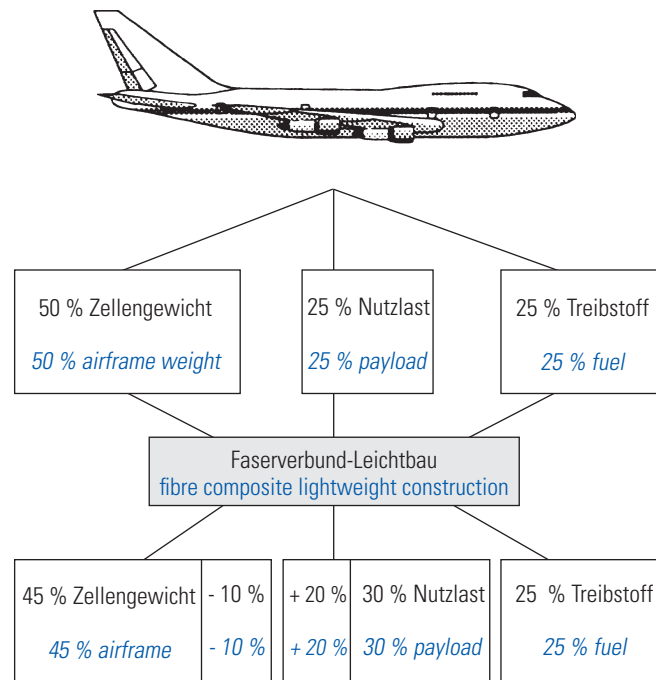


Gewichtsminderungen unter Beibehaltung oder gar Verbesserung der mechanischen Eigenschaften sind die wesentlichen Vorteile des **Leichtbaus** mit Faserverbundwerkstoffen. Dies läßt sich leicht anhand der Rentabilität eines Flugzeuges betrachten, dessen Zellengewicht aus Verbundwerkstoffen um 10 % reduziert wurde.

The essential advantage of **lightweight engineering** with fibre composites is that material weights are reduced without any sacrifice to the mechanical properties. In a number of cases, these properties are even enhanced. This can best be illustrated by the cost-effectiveness of an aircraft whose airframe has been made of fibre composites, with a total weight reduction of 10%.



* Dieser Text enthält Auszüge aus dem Fachbuch „Ökonomischer und Ökologischer Leichtbau mit faserverstärkten Polymeren“, 2., völlig neubearbeitete Auflage, von Prof. Dr. Günter Niederstadt und 6 Mitautoren, erschienen im Expert-Verlag, 71272 Renningen-Malmsheim. Das Buch ist erhältlich bei R&G unter der Bestell-Nr. 380 126-1

* This article contains a number of translated sections taken from Prof. Dr. Günter Niederstadt et al.'s Ökonomischer und Ökologischer Leichtbau mit faserverstärkten Polymeren (2nd completely revised edition published by Expert-Verlag at 71272 Renningen-Malmsheim). This book is available from R&G, order no. 380 126-1.

Geht man davon aus, daß das Zellengewicht etwa 50 % des Abfluggewichts eines Flugzeugs beträgt, so verbleiben nur 25 % für die Nutzlast und 25 % für die erforderlichen Treib- und Betriebsstoffe. Eine 10%ige Einsparung am Zellengewicht erbringt eine Nutzlasthöhung von 20 %. Das ist ein großer Vorteil für die Rentabilität des Flugzeugs und der wichtigste Grund für die **Vorreiterrolle des Flugzeugbaus** bei der Anwendung von Faserverbundwerkstoffen. Ähnliche Verbesserungen hinsichtlich der Rentabilität ergeben sich auch für den Schiffbau, den Bus- und Rennwagenbau und in vielen Bereichen des Maschinenbaus.

If we assume that the weight of the airframe is about 50 % of the aircraft's take-off weight, then the remaining 50 % must be shared equally between the payload and the requisite fuels and lubricants. Reducing the airframe weight by 10 % increases the payload by 20 %. This is a considerable advantage for the cost-effectiveness of an aircraft, and the key driving power behind **the pioneering role played by aircraft construction** in the application of fibre composites. Similar improvements to cost-effectiveness can also be obtained for shipbuilding, the construction of buses and racing cars, and many other fields of mechanical engineering.

Fasern

Bei der Auswahl geeigneter Verstärkungsfasern ist nicht nur eine **hohe Festigkeit** wichtig, sondern auch eine **niedrige Materialdichte**. Eigenschaften, die auf die Dichte bezogen werden, nennt man **spezifische Materialeigenschaften**. In einem solchen Kennwert wird der Werkstoff nicht nur nach seinen mechanischen Eigenschaften beurteilt, sondern auch nach seiner geringen Masse. Dieser, als **Reißlänge** gebräuchliche Wert ergibt sich aus der Faserlänge in km, bei der ein Faden durch sein Eigengewicht reißt. Geeignet sind also Fasern mit großer Reiß- und Dehnlänge. Dabei wird der **Vorteil von Kohlenstofffasern** besonders deutlich. Kohlefasern verfügen über eine große Eigenschaftsbreite und können, je nach Type, sowohl große spezifische Festigkeiten als auch große spezifische Steifigkeiten aufweisen.

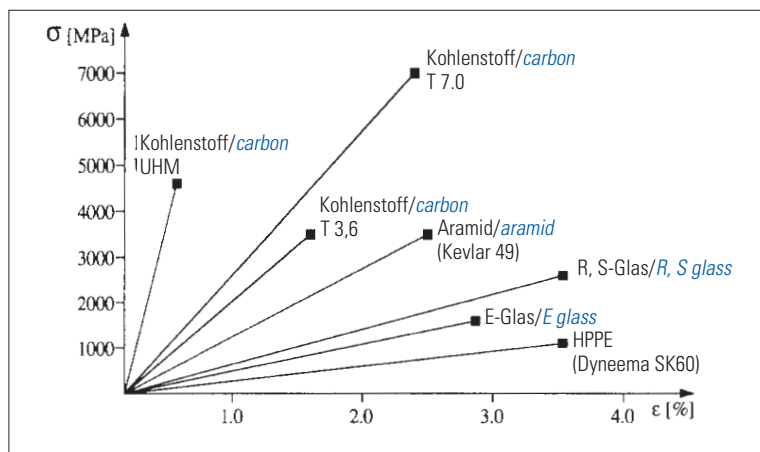
Ein wichtiges Kriterium für den Konstrukteur ist immer das Spannungs-Dehnungs-Diagramm. Es gibt Antwort auf die Frage nach der **Deformation im Belastungsfall**.

Fibres

The choice of a suitable reinforcing fibre should attach importance not only to **high strength**, but also to a **low material density**. Properties based on the material's density are called **specific material properties**. One of these characteristics usually taken as a measure not only of the material's mechanical properties, but also of its low mass is the so-called **breaking length**, or the minimum length of a fibre in kilometres that breaks under its own weight.

So suitable fibres are those with large breaking and extensile lengths. And here is where the **advantage of carbon fibres** comes to the fore. Carbon fibres exhibit a wide range of properties, including high specific strength and high specific rigidity depending on the type.

One indispensable set of criteria for the designer takes the form of the stress-strain curve. This provides information on how fibres **deform when under load**.

Spannungs-Dehnungs-Diagramm
Stress-strain curve

Physikalische Eigenschaften verschiedener Fasern
Physical properties of various fibres

Werkstoff Material	Dichte/ Density g/cm ³	Zugfestigkeit GPa Tensile strength GPa	E-Modul GPa Modulus of elasticity GPa	lineare Dehngrenze % Practical elastic limit %	Reißlänge km Breaking length km
Stahl Steel	7,8	1,8 - 2,2	210	1,4 - 1,7	bis/max. 30
Glas Glass	2,6	1,8 - 3,0	72 - 83	2 - 3	70 - 120
Kohlenstoff Carbon	1,7 - 1,9	2,4 - 7,0	230 - 700	0,5 - 2,3	150 - 380
Aramid Aramid	1,4 - 1,5	2,5 - 3,5	60 - 130	2,0 - 4,0	180 - 240
HPPE HPPE	0,97	2,7	89	3,5	295
Flachs Flax	bis/max. 1,5	bis/max. 0,85	bis/max. 25	1,4 - 4	bis/max. 60
Jute Jute	bis/max. 1,5	0,32	27	2,5	bis/max. 25
Ramie Ramie	1,5	bis/max. 0,9	bis/max. 24	2,5	bis/max. 61
Baumwolle Cotton	1,5	bis/max. 0,75	bis/max. 9	bis/max. 10	bis/max. 50

Pflanzenfasern

Verstärkungsmaterialien aus Pflanzenfasern sind als Vliese und teilweise auch als Gewebe erhältlich. Insbesondere der hochwertigen **Ramie-Faser**, die aus dem subtropischen Chinagrass gewonnen wird, kommt wachsende Bedeutung zu. Hinsichtlich ihrer gewichtsbezogenen Festigkeit ist die Ramie-Faser durchaus mit der E-Glasfaser vergleichbar. Natürlich stellt sich bei der Verwendung **biologisch abbaubarer Werkstoffe** die Frage nach der Beständigkeit gegenüber äußeren Einflüssen wie Temperatur, Feuchte, Chemikalien und Strahlung oder auch Mikroben. Die Entwicklung zielt vor allem auf Anwendungsbereiche, für die heute noch glasfaserverstärkte Polyesterharze verwendet werden. Wesentliche Zielgruppe sind somit z.B. Verkleidungselemente mit tragenden Inserts im Automobil- und Waggonbau sowie der Möbelindustrie.

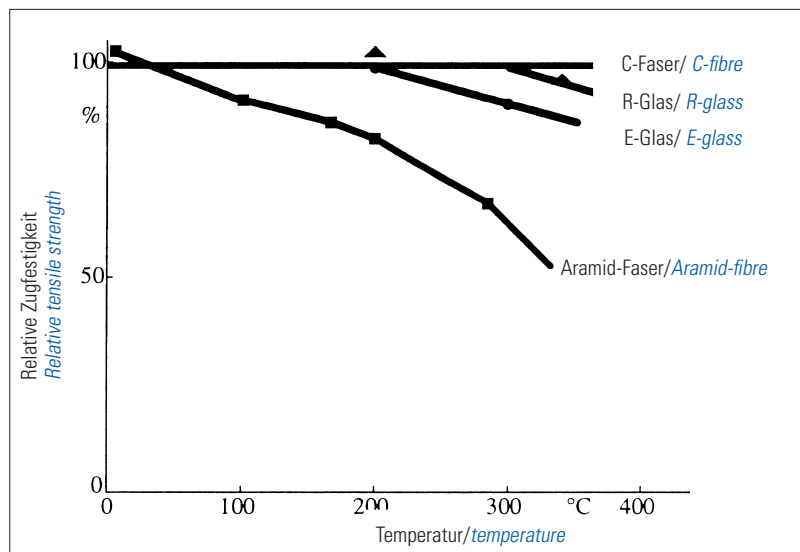
Wärmebeständigkeit

Die Wärmebeständigkeit von Faserverbundwerkstoffen wird allgemein durch die Wärmebeständigkeit der polymeren Matrix (des Harzes) bestimmt und liegt langfristig nicht höher als 230 °C. Kurzfristig kann die Temperaturbeständigkeit jedoch sehr viel höher sein. Man erinnere sich z.B. an die Hitzeschilder für Raumfahrzeuge, wo die Temperaturbeständigkeit eine Folge der **geringen Wärmeleitung** des Harzes ist, die durch geschickte geometrische Anordnung der Fasern (keine Wärmebrücken!) noch weiter verbessert werden kann.

Dennoch haben auch die Fasern unterschiedliche Wärmebeständigkeiten.

Aramidfasern erleiden schon Festigkeitsverluste bei erhöhter Raumtemperatur in inerte Atmosphäre. Ab 200 °C zeigen sich Festigkeitsverluste bei **E-Glasfasern**. Erst ab 1000 °C werden Kohlenstofffasern thermisch beeinflusst.

Einfluß der Temperatur auf die Zugfestigkeit



Feuchtigkeitsaufnahme der Verstärkungsfasern

Viele Untersuchungen haben gezeigt, daß sowohl Glas- wie auch Kohlenstofffasern keine Feuchtigkeit aufnehmen, sondern im Laminat sogar eine Sperrwirkung gegenüber Wasserdampf haben.

Eine Ausnahme bilden die synthetischen Fasern, wie z.B. die **Aramide**. Ihre Feuchtigkeitsaufnahme kann ganz erheblich sein, abhängig vom Trocknungsgrad und der Faserart. Sehr unterschiedlich in Bezug auf die Faserachse sind auch ihre Quellungen. Messungen zeigen eine z.T. sehr hohe Quellung in radialer und eine Kontraktion in Achsrichtung.

In der nachfolgenden Tabelle sind eine Vielzahl von Meßergebnissen, auch für die neueren natürlichen Faserverstärkungen, zusammengefaßt. Die Messungen wurden entweder bei einer relativen Umgebungfeuchte von 65 % vorgenommen oder auf diese Feuchte umgerechnet, da dieser Wert dem langzeitigen Feuchtgleichgewicht in unseren Breitengraden entspricht.

Vegetable fibres

Reinforcing materials of vegetable fibres are available primarily as non-wovens, but fabrics are also possible. In particular, high-quality **ramie fibre**, obtained from the subtropical Chinese grass plant, is gaining in importance. With respect to its weight-related strength, ramie fibre compares well with E glass fibre. When **biodegradable materials** must be used, the obvious question is how they resist external influences such as temperature, moisture, chemicals, radiation, or even microbes. This development is primarily targeting fields of application in which glass-fibre-reinforced polyester resins are still being used today. So the key target groups include, for example, trim finishers with supporting inserts in automobile manufacture, wagon building, and the furniture industry.

Heat resistance

A fibre composite's resistance to heat is defined in general by the resistance to heat exhibited by the (resin's) polymeric matrix and, over the long term, is no higher than 230 °C. For short periods, however, the temperature resistance can be very much higher. One good example is given by the heat shields for spacecraft, whose temperature resistance is based directly on the resin's **low thermal conduction**, a property that can be enhanced even further when the fibres are skilfully arranged in the optimal geometry (there must be no heat bridges!).

However, also the fibres exhibit different temperature resistances.

Aramid fibres suffer losses in strength at a raised ambient temperature in an inert atmosphere. The strength of **E glass fibres** starts to deteriorate at temperatures greater than 200 °C. Carbon fibres, however, remain immune to thermal effects up to 1000 °C.

Effects of temperature on tensile strength

Moisture absorption by reinforcing fibres

Many investigations have shown that both glass and carbon fibres do not absorb moisture. On the contrary, they even give rise to a barrier effect in the laminate against water vapour.

The exceptions are the synthetic fibres, e.g. the **aramids**. Their moisture absorption can be considerable, depending on the degree of drying and the type of fibre. Their swelling behaviour also differs along each of the fibre alignments. Measurements have shown that there is sometimes very great swelling in the radial and a contraction in the axial directions.

The following table summarises a great number of values measured on reinforcing fibres, including the more recent natural fibre reinforcements. The measurements were either taken in an environment of 65% relative humidity or afterwards modified to this value, which corresponds to the long-term stable humidity values typical of our latitude.

Maximale Feuchtigkeitsaufnahme üblicher Faserverstärkungen bei einer rel. Umgebungsfeuchte von 65 %

Max. moisture absorption by customary fibre reinforcements in an environment of 65% relative humidity

Produkt <i>Product</i>	max. Feuchte % <i>max. humidity %</i>
E-Glas / <i>E glass</i>	nicht messbar / <i>not measureable</i>
Kohlenstoff / <i>Carbon</i>	nicht messbar / <i>not measureable</i>
Kevlar® 49 (Aramid)	4,3
Twaron® T 1000 (Aramid)	7,0
	nicht messbar / <i>not measureable</i>
Dyneema® SK 60	10,0
Flachs / <i>Flax</i>	12,5
Jute	7,5
Ramie	8,0

Diese Werte können sehr viel höher sein, wenn eine **langzeitige** Umgebungsfeuchte von 100 % herrscht.

These values can be very much higher when the environment has a long-term relative humidity of 100%.

Strahlenbelastung

Die Strahlenbelastung von FVW wird bislang hauptsächlich unter gleichzeitiger Freibewitterung untersucht. Der Abbau (Alterung) erfolgt durch Molekülkettenbrüche, die durch Strahlungen vor allem im UV-B-Bereich (280- 315 nm) verursacht werden.

Insbesondere synthetische Fasern wie z.B. Aramid unterliegen, sofern sie nicht durch farbige Deckschichten/Lackierungen geschützt sind, einem rapiden **fotochemischen Abbau**. Die Restfestigkeit von Aramid kann innerhalb eines Jahres, je nach Strahlungsintensität, unter 25 % sinken.

Radiation resistance

The procedure primarily adopted to date for investigating the radiation resistance of fibre composites involves subjecting them to outdoor exposure. Degradation (ageing) sets in when the molecular chains start to break under the action of radiation, above all in the UV B range (280–315 nm). It is particularly the synthetic fibres such as aramid, provided they are not protected with coloured overlays or varnishes, that undergo rapid photochemical degradation. Depending on the radiation intensity, the residual strength of aramid can fall below 25% within a year.

Fasermischungen

Bei vielen Anwendungen kann auch eine Mischung unterschiedlicher Fasern vorteilhaft sein. Eine Fasermischung führt jedoch nicht immer zu besseren mechanischen Eigenschaften. Häufigste Ursache für Mißerfolge ist die Dehnungsunverträglichkeit der meisten Fasern. Werden z.B. Kohlenstoff- und Glasfasern zusammen verwendet, wird der Beginn des Versagens durch die C-Faserbrüche ausgelöst. Der Bruch erfaßt dann nach und nach alle C-Fasern, da nicht alle Fasern in einem Verbund der gleichen Spannung oder Dehnung unterliegen. Bei zunehmendem Übergang der Belastung auf die zweite Komponente (z.B. das E-Glas) wird auch diese überlastet und vorzeitig versagen.

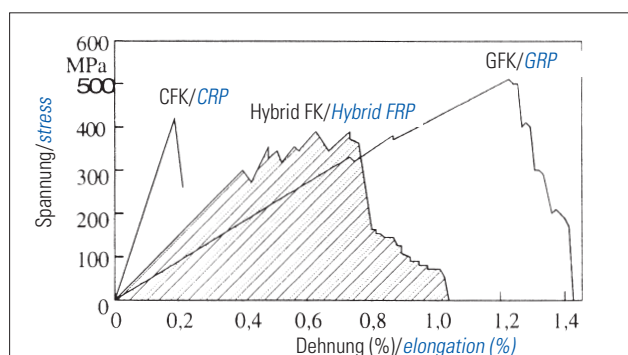
Fibre mixtures

Also a mixture of different fibre types can prove advantageous for many applications. However, a fibre mixture does not always lead to better mechanical properties: the most frequent cause of failure lies in the incompatible extensibility of most fibres. For example, when carbon and glass fibres are used together, mechanical failure will set in as soon as the carbon fibres start to break. Owing to the varying tensions and elongations of the fibres in a composite, mechanical failure gradually spreads to all carbon fibres. This means that an increasing proportion of the load is transferred to the second constituent (e.g. E glass), whereupon this becomes overloaded and also fails prematurely. The rule of mixtures can be used to calculate the overall rigidity for the elastic range only. For example, a glass-fibre-reinforced design can be effectively stiffened when carbon fibres are added. It must be noted at this point that this measure increases the rigidity only, and not the strength. Nevertheless, the hybrid composite's ultimate resilience is clearly higher. Glass or aramid fibres impart to the relatively brittle material carbon a considerably improved impact strength.

Nur im elastischen Bereich ergibt sich die Gesamtsteifigkeit aus der Mischungsregel. So kann z.B. eine Glasfaserkonstruktion durch Zumischung von Kohlenstofffasern wirkungsvoll versteift werden. Man kann aber nicht die **Festigkeit** erhöhen, sondern nur die **Steifigkeit**. Allerdings wird die Brucharbeitsaufnahme des Hybridverbundes deutlich ansteigen. Der relativ spröde Werkstoff Kohlenstoff erhält durch Glas- oder Aramidfasern eine erheblich verbesserte Schlagfestigkeit.

Spannungs-Verformungsverhalten von Hybridverstärkungen

Stress curve of hybrid reinforcements



	Einheit <i>Unit</i>	E-Glas <i>E glas</i>	Aramid, Hochmodul (HM) <i>Aramid, high modulus (HM)</i>	Kohlenstoff, Hochfeste Faser (HT) <i>Aramid, high tensile (HT) fibre</i>
Dichte <i>Density</i>	g/cm ³	2,6	1,45	1,78
Zugfestigkeit <i>Tensile strength</i>	MPa	3400	2880	3400
Elastizitätsmodul II <i>Modulus of elasticity II</i>	GPa	73	100	235
Elastizitätsmodul ⊥ <i>Modulus of elasticity ⊥</i>	GPa	73	5,4	15
Bruchdehnung <i>Elongation at break</i>	%	3,5	2,8	1,4
Wärmeausdehnungskoeffizient II <i>Coefficient of thermal expansion II</i>	10 ⁻⁶ K ⁻¹	5	-3,5	-0,1
Wärmeausdehnungskoeffizient ⊥ <i>Coefficient of thermal expansion ⊥</i>	10 ⁻⁶ K ⁻¹	5	17	10
Wärmeleitfähigkeit <i>Thermal conductivity</i>	W/m·K	1	0.04	17
spez. elektrischer Widerstand <i>Resistivity</i>	Ω·cm	10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ⁻³ - 10 ⁻⁴
Feuchtigkeitsaufnahme 20 °C/65 % rel. Luftfeuchtigkeit <i>Moisture absorption 20 °C/65 % relative air humidity</i>	%	0,1	3,5	0,1

II Faserlängsrichtung ⊥ Faserquerrichtung
along the fibres *transverse to the fibres*

Glasfasern

E-Glasfaser ist das gebräuchlichste Verstärkungsmaterial für Faserverbundwerkstoffe; Glasfasern sind preisgünstig und besitzen ausgezeichnete mechanische, thermische, dielektrische und chemische Eigenschaften. Die Festigkeitseigenschaften entsprechen denen von Metallen (z.B. Alu-Legierungen), wobei das spezifische Gewicht niedriger ist, als das der Metalle. Die Steifigkeit (E-Modul) von Glaslaminaten ist gegenüber Metallen relativ niedrig, so daß bei einer steifigkeitsbezogenen Auslegung von Bauteilen durch die benötigte große Wandstärke der Gewichtsvorteil aufgehoben wird, es sei denn, man arbeitet mit einer leichtgewichtigen Sandwich-Kernlage aus Schaumstoff, Schaumvlies oder Aramidwaben. Glasfasern sind unbrennbar, temperaturbeständig bis ca. 400 °C und beständig gegen die meisten Chemikalien und Witterungseinflüsse. Maßgebend für die entsprechenden Eigenschaften des Laminates ist daher meist das Harz. Der Preis der Glasfasern ist verglichen mit anderen Verstärkungsfasern niedrig. Durch Behandlung der Gewebe mit Haftvermittlern (Finish) wird die Haftung besonders unter Feuchtigkeitseinfluß verbessert. Verbundwerkstoffe aus Glasfasern werden als **GFK** (Glasfaser-Kunststoff) bezeichnet.

