



KOMPETENZ IN CFK

www.dynexa.de

DYNEXA

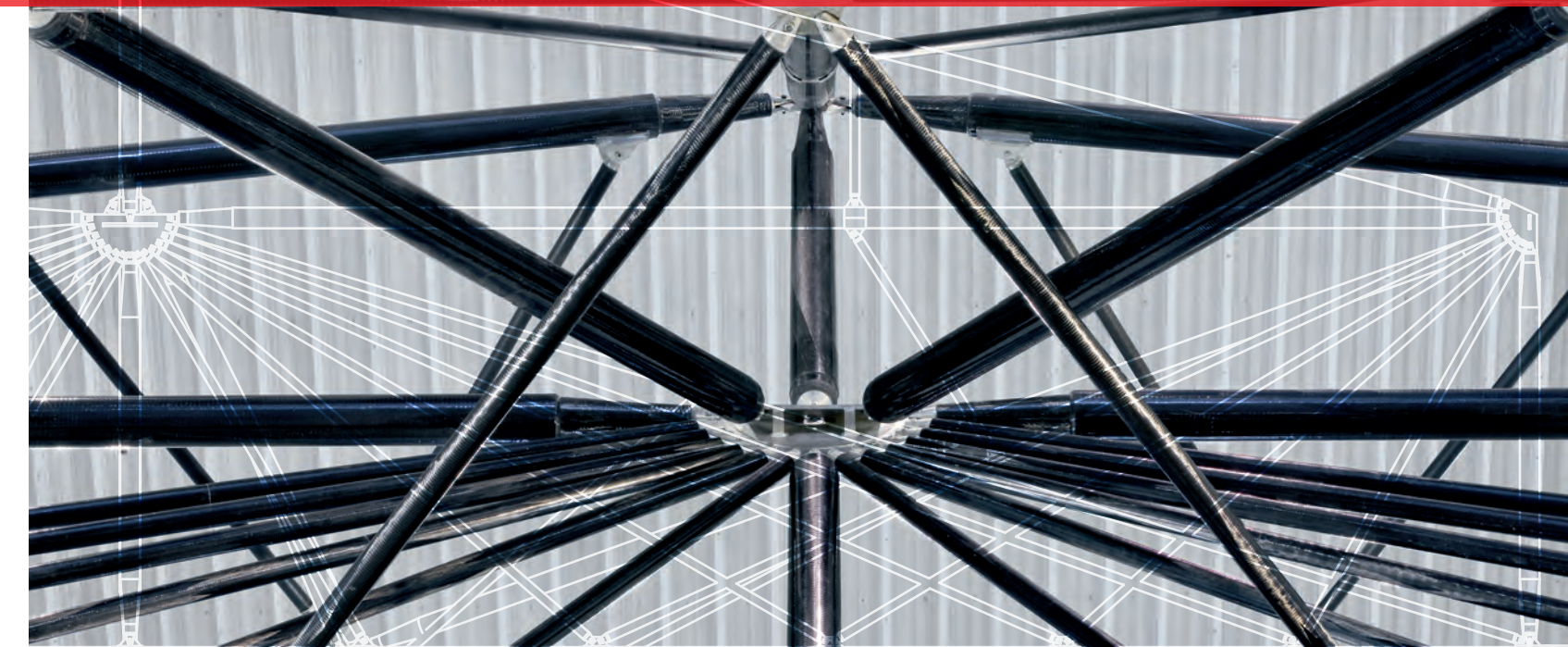
DYNEXA

 DYNEXA

DYNEXA GmbH & Co. KG
Dr.-Werner-Freyberg-Straße 7
69514 Laudendach, Deutschland

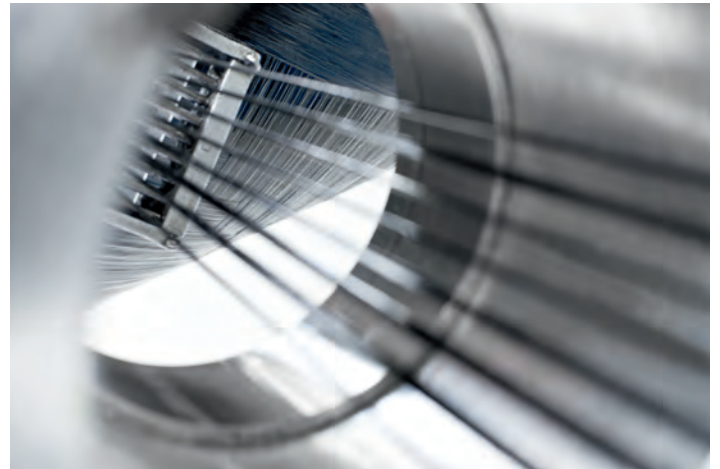
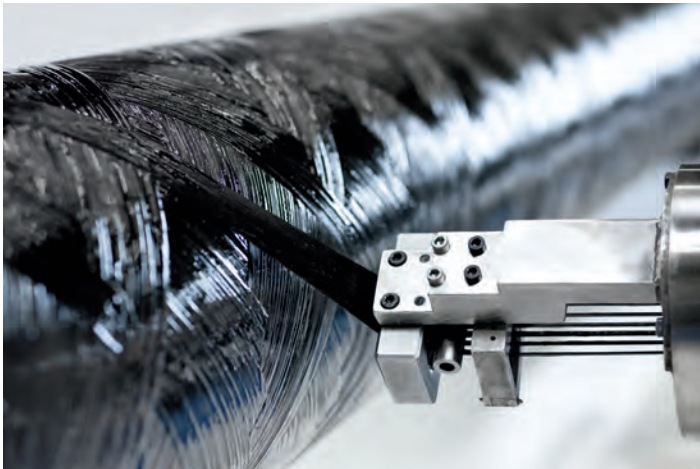
T +49 (6201) 29 086-0
F +49 (6201) 29 086-302
info@dynexa.de
www.dynexa.de

 DYNEXA



DER WERKSTOFF FÜR INNOVATIONEN

FASZINATION CFK



Herstellung eines Bauteils aus CFK im Filament-Winding-Verfahren.

Carbon Composites

Unsere Faserverbundwerkstoffe setzen sich aus Kohlenstofffasern und einer Matrix, bestehend aus speziellen Harzsystemen oder thermoplastischen Kunststoffen, zusammen. Beide Komponenten gemeinsam verleihen dem Werkstoff seine spezifischen und ungewöhnlichen Eigenschaften. Dabei übernehmen Matrix und Faser jeweils unterschiedliche Aufgaben. Die hohe Festigkeit, das geringe Gewicht und die gute Korrosionsbeständigkeit von Carbon Composites ergeben sich nur im Verbund.

Die Kohlenstofffaser

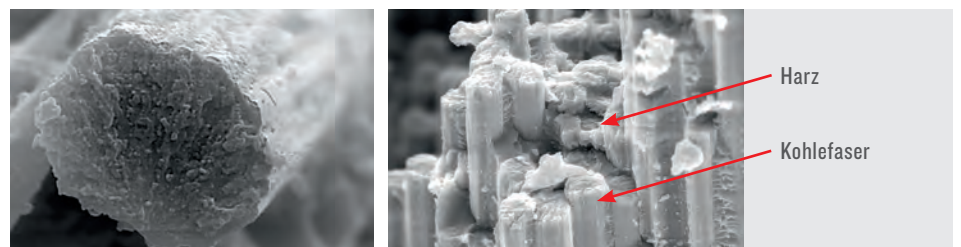
Kohlenstofffasern bilden die Basis des Materialverbundes und haben wirklich faszinierende Eigenschaften: Sie weisen eine Steifigkeit und Zugfestigkeit auf, die die Werte von Stahl um ein Mehrfaches übersteigen können, und das bei einem Bruchteil des spezifischen Gewichts. Sie sind elektrisch leitfähig, haben eine mittlere bis sehr hohe Wärmeleitfähigkeit und eine negative Wärmedehnung. Es gibt sehr unterschiedliche Typen von Kohlenstofffasern, die wir entsprechend ihren Eigenschaften und ihrem Preis gezielt einsetzen. Daneben verwenden wir ergänzend auch Glas- und Aramidfasern bzw. hybride Mischungen aller genannten Fasern für das Erreichen bestimmter Eigenschaftsprofile.

