

# Technical terms for composite components in civil engineering and mechanical engineering

Prof. Dr.-Ing.habil. Ralf Cuntze, [Ralf\\_Cuntze@t-online.de](mailto:Ralf_Cuntze@t-online.de). Network CU Bau of Composite United

<https://www.carbon-connected.de/Group/CCeV.Fachinformationen/Dokumente/Documents/Index/10381>

*(living document, edition June 2020)*

Purpose of the Glossary: Borders between engineering disciplines are disappearing, more and more. It can also be noticed that in the different fields of the fiber-using industry there are different "speeches" and that technical terms are sometimes used very differently. Several groups of engineers would therefore have to be connected conceptually so that they understand each other correctly when making decisions. These are 'constructive' engineers from the building industry and mechanical engineering and further, engineers from the textile and material range as well as the manufacturing.

There is currently no glossary to help reduce these understanding problems. The present glossary therefore represents a first attempt to bring the above engineers together, so that they can solve their technical tasks faster and in a clearly coordinated way.

The author can rely not only on his own decades of experience with primarily polymeric matrix, but also on several special documents such as Carbon Concrete Planner Folder (Tudalit), Eurocodes, VDI 2014-B1.3, Gae18, BÜV10, LiB18, Glossary Wikipedia, as well as on constructive suggestions for improvement from engineers of the above groups, see contributors at the glossary end.

The glossary focuses especially on carbon fibers CF and concrete matrices.

At the beginning it presents a first scheme of order for the different, interconnected disciplines. At the end, a picture gallery illustrates technological details and applications. This gallery just includes carbon applications from construction industry because these are less known.

*Warranty: This GLOSSARY is a compilation of terms and partly their definitions stemming from the author's as well as from numerous other glossaries/origins/publications. It should be seen as an informative publication and is intended to be a so-called 'living document' reissued following future demands.*

*If someone wishes to make always welcoming constructive comments and wants to add or complete topics the latest draft can be found under the Carbon Connected 'discussion platform' GLOSSARY Bau WIKI of Composite Unitede.V. (CUeV). This GLOSSARY is provided by the author 'as is' and without any warranty hoping to make the addressed engineers fit for their specific purposes.*

## **Inhaltsverzeichnis/Table of Contents**

<u>Zweck des Glossars</u> <u>Purpose of the Glossary</u> .....	1
<u>Warranty</u> .....	
<u>Inhaltsverzeichnis/Table of Contents</u> .....	2
<u>1. Einführung Introduction</u> .....	3
<u>1.1 Allgemeines General</u> .....	
<u>1.2 Festlegung einiger wichtiger Begriffe</u> <u>1.2 Fixation of some important Terms</u>	
<u>2. Deutsche Fachbegriffe mit Erklärung und Definition</u> .....	9
<u>3. Deutsche Fachbegriffe in Englisch</u> .....	62
<u>4. English Technical Terms with Definitions</u> .....	69
<u>4.2 Definitions / English</u> .....	69
<u>5. Abkürzungen / abbreviations</u> .....	117
<u>6. Denotations, Symbols <i>considering the guideline VDI 2014; DIN 1055-100</i></u> .....	126
<u>6.1 Roman Symbols</u> .....	126
<u>6.2 Greek Symbols</u> .....	128
<u>7. Indexing, Laminate Descriptions and Layer Numbering (ply-book)</u> .....	130
<u>7.1 Subscripts and Superscripts</u> .....	130
<u>7.2 Laminate and Organosheet Coding</u> .....	131
<u>8. Bilder zur Text-Illustration / Figures for clarification of the body text</u> .....	133
<u>9. References including Design and Material Aspects</u> .....	166

# Introduction

## 1.1 General

The construction industry is an industry in which the topic of high-performance fibre composites is not yet established on the one hand, but where there is enormous application potential on the other. Against this backdrop, Carbon Composites e.V. (CCeV) in Augsburg has founded a specialist department "CC Construction".

For CC Bau, this repositioning meant that both fibre polymer composite FPC - also known as fibre-reinforced plastic FRP - and the various fiber-reinforced concrete matrices had to be covered. i.e. 'fibre-reinforced concrete'. The latter involves '(roving)-reinforced concrete' RC, i.e. GRC, CRC, as well as '(short) fibre reinforced concrete' FRC, i.e. CFRC, PPFRC.

The following applications, for example, must therefore be captured:

(1) *Polymer matrix-related:*

Glass fibre plastic pipes and GFRP containers, wind rotor blades and pedestrian bridges in GFRP and CFRP, the huge architectural building around the Kaaba ( $\varnothing$  80 m, 400 t CFRP, maximum load 10000 pilgrims, *Fig.2* ). the 80 t heavy 'Apple Campus 2 roof supporting structure' (*Fig.3* ) or bridge profiles (*Fig.4* ) or also the 'Mae West'-artwork (*Fig.5* ), as well as textile building envelopes (*Fig.6; Fig.7* ) and

(2) *Concrete matrix-related:*

Textile concrete bridges and textile concrete machine foundations, overhead line masts (*Fig.8* ), industrial floors, multi-storey car parks, silos, prefabricated garages, transformer houses, offshore applications, tubings, sandwich façade panels, untensioned and tensioned bending panels, bridge ceiling panels, textile concrete shells and bridges, s. *Fig.9* through *Fig.18*. Besides concrete constructions (thickness dependent) hardly permeable for water (*Fig.42*) additively manu-factured building constructions will come up, as shown in *Fig.54* and *Fig.55*.

Various application possibilities offer themselves with the retrofitting, like with load-bearing structure reinforcements, cover plates/floor plates, parking garage decks (reorganization in the compression zone and tension zone range), bridge caps, monument protected buildings, silos, balcony reorganizations, construction units with high chloride effects, and free form constructions for architects, that make new shell load-bearing structures possible. Further examples can be found from *Fig.38* onwards, such as CFRP lamella reinforcement of steel-reinforced concrete slabs, ribbed slabs, edges of slab openings (replacement reinforcement in *Fig.44*), floor slab under groundwater overpressure. But also a carbon concrete-timber frame composite construction is part of the large variety of applications, *Fig.53*. The demonstrator "CB Pavilion" in *Fig.56* shows the possible filigree construction after coping with formwork and reinforcement insertion problems with the double-curved shell.

As can be seen from the previous texts, the main focus in the glossary is carbon concrete CRC, in German with CB abbreviated, analogously to the (steel) reinforced concrete StB. Special advantages of the non-corrosive CRC compared to steel-reinforced concrete are lower maintenance costs and thus also life cycle costs, weather resistance, high durability of the reinforcing layer of textile concrete compared to de-icing salts. The elimination of additional protective mechanisms such as surface protection systems significantly saves costs for corrosion damage removal. Further advantages are high water impermeability due to the finer microcrack structure of the CRC, light and filigree construction methods allow modern shell constructions that were previously unthinkable in StRC. Some building constructions will already pay for themselves now, if one would and should pay for oneself sustainably, because the use of CRC promises savings in life cycle costs.

But just how insignificant the carbon fibre content presently is in relation to its origin oil and to steel, can be seen at *Fig.18*

In the glossary, several groups of engineers are to be combined conceptually in order to understand each other correctly:

- \* For this purpose, the necessary glossary should lead to a clear use of the terms - such as non-crimp fabrics, lamella and grid - in the aforementioned different but related technologies (see also *Fig.1*). It should also show the essential terms to be used for reinforcement material.
- \*Furthermore, an order scheme for fibre-reinforced components should help to ensure that in future the 'same language' is spoken in these areas and that the material used or the semi-finished product is correctly designated.
- \*Finally, the terms are to be illustrated by appropriate photos and tables.

The glossar project is made more difficult by the fact that some terms have evolved away from the original definition and further by the fact that, for example, the letter C has long been used for composite, carbon, concrete, ceramics and compressive as well.

Such a problem is not new, as the quotations below show:

*"Unfortunately, we have used these words in so different ways that we no longer clearly understand each other when we say them" [A. Donabedian, 1982],*

*"A general system of signs and symbols is of high importance for a logically consistent universal language for scientific use!" (attributed to Gottfried Wilhelm Leibniz, 1700).*

It should be remembered here that the 'timber engineers' created the first documents and terms for the construction material wood as the first theoretically treated fibre-reinforced material.

Of special importance is the choice of the symbols for the strength:

### Mechanical Engineering

\*Fracture strength, compression:  $R_{mc}$  (R from resistance maximale)

\*Fracture strength, tension:  $R_m$

In the case of tension, the index t (tensile) is not used, because tension is the mostly faced stress case for the mostly metallic material. However, with fiber reinforced materials both the indices c and t are written.

One strives to *index as simple as possible*, why *no additional material-dedicated index* for metals, ceramics, composites etc. is attached.

### Civil Engineering

\*Fracture strength, compression:  $f_{cd} \equiv R_{mc}$  (f from Festigkeit)

\*Fracture strength, tension:  $f_{ctd}$  ( $\equiv R_{m, d}$  means design)

Vice versa to mechanical engineering In the case of compression, the Index c (compressive) is not used, because compression is the mostly faced stress case for the mostly material (concrete).

However, for concrete material-dedicated index c for concrete is attached. This firstly leads to an optical confusion of concrete with the compressive sign.

Secondly it leads to an accumulation of indices, if one exemplarily like to index the tensile strength of a short carbon fiber reinforced concrete FRC analogously, namely as  $f_{FRct}$ .

Unfortunately, in mechanical engineering the index *m* is taken for 'maximale' and in civil engineering for marking the mean value. In mechanical engineering the mean value is usually marked by the statistics-based sign 'upper bar'.

**Conclusion drawn:**

In general one needs just to speak about compression, tension or shear strength. If one uses formulas, evaluates test results or applies property data sheets, then always the dedication of the property to a material will be present. Hence, an index  $c$  for concrete is not necessary.

Highly loadable FRPs are essentially closed textile reinforcement structures with a relatively high fibre volume content  $V_f$  in the FRP. However, a high loadable reinforced concrete matrix, i.e. 'fibre-reinforced concrete', is an open grid-like reinforcement structure (textile grid or rod grid) with a small of fibre volume content in the concrete composite, see also [Che11].

A further distinction must be made here between the (short)fibre concrete FRC, in which the properties of the concrete matrix are improved with short fibres or possibly long fibres, and the aforementioned 'fibre-reinforced concrete' RC, in which endless (continuous) fibres are usually used.

The design engineers are particularly addressed with regard to the terms important to them and their contents for the correct understanding of the task, and this before any modelling and subsequent calculation.

It is important for the concrete-related modeller that the concrete is considered 'cracked in the tensile area' according to its low tensile strength of about one tenth of the compressive strength: The reinforcement must therefore absorb the tensile force.

For (short)fibre concrete FRC, where the concrete matrix properties are improved, the credit of the strength improvement on the tensile side has to be proven by tests.

## 1.2 Fixation of some important Terms

### *Fiber-Composite-Material (FCM):*

FCM is the generic term for all composite materials that contain fibres in order to obtain certain properties in order to fulfil certain functions. The later defined notions 'composite material' and 'material composite' shall be captured by FCM for reasons of simplification.

The load-carrying or reinforcing function is usually the most important of these functions. With the fibre-reinforced polymer (plastic) composite FRP – such as GFRP, CFRP, AFRP - the terms 'reinforced' and 'composite' are not illustrated in German by a letter! The same applies to (short)fibre concrete FRC. Unfortunately, in English FRC is written instead of FC, and thus the word "reinforced" is used despite of the fact whether reinforcement is the main function or not! If one would drop the R in FRC, then one achieves a pretty common logical system in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**<sup>2)</sup> Shortfiber concrete FRC, for instance, confuses with endless fiber terms. This is bypassed for concrete by using abbreviated German and English terms<sup>3)</sup>.

FRP, and F(R)C form subgroups of Fiber-Composite-Material FCM

### *Composite Material versus 'Material-Composite':*

For the sake of clarification, it is important to clarify terms within FCM. The above terms composite material and material composite have existed for decades, but unfortunately the different contents are not applied correctly: Composite material = composite of different materials, material composite = homogenized composite of different components, which are at least mathematically homogenizable and thus 'smearable'. Both (steel)reinforced concrete and carbon concrete are therefore a 'material composite' in the sense of current calculation methods, as is a sandwich load-bearing structure.

If, however, it is possible to model a reinforced concrete slab layer-by-layer, then one has concrete layers and - possibly justifiable according to the model - smearable layers = composite material layers, namely roving-reinforced layers of concrete. One can then apply the well-known so-called classical

laminare theory CLT [VDI2014]

Hybrid materials are usually a material composite and require the more effortful 'multi-material design' that has been tried and tested for several years.

### **Fiber-Matrix(-Composite) and Carbon- Concrete (-Composite)**

A definition always poses a great challenge, because much of the word is supposedly firmly established: According to VDI 2014, the traditional fiber composite business of mechanical engineering is called 'fiber-polymer composite' (FKV in German). CF-EP or GF-UP, for example, are supplied as FKV products. The letter C for composite is therefore not shown. If one wants to emphasize that reinforcement is the main function of the fiber, then one writes fiber-reinforced polymer (plastic) FRP.

In the traditional building industry it has always been called 'steel-reinforced concrete', a word that was chosen in the tradition of the original term 'ferro-concrete', knowing that the quality of steel is much higher than for the former iron material.

So why shouldn't the development of the term CB continue like this when carbon is used? As you can see, the word composite is not mentioned at StB either. The abbreviated product description CF-EP-CEM III could be applied, for example, when an EP-impregnated roving CF-EP is used.

It is recommended not to use the word fibre-reinforced with the German terms, already for simplification reasons and also for logical consequence - as already mentioned - with the matrix concrete, as well as with the polymer matrix. Except the load-bearing function other functions are often very important, such as electrical heating or battery storage with CB.

Probably the English technical literature has gone one step too far with its general inclusion of R as Reinforced in the abbreviations.

### **Ordering Scheme**

An ordering scheme for all fiber matrix combinations is proposed:

. It includes in particular the reinforcement variants long and continuous fiber. Of particular interest here is, German part: Fiber-reinforced polymer matrix FVK as a subset of FK(V) and fiber-reinforced concrete matrix F(V)B as a subset of fiber-concrete-composite FB(V). Geotextiles are not included. Hybrid combinations such as wood with polymer matrix or with concrete have to be 'thought of' by the reader in the already very extensive scheme.

The structural engineer's view as a structural modeler is chosen as a helpful point of view for the definition of the terms. This results, for example, in UDB:= uni-directionally beam- or UD-lamella-reinforced concrete and CC:= carbon concrete, as a proposal analogous to the letter-reduced StB name definition.

In the DIN EN 206-1/ DIN 1045-2 the term fine concrete is not defined, so that occasionally the not so catchy long term 'concrete with small grain size' is used (see <sup>1)</sup> in the order scheme). The smallest permissible grading curve is that for 8 mm maximum grain size. For practical reasons, however, the 4 mm maximum grain size was selected for an approximate range separation.

For the concrete matrix the letter F is traditionally written for fibre concrete (usually short fibres, as the longer steel fibres are not addressed here), see StFB compared to StB (endless reinforced) and analogously CFB compared to CB for the started use of carbon fibres

For simplification, F and V are not written for continuous fibre reinforcement of concrete (StBV, analog CFBV). In the case of continuous fibre reinforcement of a polymer matrix, on the other hand, the letter F is traditionally written (CFK, CFRP), unfortunately as in the case of short-fibre reinforced fibre concrete. The above confusing differences are due to earlier determinations, see green color in Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..

Some terms such as embroidered, sandwich or braid refer to the glossary, because not everything can be listed here. For natural fibres, the long term ‘Natural fibre RP’ is intentionally used.

Short fibre reinforced components such as FRC (also possibly used as shotcrete) and fibre plastic (injection moulding SMC) can be 2D or 3D materials depending on the manufacturing process.

The so-called ‘3D print’ as sub-group of ‘Additive Manufacturing’ only provides 2D reinforcements due to the accumulation of thin layers of the respective x-y component cross section in the z-direction, while the usual additive manufacturing can certainly provide spatial, i.e. 3D reinforcements. Injection moulding and shotcrete with short fibres are related, can be selected as additive manufacturing and were included in the scheme.

In the ordering scheme, 3D is a spatial material not a semi-finished product transformed into a 3D spatial structure such as a reinforcement cage.

Finally, three statements on the two order schemes and the terms:

- \*The order scheme is conceptually not complete, neither on the English nor on the German side. A really logically built scheme would afford some adjustments
- \*The main difference between English and German is that the letter R (reinforced) is used everywhere
- \*The approach in the order scheme is modelling-based and thus consciously made for mathematical proof
- \*The correction proposals received, very much welcomed by the author, showed that - as expected - contradictions exist which must be cleared up over time.

Suggestions are welcome! [Ralf\\_Cuntze@t-online.de](mailto:Ralf_Cuntze@t-online.de)

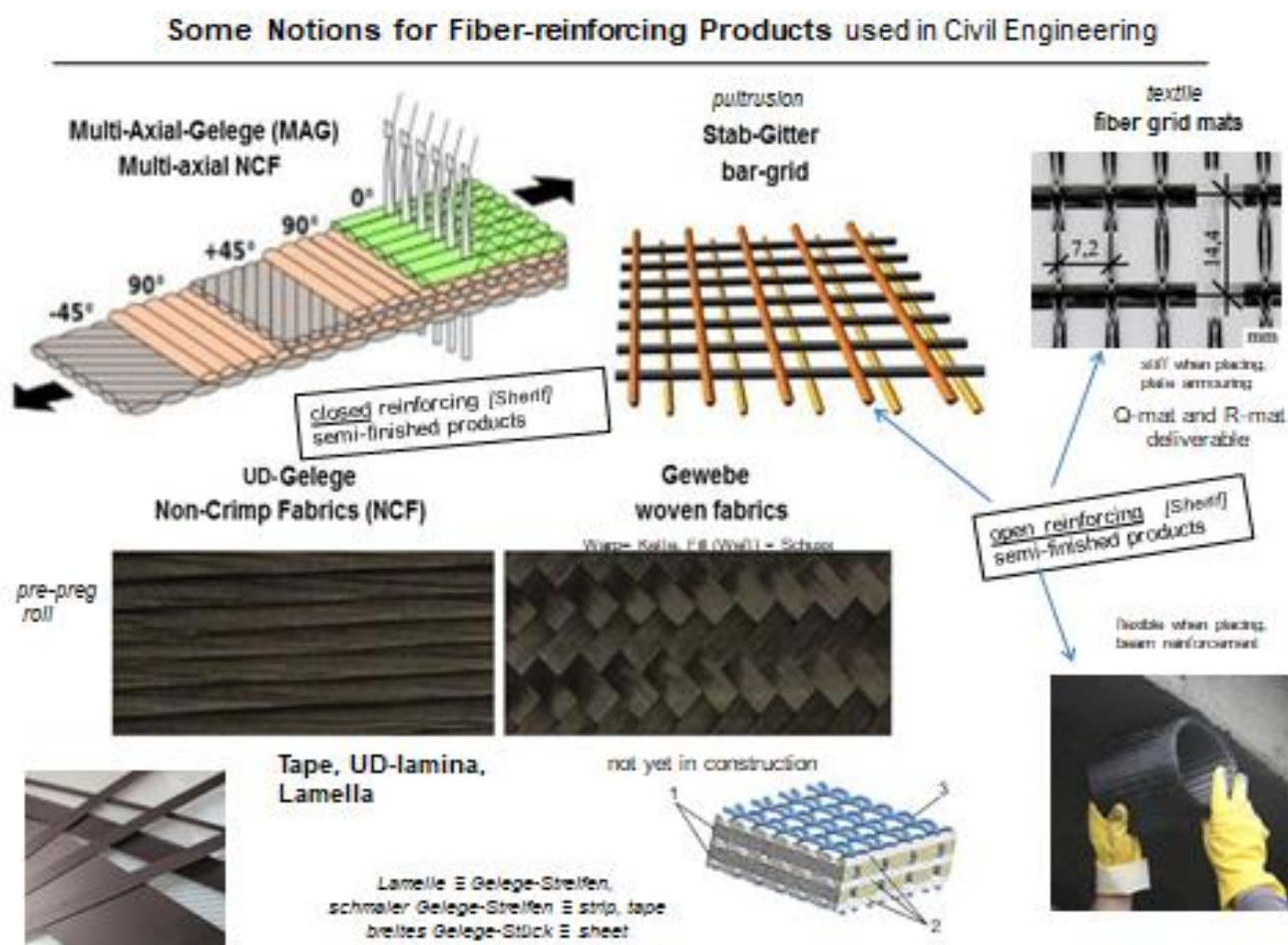


Table1: Ordnungsschema für Faser-Verbund-Werkstoffe FVW  
 wie Faser-Kunststoff-Verbund FKV, Faser-Beton-Verbund FBV, Faser-Verstärkter-Beton FVB,  
 CarbonBeton CB, BasaltBeton BsB, bi-direktional stabverstärkter Beton BDB, UHP-Carbon(kurz)Faser-  
 Beton UHP-CFB. In grün, bereits früher festgelegte Begriffe. [Cuntze mit Kimm, Heppes, Diestel, Butler,  
 Bielak]

isotrop	Normal- beton	Betonmatrix	Wasser + Zement (bspw. CEM I , CEM III + Gesteinskörnung (Sand, Kies, Schotter) + ggf. Zusatzmittel, wie z. B. Fließmittel, Verzögerer				Größtkorn > 4 mm <sup>1)</sup>	Faserbeton StFB CFB AR-Glas, AR-Basalt, PP, PVA Spritzbeton	FVW	
	Feinbeton <sup>1)</sup>		Größtkorn < 4 mm							
FB(V)	CB GB BsB (vereinfachende Begriffe)	FVB	gitterartige Verstärkungsstrukturen 'Bewehrter Beton' praktisch nicht homogenisierbarer Faser-Beton-Verbund = Werkstoffverbund						FVW	
			UDB	BDB	Textilbeton TB		polymer oder minerale Beschichtung			
anisotrop			Litze, Faserstrang, Stab	Stab- gitter- matte	R-, Q- Gitter- matte		gestickt Sandwich	Vlies (wirr bis orientiert, Kurzfasern bis Langfaser)	Kurz-, Langfaser	
FK(V)	GFK CFK AFK BFK BsFK NaturFK	FVK	Bewehrungsform						FVW	
			1D	2D		Bewehrungsrichtung		2D		2D – 3D
			Halbzeuge für tragende Bewehrung (Endlosfaser, Langfaser)							
	UD-Schicht Lamelle		Gelege (MAG) Lamelle	Atlasgewebe Körpergewebe Leinwandgewebe	Gewirk Gestrick Geflecht	Vlies (wirr bis orientiert, Kurzfasern bis Langfaser)			für Matrixver- besserung	
isotrop	Duromer	Polymer matrix	homogenisierbarer Faser-Kunststoff-Verbund FKV = Verbundwerkstoff geschlossene Verstärkungsstrukturen						Spritzguss SMC, BMC	FK
	Thermoplast		Harzsysteme: Epoxide, Thermoplaste, mit Katalysatoren etc.						Faser- kunststoff	

Ordering scheme for fiber-composite materials FCM  
 such as fiber-reinforced polymer FRP, fiber-reinforced concrete FRC, Carbon Concrete C(R)C, CRC:=  
 Carbon-Reinforced Concrete, Bi-Directionally Reinforced Concrete BDRC, UHP-(short)Fiber-Reinforced  
 Concrete UHPFRC. Green coloured are still fixed notions

isotrop	Normal- Concrete	Concrete matrix	water + cement (CEM I, CEM III) + aggregate (sand, gravel) + possibly additives, such as super-plasticiser, retarder				max. grain > 4 mm <sup>1)</sup>	Fiber Reinforced Concrete GFRC CFRC PPFRC PBOFRC	FCM	
	Fine <sup>1)</sup> Concrete		max. grain < 4 mm							
anisotrop	CRC or CC GFC or GC  CFRP GFRP AFP BsFRP	FRC FRP	grid-type reinforcing structures Fiber-Concrete-Composite FCC						FCM	
			UDRC		Textile-Reinforced Concrete TRC					
			rope bar	rebar grid	R-, Q- grid		embroid- ered sandwich	non-woven (randomly oriented, oriented)	short fiber long fiber	
isotrop	Thermosets Thermo- plastics	Polymer matrix	1D						2D – 3D	FCM
			2D Reinforcement Alignment							
			semi-finished products for reinforcements (endless fiber, long fiber)							
			UD ply lamella strips		NCF lamella sheet		fabric	non-woven (randomly oriented, oriented)	for matrix improvement	
			Fiber-Polymer-Composite FPC closed reinforcing structures							
			Resin Systems: thermosets, thermoplastics, with catalysts etc.						SMC, BMC	FP



# 1. Deutsche Fachbegriffe mit Erklärung und Definition

## “A“-Wert:

(Unterer) Toleranzgrenzwert für die Wahrscheinlichkeiten  $p = 99 \%$ ;  $C$  (Vertrauen in Testdatensatz) =  $95 \%$  eines einseitigen Toleranzintervalls beim Merkmal Festigkeit.

*(Note: laut MIL-HDBK5 werden bei vorliegender Normalverteilung sowohl für A-Werte als auch für B-Werte mindestens 10 Stichproben zu 10 Beobachtungswerten verlangt. Ein A-Wert sagt aus, dass er von 99 % aller beobachteten Werte erreicht oder übertroffen wird, bei einem gewählten Vertrauensgrad von  $C = 95 \%$ )*

## Abplatzen:

Bruchversagensfall bei Beton.

