

Faserverbund- Werkstoffdaten

Eine Sammlung der wichtigsten Werkstoffdaten für den Anwender von Faserverbund-Materialien sowie allgemeine Daten und Tabellen.



Daten der Matrix-Harze unverstärkt

Werkstoff	Dichte g/cm ³	Bruchdehnung %	Lieferform	Verarbeitungstemperatur	Gebrauchstemperatur der Bauteile
Polyesterharze	1.12 - 1.25	unter 3%	flüssig	20 - 180°C	50 - 160°C
Epoxydharze	1.1 - 1.25	6 - 8%	flüssig	20 - 230°C	45 - 230°C
Vinylesterharze	1.07	3.5 - 7%	flüssig	20 - 175°C	100 - 150°C

Die **Bruchdehnung** von Laminierharzen muss vorzugsweise gleich oder grösser der Bruchdehnung der Verstärkungsfasern sein, damit im Belastungsfall kein Bauteilversagen durch Brüche und Risse im Harz eintritt.

Verarbeitungstemperatur: Der höchste Wert beschreibt die maximal erforderliche Temperatur bei der Warmhärtung. Diese Warmhärtung ist nur bei einigen Temperharzen mit entsprechend hoher Temperaturbelastbarkeit erforderlich. Die überwiegend angebotenen kalthärtenden Harze erreichen bei Raumtemperatur nahezu ihre volle Festigkeit. Die Gebrauchstemperatur der Bauteile liegt meist bei 50-80°C.

Werkstoff	Zugfestigkeit MPa	Zugmodul GPa	Biegefestigkeit MPa	Biegemodul GPa
Polyesterharze	50 - 70	3,5 - 4,7	60 - 120	4,0 - 5,0
Epoxydharze	70 - 90	2,8 - 3,6	140 - 160	4,5 - 6,0
Vinylesterharze	75 - 85	3,4 - 3,5	125 - 135	3,2 - 3,8

Werkstoff	Beständig gegen	Nicht beständig gegen (Auswahl)	Brennbarkeit (Auswahl)	Reparatur
Polyesterharze	Wasser, wässrige Lösungen Heizöl, Benzin	heisses Wasser, konzentrierte Säuren und Laugen, Benzol, Alkohol, Toluol	nicht selbstverlöschend	aufflammen und kleben
Epoxydharze	Benzin, Benzol, Mineralöle, Fette	Heisses Wasser, Ester, konzentrierte Säuren und Laugen, Ketone, Aceton	schwer entzündbar, brennt weiter	aufflammen und kleben
Vinylesterharze	37% HCL, Chlordioxid, Seewasser, Kohlenwasserstoffe	75% H ₂ SO ₄ 480 °C, Wasser, 15% NaOH (65 °C)	nicht selbstverlöschend	aufflammen und kleben

Der Schwund erfolgt bei **Epoxydharzen** in der flüssigen Phase, also hauptsächlich innerhalb der Verarbeitungszeit. Sobald die Harzmasse fest wird, tritt praktisch kein weiterer Schwund auf.

Die **Nachschwundung** ist bei unverstärkten Harzmassen am grössten. Verstärkungen, z.B. durch Glasgewebeeinlagen, verringern das Schwundmass erheblich. Beim **Tempern** (Nachhärten bei erhöhter Temperatur) ist ebenfalls eine leichte Nachschwundung zu erwarten, da sich noch reaktionsfähige Harz- und Härtermoleküle verbinden und somit enger zusammentreten.

Bei **Polyesterharzen** haben wir einen wesentlich grösseren Schwund zu erwarten. Zudem tritt der Schwund während der ganzen Härtungsphase kontinuierlich auf. Eine optimale Faserhaftung wird dadurch erschwert, da die Matrix während der ganzen Härtung wandert.