Die Matrix

Da ein Bündel aus Kohlenstofffasern, ähnlich wie ein Seil, biegeschlaff und somit nicht formstabil ist, übernimmt die Matrix die Aufgabe, die Fasern einzubetten, zu stützen, in Form zu bringen und für eine Kraftübertragung zwischen den Fasern und den unterschiedlichen Faserschichten zu sorgen. Wir greifen bei der Wahl des Matrixmaterials standardmäßig auf eine Reihe von Epoxidharzen verschiedener Eigenschaftsspektren zurück. Daneben leistet unsere Unternehmensgruppe Pionierarbeit bei der Entwicklung von industriellen Prozessen zur Verarbeitung thermoplastischer Matrixwerkstoffe im CCM-Verfahren.

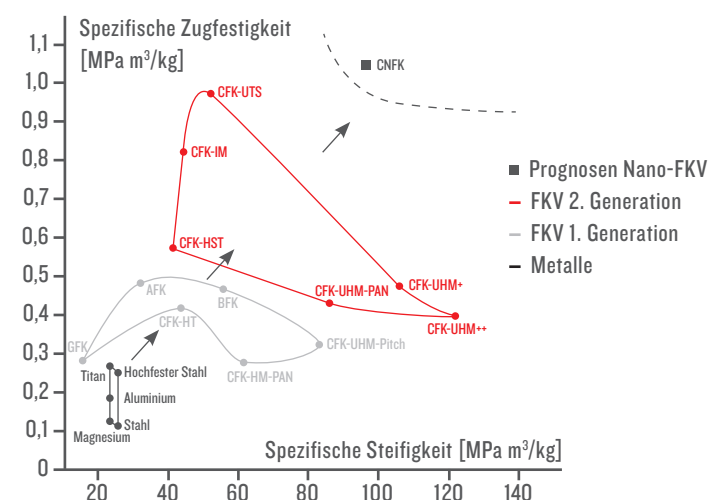
Bild links: einzelnes Kohlefaserfilament bei ca. 3.800-facher Vergrößerung

Bild rechts: Faser-Matrix-Verbund CFK bei ca. 700-facher Vergrößerung





SPEZIFISCHE ZUGFESTIGKEIT ÜBER SPEZIFISCHE STEIFIGKEIT



MATERIAL IN DER ENTWICKLUNG

Während wir heute neben Faser-Kunststoff-Verbunden (FKV) der 1. Generation (verschiedene generische Fasertypen und Matrixmaterialien seit den 1970er Jahren) auch FKV der 2. Generation (neue Fasern und Matrizes mit verbessertem Eigenschaftsprofil) einsetzen, entsteht derzeit eine 3. Generation von FKV, die u. a. durch die Nanotechnologie wiederum neue Möglichkeiten und Anwendungsgebiete erschließt. Wenngleich sich auch nicht alle sagenhaften Prognosen über Kohlenstoffnanoröhren (CNT) erfüllen werden, so vollzieht sich gerade deren Übergang vom Forschungsobjekt zu einem industriell einsetzbaren Verstärkungsmaterial in Verbundwerkstoffen mit hochinteressanten Eigenschaften.

Stark im Verbund

Da Kohlenstofffasern ihre überragenden Eigenschaften nur in Faserlängsrichtung aufweisen, also anisotrop sind, werden sie im Verbundmaterial belastungsgerecht angeordnet und übernehmen die Aufgabe der Kraftübertragung. Bei Druckbelastung werden sie dann durch das Matrixmaterial gestützt. So werden in Faserrichtung deutlich höhere Steifigkeiten als z. B. bei Stahl erreicht, wohingegen quer zur Faserrichtung nur niedrige Steifigkeiten erzielt werden, da die Matrix ihrerseits nur eine geringe Festigkeit aufweist. Schubverformung und Querschnittsverformung

eines Bauteils haben daher einen größeren Anteil an der Gesamtverformung als bei klassischen Werkstoffen. Durch das Bilden eines Schichtaufbaus mit Fasern in unterschiedlichen Richtungen, eines sogenannten Laminats, kann allerdings, z. B. im Faserwickelverfahren, das Verhältnis der Elastizitätsmoduln und der Schubmoduln optimal eingestellt werden. So können wir durch gezielte Anordnung der Fasern maßgeschneiderte Bauteile mit spezifischen Funktionen erstellen. Dazu gehören z. B. ein einstellbares Wärmedehnungs- oder Dämpfungsverhalten, eine hohe Festigkeit oder Flexibilität.

Eine oft unterschätzte Herausforderung bei der Konstruktion mit anisotropen Werkstoffen ist die Krafteinleitung in das Faserverbundmaschinenelement bzw. auch das Fügen mehrerer Komponenten zu Strukturen. Die Schwierigkeit besteht hier – insbesondere bei hohen Kraftflüssen – in einer dauerhaften Anbindung an die kraftführenden Fasern im Verbund. Wir verstehen uns auf das Design und die fertigungstechnische Umsetzung unterschiedlicher Verfahren, wie beispielsweise Kleben, Schrauben, Nieten oder die Herstellung von Pressverbänden.

Analog zur Natur

Bei der Konstruktion mit Carbon Composites machen wir uns die Leichtbauprinzipien der Natur zunutze: minimaler Materialeinsatz, „Form follows function“, Formfindung durch konstante Spannung und die gerichtete Verstärkung eines Bauteils mit Fasern. Am Beispiel des Bambus, der in der Konstruktionsbionik als Vorbild für vielfältige Leichtbaukonstruktionen aus Faserverbundwerkstoffen steht, lässt sich die Gestaltung nach dem Vorbild der Natur am besten verdeutlichen.

Bambusrohre sind Verbundstrukturen, bei denen Leitbündel und Fasern in das Gewebe eingebettet sind. Die an den Grenzflächen zum Gewebe entstehenden Scherspannungen tragen zur Dämpfung schwingender Bambusrohre bei und die Fasern sind durch Einbettung in das Gewebe gegen Ausbeulen durch Druck- und Biegebelastung geschützt. Bambus ist zudem dank seiner Hohlräume extrem leicht und elastisch, wobei innenliegende Stützscheiben für die Festigkeit quer zur Wuchsrichtung sorgen.

Hohe Lebensdauer

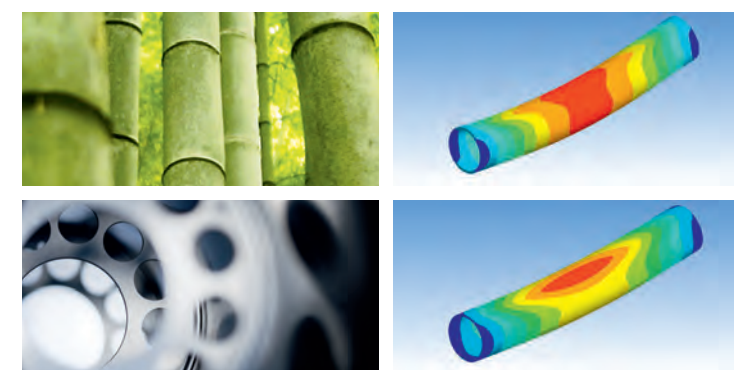
Richtig dimensionierte Bauteile aus Faserverbundwerkstoffen haben eine erstaunlich hohe Lebensdauer, auch unter schwingender Beanspruchung. Bis ein Ermüdungsbruch eintritt, ertragen sie typischerweise deutlich höhere Lastwechselzahlen als vergleichbare Bauteile aus metallischen Werkstoffen. Dies begründet sich vor allem in der generell hohen Festigkeit eines in dünnen Fasern vorliegenden Werkstoffes (Faserparadoxon) und in der hohen Zahl an inneren Oberflächen in einem Faserverbundwerkstoff, an denen entstehende Mikrorisse immer wieder gestoppt werden

und nur unter Zufuhr höherer Energie zum Umlenken und Weiterwachsen gezwungen werden können. In Ermüdungsversuchen an CFK-Bauteilen beobachtet man häufig, dass metallische Krafteinleitungselemente durch Ermüdung versagen, bevor die CFK-Tragstruktur messbar oder gar sichtbar geschädigt ist.

Gutmütiges Versagensverhalten

Eine weitere Stärke von faserverstärkten Kunststoffen sind das tendenziell gutmütige Schadensverhalten und die Möglichkeit, in den Werkstoff gezielt ein bestimmtes

Bruchverhalten hineinzukonstruieren. Dies wird insbesondere bei Crashelementen und energieabsorbierenden Strukturen, wie z. B. in der Formel 1 oder in der Konstruktion von Schutzwesten, genutzt. Auch Impact-Schäden sind heute durch entsprechend ausgelegte Laminatschichten und Schutzschichten beherrschbar. Bei Schädigung eines Laminats hilft die faserige Struktur, indem benachbarte ungeschädigte Fasern weiter die Last übernehmen und Risse nicht ungehindert in beliebige Richtungen weiterwachsen können.