*(Notes: (1) aufgrund des verdampfenden vorhandenen Porenwassers entsteht bei Hochtemperaturbeanspruchung von Beton ein Dampfdruck, der zum Abplatzen führen kann. Verhinderungsmöglichkeit durch aufschmelzende PP-Kurzfasern,  $V_f \approx 0,4\%$ , die ein Porensystem für den Wasserdampf bilden. (2) Abplatzen der Betondeckung infolge Volumenzunahme bei Korrosion der Bewehrung)*

## Abreibgewebe: peel ply

Fertigungshilfsmittel zur Erzeugung einer glatten und gleichmäßigen Oberfläche (Optik), sowie zum Absaugen von überschüssigem Harz und eventuell auch um ein Anschleifen vor dem weiteren Bearbeiten zu vermeiden

## Abstandsgewebe:

Halbzeug zur Herstellung von Sandwichbauteilen und auch Vollplatten, s. Fig.23.

*(Note: Sandwich besteht aus zwei Deckflächen mit Kern, wobei der Abstandsgewebe-Kern die Deckflächen mit Garnen (Fasern) verbindet. Abstandsgewebe werden im Betonbau eingesetzt, wenn die obere und untere Bewehrung bei Vollplatten auf Abstand gehalten werden soll)*

## Abstandhalter:

Kleinteile unterschiedlichen Materials, die dafür sorgen, dass der Abstand Bewehrung zur Schalung und zwischen den Bewehrungslagen, sowie die vorgeschriebene Betondeckung gewährleistet werden. Fig.30; Fig.31; Fig.32; Fig.33

*(Notes: (1) Abstandshalter für Stabgitter und textile Gitter sind unterschiedlich.(2) Bei CB ist die Montage der Abstandshalter wegen viel geringerer Überdeckung ein größeres Problem als bei StB)*

## Additive Fertigung:

Verfahren, wobei der Werkstoff zugefügt anstatt entfernt wird, auf Basis von digitalen 3D-Konstruktionsdaten - zur nahezu Net Shape-Fertigung von Bauteilen - wie Prototypen (Rapid Prototyping), Einzel-Produkten (Platten, Wände), Form-Werkzeugen (Rapid Tooling).

*(Notes: (1) 3D-Druck ist eine Untergruppe der additiven Fertigung, Verstärkung ist nur in einer Ebene gegeben. (2) Anwendungen bei Betonmatrix: aus 2D-Schichten aufgebaute 3D-Druck-Schalung mit Formteilen für senkrechte Ränder, oder durch additiv 'gespritzte' Faserbetonmischungen beim Erstellen von Hauswänden (Fig.53) ähnlich Spritzguss bei polymerer Matrix, so dass infolge der Verstärkung in z-Richtung auch Biegemomente aufgenommen werden können. (3) Einfluss von Baurichtung, Qualitätssicherungskonzept, Schwindung. (4) Im Gegensatz zu Urformen, Umformen oder subtraktiven Fertigungsverfahren (Wegnehmen von Material) erhöht sich bei additiven Fertigungsverfahren die Wirtschaftlichkeit mit steigender Komplexität der Bauteilgeometrie. Die Herstellung teurer Freiformschalung hat hier eine Chance, s.a. Fig.56)*

## Adhäsivbruch:

Bruch Grenzflächen zweier Materialien, wie einer Faser-Harz-Grenzfläche oder einer Faser-Haftmittel-Harz-Grenzfläche (vgl. auch Interface-Fläche und Interphase-Material) aber auch zwischen Altbeton und Ort beton

## Alkali-Kieselsäure-Reaktion:

quellfähiges Alkali-Kieselsäure-Gel oder auch ein quellfähiges CSH-Gel bricht durch Volumenvergrößerung den Beton von innen auf mit der Folge Beton-Abplatzen

## Alkali-resistenz der Fasern:

Beständigkeit im hochalkalischen Milieu, in der Reihenfolge steigend: E-Glas  $\Rightarrow$  Basalt  $\Rightarrow$  AR-Glas  $\Rightarrow$

Basalt mit Zirkonoxidbeigabe und Schlichte auf Filament  $\Rightarrow$  CF.

*(Note: Bei alkaliresistenten Gläsern werden Oxide, dieses sind im wesentlichen Siliziumoxid ( $\text{SiO}_2$ ), Zirkoniumoxid ( $\text{ZrO}_2$ ) und Alkalioxide ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ) dosiert und anschließend in den Schmelzofen eingebracht und dann in zwei Temperaturschritten behandelt, sowie abschließend als Spinnfaden gezogen oder geblasen.)*

**Allgemeine anerkannte Regeln der Technik:**

Die (allgemein) anerkannten Regeln der Technik sind Regeln, die in der Wissenschaft als theoretisch richtig erkannt sind und feststehen, in der Praxis bei dem nach neuestem Erkenntnisstand vorgebildeten Ingenieur („Techniker“) durchweg bekannt sind und sich aufgrund fortdauernder praktischer Erfahrung bewährt haben.

**Alterung:**

Gesamtheit aller im Laufe der Zeit in einem Material irreversibel ablaufenden chemischen und physikalischen Vorgänge und zwar vorwiegend im Sinne der üblichen Verschlechterung seiner Eigenschaften (entsprechend DIN 50035 1204)

**Anforderungsliste:** s. a. Pflichtenheft

Zusammenstellung aller Anforderungen an ein auszulegendes, zu bemessendes Bauteil

**anisotrop:**

richtungsabhängige Eigenschaften eines Werkstoffes wie Festigkeit, E-Modul, Wärmeleitfähigkeit

**Anstrengung (Werkstoff-Anstrengung):**

hier, spannungsbezogener Prozentanteil der Ausnutzung der Festigkeit

**Anrißlebensdauer:**

Beanspruchungshäufigkeit oder Schwingspielzahl bis zum erkennbaren Beginn der Schädigung (in der Regel ein Anriß)

**Arbeitsspiel, Lastspiel:**

wiederkehrende Folge von funktionsbedingten Beanspruchungen

**Architekturbeton:** s. a. *Fig.18*.

Ausführungen, die eine möglichst perfekte, einheitliche Oberfläche und Farbe zum Ziel haben, als auch Projekte, bei denen die Natürlichkeit und Lebendigkeit des Baustoffs Beton zugelassen und bewusst betont werden [nach Wikipedia]

**AR-Glas-Faser:**

alkaliresistente (alkaline-resistant) Glasfaser, aufgrund  $\text{ZrO}_2$ -Beigabe, damit im basischen Milieu ( $\text{pH} > 7$ ) die Korrosion der Faser vermieden wird

**Assemblierter Roving:**

im Bündel zusammengefasste Einzelfasern („strand“), aufgewickelt auf eine Spule.

*(Note: Mehrere Bündel werden zu Rovings von zumeist 2450 tex zusammengefasst und z. B. geschnitten der Spritzbetonpistole zugeführt, [H. Zorn])*

**Atlasgewebe:** satin weave fabric

Gewebe, bei dem sich die Kettfaden-Hochgänge und –Tiefgänge weder in Schuss- noch in Kettrichtung berühren.

*(Note: Webart mit geringer Faden-Ondulation, besserer Festigkeit und Steifigkeit als beim Leinwandgewebe und relativ guter Drapierbarkeit, Fig.1)*

**Ausfall:**

Verlust der Fähigkeit eines Bauteils bei Einhaltung spezifizierter Bedingungen die geforderte Funktion zu erfüllen (VDI 4001, B1. 2. Ausfall wird in dieser Richtlinie im Sinne von Zufallsausfall verstanden)

**Ausfallwahrscheinlichkeit:**

Wahrscheinlichkeit, mit der ein Ausfall innerhalb eines vorgegebenen Zeitintervalls und unter vorgegebenen Bedingungen auftritt

**Ausgeglicherer Winkelverbund AWW:**

Schichtenverbund oder Laminat mit  $[\omega/-\omega]$ -Aufbau, dessen Einzellagen also abwechselnd in positiver und negativer Richtung liegen,

*(Note: mehrschichtiges Laminat, winkelsymmetrisch bezüglich einer Mittellinie derart abgelegt, daß jeweils gleich viel Fasern in jeder Lage enthalten sind. Dieser Verbund hat orthogonal anisotrope (= orthotrope) Eigenschaften; s.a. [VDI 2014, Bl.3])*

**Auslegung:** Bemessung

Dimensionierung des Bauteils

*(Note: bei den teureren Composites sollten dabei neben einer robusten Konstruktion, Funktionsintegration, richtigem Materialmix und richtiger Technologieauswahl auch Wartungs- sowie Recyclingkosten beim ‚End-of-Life‘ des Produktes berücksichtigt werden. Prüfbarkeit eines CFK-Bauteils ist ebenfalls ein wichtiger Aspekt bei der Auslegung solcher Bauteile bzgl. Produktion und Inspektionsüberwachung (Festlegung wichtiger technischer Merkmale für die Konstruktion des Erzeugnisses auf Grundlage des Entwurfes, VDI 4001, Bl.4)*

**Ausnutzbarkeit (eines Faser-Werkstoffs):**

Grad, in wie weit z. B. die Faser bei Vorliegen einer dehnungsarmen Matrix beansprucht werden kann

**Ausreißer:**

Meßdaten, die nicht zu einer der Stichprobe zugehörigen Grundgesamtheit passen, indem diese außerhalb eines sog. Erwartungsbereichs liegen.

*(Note: „Ausreißertests“ erforderlich. Der Erwartungsbereich wird in der Regel als Bereich um einen erwarteten Wert herum definiert)*

**Automatisierte Tape-Ablage:** Automated Tape Laying ATL

Herstellverfahren mit breiten Tapes für großflächige Verstärkungen mit keiner bzw. leichter Kontur.

*(Note: Eine ATL-Maschine legt mit ihrem Legekopf ein Thermoset-UD-Prepreg unter verschiedenen Winkeln automatisiert ab. Die Tapes mit Breiten von 75 bis 300mm werden überlappungsfrei mit eng tolerierten Spalten (gaps) abgelegt. Zur Anpassung an die Bauteilkontur können moderne ATL die Tape-Enden auch unter verschiedenen Winkeln schneiden)*

**Automatisierte Faser-Platzierung:** Automated Fiber Placement AFP

Herstellverfahren zur Erzeugung endkonturnaher Strukturbauteile mit lokaler Endlosfaser-Verstärkung.

*(Note: eine AFP-Maschine legt mit ihrem Legekopf parallel bis zu 32 Slit-Tapes (trocken mit Binder, oder auch Prepregs mit Thermoset- bzw. Thermoplast-Matrix) endkonturnah ab. Die Tape-Bändchen in Breiten < 50 mm werden überlappungsfrei mit eng tolerierten Spalten abgelegt. Die Länge jedes Prepreg-Bändchens kann separat geschnitten werden (90°-Schnitt). Die gegenüber ATL schmalere Bändchen erlauben auch das Ablegen von Kurven mit großen Radien (Steering). Mit AFP-Maschinen können somit auch Bauteile mit komplexen Konturen (nicht abwickelbar) und relativ kleinen örtlichen Verstärkungen realisiert werden. Ausschnitte und Durchbrüche können schon beim Ablegen ausgespart werden. Der Materialverlust ist sehr gering)*

**"B"-Wert:**

(unterer) Toleranzgrenzwert für  $p = 90 \%$ ;  $C = 95 \%$ , einseitiges Toleranzintervall bei Festigkeit; s.a. "A-Wert"

**Bahn:** tape

aus vielen Rovings/Tows abgelegtes Band

**Basis-Festigkeiten isotrop, duktil:** metallisch, Maschinenbau

nach ISO :  $R_{p0.2}$  = Spannung bei 0.2 % bleibender Dehnung = Spannung bei definiertem Fließbeginn, und Bruchzugspannung  $R_m$ .

*(Note: eine Bruchdruckspannung  $R_c$  gibt es praktisch nicht, und diese wäre auch nicht relevant für die Bemessung, da in der Regel bei duktilem Werkstoffverhalten eine Verformungsbegrenzung für das Dimensionieren vorliegt)*

**Basis-Festigkeiten isotrop, spröd:** Bruchbemessung

aufgrund der Werkstoffsymmetrie 2 Bruchfestigkeiten:  $R_m$ ,  $R_{mc}$  (t nicht geschrieben, c = compression), beim

Beton  $f_{ctd}$ ,  $f_{cd}$  (c = concrete, c = compression nicht geschrieben, t = tension, d = design) genannt.  
(*Note: beim Beton wird der Werkstoff indiziert, was im Ingenieurwesen sonst generell nicht der Fall ist*)

**Basis-Festigkeiten UD, spröd:**

aufgrund der Werkstoffsymmetrie 5 Bruchfestigkeiten:  $R_{||}^t$ ,  $R_{||}^c$ ,  $R_{\perp}^t$ ,  $R_{\perp}^c$ ,  $R_{\perp||}$

(*Note2: (1) Zahlenwerte aus den traditionellen Versuchen, s.a. [VDI 2014], wobei t = Zug: c = Druck. (2) Für die Faserverstärkungen als Stäbe oder als Faserstränge in einem Gitter wird im Bauwesen ebenfalls die Verwendung von // vorgeschlagen wie  $f_{||}$ , was 'in Faserrichtung' und 'ausgehärtet' bedeutet*)

**Basisvariable:**

stochastischer Konstruktionsparameter, wie beispielsweise der Parameter Festigkeit, der als Zufallsgröße aufgefaßt wird (s.a. Zufallsvariable)

**Batch:** s. a. lot, charge

Betrachtungseinheit, Produktionseinheit.

(*Note: verwandt zu Los, Charge*)

**Bauart:**

Struktur und Entstehungsweise von technischen Objekten.

(*Note: bei Bauwerken bzgl. der tragenden Elemente, Statik, Baumaterialien, Anzahl und Höhe der Geschosse etc.*)

**Bauelement:** Bauwesen

Teil einer Bauteilgruppe

(*Note: Bauelemente sind vorgefertigte Komponenten, die überwiegend zum Verschließen von Bauwerksöffnungen dienen*)

**Bauen im Bestand:**

Instandsetzung, Ertüchtigung (Verstärkung) oder Änderung bestehender baulicher Anlagen.

**Baumaterialien Carbonbeton:**

hier, für den Carbonbeton verwendetes Material (s. Fig.29 bis Fig.36)

**Bauprodukt:** laut BauProduktenGesetz BauPG

im baurechtlichen Sinne alle Erzeugnisse (Baustoffe, Bauteile und Anlagen), die werksmäßig hergestellt werden, um dauerhaft in Bauwerke des Hoch- und Tiefbaues eingebaut zu werden.

**Bauregelliste:**

Liste, welche technischen Regeln – wie Produktnormen oder Richtlinien - für welche Bauprodukte gelten

**Baustahl:**

schweißbarer und spannungsarm glühbarer Stahl (vgl. Betonstahl, Spannstahl)

**Baustahlmatte, Baustahlgewebematte:**

*Lagermatten:* feste Abmessungen 6,00 m x 2,35 m; Q-Matten: zweiachsig gleiche Betonstahlmenge, 150 mm x 150 mm, Q 188  $\equiv$  188 mm<sup>2</sup>/m; R-Matte: für i. W. einachsig gespannte und tragende Deckenplatten, 150 mm x 250 mm, mit mindestens 20% Bewehrungsanteil quer zur Tragrichtung.

*Listenmatten:* flächige Halbzeuge nach Statik-Anforderung mit abweichenden Bewehrungsgraden oder gestaffelter Bewehrung; s. a. Betonstahlmatte, Bewehrungsgitter sowie Fig.1; Fig.30; Fig.43

**Baustoff:**

Material, welches für die Errichtung von Gebäuden verwendet wird, wie Beton, Stahl, Holz, Mauerwerk, Glas).

(*Note: in der Amtssprache als Bauprodukt definiert*)

**Bauteil:**

Untereinheit einer Tragwerksstruktur oder Komponente eines Tragsystems

(*Note: laut BauPG: Stützen, Fenster, WandTablen, Deckenplatten*)

**Bauweisen:** synonym für Bauart [Wikipedia]

Festgelegte Anordnung von Bauelementen.

(*Notes: (1) Maschinenbau: Integral B., differentiale B., Baukasten-B.. (2) Bauwesen: lastpfadgerechte Skelett-*

B., Fertigteil-B., Massiv-B., Holz-B., zweischalige)

**Bauwerk:**

eine von Menschen errichtete Konstruktion, die nur schwer lösbar mit dem Untergrund verbunden ist oder zumindest in ruhendem Kontakt mit ihm steht [Wikipedia]

**Beanspruchung:**

mechanische Spannung oder auch Schnittgröße, verursacht durch eine Einwirkung wie Belastung, Temperatur, Feuchte

**Beanspruchungskollektiv** ( $\neq$  Lastkollektiv):

Datensatz für die betriebsfeste Auslegung von Bauteilen aus einer Auswertung des einwirkenden Kraft-Zeit-(Spannungen aus Lastkollektiv zu ermitteln) oder direkt eines Spannungs-Zeit-Verlaufes.

*(Notes: (1) Einaxiale Lasten oder Kräfte können bereits räumliche Spannungszustände verursachen. (2) Das Strukturmodell koppelt die Spannung mit der Last)*

**Bebinderung:**

Verfahren, z. B. ein Gewebe mit einem EP-Binder versehen, wodurch geschnittene Stücke keine Filamente verlieren

**Befestigungssystem:**

Kraftaufnahmesystem für z. B. großflächige Fassadenplatten zur Fixierung an einer Unterkonstruktion bzw. dem Primärtragwerk

**Belastungsarten:**

Belastungen, im Bauwesen eingeteilt in: Nicht vorwiegend ruhend; Vorwiegend ruhend; Nicht ruhend (zyklisch etc.)

**Bemessung:** Dimensionierung (auch Auslegung) im Maschinenbau

Festlegung der Bauteilgrößen, Dimensionierung des Bauteils

**Bemessungsfestigkeit:**

Wert der Festigkeit, der im Rahmen der Bemessung verwendet wird.

*(Note: Im Bauwesen in der Regel die um den Teilsicherheitsbeiwert reduzierte charakteristische Festigkeit; Index  $d$  gemäß design)*

**Bemessungskennlinie.** s. Spannungs-Dehnung-Linie

**Bemessungspunkt:**

*deterministisch:* Auslegungspunkt, der zu einem Nachweis paßt und zugehörigem Versagensmodus als fiktiver Bruchwert oder zu einer Gebrauchsgrenze wie einer Rissgrößenbegrenzung im Beton oder auch zu Fließbeginn unter Design Limit Load;

*probabilistisch:* der wahrscheinlichste Versagenspunkt, d. b. unter Berücksichtigung der gegenseitigen Beeinflussung der verschiedenen Zufallsvariablen

**Bemessungstabelle:**

Dimensionierungshilfe. z. B. für Textilbetonbauteile unter Biegebeanspruchung

**Bemessungswert:**

Wert, der sich aus der Multiplikation der Repräsentativwerte mit Teilsicherheitsfaktor  $\gamma_R$ ,  $\gamma_S$ , Dauerstandsbeiwert **acc** und/oder Zufügen additiver Größen ergibt.

*(Note: Ist der Teilsicherheitsfaktor in mehrere Faktoren aufgeteilt, so muß in jedem einzelnen Fall der zu berücksichtigende Beiwert angegeben werden)*

**Benetzung:**

Belegung der Filamentoberflächen im Roving beim Aufbringen einer Schlichte

**Beschichtung:** Imprägnierung, Durchtränkung der Produkte Roving/ Tow/ Faserstrang/Stab

Überzug des textilen Produkts aus Gründen des Oberflächenschutzes und der Verbesserung der Haftung, also des Grenzflächenverhaltens von Faserbewehrung-Beton).

*(Note: Organische Polymer-Dispersionen aus EP, Silane Styrol-Butadien, TP-kompatibel und in Zukunft hoffentlich mineralische Beschichtungen, um die Feuerwiderstandsfestigkeit zu steigern. Allein eine*



**Betonspaltung:**

Brucherscheinung unter Druckbeanspruchung des Betons, bei der sich longitudinale, parallel zur Druckrichtung makroskopische Risse ausbilden.

*(Note: bruchmechanisch erklärbar. Kann auch durch Querkzugspannungen ausgelöst werden)*

**Betonstahl (Bewehrungsstahl):** früher Armierungseisen, Moniereisen

gerippter Stabstahl

*(Note: Betonstabstahl B500B (nach DIN 488) (früher „BSt 500 S(B)“) mit Durchmessern von 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25, 28, 32 und 40 mm und Lieferlängen bis 18 m. Streckgrenze von 500 N/mm<sup>2</sup>, E = 200000 N/mm<sup>2</sup>. Duktilitätsklassen: B bedeutet hochduktil, A bedeutet kaltverformt und normal duktil)*

**Betonstahlmatte:** s.a. Baustahlmatte

fertig verschweißte Matten aus geripptem Stabstahl, kaltverformt (Duktilitätsklasse A) oder warmgewalzt (Duktilitätsklasse B).

*(Note: B500A und B500B in verschiedenen Varianten, als mit Durchmessern von 6 mm bis 14 mm (14 mm nur in hochduktiler Ausführung, 6 bis 12 mm in normalduktiler oder hochduktiler Ausführung, Betonstahlmatten in Duktilitätsklasse B (hochduktil) werden auf Anforderung gefertigt)*

**Betonüberdeckung:**

Abstand zwischen Außenkante der Bewehrung und Betonaußenkante, der dem Korrosionsschutz und der Sicherstellung des Verbundes dient.

*(Note: für den korrodierenden Stahl einige cm, bei Carbon genügen mit den üblichen getränkten Carbon-Bewehrungen 1,5-2,0 cm Betonüberdeckung)*

**Betonzusatzmittel:**

Wasser-gelöste oder aufgeschlämmte Mittel, die dem Beton beigemischt werden, um durch physikalische und/oder chemische Wirkungen die Eigenschaften des Frisch- oder Festbetons zu verändern, wie Verarbeitbarkeit, Abbindeverhalten, Erhärten oder Dauerhaftigkeit [Wikipedia]

**Betonzusatzstoffe:**

pulverförmige oder flüssige Zusätze, die bei der Betonrezeptur (im Gegensatz zu den Betonzusatzmitteln) berücksichtigt werden müssen

**Betonzuschlag:** s. Gesteinskörnung (Mineralstoffgemisch)**Betriebsfestigkeit:**

Ermüdungsfestigkeit unter Betriebslastenspektrum, d.b. bei unterschiedlichen Spannungsverhältnissen  $R$

**Beulfaktor:** see buckling factor**Bewehrung Beton (Armierung):** Faserstränge, Stäbe, Gitter,

Verstärkungseinlage in einer Matrix für die Aufnahme von Zug- und Druckkräften.

*(Notes: Bewehrung in einem Betonbauteil, die entsprechend DIN EN 1992-1-1 Abs. 9.1 aus folgenden Gründen notwendig ist: Vermeidung unangekündigten Versagens eines Stahlbetonbauteils (Duktilität), Aufnahme von Zwangsschnittgrößen, Vermeidung breiter Mikro-Risse (Mikro bzgl. Breite). (1) pultrudierte Bewehrungstäbe zeigt Fig.32. (2) Textile Gitter zeigen die Fig.23 bis Fig.39. (3) Table 1 listet Bewehrungsfasern (kurz, lang, endlos) mit einigen zugehörigen Kennwerten auf; Table 2 von Toray ergänzt die Information. Wie unterschiedlich die textile Verarbeitbarkeit der Fasern bezüglich Verkrümmung ist, visualisiert der sog. Knotentest, Fig.19. (4) Fig.33 zeigt einige 'Fasern', die zur 'Verbesserung' der Matriceigenschaften eingesetzt werden, speziell deren Zugfestigkeit)*

**Bewehrungsgrad:** Synonym zu Bewehrungsgehalt

querschnittsbezogener Anteil der Bewehrung. [WikiBeton]

*(Note: Anteil der Bewehrung in Prozent. Üblich für Stabstahl  $\rho_s < \approx 3\%$ , in Sonderkonstruktionen über 8% gibt es ein Betoneinbringungsproblem; für textile Bewehrung  $< 1,5\%$ . (2) Höchstbewehrung-Stahl: Summe der Querschnittsfläche der Zug- und Druckbewehrung darf  $A_{s,max} = 8\%$  der Betonquerschnittsfläche  $A_c$  nicht überschreiten, auch im Bereich von Übergreifungsstößen. Im Bauwesen wird sich üblicherweise auf die Statische Nutzhöhe bezogen. (3) Mindestbewehrung-Stahl  $A_{s,min}$  in der Zugzone, gemäß DIN EN 1992-1-1, zur Vermeidung eines unangekündigten Versagens und zur Erzeugung von mehr kleineren Rissen anstatt von*

weniger aber größeren Rissen. Solche Rissbildung entsteht infolge von frühem Schwinden des Betons und infolge von Zwangsspannungen durch die auftretende Hydratationswärme. Unbedenklich, je nach Expositionsklasse, sind 0.1 bis 0.4 mm)

**Bewehrungsgitter:** Stahl oder textile Materialien

Gitter aus pultrudierten Stäben und textile Gitter aus Rovings/ Tows/ Fasersträngen

**Bewehrungskorb:**

3D-Bewehrungsstruktur, die Normalkräfte, Momente und eventuell auch Querkkräfte aufnimmt.

*(Note: Man kann auch bei einer Platte ohne planmäßige Querkraftbewehrung, d. h. nur mit konstruktiver Abstandhalterbewehrung, bereits von einem Bewehrungskorb sprechen)*

**Bewehrungsplan:**

Ausführungsplan, nach dem die Stäbe oder Gittermatten abgelängt, gebogen und schließlich verlegt werden

**Bewehrungsstab:** s. Betonstahl

**Bewehrungsstruktur:** Verstärkungsstruktur

nach den Kraftverläufen gestaltete Anordnung

**Bezeichnungen:** Spannungen, Festigkeiten

Table 3 zeigt allgemein die Festigkeiten ( $R \equiv f$ ) für isotrope, transversal-isotrope (UD-Schicht, Lamelle) und orthotrope Schichten. Fig.60 zeigt links die Spannungsbezeichnungen für die 3D-beanspruchte Lamelle und rechts für eine Gewebesicht sowie in Fig.61 Bezeichnungen für eine gedrehte UD-Einzelschicht im Laminat.