Werkstoff	Verarbeitungsschwundung	Nachschwundung	Reaktionswärme	Lagerfähigkeit
Polyesterharze	6 - 10% Linear um 2%	bis 3	exotherme Reaktion mit teilweise hoher Wärmeentwicklung (besonders beim Vergiessen zu berücksichtigen, Härter entsprechend auswählen).	dunkel, kühl, gut verschlossen bis 6 Monate.
Epoxydharze	1 - 3%	< 1		dunkel, gut verschlossen mindestens 12 Monate
Vinylesterharze	1	bis 1		dunkel, kühl, gut verschlossen bis 6 Monate

Allgemeine Daten über gehärtete Epoxydharze (Unverstärkt):

Wärmeausdehnungskoeffizient / coefficient de dilatation thermique	60 - 70 • 10 ⁻⁶ Kelvin
Wärmeleitfähigkeit / conductibilité calorifique	0.52 W/m • Kelvin
Oberflächenwiderstand /	10 ¹³ Ω
spez. Durchgangswiderstand /	10 ¹⁵ Ω cm

Wärmeausdehnung:

Der thermische Ausdehnungskoeffizient gibt die lineare Dimensionszunahme bei Erwärmung in % an.

D.h. bei einem Koeffizient von 2 x 10⁻⁴ m/ (mK) beträgt die lineare Dimensionszunahme bei einer Temperaturerhöhung um 1 Kelvin 0.02%.

Hat ein Formteil eine Länge von z.B. 1 Meter, entspricht dies einer Längenzunahme von 0.1mm. Eine Temperaturerhöhung um 50 Kelvin führt demnach zu einer linearen Dimensionszunahme von bereits 1 %.

Die Volumenzunahme bei Temperaturerhöhung entspricht dem dreifachen der linearen Zunahme.

Laminat Daten

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

- 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

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.

Wie schwer wird ein Glasfaser-Laminat?

Das Gewicht eines Glas-Laminats hängt weitgehend vom Faservolumenanteil ab, also vom Verhältnis Gewebe/Harz.

Bei Glas-Geweben wird im Handlaminierverfahren ca. 40 - 50% Faservolumenanteil erreicht, bei Glasmatten lediglich 15 - 20%. Durch Absaugen des Laminats, also bei geeigneter Verarbeitung im Vakuum, kann der Faservolumenanteil gesteigert werden. Bei der Verarbeitung im Autoklaven mit entsprechendem Druck kann sogar ein Faservolumenanteil von 60% erreicht werden.

Die Dicke des Laminats kann man folgendermaßen bestimmen:

$$d = q / (\rho * \phi * 1000)$$

Hier ist **q** das Gesamtgewicht in g/m², z.B. bei 3 Lagen 90g-Gewebe 270 g/m².

rho ist die Dichte der Fasern (Glasfaser: 2,55 g/cm³)

phi ist der FaserVOLUMENanteil (z.B. 0,4 für 40%)

Man bestimmt den Fasergewichtsanteil = Faservolumenanteil (z.B. 0,4) * Dichte der Faser (2,55g/cm³) * Faservolumenanteil (0,4) + Harzdichte (1,1 g/cm³) * (1 - Faservolumenanteil))

Für GfK mit einem Faservolumenanteil von 40% ergibt sich entsprechend dem obigen Beispiel ein Fasergewichtsanteil von $0,4 * 2,55 / (2,55 * 0,4 + 0,6 * 1,1) = 0,57$

Das Gewicht des trockenen Gewebes ist also 57% des späteren Gesamtgewichts, und das Gesamtgewicht demnach $1 / 0,57 = 1,75$ -fache des Gewichts des trockenen Gewebes.

Laminat-Eigenschaften im Vergleich mit Stahl und Aluminium

Eigenschaften

Hochleistungsfaserverstärkte Kunststoffe (FKV bzw. HLFKV) gehören zur Gruppe der Verbundwerkstoffe. Sie zeichnen sich primär aus durch:

- hohe mechanische Eigenschaften und tiefes spezifisches Gewicht
- meistens richtungsabhängige Eigenschaften (Faserrichtung)

Dadurch können sie bei hochbelasteten Bauteilen mit Metallen konkurrieren und ermöglichen sogar in hochbelasteten Bauteilen Gewichtsreduktionen bei gleicher Festigkeit oder Steifigkeit oder bei gleichem Gewicht höhere Festigkeit und Steifigkeit im Vergleich zu hochwertigen Metallbauteilen. Einige maximale erreichbare Eigenschaften von ausgewählten Hochleistungs-FKV sind in dieser Tabelle im Vergleich zu Metallen aufgeführt. Man sieht daraus, dass bei diesen Werkstoffen eine grosse Variation von mechanischen Eigenschaften möglich ist, die sogar weit über denjenigen von Metallen liegen können.