Glass fibres

E glass fibre is the most commonly used reinforcing material for fibre composites: glass fibres are low-priced and exhibit outstanding mechanical, thermal, dielectric, and chemical properties. The physical properties correspond to those of metals (e.g. aluminium alloys), but the specific gravity is lower than that of metals. The rigidity (modulus of elasticity) of glass laminates is relatively low compared with metals, so that the thicker walls needed for a high-rigidity design negates the advantages gained from the lower weight. This does not apply where a lightweight sandwich core layer of foam, foamed non-woven, or aramid honeycombs is involved. Glass fibres are incombustible, temperature-resistant up to approx. 400 °C, and resistant to most chemicals and weathering. So in most cases it is the resin that is decisive for the design properties of the laminate. Compared with other reinforcing fibres, glass fibres are low-priced. Treating the fabrics with a coupling agent (finish) improves adhesion especially under the influence of moisture. Composites of glass fibres are designated **GRP** (glass-fibre-reinforced plastics).

Aramidfasern

Der Einsatz von Aramiden ist dann sinnvoll, wenn Gewichtsersparnis an erster Stelle steht. Weiterhin werden abrieb- und schlagbeanspruchte Teile (z.B. Schutz der Vorderkanten von Flugzeugleitwerken gegen Hagelschlag, Kajaks) aus aramidfaserverstärkten Kunststoffen gefertigt. Festigkeit und Steifigkeit sind etwas besser als bei E-Glas. Weitere Eigenschaften sind das gute Dämpfungsvermögen, die Nichtentflammbarkeit und die hervorragende chemische Beständigkeit.

Die Bearbeitung von Laminaten ist wegen der hohen Zähigkeit der Faser sehr schwierig. Zum Schneiden von Geweben sind Spezialwerkzeuge (Kevlarscheren) erforderlich.

Für technische Laminaten, z.B. im Fahrzeug- und Flugzeugbau, wird hauptsächlich die **Hochmodulfaser Kevlar® 49** oder **Twaron® HM** eingesetzt.

Niedermodul-Aramidfasern (Kevlar® 29, Twaron® LM) besitzen ein hohes Arbeitsaufnahmevermögen und werden überwiegend für ballistische Hartlaminaten sowie Splitter- und Kugelschutzwesten verwendet. Aramidfaserverbundwerkstoffe werden als **SFK** (Synthesefaserkunststoff) bezeichnet.

Kohlenstoffasern

Kohlenstoffasern weisen eine höhere Festigkeit und bedeutend höhere Steifigkeit auf als Glasfasern, das spezifische Gewicht von Laminaten ist etwas niedriger. Daher werden sie vor allem für steife Konstruktionen eingesetzt. Beispiel: Die Tragfläche eines Segelflugzeugs mit großer Spannweite würde in Glasfaserbauweise die Belastungen zwar aushalten, sich aber sehr stark durchbiegen. Durch Verwendung von Kohlenstoffasern werden die Durchbiegung und das Gewicht verringert.

Die Dauerfestigkeit bei dynamischer Belastung ist hervorragend, die Wärmeausdehnung von Laminaten wegen des negativen Ausdehnungskoeffizienten der Fasern sehr gering.

Wegen der höheren Schlagempfindlichkeit von Kohlefaserlaminaten sollten sie bei erhöhter Schlagbeanspruchung nicht eingesetzt oder durch Kombination mit Aramid geschützt werden (z.B. Hybridgewebe). Kohlefaserlaminaten zeigen eine gute Strahlendurchlässigkeit (z.B. Röntgenstrahlen) und sind elektrisch leitend. Kohlefaserbundwerkstoffe werden als **CFK** (Carbonfaserkunststoff) bezeichnet.

Abreibgewebe (Nylon)

Beim Zusammenlaminierten oder Aufbringen weiterer Gewebelagen auf Laminate oder beim Kleben zweier Laminaten müssen die Oberflächen fettfrei, sauber und aufgeraut sein. Dies erfolgt vielfach durch arbeits- und zeitaufwendiges Schleifen oder Sandstrahlen der entsprechenden Flächen, wobei die Stäube noch zusätzlich gesundheitliche Risiken mit sich bringen. Um die Laminatoberfläche vor Verschmutzung zu schützen und die Schleifkosten einzusparen, kann als letzte Lage ein Abreibgewebe aufgebracht werden. Abreibgewebe gehen keine Verbindung mit dem eigentlichen Laminat ein. Sie werden vor der Weiterverarbeitung vollständig entfernt. Um leichter zu erkennen, ob die Abreibgewebe entfernt wurden, sind sie mit roten Kennfäden ausgerüstet. Die nach dem Abreißen des Gewebes entstehende rauhe Oberfläche ist sauber und ohne weitere Behandlung zum Kleben und Laminierten geeignet.

Anwendungsbeispiele

- Schutz vor Verschmutzungen von Teilen und Klebeflächen jeder Art bis zur Weiterverarbeitung während der Lagerung und des Transportes.
- Herstellen von rutschfesten, rauen Standflächen, z.B. bei Surfboards, Segelbooten, Kühlcontainern.
- Im Vakuumverfahren als Abdeckung von tragenden Laminaten, damit die Saugschicht nicht mit dem Laminat verklebt.

Aramid fibres

The use of aramids is especially practical when top priority is given to weight savings. In addition, aramid-fibre-reinforced plastics are used to manufacture high-wearing and high-impact parts, e.g. for kayaks, for protecting the leading edges of tail units from hail, etc. Strength and rigidity are slightly better than E glass. Other properties include good damping capacity, non-flammability, and superior chemical resistance.

Aramid fibres are very tough, so processing the laminates proves highly difficult. Special tools (Kevlar® shears) are needed to cut the fabrics.

The chief materials for engineering laminates, e.g. for automobiles and aircraft, is either the **high modulus fibre Kevlar® 49** or **Twaron® HM**.

Low modulus aramid fibres (Kevlar® 29, Twaron® LM) exhibit a high energy absorption capacity and are used primarily for ballistic laminates as well as for shrapnel-proof and bulletproof vests. Aramid-fibre-reinforced composites are designated **SRPs** (synthetic-fibre-reinforced plastics).

Carbon fibres

Carbon fibres exhibit a higher strength and a significantly greater rigidity than glass fibres, and the specific gravity of the laminates is somewhat lower. For this reason, they are used primarily for rigid structures. For example, a glider with a large wingspan of GRPs is able to withstand the loads acting on it, but there would be severe bending of the wings. Using carbon fibres reduces both this bending and the weight.

Carbon fibres exhibit an outstanding fatigue limit under dynamic loading, and the fibres' negative coefficients of expansion mean that the thermal expansion of the laminates is very low.

Carbon-fibre laminates are more sensitive to impact and so should not be used for high-impact applications if they cannot be protected with an aramid constituent (e.g. hybrid fabric). Carbon-fibre laminates exhibit a good radiolucency (e.g. for X rays) and are electrically conducting. Carbon-fibre-reinforced composites are designated **CRPs** (carbon-fibre-reinforced plastics).

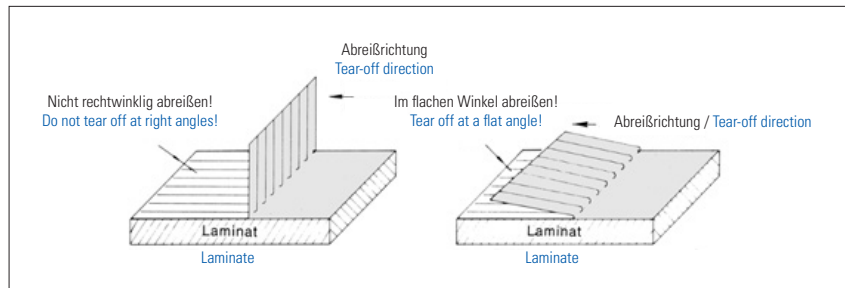
Tear-off fabrics (nylon)

Before several laminates are laid up, further fabric layers are applied to laminates, or two laminates are glued together, the surfaces must first be free of grease, clean, and roughened. In a great many cases, the affected surfaces must be subjected to work-intensive and time-consuming grinding or sandblasting, whereby the dust generated also poses additional risks to health. The surface of the laminate can be protected against soiling and the costs for grinding cut when a so-called tear-off fabric is applied as the last layer. Tear-off fabrics do not undergo bonding in any form with the actual laminate. They are completely removed before the next processing stage. Tear-off fabrics are manufactured with highly visible red marking threads, making it easier to see whether they have been removed. The rough surface exposed after the fabric has been torn off is clean and suitable for gluing and laminating without any further treatment.

Example applications

- Parts and all types of surfaces for gluing are protected from soiling during storage and transport until they are ready for the next processing stage.
- *Manufacture of non-slip, rough bases, e.g. for surfboards, sailing boats, refrigerated containers, etc.*
- *In vacuum moulding, cover for base laminates to prevent the absorbent coat from bonding with the laminate.*

- Schutz der UP-Harz-Oberfläche vor Luftsauerstoff, der die Polymerisation der Oberfläche behindert und klebrig erhält.
- Schutz der EP-Harz-Oberfläche, da bereits nach 24 h Verbundschwierigkeiten beim Kleben oder Aufbringen weiterer Gewebelagen auftreten können.
- Protects the surface of UP resin from atmospheric oxygen that suppresses or retards polymerisation of the surface, leaving it tacky.
- Protects the surface of EP resin because problems with bonding can occur before twenty-four hours have passed when subsequent fabric layers are glued on or otherwise applied.



Polyesterfasern (Diolen®)

Diolen® wird vor allem noch bei der Herstellung von Kajaks oder als Verschleißschicht bei Verbundwerkstoffen verwendet. Vorteil: hohe Schlagzähigkeit bei niedriger Dichte, gute Chemikalienfestigkeit. Nachteil: geringe Steifigkeit.

Keramische Fasern

Keramische Fasern wie z.B. **Nextel®** bestehen aus Metalloxiden. Neben sehr hoher Dauer-Temperaturbeständigkeit bis zu 1370 °C weisen diese Fasern einen hohen E-Modul auf.

Polyethylenfasern

Bekannt unter dem Markennamen **Dyneema®**. Niedrigste Dichte aller Verstärkungsfasern, höchste spezifische Festigkeit (Verhältnis der Festigkeit zum Gewicht). Sehr gute Schlagzähigkeit, hohes Arbeitsaufnahmevermögen und hohe Zugfestigkeit.

Metallfäden

Dünne Fäden aus Stahl, Aluminium, Magnesium, Molybdän, Wolfram etc. haben gute mechanische Eigenschaften, insbesondere verbesserte Schlagzähigkeit und Verschleißfestigkeit und sind gute Strom- und Wärmeleiter. Mischgewebe aus Kohlenstoff bzw. Aramid und Metallfäden sind auf Anfrage lieferbar.

Asbestfasern

Asbest ist krebserregend und hat als Verstärkungsfaser **keine Bedeutung** mehr. Als **Ersatzwerkstoff** dienen z.B. Aramidfasern.

Naturfasern

Ein Faserverbundwerkstoff aus nachwachsenden Rohstoffen wie den Pflanzenfasern Hanf, Jute, Sisal, Flachs, Ramie und Baumwolle kann nach Gebrauch über die Kompostierung in den Naturkreislauf zurückgeführt werden. Möglich ist dies nur in Verbindung mit **biologisch abbaubaren Matrixwerkstoffen**, die anstelle von Kunstharzen eingesetzt werden. Hier gibt es bereits Produkte auf Basis von Cellulosederivaten und Stärke.

Polyester fibres (Diolen®)

Diolen® is still used primarily for the manufacture of kayaks or as a wearing surface for composites. Advantages: high impact strength with low density, good chemical resistance. Disadvantage: low rigidity.

Ceramic fibres

Ceramic fibres such as e.g. Nextel® consist of metal oxides. These fibres exhibit an extremely high long-term temperature resistance up to 1370 °C and a high modulus of elasticity.

Polyethylene fibres

These also appear under the well-known brand name Dyneema®. They have the lowest density of all reinforcing fibres and the highest specific strength (ratio of strength to weight). Other properties include excellent impact strength, high energy absorption capacity, and high tensile strength.

Metal threads

Thin threads of steel, aluminium, magnesium, molybdenum, tungsten, etc., exhibit good mechanical properties, in particular better impact strength and wear resistance, and are good conductors of electricity and heat. Hybrid fabrics of carbon or aramid and metal threads are available on request.

Asbestos fibres

*Asbestos is carcinogenic and has **lost all significance** as a reinforcing fibre. An **alternative** can be found, for example, in aramid fibres.*

Natural fibres

*A fibre composite of renewable raw materials such as the vegetable fibres hemp, jute, sisal, flax, ramie, and cotton can be composted after use and so reintroduced to the natural cycle. This is possible only in conjunction with **biodegradable matrix materials** that take the place of synthetic resins. Products based on cellulose derivatives and starch are now available.*



Motorrad mit einem Rahmen aus Faserverbundwerkstoffen aus der Fertigung der Firma CarboTech Composites GmbH, A-Salzburg

Motorcycle with a frame of fibre composites manufactured by the company CarboTech Composites GmbH in Salzburg, Austria

Festigkeitswerte von Gewebe-Laminaten

Mechanical properties of fabric laminates

		Glas ¹⁾ Glass ¹⁾	Kohlenstoff ²⁾ Carbon ²⁾	Aramid ²⁾ Aramid ²⁾
Zugfestigkeit / <i>Tensile strength</i>	³⁾	330 - 400	560 - 650	460 - 540
MPa (DIN EN 61)	⁴⁾	590 - 680	950 - 1100	790 - 900
E-Modul Zugversuch / <i>Tensile modulus</i>	³⁾	19 - 21	52 - 58	22 - 27
GPa (DIN EN 61)	⁴⁾	24 - 35	90 - 100	44 - 47
Druckfestigkeit / <i>Compressive strength</i>	³⁾	310 - 440	450 - 520	130 - 165
MPa (DIN 534554)	⁴⁾	480 - 600	600 - 800	180 - 190

1) Werte bezogen auf Faseranteil 43 Vol.-%

2) Werte bezogen auf Faseranteil 50 Vol.-%

3) Bidirektionale Gewebe (Kette und Schuß sind gleich). Die höheren Werte werden von Köper- und Atlasgeweben bei optimaler Laminatsqualität erreicht.

4) Unidirektionale Gewebe. Werte sind abhängig vom Kette-Schuss-Verhältnis.

1) Values based on 43% fibre volume fraction

2) Values based on 50% fibre volume fraction

3) Bidirectional fabric (warp and weft are equal). The higher values are obtained with twill and sateen at the optimal laminate quality

4) Unidirectional fabric. Values depend on proportion of warp to weft threads

Source: CS-Interglas

Quelle: CS-Interglas

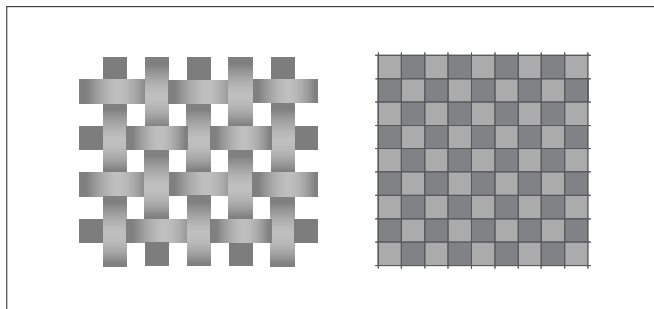
Die angegebenen Werte sind Richtwerte, ermittelt an Laminaten aus Gewebe und Epoxydharz. Sie sind abhängig von der Gewebekonstruktion, dem Harz und den Verarbeitungsbedingungen.

The above table lists recommended values based on laminates of fabric and epoxy resin. These values may vary depending on the fabric construction, the resin, and the processing conditions.

In Verbundwerkstoffen sind die Verstärkungsfasern in eine Kunstharzmatrix eingebettet. Die Verstärkungsfasern liegen häufig in Form von Geweben vor.

Gewebe sind durch die rechtwinkelige Verkreuzung der beiden Fadensysteme (Kette und Schuß) gekennzeichnet. Die Art und Weise, wie sich diese Fäden kreuzen, wird Bindung genannt. Zusammen mit der Einstellung (Anzahl der Fäden pro cm) und dem eingesetzten Faserstoff bestimmt die Bindung die Eigenschaften der Gewebe. Überwiegend werden die einfachen Grundbindungen wie **Leinwand**, **Köper** und **Atlas** angewandt.

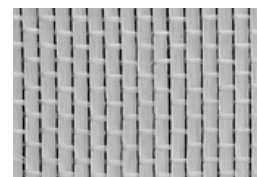
Leinwand



Plain weave



Leinwand / *Plain weave*



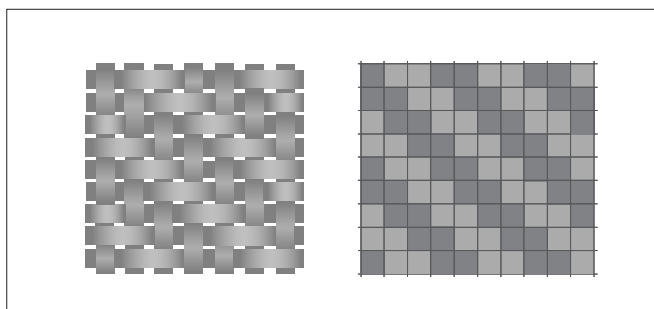
Leinwand (kettverstärkt)

sog. unidirektionales Gewebe, Verhältnis Kette:Schuß z.B. 10:1
Plain weave (warp-reinforced)
so-called unidirectional fabric, warp-to-weft ratio e.g. 10:1

Die einfachste Gewebefindung ist die Leinwandbindung (englisch: plain) mit der engsten Verkreuzung von Kette und Schuß. Durch die gleichmäßige Verkreuzung beider Fadensysteme entstehen zwei identische Wareseiten. Bindungsformel: L 1/1

The simplest weave is the plain weave with the densest uniform interlacing of warp and weft. Both sides of the fabric are therefore identical. The nomenclature used for this weave is L1/1.

Köper



Twill weave



Köper / *twill weave*

Unter den Köperbindungen (englisch: twill) gibt es eine Vielzahl von Variationen.

Charakteristisch für die Köperbindungen sind die schrägen, parallel verlaufenden Linien (Köpergrat), die durch die Aneinanderreihung der Bindungspunkte (Kreuzungspunkte von Kette und Schuß) gebildet werden. Köperbindige Gewebe können, wie bei der Leinwandbindung, zwei gleiche Wareseiten aufweisen. Durch die Köperbindung entstehen Kräfte im Gewebe in Köpergratrichtung, die bei nicht ausgewogenem Laminataufbau zu Spannungen bis zum Verbiegen von Laminaten führen können. Um diese Kräfte aufzuheben, wird häufig die Kreuzköperbindung (englisch: crowfoot) verwendet, bei welcher sich die Köpergratrichtung ständig ändert. Bindungsformel: K 1/2, K 2/2, K 1/3.

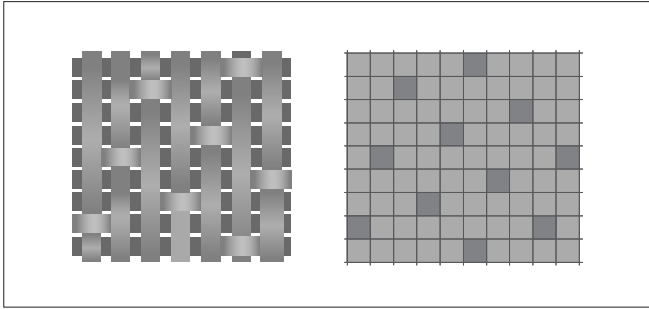
Twill weaves come in a number of variations. The characteristic features of twill weaves are the parallel diagonals or the twill lines that are formed by the arrangement of interlacing points (where the warp and weft cross).

Like plain weaves, both sides of twill-weave fabrics can be identical.

The twill weave generates forces in the fabric that act along the twill lines. These forces can give rise to tension in the laminates strong enough to bend them when they have not been laid up uniformly. A frequent measure adopted to counteract these forces is the use of the cross twill weave, in which the twill lines constantly change direction.

Nomenclatures for this weave: 1/2, 2/2, 1/3.