*(Note: hier Leinwandgewebe, homogenisiert zu einem Leinwandgewebe-Verbundwerkstoff, womit eine vereinfachte Betrachtung als verschmierter rhombisch-anisotroper Werkstoff möglich wird)*

**Biegerollendurchmesser-Festlegung:** textile Matten und Stäbe

Infolge Krümmungsbeschränkung Radius > 30 mm für textile Matten und Stäbe aus Fasersträngen (Rebars) wegen Faserbeschädigung und wegen unterschiedlicher Spannungen über den Querschnitt des Faserstrangs.

*(Note: Rollendurchmesser und damit die Umbiegung sind vom verwendeten Fasermaterial abhängig, s.a. Fig.19)*

**Bindefaden:** Wirkfaden

(Maschen-)Faden, der textile Teile verknüpft, Fig.24.

*(Note: z. B. Polypropylen PP bei textilen Gittern von V. FRAAS (SITgrid), TUDATEX)*

**Bindemittel:**

reaktive mineralische (Fein)stoffe, wie Portlandzementklinker, Puzzolane, latent hydraulische Stoffe, die nach Zugabe von Wasser hydraulisch erhärten.

*(Note: Bei strenger Definition ist Wasser nicht im Bindemittel enthalten, so dass auch das frische oder erhärtete Gemisch aus Bindemittel und Wasser oft Bindemittel genannt wird, beim Carbonbeton zumeist bestehend aus 2 Masseteilen Zement (CEM I, CEM III plus ein Masseteil Puzzolan))*

**Binder:**

verbindendes Material

**Bindertyp:**

Polymere (z. B. EP) in Pulverform als Granulat und reaktive mineralische (Fein)stoffe, wie Portlandzementklinker, Puzzolane, latent hydraulische Stoffe, die nach Zugabe von Wasser hydraulisch erhärten

**Bindungsart:**

Fachbezeichnung für die Webbindung von Geweben, Fig.20, und die Maschenbindung von Gewirken.

*(Note: Je nach Muster werden die Gewebe mit Bezeichnungen wie "Köper", "Leinen", "Satin" hinsichtlich der Webart beschrieben. Die Webart beeinflusst die Verarbeitbarkeit und die mechanischen Eigenschaften der für die FVW-Technologie verwendeten Gewebe. Fig.59 zeigt die Modellierbarkeit an, wobei sich z. B. Atlas festigkeitsmäßig noch am Besten mit einem UD-Modell aus zwei Lagen abschätzen läßt, während Leinwand und Köper schon Gewebe-Modellierungen verlangen)*



**Bindungspunkt:**

Kreuzungspunkt von Kett- und Schussfäden bei Geweben

**Bruchmodell (Festigkeit):**

mathematische Formulierung der Oberfläche des Bruch-Versagenskörpers  $F = 1$  eines Werkstoffs

**Bruch:**

Trennung eines Ganzen in Teile wie z. B. Werkstofftrennung durch Spannungseinwirkung

**Bruchanalyse, schichtenweise:**

Berechnungsart der klassischen Laminattheorie, bei der ein Bruch in einer Einzelschicht ES des Schichtenverbundes SV beim jeweiligen Auftreten berücksichtigt wird, s.a [CLT]

**Bruchebene:**

‘Wirkebene‘ maximaler Anstrengung, d.h. derjenigen Ebene, in der der Bruch stattfindet

**Bruchfläche:**

morphologische ‘Fläche‘, d.h. Oberfläche des Bruchs in der Bruch-‘Ebene

**Bruchgefahr:**

Gefahrengröße, die rechnerisch an die Höhe der Anstrengung gekoppelt ist

**Bruchgrenzfläche:**

Oberfläche (engl. surface) des Bruch-Versagenskörpers, der bis zu sechsdimensional sein kann.

*(Note: Zu jedem Punkt der Fläche gehört ein Bruchspannungszustand. Der mehrdimensionale Bruch-Körper schließt alle gerade noch ohne Bruch ertragbaren Spannungszustände ein)*

**Bruchhypothese:**

plausible Annahme über die Bruch verursachenden Zustände.

*(Note: als Bruchkriterium wird eine mathematische Beziehung betrachtet, die ohne Bruch ertragbare Spannungszustände von solchen unterscheidet, die nicht ertragbar sind,  $F > 1$ )*

**Bruchmechanik:**

Theorie, die das Verhalten von Rissen in einem beanspruchten Werkstoff beschreibt und dazu Größen nutzt, die den das Versagensverhalten entscheidenden Zustand an der Rißspitze charakterisieren

**Bruchmodi (Festigkeit):**

hier sind beispielsweise solche für den UD-Werkstoff gemeint, die bei Faserbruch FB und Zwischenfaserbruch ZFB auftreten.

*(Note: Jeder Bruchmodus ist prinzipiell einem Bruchtyp zuzuordnen, der Werkstoff hat dabei noch keinen Riß. Bruchmechanische Modi sind dabei also nicht eingeschlossen. Diese sind wichtig für das Schadenstoleranzkonzept, das bei Auftreten technisch relevanter Rißgrößen für den Nachweis anzuwenden ist)*

**Bruchtypen:**

Normalbruch, Schubbruch, oder auch Quetschbruch (Bröselbruch) eines porösen Werkstoffs im Druckbereich

**Bruchwiderstand der Wirkebene:**

Widerstand einer Spannungs-Wirkebene gegen ihren Bruch infolge einer einzelnen, in ihr wirkenden Normal- oder Schubspannung **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

**(Riss)Bruchzähigkeit (Bruchmechanik):** hier Mode I

kritischer Spannungsintensitätsfaktor  $K_{Ic}$  für Rissausbreitung im Rissöffnungsmodus I (wesentlicher Modus).

*(Note: Widerstand eines Werkstoffs bei vorliegenden Rissen, bei Delaminationen. Hängt mit der Energiefreisetzungsrage  $G_c$  zusammen über  $G_c = K_{Ic}^2 \cdot (1 - \nu^2) / E$ , mit - hier - Index  $c$  für critical)*

**Bügel:**

Bewehrungselement, das planmäßig die infolge Querkraftbeanspruchung entstehenden Zugkräfte aufnimmt.

*(Note: in Fachwerkmodellen zum Widerstehen der Querkraft herangezogen)*

**Building Information Modeling:** ‘digitaler Zwilling‘

modellbasierte Leistungsmengenermittlung zur Kostenplanung, Vergabe, und Abrechnung, s. VDI 2552, Blatt 3).

*(Note: Als normative Grundlage für Ausschreibung, Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken zum Nutzen von Auftraggebern und Auftragnehmern, für mehrere Fachdisziplinen vorgesehen. Ziel ist ein digitales Abbild des späteren Gebäudes nebst Building Information Management)*

### **Bulk Molding Compound:**

formlose 3D-Halbzeugmasse mit duromerer Matrix, kleinen Füllstoffen und Kurzfasern. Preß- und spritzbar

**buy-to-fly:** im Bauwesen analog als 'buy-to-use' nutzbar

Werkstoff-Ausnutzungskennzahl, definiert als dimensionsloser Quotient aus Material-Input (buy) und Output (fly, use).

*(Note: Diese Kennzahl kann für jeden einzelnen Fertigungsschritt berechnet werden. Das Produkt aller einzelnen Faktoren der gesamten Produktionskette (Faser  $\Rightarrow$  Faserhalbzeug  $\Rightarrow$  Bauteil) ergibt die Gesamt-Werkstoff-Ausnutzungskennzahl)*

### **Carbonatisierung:**

chemische Umwandlung der alkalischen Bestandteile des Zementsteines durch  $\text{CO}_2$  in Calciumcarbonat.

*(Note: Die Geschwindigkeit verringert sich mit zunehmendem Betonalter, poröse Betone carbonatisieren schneller als dichte, trockene Betone langsamer als feuchte. Die beim Vorgang hervorgerufene Verringerung des alkalischen Milieus ( $12.5 = \text{pH} \Rightarrow 10$ ) verursacht die Korrosion der Stahlbewehrung, ist dickenabhängig. Beton-Abplatzproblem möglich)*

### **Carbonfaser CF:**

industriell hergestellte Fasern aus kohlenstoffhaltigen Ausgangsmaterialien, die durch Rohstoff-angepasste chemische Reaktionen in grafitartig angeordneten Kohlenstoff umgewandelt werden. CF-Sorten sind (s.a. auch Table 1 für Tenaxfasern):

- HT-Fasern = High Tenacity (hochfest), Standardtyp
- ST-Fasern = Super Tenacity, höhere Festigkeit als HT
- IM-Fasern = Intermediate Modulus, höherer Modul als Standardtyp
- HM-Fasern = High Modulus (Hochmodulfasern)
- UHM-Fasern = Ultra High Modulus

*(Notes: (1) Jährliche CF-Produktion entspricht 4 min Stahlproduktion, jährliche Betonproduktionsmenge  $\equiv$  Ölproduktionsmenge. (2) Oxidation der CF ab ca.  $500^\circ\text{C}$  durch Sauerstoffkontakt muss vermieden werden)*

### **charakteristische (Nenn-) Festigkeit $f_{ck}$ :**

statistisch abgeminderte, mittlere 28-Tage-Betondruckfestigkeit.

*(Note: Annahmen dabei sind Normalverteilung und weniger als 5% gebrochen. Index c für concrete und k für charakteristisch)*

### **charakteristische Werte (Dimensionierungskennwerte):**

Der Hauptrepräsentativwert einer "Einwirkung" S ist sein "charakteristischer Wert". Wird dieser charakteristische Wert statistisch ermittelt, dann wird er so festgelegt, daß er mit vorgegebener Wahrscheinlichkeit während eines "Bezugszeitraumes" nicht im ungünstigen Sinne überschritten wird. Dieser Bezugszeitraum ist von der vorgesehenen Lebensdauer des Tragwerkes und der Dauer der Bemessungssituation abhängig. Analoges gilt für den Widerstand R bzw. f [Rac87]

### **CEM:**

Abkürzung für Haupt-Zementarten unterteilt in Portlandzement CEM I, Portlandkompositzemente CEM II, Hochofenzement CEM III, Puzzolanzenement CEM IV, Kompositzement CEM V

**Charge:** s.a. Los, Batch

Menge von Einheiten eines Erzeugnisses, denen unterstellt wird, daß sie in den interessierenden Merkmalen übereinstimmen ([VDI 4001, B1.3.] "Los" wird auch für andersartig abgegrenzte Mengen wie z. B. Fertigungslos, Lieferlos benutzt)

### **Crossply (-Laminat):**

bi-direktionales Laminat, das wechselnd in  $0^\circ$  und  $90^\circ$  bewehrt ist

### **Dauer(schwing)festigkeit:**

Ermüdungsfestigkeit

*(Note: Dauerfestigkeit ist diejenige Spannung, die ein Werkstoff gerade noch beliebig oft erträgt. Zur Berechnung der Dauerfestigkeit benötigt man grundsätzlich Schwingfestigkeitsversuche normalerweise unterhalb des sog. Zeitfestigkeit-Spannungslevels. Ziel der Durchführung der Versuche ist immer, eine hohe Treffsicherheit mit möglichst wenigen zyklischen Versuchen zu fahren, um Zeit und Kosten einzusparen., Falls produkt-bezogen ausreichend ( Annahme) wird der Wert  $2 \cdot 10^6$  Lastspiele angesetzt, für Windräder  $10^8$  Lastspiele)*

**Dauerstandfestigkeit ('statische Ermüdung'):** static fatigue  
statische Langzeitfestigkeit unter Umwelteinflüssen

**Dauerhaftigkeit (Bauwerken):**

Widerstandsfähigkeit gegenüber äußeren Einflüssen.

*(Notes: (1) Fähigkeit gegenüber mechanischen Einflüssen wie statischen und dynamischen Lasten (Windlast, Erdbeben, Schwingungen, Lawinen, Flutwellen, Impakt) sowie gegen ungewöhnlichere Ereignisse wie Blitzeinschlag oder elektromagnetische Strahlung, Durchfeuchtung, Wechselfeuchte, Hitze und Kälte, Temperaturwechsel und Frost, UV-Strahlung, chemischem Angriff (saurer Regen, Tausalz, Salpeter) sowie Schädlings- und Pilzbefall bei organischen Materialien. (2) Ohne Dauerhaftigkeit gibt es keine Nachhaltigkeit!)*

**Deckschicht:**

Schutzschicht, die die Dauerhaftigkeit erhöht

**Defekt:**

Störstelle im Werkstoff wie Pore, Einschluß, lokale Trennung von Filament und Matrix; auch Rißkeim oder Fehlstelle genannt.

*(Note: aus Gewährleistungsgründen sollte das Wort Defekt lieber ersetzt werden durch Mangel (= flaw)*

**Degradation:**

Abbau der Werkstoffeigenschaften unter Last- und Umwelteinflüssen

**Dehnkörper:**

Versuchskörper zur Messung der Zugfestigkeit und der Zugspannungs-Dehnungs-Kurve.

*(Note: Zugfestigkeit und Dehnung können nicht direkt "gemessen" werden, sondern sind abgeleitete Größen aus Messung von Bruchkraft und Längenänderung)*

**Dehnrateneffekt:** Werkstoff

Einfluss der Dehngeschwindigkeit  $d\epsilon/dt$  in [1/s] im Volumen des Probekörpers innerhalb einer definierten Probekörperlänge auf die gemessene Eigenschaft.

*(Note: In der Regel ist bei Stoßbelastung eine Steigerung der Festigkeit gegeben. Die gemessene Zug-Bruchkraft bei einem CFK-Roving-Probekörper kann von 100% bei 1/s um etwa ein Drittel bei  $\dot{\epsilon} = 100/s$  steigen [Unger, ITM Dresden])*

**Delamination:**

Trennung einzelner Schichten im geschichteten Körper, Laminat.

*(Note: Ursachen sind z. B. ist ein Impakt (Stoß), bei gekrümmten Laminaten auch Umlenkkräfte, die interlaminare Schub- und Querkzugspannungen hervorrufen)*

**Delaminationsfläche:**

Schadensgröße, die für den Schadenstoleranznachweis wichtig ist.

*(Notes: (1) Der Eintritt einer Delamination wird für einen vorliegenden Spannungszustand theoretisch mit 3D-Festigkeitsbedingungen abgeschätzt, also vorhergesagt. (2) Seine Größe kann mittels ZfP abgeschätzt werden. (3) Zur rechnerischen Vorhersage gibt es noch die neueren Verfahren: Das bruchmechanische „Cohesive zone model“ und das Modell von Leguillon)*

**denier:** s. tex

den = 1g / 9000 m.

*(Note: Veraltete Maßeinheit für eine Feinheitangsangabe)*

**Deterministisches Nachweisverfahren:**

Nachweisverfahren, in dem die Entwurfsparameter als deterministische Größen und nicht als in der Realität vorliegende Zufallsvariable behandelt werden

**digitaler (virtueller) Zwilling:**

digitale Repräsentanz eines Objekts aus der jetzigen oder zukünftigen realen Welt, welches einen übergreifenden Datenaustausch ermöglicht.

*(Note: Im Bauwesen i. W. durch BIM abgedeckt)*

**Dichte:**

Verhältnis des Gewichtes eines Körpers zu seinem Volumen,  $\rho$  in  $\text{g} / \text{cm}^3$

**Differentialthermoanalyse DSC: Differential Scanning Calorimetry**

Verfahren der thermischen Analyse zur Messung von abgegebener oder aufgenommener Wärmemenge einer Probe bei Aufheizung, Abkühlung oder einem isothermen Prozess [Wikipedia].

*(Note: Häufig verwendetes Verfahren, um insbesondere den Aushärtegrad zu bestimmen)*

**Dimensionierung: Bemessung im Bauwesen**

Festlegung von Abmessungen inklusiv Materialien.

*(Note: Als Leistung sowohl im Neubau als auch bei Bauen im Bestand erforderlich)*

**Direktroving: Web-Roving**

direkt gezogener Roving, bei dem der Zwischenschritt des Aufwickelns der Filamentbündel auf eine Spule (Cake) entfällt.

*(Note: Der Roving besteht daher nicht aus einzelnen Strands sondern nur aus den einzelnen Fasern. Diese werden sofort nach der Beaufschlagung mit Schlichte aufgespult. Alle Fasern besitzen dabei die gleiche Spannung. Direkt-Rovings werden wegen der über den Querschnitt gleichmäßigen Eigenschaftsverteilung als Ausgangsprodukt für Webprozesse verwendet zu trennen (s.a. Assemblierter Roving). Die Schlichte darf nicht zu einer Versprödung führen, sondern muss vielmehr sicher stellen, dass die Rovings die verschiedensten Umlegungen in Web- oder Gelegemaschinen unbeschadet überstehen)*

**Drapieren:**

Aufbringen von flächigen Halbzeugen auf gekrümmte Oberflächen

**Drehung: twist**

Richtungsänderung der Filamente im Faserbündel.

*(Note: Zur besseren textilen Verarbeitung und Vermeidung des Abspleißens einzelner, abstehender Filamente, werden Garne um die Längsachse verdreht, d.h. eine „Schutzdrehung“ aufgebracht oder Richtungsänderung der Filamente im Faserbündel oder Rovings im Rovingbündel. Zusätzlich erreicht man dadurch, dass alle Filamente gleichmäßiger tragen. Zu hohe Drehung verhindert aber eine optimale Tränkung)*

**Druckstrebe:**

Lastübertragungselement bei Stabwerkmodellen im Betonbau.

*(Note: Beispiel bei Modellannahme für den Biegebalken)*

**Dry-Fiber-Placement DFP:**

automatisiertes Preformingverfahren zur lastpfadgerechten Anpassung der Faserorientierung und -position in Preforms für Harzinjektionsverfahren

**Duromer (Duroplast):**

gehärtetes Kunstharz, das nach seiner Aushärtung durch Erwärmung oder andere Maßnahmen nicht mehr verformt werden kann

*(Note: Es enthält harte, amorphe, unlösliche Polymere. Seine Makromoleküle sind engmaschig vernetzt, was ihre fehlende Erweichung beim Erwärmen verursacht, und sie nach der Aushärtung nur spanabhebend bearbeitbar macht)*

**E-Glas:**

Silikatglas, welches außer Siliziumoxyd und Boroxyd in größeren Mengen Aluminiumoxyd und Calciumoxyd enthält.

*(Note: Man bezeichnet dieses Glas als "alkalifreies" Glas, da der Gehalt an Alkalioxyden unter 1 % liegt)*

**Eigenspannungen:**

Gleichgewichtszustand innerer Spannungen im Werkstoff ohne äußere Krafteinwirkung.

*(Notes: (1) Beim Herstellen eines Laminates können auf Mikroebene, Makroebene (Schichtebene) und Laminatenebene Eigenspannungen entstehen. (2) Zwischen Filament und Matrix. Dieser Effekt ist aber in den gemessenen Festigkeitswerten berücksichtigt. (3) Zwischen den Schichten im Laminat, z. B. infolge unterschiedlicher Temperatur in den unterschiedlich reagierenden Komponenten eines Verbundes, sowie meist dann, wenn Einsatztemperatur  $\neq$  Aushärtetemperatur. (4) Können Druck-Vorspannungen eingebracht werden, so wirkt sich das festigkeitsmäßig günstig aus (entspricht Vorspannung im Bauwesen). (5) im Bauwesen werden Eigenspannungen als Zwang oder Zwangsspannungen benannt)*

**Einzelfaser: Filament**

Faser beliebiger Länge, endlich bis endlos

**Einwirkung S:**

auf das Tragwerk einwirkende Kraft- und Verformungsgrößen, die bei den Lastannahmen in der Baustatik berücksichtigt werden.

*(Note: Eine auf das Bauteil wirkende innere oder auch äußere Kraft bzw. dadurch verursachte Schnittgrößen oder Spannungen. Dabei zählt eine auf das Tragwerk einwirkende Kraft zu den direkten Einwirkungen und eine Verformung, z. B. infolge Setzung des Tragwerks, zu den indirekten Einwirkungen [DIN EN 1991]. Die Einwirkungen werden unter anderem unterschieden in ständige und veränderliche Einwirkungen, wobei letztere noch in günstige und ungünstige aufgeteilt werden. Ständige Einwirkungen sind beispielsweise das Eigengewicht (Wirkung der Gewichtskraft) des Tragwerkes oder auch Anbauten wie Ausbau, Installationen etc. In den meisten Fällen wirken sie sich ungünstig (belastend) für das Tragwerk aus. Eine günstige Einwirkung liegt vor, wenn das Tragwerk bereichsweise entlastet wird. Veränderliche Einwirkungen sind Schnee- und Windlasten, Eisdruck, Wasserdruck, Auftrieb, Nutzlasten (Personen, Fahrzeuge, Überdruck in Tunnel-baustellen, Fahrkräne in Werkshallen etc. Weiter gibt es Umwelteinwirkungen wie Chloride, Tausalz)*

**(Einzel)schicht ES: ply, lamina, layer**

Grundlegende Einheit oder Bauelement mit dem ein SV, sei es ein Wickelverbund oder ein Prepreg-Laminat, aufgebaut wird.

*(Note: Grundeinheit der FKV-Berechnung, kann aus mehreren gleichgerichteten Lagen, Schichten bestehen. ES-Typen sind P-ES, G-ES, W-ES, s. a. [VDI2014])*

**Einzelstab:**

einachsiges Verstärkungselement

**Elastomere:**

gummiähnlicher Kunststoff (EPDM, SBR, Silikon, PUR)

**Endlofaser: s.a. Faser**

endlose Einzelfaser

**Endverankerungslänge (Matte, Stäbe):**

Länge, die zur vollständigen Einleitung der axialen Zug- oder Druckkraft eines Bewehrungselements über den Verbund in die Matrix benötigt wird

**Energieeinsparung:**

Thermische Entwurfsgröße von zunehmender Bedeutung

*(Note: Bei CF und GF im Beton gilt gegenüber StB: CF-Bewehrung ist aufgrund höherer Festigkeit und geringerer Dichte eine Einsparung von etwa 70%. Bei AR-GF ist die Einsparung sogar noch etwas höher, aber die GF-Dauerstandfestigkeit ist schlechter als bei CF. Carbonbetonbauweise benötigt aber weniger Beton als bei StB. Verschnitt ist natürlich jeweils zu berücksichtigen)*

**Entwurf:**

Vorläufige Abschätzung und Festlegung von Gestalt, Eigenschaften und Hauptabmessungen des späteren Erzeugnisses aufgrund einer Analyse des Verwendungszweckes (VDI 4001, B1.4)

**Epoxidharze (EP-Harze):**

Reaktionsharze, welche mit Härtungsmitteln durch Polyaddition in den festen, unschmelzbaren Zustand

übergehen.

*(Note: Der entstehende Formstoff gehört damit zur Gruppe der Duroplaste. Die Bezeichnung Epoxidharze leitet sich her von der wichtigsten funktionellen Gruppe dieser Harzklasse, der Epoxidgruppe, auch als Oxyranring oder Äthylenoxidgruppe bezeichnet. Als Härtungsmittel können multifunktionelle Polyamine oder Polyamidoamine sowie bifunktionelle Polycarbonsäuren und deren Anhydride eingesetzt werden. Die Härtungsreaktion läuft ohne Abspaltung flüchtiger Bestandteile ab. Die auftretende Schwindung ist relativ gering, LN 29 936, B 1. 2)*

### **Ermüdung (Material-Ermüdung):**

Schädigungsprozess in einem Werkstoff unter Umgebungseinflüssen wie wechselnder mechanischer Belastung, wechselnder Temperatur, UV-Strahlung, ionisierender Strahlung, eventuell unter zusätzlicher Einwirkung eines korrosiven Mediums

### **Ermüdungsfestigkeit:**

Restfestigkeit nach einer bestimmten Lebensdauer.

*(Note: Unter Betriebsbeanspruchungen ertragene repräsentative Spannung, z. B. als Spannungsamplitude mit Mittelspannung bei einer bestimmten Bruchlastspielzahl)*

### **Erste-Schichtversagen:**

s. First-Ply-Failure FPF

### **Ertüchtigung, Nachverstärkung:**

Verfahren zur Rehabilitierung wie Spritzbeton, geklebte CFK-Lamellen, CF-Textilbetonverstärkung

### **Entfestigung:**

Degradation des Werkstoffs unter mechanischer Beanspruchung und Umwelteinfluß

**Eurocodes:** s.a. Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.

harmonisierte technische Regelwerke für die Tragwerksplanung von Bauwerken

*(Note: Grundlage europäisch einheitlicher Bezugsdokumente für den Nachweis der wesentlichen Anforderungen Mechanische Festigkeit und Standsicherheit sowie die Bemessung im Brandfall nach der Bauprodukten-Richtlinie, als Vertragsgrundlage für Ingenieur- und Bauleistungen, als gemeinsame Grundlage für die harmonisierten Produktnormen und europäischen technischen Zulassungen für Produkte)*

### **Eurocode 1 “Einwirkungen“:**

EU-Norm, die Entwurfshinweise und Angaben für Einwirkungen zur Tragwerksplanung enthält

### **expliziter FEM-Löser:**

Solver, die die Verschiebungsvektoren  $u_i$  zu bestimmten diskreten Zeitpunkten  $t_i$  innerhalb eines vorgegebenen Zeitintervalls berechnen.