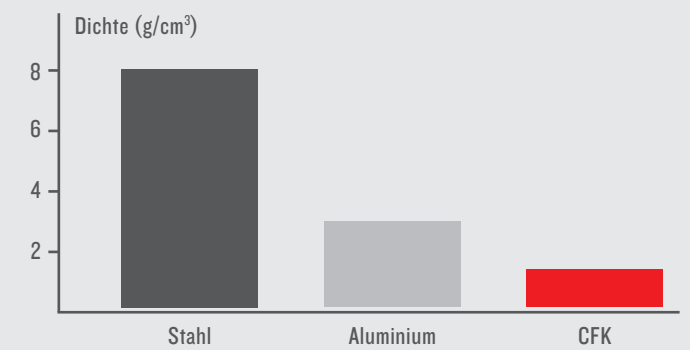
Optimierung des Verformungsverhaltens durch den Einbau von Stützscheiben nach dem Vorbild des Bambus.



Ermüdungsbruch im metallischen Anschlussflansch einer Faserverbundantriebswelle.



MEHR EFFIZIENZ DURCH LEICHTIGKEIT
CFK hat nur rund 20 Prozent der Dichte von Stahl
und 57 Prozent der Dichte von Aluminium.



MIT LEICHTIGKEIT

LEICHTGEWICHT FÜR SCHWERE AUFGABEN

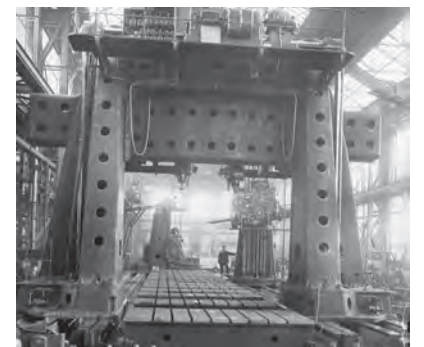
Leichtigkeit ist im Maschinenbau an vielen Stellen gefordert. Sie begründet sich physikalisch durch eine bewegte bzw. zu beschleunigende Masse, beispielsweise eines oszillierenden Hebels, einer rotierenden Welle oder einer verfahrenen Struktur. Kohlefaserverbundwerkstoffe punkten hier mit sehr gutem Leichtbaupotenzial, dank des niedrigen spezifischen Gewichtes und einer geringen Massenträgheit bei gleichzeitig hoher spezifischer Steifigkeit und Festigkeit.

Effizientes Leichtgewicht

CFK hat nur rund 20 Prozent der Dichte von Stahl bzw. 57 Prozent der Dichte von Aluminium. Damit können leichte und leichteste Bauteile realisiert werden, die mit kleineren Antrieben oder teilweise sogar passiv ohne eigenen Antrieb zu bewegen sind. Dies führt, dank der damit verbundenen Energieeinsparung, zu deutlich gesenkten Betriebskosten. Zudem sorgt der Einsatz von CFK-Bauteilen für geringeren Verschleiß innerhalb der Maschine und macht sich so durch reduzierte Wartungskosten zusätzlich bezahlt. Bei den Investitionskosten wirken sich kleinere Komponenten wie Antriebe oder Wälzlager kostendämpfend aus.

Im Mid-End-Segment des Maschinenbaus können diese Vorteile den entscheidenden Unterschied im Wettbewerb ausmachen und ein wichtiger Differenziator bei der Berechnung der Betriebskosten sein. Im High-End-Segment ermöglichen dramatisch reduzierte Massen schnellere Beschleunigungs- bzw. Bremszeiten, sehr schnellen Notstopp oder schnelleren Takt bei gleichzeitig geringeren Schwingungen und damit eine Differenzierung durch eine qualitativ wie quantitativ überlegene Maschinenperformance.

In Anwendungen, bei denen der Ruck, d. h. die Ableitung der Beschleunigung nach der Zeit, für den Konstrukteur von Interesse ist, führt an Maschinenelementen aus Carbon Composites zur Erreichung überlegener Maschinenperformance kein Weg vorbei.



Maschinenbau früher und heute: CFK-Hochleistungswerkstoffe ermöglichen High Performance in Genauigkeit und Geschwindigkeit.

Spezifische Steifigkeit

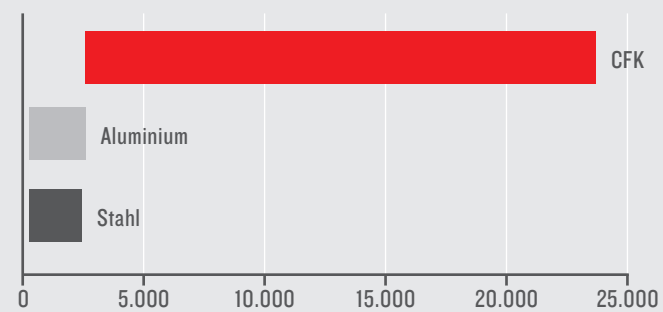
Die spezifische Steifigkeit, d. h. das Verhältnis von Elastizitätsmodul zu Dichte, ist der entscheidende Gradmesser für die Leichtbaueigenschaften eines Werkstoffes und wird deshalb auch oft als Leichtbaupotenzial bezeichnet. Die spezifische Steifigkeit kann in Längeneinheit, z. B. Kilometer, angegeben werden. Sie ist für alle metallischen Werkstoffe wie Stahl und Aluminium, aber auch Titan praktisch gleich. Für Kohlefaserverbundwerkstoffe dagegen können wir eine spezifische Steifigkeit bis zum Zehnfachen der Metalle erreichen und damit passgenau auf die Erfordernisse der Anwendung hin optimieren.

Das hohe Leichtbaupotenzial von Carbon Composites lässt sich z. B. in kleineren Abmessungen bzw. Querschnitten umsetzen. Enge Bauraumerfordernisse, beispielsweise bei Wellen oder Walzen, können so mit einem kleineren Durchmesser entschärft werden. Zudem führt die hohe spezifische Steifigkeit des Materials zu einer geringeren Eigendurchbiegung bzw. zu einer absolut besseren Verformung unter Last im Vergleich zu Maschinenelementen aus metallischen Konstruktionswerkstoffen. Damit ist die Konstruktion größerer, ungestützter Längen bei gleichem Durchmesser oder der Verzicht auf Zwischenlager möglich.

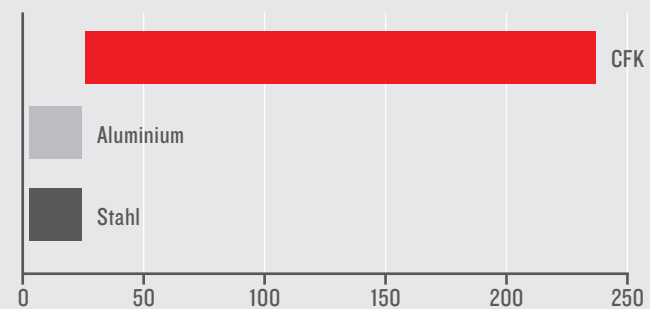
Unübertroffene Festigkeit

Die spezifische Festigkeit, d. h. das Verhältnis der Zugfestigkeit zur Dichte, ist der zweite Gradmesser für das Leichtbaupotenzial eines Werkstoffes. Die spezifische Festigkeit kann durch Wahl eines metallischen Werkstoffs wie Stahl, Magnesium, Aluminium und auch Titan nur um etwa den Faktor zwei variiert werden. Für CFK hingegen können wir die spezifische Zugfestigkeit innerhalb einer großen Bandbreite bis zum Drei- bis Zehnfachen der Metalle einstellen. So lassen sich leichtere Bauteile mit gleicher oder höherer Festigkeit konstruieren, z. B. Zugstreben oder Strukturen, Druckbehälter oder Hydraulikzylinder. Die hohe statische und dynamische Ermüdungsfestigkeit des Werkstoffs ermöglicht auch Bauteile mit langer Lebensdauer und bietet enorme Konstruktionsvorteile für hochdynamische Anwendungen, wie z. B. oszillierende Hebel, Antriebswellen oder Schwungräder.