Atlas

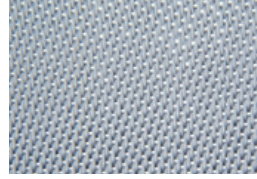


Für Verbundwerkstoffe werden nur zwei Grundformen des Atlas (englisch: satin) angewandt. Um diese Gewebebindungen herstellen zu können, benötigt der Weber mindestens 5 bzw. 8 Schäfte (englisch: harness). Daher wird im englischen Sprachraum auch von "five" bzw. "eight harness satin" gesprochen. Die Bindungspunkte berühren sich nicht mehr wie bei der Leinwand- und Köperbindung, sondern liegen entsprechend einer bestimmten Ordnung im Bindungsrapport verteilt. Auf der rechten Gewebeseite sind 80 % der Kettfäden und nur 20 % der Schußfäden sichtbar, wohingegen auf der linken Gewebeseite 80 % der Schußfäden und nur 20 % der Kettfäden sichtbar sind (5-bindiger Atlas).

Bei dem 8-bindigen Atlas ist das Verhältnis entsprechend: 87,5 % : 12,5 %. Bindungsformel: A 1/4, A 1/7.

Text nach Focus 1/90 Akzo, Wuppertal

Satin weave



Atlas / Satin weave

Only two basic forms of satin weave are used for composites. A satin weave must have at least five or eight harnesses (hence the designations five or eight harness satin respectively). The interlacing points are no longer in contact as in the plain and twill weaves, but lie distributed over the weave repeat in a predefined pattern. The right side of the fabric exposes 80 % of the warps and only 20 % of the wefts, whereas this is 80 % of the wefts and 20 % of the warps on the left side (five harness satin).

The proportion for eight harness satin is as 87.5 % : 12.5 %. Nomenclatures: A1/4, A1/7.

Based on issue 1/90 of Focus Akzo, Wuppertal

Verformbarkeit

Wie eingangs erwähnt, bestimmt neben der Faserart und der Fadendichte die **Bindung** des Gewebes die wesentlichen Eigenschaften und damit das Anwendungsgebiet des Gewebes.

Aufgrund der häufigen Fadenverkreuzung ist die **Schiebefestigkeit** eines Gewebes allgemein bei einer Leinwandbindung größer als bei Geweben mit Köper oder Atlasbindung. Die Handhabung im nicht imprägnierten Zustand ist daher wesentlich einfacher. Fadenverschiebungen, die zur Leistungsminderung im Verbundwerkstoff führen, treten kaum auf.

Schiebefestigkeit / Handhabung:

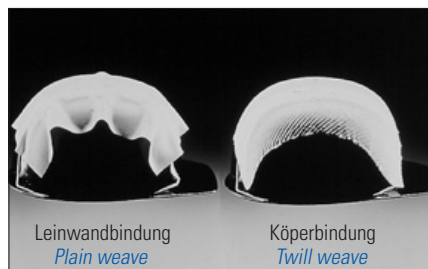
Leinwand → Köper → Atlas

Eine häufige Fadenverkreuzung führt aber zu einer schlechteren Drapierfähigkeit (Verformbarkeit) des Gewebes bzw. des Prepregs. Konturen lassen sich daher besser mit einem 8-bindigen Atlas als mit einem leinwandbindigen Gewebe gestalten. Auch führt die häufige Fadenverkreuzung bei einer Leinwandbindung zu vielen Abweichungen der Kett- und Schußfäden von der geraden Garnachse. Die Garne liegen wellenförmig im Gewebe, was die Ausnutzung der Garnzug- und Druckfestigkeit im Verbundwerkstoff leicht reduziert.

Zusammenfassung

Abschließend kann man sagen, daß die **Leinwandbindung** für **Flachlaminat** oder für unkomplizierte Formteile geeignet ist.

Für **kompliziertere Geometrien** eignen sich die drapierfähigen **Köper- oder Atlasbindungen** meist besser. Zudem weisen sie weniger Fadenverkreuzungen auf und ergeben somit im Laminat höhere Festigkeiten.



Drapierbarkeit von Geweben unterschiedlicher Bindung

Drapability of various weaves

Deformability

As mentioned earlier, not only the type of fibre and the thread count, but also the **weave** adopted for the fabric define the essential properties and therefore the range of applications for a fabric.

Owing to the higher density of thread crossovers, the **slippage resistance** exhibited by a fabric is generally greater with a plain weave than with twill or satin weaves. Handling these fabrics is considerably easier before they have been impregnated: there is scarcely any slippage that can lead to a deterioration in the performance of a composite

Slippage resistance / handling:

plain → twill → satin

On the other hand, a high density of thread crossovers means that the fabric or prepreg does not drape (deform) well. So an eight harness satin is better suited for forming contours than a plain-weave fabric.

In addition, the high density of thread crossovers in a plain weave forces the wefts and warps to deviate from the straight: the result is waving in the fabric that slightly reduces the thread's utilisable tensile and compressive strengths in the composite.

Summary

In conclusion we can say that the **plain weave** is suitable for **flat laminates** and for simple moulded parts.

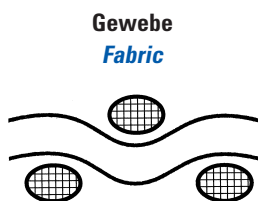
For **complex geometries**, the drapable **twill or satin weaves** are in most cases the better choice. In addition, they exhibit a low density of thread crossovers and so give rise to higher strengths in the laminate.

Neue Produkte

Neben textilen Geweben in Leinwand-, Köper- und Atlasbindung haben sich seit einigen Jahren auch **Spezialprodukte** z.B. für den Schiffbau, Windkraftflügel und Sportgerätebau etabliert. Zu ihnen zählen folgende, von R&G angebotene Verstärkungsmaterialien:

- Unidirektionale Gelege
- Biaxiale Gelege

Die Fasern werden in diesen Gelegen nicht miteinander verwebt, sondern durch ein Haftfadengitter oder einen Nähfaden gehalten. Die einzelnen Fasern liegen flach, gerade und parallel und können so exakt in Lastrichtung verlegt werden. Damit ergeben sich saubere Kraftverläufe, die denen keine Knickbrüche auftreten können, wie man sie von gewebten Produkten kennt. Die einzelne Faser erbringt ihre optimale Festigkeit.

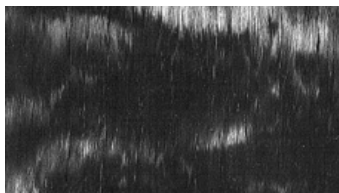
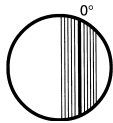


welliger Faserverlauf / *Fabric wavy fibre alignment*
erhöhter Harzanteil an den Fadenverkreuzungen /
higher resin fraction at the thread crossovers

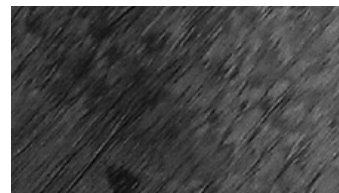
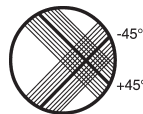
Zusätzlich ergeben sich höhere Faseranteile mit folgenden Vorteilen:

- Mehr Festigkeit und Steifigkeit
- Bessere Schlagfestigkeit
- Weniger Ermüdungsbrüche
- Geringere Härtungsschwindung
- Harzersparnis

Bei den Biaxialgelegten sind zwei Lagen im Winkel von $\pm 45^\circ$ verlegt, so daß es sehr einfach ist, Torsionslagen z.B. für Propeller, Bootsrümpfe etc. zu verarbeiten. Das mühselige und unökonomische Schneiden diagonalen Lagen entfällt.



Vollkommen flach liegendes Kohle-Unidirektional-Gelege
Unidirectional carbon inlay lying perfectly flat.



Vollkommen flach liegendes Kohle-Biaxial-Gelege
Biaxial carbon inlay lying perfectly flat.

Weitere Produkte

Neben den Geweben sind auch Vliese und Matten (überwiegend aus E-Glas), Faserstränge (Rovings), Bänder, Schläuche und Litzen, geschnittene und pulverisierte Fasern erhältlich.

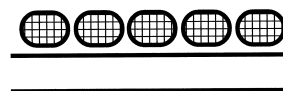
New products

In addition to the plain-, twill-, and satin-weave textiles, also **special products** have become established for some years now, e.g. for shipbuilding, wind turbine blades, and sports equipment. These products include the following reinforcing materials that are also available from R&G:

- Unidirectional inlays
- Biaxial inlays

In these prepregs, the fibres are not woven together, but are secured on an anchoring "grid" or with a sewing thread. Each of the fibres lies flat, straight, and parallel and so can be laid exactly in the direction of the applied loads. Hence forces are transferred without hindrance and without the kinking usually associated with woven products. Each fibre exhibits its optimal strength.

UD-Gelege 0°/90° Unidirectional inlay 0° / 90°



gestreckter Faserverlauf / *straight fibre alignment*
keine Fadenverkreuzungen / *no thread crossovers*
geringerer Harzanteil / *lower resin fraction*

In addition, the fibre volume fractions are higher, resulting in the following advantages:

- Greater strength and rigidity
- Improved impact strength
- Fewer fatigue fractures
- Lower curing shrinkage
- Lower resin consumption

In biaxial inlays, two plies are placed on top of each other at a relative angle of $\pm 45^\circ$. These inlays simplify greatly the processing of torsion plies, e.g. for propellers, hulls, etc.: the laborious and uneconomical cutting of diagonal plies no longer applies.

Other products

Also available besides fabrics are non-wovens and mats (primarily of E glass), rovings, tapes, tubes, strands, and chopped and pulverised fibres.

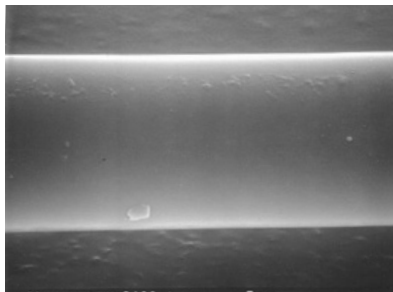
GLASFASERN

Glasfasern aus E-Glas sind der am weitesten verbreitete Verstärkungswerkstoff. Die Festigkeitseigenschaften entsprechen denen von Metallen (z.B. Alu-Legierungen), wobei das **spezifische Gewicht** von **Laminaten** niedriger ist, als das der Metalle. E-Glasfasern sind unbrennbar, hitzefest bis ca. 400 °C und beständig gegen die meisten Chemikalien und Witterungseinflüsse.

Herstellung

Glasfasern werden im Schmelzspinnverfahren (Düsenzieh-, Stabzieh- und Düsenblasverfahren) hergestellt. **Düsenziehverfahren:** unter Ausnutzung der Schwerkraft fließt die heiße Glasmasse durch hunderte Düsenbohrungen einer Platinspinnplatte. Die Elementarfäden können in unbegrenzter Länge mit einer Geschwindigkeit von 3 - 4 km/Minute gezogen werden.

REM-Aufnahme eines Elementarfadens aus E-Glas



SEM photograph showing a continuous fibre of E glass

Das an sich spröde Glas besitzt, zu einem dünnen Faden ausgezogen, eine hohe Flexibilität und Bruchsicherheit. Die Elementarfäden haben einen Titer (Durchmesser) von ca. 9 - 15 µm und ergeben, zu 100 oder mehr gebündelt und mit einer Schutzdrehung versehen, das Filamentgarn, das zu **Glasfilamentgeweben** (früher Glasseidengeweben) weiterverarbeitet wird.

Glassorten

- **E-Glas**, das **meistverwendete** Material mit optimalem Preis-Leistungsverhältnis
- **R, S-Glas**, für erhöhte mechanische Anforderungen
- **D-Glas**, Borsilicatglas für erhöhte elektrische Anforderungen
- **C-Glas**, mit erhöhter chemischer Widerstandsfähigkeit
- **Quarzglas**, mit hoher Temperaturbeständigkeit

Die Sorten R, S, D, C- und Quarzglas sind teils erheblich teurer als E-Glas und nur in größeren Mengen bzw. als Sonderanfertigung erhältlich.

E-Glas

Für die Kunststoffverstärkung haben **E-Glasfasern** die **größte Bedeutung** erlangt. **E** steht für **Elektro-Glas**, da es ursprünglich vor allem in der Elektroindustrie eingesetzt wurde.

Für die Produktion von E-Glas werden Glasschmelzen aus reinem Quarz mit Zusätzen aus Kalkstein, Kaolin und Borsäure hergestellt. Sie enthalten neben SiO₂ (Siliciumdioxid) unterschiedliche Mengen verschiedener Metalloxide. Die Zusammensetzung bestimmt die Eigenschaften der Produkte.

R&G liefert ab Lager nur E-Glas-Produkte. Gewebe aus anderen Glassorten werden auftragsbezogen gefertigt.

GLASS FIBRES

*Glass fibres manufactured from E glass are the most common reinforcing material. The physical properties correspond to those of metals (e.g. aluminium alloys), but the **specific gravity** of the **laminates** is lower than that of metals. E glass fibres are incombustible, temperature-resistant up to approx. 400 °C, and resistant to most chemicals and weathering.*

Manufacture

Glass fibres are manufactured with the melt spinning method (mechanical drawing, drawn-rod method, and jet process).

Mechanical drawing *The hot glass mass flows under the effects of gravity through hundreds of nozzle holes in a platinum spinning plate. These continuous fibres can be drawn indefinitely at a speed of three to four kilometres a minute.*

*Drawn out to a thin filament, the glass, otherwise a brittle material, exhibits a high degree of flexibility and fracture strength. The continuous fibres have a so-called titre (in this case diameter) of approx. 9 - 15 µm and, when one hundred or more of them are bundled and secured in a twisted state, yield the filament yarn that is processed to make **glass filament fabrics** (formerly called glass silk fabrics).*

Glass types

- **E glass**, the **most frequently used** material with the optimal price-performance ratio
- **R, S glass**, for greater demands on mechanical properties
- **D glass**, borosilicate glass for greater demands on electrical properties
- **C glass**, with greater resistance to chemical attack
- **Quartz glass**, with high temperature resistance

In some cases, the types R, S, D, C, and quartz glass are considerably more expensive than E glass and available only in larger quantities or as special batches.

E glass

E glass fibres have gained **the greatest in significance** as a reinforcing material for plastics. The **E** stands for "electro", a reminder that this glass was originally used primarily by the electrical engineering industries.

For the production of E glass, the glass melt is manufactured from pure quartz to which limestone, kaolin, and boric acid are added. In addition to SiO₂ (silica) it also contains different quantities of various metal oxides. The composition determines the properties of the products.

R&G delivers only E glass products ex warehouse. Fabrics of other glass types are manufactured on a job-oriented basis.

Thermische Eigenschaften

Textilglas ist unbrennbar. Werden jedoch Gewebe mit organischen Mitteln ausgerüstet, so wird das Brandverhalten verändert. Es muß dann die Brennbarkeitsbeurteilung am Endprodukt erfolgen. Textilglasgewebe haben eine hohe Restfestigkeit nach Temperaturbeaufschlagung. Restzugfestigkeit von Geweben aus E-Glas nach 24-stündiger Lagerung bei:

°C	bis / max.200	200	300	400	500	600	700
%	100	98	82	65	46	14	---

Chemische Eigenschaften

Glas ist gegen Öle, Fette und Lösungsmittel beständig und zeigt eine gute Beständigkeit gegen Säuren und Laugen bis zu pH-Werten von 3 - 9. Säuren lösen bestimmte Atome aus der Glasoberfläche heraus, was zu einer Versprödung führt. Laugen tragen die Glasoberfläche langsam ab.

Festigkeitsverlust in % nach 30 Tagen Einwirkzeit:

Loss in strength in % after thirty days' application time:

Medium / <i>Medium</i>	E-Glas / <i>E glass</i>
Essigsäure / <i>Acetic acid</i>	bis 15 % / max 15 %
Salpetersäure / <i>Nitric acid</i>	< 30 %
Salzsäure / <i>Hydrochloric acid</i>	15 - 30 %
Schwefelsäure / <i>Sulphuric acid</i>	< 30 %
Ammoniak / <i>Ammonia</i>	15 - 30 %
Natronlauge / <i>Sodium hydroxide solution</i>	< 30 %
Chlorwasserstoff (nach 30 min.) / <i>Hydrogen chloride (after 30 min)</i>	25 %

Glasfilamentgewebe

Beim Weben sind die in der Textiltechnik üblichen Bindungsarten möglich, meistens Leinwand, Köper und Atlas. Die Eigenschaften werden von der Bindungsart, Garnfeinheit und Einstellung (Fadenzahl/cm) bestimmt.

Alle Gewebe für die Kunststoffverstärkung sind mit speziellen Haftvermittlern imprägniert:

Silangewebe besitzen eine gute Festigkeit; sie eignen sich für Polyester- und Epoxydharze.

Gefinischte Gewebe sind mit modifizierten Silanschichten (z.B. Finish FK 144) ausgerüstet. Sie fühlen sich leicht klebrig an, **tränken** sich schnell mit Harz, sind **sehr anschniegsam** und fransen beim Schneiden kaum aus.

R&G führt gefinischte Markengewebe von **Interglas-Technologies**. Die meisten Produkte sind nach den Werkstoffleistungsblättern (WLB) für den Bau von Flugzeugen qualifiziert. Als Matrix wird hauptsächlich Epoxydharz verwendet. Gute Festigkeitswerte können jedoch auch mit Polyester-, Vinylester- und Phenolharzen erreicht werden.

Chemical properties

Textile glass is incombustible. However, the organic agents used in finishing fabrics change this burning behaviour. Combustibility must then be assessed on the end product. Glass textiles have a high residual strength after high temperatures have been applied.

The table below lists the residual tensile strengths of E glass fabrics against temperature after twenty-four hours in storage:

Chemical properties

Glass is resistant to oils, greases, and solvents and exhibits good resistance to acids and alkalis with pH values from 3 to 9. Acids dissolve certain atoms out of the glass surface, causing it to embrittle. Alkalis slowly eat away the glass surface.

Glass filament fabrics

Glass filament fabrics can be manufactured with the weave types usual in textile technologies, in most cases plain, twill, and satin.

The properties are determined by the weave type, the yarn number, and the yarn count (number of threads per cm).

All fabrics for reinforcing plastics are impregnated with special coupling agents.

Silane fabrics exhibit a good strength and are suitable for polyester and epoxy resins.

Finished fabrics have been treated with modified silane sizes (e.g. the finish FK 144). They feel slightly tacky, become quickly impregnated with resin, are very **soft and smooth**, and scarcely fray when cut.

*R&G stocks finished brand fabrics from **Interglas-Technologies**.*

Most products have been approved in accordance with the WLB (Werkstoffleistungsblatt, or the German material specifications sheets for the aircraft construction industries). Epoxy resin is the material predominantly used for the matrix. But good mechanical properties can also be obtained with polyester, vinyl ester, and phenolic resins.

Warum gefinishte Glasgewebe?

Glasfilamentgarne werden vom Faserhersteller mit einer Textilschichte versehen, um das Garn während der Verarbeitungsprozesse (Zetteln, Weben) zu schützen. Diese Schichte besteht aus Stärke und Ölen und wirkt einer Haftung zwischen Faser und Harz entgegen.

Um eine gute Haftung zu erreichen, wird die Textilschichte von CS-Interglas-Geweben entfernt und das Gewebe nachfolgend mit einem Haftvermittler (Finish) beschichtet. Bei den Haftvermittlern handelt es sich meist um modifizierte Silane, die an das Matrixmaterial angepaßt wurden. Die Verarbeitungseigenschaften der Gewebe wie Drapierbarkeit und Tränkverhalten werden in einem zweiten Finish-Prozess nochmals deutlich verbessert.

Einen Kompromiß zwischen Textilschichte und Finish stellt die Silanschichte dar. Der Faden ist hierbei mit einer Schichte versehen, die haftvermittelndes Silan sowie Gleit- und Schmiermittel als Verarbeitungshilfe enthält. Die Eigenschaften in den textilen Prozessen sind zwar schlechter als diejenigen der Textilschichte, jedoch erübrigt sich eine Nachbehandlung nach dem Weben.

Verarbeitung

Gefinishte Gewebe sind weicher und geschmeidiger. Beim Laminieren ist die Trängung besser und die Tränggeschwindigkeit bedeutend höher. **Glaslake Laminates** sind daher nur mit gefinishten Geweben zu erreichen.

Festigkeitseigenschaften

Die Haftung der gefinishten Gewebe am Harz ist besser als die von Geweben mit Silanschichte und bedeutend besser als die von Geweben mit Textilschichte, besonders nach der Einwirkung von Feuchtigkeit. Eine Trübung von Laminaten aus textilschichteten und silangeschichteten Geweben unter Feuchtigkeitseinwirkung verdeutlicht die gestörte Haftung. Ein Maß für die Güte der Haftung ist die interlaminare Scherfestigkeit (ILS). Aber nicht nur die Scherfestigkeit, sondern auch die Zugfestigkeit wird von der Haftung beeinflusst, da die Verteilung einer eingeleiteten Zugkraft auf die Einzelfasern Schubkräfte verursacht. Die Zugfestigkeit von Silangeweben ist etwas besser (ohne Feuchtigkeit) als bei gefinishten Geweben.

Zusammenfassung

Laminates aus gefinishten Geweben sind in Zugfestigkeit und interlaminarer Scherfestigkeit Laminaten aus Geweben mit Textilschichte deutlich überlegen. Insbesondere zeigt sich die Überlegenheit in der interlaminaren Scherfestigkeit, die nicht nur die Haftung der einzelnen Gewebelagen untereinander bewertet, sondern auch eine Kennzahl für die Lebensdauer unter Belastung darstellt.

Die etwas bessere Zugfestigkeit von Laminaten aus silangeschichteten Geweben ist in der Praxis meist ohne Bedeutung, da reine Zugbeanspruchung nur selten auftritt und ein Versagen sehr oft durch Delamination und Feuchtigkeitseinflüsse entsteht.

Gefärbte / metallisierte Garne

Durch eine spezielle Oberflächenbehandlung lassen sich Glasfasern „einfärben“. R&G liefert standardmäßig einige schwarz eingefärbte Glasgewebetypen, die sich kostensparend als zweite Schicht für Kohlefaser-Sichtlaminates (Carbon-Design) verwenden lassen.

