

Tabelle 2.3 Auswahl technisch wichtiger Füll- und Verstärkungsstoffe und damit angestrebte Eigenschaftsverbesserung

Füllstoff oder Verstärkungsstoff	Häufigste Matrixwerkstoffe	Angestrebte Eigenschaftsverbesserung
Glasfasern	UP, EP, Vinylester (VE), PA, PC, POM, PP, PBT	Festigkeit, Elastizitätsmodul; bei Thermoplasten Wärmeformbeständigkeit, Wärmedehnung
Kohlenstofffasern Aramidfasern	EP, UP, Vinylester (VE) PA	Elastizitätsmodul ($E/\rho!$) Festigkeit; mit Aramidfasern <i>nicht</i> die Druckfestigkeit
Anorganische, globuläre Stoffe (Glaskugeln, Kreide, Silikate)	teilkristalline Thermoplaste, UP	Isotrope Schwindung (wenig verzugsanfällig), Abrieb, Druckfestigkeit, u. U. Preis
Holzmehl	Phenolharz (PF) Typ 31, PP	Verbilligung, Verarbeitung
Gleitmittel (Zinkstearat)	alle Polymerwerkstoffe	Verarbeitung, Gleitreibung
Flammschutzmittel (Aluminiumhydroxid, Halogenverbindungen)	alle Polymerwerkstoffe soweit erforderlich	Flammwidrigkeit
Leitfähigkeitsruß, Stahlfasern	PA, PBT, PE, ABS	elektrische Leitfähigkeit, elektromagnetische Abschirmung (EMV)
Farbpigmente	alle Polymerwerkstoffe	Farbe

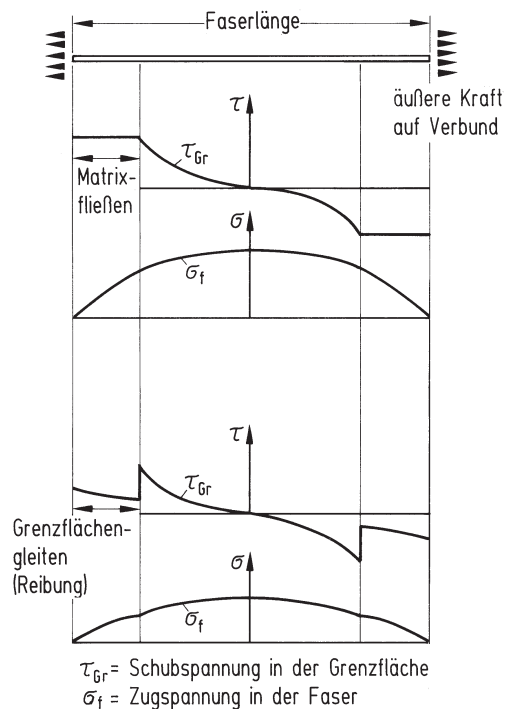
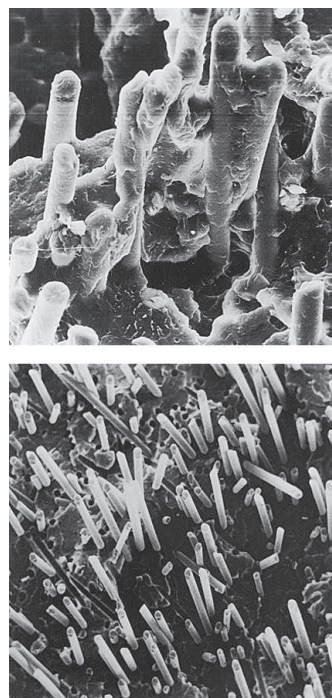


Bild 2.15 Spannungsverteilung entlang und in einer Faser mit Schubspannungsfließen in der Matrix (oben) und Grenzflächengleiten (unten) [2.12]

dehnung sollte die Größenordnung der Dehnung bei Streckspannung der Matrix haben und zwischen Verstärkungsstoff und Matrix muss eine hinreichend hohe Haftung bestehen. Sind diese Voraussetzungen erfüllt, kann die Krafterleitung von der Matrix über Schubspannungen auf das die Last übernehmende Verstärkungsmittel erfolgen.