*(Note: Strukturmechanische FEM-Systeme werden durch lineare Gleichungssysteme 2. Ordnung dargestellt  $m \cdot \ddot{\mathbf{u}}(t) + D \cdot \dot{\mathbf{u}}(t) + K \cdot \mathbf{u}(t) = \mathbf{P}(t)$  mit  $M$ ,  $D$ ,  $K$  als Massen-, Dämpfungs- und Steifigkeitsmatrix des Systems und  $\mathbf{P}(t)$  als der Vektor der externen Kräfte, die auf das Modell wirken, sowie  $\mathbf{u}$  dem Vektor der Freiheitsgrade*

### **Expositionsklasse: Betonbau**

Dauerhaftigkeit-sicherstellende Einstufungsklasse,

*(Note: X-Klassen mit XA chemischer Angriff, XC Carbonatisierung, XD Chloride, XF Frost kategorisieren die verschiedenen Angriffsklassen. Konzentration, Wassereinfluß und Wechsel bestimmen den Schweregrad der vorliegenden Exposition)*

### **Faden: thread**

ein aus Fasern zusammengesetztes, biegeschlaffes Gebilde, das eine dominierende eindimensionale Erstreckung sowie Gleichmäßigkeit in Längsrichtung aufweist [nach WIKIPEDIA].

*(Note: Etwas älterer Überbegriff für ein Garne, Tow, Roving, Zwirn, Faserstrang (im Bauwesen üblich) der bei der Herstellung textiler Flächengebilde im textilen Sprachgebrauch üblich und auch normgerecht ist)*

### **Fadenspreizung:**

Verfahren, den Faden bei der Ablage breiter zu machen.

*(Note: Das Wort Faserspreizung ist nicht korrekt)*

**Faser (Einzelfaser, Elementarfaser):** fiber

feines, langes Gebilde, das aus einem pflanzlichen, oder tierischem Rohstoff besteht oder das synthetisch erzeugt ist (CF) und als Ausgangsmaterial für eine weitere Verarbeitung dient.

*(Notes: (1) Es gibt die praktisch endlose Faser (Endlosfaser), sowie sind ungefähre Längenangaben für Kurzfasern < 3 mm, für Langfasern < 50 mm.). (2) Primärfasern sind von der Spule, Sekundärfasern sind rezyklierte Fasern)*

**Faseraktivierung:**

Heranziehung der unterschiedlich geraden Einzelfasern im Bündel oder der Rovings im Bündel zum gemeinsamen Tragen

**Faserarten anorganisch (amorph, isotrop):**

Stahl, Aluminium ( $Al_2O_3$ , Nextel), Magnesium, Glas ( $SiO_2$ -Baugruppen), Bor, Asbest, Basalt, Keramik (SiC, Nicalon).

**Faserarten organisch (anisotrop):**

Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polyamid (PA), Polyester (PES), Polyacrylnitril (PAN), Carbon, Aramid, Polyester, Naturfasern.

**Faserarten Naturfasern:**

Wolle (Haare), Seide, Baumwolle, Flachs, Sisal

**Faserauszug:**

Herausgleiten der Fasern aus der Matrix unter Zug.

*(Note: Für Rovings der Rovingauszug)*

**Faserauszugtest:**

Experiment zur Feststellung von Interfacefestigkeit und festigkeits-geeigneter Faserlänge

**Faserbeton:**

Kurzfasern- und Langfasernzugabe bei der Herstellung des Betons, um seine Eigenschaften wie Festigkeiten, Steifigkeiten, Rißverhalten zu verbessern.

*(Notes: (1) Ausführungsmöglichkeiten: isotrope, geschichtete/gradientierte 2D und kraftflussorientierte räumliche Anordnung. (2) Faserbeton kann im Gegensatz zum reinen Beton auch signifikante Zugkräfte übernehmen. Dies führt zu der Möglichkeit, neue Formen statisch tragend herzustellen, s. Faserbeton-Fertigteiltreppe in Fig.40. Es entsteht somit ein quasi-homogener Baustoff, der im ungerissenen Zustand seine Tragfähigkeit besitzt. Somit ist er in seiner Eigenschaft nicht mit Stahlbeton vergleichbar, sondern eher mit isotropem sprödem Stahl oder Beton und eventuell Fels. Eine kurzfaserverstärkte Betonmatrix ist in D derzeit noch nicht als tragende Bewehrung anrechenbar, sondern mehr zur Matrixverstärkung mit Rissbreitenbeschränkung gedacht. Faserbeton ist ein Verbundwerkstoff, den man also als homogenisierten Werkstoff bemessen kann. Bei Stahlbeton und Textilbeton handelt es sich hingegen prinzipiell um einen Werkstoffverbund, den man in der Regel nicht einfach zu einem (Verbund)Werkstoff 'verschmieren' darf. (3) Bei Faserbeton müssen zusätzlich zu den Basiswerten von Faser und Beton (Zementanteil, Mischungsverhältnis) die 'kombinierten' Werte gemessen und angegeben werden. Beton und Faser müssen einer getrennten und dann auch kombinierten Qualitätskontrolle unterliegen. Dies gilt für Stahlbeton und ebenso natürlich auch für Faserbeton. Beispiele für verwendete Fasern sind endverankerte Stahl-Langfasern (steelcrete) und Stahl-Kurzfasern, Carbonfasern, Polymerfasern als Mikrofasern mit < 0.3mm Ø und als Makrofasern nach DIN EN 14889-2. (4) Eine Verwandtschaft von Kurzfasern-Spritzbeton mit Kurzfasern-Spritzguss ist gegeben.*

**Faserbruch:**

Bruch von Filamenten

*(Note: Im weiteren Sinn auch für Rovingbruch gebraucht)*

**Fasergehalt:**

Faservolumengehalt  $V_f$ .

*(Note: Bei Stahldrahtfasern im Bauwesen als Dichtebezeichnung  $\rho_f$  benannt ( $\approx 1-2\%$ ))*

**Faserhalbzeugprodukte:**

UD-Gelege, Multiaxialgelege MAG, Gewebe, Gestricke, Gesticke, Geflechte, Matten, Vliesstoffe

**Faserklassen:**

	Modul	Festigkeit
HT (high tensile)	225 - 265 GPa	4000 - 5000 MPa
IM (intermediate modulus)	270 - 320 GPa	5400 - 6500 MPa
HM (high modulus)	330 - 400 GPa	3200 - 4700 MPa
UHM (ultra high modulus)	430 - 590 GPa	3800 - 4700 MPa

**Faserkosten und Faserleistungsfähigkeit:** CF gegenüber Stahl

15 €/kg (CF) / 1 €/kg (Stahl) = 15, bei 6-fach höherer CF-Tragfähigkeit ergibt das ein Faserleistungsfähigkeitsverhältnis von 2,5.

*(Note: Von Vorteil ist, dass CF nur ¼ der Dichte von Stahl hat, sowie dass die Betonüberdeckung nur mehr etwa 15 mm beträgt und damit in etlichen Anwendungen das Eigengewicht reduziert wird. Ein neues Konzept für die Herstellung von CF (bei DITF / Centrotherm) soll den Energiebedarf als größten Kostentreiber halbieren und damit zukünftig den Preis weiter senken helfen)*

**Faserkunststoffverbund (FKV):** Untergruppe von FVW

Verbund-Werkstoff, aus Fasern und der Bettungsmasse Kunststoff bestehend, s. a. Faser-Verstärker-Kunststoff FVK).

*(Notes: (1) FKV ist die im Maschinenbau übliche Bezeichnung, weil die Fasern nicht nur eine Verstärkungsaufgabe haben wie es beispielsweise bei Sensoren, Heizungsdrähten der Fall ist. Diese Bezeichnung wäre auch auf das Bauwesen zu übertragen, da die Fasern auch dort nicht nur eine Tragfunktion haben. Beispiel GFK = GlasFaserKunststoff(verbund). (2) Von FKV spricht man in der Regel erst, wenn die Fasern Endlosfasern aber zumindest Langfasern sind). (3) Makromechanisch kann der Verbund FKV oft als ein homogener Werkstoff modelliert werden)*

**Faserorientierung:**

Ausrichtung der Fasern im textilen Halbzeug, im Spritzguss, in einer additiven Fertigungsschicht

**Faser(orientierungs)winkel:**

Richtungswinkel wie in zuvor, im Laminat s. Zeichen  $\alpha$

**Faser-Rezyklat:**

rezyklierter Faser-Werkstoff rCF mit vorliegender Faserlängenverteilung

*(Note: abgeminderte Eigenschaftswerte. Zehntausende Tonnen rCF fallen jährlich an)*

**Faserschlichte:** sizing, avivage

Schutzüberzug für die Verarbeitung von Filamenten.

*(Note: Wird im Maschinenbau und im Bauwesen teilweise nach der Verarbeitung der Faserstränge wieder entfernt. Die Schlichte (sizing, avivage) kann auch als Haftvermittler zwischen Filament und Matrix dienen. Dazu muss jedoch die Schlichte auf das entsprechende Matrixsystem abgestimmt sein. Filamente mit einer üblichen Epoxidschlichte sind nur eingeschränkt ausnutzbar, da zu niedriger Temperaturlevel. Bei AR-Glas und Basalt hat die Schlichte zudem noch eine wichtige Schutzfunktion gegen Alkaliangriff aus dem Beton)*

**Faserstrang:** s.a. Faden

Bündel aus Einzelfasern.

*(Notes: Im Bauwesen (1) häufig benutzt als Sammelbegriff für die Begriffe Garn, Roving und Tow in Stäben und textilen Gittern. (2) Für den aus einem Gitter herausgeschnittene Dehnkörper benutzt)*

**Faserverbund-armierter Beton:** Untergruppe von FVW

endlosfasermierter Beton mit polymerer oder mineralischer Beschichtung der Filamente und Tränkung (Beschichtung) der Faserstränge

**Faser-Verbund-Werkstoff (FVW):**

Oberbegriff für alle Verbund-Werkstoffe, die Fasern beinhalten, um in der Kombination bestimmte Eigenschaften zu erhalten, damit bestimmte Funktionen erfüllt werden können.

*(Note: Vereinfachter Begriff, da sowohl Verbund-Werkstoffe als auch Werkstoff-Verbunde dazu gehören, s. Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.)*

**Faser-Verstärker-Kunststoff (FVK), s.a. Faserkunststoffverbund (FKV):** Untergruppe von FVW



Verbundwerkstoff, bestehend aus einer lasttragenden, steifigkeitgebenden Faserverstärkung und einer Kunststoffmatrix als Bettungsmasse, die die Fasern stützt und schützt.

(*Note: Makromechanisch kann dieser Verbund oft als ein homogener Werkstoff angenommen werden*)

**Faservolumenanteil  $V_f$ :** s.a. Fasergehalt

Anteil der Fasern im Bauteil in % (weitere Anteile sind Matrix und Luft)

**Faserwirksamkeit:**

Ausnutzbarkeit der Fasern im Halbzeug oder Bauteil

**Fehler: Mängel**

Harzester, Ondulationen, Delaminationen, Poren, Flusen, Nähfehler, lose Filamentstücke, etc.

**‘Feinbeton‘:**

Mörtel, gemäß maximaler Korngröße  $< 4 \text{ mm } \emptyset$ .

(*Note: Bereits Beton genannt wegen seines Einsatzes als feste Matrix. In der DIN EN 206-1/ DIN 1045-2 ist der Begriff Feinbeton nicht definiert, so dass vereinzelt der Begriff ‘Beton mit geringem Größtkorn‘ verwendet wird*)

**Feinheit:**

längenbezogene Masse von Spinnfäden (Fasersträngen, Garnen, Rovings, Tows) in der Textilindustrie.

(*Note: Bezeichnung wird in "tex" angegeben: 1 tex = 1 g / 1000 m. Für die Kunststoffverstärkung betragen z. B. die Spinnfadenfeinheiten der verschiedenen Textilglas-Produkte in der Regel 10, 40, 80 und 150 tex. Bei 40 tex besteht der Spinnfaden z. B. aus 204 Elementarfasern von 10  $\mu\text{m}$  Durchmesser. Größere Spinnfadenfeinheiten als 40 tex ergeben sich durch höhere Elementarfasern-Anzahl bzw. durch höheren Elementarfasern-Nenn Durchmesser*)

**feinkörnig:** s. ‘Feinbeton‘

**Festigkeit:** Basis-Festigkeit

werkstoffbezogene Zahlenangabe für eine Grenzbeanspruchung oder maximal aufnehmbare Spannung

**(Druck-)Festigkeitsklassen:** Beton nach Eurocode 2

Druckfestigkeitsklasse	$f_{ck, cyl}^{1)}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ck, cube}^{2)}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105 <sup>3)</sup>	90	105
C100/115 <sup>3)</sup>	100	115

<sup>1)</sup>  $f_{ck, cyl}$ : charakteristische Festigkeit von Zylindern, Durchmesser 150 mm, Länge 300 mm, Alter 28 Tage

<sup>2)</sup>  $f_{ck, cube}$ : charakteristische Festigkeit von Würfeln, Kantenlänge 150 mm, Alter 28 Tage

<sup>3)</sup> Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall erforderlich

**Filament:** Einzelfaser, Elementarfasern

Lange, sehr dünne Einzelfaser (im Hightec-Bereich zumeist endlos gesehen, s. a. Fig.19, **Fehler!**)

**Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.;** Table 1; Table 2)

*(Note: Begriff für eine einzelne Faser von praktisch unbegrenzter Länge und einem bestimmten Faserdurchmesser, gewöhnlich im Spinn- oder Düsenziehverfahren hergestellt, 5 bis 50  $\mu\text{m}$ . Werden als Spinnfäden gebündelt und dann zusammengefasst in Fasersträngen als Tow (ungedreht) oder als Roving (eventuell leicht gedreht und damit runder Roving) auf Spulen gewickelt. Bei CF ab 1000 = 1k Filamente)*

**Filamentdurchmesser  $\Phi$ :**

GF 5-24 mm , CF 6-7 mm, Asbest < 3 mm, Basalt 9-13 mm GF 5-24 mm , CF  $\approx$  6-7 mm, Asbest < 3 mm, Basalt 9-13 mm

**Filamentgarne:**

Garne, hergestellt aus einer Bündel an Filamenten (Einzelfasern), nach dem Spinnprozess

**Finish: Haftvermittler**

Mittel zur Endbehandlung der Oberfläche von Fasern, um bessere Verbundeigenschaften zu erhalten, z. B. in der Matrix-Grenzfläche

**First-Ply-Failure (FPF):**

erster auftretender Mikro-Riß in irgendeiner Schicht des Laminates.

*(Note: Dieser Riß kann durch Zwischenfaserbruch (ZFB) in der Matrix, der Grenzfläche oder auch als traglastentscheidender Faserbruch (FB) erfolgen)*

**Fließmittel: Betonzusatzstoff**

wasserreduzierende Beigabe zur Absenkung des Bindemittelanteils, Verbesserung der Verarbeitbarkeit.

*(Note: Speziell wichtig bei Transportbeton zur Erzeugung niedrigerer Betonviskosität, Reduktion des Wasser-Zement-Wertes, stabilerer Betonmischung, längerer Verarbeitbarkeit)*

**Fließmodell:**

Modell, das das mehrachsige Fließen eines Werkstoffs ab Fließbeginn beschreibt.

*(Note: Im Zugbereich nur für sich duktil verhaltende Werkstoffe anwendbar, unter Druck ist öfters ebenfalls bei halbspröden Werkstoffen ein Quasi-Fließmodell für das nichtlineare Verhalten anwendbar. Für die Beschreibung des Materialverhaltens von Mörtel unter Druck wird zumeist das elastisch-idealplastische (Quasi-)Fließmodell nach Drucker-Prager und für spröden Naturstein das Bruchmodell nach Mohr-Coulomb verwendet. Achtung: Bruchmodelle  $\neq$  Fließmodelle!)*

**Formwerkzeug:**

Bearbeitungswerkzeug, das in den formenden Fertigungsverfahren (nach DIN 8580), Urformen und Umformen, in Werkzeugmaschinen oder im Handwerk verwendet wird

**Fraktilwert: s. Quantil**

**früher Zwang:**

Zwangszugspannungen, Eigenspannungen infolge zu schneller Hydratationswärmeentwicklung aus Verformungsbehinderung beim jungen Beton.

*(Note: Gekoppelt an die Abkühlung und den beim Aushärten zunehmendem E-Modul. Erfordert Mindestbewehrung nach DIN 1992-2/NA, besonders wichtig bei dicken Bauteilen)*

**Fügetechnik:**

In der Fertigungstechnik die dauerhafte Verbindung mehrerer Körper

**Füllstoff:**

Einsatzstoffe, um gezielt Eigenschaften einer Matrix zu verändern.

*(Note: Gilt für Maschinenbau und Bauwesen)*

**Füllsimulation:**

Rechnerische Erfassung des Füllens von z. B. einem Spritzgußteil aber natürlich auch von einem Betonkörper

**Funktion:**

Eine durch den Verwendungszweck bedingte Aufgabe [DIN 31 051, Teil 10].

*(Note: Im allgemeinen Sprachgebrauch wird "Funktion" sowohl im Sinne einer "Aufgabe" als auch der "Erfüllung einer Aufgabe" oder auch der "Fähigkeit zur Erfüllung einer Aufgabe" verwendet)*

**Fused Layer Modeling FLM:**

Kunststofffilamentverarbeitender, schmelzstrang-ablegender additiver Herstellungsprozess für Kunststoffbauteile.

*(Note: Z. B. eine Bauteilhülle in PVA-3D-Druck, Füllung in PU-Guss)*

**Garn:** Tow, Roving, s. a. Faden

Bündel aus endlichen Einzelfasern (Fasergarn) und endlosen Einzelfasern.

*(Note: Zur besseren textilen Verarbeitung und zur Vermeidung des Abspießens einzelner, abstehender Filamente, werden Garne um die Längsachse verdreht, d.h. eine „Schutzdrehung“ aufgebracht. Zusätzlich erreicht man dadurch, dass die Einzelfasern gleichmäßiger tragen. Zu hohe Drehung verhindert aber eine optimale Tränkung. Bei runden Rovings ist die Schutzdrehung größer. Garn wird auch synonym für 'Faden' verwendet)*

**Garn-Feinheit tex:** s.a. Feinheit

Benennung der Garne, Tows, Rovings in tex = g / 1000 m.

*(Note: Bei Kohlenstofffasern hat sich die Bezeichnung nach der Anzahl der Filamente durchgesetzt. Ein 48k Tow im Bauwesen besteht dementsprechend aus 48000 Filamenten. Über die Dichte der Faser lässt sich die Tex-Zahl in die Anzahl der Filamente überführen. Heavy tow: besteht aus ungefähr 50k or 100k Filamenten (100k-CF-Tow = 6667 tex  $\approx$  6.7 kg/km = 6.7 g/m.)*

**Garn-Imprägnierung:**

Tränkung durch Flüssigkeit oder im nicht-ausgehärteten Zustand durch Zufügung von z. B. beim Aushärten schmelzenden TP-Pulvern oder TP-Fasern zu den tragenden Fasern

**Gasbeton (Porenbeton):**

leichter, hochporöser, mineralischer Baustoff auf der Grundlage von Kalk-, Kalkzement- oder Zement-Mörtel, der durch Blähen posiert und einer Dampfhärtung unterzogen wird

**Gaußsche Normalverteilung:**

am häufigsten angewendete Wahrscheinlichkeitsverteilung.

*(Note: Für E-Moduli anwendbar, für Festigkeit ist die logarithmische Normalverteilung besser geeignet, für Lasten Extremwertverteilungen)*

**Gebrauchstauglichkeit:** Gebrauchsfähigkeit

Bauwerkseigenschaft, die uneingeschränkte Nutzung für den vorgesehenen Zweck gewährleistet.

*(Note: Mit den Eigenschaften Sicherheit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit bildet sie die grundlegenden Säulen des konstruktiven Ingenieurbaus)*

**Geflecht:**

textiles Flächengebilde, das durch die Verkreuzung diagonal zur Produktions- oder Herstellrichtung angeordneter Fäden entsteht.

*(Note: Geflechte werden unterschieden in Flach-, Rund- (z. B. um einen Kern herum geflochten, auch aufgeblasene Schläuche - also ohne Kern - werden benutzt) und 3D-Geflechte (Fadenführung in allen Raumrichtungen und dadurch in sich gefüllt)*

**Gel-Coat:**

schnell erstarrende Reaktionsharzmasse.

*(Note: Wird verwendet, um die Oberfläche von FKV zu verbessern und/oder einzufärben. Es handelt sich hierbei um diejenige Schicht, die als erste in die Form eingebracht wird)*

**Gelege:**

flächenförmiges Halbzeug aus Fäden; s. Fig.1

*(Notes: (1) Nicht gewebtes Gebilde aus einem oder mehreren Faden-Systemen, deren Fäden parallel nebeneinander und vorwiegend auf einem Trägermaterial liegen (in Anlehnung an DIN 61 850). Uni-axial – Gelege (UD-Gelege) und Multi-Axial-Gelege MAG mit Bindefäden und ohne Bindefäden 'trocken' (falls chemisch oder thermisch verfestigt) oder mit Matrix als Prepreg. (2) Ein Aufbau aus mehreren Gewebeschichten ist zwar eine Ablage aber kein Gelege sondern ein Laminataufbau (stack). (3) Ein Bewehrungsgitter im Bauwesen darf also nicht Gelege genannt werden, eine Lamelle jedoch; Fig.1)*

**Gelierzeit:** Topfzeit

Dauer bis zum Zeitpunkt, wo die Viskosität schlagartig ansteigt

**Geo-Textilien:**

flächige (2D) oder dreidimensionale (3D) textile Strukturen, die zumeist wasserdurchlässig sind.

*(Note: Dienen als Baustoff im Bereich des Tief-, Wasser- und Verkehrswegebbaus und sind für geotechnische Sicherungsarbeiten ein wichtiges Hilfsmittel, drainierende, trennende, abdichtende, schützende und bewehrende Funktionen zu übernehmen und in Kontakt mit dem Boden zu stehen)*

**gerissene Zugzone:**

strukturmechanische Modellannahme bei der Bemessung von Betonbauteilen

**Gesteinskörnung:**

körniges Material, welches mit Wasser und Zement für die Herstellung von Beton geeignet ist, Zuschlag

**gestickte textile Bewehrung:** s. Fig.27**Gestrick:**

textiles Maschengebilde aus Garnen (Fäden) durch Maschenbildung auf einer Stickmaschine industriell hergestellt, s. Fig.20

**Gewebe:**

textiles Maschengebilde aus Garnen (Fäden) durch Maschenbildung auf einer Webmaschine industriell hergestellt, s. Fig.20

*(Note: Flächenförmiges Erzeugnis der Weberei aus mindestens zwei rechtwinklig oder nahezu rechtwinklig in einer bestimmten Bindungsart miteinander verkreuzten Fadensystemen Fig.20. Fäden in Längsrichtung heißen Kette oder Kettfäden. Die Querfäden heißen Schuss oder Schussfäden. Verbunden sind die Fäden durch die Verbindungsart Fadenverkreuzung. Fadenverkreuzung bedeutet dabei nicht, dass Fäden kreuzend aufeinander liegen, sondern dass Fäden in einem bestimmten Rhythmus, der Bindung genannt wird, über und unter den querliegenden Fäden durchgehen. Damit ein Gewebe ausreichend schiebefest ist, müssen die Kett- und Schussfäden meistens relativ dicht gewebt werden. Deshalb weisen Gewebe bis auf wenige Ausnahmen auch ein geschlossenes Warenbild auf. Gewebearten sind Leinwandgewebe, Köpergewebe, Atlasgewebe)*

**Gewirke (knits):**

textiles Maschengebilde aus Garnen durch Maschenbildung auf einer Wirkmaschine industriell hergestellt; Fig.20

**Gewebebindungsarten:** types of mesh weave

Leinwand, Köper, Atlas; s. Fig.20

**Gitter 2D:**

flache, offenmaschige, mit Fasersträngen (Rovings, Tows, Garnen) oder Stäben erstellte Struktur; s. Fig.24 bis Fig.29

**Gitter (Stab-Gitter) 2D:**

Gitter, aus einzelnen Verstärkungsstäben (rebars) aufgebaut; s. Fig.30

**Gitterweite:** s. Maschenweite**Gitter '3D':** Abstandsstruktur, Abstandsgewebe

2 Gitterflächen sind mit Stehfäden verbunden und bilden ein offenes Abstandsgewebe, Fig.23 und Fig.26.

*(Note: Für den Werkstoff-Modellierer vielleicht besser 2.5 D-Gitter genannt, da zwar räumliche 3D-Struktur aber kein wirkliches 3D-Werkstoff-Halbzeug); s. Fig.23)*

**Glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK):**

Werkstoff aus gehärteten Reaktionsharzmassen mit Glasfaserverstärkung.

*(Note: Entsteht durch Tränken von Textilglasfasern mit Reaktionsharzmassen, siehe VDI-Richtlinie 2010, B 1.1, DIN 7728, B 1.2)*

**Glasfasern:**

aus einer Glasschmelze gezogene Glas-Filamente.

*(Note: Sorten E, AR, ECR, H )*

**Glasübergangstemperatur:** Glaspunkt

Temperatur, bei der ein Polymer in einen zähflüssigen Zustand übergeht

**Gradientenbeton:**

Beton, bei dem der Bauteilaufbau auf die statischen und bauphysikalischen Anforderungen hin optimiert wurde, indem durch geschichtetes Giessen unterschiedliche Porosität eingebracht wird.

*(Note: Gradierung der Porosität des Betons führt zu Massenreduktion und Energieeinsparung [Her15], Fig.49)*

**Grenzfläche:** Faser-Matrix-Grenzfläche, Interface

Kontaktfläche zwischen Faser und Matrix.

