

## 8: Verbundwerkstoffe: Faserverstärkte Kunststoffe

Eine Möglichkeit zur Verbesserung der Eigenschaften von Werkstoffen liegt darin, verschiedene Materialien und somit deren Eigenschaften zu kombinieren:

Verbundwerkstoffe (engl. „composites“) aus Nicht-Kunststoffen und Kunststoffen sind in vielen Anwendungsbereichen von einzigartiger Bedeutung. Verbundwerkstoffe bestehen aus mehreren Einzelstoffen, die in einem einzigen Werkstoffe (Kunststoff) miteinander verbunden sind.

Viele Kunststoffe werden für unterschiedlichste Anwendungen als Verbundwerkstoffe eingesetzt. Man findet sie von hitze- und spülmaschinenbeständigen Griffen an Töpfen über mechanisch stark beanspruchte Wasserpumpenflügelräder hin bis zu Bremsbelägen oder Raketenbauteilen, die kurzzeitig bis 600°C belastet werden.

Hierbei kann man die Verbundwerkstoffe nach der Form der im Verbund vorhandenen Stoffe wie folgt unterteilen:

- Faser- bzw. drahtverstärkte Verbundwerkstoffe, z.B. Reifen aus Metalldrähten in Gummimischung
- Teilchenverstärkte Verbundwerkstoffe, z.B. Schleifkörper aus körnigem Schleifmittel (Diamantkörner o.ä.) in Kunststoffbindung oder Polymerbeton (Granitkörner in Epoxidharz) für Gestelle von Werkzeugmaschinen.
- Durchdringungs-Verbundwerkstoffe, z.B. schmierstoffgetränkte Sinterlager
- Schichtverbundwerkstoffe, z.B. Elektronik-Leiterplatten aus harzgetränkten Gewebe- oder Papierbahnen
- Strukturverbunde, z.B. PKW-Stoßfänger aus äußerem Kunststoff, Füllung aus Schaumstoff und innerem Stahlblech

### Faserverstärkte Kunststoffe

#### ○ Aufbau

Faserverstärkte Kunststoffe (FVK) sind Verbundwerkstoffe (Beispiel Surfbrett in Abb.1) die aus einer Grundsubstanz, der **Matrix**, und einem **Verstärkungsmaterial** bestehen.