SPEZIFISCHE STEIFIGKEIT E/ρ [km]

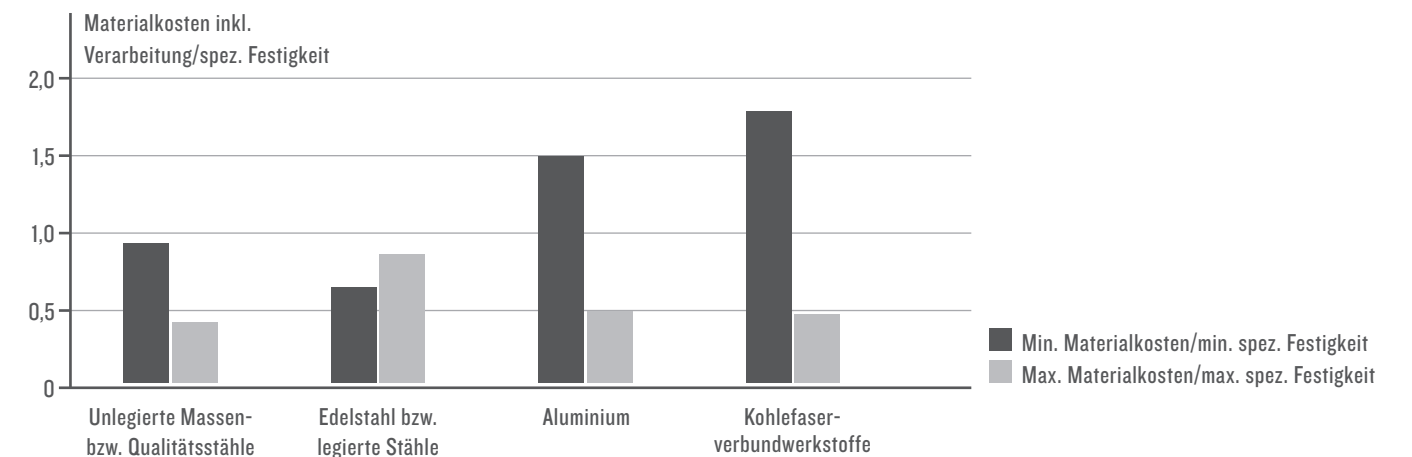


SPEZIFISCHE ZUGFESTIGKEIT R_m/ρ [km]



Kostengünstiger Werkstoff

Faserverbundwerkstoffe, insbesondere Kohlefaserverbundwerkstoffe, gelten als vergleichsweise teures Material. Betrachtet man lediglich die Kosten je Kilogramm Werkstoff, trifft diese Annahme durchaus zu, greift aber aufgrund der niedrigen Materialdichte entschieden zu kurz. Bei einem aussagekräftigeren Vergleich der preisspezifischen Festigkeit verschiedener Werkstoffe zeigt sich, dass Kohlefaserverbundwerkstoffe in der Anwendung mit den etablierten metallischen Konstruktionsmaterialien mithalten können. Belastbare Kostenvergleiche ergeben sich erst in jeder einzelnen Anwendung durch einen Vergleich der Lebensdauerkosten (TCO, Total Cost of Ownership), wobei faserverbundtypische Vorteile, wie z. B. der Entfall einer Lagerstelle bei einer längeren Antriebswelle, mit berücksichtigt werden.



CFK-Strukturen und Werkzeughalter einer Hochgeschwindigkeits-Portalfräse zur Bearbeitung von Urformen im Schiffbau.

DYNAMISCHER WERKSTOFF

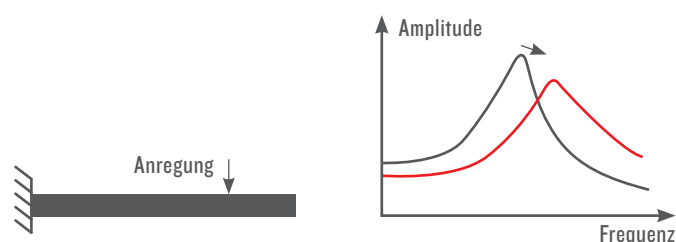
SCHWINGUNGEN BEHERRSCHEN

Wo sich unterschiedlichste Bauteile in einer Maschine bewegen, treten in der Regel Schwingungen auf. In den meisten Fällen sind diese unerwünscht, da sie zu ungenauen Ergebnissen führen, die Dynamik der Prozesse beschränken oder zu erhöhtem Verschleiß einzelner Komponenten beitragen. Maschinenschwingungen maximal zu begrenzen oder sogar ganz zu vermeiden, ist eine hochkomplexe konstruktive Aufgabe, die im Ergebnis zu deutlich höherer Effizienz und Produktionsqualität führt. Für Maschinenbauteile aus Faserverbundwerkstoffen stehen verschiedene technisch interessante Maßnahmen zur Verfügung, um unerwünschte Maschinenschwingungen einzudämmen.

Hohe, einstellbare Dämpfung

Bei der Konstruktion mit Faserverbundwerkstoffen können wir auf der Werkstoffebene durch eine Änderung des Dämpfungsgrads oder der Eigenfrequenzen eine gezielte Polverschiebung der Schwingung bewirken und Anregungen damit unschädlich machen. Faserverbundwerkstoffe weisen durch ihre spezifischen Materialeigenschaften bereits von Haus aus hohe Dämpfungsgrade auf, die wir durch optimierte Schichtverbünde noch einmal um ein Mehrfaches steigern können. Durch Umwandlung der Schwingungsenergie

in innere Wärme können wir für eine Reduzierung der Amplitude und ein beschleunigtes Abklingen induzierter Schwingungen sorgen. Die erzielbaren Dämpfungsgrade, gemessen als logarithmisches Dekrement, können bis zum Zwanzigfachen der Werte für Stahl betragen und bei der Auslegung des Bauteils auf die optimale Dämpfung für die gewünschte Anwendung eingestellt werden. Dies ermöglicht z. B. ein abrupteres Positionieren des Bauteils bei hochdynamischen Anwendungen und sorgt so für einen ruhigeren Lauf der Maschine oder eine bessere Qualität von Messsignalen.

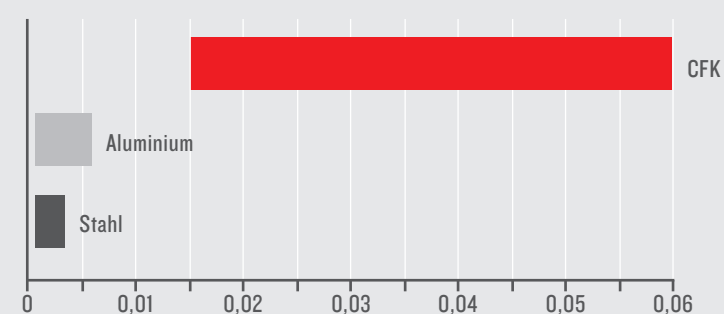


Aktive Polverschiebung einer Schwingung durch Änderung von Dämpfung oder Eigenfrequenz.



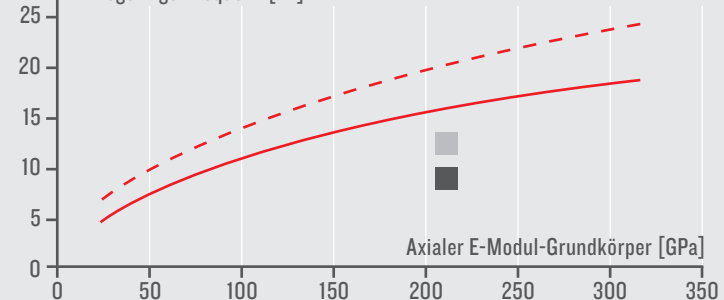
DÄMPFUNGSGRAD CFK

Logarithmisches Dekrement [-]



EIGENFREQUENZ CFK

1. Biege-Eigenfrequenz [Hz]



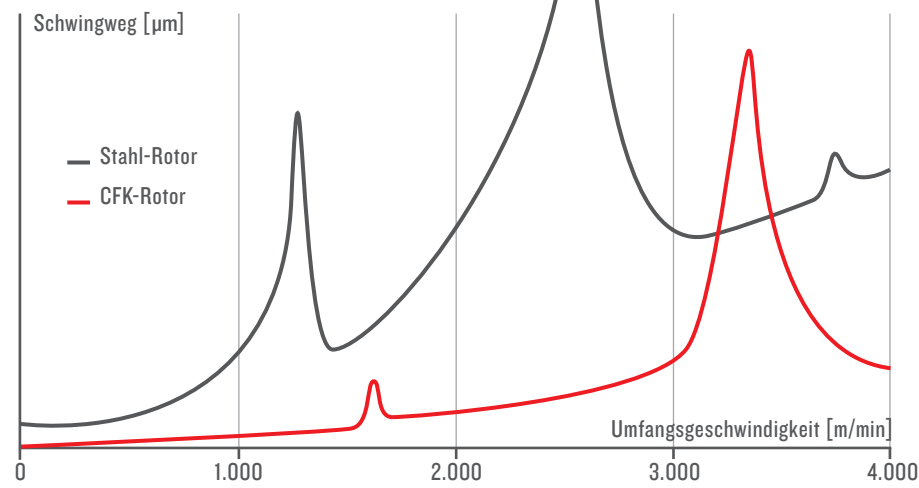
Justierbare Eigenfrequenzspektren

Dank der vielfältigen Konstruktionseigenschaften von Faserverbundwerkstoffen lassen sich auch die Eigenfrequenzen eines Maschinenbauteils gezielt auf die Erfordernisse der Anwendung einstellen. Sie lassen sich durch Variationen der Bauteilsteifigkeit z. B. gezielt in Bereiche verschieben, in denen die Komponente durch ihre Umgebung keine Anregung mehr erfahren kann. Bei Maschinenelementen aus metallischen Werkstoffen hingegen sind die Eigenfrequenzen durch die Geometrie fest vorgegeben. Auch hier ermöglichen Faserverbundwerkstoffe intelligente Lösungen und Produkte jenseits der Möglichkeiten klassischer Werkstoffe.