Eine weitere Designvariante sind metallisierte Oberflächen.

Rovings

Textilglasrovings bestehen aus einem oder aus einer bestimmten Anzahl fast parallel liegender Glasspinnfäden, die ohne Drehung zu einem Strang zusammengefaßt sind. Rovings werden zu Rovinggeweben, geschnittenem Textilglas (Glasfaserschnitteln), Matten und Kurzfasern weiterverarbeitet. Bei verschiedenen Herstellungsverfahren, z.B. beim Wickeln und Profiliziehen (Strangziehen) werden Rovings direkt als Verstärkung verwendet.

Besondere Bedeutung haben die aus Textilglasrovings gefertigten **Rovinggewebe**. Mit ihnen lassen sich dicke Formteile (z.B. im Formenbau) aus wenigen Lagen herstellen. Der Fasergehalt und die Festigkeit ist weitaus höher als bei Mattenlaminaten, jedoch geringer als bei Glasfilamentgeweben.

Why finished glass fabrics?

The manufacturers of fibres treat their glass filament yarns with a textile size that serves to protect the yarn during the manufacturing processes (warping, weaving). This size is a mixture of starch and oils and counteracts adhesion between the fibres and the resin.

So that good adhesion is again made possible, the textile size is removed from the CS-Interglas fabrics, and the fabric subsequently coated with a coupling agent (the finish). In most cases these coupling agents are silanes that have been adapted to the respective matrix materials. The fabric's processing properties such as drapability and impregnating behaviour are given a further boost in a second finishing process.

A compromise between textile size and finish takes the form of silane sizes. Here, the fibre is treated with a size that contains a silane coupling agent as well as various lubricants to aid processing. Although the properties obtained with silane sizes are not as good as those with textile sizes, the fibres do not require post-treatment after weaving.

Processing

*Finished fabrics are softer and smoother and drape more readily. The laminates undergo better impregnation, and the rate of impregnation is considerably higher. **Transparent laminates**, therefore, are possible only with finished fabrics.*

Physical properties

Finished fabrics adhere better to resin than fabrics treated with a silane size and significantly better than fabrics treated with a textile size, in particular after the effects of moisture. Impaired adhesion is clearly indicated by the turbidity that the effects of moisture induce in laminates laid up with textile- or silane-sized fabrics. A measure of adhesive quality is the so-called interlaminar shear strength or ILS. However, the distribution of a tensile force applied to the fibres also gives rise to shear forces, so adhesion directly affects the tensile strength as well. Silane fabrics exhibit a somewhat higher tensile strength (without moisture) than finished fabrics.

Summary

The tensile strength and interlaminar shear strength of laminates laid up with finished fabrics are clearly superior to those of laminates made with textile-sized fabrics. This superiority is particularly evident in the interlaminar shear strength, which not only is an indication of the individual fabric layer's adhesion to each other, but also functions as a characteristic value for the service life under load. In practice, the somewhat higher tensile strength of laminates made with silane-sized fabrics is mostly of very little, if any significance because pure tensile stress occurs but seldom, and failure is often induced by delamination and the effects of moisture.

Coloured / metallised yarns

Glass fibres can be "coloured" in a special surface treatment. R&G supplies as standard a number of glass fibre types that are a cost-cutting alternative as a second ply for carbon designs.

A further design variant is obtained with metallised surfaces.

Rovings

Textile glass rovings consist of one or a certain number of glass strands aligned almost parallel and bundled to form a twist-free cable.

Rovings are processed to make roving fabrics, chopped textile glass (chopped glass fibre strands), mats, and chopped strands. In a number of manufacturing methods, e.g. winding and pultrusion, rovings are used directly as the reinforcing material.

***Roving fabrics** made from textile glass rovings are of particular importance. With these, thick mould parts (e.g. in mould construction) can be made with few plies. Both the fibre content and the strength are greater by far than those of mat laminates, but lower than those of glass filament fabrics.*

Faserspritzrovings zerfallen nach dem Schneiden sofort in Einzelfäden. Rovings zum **Wickeln** und **Handlaminieren** (R&G Glasroving 2400 tex) sind wesentlich feiner und besitzen einen besseren Zusammenhalt.

Textilglasmatten

Textilglasmatten zum Handlaminieren entstehen durch regelloses Schichten von geschnittenen Glasspinnfäden (Schnittmatte). Sie werden durch einen **Binder** verklebt, der sich im **Styrol** des **Polyester-** oder **Vinylesterharzes** löst, so daß die Fasern frei verschiebbar im Harz schwimmen. In anderen Harzen (EP) bleibt die Matte völlig steif.

Geschnittenes Textilglas

Glasrovings werden zur Verarbeitung in Füll- und Preßmassen in verschiedene Längen geschnitten. R&G führt ab Lager die Längen 3 und 6 mm.

Textilglas-Kurzfasern sind auf Längen unter 1 mm zerkleinerte Glasspinnfäden, die in Einzelfasern aufgespalten sind. R&G führt ab Lager eine **gemahlene Glasfaser** mit 0,2 mm Länge.

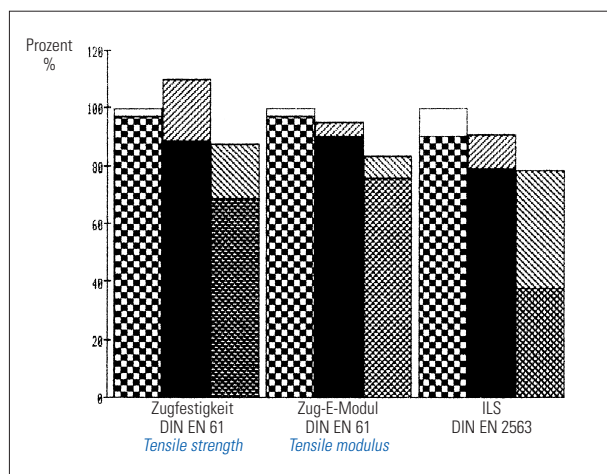
Toxizität und Lagerung

Glasgewebe enthalten keine gesundheitsgefährdenden oder giftigen Stoffe. Aufgrund der Filamentdurchmesser (größer als 4 µm) und der chemischen Struktur des Glases treten nach bisherigen Erkenntnissen keine cancerogenen Wirkungen auf. Die maximal zulässige Arbeitsplatzkonzentration von Glasstaub beträgt 6 mg/m³ (Feinstaub). Bei Transport und Lagerung von Glasgeweben treten keine Gefährdungen auf. Glasgewebe sind gem. Gefahrstoffverordnung nicht kennzeichnungspflichtig, es tritt bei Lagerung und Versand keinerlei Gefährdung von Personen und Umwelt auf. Auch bei höheren Temperaturen zerfällt Glas nicht in toxische Bestandteile und ist daher auch im Brandfall ungefährlich.

Bei der Lagerung von Glasfaserverstärkungen muß bedacht werden, daß die Schlichte feuchtigkeitsempfindlich ist. Trockene, nicht zu kühle Räume sind für eine Aufbewahrung am besten geeignet.

Bei Lagerung in zu kalten Räumen schlägt sich, wenn das Verstärkungsmaterial in warme Arbeitsräume gebracht wird, der in der warmen Luft enthaltene Wasserdampf nieder. In diesem Fall sollte das Glasfasermaterial vorsichtshalber mindestens 8 Stunden vor der Verarbeitung in der Werkstatt gelagert werden.

Festigkeitsverhältnis von Laminaten aus Geweben mit Textilschlichte/Silanschlichte/Finish



Spray-up rovings immediately unravel into their individual fibres after being cut. Rovings for **winding** and **hand lay-up operations** (R&G glass roving 2400 tex) are essentially finer and exhibit better coherence.

Textile glass mats

Textile glass mats for hand lay-up operations are the result when chopped glass strands are layered at random (chopped-strand mat). These strands are then "glued" together with a **binder** that **dissolves in the styrene content** of the polyester or vinyl ester resin: the fibres are suspended in the resin and can be freely displaced. With other resins (EP), the mat remains completely rigid.

Chopped textile glass

Glass rovings are cut to various lengths for processing in filling and moulding compounds. R&G stocks the lengths 4.5 and 6 mm.

Milled glass fibres are glass strands that have been milled to lengths under 1 mm and split into their individual fibres.

R&G stocks **milled glass fibres** with lengths of 0.2 mm.

Toxicity and storage

Glass fabrics do not contain any substances either toxic or otherwise prejudicial to health. According to the latest findings, the filaments' diameter (greater than 4 µm) and the chemical structure of the glass do not have any carcinogenic effects. The maximum permitted workplace concentration of glass dust is 6 mg/m³ (fine dust). There are no risks involved with the transport and storage of glass fabrics. The Gefahrstoffverordnung [toxic chemicals ordinance] specifies that glass fabrics do not need to be labelled: their storage or transport does not give rise to any risks for persons or the environment. Also at higher temperatures, glass does not degrade into toxic constituents and is therefore safe in case of fire.

It must be borne in mind when glass fibre reinforcements are stored that the size is hygroscopic. Dry rooms that are not too cool are the best storage sites.

When the storage room is too cold and the reinforcing material is then brought into warm working areas, the water vapour that the warm air carries will precipitate. As a precaution, the glass fibres should be stored for at least eight hours at the working area before they are processed.

Comparison of strengths between laminates of textile-sized, silane-sized, and finished fabrics

Trockene Laminate

Nach dem Härten 24 Std
Lagerung bei Normaltemperatur
(23 °C, 50% Luftfeuchtigkeit)

Nasse Laminate

Nach dem Härten 2 Std in destilliertem
Wasser kochen

Dry laminates

After curing, store for 24 hr
in standard conditions
(23 °C, 50% r.h.)

Wet laminates

After curing, boil for 2 hr
in distilled water

- Finish I 550 trocken / Finish I 550 dry
- Finish I 550 nass / Finish I 550 wet
- Silane trocken / Silane dry
- Silane nass / Silane wet
- TS trocken / TS dry
- TS nass / TS wet

Daten der E-Glasfaser

Specifications of E glass fibres

Eigenschaften E-Glas / <i>Properties</i>	Einheit / <i>Unit</i>	E-Glas / <i>E glass</i>
Dichte / <i>Density</i>	g/cm ³ /20 °C	2.6
Zugfestigkeit / <i>Tensile strength</i>	MPa	3400
E-Modul / <i>Modulus of elasticity</i>	GPa	73
Bruchdehnung / <i>Elongation at break</i>	%	3.5 - 4
Querkontraktionszahl / <i>Poisson ratio</i>	—	0.18
Spez. elektrischer Widerstand / <i>Resistivity</i>	Ω·cm / 20 °C	10 ¹⁵
Dielektrizitätskonstante / <i>Dielectric constant</i>	10 ⁶ Hz	5.8 - 6.7
Therm. Ausdehnungskoeffizient / <i>Coefficient of thermal expansion</i>	10 ⁻⁶ K ⁻¹	5
Chemische Zusammensetzung (Richtwerte) / <i>Chemical composition (approximate values)</i>		
SiO ₂	%	53 - 55
Al ₂ O ₃	%	14 - 15
B ₂ O ₃	%	6 - 8
CaO	%	17 - 22
MgO	%	< 5
K ₂ O, Na ₂ O	%	< 1
Andere Oxide / <i>Other oxides</i>	%	ca./approx. 1

 Blick in die Weberei der
CS-Interglas AG

 A look at the weaving mill run by
CS-Interglas AG

 Schlichtemaschine zur Kettherstellung
Sizing machine for manufacturing warps

 Wendewickler - Einlauf in die Finish-Anlage
Rotary winder - infeed into the finishing system
Bezeichnungsbeispiel nach DIN 60 850 und ISO 2078
Some example designations according to DIN 60 850 and ISO 2078

	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)
Glasfilamentgarne <i>Glass filament yarns</i>	E	C	9 -	68	Z 28			
Glasfilamentzwirn <i>Glass filament thread</i>	E	C	9 -	136	Z 28	x 2	S 135	
gefachtes Glasfilamentgarn <i>Multiple wound glass filament yarn</i>	E	C	9 -	136	Z 28	x 5	t 0	
texturiertes Glasfilamentgarn <i>Textured wound glass filament yarn</i>	E	C	9 -	136				T 145
Stapelfasergarn <i>Staple fibre yarn</i>	C	D	9 -	125	Z 110			

- 1) Bezeichnung der Glasart E = E-Glas, C = C-Glas / *Glass type designation: E = E glass, C = C glass*
- 2) Kurzzeichen der Faserform C = Endlosfasern, D = Stapelfasern / *Fibre form abbreviation: C = continuous fibres, D = staple fibres*
- 3) Filamentdurchmesser in µm / *Filament diameter in µm*
- 4) Garnfeinheit in tex / *Yarn number in tex*
- 5) Drehungsrichtung und -anzahl je m des Garns / *Direction and number of twists per yarn metre*
- 6) Anzahl der gezwirnten bzw. gefachten Einzelgarne / *Number of twisted or multiple wound yarns*
- 7) Drehungsrichtung und -anzahl je m der Zwirnung (t 0 = ohne Drehung) / *Direction and number of twists per twisted metre (t 0 = no twisting)*
- 8) Resultierende Garnfeinheit nach dem Texturieren in tex / *Yarn number after texturing in tex*

ARAMIDFASERN

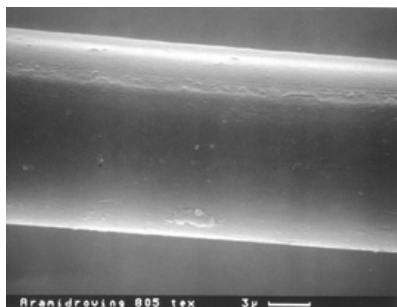
Aromatisches Polyamid (Aramid) wurde 1965 von der Firma DuPont entdeckt und unter dem Namen **Kevlar®** zur Marktreife entwickelt.

Aramidfasern besitzen eine hohe spezifische (gewichtsbezogene) Festigkeit, niedrige Dichte, hohe Schlagzähigkeit, gute Wärmebeständigkeit und Dimensionstabilität, gute Schwingungsdämpfung und ein hohes Arbeitsaufnahmevermögen.

Senkrecht zur Faserlängsachse ist die Festigkeit relativ gering. Demnach sind die Querfestigkeit und die Druckfestigkeit von Aramidfaserkunststoff, verglichen mit GFK oder CFK, wesentlich niedriger (z.B. interlaminae Scherfestigkeit ca. 50 % der Materialfestigkeit).

Herstellung

Aramid-Hochmodulfasern werden aus einer flüssigkristallinen Lösung von polyparaphenylenen Terephthalamiden in konzentrierter Schwefelsäure versponnen. Nach der Oberflächenbehandlung werden HM-Fasern zusätzlich mechanisch geredet, wobei ein hoher Orientierungsgrad der Einzelfibrillen erreicht wird.



REM-Aufnahme eines Elementarfadens aus Aramid.
SEM photograph of a continuous aramid fibre.

Aramidarten

Hochmodulfasern wie Kevlar® 49 oder Twaron® HM werden hauptsächlich für schlag- und stoßbeanspruchte, verschleißfeste Leichtbauteile eingesetzt.

Niedermodulfasern wie Kevlar® 29 oder Twaron® LM werden für die weiche und harte Ballistik (Schußwesten und Panzerungen) verwendet.

Feuchtigkeitsaufnahme

Aramidfasern neigen zur Feuchtigkeitsaufnahme.

Nach Werkstoffleistungsblatt dürfen Aramidgewebe für die Luft- und Raumfahrt bis zu 3 % Feuchtigkeit enthalten.

Nach längerer, ungeschützter Lagerung kann die Wasseraufnahme bis zu 7 % betragen, weshalb solche Gewebe vor der Verarbeitung im Ofen bei 120 °C ca. 1 - 10 Stunden zu trocknen sind.

Dimensionsstabilität

Ähnlich wie Kohlenstofffasern weisen Aramidfasern einen **negativen Wärmeausdehnungskoeffizienten** in Faserlängsrichtung auf. Die Faser verkürzt sich in der Wärme, während sich das Matrixharz dehnt. Durch diese gegenläufigen Kräfte weist SFK bei erhöhten Temperaturen eine **hohe Maßhaltigkeit** auf.

ARAMID FIBRES

Aramid, a portmanteau word formed from "aromatic polyamide", was discovered in 1965 by the DuPont company, which then developed and marketed it under the name Kevlar®.

Aramid fibres exhibit a high specific (or weight-based) strength, low density, high impact strength, good heat resistance and dimensional stability, good vibration damping, and a high energy absorption capacity.

The strength is relatively low transverse to the fibres. Accordingly, the transverse and compressive strengths of aramid-fibre-reinforced plastic, compared with GRP or CRP, are considerably lower (e.g. the interlaminar shear strength is approx. 50% of the material's strength).

Manufacture

High modulus aramid fibres are spun from a liquid-crystalline solution of polyparaphenylene terephthalamides in concentrated sulphuric acid.

After surface treatment, the HM fibres are subjected to additional mechanical drawing so that the single fibrils are all oriented to a high degree.

Aramid types

High modulus fibres such as Kevlar® 49 or Twaron® HM are used predominantly for high-impact, wear-resistant lightweight components.

Low modulus fibres such as Kevlar® 29 or Twaron® LM are used for hard and soft ballistic materials (bulletproof vests and armouring).

Moisture absorption

Aramid fibres tend to absorb moisture.

According to the VLB (material specifications sheet), aramid fabrics intended for aerospace applications must not contain more than 3% by weight of moisture.

After a longer period of unprotected storage the water content can be as high as 7%, a reason why these fabrics must be dried in an oven at 120 °C for about one to ten hours before they are processed.

Dimensional stability

*Similar to carbon fibres, aramid fibres exhibit a **negative coefficient of thermal expansion** along the fibres. The fibres contract at high temperatures whereas the matrix resin expands.*

*Owing to these opposed forces, SRPs exhibit **high dimensional stability** at raised temperatures.*

Thermische Eigenschaften

Aramide sind entflammbar, jedoch bei Entfernen der Feuerquelle selbstverlöschend. Die Fasern schmelzen nicht und weisen eine gute flammhemmende Wirkung auf. Die Wärmeleitfähigkeit ist gering. Bei höheren Temperaturen beginnen Aramide zu verkohlen, aber sie weisen auch nach mehrtägiger Belastung mit Temperaturen um 250 °C noch eine Restzugfestigkeit von 50 % auf.

Chemische Eigenschaften

Gute Beständigkeit gegen Lösemittel, Kraftstoffe, Schmiermittel, Salzwasser etc.; von einigen starken Säuren und Laugen werden Aramidfasern angegriffen. Sie sind widerstandsfähig gegen den Angriff von Pilzen und Bakterien.

UV-Stabilität

Aramidfasern sind empfindlich gegen UV-Strahlung. Zunächst erfolgt eine sichtbare Verfärbung vom ursprünglichen hellen Gelb in einen bronzebraunen Farbton. Nach längerer Einwirkung verliert die Faser bis zu 75 % an Festigkeit. Aramidlaminat sollte möglichst mit einer UV-absorbierenden Deckschicht versehen werden. Dazu eignet sich praktisch jedes kräftig eingefärbte Deckschichtharz.

Schichten

Für Aramidfasern stehen noch keine chemisch wirkenden Haftvermittler zur Verfügung. Die zum Schutz der Faser aufgetragene Webschicht vermindert zunächst die Haftung Harz : Faser.

Gewebe für die Luft- und Raumfahrt werden daher nach der Herstellung gewaschen. Die Gewebe sind somit entschlichtet, das Harz haftet direkt auf der Faser. Ungewaschene, etwas preisgünstigere Gewebe sind nur für weniger anspruchsvolle Anwendungen zu empfehlen.

Aramidgewebe unter 35 g/m² werden aus qualitativen Überlegungen heraus nicht gewaschen, da sich das Webbild ändern kann.

Matrixharze

Aufgrund der relativ guten Harz/Faserhaftung werden Epoxyharze bevorzugt. Aminverbindungen, die in praktisch allen Härterssystemen von R&G enthalten sind, weisen eine besondere Affinität zur Faseroberfläche auf.

Verarbeitung

Aramidfasern sind relativ unempfindlich gegenüber Beschädigungen während der Verarbeitung. Es kommen daher alle gängigen Verarbeitungsverfahren in Betracht (Handlaminat, Wickeln, Pressen, Strangziehen etc.).

Aufgrund der hohen Faserzähigkeit werden zum Bearbeiten von Aramidgeweben **microverzahnte Spezialscheren** benötigt.

Zum Bearbeiten fertiger Laminat kommen ebenfalls nur hochwertige Metallbearbeitungswerkzeuge in Frage. Neben feingezahnten Sägen hat sich das Hochdruck-Wasserstrahlschneidverfahren (Water-Jet-Verfahren) zum Besäumen fertiger Bauteile am besten bewährt.

Beim Bohren und Fräsen weist die Oberfläche einen „Flaum“ aus Aramidfasern auf. Für optimale Ergebnisse werden Spezialwerkzeuge benötigt.

Sofern die Oberfläche von Aramidlaminaten später geschliffen werden soll, kann als Schleifschicht zuvor ein Glasgewebe einlaminiert werden.

Kevlar® = DuPont; Twaron® = Teijin Twaron

Thermal properties

Aramids are flammable, but self-extinguishing as soon as the source of the fire is removed. The fibres do not melt and exhibit good flame-retardant effects. The thermal conductivity is low. At higher temperatures aramids start to carbonise, but still exhibit a residual tensile strength of 50% even after several days at temperatures of 250 °C.

Chemical properties

Good resistance to solvents, fuels, lubricants, salt water, etc., but a number of strong acids and alkalis attack aramid fibres. They are resistant to attack by fungi and bacteria.