Maximal erreichbare Eigenschaften von FKV und Metall

Material	Faser	Verstärkung	E-Modul Festigkeit			spezifische Eigenschaften			
			MPa	MPa	MPa	g/cm ³	km	km	km
Aluminium			71000	540	480	2.80	2586	19.7	17.5
Stahl			207000	1655	1520	7.83	2696	21.6	19.8
GFK	E-Glas	Gewebe	22800	463	507	2.00	1163	23.6	25.9
GFK	E-Glas	UD	46200	1070	660	2.03	2321	53.8	44.5
AFK	Kevlar	Gewebe	29000	414	165	1.37	2159	30.8	12.3
AFK	Kevlar	UD	76000	1400	235	1.46	5308	97.8	16.4
CFK	hochfest HT	Gewebe	67230	524	500	1.55	4423	34.5	32.9
CFK	hochfest HT	UD	138000	1447	1447	1.55	9079	95.2	95.2
CFK	mittelsteif HM	UD	155000	2200	1400	1.60	9879	140.2	89.2
CFK	hochsteif UMS	UD	380000	880	240	1.80	21529	49.9	13.6
BFK	Bor	UD	204000	1260	2500	1.86	11185	69.1	137.1

GFK = **Glas**-Faser-Kunststoff

AFK = **Aramid**-Faser-Kunststoff (Kevlar, Twaron etc.)

CFK = **Carbon**-Faser-Kunststoff (Carbon, Kohlefasern, Kohlenstofffasern)

BFK = **Bor**-Faser-Kunststoff

Material Vergleichstabellen

Wärmeleitfähigkeit verschiedener Werkstoffe:

Werkstoff	W/m • Kelvin
Aluminium /	230
Duraluminium	170
Zink	112
Eisen	172
Stahl	50,2
V2A-Stahl	14
Epoxydharz gefüllt mit Alu oder Graphit	1,6 - 2,6
Epoxydharz gehärtet	0,52
Polyester/Glas-Laminat gehärtet	0,31
AFK (Aramid (Kevlar) Laminat)	0,13
GFK (Glaslaminat gehärtet)	0,8
CFK (Carbonlaminat gehärtet)	15 - 40 (Faserrichtung)
E-Glas, R-Glas, S-Glas	1
Aramidfasern (Kevlar HM)	0,04 - 0,05
Carbonfasern (Kohlenstofffasern)	17
Eichenholz	0,186
Tannenholz	0,128
Glasgewebe	0,9

Vergleichswerte verschiedener Werkstoffe

Typische Kennwerte Typical characteristics	Einheit Unit	Kiefernholz Pine wood	Dural-Alu Duralumin	Titan Titanium	Stahl Steel	GFK ⁽¹⁾ GRP ⁽¹⁾	CFK ⁽¹⁾ CFP ⁽¹⁾
Dichte Density	g/cm ³ /20°C g/cm ³ at 20°C	0.5	2.8	4.5	7.8	2.1	1.5
Zugfestigkeit Tensile strength	MPa	100	350	800	1100	720	900
E-Modul Modulus of elasticity	GPa	12000	75000	110000	210000	30000	88000
Reisslänge breaking length	km	20	13	18	14	34	60
Spez. E-Modul Spec. modulus of elasticity	km	2400	2700	2400	2700	1400	5900

Faserdaten

Physikalische Eigenschaften der wichtigsten Fasern / Physical properties of the most important Fibres