- Stahl, weiche Hauptachse
- Stahl, steife Hauptachse
- CFK, weiche Hauptachse
- - - CFK, steife Hauptachse

Beispiel für eine mögliche Eigenfrequenzverschiebung bei einem nicht kreisrunden CFK-Tragkörper mit einem Querschnitt von rund 250 mm und einer Länge von 8.000 mm.

SCHWINGUNGSNIVEAU CFK



Niedrigere Schwingungsniveaus

Die Kombination der werkstofftypisch niedrigen anregenden Bauteilmasse, der hohen Dämpfung und der hohen, in Bereichen „einstellbaren“ Eigenfrequenzspektren führt insgesamt zu einem niedrigeren Schwingungsniveau. Somit fallen beispielsweise Rotorsymmetrien bei Wellen oder Walzen aus CFK viel kleiner aus.

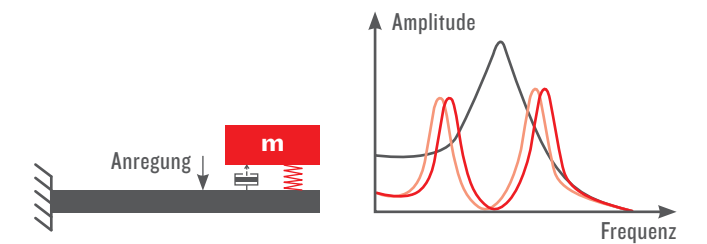
In der Folge können bei einem gleichen Schwingweg wie bei einer metallischen Ausführung viel höhere Geschwindigkeiten gefahren oder bei gleicher Dynamik eine höhere Laufruhe erreicht und damit z.B. genauere Messergebnisse abgelesen oder bessere Bearbeitungsergebnisse erzielt werden.

Adaptronische Tilgung von Schwingungen

Durch die Verwendung zusätzlicher Schwingungstilger bzw. Schwingungsdämpfer können nieder- und hochfrequente Schwingungen in Maschinen weiter reduziert werden. Tilger beruhen auf einem Feder-Masse-System, das der Störschwingung entgegenwirkt und diese dadurch beruhigt. Dabei richtet sich die Masse des Tilgers nach der Masse des zu beruhigenden Systems. Werden zusätzliche dämpfende Elemente verwendet, spricht man von Schwingungsdämpfern. Wir haben einstellbare Tilger entwickelt, mit denen es ohne zeitaufwendige Entwicklungen möglich ist, Tilgerpunkte zu verschieben und so Störschwingungen zu beseitigen oder Eigenfrequenzklippen zu umschiffen.

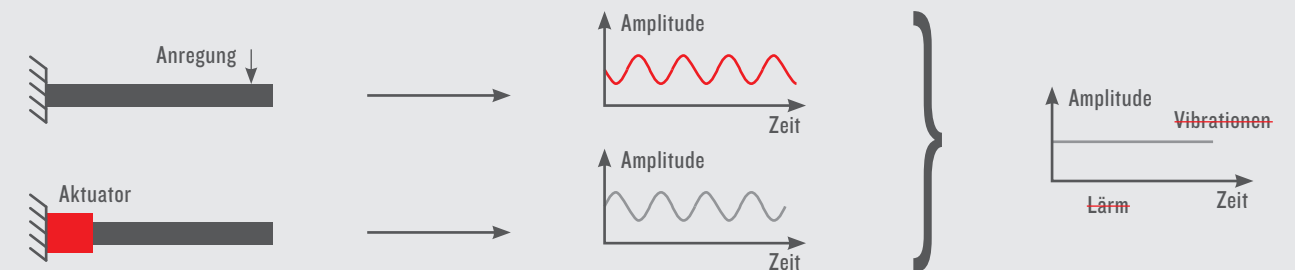
SCHWINGUNGSTILGUNG

Einsatz adaptiver Tilger zur Verschiebung des Tilgerpunktes.



GEGENSCHWINGUNG

Wirkprinzip der Auslöschung einer Anregung durch gezielte künstliche Gegenschwingungen.



Die hohe Schule der Adaptronik

Mithilfe von Aktuatoren, die gezielt künstliche Gegenschwingungen mit geregelter Phase und Amplitude erzielen, lassen sich Körperschallinterferenzen erzeugen, die Schwingungen auslöschten. Derart aufwendige Lösungen bieten wir in Zusammenarbeit mit erfahrenen Spezialisten aus unserem Netzwerk an. Die Partner Adaptronik und Composites ergänzen sich dabei in bester Weise und ermöglichen geniale Lösungen von hoher Komplexität.



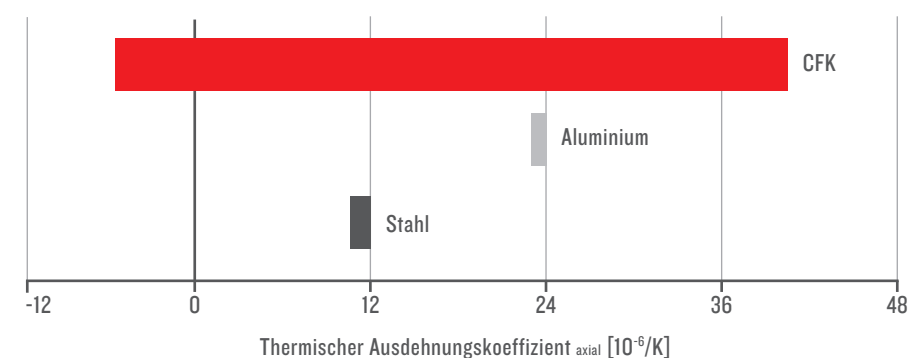


ALLES EINSTELLUNGSSACHE

WÄRMEDEHNUNG ALS GESTALTUNGSVARIABLE

Neben vielen anderen Vorzügen bieten Faserverbundwerkstoffe auch den Vorteil, die Wärmedehnung variabel zu gestalten. Vor allem die sogenannte Thermostabilität, also die Einstellung des Werkstoffes auf eine Wärmedehnung von null, ist dabei von besonderem technischem und industriellem Interesse.

WÄRMEDEHNUNG



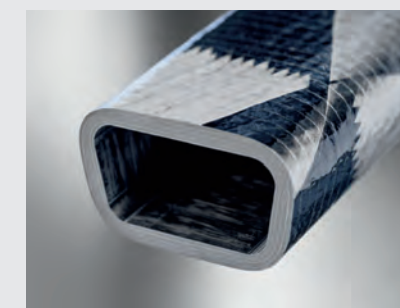
Die Grafik zeigt beispielhaft den Ausdehnungskoeffizienten für die axiale Richtung einer fasergewickelten Struktur.

Die Einstellbarkeit der Wärmedehnungseigenschaften von CFK ermöglicht in Kombination mit anderen Vorzügen des Werkstoffes wirtschaftlich attraktive Lösungen. Ein thermostabiles Bauteil ist unempfindlich gegen zeitliche Temperaturänderungen oder örtlich inhomogene Temperaturverteilungen und kann so optimal für hochgenaue Messaufgaben, z. B. als Taster in Präzisionsmessgeräten, eingesetzt werden.

