der Bauteilanforderungen steuern.

Bekannte und in einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzte duromere Matrix-Systeme sind ungesättigte Polyesterharze (UP-Harze) und Epoxidharze (EP-Harze). Als thermoplastische Matrix wird oftmals Polyamid eingesetzt.

2.4 Erkennungsmerkmale von Faserverbundwerkstoffen

Abhängig von der Verwendung, der Bausituation, der Oberflächenbehandlung oder dem Zerstörungsgrad, ist es oftmals nur schwer möglich, Bauteile aus Faserverbundwerkstoffen zu erkennen.

Bauteile aus sogenanntem »Sicht-Carbon«, d. h. Bauteile aus Kohlenstofffaserverbundwerkstoff, die aus technischen oder optischen Gründen nicht überlackiert oder verkleidet sind, lassen sich allerdings recht leicht identifizieren. Die typische Oberflächenoptik zeigt die Faserstrukturen und gibt die spezielle Optik vor. Allerdings sollte man sich hier nicht täuschen lassen. Viele Hersteller oder Bastler veredeln ihre aus einfachen Kunststoffen hergestellten Bauteile mit Dekorfolien, die eine Carbon-Oberfläche imitieren. Einsatzbeispiele für Dekorfolien sind dabei vielfältig. Von Tuningteilen an Kfz, über Anbauteile an Motorräder, Fahrräder über Möbel bis hin zu Handschalen reicht die Palette. Diese sehen oftmals täuschend echt aus. Generell ist ein echtes Carbon-Bauteil dort zu erwarten, wo die speziellen Eigenschaften technisch notwendig sind (z. B. Leichtbau) oder wo es sich um hochpreisige



Bild 3: Sichtbare »Carbon« Oberfläche am Schweller eines BMWi3 (Foto: Benjamin Prlic)



Bild 4: *Zerstörtes Bauteil aus Kohlenstofffaserverbundwerkstoff mit Splintern, scharfen Bruchkanten und Faserpartikel (Foto: Branddirektion München)*

Produkte handelt. Bauteile und Produkte, die nur wenige Euro kosten, lassen sich nicht aus echtem Carbon herstellen.

Glasfaserverbundwerkstoffe lassen sich oftmals recht leicht an ihrer Oberfläche erkennen. Erdtanks, Rohre, Silos oder auch die Löschwasserbehälter in Feuerwehrfahrzeugen zeigen die Wirrfaserstruktur deutlich an der Oberfläche.

Bei lackierten Bauteilen fällt die Identifizierung wesentlich schwerer. Hier kann oft nur aufgrund des Gebrauchs auf Faserverbundwerkstoffe geschlossen werden. Anwendungen die ein geringes Gewicht erfordern (z. B. Fluggeräte einschließlich Flugmodellen/Drohnen, Sportgeräte wie hochpreisige Fahrräder, Golf oder Tennisschläger) werden daraus hergestellt. Bei charakteristischen Anwendungsbeispielen