	Einheit	E-Glas	Aramid HM	Carbon HT	Dyneema SK 65
Dichte Density	g/cm ³	2,6	1,45	1,78	0.975
Zugfestigkeit Tensile strength	MPa	3400	2800	3400	3000
Elastizitätsmodul II Modulus of elasticity II	GPa	73	100	235	95
Elastizitätsmodul ⊥ Modulus of elasticity ⊥	GPa	73	5,4	15	
Druckfestigkeit Compressive modulus	GPa				1000
Bruchdehnung Elongation at break	%	3,5 - 4	2,8	1,4	3.6
Querkontraktionszahl Poisson ratio		0.18			
Wärmeausdehnungskoeffizient II Coefficient of thermal expansion II	10 ⁻⁶ K ⁻¹	5	-3,5	-0,1	-12
Wärmeausdehnungskoeffizient ⊥ Coefficient of thermal expansion ⊥	10 ⁻⁶ K ⁻¹	5	17	10	
Wärmeleitfähigkeit Thermal conductivity	W/m·K	1	0,04	17	20
spez. elektrischer Widerstand Resistivity	Ω·cm	10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ⁻³ - 10 ⁻⁴	3.6
Dielektrizitätskonstante Dielectric constant	10 ⁶ Hz	5,8-6,7			2.25
Zersetzungstemperatur Degradation temperature	°C	>400	550		144-152
Feuchtigkeitsaufnahme 20°C/65% rel. Luftfeuchtigkeit Moisture absorption 20°C/65% relative air humidity	%	0,1	3,5	0,1	keine

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

Faser, resp. Garn- und Rovingbezeichnungen

Die Bezeichnung für Garne und Rovings erfolgt in der Regel in **tex** und bezieht sich auf das Gewicht. Die Tex-Nummerierung informiert darüber, wieviel Gramm 1000m eines einfachen Fadens wiegen. Oder anders ausgedrückt: 1 tex ist diejenige Feinheit, bei der eine Faser oder ein Garn von 1 km Länge 1 g wiegt. 1 tex = 1 g/km.

1 Millitex	mtex	=	0.001	g/1000 m	=	0.001	tex
1 Zentitex	ctex	=	0.01	g/1000 m	=	0.01	tex
1 Dezitex	dtex	=	0.1	g/1000 m	=	0.1	tex
1 Tex	tex	=	1	g/1000 m	=	1	tex
1 Decatex	datex	=	10	g/1000 m	=	10	tex
1 Hektotex	htex	=	100	g/1000 m	=	100	tex
1 Kilotex	ktex	=	1000	g/1000 m	=	1000	tex

Eine weitere Bezeichnung, vorallem bei Carbon, ist **K** und bezieht sich auf die Anzahl Filamente pro Roving.

1 K (K=Kilo=Tausend)	=	1000 Filamente pro Roving
6 K	=	6000 Filamente pro Roving
12 K	=	12000 Filamente pro Roving
24 K	=	24000 Filamente pro Roving

Allgemeine Daten und Tabellen

Viskosität

Die Fließfähigkeit (Viskosität) von Stoffen wie Harze und Härter ist in der Einheit **mPa·s** (Milipascal x Sekunden) angegeben. Diese lässt sich am besten einschätzen, wenn man die Werte bekannter Flüssigkeiten betrachtet.

Viskositätsbereiche (in mPa·s)

dickflüssig, pastös	200'000	200'000	Mayonaise, weiche Schmierfette Kl.0
		160'000	Getriebefliessfette Kl. 0
		150'000	Senf
		140'000	Zahnpasta
	100'000	100'000	Joghurt
		90'000	Handcreme
		50'000	Marmelade
		30'000	Tomatenketchup
		10'000	Honig
		5'000	Getriebeöle
dünnflüssig		2'000	Fruchtsäfte
		900	Epoxydharz L 20
		700	Epoxydharz L, Epoxydharz L 285 (LF)
		400	Epoxydharz HT 2
		320	Härter L
		200	Härter HT 2
	100	100	Härter 285, 286, 287 (LF1, 2, 3)
		80	Salatöle
		20	Milch
		1	Wasser

Der Flammpunkt:

Der Flammpunkt ist die niedrigste Temperatur, bei der eine Flüssigkeit unter bestimmten Versuchsbedingungen Dämpfe in solcher Menge entwickelt, daß diese im Gemisch mit Luft durch eine Zündquelle zur Entzündung gebracht werden können.

Tg (Glasübergangstemperatur)

Mit diesem Begriff wird diejenige Temperatur beschrieben, bei der amorphe oder teilkristalline Polymere vom flüssigen in den festen Zustand übergehen. Dabei tritt eine schlagartige Änderung der physikalischen Kenngrößen, wie z.B. Härte und Elastizität ein: Unterhalb der spezifischen Tg ist ein Polymer glasartig und hart, beim Ueberschreiten der Tg geht es in einen weichen, amorphen Zustand über.