*(Notes: (1) Grenzfläche = Fläche zwischen zwei verschiedenen Medien: z. B. bei Glasfaser ist es die Kontaktfläche zwischen der Glasoberfläche und der Schlichte oder dem Finish, bei einem Laminat ist es die Kontaktfläche zwischen der Verstärkung und dem laminierenden Harz. (2) Das Interphase-Material in der Grenzfläche ist ein entscheidendes Element, um gute Verbundeigenschaften zu erzielen. Dazu wird die Faseroberfläche 'funktionalisiert' über Direktbehandlung und/oder den Schlichteüberzug. (3) Nicht zu verwechseln mit einer Versagens-Grenzfläche wie der ZwischenFaserBruch-Grenzfläche.)*

**Grenzflächenscherfestigkeit:**

Widerstand, den ein Festkörper tangentialen Scherkräften entgegensetzt

*(Note: Gibt die maximale Schubspannung  $\tau$  an, mit der ein Körper vor dem Abscheren belastet werden kann, d. h. die auf die Bruchfläche bezogene maximale Tangentialkraft)*

**Grenzzustand:**

Zustand, bei dem eine Funktionsanforderung nicht mehr erfüllt werden kann

**Grenzzustand der Tragfähigkeit GZT:**

Grenzzustand, der im Zusammenhang mit dem Nachweis der Tragsicherheit verwendet wird

**Grenzzustandsfunktion:**

Funktion für einen Versagensmodus  $i$ ,  $g_i(\mathbf{X}) = 0$ , wie Knicken, FB, ZFB.

*(Note: Kann zu einem Wert-Überschreitungsproblem oder auch zu einem Toleranzbreite-Bereichsproblem gehören)*

**Größeneffekt:**

Fehlstelleneinfluß in Abhängigkeit von der Größe von Oberfläche und Volumen.

*(Note: Sowohl in Filamenten als auch in Probekörpern, abhängig von Volumen und Glattheit der Oberfläche, und Faserschichten macht sich der Einfluß innerer Fehlstellen bemerkbar. Entsprechend dem Weibull-Volumeneffekt führt ein größeres Volumen zu kleinerer Festigkeit aber in der Regel zu kleinerer Streuung, was die durchzuführende statistische Abminderung meistens günstiger macht)*

**Größtkorn:**

Größtes in der Gesteinskörnung enthaltenes Korn.

*(Note: Große Körner haben im Verhältnis zu ihrem Volumen eine kleinere Oberfläche als kleine Körner und benötigen daher weniger Zementleim zum Umhüllen. Durch Verwendung eines größeren Größtkorns lassen sich [Beton Wiki]: bei gleichbleibender Wasserzugabe die Verarbeitbarkeit verbessern, oder bei gleichbleibender Verarbeitbarkeit die Wasserzugabe vermindern und die Festigkeit erhöhen, oder bei gleichbleibender Verarbeitbarkeit und Festigkeit die Zementzugabe vermindern. Der Durchmesser des Größtkorns, das sich in einem Bauteil anwenden lässt, ist begrenzt durch die Abmessungen des Bauteils: Das Größtkorn soll nicht größer sein als etwa 1/3, besser 1/5 der kleinsten Abmessung eines Bauteils, sowie kleiner sein als der kleinste lichte Abstand der Bewehrungseinlagen)*

**Grundgesamtheit:**

Gesamtheit von betrachteten Einheiten [ISO 3534] einer Population

**Güte:**

Ausführungsqualität

**Härter:**

Stoffe oder Stoffgemische, die im Sinne der einschlägigen Kunststoff-Normen, die Polymerisation (Metacrylat-, UP-Harze) oder Polyaddition (EP-Harze) und damit das Härten bewirken (DIN 16 945, B1. 1)

**Härtung:**

Bezeichnung für den Übergang von Reaktionsharzmassen in dreidimensional vernetzte Produkte.

*(Notes: (1) Prozeß, wie die Matrix durch Katalysatoren gesteuerte Härtingsreaktion mit begleitendem, in der Regel Eigenspannungen erzeugenden Volumenschrumpf (Schwindung) konsolidiert, beim nicht temperbaren EP schlechter als bei TP. (2) Ein großes Problem für den Eigenspannungsaufbau ist unterschiedliche Aushärtung im Bauteil. Kalthärtung bei RT unter Einsatz von sog. Beschleunigern verringern das Eigenspannungsproblem falls die Aushärtezeit nicht zu verkürzt wird). (3) Es wird zwischen drei Reaktionsarten unterschieden: Polymerisation, Polyaddition, Polykondensation [VDI-Richtlinie 2010, B 1.1]).*

**Härtungsgrad:**

erreichtes Niveau der Aushärtung

*(Note: Messung mit DSC oder evtl. Torsionsschwingversuch zur Feststellung, ob Nachhärtung notwendig ist)*

**Häufigkeit:**

(VDI 4001, B1.5) absolute Häufigkeit = Anzahl der Beobachtungswerte, die gleich einem vorgegebenen Wert sind, oder zu einer Menge von vorgegebenen Werten gehören.

*(Note: Relative Häufigkeit = Absolute Häufigkeit, dividiert durch die Gesamtzahl der Beobachtungswerte)*

**Häufigkeitsverteilung:**

allgemeine Bezeichnung für den Zusammenhang zwischen den Beobachtungswerten und den absoluten und relativen Häufigkeiten bzw. Häufigkeitssummen

**Haftung:**

hier Filament-Matrix Interface-Eigenschaft

**Haftscherfestigkeit:** s. Grenzflächenscherfestigkeit**Haftvermittler:**

Ausrüstung der Fasern, die die gute Haftung erst herstellt, damit das Potential der tragenden Faser wirklich ausgenutzt wird.

*(Note: Grenzschichtdicke ca. 200 nm (Interphasematerial im Interface), das sind nur wenige Prozent des Matrixanteils. Der Haftvermittler kann auf die Verstärkung aufgetragen und/oder dem Harz beigemischt sein, in Anlehnung an DIN 61 850)*

**Halbzeuge (textile):** im Bauwesen zumeist Verstärkungs – oder Bewehrungsstrukturen genannt

Rohmaterial, das in eine bestimmte Form gebracht wurde, Fig.23 - Fig.27.

*(Note: In [Che11] werden textile Halbzeuge unterschieden nach ihrer Geometrie (1D, 2D, 3D); ihrer Verstärkungsstruktur (Bewehrungsausrichtung: UD, bi-axial, tri-axial,etc.) und ihrer bindungsbedingten Struktur (Garnverkreuzung, Garnverschlingung, Stehfäden bis z-Verstärkung). Ein 3D-Halbzeug, d.h. mit wirklicher z-Verstärkung, das wohl als verschmierter (Verbund)Werkstoff modelliert werden könnte, zeigt Fig.22)*

**Harz:** Kunst-Harz

organisches Polymer

**Harzsystem:** Matrixsystem

Mischung aus Reaktionsharz, Verdünner, Härter und Beschleuniger

*(Note: enthält Zusätze, notwendig für den Verarbeitungsprozess und das Produkt)*

**Haupt(normal)spannungen:**

$\sigma_I, \sigma_{II}, \sigma_{III}$

**Hauptrichtungen:** Hauptspannungsrichtungen

Richtungen, in denen die Hauptnormalspannungen auftreten.

*(Notes: (1) I,II-Hauptachsensystem (orthogonale Schnittrichtungen), wo die Schubspannungen verschwinden. (2) häufig die Ablagerichtung der Fasern, z. B. in 0° und 90°-Richtung bei einem Laminat [0/90]).(3) Auch für*

die transversal-isotropen UD-Werkstoffe gibt es Hauptspannungsrichtungen, und zwar senkrecht zur Faserrichtung)

### **High-Performance Concrete HPC:**

Hochfester Beton.

*(Note: Für die Herstellung von HPC werden nach dem Stand der Technik zumeist Portlandzemente verwendet, die 95-100 % Klinker enthalten. HPC muss nicht Feinbeton sein: Fast jeder Beton, der eine schöne Eigenschaft hat, die der Normalbeton nicht mitbringt, wird als Hochleistungs-beton HPC bezeichnet)*

### **High-Performance-Computing HPC: Hochleistungsrechnen**

use of parallel processing for running advanced application programs efficiently, reliably and fast

### **Hochfester Beton HFB:**

Beton ab einer charakteristischen Zylinderdruckfestigkeit von von mindestens 50 N/mm<sup>2</sup> (wie der C55/67), bis einschließlich 100 N/mm<sup>2</sup> (C 100/115), klassifiziert gemäß [EC2]

### **Homogen:**

(1) Aus Gleichartigem aufgebaut in Bezug auf einen Werkstoff. (2) In Bezug auf den Spannungszustand: über größere Bereiche relativ unveränderlich. (3) In Bezug auf eine mathematische Funktion  $F$

*(Note: Bezüglich (3), eine Festigkeitsbedingung  $F$  ist bezüglich der Spannungen homogen vom Grad  $r$ , wenn bei Multiplikation aller auftretenden Spannungen mit einem Faktor  $\lambda$  (übliche Methode der sog. proportionalen Steigerung aller Spannungen in  $F$ ) aus  $F$  der Faktor  $\lambda^r$  ausgeklammert werden kann)*

### **Hybridgarn:**

Garn aus Mischung unterschiedlicher Fasern wie CF mit GF oder mit AF, aber auch ein Garn aus Vertärkungsfasern mit schmelzenden TP-Filamenten, die dann eine TP-Matrix bilden

### **Hybrider Verbund:**

Funktionsoptimaler Verbund aus mehreren Werkstoffen.

*(Notes: (1) Um Materialien optimal bzgl. einer gewünschten Funktion ausnutzen zu können, muss man diese hybrid einsetzen. (2) Bedingt durch unterschiedliche Werkstoffe, bestehen aber Herausforderungen bzgl. Kontakt-Korrosion (elektrochemische Potentialdifferenz wie beispielsweise bei Alu -1200 mV gegenüber CFK +350 mV) und entsteht schwierigeres Recyclen)*

### **Hydratation (Zement):**

chemischer Vorgang im Beton.

*(Note: Zement bindet etwa 25 % seiner Masse an Wasser chemisch (Hydratwasser) und etwa 15 % seiner Masse physikalisch (Gelwasser). Das so gebundene Wasser beträgt also etwa 40 Masse-%, entsprechend einem Wasserzementwert von  $w/z = 0,40$ . Ein höherer Wasserzementwert führt im Zementstein stets zu Kapillarporen)*

### **hydrostatischer Spannungszustand: generell**

drei gleich große Normalspannungen

### **hydrostatischer Spannungszustand: isotropes Material**

$J_2 = 0$ ; drei gleich große Normalspannungen = Hauptspannungen  $\sigma_I = \sigma_{II} = \sigma_{III}$ .

*(Note: egal wie das Achsensystem gedreht wird, die Schubspannungen sind Null. Das bedeutet, dass die Normalspannungen auch immer Hauptspannungen sind)*

### **hydrostatische Achse: isotropes Material**

$I_1$ -Invarianten-Achse des Versagenskörper (Fließen, Bruch),  $J_2 = 0$ ;

### **Imprägnierung:**

durchtränkende Behandlung

### **Infiltration:**

gezieltes Eindringen fester oder flüssiger Substanz

### **Infraleichtbeton: :**

tragender Wärmedämmbeton mit  $\rho = 300 - 800 \text{ kg/m}^3$ ,  $f_c \approx 6 \text{ N/mm}^2$  bei  $500 \text{ kg/m}^3$ , Ortbeton, ZiE notwendig

**Ingenieur'konstanten':**

Elastizitätsgrößen  $E$ ,  $\nu$  (isotrop)

**Instandsetzung:**

'Reparatur' existierender Bauten

**Interaktion:**

hier Zusammenwirken von Spannungen bzgl. eines Bruchmechanismus

**Interface:**

Grenzfläche zwischen zwei verschiedenen Medien.

(*Note: z. B. bei CFK die Kontaktfläche zwischen der Kohlenstofffaser und der Polymer-Matrix*)

**inter-laminar:**

zwischen den Schichten

**Interphase:**

Material zwischen Faser und Bettungsmasse (am Interface).

(*Note: Interphasematerial besteht i.W. aus Schlichte-Schutzschicht auf der Faser und Matrix*)

**intra-lamina:**

in einer Schicht

**Injektion:**

Eindringen von fließfähigem Material unter Druck

**Intrusion:**

Eindringen von fließfähigem Material

**Invariante:**

Funktion von Spannungen, deren Wert nicht vom gewählten KOS abhängt

**Isotensoidekörper:**

Gewichtsoptimaler Wickel-Körper (Laminat) gleicher Fasertension oder -ausnutzung.

(*Note: Verformt sich unter Innendruck theoretisch 'ähnlich' und erfährt somit keine Gestaltänderung. Mit der Netztheorie ist eine grobe Dimensionierung möglich. Mit der Kontinuumsmechanik CLT eine genauere Analyse möglich (aber eingeschränkt nur für den einen Lastfall Innendruck, falls für mehrere vorliegende Lastfälle nicht ein entsprechendes Optimierungsprogramm vorhanden ist)*)

**Karbonatisierung:** s. Carbonatisierung**Kardierverfahren:** Kardierprozess

Herstellungsverfahren von Faservliesen für Faservliesstoffe (s.a. Krempelprozess)

**Kaschierung:**

Schichtbildung

**Kerbwirkung:** Spannungskonzentration

Beanspruchungserhöhung durch Kerben, quantifiziert durch die Formzahl  $\alpha_k$ .

(*Note: Die sog. Stützwirkung bei duktilen Werkstoffen mindert die Schädigungswirkung. Spröde Werkstoffe sind kerbempfindlich, was sich bei Erstbelastung sofort auswirkt. CF-Lamine sind sehr kerbempfindlich, dann aber ziemlich ermüdungsfest*)

**Kettfaden:** warp

Garn in Haupttragrichtung Festigkeit, aber auch in Steifigkeitshauptrichtung angeordnet (*Anwendersicht*).

(*Note: Textiltechnisch eigentlich 'nur' ein gestreckter Verstärkungsfaden, der in Herstellungsrichtung, also der Verarbeitungsrichtung der Web-, Wirk- oder Strickmaschine zugeordnet ist. Für Carbon-Gewebe werden sowohl leicht gedrehte Rovings als auch die ungedrehten Tows verwendet*)

**Klassische Laminattheorie CLT:**

Elastizitätstheorie oder Kontinuumstheorie für Lamine (Schichtenverbund SV).

(*Note: Im Namen der linearen Elastizitätstheorie die einfachste Mehrschichttheorie, basierend im*



*Wesentlichen auf kinematischen Annahmen, wie der Kirchhoffschen Plattentheorie. Es muss darauf geachtet werden, ob bei der CLT-Anwendung die Querkontraktionsbehinderung berücksichtigt werden muss [CLT])*

**Konditionierung:**

Prozedur für Probekörper, um bauteilähnliche Verhältnisse zu erhalten

**Köpergewebe:** Twill

gewebter Stoff, am schräg verlaufenden Grat zu erkennen (z. B. Denim Jeans); s. Fig.20

**Komposit:** zusammengesetzt

Verbund aus mehreren Materialien.

*(Note: Kann ein Werkstoffverbund oder auch ein zu einem Werkstoff verschmierbarer Verbundwerkstoff sein)*

**Komponente:**

(1) Materialien aus denen ein FKV-Werkstoff besteht, hier z. B. Faser, Matrix und Interphase. (2) Materialien, aus denen ein Harzsystem gemischt wird, z. B. 2K-Systeme. (3) Mechanische Komponente (hier Komponenten oder Teile von Komponenten einer Trag-Struktur wie Behälter, Fachwerk. (4) Kann ebenfalls eine kritische Stelle einer Tragstruktur und damit in der Zuverlässigkeitsberechnung eine Systemversagenskomponente sein

**Konfidenzintervall:** Vertrauensintervall

Intervall aus der Statistik, das die Präzision der Lageschätzung eines statistischen Parameters, zum Beispiel eines Mittelwertes, angeben soll.

**Konsolidierung:**

Zusammendrückung des Körpers (Laminat, Beton, Boden), so dass das flüssige Medium herausgepresst und der Körper verdichtet wird

**Konstruktion:**

Gestaltung und Bemessung des späteren Erzeugnisses in allen, für seine Fertigung notwendigen und hinreichenden Einzelheiten (VDI 4001, B1.4)

**Konstruktionsparameter:**

Parameter einer beliebigen Konstruktion und nicht nur einer statischen Struktur.

*(Note: Diese Parameter können Entwurfsvariable (anfänglich unbekannt und gesucht) oder feste Größen (q beim Entwurf) sein. Die Konstruktionsparameter können darüber hinaus deterministisch (x, Realisation eines Parameters) oder stochastisch (X) sein)*

**konstruktive Bewehrung:**

sekundäre Strukturbewehrung

**Kontinuumstheorie:**

Elastizitätstheorie zur Berechnung eines elastischen Kontinuums, hier, der noch ungerissenen Faserverbundstruktur oder des ungerissenen Betons

**Korrelation:**

allgemeine Bezeichnung für den stochastischen Zusammenhang zwischen zwei oder mehreren Zufallsvariablen (nach DIN 55 350, Teil 21)

**Korrelationskoeffizient:**

normierte Kovarianz zweier Zufallsvariablen wie E-Modul und Druckfestigkeit

**Korrosionsschutz:** Bauwesen

Maßnahme zur Vermeidung von Schäden, die durch Korrosion an metallischen Bauteilen – wie der Stahlbewehrung - hervorgerufen werden.

*(Note: Kathodischer Korrosionsschutz eingebaut im Carbonbeton bei der Instandsetzung von Bauwerken schützt den Stahl im Altbeton, wobei die nicht angreifbaren CF die sich normalerweise abbauende Anode bilden)*

**Kraftfluß:**

Weg einer Belastungsgröße in einem Bauteil, als Aktion Kraft und Moment, von ihrer Einleitungsstelle bis zu der Stelle, an der die Aktion durch eine Reaktion aufgenommen wird.

*(Note: Zu einfaches Strombild-Denkmodell des Statikers, da die Schnittgrößen weder fließen noch einen Weg einschlagen können. Zur Theorie des Kraftflusses, s. [Mau06].*

**Krempelverfahren:** Krempelprozess, s.a. Kardiervverfahren  
Herstellungsverfahren von Faserviessen für Vliesstoffe

**Kreuzverbund:** cross-ply

Laminat aus zwei senkrecht zu einander stehenden Schichten wie [0/90], [0<sub>2</sub>/90<sub>3</sub>]<sub>s</sub>.

*(Note: Zum Vergleich der Winkelverbund [ω/-ω])*

**Kriechen:**

Irreversible mit reversibler (Rückverformungsanteil nach Entlastung) zeitabhängiger Formänderung einer Matrix (Kunststoff, Beton) unter Dauer-Belastung.

*(Note: Hervorgerufen im Beton durch Zementsteingefügewandlung mit verbundener Volumenverringerng, speziell unter Druckbelastung. Die Zunahme der Kriechverformungen wird mit der Zeit immer geringer und kommen erst nach mehreren Jahren nahezu zum Stillstand)*

**Kritische Schadenssumme:** im Deutschen richtig ist Kritische Schädigungssumme

beim Ausfall des Bauteiles quantitativ erfaßte Schädigungssumme, empirisch ermittelt aus dem Vergleich Rechnung–Versuch (s. a. Miner-Regel)

**Kunststoff:**

Werkstoff, künstlich aus Makromolekülen organischen Ursprungs hergestellt.

*(Note: Je nach Gestalt der Makromoleküle unterscheidet man drei große Gruppen von Kunststoffen: **Thermoplaste** (kettenförmige, d.h. lineare Makromoleküle), **Duroplaste** (räumlich vernetzte Makromoleküle), **Elastomere** (ähnlich Duroplasten aber mit Bruchdehnungen > 100 %))*

**Kurzfaser:** Verstärkungsfüllstoff

nach DIN 61 850, Einzelfasern mit Längen < 1 mm, die als Verstärkungsfüllstoff für Kunststoffe verwendet werden, speziell beim Spritzguss.

*(Notes: (1) Die verwendeten 'Kurz'-Fasern sind je nach Faserart auch mehrere cm lang. (2) In der Faserverbund-Strukturtechnologie versteht man darunter auch etwas längere Einzelfasern von < 3 mm. (3) Beim Stahl können es auch Langdrähte mit Endhaken sein von etwa 50 mm)*

**Kurzfaserbewehrung im Beton:** s.a. Faserbeton

Bewehrung zur Verbesserung der Betoneigenschaftswerte.

*(Note: Als Tragbewehrungsanteil in D bisher nicht bauaufsichtlich zugelassen)*

**Lage:**

abgelegte, physikalische Schicht

**Lagenfolge:**

Anordnung der physikalischen Lagen und auch der rechnerischen Schichten (Lamina, Lamelle)

**Lagermatte:**

vorrätige 'Matte'

*(Note: Nach Typenprogramm haben die 'offenmaschigen' Q-Matten quadratisches Gitter (geometrisch analog zum 'dichtmaschigen' Leinwandgewebe) und R-Matten 'offenmaschiges' rechteckiges Gitter)*

**Lamelle:** Begriff im Bauwesen

UD-Gelege-Streifen (UD-Schicht) oder auch als ein Multi-Axial-Gelege-Streifen (MAG), der Querkraftaufnahme durch eine 45°-Schicht in [0/90/45] ermöglicht

**Lamina:**

theoretischer Berechnungsbaustein für das Modellieren.

*(Note: Ist nicht unbedingt eine abgelegte Schicht)*

**Laminat:**

aus mehreren abgelegten Schichten sich aufbauender Schichtenverbund SV.

*(Note: Durch den Aufbau von Schichten wird ein quasi-duktiles Bruchverhalten trotz sprödem UD-Werkstoff möglich. Lamine mit vier und mehr Faserrichtungen sind nur bei symmetrischem Laminataufbau [./././.]<sub>s</sub>*

*statisch bestimmt auslegbar)*

**Laminat-Mittelspannungen:**

über die SV-Schalendicke gemittelte Spannungen

**Landesbauordnungen (LBOs):**

regeln den vom Hersteller des Bauproduktes zu erbringenden Verwendbarkeitsnachweis wahlweise durch: die Einhaltung deutscher technischer Baubestimmungen (in den DIN-Normen geregelt), eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ), eine Zustimmung der Bauaufsichtsbehörden im Einzelfall (ZiE).

*(Note: Ist Verwendbarkeit für das Produkt gegeben, dann kann das Ü-Zeichen verliehen werden)*

**Lastfall:**

eine Lastanordnung mit Zahlenwerten, die sich aus einer bestimmten Lastkombination ergibt

**Lastkollektiv:**

Gesamtheit oder Teilgesamtheit der in einer bestimmten Verwendungsspanne auftretenden Lasten, die in der Regel nach Größe und Häufigkeit geordnet sind

**Lastenheft:** s.a. Pflichtenheft

Anforderungsliste des Kunden.

*(Note: Im Pflichtenheft die zwischen Kunde und Anbieter vereinbarte Spezifikation von Anforderungen an das Bauprodukt)*

**‘Lastpfad‘ (Spannungspfad):**

hier im Sinne von "proportional loading" gesehen als Fahren eines Versuchs mit konstanten Spannungsverhältnissen

**Lastpfad:**

Pfad, den die Kraft im Bauteil nimmt.

*(Note: Einzellastpfad bei nicht redundanten Tragsystemen und Vielfachlastpfad bei redundanten Tragsystemen. Ist wichtig für anzuwendendes Sicherheitskonzept)*

**Lastspiel:**

wiederkehrende Folge von funktionsbedingten Beanspruchungen (VDI 4001, B1.4)

**Lebensdauer:**

Verwendungsspanne (z. B. Kalenderzeit, Betriebszeit, Fahrstrecke usw.), in der das Bauteil unter vorgegebenen Beanspruchungen bei Einhaltung festgelegter Betriebs- und Materialerhaltungsvorschriften funktionsfähig und betriebssicher bleibt

**Leichtbeton:**

Beton  $\rho < 2000 \text{ kg/m}^3 = 2 \text{ g/cm}^3$

**Leinwandgewebe:**

Gewebe (textiles Maschengewebe aus Garnen, durch Maschenbildung auf einer Webmaschine industriell hergestellt) bei dem jeder Kettfaden über oder unter einem Schussfaden liegt und umgekehrt, Fig.20.

*(Note: Beim Weben die einfachste der 3 Bindungsarten Leinwand, Köper und Atlas)*

**Listenmatte:**

gemäß spezieller Bewehrungsaufgabe gewünschte Matte für bestimmte Länge, Breite, Bewehrungs- $\emptyset$ , Gittermaschengröße.

*(Note: Auch für textile Gitter möglich)*

**Los:** Batch, Charge, Lot

Betrachtungseinheit für z. B. Spulen gleicher Produktion

**Makromechanik:**

hier: Fasern und Matrix einer Werkstoff-Schicht, die vereinfacht als homogenes Kontinuum angenommen werden

**Maschen(faden)system:**

Fadensystem textiler Strukturen, das aus ineinander verschlungenen Fäden (Garnen) besteht.

*(Notes: (1) Wichtige Fertigungsparameter sind Bindungstyp, Maschendichte und Maschenlänge. Diese bestimmen zusammen mit der Beschichtung die Güte der Drapierbarkeit und der Handhabbarkeit. (2) Bei MAGs verbindet der Maschenfaden (Wirkfaden) die gestreckten Fadensysteme)*

**Maschenweite: Öffnungsweite**

Lichter Abstand der Stäbe (Stabmatte) oder der Faserstränge oder Garne (Kette und Schuss der textilen Gittermatte).

*(Note: Öffnungsweite wird bestimmt durch  $> 4 \times$  maximale Korngröße. Notwendige Siebkurve ist zumeist  $\approx 0.5-2$  mm)*

**Massivbau:**

Baukonstruktion, wie Mauerwerk, Beton, Stahlbeton, Spannbeton, bei der zwischen tragender und raumabschließender Funktion keine Trennung besteht

*(Note: Ist prinzipiell der Gegensatz zu Skelettbau)*

**Material-Kennlinien: Werkstoff-Kennlinien für Faserstränge unter Zug**

(1) Mittelwert-Kurve durch die Testdaten mit  $f_{tm}(\epsilon)$ . (2) abgeminderte charakteristische Kurve mit  $f_{tk}(\epsilon_u)$ . (3) Bemessungs-Kurve über  $f_{td}(\epsilon_u) = \alpha \cdot f_{tk} / \gamma_t$  weiter abgemindert.