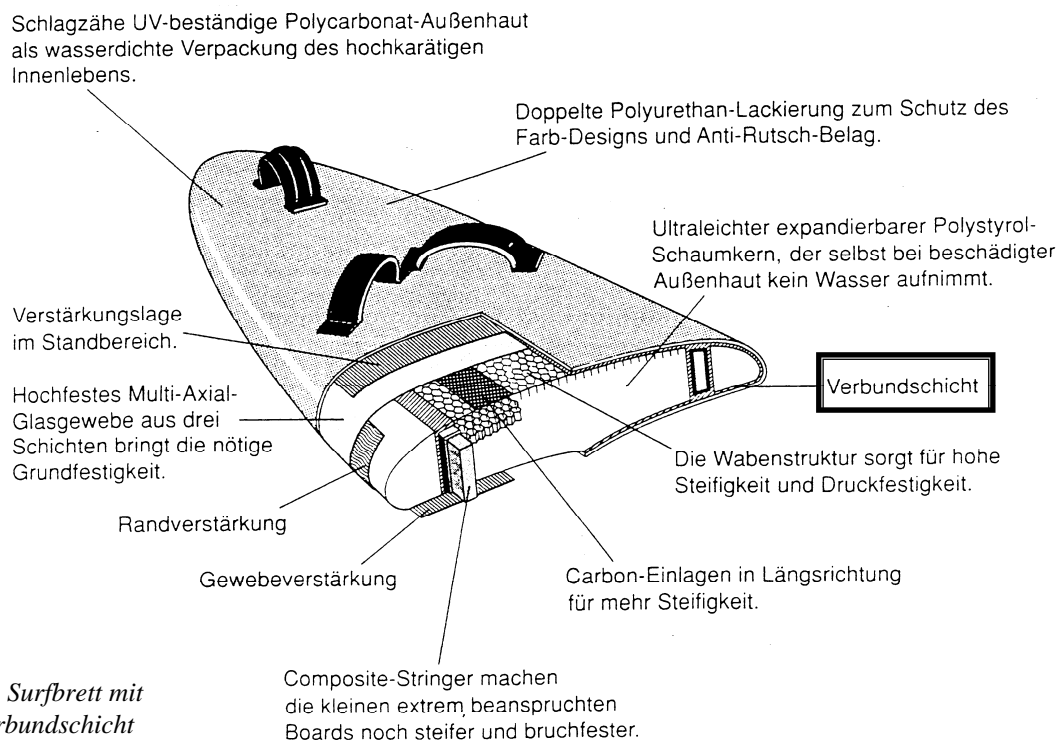


Abb.1: Surfbrett mit Verbandschicht

Das Verstärkungsmaterial ist in die Matrix eingebettet.

- Als Matrix werden hauptsächlich thermoplastische oder duroplastische Kunststoffe eingesetzt. Dabei finden vorwiegend Polyester, Epoxidharze und Polyamide Anwendung, in letzter Zeit auch zunehmend der Massenkunststoff Polyethen. Als Matrix können aber auch keramische Werkstoffe dienen.

- Als Verstärkungsmaterialien werden Glas-, Carbon-, Mineral- und Aramidfasern verwendet.

	Dichte $\rho$ in $\text{kg/dm}^3$	Elastizitäts- Modul E in $\text{N/mm}^2$	Zugfestigkeit $\sigma_z$ in $\text{N/mm}^2$	Bruch- dehnung A in %
Stahl (weich, unleg.) (z.B.St37)		210000	400 (z.B.370)	
Aluminium (rein) Al-Leg.		50000 (-80000)	40-150 <530	
E-Glas S-Glas	2,54 2,49	71000-87000	2000-3500 4570	2,5 2,8
Kohlefaser: Typ „Carbon“ Typ Graphite“	1,74 >1,8	228000-490000 228000-490000	2800-3000 2100-2300	1,2-1,5 0,5
Polyamid gereckte Fasern	1,12–1,16	1200	43–85 620-800	
Kevlar 29 Kevlar 49	1,44 1,45		3000 2700	3,6-3,7 2,0-2,5
Polyester (UP)		3500		

Abb.2: Eigenschaften verschiedener Werkstoffe

Alle Fasern haben einen höheren Elastizitäts-(E-)Modul (Maß für Steifigkeit) als der Kunststoff, in den sie eingebettet sind. Da durch sie die Festigkeit des Kunststoffs erhöht wird, nennt man diese Stoffe faserverstärkte Kunststoffe.

Es entstehen **Carbon-, Glas- und Aramidfaserverstärkte Kunststoffe** (CFK, GFK, AFK).

### ○Eigenschaften

Die Eigenschaften der Faserverbundwerkstoffe liegen zwischen denen der Kunststoffe (hart, zäh) und denen der Fasern (geringe Dichte, hohe Zugfestigkeit).

Man kann Werkstoffe mit sehr hoher mechanischer Festigkeit bei gleichzeitig geringem Gewicht schaffen (siehe Abbildung 3). Carbon-, Glas- und Aramidfaserverstärkte Kunststoffe besitzen z.T. eine Zugfestigkeit, die die von Stahl bei gleichem Gewicht um das 5-fache übersteigt. Bei großer Steifheit und gleichzeitiger Elastizität sind sie zudem häufig auch noch sehr hitzebeständig. Sie finden als hochwertige aber auch teure Werkstoffe überall dort Anwendung, wo Qualität gefragt ist.