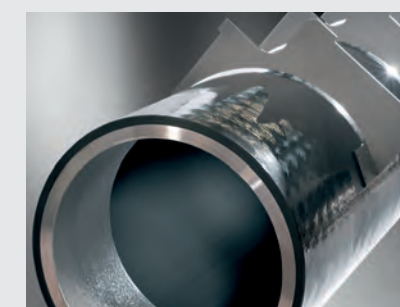
Ebenfalls sehr wirkungsvoll lassen sich derartig gestaltete Maschinenelemente auch in Werkzeugmaschinen zur Erzielung hoher Ge-

naugigkeit oder in dynamischen Anwendungen unter Temperatureinwirkung, beispielsweise für Dosieraufgaben, verwenden.

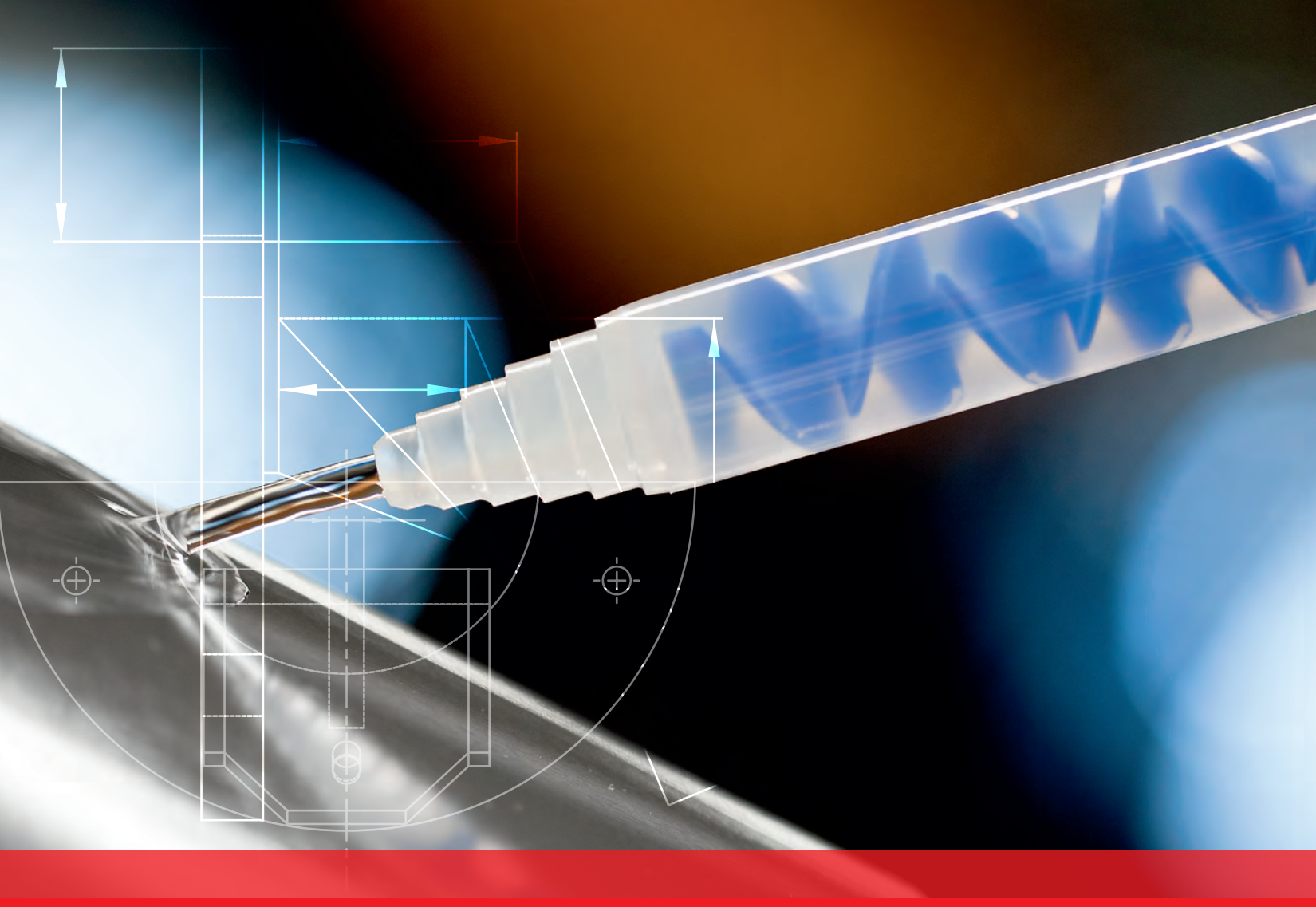
Zudem lässt sich die Wärmedehnung des CFK-Maschinenelementes auf den Wert eines anderen in der Maschine verwendeten Materials einstellen, um ein kongruentes Bauteilverhalten zu erreichen. Dies ist für viele technisch relevante Materialien wie Glas, Keramik, Tantal, Iridium und beispielsweise Graphit möglich, was sich für eine hochgenaue Bearbeitung eben dieser Materialien nutzen lässt.



Konstruktionsprofile aus Faserverbundwerkstoffen mit Wärmedehnung null ermöglichen innovative Baukastenlösungen für komplexe und hochgenaue Konstruktionsaufgaben.



Tragbalken für eine hochgenaue, dynamische Dosieraufgabe in der Papierindustrie. Die definierte Wärmedehnung nahe null ermöglicht den Verzicht auf eine Messung der Bauteilverformung mit gekoppelter hydraulischer Korrekturvorrichtung, wie es für die vorher eingesetzte Stahlversion notwendig war.



GEMEINSAM STARK

EIGENSCHAFTEN VON VERBUNDWERKSTOFFEN

Im Allgemeinen sind Faser-Kunststoff-Verbunde gut gegen die verschiedensten Umwelteinflüsse geschützt. Da der Werkstoff allerdings auf mikromechanischer Ebene nicht homogen ist, wirken sich diese Umwelteinflüsse unterschiedlich auf die Faser und die Matrix aus, sodass, neben der Auswirkung auf die Einzelkomponenten, auch immer die resultierenden Folgen für den Verbund berücksichtigt werden müssen.

Chemische Beständigkeit

Die chemische Beständigkeit von Faserverbundwerkstoffen ist in erster Linie abhängig von den verwendeten Matrixmaterialien. Für die Konstruktion stehen daher eine Vielzahl unterschiedlicher Harzsysteme und thermoplastischer Werkstoffe zur Verfügung, mit denen die chemische und thermische Beständigkeit des Bauteils an unterschiedliche Umgebungen angepasst werden kann. Dabei erfreuen sich gerade duroplastische Faserverbundwerkstoffe mit speziellen hochbeständigen Matrixwerkstoffen beim Einsatz in der Verfahrenstechnik oder im Anlagenbau großer Beliebtheit.

Auf der Bauteiloberfläche wirkt die geschlossene Harzmatrix als Schutzschicht gegen Chemikalien und andere aggressive Medien. Natürlich lässt sich ein gewisser Alterungsprozess des Materials auch bei FVK nicht komplett verhindern. Aufgrund von zeit- und konzentrationsabhängigen Diffusionsprozessen der umgebenden Medien, nimmt der Faserverbundwerkstoff Feuchtigkeit auf und verliert so einen Teil seiner mechanischen Eigenschaften. Allerdings verlaufen diese Prozesse sehr langsam und sind selbst bei hoch-aggressiven Medien in Jahren zu bemessen. Aufgrund ihrer Korrosionsbeständigkeit eignen sich speziell ausgeführte Verbundwerkstoffe daher sehr gut als Ersatz für Edelstahl oder andere Metalle.

Thermische Beständigkeit

Auch die thermische Beständigkeit von Faserverbundwerkstoffen bemisst sich wesentlich an den Eigenschaften, speziell an der Glasübergangstemperatur, der verwendeten Matrix. Die von uns standardmäßig verwendeten duroplastischen Matrixwerkstoffe haben Glasübergangstemperaturen zwischen 145 °C und 200 °C. Mit Sonderwerkstoffen können wir eine Temperatureinsatzgrenze von bis zu 350 °C ermöglichen. Höhere Umgebungstemperaturen, die auf das Bauteil einwirken, lassen das Elastizitätsmodul des Matrixwerkstoffs sinken und bewirken so eine Abnahme der E-Moduln und damit der faserparallelen Druckfestigkeit des Verbundes. Gegenüber tiefen Temperaturen ist die Beständigkeit von Composite-Werkstoffen im Allgemeinen sehr gut. Metallische Krafteinleitungselemente oder die im Fügeverfahren eingesetzten Kleber können eine Schwachstelle im Bauteil bilden, die wir allerdings bereits bei der Konstruktion mit bedenken.

Geschlossene Harzmatrix als Schutzschicht gegen Chemikalien.