*(Note: Kann (3), als eine weiter steifigkeitsabgeminderte Kurve, wirklich generell alle Bemessungsfälle abdecken, wenn (1) wahrscheinlichkeitstheoretisch das Verformungsverhalten des normalerweise statisch unbestimmten Tragwerks bekanntlich am besten mit einem Erwartungswert von 50 % beschreibt? Die Ermittlung eines richtigen Verformungsverhalten und die Berechnung für den Festigkeitsnachweis dürfen nicht einfach vermischt werden und in einem Rechengang ermittelt werden)*

**Materialverlust:**

Abnahme der Masse bei Korrosion, Abrieb

**Matrices:**

Duroplast (Duromer: vernetzt, hochfest): Epoxidharz EP, ungesättigtes Polyesterharz UP, Polyurethan PUR. Thermoplast (umformbar, schweißbar, Kriechneigung), Polyetheretherketon PEEK, etc.)

**Matrix:**

homogenes Material aus Werkstoffen wie Duromer, Thermoplast, Elastomer, Beton, Metall, Keramik, Glas.

*(Note: Gieß- bzw. formbare und härtbare Bettungsmasse mit Lastübertragungs-, Stütz- und Schutzfunktion. Speziell bei Baustoffleuten gern zur Benennung der die Filamente (Einzelfasern) umhüllenden mineralischen Phase mit benutzt, d.h. des Interphasewerkstoffs am Interface Filament-Matrix).*

**Matrixsystemanforderungen bei Polymeren:**

Glasübergangstemperatur, Medienbeständigkeit, UV-Strahlung, Feuchte, Bruchzähigkeit, Kriechen

**Matte:**

quasi-isotropes Halbzeug, bei dem mehr oder weniger stochastisch verteilte Kurz- und/oder Langfasern mit einem Bindemittel locker verbunden sind.

*(Notes: (1) Nicht gewebtes Flächengebilde einheitlichen Flächengewichtes aus Verstärkungsfaser-Spinnfäden (DIN 61 850). nach [VDI 2014-3] Wirrlagen-Vliesstoff]. (2) Ist keine klassische Bewehrungs'matte', s. a. Mattenware im Bauwesen, unten)*

**Mattenware: Bauwesen**

(1) Endlosmatte (ungeschnittene Spinnfäden) und Schnittmatte (geschnittene Spinnfäden der Längen 25-50 mm). (2) klassische Stahl-Bewehrungsmatten: R-Matte und Q-Matte als Lagermatte und Listenmatte erhältlich.

*(Note: Textiles Matten-Beispiel, 'quadratische' Q-Matte oder 'rechteckige' R-Matte wie R 141/28:  $141\text{mm}^2/\text{m}$  und  $28\text{mm}^2/\text{m}$ , Gitterweite 12.7 mm / 16 mm, TUDALIT-BZt2)*

**Mechanisches Modell:**

Mechanisch-mathematische Beschreibung der Struktur mit ihren Eigenschaften

**Merkmalswert:**

Einzelne Beobachtung aus einer Grundgesamtheit, z. B. ein Festigkeitswert

**Mesomechanik:** Strukturmechanik, hier das Beispiel Schichtenverbund, Laminat

Zwischenbereich zwischen Makromechanik (macroscale) und Mikromechanik (microscale), um eine geeignete Rechen-Modelling mit einem Mesomodell zu ermöglichen.

**Mesoskala:**

keine gültige Skala sondern eine gewählte Skala, die in der Strukturmechanik-Modellierung bei ungefähr 0.1 mm liegt und bei Polymer-Modellierung um den Faktor 1000 darunter

**Messresultat:**

Experimentelles Ergebnis einer mehr oder weniger verbindlichen 'Vereinbarung' wie Norm, Standard, DIN-Spec, VDI-Ri

**Maximum-Likelihood Methode:**

Schätzverfahren, mit dem man die Parameter der Grundgesamtheit auf Basis einer Stichprobe schätzt.

*(Note: Idee des Verfahrens ist es, als Schätzwerte für die wahren Parameter der Grundgesamtheit diejenigen auszuwählen, unter denen die beobachteten Stichprobenrealisationen am wahrscheinlichsten sind)*

**Mikromechanik:** Beispiel UD

hier: strukturmechanische Betrachtungsweise im Größenbereich  $\mu\text{m}$  der Filamente, die den nicht homogenen Aufbau in einer makromechanischen Schicht, wie einer UD-Schicht berücksichtigt.

*(Note: Nicht alle Faserwerte können gemessen werden, sondern müssen mit Hilfe sog. mikromechanischer Formeln aus makromechanischen UD-Messwerten berechnet werden. Dies bedeutet umgekehrt zwingend, dass Faserwerte aus der Literatur nur dann makromechanisch verwendet werden dürfen, wenn die zugehörigen mikromechanischen Formeln bekannt sind!)*

**Mindestbewehrung:**

aufgabenausgerichtete Bewehrungsmenge im Sinne einer robusten Konstruktion

**Mindestbewehrungsaufwand:**

Mindestbewehrung für den Nachweis für 'frühen Zwang' (infolge Hydratationswärmeabfluß ( $\equiv$  Aushärte-Eigenspannungen) notwendige konstruktive Bewehrung

**Mindestfaser(bewehrungs)aufwand:**

- Aufwand für Betonmatrix-Bauteile: konstruktive Bewehrung;
- Aufwand für FKV-Bauteile: 10%-Regel von John Hart-Smith für Querbewehrung, bereits wegen Aushärte-Eigenspannungen

**Miner-Regel:**

Rechenverfahren zur quantitativen Erfassung der fortschreitenden Schädigung des Werkstoffes durch Schwingbeanspruchung oder Akkumulation der Schädigungen

**Mischung:**

Verbundwerkstoff mit Kunststoffanteil.

*(Note: Bei 'Betonleuten' auch Synonym für "frischer Beton")*

**Mittelspannungskorrektur (KM):**

Korrekturnotwendigkeit, falls nicht genügend R-Kurven das Haigh-Diagramm belegen, so dass keine  $N = \text{const}$ -Kurven hergeleitet oder interpoliert werden können.

*(Notes: (1) Korrekturmethode von Goodman, Smith-Topper-Watson, Morrow für duktileres Werkstoffverhalten. Die duktilitätsabhängige Mittelspannungsempfindlichkeit ist in den Haigh-Diagramm-Bereichen unterschiedlich, z. B. bei positiven Mittelspannungen ist die Mittelspannungsempfindlichkeit  $< 1$ , also die zyklische Festigkeit absenkend. (2) Für spröde Werkstoffe gilt abnehmende Empfindlichkeit, da der Schädigungstreiber Fließen durch Mikrobruchentstehung ersetzt werden muss. Siehe auch [Cun16] zur Ermittlung von  $N = \text{const}$ -Kurven für spröde UD-Werkstoffe wie Lamelle (mit UD-Daten belegt. Neuartiges Modell, auch auf Beton übertragbar)*

**Mittelwert (arithmetischer):**

bei Stichprobe  $\bar{x} = (\sum x_j) / n$ ; bei Grundgesamtheit  $\mu$

**Modell:**

Vereinfachte theoretische Vorstellung von einem realen Vorgang wie z. B. Bruch, wobei auch die entsprechende mathematische Formulierung als "Modell" bezeichnet wird

**Modell-Basiertes Systems Engineering (MBSE):** s.a. BIM

neuer interdisziplinärer, entwicklungsphasen-überschneidender modellbasierter Entwicklungsansatz, der Systems-Engineering und CAE inklusive Entwurf, Analyse und Verifizierung koppelt.

*(Note: Systemingenieure optimieren das Gesamtsystem und sind für dessen übergreifende Eigenschaften verantwortlich. Auf der anderen Seite setzen Entwicklungsingenieure CAE-Werkzeuge ein, um detaillierte Aussagen über die Eigenschaften der einzelnen, im Gesamtsystem verbauten Komponenten oder Baugruppen zu ermöglichen.. Mit einem übergreifenden, robusten, modellbasierenden System-Engineering-Ansatz werden alle Aktualisierungen direkt an den Analysten weitergeleitet, und dieser kann noch vor dem Erstellen eines Prototypen sehen, ob Konstruktionsänderungen notwendig sind, um die neuen Anforderungen zu erfüllen. So kann das Zusammenwirken einzelner Disziplinen, Prozesse, Methoden und Tools optimal genutzt werden. Darüber hinaus ermöglicht es diese Methode, die Unsicherheit des Systemmodells in den Entscheidungsprozess mit einzubeziehen. Für ein erfolgreiches System-Engineering müssen alle Anforderungen sorgfältig berücksichtigt werden – nur so kann sichergestellt werden, dass alle erforderlichen physikalischen Modelle in das Systemmodell integriert wurden (NASTRAN, NAFEMS)*

**Modellierung:**

Abbildung einer Struktur und ihres Verhaltens am Beispiel textiler Halbzeug-Geometrien 1D, 2D, 3D.

*(Notes: (1) Generell, wie bei einer Freiform-Geometrie fläche  $\Rightarrow$  als 3D-FE-Netz; (2) 'Ebene' Verstärkungsstruktur  $\equiv$  Bewehrungsausrichtung uni-axial (UD), bi-axial (BD), tri-axial jeweils in der Ebene  $\Rightarrow$  als schichtweise Werkstoff-Modellierung mit evtl. verschmierter Werkstoff-Modellierung einer abgelegten Lage wie beim Halbzeug MAG; und (3) bindungsbedingter Verstärkungsstruktur mit Garnverkreuzung, Garnverschlingung, Stehfäden bis wirklicher z-Verstärkung  $\Rightarrow$  eventuell als 3D-Werkstoffmodell betrachtbar)*

**Modellkalibrierung:**

Abgleich von Simulationsmodellen mit Testdaten zur Steigerung der Prognosefähigkeit von Simulationsmodellen (= CAE-basierte Produktentwicklung)

**Modellierungsbezug:**

erfolgt gemäß: as-planned, as-designed, as-built, as-maintained

**Modellqualität:**

Prognosegüte

*(Note: Abhängig vom Input bzgl. realer Geometrie- und Werkstoffdaten. Das zu verwendende numerische Modell muss sich nach den Projekt-Genauigkeitsanforderungen für die verschiedenen Nachweise richten)*

**Mohrscher Kreis:** hier bzgl. Puck-UD-Werkstoff-Modell

grafische Konstruktion zur Ermittlung der Bruchebenespannungen auf einer zu den Hauptnormalspannungen geneigten Schnittebene (Wirkebene)

**Monitoring:**

Überwachung von Vorgängen.

*(Note: Wie z. B. Dauerüberwachung von Brücken über Schallemissionsmessungen)*

**Mörtel:**

frische Mischung aus Zement + Zusatzmittel + Wasser + Gesteinskörnung der Größe 0 bis 4 mm.

*(Note: manchmal ist auch die ausgehärtete Mischung gemeint)*

**Multiaxial-Gelege (MAG):** non-crimped fabric

trockene Laminat-Verstärkungsstruktur aus geschlossenen UD-Schichten mehrerer Faserorientierungen, die meist mit einem dünnen Polyesterfaden miteinander verwirkt werden.

*(Note: Von Ablegemaschine ablegbar gegenüber einem richtigen textilen Prozeß. Es gibt MAG-Varianten, die mit einem Binder fixiert sind)*

**Multiaxial-Gitter:** textil

offene Verstärkungsstruktur mit 2 oder mehr Faserorientierungen wie [0/45/-45/90]

**Multifilamentgarn:**

Garn, aus vielen endlosen Einzelfasern (Filamenten) bestehend.

*(Note: Bei vielen Anwendungen haben sich für Multi-Filamentgarne die Begriffe Tow (ungedreht) und Roving (falls rund = leicht gedreht, slightly twisted strand) durchgesetzt)*

**Multi-Material System: Multi-Material-Design**

Verbund von mindestens 2 Werkstoffen, um durch den Verbund gezielte Funktionsverbesserungen zu erzielen, die mit dem einzelnen Werkstoff nicht zu erreichen wären.

*(Note: Es gibt eine Öko-Design Richtlinie der EU, die die Materialvielfalt beim Konstruieren einschränken möchte aus Gründen einfacherer Demontierbarkeit und preiswerteren Recyclings. Stoffschlüssigkeit ist somit nicht so erwünscht)*

**Nachbruchverhalten: Beton**

Verhalten, wie sich der Werkstoff nach Bruchbeginn verhält.

*(Note: Erwünscht ist Arbeitsvermögen nach Bruchbeginn, speziell beim Einsatz besonders spröden Betons)*

**Nachhärten; Beton:**

Nachhärtung von Beton in einer Zeitspanne von Jahren durch chemische Reaktion von Calciumhydroxid und Siliziumdioxid zu Calciumsilikathydraten = puzzolanische Reaktion.

*(Note: Die größte Festigkeit erreicht Beton dadurch erst nach mehreren Jahrzehnten. 28 Tage sind als Vereinbarung für die Messung der Normfestigkeit festgelegt)*

**Nachrechnungsrichtlinie: BASt 2017 für Brücken**

Richtlinie, um die aktuelle Traglast degradierter, korrosionsgefährdeter Stahlbetonbrücken abzuschätzen.

*(Note: Retrofitting-Niveau ist zu erfassen)*

**Nachrüsten: Retrofitting**

Instandsetzung alter Bauten

**Nachweis einer Funktion:**

Nachweis z. B. von Tragfähigkeit, Festigkeit, Dichtigkeit.

*(Note: Auf verschiedenen Ebenen möglich wie Last, Schnittgröße, Spannung)*

**Nähen:**

textiler Prozeß zur Verbindung von Halbzeugen.

*(Note: Beispiel ist die Entschärfung delaminationsgefährdeter Stellen)*

**Nachhaltigkeit:**

Sicherstellung, dass ein regeneratives, natürliches System in seinen wesentlichen Eigenschaften dauerhaft erhalten bleibt [Idee: Carl von Carlowitz, 1645–1714]

**Nachrissbereich: s.a. Nachbruchverhalten**

Situation nach dem Rissbeginn in der Betonmatrix

**Nachweis:**

Beweis-Unterlage, dass im Bauwesen z. B. die Grenzzustände Tragfähigkeit GZT, Gebrauchstauglichkeit GZG nicht überschritten werden oder allgemein, dass eine geforderte Funktionseigenschaft erfüllt wird

### **Nachweisformeln:**

mathematische Formeln zur Durchführung der Nachweise.

*(Notes: (1) Die Entwicklung von Nachweisformeln [Pro17] für GZT und GZG mit zugehörigen charakteristischen Kennwerten und Teilsicherheitsfaktoren benötigt statistische Angaben aus Versuchen und erforderliche Ziel-Versagenswahrscheinlichkeiten. Letztere sind zeitabhängig und sind weiter Zuverlässigkeitsklassen zugeordnet. Für eine Zuverlässigkeitsklasse RC2, gemäß Eurocode für einen Bezugszeitraum von 50 Jahren, gilt beispielsweise ungefähr  $7 \cdot 10^{-5}$  beim GZT,  $7 \cdot 10^{-2}$  beim GZG und für Ermüdung die Bandbreite dazwischen, wobei Zugänglichkeit, Instandsetzbarkeit und mögliche Schadensfolge (Schwere  $\equiv$  severity) zu berücksichtigen sind. (2) Ist das mögliche Versagen aller Strukturelemente korreliert, so ist ein höherer Zuverlässigkeitsindex (Sicherheitsindex)  $\beta$  oder anders ausgedrückt eine kleinere Zielversagenswahrscheinlichkeit  $P_f = \Phi(-\beta) = 1 - \Phi(\beta)$  oder  $\mathcal{R} = 1 - P_f$  anzusetzen ( $\mathcal{R}$  = Überlebenswahrscheinlichkeit,  $\Phi$  = Standardnormalverteilung von Gauss, Beispiel in [Cun05]). (3) Bei der Berechnung von  $P_f$  erlauben moderne Berechnungscodes die Berücksichtigung mehrerer Grenzzustände. (4) Ungefähre Angaben zu Versagenhäufigkeiten sind pro Jahr für Brücken  $10^{-5}$  bis  $10^{-4}$  und für Hochbau  $10^{-6}$ . Dabei sind Nutzungszeit, Expositionszeit und Einwirkungen relevant. Hauptursache für Versagen ist Nicht-Berücksichtigung signifikanter Einwirkungen)*

### **Naßwicklung:** wet filament winding

Fertigungsverfahren.

*(Note: Beim Faserstrangwickeln werden die Tows, Rovings mit Harz getränkt, bevor sie auf einen „Kern“ gewickelt werden)*

### **Netztheorie:**

Bemessungstheorie von zweidimensionalen Faserverbundstrukturen, die das Mittragen der Matrix vernachlässigt.

*(Notes: (1) Steifigkeiten werden bei diesem Modellierungsmodell unterschätzt, da ein reines Fasernetzwerk betrachtet wird, das das statische Kräftegleichgewicht erfüllt und damit in der Ebene mit den 3 Gleichgewichtsbeziehungen auskommt. Diese Theorie gibt die Realität gegenüber der Kontinuumstheorie nur angenähert im Bruch-Degradationszustand wieder und weiter angenähert oberhalb von  $T_g$  als Folge vom Steifigkeitsabbau der Matrix. (2) Eigenspannungen können damit nicht abgeschätzt werden. Die Fasern sollten nur Zugspannungen erhalten. (3) Mit der Netztheorie ausgelegte Schalen besitzen theoretisch keine Biege- und Schubsteifigkeit und ertragen nur Membranbeanspruchungen)*

### **nicht-gewebt:** non-woven

‘unverfestigte‘ textile Produkte.

*(Note: Textile Flächen können nicht nur durch Weben sondern auch durch Stricken, Flechten, Wirken, Filzen und als Vliese erzeugt werden. In der Textiltechnik wird non-woven zumeist als englische Übersetzung für unverfestigte Faservliese gebraucht, die durch Filzen, Vernadeln, Vermaschen, chemische Verfestigung etc. zu Vliesstoffen verfestigt werden)*

### **nominelle Spannung:**

auf den Anfangsquerschnitt bezogene Spannung

### **Norm:**

gemäß lateinisch norma (= Winkelmaß, Richtschnur, Maßstab, Regel, Vorschrift) steht Norm für eine Technische Norm und repräsentiert eine Anerkannte Regel der Technik.

*(Notes: (1) Normung = Formulierung, Herausgabe und Anwendung von Leitlinien durch anerkannte Organisationen). (2) DIN-Norm = Deutsche Industrie-Norm ist ein einheitlicher Standard für materielle und immaterielle Gegenstände. (3) EN Europäische Norm und ISO-Norm sind weitere Standards. Table 5 und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigen einen Überblick über die EN-Normen im auwesen)*



**Normalbeton:**

Verbundwerkstoff aus dem Bindemittel Zement und einer Gesteinskörnung (früher Zuschlag) als Zuschlagstoff.

*(Notes: (1) Das Zugabewasser leitet den chemischen Abbindevorgang, d. h. die Erhärtung ein. (2) Werte sind Druckfestigkeit  $f_c > 20 \text{ N/mm}^2 = 20 \text{ MPa}$  und Zugfestigkeit  $f_{ct} \approx f_c/10$ )*

**Nutzungsdauer:**

Zeit für die Nutzung des Produkts

*(Note: für neue Gebäude maßgeblich 50 -120 Jahre)*

**Oberflächenanforderung an Filamente:**

beim Spinnen der Filamente dürfen keine querliegenden Kerben entstehen, da diese sehr festigkeitsmindernd wirken

**Oberspannung: Ermüdung**

größter Wert der Spannung innerhalb eines Schwingenspieles, unabhängig vom Vorzeichen (DIN 50 100)

**Öffnungsweite: s. Maschenweite****Öko-Design:**

Gestaltung möglichst einfach demontierbarer Konstruktionen und solchen, die Stofftrennung erlauben.

*(Note: Multimaterial Design, Integralbauweise, Kleben erschweren Recycling. Daher: Schränke die Materialvielfalt ein und setze möglichst nur solche Materialien ein, die stofflich verwertbar sind, d.h. für deren Rezyklate auch ein Markt existiert [bifa Umweltinstitut]. s.a. VDI2243 „Recyclinggerechte Produktentwicklung“ und Kreislaufwirtschaftsgesetz, §23 Produktverantwortung)*

**Optimierung: Laminat**

hier Verfahren, Fasern in allen Schichten eines Laminates möglichst gleich zu beanspruchen und das unter Berücksichtigung aller Lastfälle und Fertigungsrestriktionen mit dem ingenieurpraktischen Ziel, robust gegenüber den Streuungen aller Auslegungsparameter zu sein.

*(Note: Ein Potenzial zur Optimierung ist die Belastungen im Betrieb durch Regulierung aktiv zu beeinflussen)*

**Organoblech:**

Faser-Matrix-Halbzeug, bestehend aus UD-Gelege, aus MAG oder auch aus Gewebeschichten, das in eine thermoplastische Matrix eingebettet ist (Beispiel LFT PA6-GF47)

**Orthotrop:**

Werkstoff mit 3 Ebenen elastischer Symmetrie sowie 9 unabhängigen Elastizitäts- und Festigkeitsgrößen.

*(Note: Bei Orthotropie = orthogonaler Anisotropie liegen drei aufeinander senkrecht stehende Symmetrieebenen bezüglich der Orientierung der Werkstoff- oder aber strukturbezogen auch der Bauteil(struktur)eigenschaften vor)*

**Orthotropiegrad:**

Verhältnis von Elastizitätsmodul in Längsrichtung zu dem in Querrichtung oder auch von Steifigkeit in Kettrichtung zu Steifigkeit in Schussrichtung

**Packungsarten (Modell):**

hier: Anordnungsmöglichkeiten der Filamente in einem FE-Mikromodell (quadratisch, hexagonal)

**Paradigma:**

grundsätzliche Denkweise

**Parameteridentifikation:**

Prinzip, um einen Schätzungssatz an Modellparametern durch Vergleich von gemessenen mit berechneten Größen mittels statistischer Verfahren zu gewinnen

**Partielle Sicherheitsfaktoren  $\gamma$ :** Partielles Sicherheitskonzept im Bauwesen

Faktoren, die die Unsicherheiten der Entwurfsparameter abdecken durch Erhöhung auf der Einwirkungsseite und durch Abminderung auf der Widerstandsseite

*(Note: Hiermit werden die Unsicherheiten gezielt abgedeckt und nicht durch einen einzigen, deterministischen, pauschalen Sicherheitsfaktor auf der Lastseite abzudecken versucht)*

**Performance-Indikatoren (Leistungsindikatoren):**

Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Verfügbarkeit, Kosten, Dauerhaftigkeit, Umweltverträglichkeit

**Pflichtenheft:** s.a. Lastenheft

zwischen Kunde und Anbieter vereinbarte Spezifikation von Anforderungen an ein Bauprodukt

**Phasen-Beanspruchung:** Ermüdung

In-Phase und Out-of-Phase thermo-mechanische Beanspruchungen im Bauteil.

*(Note: Bewirkt unterschiedliche Lebensdauern)*

**pH-Wert:**

Maßzahl für den sauren ( $\text{pH} < 7$ ) und den basischen oder alkalischen ( $\text{pH} > 7$ ) Charakter einer wässrigen Lösung.

*(Note: Negative Zahl des Zehnerlogarithmus der Wasserstoffionen-Aktivität, also dimensionslos. Eine Bewehrung im Beton sollte alkaliresistent sein)*

**Polymer:**

organisches Material, zusammengesetzt aus Makromolekülen.

*(Note: Vor dem Einsatz ist zu klären, welches Medium, welche Temperatur und welche Angriffsdauerzeit bei welcher Beanspruchungshöhe vorliegen)*

**Polymerbeton:**

Beton, bei dem ein Polymer das Bindemittel Zement ersetzt.

*(Note: Zufügung von PUR, EP bedeutet schnellere Aushärtung)*

**Polyesterharz:** ungesättigtes UP

Harz auf der Basis von Polyestern, bei dem mindestens eine der Komponenten Polyalkohol oder Polykarbonsäure ungesättigt ist.

*(Note: Gehört zur Gruppe der Reaktionsharze, s. LN 29 363, B 1.2)*

**Poren:**

Gasförmige Einschlüsse, z. B. in einem ausgehärteten Laminat oder Beton

**Porosität:**

Verhältnis des Luft- oder Leervolumens innerhalb eines Werkstoffes zum Gesamtvolumen (fester Werkstoff + Luft + Leere) in Prozent

**Portlandzement:**

Bindemittel aus Ton und Kalk gemischt.

*(Note: Bindemittel, indem Ton und Kalk gemischt und dann zusammen erhitzt wird. Gab man dem Bindemittel Wasser hinzu, so entstand ein Zementleim, der nach einer kurzen Trocknungszeit hart wie Stein wurde. Patent durch Bauunternehmer Joseph Aspdin 1824. Dieser Kunststein erinnerte Aspdin farblich an die natürlichen Kalksteingebilde auf der südenglischen Halbinsel Portland, daher die Namensgebung [Baustoffwissen])*

**Preform (Vorformling):**

endkonturnahe, trockene, ein- bis mehrlagige Verstärkungsstruktur aber auch ein konsolidiertes Faserhalbzeug (Tape, Gewebe, Gelege), das mit einer Matrix (Duroplast, Thermoplast) imprägniert ist.

*(Note: Erstellung beginnt mit dem Halbzeugzuschnitt, der Drapierung zur räumlichen Endkontur mit Anbindung der Einzellagen und dann Endbeschnitt mit zwischengeschalteten, etwaigen Handhabungsschritten zur Herstellung von faserverstärkten Bauteilen vor allem im Flüssigimprägnierverfahren, s. a. [Wikipedia])*

**Prepreg:**

UD-Gelege, MAGs, Gewebe, nicht verwobene Materialien, TowPregs usw., die mit Kunststoffmatrices (Duromer oder Thermoplast) vorimprägniert bzw. getränkt sind.