UV resistance

Aramid fibres are sensitive to UV radiation. First of all, the original light yellow undergoes visible discolouration and becomes a brownish bronze. After longer exposure times, the fibres lose up to 75% of their strength. Whenever possible, a UV-absorbing overlay should be applied to aramid laminates. Virtually any full-coloured overlay resin is suitable.

Sizing

At present there are still no chemical coupling agents available for aramid fibres. The weaving size applied as a protective coat to the fibres first prevents adhesion between the resin and the fibres.

So fabrics intended for aerospace applications are washed after their manufacture, i.e. the fabrics are desized, and the resin adheres directly to the fibres.

Unwashed fabrics are available at lower prices and are recommended for less demanding applications only.

For reasons of quality assurance, aramid fabrics under 35 g/m² are not washed: otherwise the weave may undergo change.

Matrix resins

Owing to the relatively good adhesion between the resin and the fibres, preference is given to epoxy resins. Amine compounds, which are constituents of virtually all of the hardener systems available from R&G, exhibit a particular affinity to the surface of these fibres.

Processing

Aramid fibres are relatively insensitive to damage during processing. Consequently, all of the conventional processing methods can be applied (hand lay-up operations, winding, press moulding, pultrusion, etc.).

Owing to the high toughness of their fibres, aramid fabrics must be cut with **special micro-toothed shears**.

Consequently, high-quality metalworking tools are the only adequate tools for cutting the ready-made laminates as well. Besides fine-tooth saws, also high-pressure water jet cutting (water-jet machining) has proved the best method for trimming ready-made components.

Drilling or milling the surface causes the aramid fibres to fluff. Special tools must be used if the optimal results are to be obtained.

When the surfaces of aramid laminates have to be ground in a subsequent process, a glass fabric can be added to the laminations to serve as the grinding coat.

Kevlar® = DuPont; Twaron® = Teijin Twaron

Daten der Aramidfasern
Specifications of aramid fibres

Aramid <i>Aramid</i>	Einheit <i>Unit</i>	Niedermodul (LM) <i>Low modulus (LM)</i>	Hochmodul <i>High modulus (HM)</i>
Dichte / <i>Density</i>	g/cm ³ /20 °C	1,44	1.45
Zugfestigkeit / <i>Tensile strength</i>	MPa	2800	2880
Zug E-Modul / <i>Tensile modulus</i>	GPa	59	100
Bruchdehnung / <i>Elongation at break</i>	%	4	2,8
spez. elektrischer Widerstand / <i>Resistivity</i>	Ω/cm/20 °C	10 ¹⁵	10 ¹⁵
Therm. Ausdehnungskoeffizient / <i>Coefficient of thermal expansion</i>	10 ⁻⁶ K ⁻¹	-2,3	-3,5
Wärmeleitfähigkeit / <i>Thermal conductivity</i>	W/mK	0,04	0,04
Zersetzungstemperatur / <i>Degradation temperature</i>	°C	550	550
Feuchtigkeitsaufnahme (20 °C, 65 % rel. Luftfeuchte) <i>Moisture absorption (20 °C, 65 % relative humidity)</i>	%	7	3,5
Herstellerbezeichnung / <i>Manufacturer's designation</i>	DuPont, Teijin Twaron	Kevlar® 29, Twaron®	Kevlar® 49 / Twaron® HM

Werkstoffvergleich
Materials compared
Verbundwerkstoffe aus Aramid HM im Vergleich zu GFK
Composites of HM aramid compared with GRP

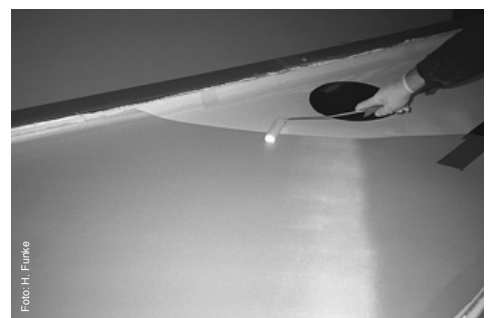
Gewichtersparnis <i>Weight saving</i>	25 - 40 %	25 - 40 %
Steifigkeitsgewinn <i>Increase in rigidity</i>	Bis zu 60 %, da aufgrund niedriger Dichte bei gleichem Gewebegewicht 80 % höhere Laminatdicke.	<i>Up to 60 %: lower density increases laminate thickness by 80 % for the same fabric weight</i>
Sicherheitsgewinn <i>Increase in safety</i>	Metallähnliches Ermüdungsverhalten, begrenzte Reißausbildung, ermüdungsbeständig, gute Schwingungsdämpfung	<i>Fatigue behaviour similar to metals, restricted crack development, resistant to fatigue, good vibration damping</i>



Im Sportgerätebau wird Aramid für schlagzähe Laminat eingesetzt
Aramid is used for high-impact resistant laminates in the design of sports equipment



Ballistischer Weichschutz (Kevlar® 29)
Soft ballistic protection (Kevlar® 29)



Aramidlaminat in der Tragfläche eines UL-Nurflüglers
Aramid laminate in the structure of an ultralight flying wing



KOHLNSTOFFASERN (CARBON)

Kohlenstoffasern wurden (als Glühlampendraht) erstmals im 19. Jahrhundert durch Verkokung von Kunstseide erzeugt.

Erst viel später, gegen Ende der 60er Jahre, kamen **Kohlenstoff-Verstärkungsfasern** in geringen Mengen und zu hohen Preisen (um 1500,- EUR / kg) auf den Markt. Zunächst waren lediglich Rovings (endlose Faserstränge) verfügbar, die in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt wurden.

Seit etwa 1975 werden Kohlenstoffasern weltweit in industriellem Maßstab gefertigt und zu vielfältigen **textilen Verstärkungsmaterialien** verarbeitet.

Tenax®

Tenax® ist eine aus Polyacrylnitril (PAN) Precursor hergestellte Hochleistungs-kohlenstoffaser, die sich durch hohe Festigkeit, hohen Elastizitätsmodul und niedrige Dichte auszeichnet.

Seit 10 - 15 Jahren wird die Kohlenstoffaser in wachsendem Umfang in Hochleistungsverbundwerkstoffen eingesetzt. Dieser moderne Werkstoff wird mittlerweile in vielen Industriezweigen, wie z.B. der Luftfahrtindustrie, dem Maschinenbau, der Automobilindustrie, dem Schiffbau, der Medizintechnik, der Windenergie, der Off-Shore- und nicht zuletzt der Sportartikelindustrie eingesetzt.

Die Tenax® Kohlenstoffaser hat durch ihre bewährten Eigenschaften im Verbundwerkstoff in Verbindung mit einem äußerst kundenorientierten kommerziellen und technischen Service eine führende Marktposition in Europa erobert. In Kombination mit einem ausgereiften Massenproduktionsprozess kann Tenax Fibers immer neue Anwendungen für die Kohlenstoffaser erschließen. Daher stehen Tenax® Kohlenstoffasern an vorderster Stelle, wenn eine kosteneffiziente Anwendung von Carbon verlangt wird.

Eigenschaften

Mechanische und dynamische Eigenschaften

- Hohe Festigkeit
- Hoher Elastizitätsmodul
- Niedrige Dichte
- Geringe Kriechneigung
- Gute Schwingungsdämpfung
- Geringe Materialermüdung

Die Festigkeiten übertreffen die der meisten Metalle und anderer Faserverbundwerkstoffe. Die Dehnung von CFK ist **vollelastisch**, **Ermüdungsbeständigkeit** und **Vibrationsdämpfung** sind hervorragend.

Chemische Eigenschaften

- Chemisch inert
- Nicht korrosiv
- Hohe Beständigkeit gegen Säuren, Alkalien und organische Lösungsmittel

Chemisch sehr inert, hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber den meisten Säuren, Alkalien und Lösungsmitteln. Kohlenstoffasern nehmen praktisch kein Wasser auf.

CARBON FIBRES

The first carbon fibres were manufactured in the nineteenth century when artificial silk (today called rayon) was carbonised to produce filaments for incandescent lamps. Not until much later, towards the close of the sixties, did **reinforcing carbon fibres** make an entry on the market – in small quantities and at staggeringly high prices (about EUR 1,500 per kilogram).

The first of these carbon fibres were available solely in the form of continuous rovings that were used in the aerospace industries. Since about 1975 carbon fibres are being produced throughout the world on an industrial scale and processed to serve as flexible **textile reinforcing materials**.

Tenax®

Tenax® is a high-performance carbon fibre that is produced from a polyacrylonitrile (PAN) precursor and whose characteristic features are high strength, high modulus of elasticity, and low density. Over the last ten to fifteen years, the proportion of carbon fibres in high-performance composites has been experiencing a steady growth. This new material is now being used in many branches of industry, e.g. aviation, machine construction, car manufacture, shipbuilding, medical engineering, wind energy, offshore installations, and - not least of all - sports articles.

With its tried-and-tested properties in the composite in conjunction with highly customer-oriented commercial and technical services, Tenax® carbon fibres have succeeded in adopting a leading market position in Europe.

In combination with a matured mass production process, the Tenax Fibers company is constantly developing new applications for carbon fibres. So Tenax® carbon fibres are at the top of the list whenever applications demand carbon for cost-effectiveness.

Properties

Mechanical and dynamic properties

- High strength
- High modulus of elasticity
- Low density
- Low tendency to creep
- Good vibration damping
- Low material fatigue

The strength values exceed those of most metals and other fibre composites.

CRP exhibits **fully elastic** elongation as well as outstanding **fatigue strength** and **vibration damping**.

Chemical properties

- Chemically inert
- Non-corrosive
- Highly resistant to acids, alkalis, and organic solvents

Highly inert with respect to chemicals and highly resistant to most acids, alkalis, and solvents, carbon fibres absorb practically no water.

Thermische Eigenschaften

- Geringe Wärmeausdehnung
- Geringe Wärmeleitfähigkeit

Sehr niedriger thermischer Ausdehnungskoeffizient, der CFK eine hohe Maßstabilität verleiht.

Kohlenstoffasern sind unbrennbar. Sie sind unter Sauerstoffabschluß stabil bis 3000 °C, mit Sauerstoff erfolgt ab ca 400 °C eine Oxidation, die zu Festigkeitsverlusten führt.

Elektromagnetische Eigenschaften

- Geringe Röntgenstrahlenabsorption
- Nicht magnetisch

Elektrische Eigenschaften

- Gute elektrische Leitfähigkeit

Werkstoffvergleich

Eine Tabelle mit den Festigkeiten gebräuchlicher Werkstoffe finden Sie auf **Seite 8.29**.

Bei Leichtbauteilen entscheidet eine mit herkömmlichen Werkstoffen vergleichbare Festigkeit bei **geringerem Gewicht** über die Verwendung. Bei gleichem Gewicht hat CFK die fünffache Zugfestigkeit und Steifigkeit von Stahl. **1 kg CFK kann 5 kg Stahl ersetzen.**

Herstellung

C-Fasern bestehen zu über 95 % aus reinem Kohlenstoff.

Elementarer, reiner Kohlenstoff, kommt in der Natur in Form von Graphit oder Diamant vor, ist unlöslich und unschmelzbar und scheidet daher als Rohstoff zur Kohlefaserproduktion aus.

Kohlenstoffasern entstehen durch Pyrolyse (Verkokung) nicht schmelzbarer Kohlenstoff-Polymerfäden. Das technisch bedeutsamste Verfahren ist das Verkoken von Polyacrylnitril. Die Ausgangsfäden (Precursor genannt) enthalten eine durchgehende Kohlenstoffkette (-C-C-C-C-C-).

Nach dem Spinnen der PAN-Faser werden die verknäuelten Polymerketten durch Verstrecken zur Faserrichtung ausgerichtet.

Die **Umwandlung** zur Kohlenstofffaser erfolgt in drei Stufen:

- Die Voroxidation findet in O₂-haltiger Atmosphäre bei 200 - 300 °C statt, wobei die Faser unter Vorspannung gehalten wird;
- Die Pyrolyse (Carbonisierung) erfolgt bei 800 - 1500 °C unter Inertgasatmosphäre;
- Anschließend ist noch eine Hochtemperaturbehandlung bei 2000 - 3000 °C möglich.

Temperaturhöhe und Vorspannung bestimmen die Eigenschaften, da hiervon ein maßgeblicher Einfluß auf den Orientierungsgrad der C-Ketten ausgeht.

Thermal properties

- Low thermal expansion
- Low thermal conductivity

As a result of its very low coefficient of thermal expansion, CRP exhibits a high dimensional stability.

Carbon fibres are incombustible. With the exclusion of oxygen they are stable at temperatures up to 3000 °C; on exposure to oxygen they suffer losses in strength from approx. 400 °C owing to the effects of oxidation.

Electromagnetic properties

- Low X-ray absorption
- Non-magnetic

Electrical properties

- Good conductivity

Materials compared

*A table listing the strength values of the conventional materials can be found on **page 8.29**.*

*The decisive factor affecting the use of these materials in lightweight components is the **lower weight** exhibiting a strength comparable to the conventional materials. The same weight of CRP has five times the tensile strength and rigidity of steel: **1 kg of CRP can replace 5 kg of steel.***

Manufacture

Ninety-five per cent of carbon fibres is made up of pure carbon.

Elementary, pure carbon is found in nature in the form of graphite or diamond, is insoluble and infusible, and is therefore unsuitable as a raw material for the production of carbon fibres.

Carbon fibres are the result when infusible carbon polymer fibres pyrolyse (carbonise). The most important method used for this technology involves the carbonisation of polyacrylonitrile. The initial, or precursor fibres contain a long unbroken chain of carbon atoms (-C-C-C-C-C-).

After the PAN fibres have been spun, the coils of polymer chains are drawn to align them in the direction of the fibres.

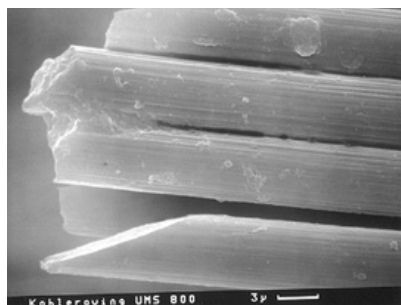
The **conversion** to carbon fibres takes place over three stages:

- *The fibres are kept under tension and pre-oxidised at 200 - 300 °C in an atmosphere containing O₂.*
- *The fibres are then pyrolysed (carbonised) at 800 -1500 °C in an inert gas atmosphere.*
- *The third and final stage involves an optional high-temperature treatment at 2000 - 3000 °C.*

The temperature level and the initial tension exercise a decisive effect on the carbon chains' degree of orientation and therefore the end product's final properties.

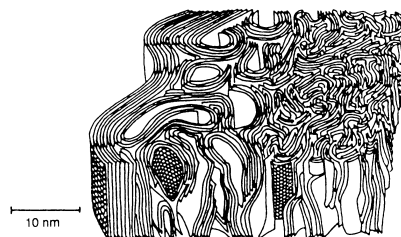
Die Faseroberfläche ist sehr groß: bei einem Faserdurchmesser von 7 μm und einem Faservolumenanteil von 50 % ergibt sich für 1 cm^3 Laminat eine **rechnerische Faseroberfläche** von 2800 cm^2 .

The surface of the fibres is very large: a fibre diameter of 7 μm and a fibre volume fraction of 50% yield a **theoretical fibre surface** of 2800 cm^2 for every 1 cm^3 of laminate.



REM-Aufnahme der Bruchstücke von Elementarfäden aus Kohlefaser UMS

SEM photograph showing the broken ends of continuous UMS carbon fibres



Microstruktur der Kohlefaser auf Basis von Polyacrylnitril (PAN)

The microstructure of polyacrylonitrile-based (PAN-based) carbon fibres

Gängige Tenax®-Fasertypen

Filamentgarn HTA und HTS

Dies ist die klassische Tenax® Hochleistungskohlenstofffaser-Type. Seit Anfang der achtziger Jahre hat sich die HTA Faser einen Namen in einer Vielzahl von unterschiedlichen Anwendungen in der Luftfahrt- und Freizeitindustrie gemacht. Diese „High Tenacity“ (HT) Faser liefert exzellente und ausgewogene mechanische Lamineigenschaften unter Zug- und Druckbeanspruchung.

Nicht umsonst war die **Tenax® HTA** Kohlenstofffasertyp eine der ersten Kohlenstofffasern, die in der zivilen Luftfahrt eingesetzt wurde. Wie zum Beispiel für das Höhen- und Seitenleitwerk, Fußboden, Ruder und Klappen, Triebwerksabdeckungen und anderen Bauteile im Airbus. Weitere bedeutende Anwendungen der HTA Faser sind in der Herstellung von Bauteilen für Helikopter und modernen Segelflugzeugen.

Die **Tenax® HTS** Faser ist eine weiterentwickelte HT-Faser Variante mit erhöhten mechanischen Eigenschaften und erhöhter Anzahl an Filamenten (12K und 24K). Ansonsten bietet die Tenax® HTS Faser ein ebenso gutes Eigenschaftsprofil wie die guteingeführte HTA Faser.

Eigenschaften (Richtwerte)

Dichte (g/cm^3)	1,77
Zugfestigkeit (MPa)	3950 (HTS: 4300)
Zug-E-Modul (GPa)	238
Bruchdehnung (%)	1,5
Spezifische Wärmekapazität ($\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$)	710
Wärmeleitfähigkeit ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)	17
Wärmeausdehnungskoeffizient (10^{-6}K^{-1})	-0,1
Spez. elektrischer Widerstand ($\Omega\cdot\text{cm}$)	$1,6 \times 10^{-3}$

Conventional Tenax® fibre types

HTA and HTS filament yarn

These are the classical types of Tenax® high-performance carbon fibres. Since the beginning of the eighties, the HTA fibre has been making a name for itself in a large number of different applications in the aviation and leisure industries. This so-called high-tenacity fibre yields a laminate with excellent and well-balanced mechanical properties under both tensile and compressive stress.

Owing to these outstanding properties, the **Tenax® HTA** carbon fibre type was one of the first carbon fibres to find application in the aviation industries, for example in the elevator assembly, vertical tailplane, floor, rudder and flaps, engine covers, and other components for the airbus. Some further important applications for HTA fibres can be found in the manufacture of components for helicopters and modern gliders.

The **Tenax® HTS** fibre is an advanced development of the HT fibre and exhibits greater mechanical properties and a higher number of filaments (12 K and 24 K). In all other aspects the Tenax® HTS fibre offers a range of properties as equally good as the well-established HTA fibre.

Properties (approximate values)

Density (g/cm^3)	1.77
Tensile strength (MPa)	3950 (HTS: 4300)
Tensile modulus (GPa)	238
Elongation at break (%)	1.5
Specific heat capacity ($\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$)	710
Thermal conductivity coefficient ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)	17
Coefficient of thermal expansion (10^{-6}K^{-1})	-0.1
Resistivity ($\Omega\cdot\text{cm}$)	1.6×10^{-3}

Filamentgarn UMS

Die Tenax® UMS, „Ultra High Modulus“ (UM) Faser ist für Anwendungen geeignet, wo eine überlegene Steifigkeit erforderlich für die Leistungsfähigkeit des Bauteils ist. Vor allem Konstruktionen wie Satellitenstrukturen, Antennen oder Wellen und Walzen erfordern die außergewöhnlichen Eigenschaften der Tenax® UMS Fasern. Aber auch Sportgeräte wie Angelruten und Bootsmasten können erst mit Hilfe der Tenax® UMS Faser ihre volle Leistungsfähigkeit entfalten.

Eigenschaften (Richtwerte)

Dichte (g/cm ³)	1,78
Zugfestigkeit (MPa)	4560
Zug-E-Modul (GPa)	395
Bruchdehnung (%)	1,1

Gängige Torayca®-Fasertypen

Filamentgarn T 300 / T300J

Dies ist die klassische Torayca® Hochleistungskohlenstofffaser Type.

Eigenschaften (Richtwerte)

Dichte (g/cm ³)	1,76/1,78
Zugfestigkeit (MPa)	3530/4210
Zug-E-Modul (GPa)	230
Bruchdehnung (%)	1,5/1,8

Andere Fasertypen

Sumitomo Dialead K63712

Diese Fasertypen werden momentan nur bei den UD-Gelegen verwendet (R&G Bestell-Nr. 190 254-X Kohlegelege UHM 250 g/m²).

Eigenschaften (Richtwerte)

Dichte (g/cm ³)	2,12
Zugfestigkeit (MPa)	2600
Zug-E-Modul (GPa)	640
Bruchdehnung (%)	0,4 %

Fadenkonstruktion bei Kohlefasern

- 1 K = 1000 Filamente pro Faden
- 3 K = 3000 Filamente pro Faden
- 6 K = 6000 Filamente pro Faden

1 K wird z.B. verarbeitet für Kohlegelege 93 g/m², 3 K für Kohlegelege 160, 204, 245 g/m².

Die Verarbeitung

In der Verarbeitung zu Laminaten sind Kohlenstofffasern mit Textilglasprodukten vergleichbar. Schichtweise wird das zugeschnittene Gewebe z.B. mit Epoxydharz getränkt, und so ein Laminat hergestellt.

Im Gegensatz zu Glasgewebe, das bei richtiger Benetzung transparent wird, bleibt die Kohlefaser gleichmäßig schwarz. Luftblasen und ungetränkte Stellen lassen sich nicht erkennen. Fehlstellen müssen durch **sorgfältiges Arbeiten** mit Pinsel und Mohairwalze vermieden werden.

Das Laminierharz sollte auf Raumtemperatur (20 °C) erwärmt sein, damit es dünnflüssig genug ist, die Fasern vollständig zu benetzen. Eine gute Benetzung, **ohne Lufteinschlüsse**, ist für die Endfestigkeit entscheidend.

UMS filament yarn

Tenax® UMS is an ultra-high modulus (UM) fibre and is suitable for applications that demand superior rigidity for the performance of a component. Above all, constructions such as satellite structures, aerials, shafts, and rollers are today unthinkable without the exceptional properties imparted by Tenax® UMS fibres. Yet also sports equipment such as fishing rods and boat masts cannot develop their full potential without the assistance of Tenax® UMS fibres.