	Dichte $\rho$ in $\text{kg/dm}^3$	Elastizitäts- Modul E in $\text{N/mm}^2$	Zug-festigkeit $\sigma_z$ in $\text{N/mm}^2$	Biege- festigkeit $\sigma_B$ in $\text{N/mm}^2$	
UP-GFK	25% Gewebe	1,35	5000	70	120
UP-GFK	65% Gewebe, längs und quer gleich	1,8	19000	300	350
UP-GFK	65% Gewebe, 90% längs	1,8	28000	500	550
EP-GFK	65% Gewebe, fast 100% längs	1,8	30000	700	800
EP-GFK (Spezialharz)	67-78% S-Glas, 92% längs	1,8-2,0	60000	1300-1700	1200-1600
Cr-Ni-Stahlblech		8,0	195000	500	220

Abb.3: Vergleich der Eigenschaften faserverstärkter Kunststoffe zu Stahl















Die einzelnen Fasern sind 10 bis 100 µm dünn und werden zur besseren Handhabung in Strängen, sogenannten Rovings, zu mehreren tausend Einzelfasern zusammengefaßt. Daneben werden sie Fasern zu Matten, Geweben und Vliesen verarbeitet.

Die Eigenschaften der glasfaserverstärkten Kunststoffe hängen neben dem verwendeten Kunststoff und der verwendeten Faserart von dem Anteil der Fasern am Gesamtvolumen und insbesondere der Anordnung der Fasern ab.

Je höher der Anteil an Fasern im Verbundwerkstoff, desto höher die Festigkeit des Werkstoffes. Durch unterschiedliche Herstellungsverfahren wird der Kunststoffanteil klein gehalten. Da dieser als flüssiges Harz verarbeitet wird, versucht man durch Pressen des Werkstoffes oder Absaugen überschüssigen Kunststoff vor dem Aushärten zu entfernen.

Die Erhöhung der Festigkeit des faserverstärkten Kunststoffes erfolgt nur in Richtung der Fasern. Bei der Konstruktion und der Verarbeitung muß daher die Richtung der späteren Belastung berücksichtigt werden. Um diesen Anforderungen gerecht werden zu können, werden die Fasern z.B. als endlose Stränge oder Gewebe verarbeitet. Mehrere Formen sind der Abbildung 4 zu entnehmen.

Zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften können Schichten mit parallelverlaufenden Strängen in unterschiedlicher Orientierung abgewechselt werden.

VERSTÄRKUNGSSTOFFE	bevorzugte Beanspruchungsrichtung
 <i>Textilglasroving</i> (Strang) aus Glasspinnfaden	
 <i>geschnittenes Textilglas</i>	
 <i>Textilglasmatte</i>	
 <i>Textilglas-Rovinggewebe</i>	
 <i>Textilglas-Filamentgewebe</i>	
 <i>UD-Gewebe</i> aus Glasfilament oder Glasstapelfaser	

\*UD - unidirektional ("in einer Richtung")

Abb.4: Faserformen

## ○ Anwendungen

Faserverstärkte Kunststoffe wurden zunächst für speziellere Anwendungen entwickelt und in Bereichen eingesetzt, wo die „Leistungsdaten“ wichtiger waren als die Kosten, beispielsweise Raumfahrt oder Formel 1-Fahrzeugbau. Heutzutage finden wir sie jedoch auch in breiter Vielfalt für Anwendungen, wo Gewichtsersparnis und Stabilität einen etwas höheren Anschaffungspreis rechtfertigen, beispielsweise Fahrradrahmen.

Neben vielen speziellen Anwendungen (z.B. kugelsichere Westen) hat man nachfolgende wichtigste Anwendungsgebiete:

- der Flugzeug- und Fahrzeugbau: Struktur- und Karosserieteile (z.B. LKW-Blattfedern, Motorhauben, Stoßfänger), Verkleidungen;
- die Sportgeräteherstellung: Helme, Hochspringer-Stäbe, Tennisschläger, Bootsrümpfe;
- das Bauwesen: Tanks, Verkleidungen, Dächer, Badewannen, Trossen für Brücken und Bohrinseln;
- der Maschinen- und Anlagenbau: Schaltschränke, Zahnräder, Rohrleitungen, (Druck-)behälter.