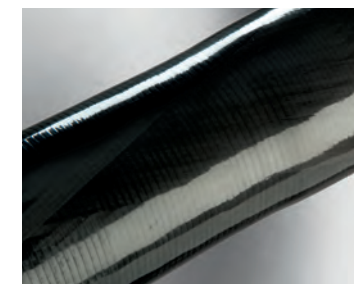
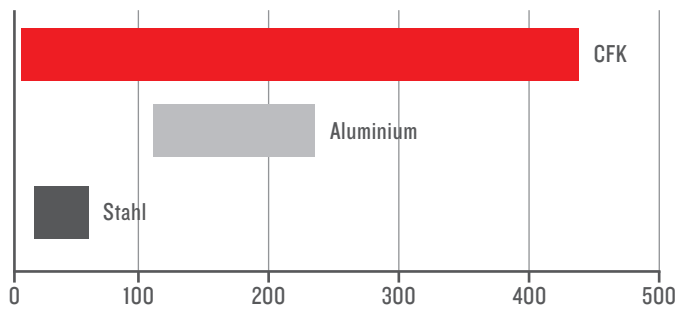


TABELLE CHEMISCHE BESTÄNDIGKEIT

Chemikalie/Konzentration/Bedingungen	beständig	bedingt beständig	unbeständig
Schwefelsäure (10 % / +60 °C)	-	•	-
Schwefelsäure (70 % / +60 °C)	-	•	-
Toluol (100 % / +40 °C)	-	-	•
Ethylalkohol (100 % / +23 °C)	-	•	-
Ethylglykolacetat (100 % / +40 °C)	-	-	-
Ammoniumhydroxid (100 % / +23 °C)	-	•	-
Ammoniumhydroxid (100 % / +60 °C)	-	-	-
Anilin (100 % / +40 °C)	•	•	-
Benzylalkohol (100 % / +40 °C)	-	-	•
Butylacetat (100 % / +40 °C)	-	-	•
Chlorobenzol (100 % / +40 °C)	-	-	•
Cyclohexan (100 % / +40 °C)	•	-	-
Decalin (100 % / +40 °C)	•	-	-
Dibutylphthalat (100 % / +40 °C)	•	-	-
Diisobutylketon (100 % / +40 °C)	•	-	-
Diisopropylketon (100 % / +40 °C)	•	-	-
Dimethylformamid (100 % / +40 °C)	-	-	•
Dioxan (100 % / +40 °C)	-	-	•
Dichlorobenzol (100 % / +40 °C)	-	•	-
Eisessig (100 % / +40 °C)	-	-	•
Ethanol (100 % / +23 °C)	-	•	-
Laurylalkohol (100 % / +40 °C)	•	-	-
Methylglycolacetat (100 % / +40 °C)	-	-	•
Methylisobutylketon (100 % / +40 °C)	•	-	-
n-Methylpyrrolidon (100 % / +40 °C)	-	-	•
Natriumhydroxid (10 % / +23 °C)	-	•	-
Natriumhydroxid (10 % / +60 °C)	-	•	-
Natriumhydroxid (10 % / +80 °C)	-	•	-
Petroleum (100 % / +60 °C)	•	-	-
Piperidin (100 % / +40 °C)	•	-	-
Salzsäure (20 % / +23 °C)	•	-	-
Salzsäure (20 % / +40 °C)	-	•	-
Salzsäure (20 % / +60 °C)	-	-	•
Salzsäure (20 % / +95 °C)	-	-	•
Desinfektionsmittel			
Natriumhypochlorit bis 50 g/m ³	•	-	-
Peressigsäure bis 50 ppm	•	-	-
Quartäre Ammoniumverbindungen	•	-	-
Biguanide	•	-	-
Phosphorsäure bis 1 %	•	-	-
Essigsäure bis 1 %	•	-	-
Ameisensäure bis 1 %	•	-	-
Zitronensäure bis 1 %	•	-	-

Obige Angaben beziehen sich auf ein Standard-Epoxidharz für konstruktive Anwendungen im Maschinenbau.

FASERPARALLELE WÄRMELEITFÄHIGKEIT $\lambda_{||}$ [W/mK]



Energiereiche Strahlung

Ultraviolett-, Infrarot-, Röntgen-, aber auch kosmische und radioaktive Strahlung bewirken bei Epoxidharzen in geringer Dosis und bei kürzerer Exposition zunächst Verbesserungen der mechanischen Eigenschaften. Stärkere Dosen und/oder längere Einwirkungszeiten können jedoch zum Abbau der Ursprungsfestigkeit führen.

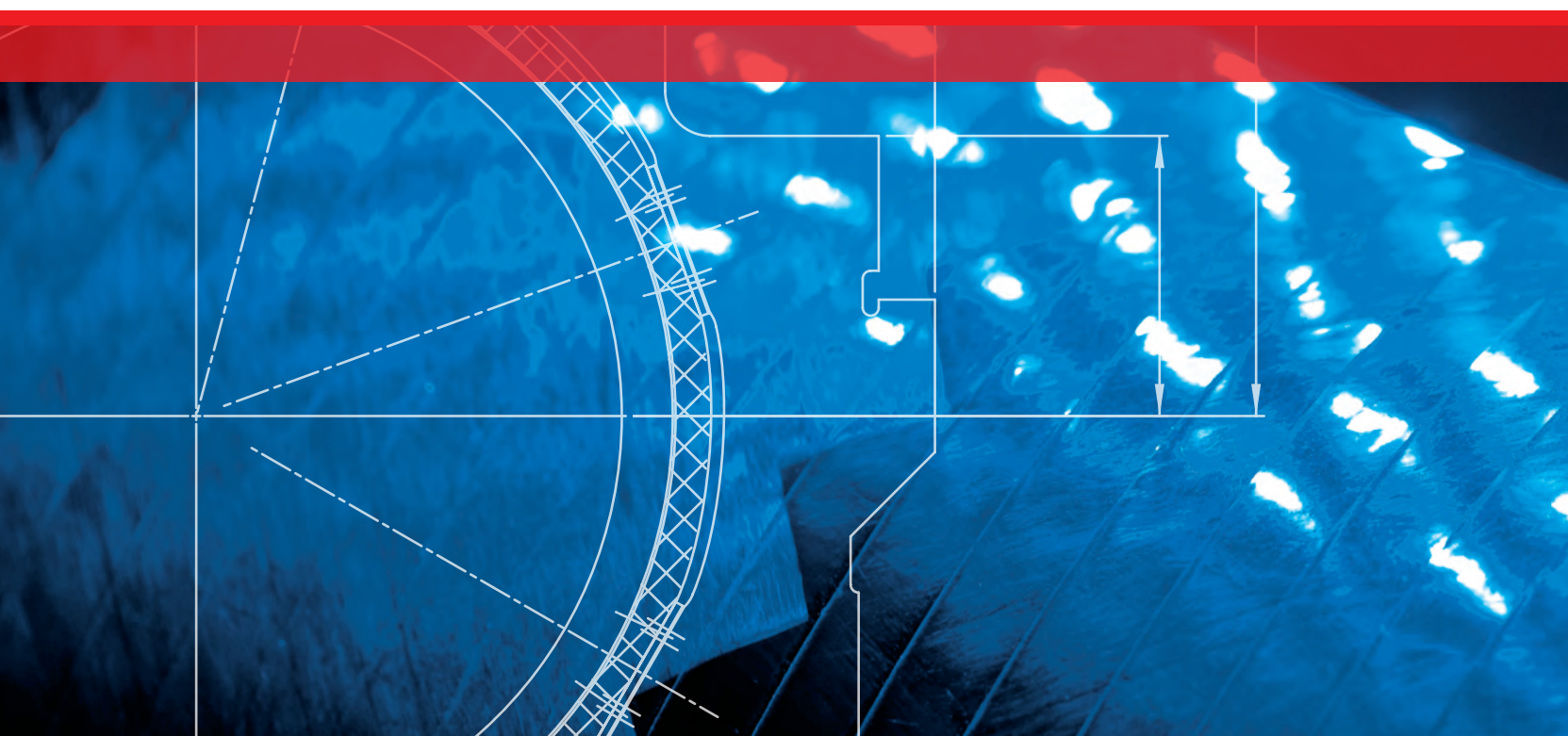
Die Einwirkungen von Sonne, Wind und Wetter werden in der Regel von Faserverbundwerkstoffen mit Epoxidharzmatrix gut vertragen, lediglich bei extrem exponierten Einsätzen wie beispielsweise in der Wüste oder auf See empfehlen sich zusätzliche Schutzanstriche mit speziellen Materialien.