Die Uebergänge erfolgen meist in einem mehr oder weniger breiten Temperaturbereich, so dass man häufig auch vom Glasumwandlungsintervall bzw. vom Erweichungsbereich spricht. Auch die Bezeichnung Einfriertemperatur ist gebräuchlich.

Die Glasübergangstemperatur kann nach verschiedenen Messverfahren bestimmt werden, so dass für Vergleichszwecke bei einer Angabe auch die entsprechende Bestimmungsmethode bzw. die zugrundeliegende Prüfnorm genannt werden sollte.

Quelle: <http://www.chemie.fu-berlin.de/fb/fachdid/kunststoffe/glas.htm>
<http://www.kunstharpzputze.de/abc/kap3/g04.htm>

Basalt-Roving / Basalt roving

Basaltrovinggewebe 500 g/m²
 Silan, Leinwand 1/1, Breite 120 cm

Basalt roving fabric 500 g/m²
 Silan, Plain weave 1/1, width 120 cm

Basalt-Roving
 1600-tex und 2400-tex

Basalt-roving
 1600-tex and 2400-tex

Anwendungsgebiet:

Dickes, preisgünstiges Gewebe für die Herstellung von Formen, Booten und Behältern. Schneller Aufbau dicker, steifer Laminats. Basalt ist ein schwarzes, basisches Lavagestein. Die Technologie, aus diesem Gestein ein endloses Filament zu produzieren wurde schon vor über 30 Jahren in der Sowjetunion entwickelt. Ein für kommerzielle Zwecke nutzbares Produkt ist aber erst jetzt verfügbar.

Application:

Thick, lowpriced fabric for manufacturing moulds, boats, and receptacles. Fast layup of thick, stiff laminates. As a basic material, basalt is a black, alkaline extrusive rock. The technology which enables a continuous filament to be produced from this rock was developed over 30 years ago in the then Soviet Union. A product which could be used for commercial purposes has only now, however, become available.

Eigenschaften

Bei nur 5% höherer Dichte als der gebräuchlichen E-Glasfaser bietet die Basalt-Faser im Vergleich dazu eine um **15% höhere Zugfestigkeit, höhere Druckfestigkeit und Steifigkeit (E-Modul)**.

Properties

With only 5 % higher density than the conventional E glass fibre, basalt fibre offers in comparison with it a 15 % higher tensile strength, higher compressive strength and rigidity (modulus of elasticity).

Die thermische Belastbarkeit ist hoch, die Faser selbst schmilzt erst bei 1450 °C. Die **chemische Beständigkeit**, insbesondere gegen starke Säuren und Laugen sowie Lösemittel ist sehr gut. Auch gegen **UV-Strahlung, biologische Einwirkungen und Korrosion** ist das Material sozusagen von Natur aus geschützt.

The thermal stability is extremely high, the fibres themselves only begin to melt at 1450 °C. The chemical endurance, especially against strong acids, lyes and solvents, is very good.

Basalt-Fasern sind zu 100% natürlich und inert, d.h. als **ungiftig** und **nicht carcinogen** eingestuft.

The material is also protected, so to speak by nature, against UV radiation, organic effects and corrosion.

Geeignet für Epoxidharze, Vinyl-esterharze und Polyesterharze.

Basalt fibres are 100 % natural and inert, i.e. they are classified as non-poisonous and non-carcinogenic.

Suitable for epoxy, vinyl ester and polyester resins.



Technische Daten		Basalt-Faser	E-Glas
Dichte	g/cm ³	2,75	2,60
Zugfestigkeit	MPa	4840	3450
Druckfestigkeit	MPa	3792	3033
E-Modul	MPa	89000	77000
Bruchdehnung	%	3,15	4.70

Technical data		Basalt fibre	E-Glass
Density	g/cm ³	2,75	2,60
Tensile strength	MPa	4840	3450
Compressive strength	MPa	3792	3033
Modulus of elasticity	MPa	89000	77000
Elongation at break	%	3,15	4.70