Properties (approximate values)

Density (g/cm ³)	1.78
Tensile strength (MPa)	4560
Tensile modulus (GPa)	395
Elongation at break (%)	1.1

Conventional Torayca® fibre types

T 300 / T 300J filament yarn

These are the classical types of Torayca® high-performance carbon fibres.

Properties (approximate values)

Density (g/cm ³)	1.76 / 1.78
Tensile strength (MPa)	3530 / 4210
Tensile modulus (GPa)	230
Elongation at break (%)	1.5 / 1.8

Other fibre types

Sumitomo Dialead K63712

At present, this fibre type is used only in unidirectional inlays (R&G order no. 190 254-X, UHM carbon inlay, 250 g/m²).

Properties (approximate values)

Density (g/cm ³)	2.12
Tensile strength (MPa)	2600
Tensile modulus (GPa)	640
Elongation at break (%)	0,4 %

Thread construction with carbon fibres

- 1 K = 1,000 filaments per thread
- 3 K = 3,000 filaments per thread
- 6 K = 6,000 filaments per thread

For example, 1 K is used for 93 g/m² carbon fabrics, 3 K for 160, 204, and 245 g/m² carbon fabrics.

Processing

When processed to make laminates, carbon fibres can be compared with textile glass products. Each layer of cut fabric is impregnated e.g. with epoxy resin to produce a laminate.

In contrast to glass fabrics, which become transparent when properly wetted, carbon fibres remain a uniform black. Air bubbles and inadequately impregnated sites cannot be detected visually. **The work must be performed carefully** with a brush and mohair roller to prevent such voids.

The laminating resin should be heated to room temperature (20 °C) if its viscosity is to be low enough to wet the fibres completely. Thorough wetting without air inclusions is decisive for the final strength.

Spezifikation

R&G liefert Gewebe und Rovings hauptsächlich aus Tenax Kohlenstofffasern. Die meisten Breitgewebe sind nach DIN 65 147 T1 und T2 (Luftfahrtnorm) und den QSF-B-Richtlinien (Qualitätssicherungs-System der Luftfahrt) hergestellt.

Hybridgewebe / Designgewebe

Mischfasergewebe können sich in ihren Eigenschaften ergänzen und sind für bestimmte hochbelastete Bauteile (z.B. Motorrad-Rennverkleidung, Schiffmodellrümpfe, Surfboards etc.) besonders zu empfehlen. Ein Kohle/Aramid-Laminat erhält durch die Kohlefaser eine hohe Steifigkeit und eine gute Druckfestigkeit, durch die Aramidfaser wird eine erhöhte Schlagzähigkeit erzielt (siehe Tabelle Seite 8.29). Üblich sind die Kombinationen Kohlenstoff/Aramid, Kohlenstoff/Glas und Kohlenstoff/Dyneema®.

Auch als Designgewebe werden diese Mischgewebe verarbeitet. Kohle/Aramid ist gelb/schwarz, Kohle Dyneema weiß/schwarz. Lediglich Kohle/Glas wirkt meist nicht besonders attraktiv, da die Glasfaser im Laminat transparent ist.

Spezielle **Designgewebe** wie das R&G Kohlegewebe 245 g/m² sind mit blauen und roten Schußfäden lieferbar. Insbesondere im hochwertigen Fahrzeugbau werden diese Gewebetypen für sichtbare Carbonteile verwendet.

Haftvermittler

Um eine möglichst gute Haftung des Harzes auf der Faser zu erreichen, sind alle R&G Kohlegewebe mit einer **epoxydhaltigen Präparation** imprägniert. Der Anteil liegt bei 1,3 % des Gewebegewichtes. Als Matrix empfehlen wir Epoxydharze, eine Verarbeitung mit Polyesterharzen ist jedoch auch möglich.

Schiebeverfestigung

Um das Auslösen von Fäden beim Schneiden zu verhindern, kann das Gewebe bei der Herstellung mit einem zusätzlich aufgetragenen, harzfreundlichen Binder schiebeverfestigt werden. Die **Drapierfähigkeit** bleibt dabei **weitestgehend erhalten!** R&G liefert das Kohlegewebe 245 g/m² optional auch mit dieser Schiebeverfestigung. Vorteile bietet dieses Material vor allem bei der Herstellung von Sicht-Carbonteilen und beim Zuschneiden von Torsionslagen ($\pm 45^\circ$). Ab ca. 100 m² kann jedes Kohlegewebe ab Werk schiebeverfestigt werden. Das Gewebe ist wegen seines Binders mit heißer Luft **thermoplastisch verform- und verklebbar**. Dieser Prozeß ist beliebig reversibel. Die Lagenausrichtung bei Mehrlagenaufbauten erfolgt ohne Fadenschiebung. Die **Benetzungsfähigkeit** bei Epoxydharzen sowie der Harzfluß werden nicht negativ beeinflusst. Während der **Aushärtung** schmilzt der EP-Binder und vernetzt oberhalb seiner Schmelztemperatur homogen mit der Matrix (Schmelzbereich 103 - 115 °C). Sollte ein Aushärten unter der Schmelztemperatur des Binders erfolgen, vernetzt dieser zwar nicht, behindert aber auch nicht die Faser-Matrix-Haftung.

Besonderheiten

Kohlenstoffilamentgewebe dürfen keinesfalls geknickt oder mit scharfkantigen Werkzeugen wie Metallscheibenrollern verarbeitet werden. Bei einer Beschädigung der Filamente ergeben sich zwangsläufig Sollbruchstellen. Auf gefaltete Kohlenstoffgewebe sollte beim Kauf zugunsten aufgerollter Stücke verzichtet werden.

Lagerung

Nach DIN 65147 sind Kohlenstoffilamentgewebe für die Luft- und Raumfahrt liegend, in trockenen, möglichst temperierten Räumen lichtgeschützt so zu lagern, daß von außen keine Druckbelastung einwirkt.

Specifications

R&G provides fabrics and rovings manufactured primarily from Tenax® carbon fibres. Most fabrics in open width are manufactured in accordance with DIN 65 147 T1 and T2 (aircraft standard) and the QSF-B guidelines (quality assurance system for aviation).

Hybrid fabrics / designer fabrics

Hybrid fabrics allow an individual constellation of properties and are particularly recommended for certain highly loaded components (e.g. cowls for racing motorcycles, hulls for model ships, surfboards, etc.). The carbon fibres in a carbon-aramid laminate serve to enhance its rigidity and its compressive strength, the aramid fibres its impact strength (see the table on page 8.29). The usual combinations are carbon and aramid, carbon and glass, and carbon and Dyneema®. These hybrid fabrics are also processed to make designer fabrics. The carbon-aramid combination yields yellow and black, carbon-Dyneema® white and black. Solely the combination with carbon and glass produces in most cases a less attractive result owing to the glass fibres' transparency in the laminate. Specific **designer fabrics** such as R&G 245 g/cm² carbon fabrics are available with blue and red wefts. These fabric types find application particularly in upmarket automotive engineering for decorative carbon parts.

Coupling agents

So that the best possible adhesion is obtained between the resin and the fibre, all R&G carbon fabrics are impregnated with a **preparation containing epoxy**. The content is 1.3% of the fabric weight. We recommend epoxy resins as the matrix, but polyester resins are also possible.

Slippage resistance

So that the fibres do not fray when cut, the fabric can be imparted so-called slippage resistance from an additional application of resin-compatible binder. This has only a **negligible** effect on the **drapability**. R&G provides 245 g/cm² carbon fabric, also with optional slippage resistance. The advantages offered by this material are utilised above all in the manufacture of decorative carbon parts and when torsion layers ($\pm 45^\circ$) have to be cut to size. Every carbon fabric greater than approx. 100 m² can be provided ex works with slippage resistance.

Owing to its binder component, the fabric can be **deformed and bonded thermoplastically** with hot air. This process can be reversed any number of times. The individual plies of multiple-ply structures can be aligned without the occurrence of slippage. There are no negative effects on the wetting capacity with respect to epoxy resins or the flow of resin. During the **curing** process, the EP binder melts and, above its melting temperature, cross-links homogeneously with the matrix (melting range 103 - 115 °C). Should the compound cure below the binder's melting temperature, the binder will not cross-link. On the other hand, this does not suppress the adhesion between the fibres and the matrix.

Salient features

Under no circumstances whatsoever may carbon filament fabrics be folded or cut with sharp-edged tools such as metal disc rollers. Damage to the filaments invariably gives rise to "pre-programmed" breaking points. So folded carbon fabrics should be avoided when the initial materials are purchased. Instead, preference should be given to carbon fabrics delivered in the rolled state.

Storage

DIN 65 147 stipulates that carbon filament fabrics approved for aerospace applications must be stored in dry, temperature-controlled rooms in such a manner that they lie flat, are screened from the light, and are not subjected to any external pressure loads.

Sicherheitshinweise

Kohlenstoffasern, Faserbruchstücke und Faserabrieb haben einige besondere Eigenschaften:

Aufgrund der **elektrischen Leitfähigkeit** ist die Einwirkung auf elektrische Anlagen zu vermeiden. Bei Einwirkung auf die Haut kann eine Reizung erfolgen. Aus Vorsorge ist geeignete Schutzkleidung zu tragen. Abrieb in Form atembarer Stäube hat keine faserförmige Struktur und ist daher als **Inertstaub** einzustufen.

Notes on safety

Carbon fibres, fibre fragments, and fibre dust exhibit a number of particular properties listed in the following. Owing to their **conductivity**, they must be prevented from coming into contact with electrical equipment. Contact with the skin can cause irritation. One prophylactic measure is suitable protective clothing. Respirable fibre dust does not exhibit a fibrous structure and is therefore categorised as **inert**.

Vergleichswerte

Reference values

Typische Kennwerte <i>Typical characteristics</i>	Einheit <i>Unit</i>	Kiefernholz <i>Pine wood</i>	Dural-Alu <i>Duralumin</i>	Titan <i>Titanium</i>	Stahl <i>Steel</i>	GFK ¹⁾ <i>GRP ¹⁾</i>	CFK ¹⁾ <i>CRP ¹⁾</i>
Dichte <i>Density</i>	g/cm ³ /20 °C <i>g/cm³ at 20 °C</i>	0,5	2,8	4,5	7,8	2,1	1,5
Zugfestigkeit <i>Tensile strength</i>	MPa	100	350	800	1100	720	900
E-Modul <i>Modulus of elasticity</i>	MPa	12 000	75 000	110 000	210 000	30 000	88 000
Spez. Festigkeit Reißlänge <i>Spec. strength (breaking length)</i>	km	20	13	18	14	34	60
Spez. E-Modul <i>Spec. modulus of elasticity</i>	km	2400	2700	2400	2700	1400	5900

¹⁾ Quasiisotrope Lamine, nahezu gleiche Festigkeit in jede Richtung

¹⁾ Quasi-isotropic laminates, almost equal strengths in every direction.

Eigenschaften von Mischfasergeweben

Properties of hybrid fabrics

Hybridwerkstoffe <i>Hybrid materials</i>	gegenüber CFK allein <i>Compared with pure CRP</i>	gegenüber SFK allein <i>Compared with pure SRP</i>	gegenüber GFK allein <i>Compared with pure GRP</i>
CFK/SFK <i>CRP/SRP</i>	verbesserte Schlagzähigkeit <i>enhanced impact strength</i>	höhere Druckfestigkeit <i>higher compressive strength</i>	—
CFK/GFK <i>CRP/GRP</i>	verbesserte Schlagzähigkeit <i>enhanced impact strength</i>	—	geringeres Gewicht, höhere Steifigkeit <i>lower weight, higher rigidity</i>
SFK/GFK <i>SRP/GRP</i>	—	höhere Druckfestigkeit <i>higher compressive strength</i>	geringeres Gewicht, höhere Steifigkeit <i>lower weight, higher rigidity</i>

CFK = Kohlenfaserkunststoff, GFK = Glasfaserkunststoff, SFK = Aramidfaserkunststoff

CRP = carbon-fibre-reinforced plastic; GRP = glass-fibre-reinforced plastic; SRP = aramid-fibre-reinforced plastic

Ökologie

Ecological data

Werkstoffe <i>Material</i>	Dichte <i>Density</i>	Öltonnenäquivalent für Rohmaterial <i>Tonnes of oil equivalent for raw material</i>	Öltonnenäquivalent für Umwandlung <i>Tonnes of oil equivalent for conversion</i>	Öltonnenäquivalent für den Werkstoff <i>Tonnes of oil equivalent for the engineering material</i>	Energiepreis KJ pro cm ³ Werkstoff <i>Energy price, kJ per cm³ of material</i>
Aluminium <i>Aluminium</i>	2.7	—	5.6	5.6	665
Stahl <i>Steel</i>	7.8	—	1.0	1.0	385
Kunstharz/Polymere <i>Synthetic resin/polymers</i>	1.1	1.3	1.88	3.18	150
Glasfaser <i>Glass fibre</i>	2.6	—	0.45	0.45	50
Kohlefaser (PAN) <i>Carbon fibre (PAN)</i>	1.8	3.0	3.6	6.6	525
GFK (60 Vol.-%Faser) <i>GRP (60% vol of fibres)</i>	2.0	0.52	1.02	1.54	134
CFK (60 Vol.-%Faser) <i>CRP (60% vol of fibres)</i>	1.6	2.32	2.55	4.87	365



Manche Höchstleistungen werden erst durch den Einsatz von Kohlefasern möglich.

Some examples of maximum performance are only possible with the use of carbon fibres.



Die Kettfäden passieren an der Webmaschine den Streichbaum, die Lamellen und das Webgeschirr.

On the power loom the warps pass the back beam, the droppers, and the loom harness.



Blick in eine moderne Weberei. Die Fertigung läuft in drei Schichten, also rund um die Uhr.

An insight into a modern weaving mill. Production runs in three shifts, i.e. twenty-four hours a day.



Durch Verkreuzung der Kettfäden mit dem Schußfaden entsteht das Gewebe.

The warps interlace with the weft to produce the fabric.



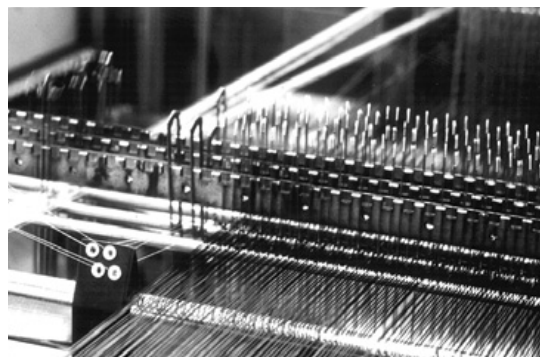
Zuführung einer Aramid-Kette in die Webmaschine.

Aramid warp being fed into the power loom.



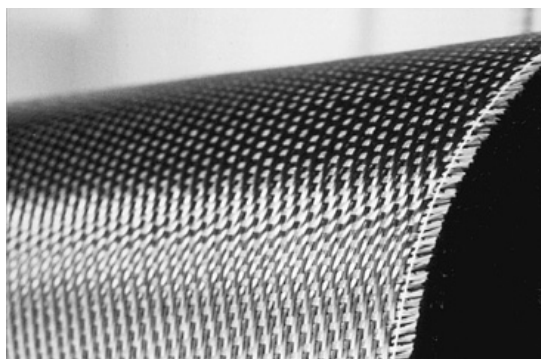
Noch an der Webmaschine wird ein Teil der Webkante abgeschnitten.

Part of the selvage is cut off when still on the power loom.



Führung der Kettfäden in die Webmaschine.

Warps being fed into the power loom.



Das fertige Gewebe, im Bild ein Kohlenstoffgewebe in Atlasbindung.

The ready-made fabric, shown here is a satin-weave carbon fabric.



Der Weber kontrolliert die Fertigung. Die Herstellung von Verstärkungsgeweben für die Luft- und Raumfahrt erfordert hochqualifizierte Mitarbeiter.

The weaver inspects the production. The manufacture of reinforcing fabrics for aerospace applications requires highly skilled personnel.



In der Endkontrolle werden die Gewebe kontrolliert, „geputzt“ und gemessen. Abschluß ist das Fehlerprotokoll. Danach erfolgt die Freigabe.

The final inspection first examines, „deburrs“, and measures the fabrics, draws up a defects report, and finally passes its approval.



Ein Filamentbruchstück wird mit der Pinzette entfernt. Die Endkontrolle erfordert viel Feingefühl und Erfahrung. Keine Fehlstelle darf übersehen werden.

A filament fragment being removed with a pair of tweezers. The final inspection demands great sensitivity and experience. The inspector must detect all voids.



Auch das gehört zu einer modernen Weberei: das Kunststofflabor. Hier werden im Rahmen der Qualitätssicherung Prüflamine hergestellt und die Festigkeit gemessen.

This too has its place in a modern weaving mill: the plastics testing laboratory. As part of our quality assurance system, the laboratory creates test laminates and measures their strengths.



Alle Ergebnisse werden genauestens dokumentiert. Das Labor erteilt als letzte Prüfungsinstanz die Freigabe zur Auslieferung der Verstärkungsgewebe.

All the results are meticulously documented. The laboratory is the final inspection authority to issue its approval before the reinforcing fabrics can be delivered.

Die Angaben zu den Aramid- und Kohlenstoff-Filamentgeweben entsprechen den **Mindestwerten** nach Werkstoff-Leistungsblatt. In den Werkstoff-Leistungsblättern (WLB) ist jeder Werkstoff genauestens spezifiziert.

Die Angaben entbinden den Verarbeiter nicht von eigenen Prüfungen. In Abhängigkeit von Matrix, Fasergehalt und Faserorientierung sind erhebliche Abweichungen nach oben oder unten möglich.

Die Gewebefertigung erfolgt nach DIN 65 147 Teil 1 und 2 (Gewebe aus Kohlenstoffilamentgarn), DIN 65 427 Teil 1 und 2 (Gewebe aus Aramid-Hochmodulfilamentgarn) und den QSF-B-Richtlinien.

Verwendet werden:

Kohlenstoffilamentgarne nach DIN 65 184, Faserstoffklasse F
Glasfilamentgewebe nach DIN 60 850;

Hochfeste Aramidfilamentgarne nach DIN 65 356 Teil 1, Faserstoffklasse A und B.

*The specifications given here for both the aramid and the carbon filament fabrics correspond to the **minimum values** in accordance with the WLB (material specifications sheet for aerospace applications).*

The WLB lists the exact specifications for each engineering material. These specifications do not exempt processors from conducting their own tests. The actual values may vary greatly either way, depending on the matrix, fibre content, and fibre orientation.

Fabrics are manufactured in accordance with DIN 65 147 T1 and T2 (fabrics of carbon filament yarn), DIN 65 427 T1 and T2 (fabrics of high modulus aramid filament yarn), and the QSF-B guidelines.

The materials used are:

*Carbon filament yarns as per DIN 65 184, fibre class F;
glass filament fabrics as per DIN 60850;*

*High-tensile aramid filament yarns as per DIN 65 356 T1,
fibre class A and B.*





Fehlerart <i>Type of defect</i>	Beschreibung <i>Description</i>	Hauptfehler <i>Major defect</i>	Nebenfehler <i>Minor defect</i>
Schräg- oder Bogenschüsse <i>Bias or bowed wefts</i>	Abweichung mehr als 50 mm von der Waagerechten bei 1000 mm Gewebebreite <i>Deviation greater than 50 mm from the horizontal over 1000 mm of fabric width</i>		X
Aufgewölbttes, welliges Gewebe <i>Bulging, wavy fabric</i>	Deutlich sichtbar, nicht planliegendes Gewebe <i>Clearly visible, fabric not lying flat</i>	X	
Löcher, Schnitte, Risse <i>Holes, cuts, tears</i>	Drei oder mehr gebrochene Garne an nebeneinanderliegende Stellen <i>Three or more broken yarns at adjacent points</i>	X	
Schmutzstellen und Flecken <i>Spots or stains</i>	Breite und Länge kleiner 50 mm Breite und Länge größer 50 mm <i>Width and length less than 50 mm Width and length greater than 50 mm</i>	X X	X X
Nester (nicht abgerundete Stellen) <i>Skips (non-interlaced points)</i>	Breite und Länge kleiner 50 mm Breite und Länge größer 50 mm <i>Width and length less than 50 mm Width and length greater than 50 mm</i>	X X	X X
Gebrochene oder fehlende Kett- und Schlußfäden <i>Broken or missing warps and wefts</i>	Drei oder mehr angrenzende Fäden unabhängig von der Länge oder zwei angrenzende Fäden über mehr als 50mm Zwei angrenzende Fäden über weniger als 50 mm <i>Three or more adjacent threads independently of the length, or two adjacent threads over more than 50 mm wo adjacent threads over less than 50 mm</i>	X X	X X
Zu dichte oder lichte Stellen <i>Too tight or loose points</i>	Über 13 mm breit <i>Wider than 13 mm</i>		X
Kantenfehler <i>Flawed selvedge</i>	Stark eingedrückte oder überlappte Webkanten <i>Strongly indented or overlapped selvedges</i>		X
Falten <i>Creasing</i>	Kräuselung oder Falten <i>Curling or folding</i>	X	
Breitenabweichung <i>Deviations in width</i>	Überschreitung der zulässigen Abweichung <i>The max permitted deviation exceeded</i>		X

Fehlerklassifizierung nach DIN 65 247 Teil 2

Fehler im Gewebe sind in der Regel an der Kante mit roten Kennfäden markiert.

Die Gewebe dürfen keine über nachfolgende Tabellen hinausgehende Fehler aufweisen. Bei der Fehlerklassifizierung darf die Gesamtpunktzahl 20 je 100 m² betragen, wobei max. 3 Hauptfehler auftreten dürfen. Hauptfehler zählen 2 Punkte, Nebenfehler 1 Punkt. Je m² werden maximal 2 Fehlerpunkte gezählt, auch wenn mehrere Fehler gleichzeitig auftreten.