Röntgentransparenz

Kohlefaserverbundwerkstoffe sind röntgentransparent, d. h., sie stellen bei Röntgenaufnahmen keine Barriere dar und sind nicht zu erkennen. Diese spezielle Eigenschaft führt zu einem vielfältigen Einsatz von CFK-Produkten in der Medizintechnik.

Elektrische Leitfähigkeit

Kohlefasern besitzen eine sehr gute elektrische Leitfähigkeit und werden daher u. a. gern beim Bau von Widerstandsheizelementen eingesetzt. Verbundwerkstoffe auf der Basis von Glasfasern dagegen sind hervorragende elektrische Isolatoren und bieten sich daher an vielen Stellen für den technischen Einsatz an.



ÜBERRAGENDES MATERIAL

NACH DEM VORBILD DER NATUR

Was macht Carbon Composites eigentlich zum perfekten Werkstoff für den Maschinenbau? Warum sind sie für bestimmte Anwendungen besser geeignet als herkömmliche Materialien wie z. B. Stahl oder Aluminium? Wie kommen die herausragenden Eigenschaften von Faserverbundwerkstoffen zustande? Auf alle diese Fragen wollen wir Ihnen auf den folgenden Seiten eine Antwort geben und den Beweis erbringen, dass es derzeit kein spannenderes und vielseitigeres Material auf dem Markt gibt.

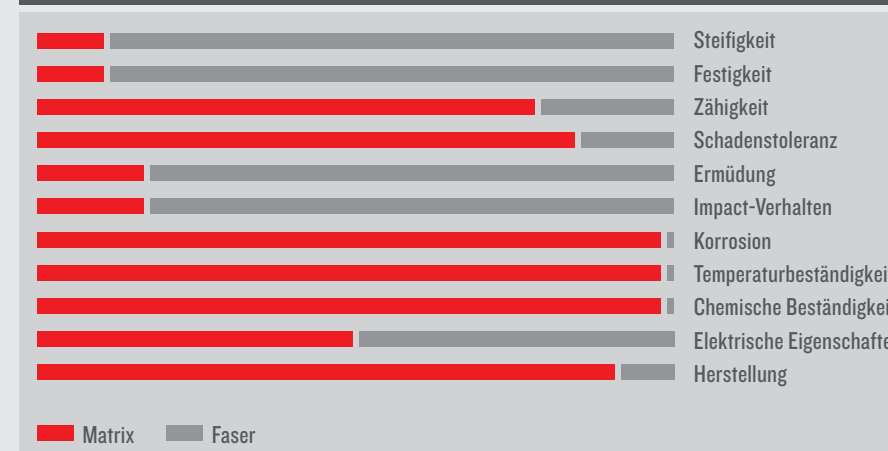
Querkontraktion

Eine oft unterschätzte bzw. nur selten genutzte Möglichkeit bei Faserverbundkunststoffen ist die gezielte Einstellung der Querkontraktionszahl. Herkömmliche Werkstoffe haben eine unveränderliche Querkontraktionszahl von ca. 0,3, was zur Folge hat, dass beispielsweise ein Blechstreifen, der sich unter Zugbelastung um 1 Prozent verlängert, dabei um 0,3 Prozent schmaler wird. Die Wahl der Faserorientierung dagegen erlaubt für CFK Querkontraktionszahlen von mehr als 1,0 oder sogar leicht negative Werte. Dies ermöglicht die Konstruktion von Bauteilen, die z. B. unter Zug- bzw. Druckbelastung ihre Breite und ihren Durchmesser beibehalten oder diese sogar vergrößern bzw. verkleinern.

Wärmeleitung

Die Wärmeleitfähigkeit von Verbundwerkstoffen ist, bedingt durch ihren Aufbau, stark richtungsabhängig. Quer zur Faser wird sie durch den Matrixwerkstoff, in Faserrichtung durch den Faserwerkstoff dominiert. Es gibt Kohlenstofffasern, deren Wärmeleitfähigkeit beim Vierfachen von Aluminium liegt.

EIGENSCHAFTEN VON FASER UND MATRIX



Faser und Matrix haben jeweils spezifische Eigenschaften und übernehmen im Verbund unterschiedliche Aufgaben. Welche Aufgaben mehr der Faser und welche mehr der Matrix zuzuordnen sind, können Sie den oben stehenden Eigenschaftsprofilen entnehmen. Je nach Konstruktion des Werkstoffes kann so ein Bauteil in weiten Bereichen auf die individuellen Anforderungen der Anwendung angepasst werden.

VORBILDLICHER KREISLAUF

CFK: NACHHALTIG UND UMWELTEFFIZIENT

Berücksichtigt man Ökologie, Ökonomie und soziale Auswirkungen der Produktion von Faserverbundwerkstoffen, z. B. in Form einer Life-Cycle-Assessment (LCA)-Studie, kommt man zu dem berechtigten Schluss, dass CFK sowohl umwelt-effizient als auch nachhaltig ist. Im Vergleich zu traditionellen Materialien wie Stahl oder Aluminium verursachen Faserverbundwerkstoffe geringere Umweltemissionen, verbrauchen weniger Energie und emittieren weniger Treibhausgase, was zu geringeren Umweltbelastungen und zu einer besseren CO₂-Bilanz führt.

Beispielhafte Studien aus dem Luftfahrtbereich zeigen, dass die Herstellung von Kohlefaserprodukten deutlich weniger Energie benötigt, als die vergleichbarer Aluminiumkonstruktionen und dass weit weniger gesundheitsschädliche Emissionen und Abfallprodukte entstehen.

Leichtbau für den Maschinenbau begründet sich wesentlich durch die damit verbundenen Energieeinsparpotenziale, die ihrerseits zu Kostenreduktionen führen. CFK-Werkstoffe bestehen durch höhere Festigkeit und Steifigkeit als ihre metallische Konkurrenz – die obendrein korrodiert und nur niedrigere Lastzyklen unter dynamischer Belastung verträgt. Die beiden letzteren Aspekte weisen auch auf die sehr viel längere und ökonomischere Lebensdauer von Composite-Produkten hin, die oft ein Mehrfaches der metallischen Werkstoffe beträgt. Allein diese Aspekte machen Faserverbundkunststoffe zum besseren und nachhaltigeren Material für die Konstruktion von Bauteilen im Maschinenbau.

Am Ende ihrer Einsatzdauer können Faserverbundwerkstoffe problemlos recycelt werden. Sie sind nicht gesundheits-, luft- oder wassergefährdend, sondern – im Gegenteil – gut für eine umweltfreundliche Wiederaufbereitung geeignet. Mittlerweile hat sich eine diversifizierte Recycling-

Landschaft entwickelt, die Produkte aus Faserverbundwerkstoffen in jeweils angepasster Form, stofflich bis hin zu einem Recycling von Langfasern, wiederverwertet.

Ein zusätzliches attraktives grünes Potenzial erschließen sich FKV durch den Einsatz von Bio-Harzen und Naturfasern. Bio-Faserverbundwerkstoffe werden bereits vielfältig in interessanten Anwendungen eingesetzt.

Wir fühlen uns dem Schutz der Umwelt insbesondere aber auch bei unseren eigenen Herstellungsprozessen verpflichtet. Eine Selbstverständlichkeit ist dabei die Einhaltung aller Umwelt-, Gesundheits- und Sicherheitsvorschriften und Gesetze. Darüber hinaus arbeiten wir beständig an der Optimierung unserer Maschinen und Prozesse, um den Einsatz wertvoller Ressourcen auf das benötigte Minimum zu beschränken.

Wir entwickeln Recycling-Maßnahmen, mit deren Hilfe wir die Kohlefasern, unseren wertvollsten Rohstoff, direkt intern im Prozess und zu 100 Prozent und ohne Downcycling-Effekte nutzen können. Zusätzliche Anstrengungen gelten dem Ersatz unserer Roh- und Zusatzstoffe durch umweltfreundlichere Alternativen.

Das hohe Interesse am Werkstoff und die intensiven Aktivitäten aller Marktteilnehmer, insbesondere auch im Bereich F&E, werden die führende Position von Faserverbundwerkstoffen, als bevorzugte grüne Werkstoffe für anspruchsvolle Engineering-Aufgaben, weiter verstärken. Carbon Composites bieten einen reduzierten CO₂-Footprint, längere Lebensdauer und größere Nachhaltigkeit. Zudem verfügen sie, im Vergleich zu Metallen, über ungleich größere ungehobene Verbesserungspotenziale.