Im Falle einer faserförmigen Verstärkung lassen sich das Prinzip der Krafterleitung und die möglichen Versagensfälle an einer einzelnen eingebetteten Form demonstrieren (Bild 2.15).

Auf die Matrix wirkende Zugspannungen dehnen diese aufgrund des geringeren Elastizitätsmoduls stärker als die Faser, so dass die Dehnung an der Faseroberfläche (bei vorausgesetzter hoher Haftung) behindert wird. Dadurch entstehen in der Grenzfläche Schubspannungen, die an den Faserenden hohe Spitzenwerte aufweisen. Gleichzeitig werden von den Faserenden her Zugspannungen in der Faser aufgebaut. Wenn die Schubspannungen am Faserende die Schubfestigkeit der Grenzfläche und der Matrix überschreiten, beginnt die Matrix zu fließen. Es stellen sich über der Faser die in Bild 2.15 oben dargestellte Schubspannungsverteilung in der Matrix und Zugspannungsverteilung in der Faser ein.

Unter weniger guten Haftungsbedingungen kommt es vor dem Schubspannungsfließen zum Grenzflächengleiten (pull out), ebenfalls beginnend an den Faserenden (Bild 2.15 unten).

Der dritte mögliche Versagensfall des Verbundes ist der Faserbruch, wenn die Zugspannung in der Faser so weit gesteigert werden kann, dass deren Faserfestigkeit überschritten wird [2.12]. Hierzu muss die Faser eine bestimmte kritische Faserlänge aufweisen, so dass über die Schubspannungen ausreichend Kraft in die Faser eingeleitet werden kann. In diesem Fall ist jedoch die Anisotropie einiger Eigenschaften noch stärker ausgeprägt (s. a. Abschnitt 2.5.3.2). Ein weiterer Nachteil ist der mit wachsender Faserlänge zunehmende Werkzeugverschleiß bei der Verarbeitung, so dass die handelsüblichen Thermoplaste mit Fasern im unterkritischen Längenbereich verstärkt sind. Neben dem Längen-/Durchmesser Verhältnis der Fasern bestimmt erwartungsgemäß der Faseranteil den Verstärkungseffekt (Bild 2.16).

Bei der Thermoplastverstärkung gelingt es, insbesondere Polyamide mit chemisch gekoppelten (= hohe Haftung) Spezialsilikaten zu verstärken. Man erhält mit diesen Verstärkungsmitteln im Gegensatz zur Kurzfaserverstärkung isotrope mechanische Eigenschaften. Auch die Verarbeitungsschwindigkeit ist weitestgehend richtungsunabhängig (s. a. Tabelle 7.1).

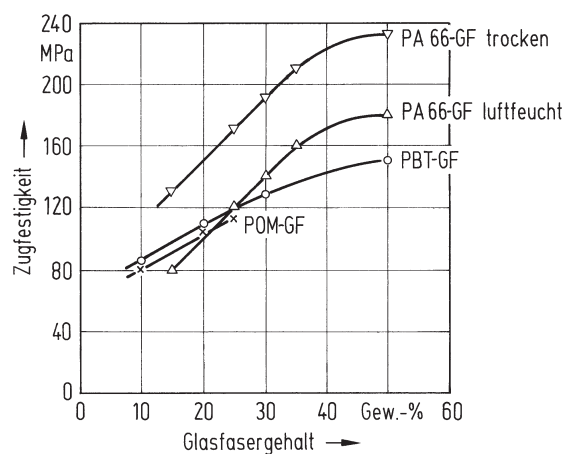


Bild 2.16 Zugfestigkeit in Abhängigkeit vom Glasfasergehalt für einige Thermoplaste. Die Fasern sind überwiegend längsorientiert.