*(Note: Üblicherweise werden Prepregs aus FKV im vorgehärteten, reaktionsverzögerten Zustand der Reaktionsharzmasse belassen und sind damit vorbereitet für das Laminieren. Sie werden mit Temperatur und meistens unter Druck ausgehärtet. Das Endlosfaser-Matrix-Halbzeug mit hoch viskosen Reaktionsharzen, also noch nicht polymerisierten Duromeren, wird zur Herstellung von Bauteilen unter Temperatur und Druck ausgehärtet. Prepreganlieferung bedeutet: auf Rollen gewickelt)*

**Primärstruktur:**

Hauptstruktur eines Gesamtsystems, das im Falle eines Versagens die Funktionstüchtigkeit des Gesamtsystems wesentlich einschränkt oder schlimmstenfalls beendet

**Probekörper (Prüfling):** Werkstoffprüfung

speziell angefertigter und geformter Gegenstand der Prüfung

*(Note: Sind die Eigenschaften von Probekörpern in entsprechenden DIN-, EN oder anderen Normen beschrieben, spricht man von Normprüfkörpern. Ein Laborprobekörper ist meistens erheblich kleiner gegenüber den relativ großen bauteilähnlichem Probekörpern. Die Beton-Probekörperabmessung wird bestimmt bei Zug (Dehnkörper) und Druck beispielsweise durch  $> 3 \cdot \varnothing$  maximale Korngröße)*

**Profile:**

pultrudierte Querschnitte L, I, U aus GF, CF

**Produktlebensdauer:**

Zeitspanne, die ein Produkt ohne den Austausch von Kernkomponenten oder ohne Versagen genutzt werden kann

**Proportionale Beanspruchung:**

alle Lastkomponenten oder richtiger alle Spannungen ändern sich proportional.

**Prüfung:**

Vergleich des Verhaltens der Zustands- und Funktionsmerkmale (einschließlich Zuverlässigkeit) unter funktions- und umweltbedingten Belastungen mit den in den Spezifikationen festgelegten Anforderungen

**Prüfungen:** Beton

Eignungsprüfungen, Güte- und Erhärtungsprüfungen, Zuschlagprüfungen, Zementprüfungen.

*(Note: Prüfverfahren und Prüfmethoden für Frischbeton, Festbeton, Faserbeton)*

**Prüfmethoden:** Festigkeit, Elastizitätsgrößen

Standard-gebundene Verfahren zur Ermittlung der notwendigen Werkstoffkenngrößen.

*(Note: Probekörper und Prüfeinrichtung sollten so beschaffen sein, dass – wenn möglich – klare versagenstypzugehörige Festigkeitsbruchmoden vorliegen)*

**Pull-out-Test (quasistatisch):**

Messung zur Untersuchung der Haftung zwischen Roving und ausgehärteter Beton-Matrix [ASTM C 900-15]

**Pultrusion:** Profile, Bewehrungsstäbe

Strangziehverfahren zur kontinuierlichen Herstellung von faserverstärkten Profilen mit konstantem Querschnitt.

*(Note: Gerades Profil wird durch fixe Form gezogen, ein räumlich gekrümmtes Profil wird mit Radius-Pultrusionsverfahren (gekrümmte Form) entlang des gekrümmten Profils bewegt)*

**Puzzolan:**

Bindemittelanteil, der zu ca. 85% aus Flugasche und 15% Mikrosilika besteht

**Puzzolanische Reaktion:**

bezeichnet die chemische Reaktion von Calciumhydroxid und Siliziumdioxid zu Calciumsilikathydraten während des Aushärtprozesses im Beton.

*(Note: ist von entscheidender Bedeutung für die Nachhärtung, wobei nach schneller Anfangshärtung die maximale Festigkeit aber erst nach mehreren Jahren/Jahrzehnten erreicht wird)*

**Pyrolyse:**

Recycling-Verfahren, bei dem die Zersetzung der Matrixkunststoffe in sauerstofffreier Atmosphäre bei Temperaturen von bis zu 600° C erfolgt.

*(Note: Die langkettigen Polymere zerfallen dabei in kurzkettige, meist gasförmige Bruchstücke)*

**Qualifikation:**

Amtliche Prüfung der für ein Bauteil geführten Funktionsnachweise mit der abschließenden Bescheinigung, dass es als Typ bzw. Muster die für die Verwendung geforderten Eigenschaften besitzt

**Qualität:**

Gesamtheit von Eigenschaften und Merkmalen eines Produktes oder einer Tätigkeit, die sich auf deren Eignung zur Erfüllung gegebener Erfordernisse beziehen

**Quantil:**

Wert, für den die Verteilungsfunktion einen vorgegebenen Wert  $p$  annimmt (nach DIN 55 350)

**Quasi-isotropes Laminat:**

Laminat, das bezüglich seiner Steifigkeitseigenschaften in der Ebene isotropes Verhalten zeigt.

*(Note: Beispiele sind [0/60/-60], [0/45/-45/90], die aber bezüglich der Biegeeigenschaften anisotrop (Kopplungsmatrix [B] ungleich Null) sind. Falls symmetrisch aufgebaut [0/60/-60]<sub>s</sub> ist dies nicht der Fall; s.a. [VDI 2014, Bl.3])*

**Querkraft-Bemessung:**

Teil der Schubbemessung.

*(Note: Schubbemessung gliedert sich in die Bemessung für Querkraft, Torsion sowie Querkraft mit Torsion)*

**Querzugfestigkeit:** Bruchspannung in Querrichtung

(1) im Textilbeton die Festigkeit senkrecht zur Ebene (inter-laminar).

(2) in UD-Lamina (Lamelle) die Festigkeit in der Ebene  $R_{\perp}'$  (intra-laminar)

**R-Wert (Spannungsverhältnis):**

Quotient aus Unter- und Oberspannung eines Spannungsschwingspiels (Vorzeichen zu berücksichtigen)

**Realisationen:**

Zufällige Werte  $x$  eines Merkmals, hier z. B. des Konstruktionsparameters Festigkeit

**Redundanz:**

funktionsbereites Vorhandensein von mehr als für die vorgesehene Funktion notwendigen, z. B. lastaufnehmenden Konstruktionsteile

**rCF-Produkte:**

Produkt aus rezyklierter CarbonFaser.

*(Note: Eine Kennzeichnungs-, Klassifizierungs- und Zertifizierungspflicht für den Einsatz in tragenden Bauteilen ist in Zukunft notwendig)*

**Rechnerischer Nachweis:**

Unterlage für die Baugenehmigung, für die Zertifizierung eines Serienproduktes.

*(Note: Der nachweisberechtigte und nachweispflichtige Aufsteller hat im Bauwesen für alle Grenzzustände der Tragstruktur einen Nachweis zu erstellen)*

**Recycelte Carbonfasern rCF:**

Carbonfasern nach dem Recycling-Prozess.

*(Notes: (1) Anfang 2018 kostete das Kilo Endlos-Primärfasern praktisch dasselbe wie die beim Recycling erhaltenen 5-20 mm bis eventuell 100 mm langen Sekundärfasern. Der Preis fällt derzeit Richtung 10 €/kg für pyrolysierte rCF. (2) zumeist als CF-Kurzfaservliese und Garne zur Weiterverarbeitung erhältlich, was ein*

'Down-sizing' zur Folge hat. (3) Die Verwertung von rCF als Kohlenstofflieferant in der Stahlproduktion wird untersucht. (4) Design-to-Recycling ist zu beachten. Aufgrund des 'Downsizing der Festigkeit' oder des 'Downcycling' müssen passende Produkte gesucht werden, die nicht mehr Hightec im Sinne höchster Beanspruchbarkeit sind, aber bezüglich sonstiger Funktionen sein könnten. (5) Qualität- und Längenzugeordnete Klassifizierung fehlt derzeit ebenso wie die Rückverfolgbarkeit aus welchem CFK die rCF stammen)

### **Recycling:** carbonfaserbezogen

Konzept, Werkstoff für einen erneuten Einsatz zu erhalten oder ein nutzbares Bau-Produkt erzeugen, das weiter verwertet werden kann.

(Notes: (1) Rezyklat soll möglichst Neuware ersetzen und damit die mit der Herstellung verbundenen Umweltlasten vermeiden. (2) Was bei einer Ökobilanzierung nicht vergessen werden sollte: Bei 4 Milliarden t Ölverbrauch pro Jahr fallen 70000 t CF / Jahr eigentlich nicht ins Gewicht, falls es energetisch verwertet würde. (3) Reine CF-Abfälle dürfen deponiert werden, CFK-Abfälle nicht. Aufgrund des hohen Energiegehaltes von CF- und CFK-Abfällen wäre also eine energetische Verbrennung sinnvoll, wobei die entsprechenden Öfen noch bereitgestellt werden müssen, damit ein Entstehen von WHO-Fasern beim Abbrennen vermieden wird)

### **Recycling:** CFK und Carbonbeton CB

Konzept zur Rückführung und Entsorgung sowie Verwertung von rückgeführtem CFK und Carbonbeton.

(Note: Generell gibt es thermische, physikalische und chemische Konzepte. CFK-Bauteile haben CF-Anteile von vielleicht 60%, Carbonbeton-Bauteile von kleiner 3%. Carbonfasern im Beton sind PAN-basiert und entsprechen einer T300-Güte. Fig.65 zeigt als Beispiel die Verwertung von CFK im Asphalt)

### **Referenzexperiment:**

Experiment, das belastbare Testdaten zum Vergleich liefert.

### **Rehabilitation:** Sanierung, Retrofitting eines Bauwerks

Wiederherstellung der funktionellen Fähigkeiten.

(Note: Beispiele sind Fig.47, Verstärkung einer Weißen Wanne gegen Grundwasser mittels bi-axialer Lamellen-Bewehrung; Fig.48, Verstärkung der Oberen Bewehrung durch in Schlitze eingeklebte schmale Lamellenstreifen; Fig.37 zeigt dies bei einer Deckenplatte für Feld-Momente und Stützmomente; Fig.48 visualisiert eine Ertüchtigung bei einer zusätzlich notwendigen höheren Schubbewehrung im Steg)

### **Reservefaktor:**

generell das Verhältnis RF von tatsächlicher Bruchlast zu Entwurfsbruchlast oder – im linear-elastischen Fall – das Verhältnis  $f_{RF}$  von Bruchspannung zu Entwurfsbruchspannung.

(Note:  $f_{RF}$  = Werkstoff-Reservefaktor (= 1 / Werkstoff-Anstrengung Eff, falls Eigenspannungen fehlen)

### **Restfestigkeit:**

diejenige Spannung, die ein vorgeschädigter Probekörper im statischen Kurzzeitversuch gerade noch erträgt.

(Notes: (1) Die dynamische Vorschädigung eines Probekörpers, der ursprünglich praktisch ohne Fehler oder Riß ist, kann z. B. aus einem Ermüdungsversuch unterhalb des Wöhlerlinien-Spannungsniveaus resultieren oder aus einem Schlag (Stoß, Impakt) stammen. Selbstverständlich kann auch eine statische Vorschädigung infolge Kriechen vorliegen. )2) Eine Vorschädigung liegt bei einem rißbehafteten Probekörper - wie bei den Restfestigkeitsversuchen der Bruchmechanik - von Anfang an schon vor. Im Fall der metallischen Werkstoffe gibt es einen formelmäßigen Zusammenhang mit der Rißlänge, der anliegenden Spannung und einem Geometriefaktor, der die endlichen Abmessungen der Probe berücksichtigt)

### **Risiko:**

Produkt aus Definierte Schadensgröße x Wahrscheinlichkeit für diesen Schadensfall (VDI 4001, B1.2) oder auch Gefährdungspotenzial x Auftretenshäufigkeit

### **Riß:**

kleiner bis großer Schaden in einem Bauteil:

(Note: Translaminar (z. B. Einzelriß durch ein Laminat), interlaminar (Delamination), intralaminar (kleine Risse, Mikrorisse in einer ES, die evtl. zu einer Schädigungszone gehören, Ob es ein risikobehafteter 'Technischer Schaden' - mit dem Schadenstoleranzkonzept nachzuweisen – bereits ist, ist zu überprüfen)

**Rissbreitenbeschränkung:** Stahlbeton, Mörtel

Mindestanforderung an Betonbauteile.

*(Note: Rissbildung ist praktisch nicht vermeidbar. Aus diesem Grund muss die Rissbreite so begrenzt werden, dass die ordnungsgemäße Nutzung des Tragwerks gewährleistet ist, die Bewehrung für eine ausreichende Dauerhaftigkeit des Tragwerks geschützt wird und deutlich sichtbare Risse vermieden werden (Ästhetik, DIN 1045-1. Rißbreiten  $w_k < 0.3$  mm werden zumeist als unkritisch angesehen, DIN V 18550 (Putz). Dies dürfte allerdings nicht für Aussenputz unter Starkregen noch anwendbar sein. Entspricht eigentlich einer Definition für Zustand I)*

**Rißabstand:**

Abstand der im Beton aufgetretenen Risse.

*(Note: Bei guter Verbundqualität führt der dann geringere Rissabstand zu geringerer Rissbreite aber natürlich mehr Rissen. Engmaschige Bewehrungsgitter aus Textil ermöglichen geringere Rissbreiten)*

**Rißlokalisierung (verstärkter Beton):**

Herausbildung des kritischen Risses aus dem Rißbild zum maßgeblichen Riß

*(Note: Analog zum Mikrorißfeld einer Polymermatrix)*

**Roving:** Ursprung von Vorspinnen

Gerades bis leicht-gedrehtes (wird rund) Filamentbündel = Multifilament-Garn oder auch aus mehreren Garnen bestehend.

*(Note: Direkt aus sehr großer Zahl von parallel angeordneten Filamenten hergestellt [Schü05]. Der Begriff Roving wird normalerweise für Glas und Aramid (Kevlar) verwendet. Für Carbon-Fasern wird zumeist der Begriff Tow verwendet. Der Querschnitt eines Rovings ist zumeist elliptisch aufgrund einer nur leichten Schutzdrehung. Bei ungefähr 10 Drehungen / m, haben Rovings einen runden Querschnitt. S. a. Direkter Roving, Assemblierter Roving)*

**Sandwichwandung:** Platte mit Polymermatrix oder Betonmatrix

biegeoptimales Bauteil mit zwei Decklagen und Kern.

*(Note: Im Betonanwendungsfall kann mit korrosionsbeständigen textilen Bewehrungen die übliche Überdeckung stark reduziert werden, und es können damit z. B. bei Fassadenplatten Wanddicken von kleiner 3 cm erreicht werden)*

**Schaden (technischer):**

großer Bauteildefekt.

*(Notes: (1) Ereignis nach Überschreitung eines bestimmten, im Projekt festzulegenden Grenzwertes der Sollzustandsabweichung ( $\equiv$  Schädigungsgrenzwert), das eine verwendungsspezifisch unzulässige Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit bedingt. (2) Nachzuweisende Größe ist ein technischer Schaden, entstanden durch die Akkumulation von ermüdungsbedingten Schädigung(sportion)en aufgrund zyklischer Belastungen oder auch durch einen Impakt entstanden)*

**Schadensfolgeklassen:**

Klassen CC1 bis CC3 mit zunehmender 'Schwere' des Schadensereignisses

**Schädigung:**

Beanspruchungsbedingte, negative Beeinträchtigung der Eigenschaften (z. B. Abnutzung) ohne Beeinträchtigung der Funktionssicherheit oder der Funktionsfähigkeit solange ein vereinbarter maximaler Schädigungsgrenzwert nicht überschritten wird.

*(Note: Diffuser Schädigungsprozess bei Polymermatrix-Composites vom Mikrorissbildung-Anfang, beginnend bereits beim Aushärten, bis zur lokalen Schädigung mit Makrorissbildung)*

**Schädigungsakkumulation:** 'Schadens'akkumulation, üblicherweise leider so im Deutschen geschrieben

Addition von Schädigungen (Schädigungsportionen) unter veränderlicher Belastung.

*(Note: Als Hypothese wird zumeist Palmgren-Miner verwendet. Das aus dem Englischen übersetzte Wort Schadensakkumulation hat dann eine Berechtigung beim der Schadenstoleranznachweis, wenn bereits Schäden vorliegen und diese dann zu einem größeren Gesamtschaden anwachsen oder zusammenwachsen)*

**Schädigungsmechanik:**

Kontinuumsmechanik, die die infolge von Werkstoffschädigung im Mikrobereich veränderten Materialeigenschaften einer Struktur erfaßt.

*(Note: Die im Makrobereich dann auftretenden Risse werden mit der Bruchmechanik beschrieben)*

### **Schädigungszone im Laminat:**

Bereich in einem Laminat, wo gemäß den Festigkeitsversagensbedingungen Zwischenfaserbrüche aufgetreten sind.

*(Note: Häufig wird dieser Bereich vereinfacht als Delaminationsflächenabschätzung im Nachweis verwendet. Bei optimaler Bemessung bedeutet erster Faserbruch in einer Schicht praktisch Laminatbruch)*

### **Schallwellen (ZfP-genutzt):**

Longitudinalwelle, Transversalwelle, Dehnwelle, Biegebewelle, Oberflächenwelle

### **Schicht:**

Lamina (rechnerische Schicht, als Berechnungselement und Bestandteil eines Laminates); layer oder ply (als physikalisch abgelegte Werkstoff-Schicht wie ein Gewebe oder Gelege, einschichtig (übliche Lamelle) oder mehrschichtig als MAG).

*(Note: Mit Schicht ist also nicht notwendigerweise die physikalisch wirklich abgelegte Lage als Teil eines Laminates gemeint. So wird zumeist eine physikalisch aus einer einzelnen MAG-Ablage bestehende Schicht, wie z. B. [0/90/45], in der Berechnung mit 3 einzelnen Schichten der Orientierungen 0°, 90°, 45° modelliert)*

### **Schichtenverbund (SV):**

Verband von gewickelten oder abgelegten Schichten oder ein Laminat aus Prepregs

### **Schichtkraft:**

faserparalleler Kraftfluß in der ebenen Schicht des Fasernetzwerkes

### **schlaff applizierte Bewehrung:**

nicht-vorgespannte Bewehrung

### **Schichtweise Bruchanalyse:**

kontinuumsmechanische Berechnungsart des Bruchvorgangs bei Laminaten

### **Schlaufenanschluss:**

Verbindungselement Augenschleufe, wenn hohe Zug-Kräfte lokal einzuleiten sind.

*(Note: Abhebespannungen in der Krümmung sind beim Entwurf zu berücksichtigen (s.a. ). Endverankerung von Spannseilen)*

### **Schlichte (avivage):** s. Beschlichtung

### **Schlitz:**

Einsenkungen in Altbeton zur Einbringung von Lamellen (horizontal, senkrecht, s. Fig.50)

### **Schnittgrößen:**

durch Einwirkungen verursachte Beanspruchungen von Tragwerksteilen wie Momente und Kräfte (M, N, Q, T) und breitenbezogen bei Platten und Schalen die Momenten- und Kraftflüsse (m, n, q, t)

### **Schnittkraftfluss, Schnittmomentenfluss:**

von der äußeren Belastung in der Schale verursachte Kraft pro Breite (m, n, q, t)

### **Schrumpfung:**

physikalisches Schrumpfen der Matrix aufgrund von Feuchte, Ausgasungen, Temperatur

### **Schuss:** von Füllen mit dem Schiffchen

kleinere Lastabtragrichtung

*(Note: Für die Auseinanderhaltung der Koordinatenrichtungen warp (Index  $w$ ) und weft benötigt man unterschiedliche Indizes. Da weft auch den Namen fill hat, gelingt dies (Index  $F$ ))*

### **Schwerbeton:**

Beton mit  $\rho > 2800 \text{ kg/m}^3$

### **Schwindung:**

chemisches Schrumpfen der Matrices Polymer, Beton

**Schwingfestigkeit:**

Festigkeit unter zyklischer Beanspruchung, unter Schwingungen

**Schwingungsrissskorrosion SRK:**

transkristalline oder interkristalline Rissbildung in Werkstoffen unter Schwingungen

*(Note: Gilt natürlich auch für Stähle im Beton)*

**Sekundäre Fasern:**

Fasern aus dem Verschnitt bei der Herstellung von Faserverbundteilen

**Sensitivität:**

Empfindlichkeit bzgl. eines Konstruktionsparameters (ISO 2394)

**Seriensystem:**

Versagenssystem, dessen Ausfallwahrscheinlichkeit  $p_f$  mit der Anzahl der Systemelemente ansteigt (Kette)

**Sicherheitsindex:**

s. Zuverlässigkeitsindex  $\beta$

**Sicherheitsfaktor:**

deterministisches und semiprobabilistische Sicherheitskonzept mit "Auslegungsfaktor  $j, \gamma$ " zur Erzielung von Sicherheit im Bauteil

**Sicherheitskonzept:** s. Teilsicherheitskonzept DIN 1055-100 Bauwesen

Konzept zur Erzielung von zuverlässig tragenden Konstruktionen

**Sicherheitsmarge (MoS):**

deterministische Sicherheitsspanne,  $MoS = RF - 1$ , aus Nachrechnung der ausgewählten Design-Geometrie

**Sicherheitsnachweis:**

Dokument, in dem in prüfbarer Form gezeigt wird, daß die vorgegebenen sicherheitstechnischen Anforderungen eingehalten werden.

*(Note: Anforderungen sind im Allgemeinen in sicherheitstechnischen Vorschriften zusammengefaßt)*

**SITgrid:**

Name der textilen Bewehrungsmatte eines Herstellers

**Sheet Molding Compound SMC:**

2D, plattenförmiges Halbzeug mit duromerer Matrix und Faserverstärkung in Mattenform, eventuell auch in Gewebeform.

*(Note: Kurz- bis Langfasern < 50 mm. Umformprozess mit nachfolgender Aushärtung)*

**Sichere Last:** Design Limit Load DLL im Maschinenbau, Luftfahrt

unter normalen Betriebsbedingungen zu erwartende höchste Last.

*(Note: Maximale Auslegungslast, die mit ziemlicher 'Sicherheit' erreicht werden kann)*

**Sichtprüfung:**

optische oder visuelle Kontrolle eines Produktes oder eines Produktteils auf Fehler

**Sieblinie:**

Korngrößenverteilungskurve.

*(Note: Grafische Darstellung der Kornzusammensetzung eines Korngemischs der Gesteinskörnung für Beton. Entsteht durch Auftragung der Siebdurchgänge in % über den zugehörige Siebweiten. In DIN 1045-2 sind für Korngemische mit Größtkorn  $\varnothing$  8 mm, 16 mm, 32 mm und 63 mm Regelsieblinien bzw. Sieblinienbereiche angegeben) [BetonWiki]*

**SIMP-Topologie-Ansatz:** Mikrostruktur, FEA

kontinuierliche Topologieoptimierung bei dem die Elemente nicht nur Nichtversagen (Zustand 1) und Versagen (Zustand 0, weglassen, leer) annehmen, sondern auch Zwischenwerte - allerdings 'bestraft' -, so dass kontinuierlichere Konturen entstehen



**Spaltung:**

druckparalleles Versagen eines spröden Werkstoffs mit groben Körnern (Beispiel Beton)

**Spannungsintensitätsfaktor SIF:** Fracture Toughness, Bruchmechanik

Maß für die Intensität des Spannungsfeldes in der Nähe der Rißspitze.

*(Note: Falls der Spannungsintensitätsfaktor (ist eigentlich kein Faktor)  $K$  seine kritische Größe erreicht, so wird der vorhandene Riß sich weiter ausbreiten, weil der kritische Spannungsintensitätsfaktor, genannt Bruchzähigkeit  $K_c$ , erreicht ist. Der SIF ist von äußerer Last, Rißlänge und Probengeometrie abhängig)*

**Spannungskonzentrationsfaktor:**

Verhältnis der Maximalspannung gestört zu Maximalspannung ungestört (Beispiel: Zugstab mit Kerbe und ohne Kerbe)

**Spannungsrelaxation:**

Spannungsabfall unter konstanter Dehnung

**Spannungsrissskorrosion (SpRK):**

Korrosionsart, die - bei statischer Zug-Beanspruchung und auch bei Zug-Eigenspannungen - unterhalb der Streckgrenze unter Medieneinfluss auftritt

**Spannungs-Dehnungs-Kurve:** hier ist Bemessungskennlinie für textile Bewehrung angesprochen

Abminderung der Mittelwertkurve über die charakteristische Kennlinie, nach Eurocode 2 mit 5%-Quantile, zu einer durch einen Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_t$  weiter abgeminderten Bemessungskennlinie.

*(Achtung: In der Strukturmechanik gilt „Laut Probabilistik führt die Mittelwertkurve zu einem 50%-Erwartungswert des Verformungsverhaltens des Bauteils“. Weitere Abminderungen müssen für die Vorhersage des Verformungsverhaltens von üblicherweise statisch unbestimmten Tragwerken nicht konservativ sein )*

**Spannungsverhältnis R:** zyklische Beanspruchung

Verhältnis der mathematisch niedrigsten zur mathematisch höchsten Spannung,  $R(\sigma) = \sigma_{min} / \sigma_{max}$

**Spinnfaden:** s.a. Roving, Tow

gesponnene Filamente, beschichtet, dann schlichte-verklebt im Spinnfaden zusammengefasst und auf Spulen gewickelt.

*(Note: Mehrere Spinnfäden können zu einem Tow oder einem Roving assembliert werden [Schü06])*

**Spritzguss:**

Injektionsverfahren, wobei ein Thermoplast, Duromer oder Elastomer unter Druck in die Kavität eines Spritzgießwerkzeugs eingespritzt wird.

*(Note: Eventuell Kurzfasern zur Matrixverstärkung, SMC, BMC. Produktionsprozess mit zumeist < 1 mm Einzelfasern, wie z. B. GF-PA6, granuliertes rCFK-PP)*

**spröder Werkstoff:**

Werkstoff, der unter Zugbeanspruchung ohne signifikante Verformung bricht.