Classification of defects as per DIN 65 247 T2.

The positions of defects in the fabric are generally marked at the edge with red marking threads.

The fabrics must not exhibit any defects other than those listed in the above table. For the classification of defects the total defect points must not exceed twenty per 100 m², whereby the max number of major defects is three. Major defects count two points, minor defects one. Max two defect points are counted for every square metre, even when more defects occur in the same area.

GLASGEWEBE

HARZVERBRAUCH, LAMINATDICKEN UND LAMINAT-GEWICHT

GLASS FABRICS

RESIN CONSUMPTION, LAMINATE THICKNESS AND LAMINATE WEIGHT



Dr.-Ing. Herbert Funke
Laboratorium für Konstruktionslehre
Leiter Prof. Dr.-Ing. W. Jorden
Universität-GH Paderborn

Vorgaben:		Specifications:	
ρ_{Faser}	= 2,6 g/cm ³ (spez. Fasergewicht)	ρ_{fibre}	= 2,6 g/cm ³ (specific gravity of fibres)
ρ_{Harz}	= 1,1 g/cm ³ (spez. Gewicht der Harz/Härter-Mischung)	ρ_{resin}	= 1,1 g/cm ³ (specific gravity of the resin and hardener mixture)

Die Tabellen enthalten die theoretisch ermittelten Werte für Harzverbrauch, Laminatdicke und Laminatgewicht bei der Verarbeitung der von R&G lieferbaren Glasgewebe.

Bei **ungepreßten Handlaminaten** kann ein **Faservolumenanteil von 35 bis 40 %** erreicht werden. Je nach Fadenzahl und Garnfeinheit des Gewebes und Sorgfalt bei der Verarbeitung können diese Werte aber deutlich variieren. Für Laminatberechnungen liegen von der IDAFLIEG Werkstoffkennwerte vor, die sich bei Geweben mit bidirektional gleicher Fasermenge auf einen Faservolumenanteil von 35 % beziehen.

The tables present theoretical values for the resin consumption, laminate thickness, and laminate weight for the glass fabrics available from R&G.

Uncompressed hand lay-up laminates can exhibit a **fibre volume fraction of 35–40 %**, yet this can vary widely depending on the number of threads, the fabric's yarn number, and the care taken in processing.

Laminate properties can be calculated on the basis of material characteristics obtained from IDAFLIEG. These characteristics apply to fabrics with an equal quantity of fibres along both axes and a fibre volume fraction of 35 %.

Glasgewebe 25 g/m² Bestell-Nr. 190 100-X
Glass fabric 25 g/m² Order no. 190 100-X

Glasgewebe 49 g/m² Bestell-Nr. 190 105-X
Glass fabric 49 g/m² Order no. 190 105-X

Faservolumenanteil Fiber volume fraction	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
Harzverbrauch Resin consumpt.	g/m ² 25	20	16	13	11	9	7	48	39	31	25	21	17	14
Laminatdicke Lam. thickn.	mm 0,032	0,027	0,024	0,021	0,019	0,017	0,016	0,063	0,054	0,047	0,042	0,038	0,034	0,031
Laminatgewicht Lam. weight	g/m ² 50	45	41	38	36	34	32	97	88	80	74	70	66	63

Glasgewebe 80 g/m² Bestell-Nr. 190 110-X
Glass fabric 80 g/m² Order no. 190 110-X

Glasgewebe 105 g/m² Bestell-Nr. 190 113-X
Glass fabric 105 g/m² Order no. 190 113-X

Faservolumenanteil Fiber volume fraction	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
Harzverbrauch Resin consumpt.	g/m ² 79	63	51	41	34	28	23	104	83	67	54	44	36	30
Laminatdicke Lam. thickn.	mm 0,103	0,088	0,077	0,068	0,062	0,056	0,051	0,135	0,115	0,101	0,090	0,081	0,073	0,067
Laminatgewicht Lam. weight	g/m ² 159	143	131	121	114	108	103	209	188	172	159	149	141	135



Glasgewebe 110 g/m² Bestell-Nr. 190 114-X
Glass fabric 110 g/m² Order no. 190 114-X

Glasgewebe 163 g/m² Bestell-Nr. 190 115-X / 120-X
Glass fabric 163 g/m² Order no. 190 115-X / 120-X

Faservolumenanteil <i>Fiber volume fraction</i>	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
Harzverbrauch g/m ² <i>Resin consumpt.</i>	112	89	72	59	48	39	32	161	128	103	84	69	56	46
Laminatdicke mm <i>Lam. thickn.</i>	0,129	0,111	0,097	0,087	0,078	0,070	0,064	0,209	0,179	0,157	0,139	0,125	0,114	0,104
Laminatgewicht g/m ² <i>Lam. weight</i>	217	194	177	164	153	145	137	324	291	266	247	232	219	209

Glasgewebe 280 g/m² Bestell-Nr. 190 137-X / 138-X
Glass fabric 280 g/m² Order no. 190 137-X / 138-X

Glasgewebe 296 g/m² Bestell-Nr. 190 140-X
Glass fabric 296 g/m² Order no. 190 140-X

Faservolumenanteil <i>Fiber volume fraction</i>	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
Harzverbrauch g/m ² <i>Resin consumpt.</i>	276	220	178	145	118	97	79	292	233	188	153	125	102	83
Laminatdicke mm <i>Lam. thickn.</i>	0,359	0,308	0,269	0,239	0,215	0,196	0,179	0,379	0,325	0,285	0,253	0,228	0,207	0,190
Laminatgewicht g/m ² <i>Lam. weight</i>	556	500	458	425	398	377	359	588	529	484	449	421	398	379

Glasgewebe 390 g/m² Bestell-Nr. 190 148-X
Glass fabric 390 g/m² Order no. 190 148-X

Glasrovinggewebe 580 g/m² Bestell-Nr. 190 155-X
Glass roving fabric 580 g/m² Order no. 190 155-X

Faservolumenanteil <i>Fiber volume fraction</i>	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
Harzverbrauch g/m ² <i>Resin consumpt.</i>	385	306	248	202	165	135	110	573	456	368	300	245	201	164
Laminatdicke mm <i>Lam. thickn.</i>	0,500	0,429	0,375	0,333	0,300	0,273	0,250	0,744	0,637	0,558	0,496	0,446	0,406	0,372
Laminatgewicht g/m ² <i>Lam. weight</i>	775	696	638	592	555	525	500	1153	1036	948	880	825	781	744

GLASGELEGE

HARZVERBRAUCH, LAMINATDICKEN UND LAMINAT-GEWICHT

Glasgewebe 220 g/m² Bestell-Nr. 190 157-X
Glass fabric 220 g/m² Order no. 190 157-X

Faservolumenanteil <i>Fiber volume fraction</i>	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %		30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
Harzverbrauch <i>Resin consumpt.</i> g/m ²	217	173	140	114	93	79	62		306	244	197	160	131	107	87
Laminatdicke <i>Lam. thickn.</i> mm	0,282	0,242	0,212	0,188	0,169	0,157	0,141		0,397	0,341	0,298	0,265	0,238	0,217	0,199
Laminatgewicht <i>Lam. weight</i> g/m ²	437	393	360	334	313	299	282		616	554	507	470	441	417	397
Berechnungsdicke <i>Calcul. thickness</i> mm	0,240	0,205	0,180	0,160	0,144	0,133	0,120								

GLASS NON-CRIMP FABRICS

RESIN CONSUMPTION, LAMINATE THICKNESS AND LAMINATE WEIGHT

Glasgelege 310 g/m² biaxial Bestell-Nr. 190 159-X
Glass non-crimp fabric 310 g/m² biaxial Order no. 190 159-X

Bei der Dimensionierung von UD-verstärkten Laminaten werden nur die Fasern in UD-Richtung berücksichtigt. Dieses kommt in der Berechnungsdicke zum Ausdruck, die um den Schußfaseranteil geringer ist als die tatsächliche Laminatstärke.

Only the fibres along the unidirectional axis were considered in the dimensioning of unidirectionally reinforced laminates. This finds expression in the calculated thickness, which is the proportion of wefts less than the actual laminate thickness.

Glasgelege 430g/m² biaxial Bestell-Nr. 190 158-X
Glass non-crimp fabric 430 g/m² biaxial Order no. 190 158-X

Faservolumenanteil <i>Fiber volume fraction</i>	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
Harzverbrauch <i>Resin consumpt.</i> g/m ²	403	321	259	211	173	141	115
Laminatdicke <i>Lam. thickn.</i> mm	0,523	0,448	0,392	0,349	0,314	0,285	0,262
Laminatgewicht <i>Lam. weight</i> g/m ²	811	729	667	619	581	549	523



Foto: Bakelite

Flugzeug-Verkleidungssegmente aus einem GFK-Waben-Sandwich

GRP honeycomb sandwiches as aircraft cowling segments

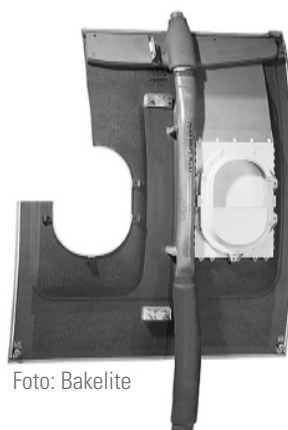


Foto: Bakelite

GLASMATTEN

HARZVERBRAUCH, LAMINATDICKEN UND LAMINAT-GEWICHT

GLASS MATS

RESIN CONSUMPTION, LAMINATE THICKNESS AND LAMINATE WEIGHT

Glasmatte 225 g/m² Bestell-Nr. 190 165-X
Glass mat 225 g/m² Order no. 190 165-X

Glasmatte 450 g/m² Bestell-Nr. 190 170-X
Glass mat 450 g/m² Order no. 190 170-X

Faservolumenanteil <i>Fiber volume fraction</i>	20 %	25 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	20 %	25 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %
Harzverbrauch <i>Resin consumpt.</i>	g/m ² 381	286	222	177	143	116	95	762	571	444	354	286	233	190
Laminatdicke <i>Lam. thickn.</i>	mm 0,433	0,346	0,288	0,247	0,216	0,192	0,173	0,865	0,692	0,577	0,495	0,433	0,385	0,346
Laminatgewicht <i>Lam. weight</i>	g/m ² 606	511	447	402	368	341	320	1212	1021	894	804	736	683	640



Künstlicher Felsen für eine Saunalandschaft aus Glasmatte 450 + 225 g/m² sowie R&G Polyesterharz U 569

Artificial rock for a sauna of a 450 + 225 g/m² glass mat and R&G polyester resin U 569



Innenseite des GFK-UP-Felzens

The inside of the GRP UP rock



GFK-Teich

GRP pond

ARAMIDGEWEBE

HARZVERBRAUCH, LAMINATDICKEN UND LAMINAT-GEWICHT

ARAMID FABRICS

RESIN CONSUMPTION, LAMINATE THICKNESS AND LAMINATE WEIGHT



Dr.-Ing. Herbert Funke
 Laboratorium für Konstruktionslehre
 Leiter/Supervisor: Prof. Dr.-Ing. W. Jorden
 Universität-GH Paderborn

Vorgaben:

ρ_{Faser} = 1,45 g/cm³ (spez. Fasergewicht)
 ρ_{Harz} = 1,1 g/cm³ (spez. Gewicht der Harz/Härter-Mischung)

Specifications:

ρ_{fibre} = 1,45 g/cm³ (specific gravity of the fibres)
 ρ_{resin} = 1,1 g/cm³ (specific gravity of the resin/hardener mixture)

Die Tabellen enthalten die theoretisch ermittelten Werte für Harzverbrauch, Laminatdicke und Laminatgewicht bei der Verarbeitung der von R&G lieferbaren Hochmodul-Aramidgewebe. Bei **ungepreßten Handlaminaten** kann ein **Faseranteil von 35 bis 40 %** erreicht werden. Je nach Fadenzahl und Garnfeinheit des Gewebes und Sorgfalt bei der Verarbeitung können diese Werte aber deutlich variieren.

The tables present theoretical values for the resin consumption, laminate thickness, and laminate weight for the high modulus aramid fabrics available from R&G.

Uncompressed hand lay-up laminates can exhibit a **fibre volume fraction of 35–40 %**, yet this can vary widely depending on the number of threads, the fabric's yarn number, and the care taken in processing.

Aramidgewebe 27 g/m² Bestell-Nr. 190 198-X
Aramid fabric 27 g/m² Order no. 190 198-X

Aramidgewebe 36 g/m² Bestell-Nr. 190 199-X
Aramid fabric 36 g/m² Order no. 190 199-X

	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
Faservolumenanteil <i>Fibre volume fraction</i>	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
Harzverbrauch g/m ² <i>Resin consumpt.</i>	49	39	32	26	21	17	14	64	51	41	33	27	22	18
Laminatdicke mm <i>Lam. thickn.</i>	0,062	0,053	0,046	0,041	0,037	0,033	0,030	0,083	0,071	0,062	0,055	0,050	0,045	0,041
Laminatgewicht g/m ² <i>Lam. weight</i>	76	66	58	52	48	44	40	100	87	77	69	63	58	54

Aramidgewebe 61 g/m² Bestell-Nr. 190 200-X
Aramid fabric 61 g/m² Order no. 190 200-X

Aramidgewebe 110 g/m² Bestell-Nr. 190 203-X
Aramid fabric 110 g/m² Order no. 190 203-X

	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
Faservolumenanteil <i>Fibre volume fraction</i>	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
Harzverbrauch g/m ² <i>Resin consumpt.</i>	108	86	69	57	46	38	31	195	155	125	102	83	68	56
Laminatdicke mm <i>Lam. thickn.</i>	0,140	0,120	0,105	0,093	0,084	0,076	0,070	0,253	0,217	0,190	0,169	0,152	0,138	0,126
Laminatgewicht g/m ² <i>Lam. weight</i>	169	147	130	118	107	99	92	305	265	235	212	193	178	166

Aramidgewebe 158 g/m² Bestell-Nr. 190 204-X
Aramid fabric 158 g/m² Order no. 190 204-X

Aramidgewebe 170 g/m² Bestell-Nr. 190 205-X
Aramid fabric 170 g/m² Order no. 190 205-X

Faservolumenanteil <i>Fibre volume fraction</i>	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
Harzverbrauch g/m ² <i>Resin consumpt.</i>	288	229	185	151	123	101	82	301	240	193	158	129	106	86
Laminatdicke mm <i>Lam. thickn.</i>	0,365	0,313	0,273	0,243	0,218	0,199	0,182	0,391	0,335	0,293	0,261	0,234	0,213	0,195
Laminatgewicht g/m ² <i>Lam. weight</i>	442	384	339	305	278	255	237	471	410	363	328	299	276	256

KOHLEGEWEBE

HARZVERBRAUCH, LAMINATDICKEN UND LAMINAT-GEWICHT

CARBON FABRICS

RESIN CONSUMPTION, LAMINATE THICKNESS AND LAMINATE WEIGHT



Dr.-Ing. Herbert Funke
 Laboratorium für Konstruktionslehre
 Leiter/Supervisor: Prof. Dr.-Ing. W. Jorden

Universität-GH Paderborn

Vorgaben:

ρ_{Faser} = 1,78 g/cm³ (spez. Fasergewicht)
 ρ_{Harz} = 1,1 g/cm³ (spez. Gewicht der Harz/Härter- Mischung)

Specifications:

ρ_{fibre} = 1,78 g/cm³ (specific gravity of the fibres)
 ρ_{resin} = 1,1 g/cm³ (specific gravity of the resin/hardener mixture)

Die Tabellen enthalten die theoretisch ermittelten Werte für Harzverbrauch, Laminatdicke und Laminatgewicht bei der Verarbeitung der von R&G lieferbaren Kohlegewebe. Bei **ungepreßten Handlaminaten** kann ein **Faseranteil von 35 bis 40 %** erreicht werden. Je nach Fadenzahl und Garnfeinheit des Gewebes und Sorgfalt bei der Verarbeitung können diese Werte aber deutlich variieren. Für Laminatberechnungen liegen von der IDAFLIEG Werkstoffkennwerte vor, die sich bei Geweben mit bidirektional gleicher Fasermenge auf einen Faservolumenanteil von 35 % beziehen.

The tables present theoretical values for the resin consumption, laminate thickness, and laminate weight for the carbon fabrics available from R&G. **Uncompressed hand lay-up laminates** can exhibit a **fibre volume fraction of 35–40 %**, yet this can vary widely depending on the number of threads, the fabric's yarn number, and the care taken in processing. Laminate properties can be calculated on the basis of material characteristics obtained from IDAFLIEG. These characteristics apply to fabrics with an equal quantity of fibres along both axes and a fibre volume fraction of 35 %.

Kohlegewebe 65 g/m² Bestell-Nr. 190 220-X
Carbon fabric 65 g/m² Order no. 190 220-X

Kohlegewebe 93 g/m² Bestell-Nr. 190 223-X
Carbon fabric 93 g/m² Order no. 190 223-X

Faservolumenanteil <i>Fibre volume fraction</i>	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
Harzverbrauch g/m ² <i>Resin consumpt.</i>	98	78	63	51	42	34	28	134	107	86	70	57	47	38
Laminatdicke mm <i>Lam. thickn.</i>	0,127	0,109	0,096	0,085	0,076	0,069	0,064	0,174	0,149	0,131	0,116	0,104	0,095	0,087
Laminatgewicht g/m ² <i>Lam. weight</i>	166	146	131	119	110	102	96	227	200	179	163	150	140	131

ARAMID- UND KOHLEGEWEBE

ARAMID AND CARBON FABRICS

Kohlegewebe 160 g/m² Bestell-Nr. 190 225-X
Carbon fabric 160 g/m² Order no. 190 225-X

Kohlegewebe 200 g/m² Bestell-Nr. 190 229-X
Carbon fabric 200 g/m² Order no. 190 229X

Faservolumenanteil Fibre volume fraction	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	
Harzverbrauch Resin consumpt.	g/m ²	231	184	148	121	99	81	66	294	234	189	154	126	103	84
Laminatdicke Lam. thickn.	mm	0,300	0,257	0,225	0,200	0,180	0,163	0,150	0,382	0,327	0,287	0,255	0,229	0,208	0,191
Laminatgewicht Lam. weight	g/m ²	391	344	308	281	259	241	226	498	438	393	358	330	307	288

Kohlegewebe 204 g/m² Bestell-Nr. 190 230-X
Carbon fabric 204 g/m² Order no. 190 230-X

Kohlegewebe 210 g/m² Bestell-Nr. 190 231-X
Carbon fabric 210 g/m² Order no. 190 231-X

Faservolumenanteil Fibre volume fraction	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	
Harzverbrauch Resin consumpt.	g/m ²	294	234	189	154	126	103	84	294	234	189	154	126	103	84
Laminatdicke Lam. thickn.	mm	0,382	0,327	0,287	0,255	0,229	0,208	0,191	0,382	0,327	0,287	0,255	0,229	0,208	0,191
Laminatgewicht Lam. weight	g/m ²	498	438	393	358	330	307	288	498	438	393	358	330	307	288

Kohlegewebe 245 g/m² Bestell-Nr. 190 235-X
Carbon fabric 245 g/m² Order no. 190 235-X

Kohlegewebe 400 g/m² Bestell-Nr. 190 239-X
Carbon fabric 400 g/m² Order no. 190 239-X

Faservolumenanteil Fibre volume fraction	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	
Harzverbrauch Resin consumpt.	g/m ²	353	281	227	185	151	124	101	608	484	391	319	261	213	174
Laminatdicke Lam. thickn.	mm	0,459	0,393	0,344	0,306	0,275	0,250	0,229	0,745	0,639	0,559	0,497	0,448	0,407	0,373
Laminatgewicht Lam. weight	g/m ²	598	526	472	430	396	369	346	1008	884	791	719	661	613	574

Kohlegewebe 140 g/m² unidirektional Bestell-Nr. 190 250-X
Carbon fabric 140 g/m² unidirectional Order no. 190 250-X

Faservolumenanteil Fibre volume fraction	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	
Harzverbrauch Resin consumpt.	g/m ²	193	154	124	101	83	70	55
Laminatdicke Lam. thickn.	mm	0,251	0,215	0,188	0,167	0,150	0,139	0,125
Laminatgewicht Lam. weight	g/m ²	333	294	264	241	223	210	195
Berechnungsdicke Calcul. thickn.	mm	0,233	0,200	0,175	0,156	0,140	0,130	0,117



KOHLEGELEGE

HARZVERBRAUCH, LAMINATDICKEN UND LAMINAT-GEWICHT

CARBON NON-CRIMP FABRICS

RESIN CONSUMPTION, LAMINATE THICKNESS AND LAMINATE WEIGHT

Kohle/Glas-Gewebe		Carbon-glass fabric	
Vorgaben:			
ρFaser = 1,78 g/cm ³	(spez. Gewicht der Kohlefaser)	Specifications:	
ρFaser = 2,60 g/cm ³	(spez. Gewicht der Glasfaser)	ρ _{fib} = 1,78 g/cm ³	(specific gravity of the carbon fibres)
ρHarz = 1,10 g/cm ³	(spez. Gewicht der Harz/Härter-Mischung)	ρ _{fib} = 2,60 g/cm ³	(specific gravity of the glass fibres)
		ρ _{resin} = 1,10 g/cm ³	(specific gravity of the resin/hardener)

Kohlegelege 80 g/m² unidirektional Bestell-Nr. 190 247-X
Carbon non-crimp fabric 80 g/m² UD Order no. 190 247-X

Kohlegelege 100 g/m² unidirektional Bestell-Nr. 190 251-X
Carbon non-crimp fabric 100 g/m² UD Order no. 190 251-X

Faservolumenanteil Fibre volume fraction	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
Harzverbrauch Resin consumpt. g/m ²	115	92	74	70	49	40	33	152	121	98	80	65	53	43
Laminatdicke Lam. thickn. mm	0,150	0,128	0,112	0,109	0,090	0,082	0,075	0,187	0,161	0,141	0,125	0,112	0,102	0,094
Laminatgewicht Lam. weight g/m ²	195	172	154	150	129	120	113	252	221	198	180	165	153	143

Kohlegelege 100 g/m² biaxial Bestell-Nr. 190 252-X
Carbon non-crimp fabric 100 g/m² biaxial Order no. 190 252-X

Kohlegelege 100 g/m² HM Bestell-Nr. 190 248-X
Carbon non-crimp fabric 100 g/m² HM Order no. 190 248-X

Faservolumenanteil Fibre volume fraction	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
Harzverbrauch Resin consumpt. g/m ²	152	121	98	80	65	53	43	152	121	98	80	65	53	43
Laminatdicke Lam. thickn. mm	0,187	0,161	0,141	0,125	0,112	0,102	0,094	0,187	0,161	0,141	0,125	0,112	0,102	0,094
Laminatgewicht Lam. weight g/m ²	252	221	198	180	165	153	143	252	221	198	180	165	153	143

Kohlegelege 125 g/m² unidirektional Bestell-Nr. 190 249-X
Carbon non-crimp fabric 125 g/m² UD Order no. 190 249-X

Kohlegelege 160 g/m² biaxial Bestell-Nr. 190 253-X
Carbon non-crimp fabric 160 g/m² biaxial Order no. 190 253-X

Faservolumenanteil Fibre volume fraction	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
Harzverbrauch Resin consumpt. g/m ²	180	143	116	94	77	63	51	231	184	148	121	99	81	66
Laminatdicke Laminate thickn. mm	0,234	0,201	0,176	0,156	0,140	0,128	0,117	0,300	0,257	0,225	0,200	0,180	0,163	0,150
Laminatgewicht Laminate weight g/m ²	305	268	241	219	202	188	176	391	344	308	281	259	241	226

Kohlegelege 250 g/m² biaxial Bestell-Nr. 190 256-X
Carbon non-crimp fabric 250 g/m² biaxial Order no. 190 256-X

Kohlegelege 250 g/m² UHM Bestell-Nr. 190 254-X
Carbon non-crimp fabric 250 g/m² UHM Order no. 190 254-X

Faservolumenanteil <i>Fibre volume</i>	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
Harzverbrauch g/m ² <i>Resin consumpt.</i>	377	300	242	198	162	132	08	316,4	251,9	203,4	165,7	135,6	111,0	90,4
Laminatdicke mm <i>Laminate thickn.</i>	0,468	0,402	0,352	0,312	0,280	0,256	0,234	0,39	0,34	0,29	0,26	0,24	0,21	0,20
Laminatgewicht g/m ² <i>Laminate weight</i>	625	550	490	446	410	380	356	566,4	501,9	453,4	415,7	385,6	361,0	340,4

Kohlegelege 411 g/m² biaxial Bestell-Nr. 190 260-X
Carbon non-crimp fabric 411g/m² biaxial Order no. 190 260-X

Faservolumenanteil <i>Fibre volume fraction</i>	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
Harzverbrauch g/m ² <i>Resin consumpt.</i>	606	482	398	317	260	212	173
Laminatdicke mm <i>Laminate thickn.</i>	0,787	0,674	0,590	0,524	0,472	0,429	0,393
Laminatgewicht g/m ² <i>Laminate weight</i>	1026	902	809	737	680	632	593



HYBRIDGEWEBE

HARZVERBRAUCH, LAMINATDICKEN UND LAMINAT-GEWICHT

HYBRID FABRICS

RESIN CONSUMPTION, LAMINATE THICKNESS AND LAMINATE WEIGHT



Dr.-Ing. Herbert Funke
Laboratorium für Konstruktionslehre
Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Jorden
Universität-GH Paderborn

Die Tabellen enthalten die theoretisch ermittelten Werte für Harzverbrauch, Laminatdicke und Laminatgewicht bei der Verarbeitung der von R&G lieferbaren Hybridgewebe. Bei **ungepreßten Handlaminaten** kann ein **Faseranteil von 35 bis 40 %** erreicht werden. Je nach Fadenzahl und Garnfeinheit des Gewebes und Sorgfalt bei der Verarbeitung können diese Werte aber deutlich variieren.

The tables present theoretical values for the resin consumption, laminate thickness, and laminate weight for the hybrid fabrics available from R&G. **Uncompressed hand lay-up laminates** can exhibit a **fiber volume fraction of 35–40 %**, yet this can vary widely depending on the number of threads, the fabric's yarn number, and the care taken in processing.

Kohle/Aramid-Gewebe				Carbon/Aramid fabric			
Vorgaben:				Specifications:			
ρFaser	= 1,78 g/cm ³	(spez. Gewicht der Kohlefaser)		ρfibre	= 1,78 g/cm ³	(specific gravity of the carbon fibres)	
ρFaser	= 1,45 g/cm ³	(spez. Gewicht der Aramidfaser)		ρfibre	= 1,45 g/cm ³	(specific gravity of the aramid fibres)	
ρHarz	= 1,1 g/cm ³	(spez. Gewicht der Harz/Härter-Mischung)		ρresin	= 1,1 g/cm ³	(specific gravity of the resin/hardener mixture)	

Kohle-/Aramidgewebe 68 g/m² Bestell-Nr. 190 208-X
Carbon/Aramid 68 g/m² Order no. 190 208-X

Kohle-/Aramidgewebe 188 g/m² Bestell-Nr. 190 210-X
Carbon/Aramid 188 g/m² Order no. 190 210-X

	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
Faservolumenanteil Fibre volume fraction	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
Harzverbrauch Resin consumpt.	106	84	68	55	45	37	30	295	235	190	155	126	103	84
Laminatdicke Laminate thickn.	0,138	0,118	0,103	0,092	0,083	0,075	0,069	0,383	0,329	0,287	0,256	0,230	0,209	0,192
Laminatgewicht Laminate weight	174	152	136	123	113	105	98	483	423	378	343	314	291	272

C-Faseranteil: 60 %, A-Faseranteil. 40 %, mittl. spez. Fasergewicht: 1,65 g/cm³
Carbon fibre fraction: 60 %, aramid fibre fraction. 40 %, fibres' mean specific gravity : 1,65 g/cm³

C-Faseranteil: 56 %, A-Faseranteil. 44 %, mittl. spez. Fasergewicht: 1,65 g/cm³
Carbon fibre fraction: 56 %, aramid fibre fraction. 44 %, fibres' specific mean gravity: 1,65 g/cm³

Kohle-/Aramidgewebe 210 g/m² Bestell-Nr. 190 212-X
Carbon/aramid fabric 210 g/m² Order no. 190 212-X

	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
Faservolumenanteil Fibre volume fraction	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
Harzverbrauch Resin consumpt.	326	260	210	171	140	114	93
Laminatdicke Laminate thickn.	0,424	0,364	0,318	0,283	0,255	0,231	0,212
Laminatgewicht Laminate weight	536	470	420	381	350	324	303

C-Faseranteil: 61 %, A-Faseranteil. 39 %, mittl. spez. Fasergewicht: 1,65 g/cm³
Carbon fibre fraction: 61 %, aramid fibre fraction. 39 %, fibres' mean specific gravity : 1,65 g/cm³

Die Verarbeitung mit Hilfe einfacher Tränkvorrichtungen

Rovings sind unidirektionale, endlose Faserstränge, die auf Spulen geliefert werden. Aus Rovings lassen sich Profile ziehen, Rohre und Behälter wickeln und Verstärkungen, z.B. zur Krafteinleitung laminieren.

Zum Wickeln und Strangziehen werden die **Rovingstränge** durch ein **Harzbad** gezogen. Kleinere Mengen lassen sich auch mittels Pinsel auf einer PE-Folie vortränken. Für größere Bauteile ist eine **Rovingtränkvorrichtung** erforderlich.

Die Qualität der Anlagen reicht von einfachsten Abzugsvorrichtungen, die sich z.B. aus kleinen Kunststoffflaschen herstellen lassen bis zu aufwendigen, beheizbaren Tränkbädern.

Für eine hohe **Güte der Bauteile** sollte auf folgende Punkte geachtet werden:

- Gleichmäßige, harzarme Tränkung des Rovings
- Gestrecktes Einlegen, evtl. unter Vorspannung

Processing with the aid of simple impregnating systems

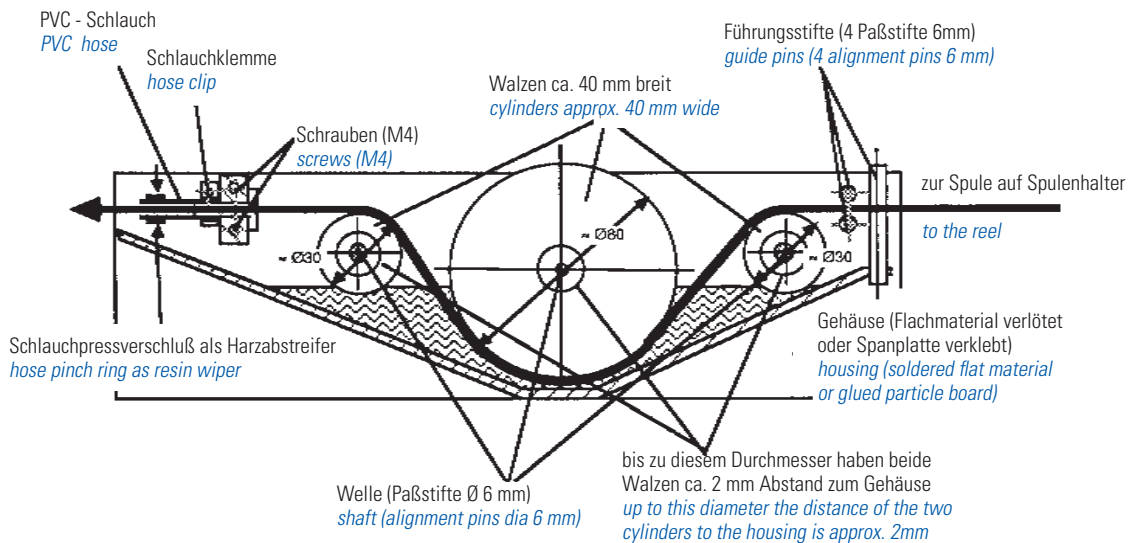
Rovings are unidirectional, continuous fibres that are delivered on reels. Rovings are used to draw sections, wind pipes and receptacles, and laminate reinforcements, e.g. force transfer points.

When **rovings** are used for winding and pultrusion, they are first drawn through a **resin bath**. Smaller quantities can also be pre-impregnated with a brush on a PE film. Larger components require a **roving impregnating system**.

The quality of these systems extends from the simplest dipping device that can be made, for example, from small plastic bottles, to complex, heated impregnating baths.

A high **quality** can be obtained for the **component** only when the following points are observed.

- The roving must be impregnated uniformly in a low resin content.
- The roving must be stretched during impregnation, if necessary under tension.



Dreiblatt Luftschraube, mit Kohlerovings verstärkt
Three-bladed propeller reinforced with carbon rovings

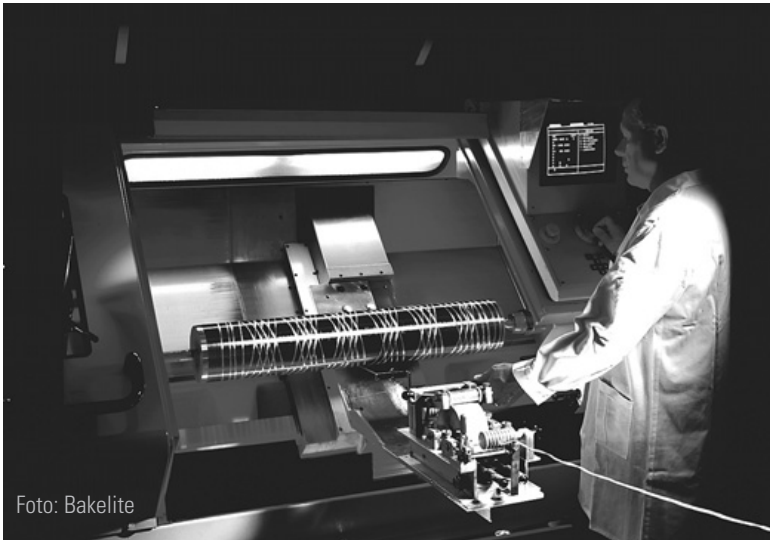


Foto: Bakelite

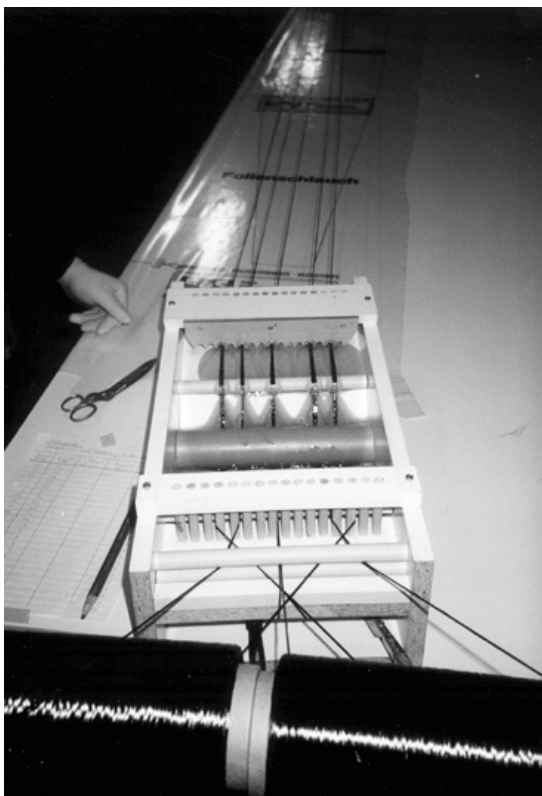
Wickelautomat

Automatic winding machine

Wickelteile



Winding parts



Einfache preiswerte Eigenkonstruktion einer Rovingtränkvorrichtung für den Flugzeugbau

Simple, low-priced personal invention of a roving impregnating system for the construction of a light plane

FÜLLSTOFFARTEN UND ANWENDUNGEN

Füllstoffe sind Zusatzstoffe, die bestimmte Eigenschaften der Harze verändern, beispielsweise die Härte und Abriebfestigkeit, die chemischen, mechanischen, thermischen und elektrischen Werte. Die Vernetzung des Bindemittels (Harz) sollte durch die Zugabe von Füllstoffen nicht behindert werden. Es ist deshalb besonders darauf zu achten, daß die Zusätze keine Feuchtigkeit enthalten. Dies gilt vor allem für Naturprodukte wie Holzmehl oder Baumwollflocken. Füllstoffe unterscheiden sich in ihrer Zusammensetzung, Struktur und Dichte.

Zusammensetzung

Organische Füllstoffe sind z.B. die Naturfasern Baumwolle, Jute, Hanf und Sisal. Häufig verwendete anorganische Produkte sind Glasfasern, Glashohlkugeln (Glass-Bubbles) oder Metallpulver. Die **Struktur der Füllstoffe** bestimmt neben den spezifischen Füllstoffeigenschaften die Eigenschaften der Formstoffe.

Faserförmige Füllstoffe

... sind z.B. Glasfaserschnitzel und Baumwollflocken. Sie verbessern die Zug-, Druck- und Biegefestigkeit und das Bruchverhalten. Das Gewicht der gefüllten Harzmassen erhöht sich, die Fließfähigkeit wird verringert.

Pulverförmige Füllstoffe

... sind z.B. Quarzmehl, Talkum und Kreide. Je nach Härte ergeben sie sehr abrieb- und verschleißfeste Harzmassen (Quarzmehl) oder aber leicht schleifbare Endprodukte (Talkum, Kreide).

Kugelförmige Füllstoffe

... wie Glass Bubbles erhöhen die Schlagzähigkeit und Druckfestigkeit, jedoch nicht die Zugfestigkeit. Durch den Kugellagereffekt verbessern sie in geringen Zusatzmengen die Fließfähigkeit der Harze.

Thixotropiermittel

... werden zum Eindicken von Harzen benötigt. Es handelt sich um hochdisperse Kieselsäuren mit hoher spezifischer Oberfläche. Praktisch alle Deckschichtharze (Gelcoats) auf Epoxyd- und Polyesterharzbasis enthalten Thixotropiermittel, um ein Abfließen an senkrechten und geneigten Flächen zu verhindern.

Farbpigmente

Auch Farben sind Füllstoffe. Das Einmischen ist sehr einfach, da im Regelfall fertige Pigmentpasten verfügbar sind. Das qualitativ oft schlechtere Selbstanreiben trockener Pigmente entfällt.

Flammschutzmittel

Alle Füllstoffe beeinflussen das Brandverhalten mehr oder weniger. Als ausgesprochene Brandschutzausrüstung gelten Zusätze von Antimontrioxid, Aluminiumhydroxid und halogenierten Verbindungen.



Aufbringen gefüllter Harze mit Pinsel/Spritztüte

FILLER TYPES AND APPLICATIONS

Fillers are additives that modify certain properties of resins, for example the hardness and abrasion resistance or the chemical, mechanical, thermal, and electrical properties. The addition of fillers should not inhibit the cross-linking of the binder (resin). So it is especially important to make sure that the additives do not contain any moisture. This applies above all to natural products such as wood flour or cotton flock. Fillers differ according to their composition, structure, and density.

Composition

*Organic fillers are, for example, the natural fibres cotton, jute, hemp, and sisal. Frequently used inorganic products are glass fibres, glass bubbles, and metal powder. The **filler's structure** determines not only the specific strength of the filler, but the properties of the moulded materials.*

Fibrous fillers

(chopped glass fibre strands, cotton flock, etc.) These enhance the tensile, compressive, and flexural strengths as well as the fracture behaviour. The weight of filled resin compounds is increased, the flowability reduced.

Powdery fillers

(quartz powder, talc, chalk, etc.) Depending on their hardness, these fillers yield resin compounds with high abrasion and wear resistance (quartz powder) or end products with good grinding properties (talc, chalk).

Spherical fillers

(glass bubbles, etc.) These enhance the impact and compressive strength, but not the tensile strength. Owing to their ball-bearing effect they improve the flowability of resins when added in low quantities.

Thixotropy-enhancing agents

These are highly disperse silicic acids with a high specific surface area and are needed to inspissate resins. Virtually all overlay resins (gel coats) based on epoxy or polyester resins contain thixotropy-enhancing agents which prevent the compound from running off vertical and inclined surfaces.

Pigments

Also colouring agents are fillers. In general, pigment pastes are available as ready-made mixtures, so it's just a case of simply adding them to the resin compound. As a result, there is no longer any risk of the inferior quality often obtained with the manual application of dry pigments.

Flame retardants

All fillers more or less affect the burning behaviour. Exceptional flame retardants are given by additives of antimony trioxide, aluminium hydroxide, and halogenated compounds.



Filled resins being applied with brush and piping bag

Vergleich der Dichte typischer Harzfüllstoffe

Densities of typical resin fillers compared

Dichtevergleich	Einheit	Wert	Density comparison	Unit	Value
Glas-Bubbles	g/cm ³ /20 °C	0,21 / 0,12	Glass bubbles	g/cm ³ /20 °C	0,21 / 0,12
Talkum	g/cm ³ /20 °C	2,7	Talc	g/cm ³ /20 °C	2,7
Holzmehl	g/cm ³ /20 °C	1,2	Wood flour	g/cm ³ /20 °C	1,2
Glasfasern	g/cm ³ /20 °C	2,4	Glass fibres	g/cm ³ /20 °C	2,4
Baumwollflocken	g/cm ³ /20 °C	1,54	Cotton flock	g/cm ³ /20 °C	1,54
Alupulver	g/cm ³ /20 °C	2,7	Aluminium powder	g/cm ³ /20 °C	2,7

Anwendungen

Deckschichtharze (Gelcoats)

Thixotropiermittel und evtl. Farbpaste

Formenharze

Thixotropiermittel und Farbpaste, je nach gewünschter Härte und Wärmeleitfähigkeit Titandioxid, Quarzmehl, Stahl- und Alupulver.

Faserspachtel

Glasfasern mit Thixotropiermittel

Feinspachtel

Thixotropiermittel mit Kreide/Talkum

Leichtspachtel

Micro-Ballons und Thixotropiermittel

Metallspachtel

Thixotropiermittel mit Metallpulver, meist Aluminium

Kupplungsschichten im Formenbau

Glasfaserschnitzel mit Baumwollflocken (1:1)

Kleber

Thixotropiermittel, für dickere Klebefugen Baumwollflocken

Rieselfähige Preßmassen

Baumwollflocken

Wärmeleitfähige Gießmassen

Thixotropiermittel und Alu-Pulver

syntaktische Schäume

leichte, hohle Füllstoffe wie z.B. Microhohlkugeln (Glas-Bubbles)

Applications

Overlay resins (gel coats)

Thixotropy-enhancing agent and possibly colour paste

Mould resins

Thixotropy-enhancing agent and colour paste, for a specific hardness and thermal conductivity, titanium dioxide, quartz powder, steel or aluminium powder.

Fibre pastes

glass fibres with thixotropy-enhancing agent

Fine pastes

Thixotropy-enhancing agent with chalk or talc

Light pastes

Microbubbles and thixotropy-enhancing agent

Metal pastes

Thixotropy-enhancing agent with metal powder, mostly aluminium

Coupling layers in mould construction

Chopped glass fibre strands with cotton flock (1:1)

Adhesives

Thixotropy-enhancing agent, cotton flock for thicker glued bonds

Free-flowing moulding compounds

Cotton flock

Heat-conductive pouring compounds

Thixotropy-enhancing agent and aluminium powder

Syntactic foams

Lightweight, hollow fillers such as microbubbles (glass bubbles)