*(Note: Ein Bezugswert für spröd ist  $R^c / R^t > 3$ , Beton hat bereits  $f_c / f_{ct} > 10$ ). Spröde Werkstoffe tolerieren praktisch keine Überlasten)*

**Stab:** Bewehrungsstab

hier pultrudiertes stabförmiges Profil als Bewehrungsstab aus Metall oder aus Faserkunststoffverbund

*(Note: Herausforderung ist das Erzielen von Geradheit und guter Schubübertragungsoberfläche durch Profilierung. Bei den CFK-Roving-Stäben kann dies geschehen durch: spanendes Entfernen von Material (Fig.32, thyssen-krupp), Hinzufügen von Material (Helix-Wicklung), zusätzliche Harzschichten, Oberflächenbeschichtung sowie Erzeugung einer Profilierung durch Umformung bei teilausgehärteter Matrix. Ein wirtschaftliches Verfahren zu finden, ist Gegenstand aktueller Weiterentwicklungen)*

**Stahlbeton (J. Monier, 1887):**

mit Bewehrungsstahl (Betonstahl) bewehrter (armierter) Beton

**Stahldrahtfasern:**

Kurzfasern bis Langfasern zur Verbesserung der Betoneigenschaften, speziell Biege- und Schubverstärkung.

*(Note: z. B. glatt, hochfest ST 1420/1570 N/mm<sup>2</sup> mit  $\varnothing = 0,15$  mm,  $L = 9$  mm - 17 mm (zur Verbesserung der Betonmatrix, wobei die längeren Fasern verteilungsgünstiger sind, vor allem bei höherem  $V_f$  und mit Endhaken, Igelbildung)*

**Stampfbeton:**

unbewehrter Beton

**Standard und Norm:**

Maßstab, Richtschnur, Qualitäts- oder Leistungsniveau.

*(Note: Bei einer einheitlich verabschiedeten Norm (engl. Public Standard) findet zusätzlich ein öffentliches Einspruchsverfahren statt, eine Norm darf nicht zu einem Sondervorteil einzelner führen, alle Beteiligten müssen also praktisch zustimmen. Bei einem Standard (engl. Consortia Standard) müssen nicht alle Beteiligten gleicher Meinung bei der Abstimmung sein)*

**Standardabweichung  $\sigma$ , s:** s. a. Varianz

für Grundgesamtheit ist  $\sigma$  die positive Quadratwurzel aus der Varianz, für die Stichprobe  $s$  gilt analoges

**Stapelfaser:**

geschnittene Fasern, wobei die Stapellänge identisch mit der Schnittlänge ist

**Statische Berechnung:** ‘Statik‘

Berechnung der Kräfte, Spannungen und Verformungen einer Konstruktion, Tragstruktur

**Statische Nutzhöhe  $d$ :**

Abstand zwischen Bewehrung im Beton und Betonoberfläche

**Statistische Parameter:**

Parameter der Verteilung  $f(X_j)$  für NV, LNV, WV

**Statistische Versuchsplanung:**

Hilfsmittel zur effektiven Durchführung von Versuchen.

*(Note: Siehe Design of Experiments DoE, Samplingstrategien, Versuchspläne (teil- und voll-faktoriell, raumfüllend wie Monte-Carlo, Latin-Hypercube Sampling)*

**Stichprobe:** sample

ein oder mehrere Prüflinge, die zufällig, also ohne Rücksicht auf ihre Qualität, aus dem Los oder der Charge ausgewählt werden [DIN 40 080, VDI 4001, B1.3].

*(Note: Damit gemeint ist ein Satz an durchzuführenden Messungen oder die Summe von Probekörpern)*

**Stehfaden:**

textiltechnisch, Kettfaden bei Verstärkungsstrukturen.

*(Note: Fadenelement, das ein 3D-Verstärkungshalbzeug in z-Richtung steif verbindet; s. Fig.23. Im Textilbeton keine Bedeutung Fig.24)*

**Sticken:**

textile Technik, bei der ein Trägermaterial mittels Durchziehen oder Aufnähen von Fäden verändert wird.

*(Note: Spezielle Anwendung beim Tailored Fiber Placemen TFP im Maschinenbau, oder bei lokalen Lasteinleitungen wie bei ‘Pilzköpfen‘ von Stützen im Bauwesen)*

**stochastisch:**

zufällig

**Stochastisches Modell eines Konstruktionsparameters:**

statistische Erfassung des beobachteten streuenden Konstruktionsparameters  $X_j$  durch  $(\mu_x, \sigma_x, f_x)$  und seiner Korrelationen  $\rho_{ij}$

**Stochastischer Prozess:**

Vorgehensweise bei stochastisch basierten Lastannahmen

**Strang:** strand

Bündel an ungedrehten Filamenten oder langen Einzelfasern

**Sulfatwiderstand:**

Widerstand gegen das schädliche sog. Sulfatreiben im Beton durch Verwendung spezieller „Sulphate Resistance (SR) –Zemente“

**Synthetische Wöhlerlinien:**

Wöhlerlinien für rechnerische Abschätzungen der Lebensdauer von schwingbeanspruchten Bauteilen bereits im frühen Entwicklungsstadium

**Systemversagenswahrscheinlichkeit:**

Versagenswahrscheinlichkeit eines Versagenssystems, das aus verschiedenen, unterschiedlich unter äußerer Beanspruchung versagenden Versagenskomponenten besteht

**Tapewickelverfahren:**

Lagenweise Fügung von UD-faserverstärkten Halbzeugen

*(Note: Automatisierte Fertigung möglich)*

**Tangentenmodul:**

Modul, der in einem Punkt einer Spannungs-Verzerrungskurve durch Anlegen der Tangente ermittelt wird

**Teilsicherheitsfaktoren:** partielle Sicherheitsfaktoren

streuenden Entwurfparametern oder Bemessungsparametern direkt zugeordnete Sicherheitsfaktoren im semiprobabilistischen Sicherheitskonzept zur Erzielung von Sicherheit im Bauteil.

*(Note: (1) Begriff beschreibt Beiwerte für Einwirkungen, deren Wert die Unsicherheiten der Einwirkungen wiedergibt oder Beiwerte für Werkstoffe (wie für Festigkeiten), deren Wert die Unsicherheiten in den Werkstoffeigenschaften wiedergibt. Die Beiwerte sind auf den charakteristischen Wert (Index  $k$ ) oder den Nominalwert der betreffenden Größe bezogen. (2) Im Grunddokument des Eurocode 3 ist der empfohlene Teilsicherheitsbeiwert für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen für Beton  $\gamma_c=1,5$  und für Betonstahl, als auch für Spannstahl  $\gamma_s=1,15$ . Bei außergewöhnlichen Bemessungssituationen ist  $\gamma_c=1,2$  für Beton und  $\gamma_s=1,0$  für Betonstahl als auch für Spannstahl. (3) Vorgaben für Textilbeton sind Gegenstand aktueller Arbeiten)*

**Teilsicherheitskonzept:**

Konzept für die Standsicherheitsberechnung von Bauwerken und Bauteilen, s. Grundnormen EN 1991 bis EN 1998; Table 4

**Temperatureinsatzgrenze:**

Temperatur, bei der die Glasübergangstemperatur  $T_g$  des verwendeten Polymers entscheidend ist, d.h. die Temperatur, wo das Polymer zähelastisch wird.

*(Note: Duroplaste werden unterhalb  $T_g$  eingesetzt, Elastomere oberhalb  $T_g$ , amorphe Thermoplaste setzt man wie die Duroplaste unterhalb  $T_g$  ein, bei teilkristallinen Thermoplasten reicht der Einsatzbereich bis vor den Schmelzbereich)*

**Temperaturkennwerte:**

Glasübergangs-, Schmelz- und Zersetzungstemperatur

**Tempern:**

Nachhärtung oberhalb  $T_g$  durch Erwärmen des Polymers.

*(Note: Bei Thermoplasten können so ungünstige Zug-Eigenspannungen reduziert werden)*

**Test-Plan:**

Technisches Dokument, das folgendes enthält: Zweck des Tests, Test-Spezifikation, Definition des zu prüfenden Produktes

**Tex:** s.a. Feinheit

Feinheitsmaß 1 tex = 1 g / 1000 m = 1 g / km (= 9 den = 10 dtex)

**Textilbeton:**

Werkstoffverbund (  $\neq$  Verbundwerkstoff), der ähnlich dem Stahlbeton aus zwei, nicht miteinander ‘verschmierbaren‘ Komponenten, nämlich Beton und Bewehrung besteht.

*(Note: Textilbeton eignet sich sowohl zur Herstellung neuer als auch für die Verstärkung bestehender Beton-*

*Bauteile. Der verwendete Beton ist oft sehr feinkörnig und in der Regel hochfest, was ihn – praktisch ein Mörtel - vom üblichen Normalbeton unterscheidet)*

### **Textile Gitter zur Bewehrung:**

‘offene‘ gitterartige Verstärkungsstrukturen, Fig.24 , Fig.25.

*(Note: s. a. Beispiele für ein Produktdatenblatt, Fig.43. Die jetzt vorhandenen Produktdatenblätter müssen noch ergänzt und soweit standardisiert werden, dass ihre Inhalte vergleichbar sind)*

### **Textur:**

hier: Beschreibung der Beschaffenheit von Oberflächen.

*(Note: Begriff wohl ursprünglich aus der Textilindustrie, aber auch auf Schnitte durch Metalle angewendet)*

### **Thermoformen:**

großserientaugliches Verfahren von faserverstärkten thermoplastischen Halbzeugen zur Herstellung von dreidimensionalen Strukturen.

*(Note: Bei diesem Prozess wird ein konsolidiertes Organoblech über die Schmelztemperatur der thermoplastischen Matrix erwärmt. Das Aufheizen erfolgt beispielsweise in einem Paternosterofen oder durch ein Infrarot-Heizfeld. Die Verarbeitungstemperatur liegt dabei deutlich über der Schmelztemperatur, jedoch unterhalb der Zersetzungstemperatur, um eine Degradierung der Matrix zu vermeiden)*

### **Theorie 1. Ordnung:**

Gleichgewicht am unverformten System.

*(Note: Im Balkenquerschnitt herrschendes Gleichgewicht zwischen Belastung (Kräfte und Momente) und Beanspruchung (Spannungen) wird am unverformten Balken betrachtet. Einfluss der Verformung inkl. eventueller geringer Vorverformung wird vernachlässigt. Diese Vorgehensweise ist i. d. R. nur dann zulässig, wenn die Verformungen so klein sind, dass sie die Ergebnisse der Berechnung nur unwesentlich beeinflussen)*

### **Theorie 2. Ordnung:**

Gleichgewicht am verformten System.

*(Note: Kleine Verformungen und kleine Verdrehungen (Linearisierung  $\sin \varphi = \varphi$ ,  $\cos \varphi = 1$ . Gleichgewicht wird unter Berücksichtigung von linearen sowie nichtlinearen Verformungen betrachtet)*

### **Theorie 3. Ordnung:**

Gleichgewicht wird am verformten System unter Berücksichtigung des Spannungszustandes ermittelt.

*(Note: Große Verformungen, z. B. Seilkonstruktion)*

### **Thermografie:**

Prüfmethode, welche die Wärmesignatur eines Prüfobjekts bildgebend erfasst und zu Analyse Zwecken verwendet

### **Thermoplast:**

plastisches Material, das wiederholt durch Wärme und Druck umgeformt werden kann, wie PA6, PP, PES, PPA, PPS

### **Titer:**

dezitex = 1 g / 10000 m = 0.1 tex

### **Toleranzgrenze:**

begrenzender Wert (oberer oder/und unterer), der für eine Größe festgelegt ist [ISO 3534]

### **Toleranzintervall (statistisches):**

Intervall in dem der spezifizierte Teil  $p$  der Merkmalswerte liegt

*(Note: Das einseitige Toleranzintervall wird z. B. bei der Ermüdungsdauer benutzt und das zweiseitige Toleranzintervall bei einer Wanddickenverteilung oder dem E-Modul)*

### **Topfzeit:**

Verarbeitbarkeitsdauer von reaktiven Materialien oder Zeit zwischen dem Anmischen einer mehrkomponentigen (z. B. zweikomponentig 2K) Substanz und dem Ende ihrer Verarbeitbarkeit

### **TORKRET Relief®:**

Spritzbeton-Verfahren zur Herstellung natürlich aussehender Natursteinwände und Wandoberflächen

**Tow:** Faserbändchen, s. a. Garn, Roving

Bündel aus langen Einzelfasern (früher) und auch aus Endlosfasern (HighTec).

*(Note: Faserhersteller liefern die Tows mit mehr als 6k Einzelfasern, üblicherweise als gespreiztes Bändchen. Mit gedrehten (twisted), also runden Faserbündeln würde das Spreizen nicht möglich sein)*

**Tragwerksidealisierung:**

Modellfestlegung für die Berechnung entsprechend den Qualitätsansprüchen des Projektes (s. a. Tragwerkstypen)

**Tragwerkstypen:** eben oder räumlich

Stabtragwerke (Stab, Balken, Bogen, Fachwerk, Rahmen, Seil) und Flächentragwerke (Scheibe, Platte, Schale, Faltwerk, Membran)

**Tränkung:** Roving, Faserstrang, Tow, Gitter

Imprägnierung.

*(Note: Imprägnierung des Rovings (Styrol-Butadien, EP, TP-compatible), oder eventuell als Komponente eines Heavy Tow (48k: warp 3300 tex, fill > 800 tex,) oder des gesamten Bewehrungsgitters. Allein eine gute Tiefenimprägnierung garantiert die notwendige Filamentbenetzung, damit eine möglichst gleiche Ausnutzung aller rovinginternen Filamente stattfinden kann)*

**transient:** lat. transire = vorbeigehen

vorübergehend, einen Einschwingzustand bezeichnend

**Transversale Isotropie:**

Sonderfall der Orthotropie eines Werkstoffs, wo senkrecht zur Faserrichtung (UD-Schicht oder reines UD-Gelege) unendlich viel Symmetrieebenen existieren.

*(Note: Ein linear elastischer, transversal-isotroper Werkstoff wird durch 5 elastische Konstanten und 5 Festigkeiten vollständig bestimmt. Senkrecht zur Faserrichtung existiert bei diesem anisotropen Werkstoff eine quasi-isotrope Ebene)*

**Trennbarkeit:** im Sinne von Recycling

Vermögen, die einzelnen Werkstoffe im Bauwerk oder Bauteil voneinander zu trennen

**Trennfestigkeit:**

Festigkeit infolge von Zugspannungen

*(Notes: (1) Normal-Festigkeit, bevor eine kritische Schubspannung den werkstoffinneren Reibungswiderstand überschreitet. Eine echte Schubfestigkeit hat höheres Arbeitsvermögen. (2) Bei spröden Werkstoffen führt eine Schubspannung zu einem Normalbruch, weil die Spannungskomponente Zug der sich aus den beiden Komponenten Zugspannung und Druckspannung zusammensetzenden Schubspannung maßgeblich ist)*

**Trennmittel:**

Hilfsmittel, die das Entformen von z. B. verstärkten Kunststoffteilen ermöglichen.

*(Note: Arten sind Folien, Trennlacke (filmbildend), Trennpasten oder Trennöl auf Wachs-, Paraffin- oder Siliconbasis)*

**tri-axiales Textil:** s.a. MAG

3 Faserrichtungen in der Ebene.

*(Note: also ebenes Halbzeug und ist damit kein 3D-Werkstoff)*

**Tübbing:**

Strukturelement der tragenden Beton-Auskleidung eines Tunnels oder Schachtes

**Übergreifungslänge (Überlappungslänge):**

Maß für die notwendige Länge der Überlappung der Bewehrung, damit ein durchgehender Tragquerschnitt vorliegt, s. Fig.41

**Überlebenswahrscheinlichkeit:**

Komplement der Ausfallwahrscheinlichkeit  $p_A$  zu Eins oder (Ausfallwahrscheinlichkeit + Überlebenswahrscheinlichkeit = 1, gem. DIN 40 042)

**UD-Schicht:** UD-Lamina, UD-Lamelle, UD-Tape

transversal-isotroper Werkstoff.

*(Note: Einzelschicht, die unter Verwendung nicht verwobener Verstärkungsfasern erzeugt wurde, die alle parallel gelegt worden sind)*

### **UD Prepreg:**

uni-direktionales mit reaktionsverzögertem Harzsystem vorimprägniertes Faser-Matrix-Halbzeug.

*(Note: In Breiten von 300, 600 und 1200 mm lieferbar. Die Faser-Flächengewichte liegen zwischen 70 und 300 g/m<sup>2</sup>. Zur Herstellung von Tapes mit geringen Flächengewichten müssen die Tows gespreizt werden. Durch das Führen der Tows über Umlenkrollen wird der ovale Querschnitt bandförmig. In der Luftfahrt gebräuchliche Tapes ergeben ausgehärtete Einzellagendicken von ca. 0,125 mm, 0,184 mm und 0,250 mm. Dies entspricht Faserflächengewichten von etwa 134, 194 und 268 g/m<sup>2</sup>)*

### **Ultrahochfester Beton UHFB, UHPC:**

Betonsorte, die sich durch besonders hohe Dichtigkeit und Festigkeit auszeichnet mit  $f_{cd} > 150 \text{ N/mm}^2$ ,  $w/z < 0,25$  (sonst  $< \approx 0.4$ )

### **Ultraschallprüfung:**

zerstörungsfreie Prüfung, luftgekoppelt und wassergekoppelt.

*(Note: Schallwellen (s.a. Begriff) in unterschiedlichen Medien breiten sich verschieden schnell aus. Sie werden an Grenzflächen unterschiedlicher akustischer Impedanz teilweise reflektiert)*

### **Umschnürungsbewehrung:**

Erhöhung der Tragfähigkeit durch Umschnürung der Druckzone (Biegedruckzone) durch Bügelbewehrung oder Wendel zur Aufnahme der Querkzugbeanspruchung, wie z. B. bei wendelbewehrten Druckgliedern

### **Unschärfe:**

Form der Ungenauigkeit, Unbestimmtheit, Ungewissheit, Unsicherheit

### **Unsicherheit:**

Zustand infolge mangelnder Kenntnis

### **Validierung:** validus = kräftig oder wirksam

strukturmechanisch, die Sicherstellung ausreichender Genauigkeit eines Modells oder einer Messung.

*(Notes: (1) Modellierer definieren Validierung als „Did I solve the right problem“. (2) s. a. validation versus verification mit einem Beispiel, dass Validierung und Verifizierung unabhängig voneinander erfolgreich sein können)*

### **Variable:**

veränderliche Größe, welche jeden Wert aus einem spezifizierten Wertebereich annehmen kann

### **Varianz:**

a) einer Basisvariablen: Erwartungswert des Quadrates der zentrierten Basisvariablen.

b) von Beobachtungswerten einer Stichprobe: Summe der quadrierten Abweichungen der Beobachtungswerte von ihrem arithmetischen Mittelwert, dividiert durch die um 1 verminderte Anzahl der Beobachtungswerte [DIN 55 350]

### **Variationskoeffizient:**

Stichprobe  $v_x = s / \bar{x}$  ; Gesamtheit  $V = \sigma / \mu$

### **Veränderliche Einwirkungen:**

nach DIN EN 1991, auf das Tragwerk einwirkende Kraft- und Verformungsgrößen, die bei den Lastannahmen in der Baustatik berücksichtigt werden.

*(Note: Veränderliche Einwirkungen sind Schnee- und Windlasten, Eisdruck, Wasserdruck, Auftrieb, Nutzlasten (Personen, Fahrzeuge, Überdruck in Tunnelbaustellen, Fahrkräne in Werkshallen etc.)*

### **Verfahren der zulässigen Spannungen:**

deterministisches Nachweisverfahren, bei dem die unter den erwarteten Höchstlasten auftretenden Spannungen mit einem statistisch, und weiter durch einen um einen Sicherheitsfaktor reduzierten Werkstoffwiderstand verglichen werden.

*(Notes: (1) Zulässige Spannung = statistisch abgeminderte Festigkeit / j. (2) Überholtes Nachweisverfahren,*

das bei nichtlinearen Berechnungen nicht korrekt ist, da dann ja Spannungen nicht mehr proportional zur Last sind. (3) Der veraltete Begriff 'zulässige Spannung' wird - zu großer Verwirrung führend - leider immer noch bei den neuen Nachweisverfahren fälschlicherweise benutzt)

**Verankerungslänge:** anchoring length

erforderliche Länge, um die volle Tragkraft in einen Bewehrungsstab oder einem Bewehrungsgitter in den umschließenden Betonkörper zu übertragen.

(*Note:* Verankerungslänge  $\equiv$  Überlappungslänge, Fig.41. Verstärkung für N, M, Q, T)

**Verbindungen:**

Kraftüberleitungselemente.

(*Note:* Verbindungsarten sind (1) Stoffschlüssige Verbindungen: Klebverbindungen. (2) Kraftschlüssige Verbindungen: Press- und Klemmverbindungen. (3) Formschlüssige Verbindungen: Schlaufenanschlüsse, Keilanschlüsse, Niet- und Schraubenverbindungen. (4) Um Leichtbau wirklich möglich machen zu können, müssen diese gestaltungsmäßig optimiert sein)

**Verbund(schub)festigkeit:**

$\tau_{b,max}$  in N/mm<sup>2</sup> (b  $\equiv$  bonding!)

**Verbundlänge: bond length**

notwendige Länge zur Erzielung eine optimalen Kraftübertragung

**Verbundwerkstoff<sup>2</sup>:** s. Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.

hoffentlich homogenisierbarer und dann homogenisierter Verbund aus einzelnen Komponenten, der über seine 'verschmierten' Verbundeigenschaften modellierbar ist.

(*Note:* Beispiele sind (Kurz-)Faserbeton, SMC, UD-Schicht-Lamelle. Die Lamelle hat eine niedrigere 'Größenskala' als der Textilbeton, da dieser ein Werkstoffverbund und kein Verbundwerkstoff ist)

**Verfestigung:**

Zunahme der mechanischen Festigkeit durch plastische Verformung

**Verifikationsverfahren:**

Nachweisführung gemäß vorgegebener Daten aus dem Pflichtenheft

**Verifizierung:** veritas facere = Wahrheit machen

Durchführung von Nachweis und Messung nach den im Pflichtenheft festgelegten Zahlenvorgaben (Strukturmechaniker).

(*Notes:* (1) Modellierer definieren Verifizierung als „Did I solve it correctly“. 2) s. a. validation versus verification mit einem Beispiel, dass Validierung und Verifizierung unabhängig voneinander erfolgreich sein können))

**Vernetzungsgrad:**

Angabe zur Prepreg-Halbzeuglieferung mit A-stage (nicht vernetzt), B-stage (leicht vernetzt), C-stage (voll vernetzt)

**Versagen:**

Nichterfüllung einer Funktion wie Unbrauchbarwerden, Bruch, Fließbeginn.

(*Note:* Versagenszustand = Zustandsfunktion  $g_i = F_i - 1 < 0$ )

**Versagensart oder -modus (engl. failure mode):**

Grenzzustand wie Fließbeginn, Totalbruch, Instabilität, Vibration, Grenze einer bestimmten Verformung, ZFB oder FB, Betonabplatzen

**Versagensbedingung  $F = 1$ :** engl. failure 'criterion'

hier, Beziehung zur Erfassung der Beanspruchung eines Werkstoffs unter mehrachsigen Spannungszustand.

(*Note:* Quantitative Meßgröße in Form einer mathematischen Funktion  $F$ . Gibt die Möglichkeit der Festigkeitsbewertung eines kombinierten Beanspruchungszustandes  $\{\sigma\}$  aus den üblichen, gemessenen Basis-Festigkeitswerten  $\{R$  bzw.  $f\}$ , nachdem das Kriterium natürlich vorher durch Versuche mit kombinierten Beanspruchungszuständen validiert und kalibriert wurde. Es gilt:  $F < 1$  noch kein Versagen,  $F = 1$  ist Versagen, d.h. im Grenzzustand bei einer Werkstoffanstrengung von 100%)

**Versagenshypothese:**

Idee über die Ursache eines Versagens.

*(Note: Unter welchen Bedingungen ein Beanspruchungszustand einen spröden Trennbruch beispielsweise beim Beton hervorrufen kann)*

**Versagenskategorien:**

katastrophal, groß, klein, vernachlässigbar

**Versagensoberfläche (Festigkeit):**

Versagensgrenzfläche = Oberfläche der Vektoren aller ein- und mehrachsigen Versagensspannungen.

*(Note: Bei spröden Werkstoffen ist das Versagen ein Bruchversagen und kein Fließversagen, auch nicht im Druckbereich)*

**Versagenswahrscheinlichkeit (Ausfallwahrscheinlichkeit):**

Wahrscheinlichkeit  $p_f$  in %, mit der ein Bauteil nach dem probabilistischen bzw. wahrscheinlichkeitstheoretischen Sicherheitskonzept versagt.

*(Note: Der Berechnung von  $p_f$  liegt die Kenntnis der statistischen Parameter der Grundverteilungen von sog. Einwirkungen (z. B. Spannung) und sog. Widerständen (z. B. Festigkeit) zugrunde)*

**Versagenswahrscheinlichkeiten, Eurocode: Tragstruktur Bauwerk und Bauteil**

Komponenten und übergeordnetes Tragsystem.

*(Note: Die Beanspruchungen werden mit Teilsicherheitsbeiwerten erhöht und die Widerstände mit Teilsicherheitsbeiwerten abgemindert. Jede Einwirkung und jeder Widerstand hat seinen eigenen Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma$ . Mit diesen Teilsicherheiten muss die Versagenswahrscheinlichkeit geringer als die Ziel-Wahrscheinlichkeit  $p_f = 1 \cdot 10^{-6}$  sein, dann ist der Nachweis erbracht. Die Teilsicherheitsbeiwerte muss man für jede Einflussgröße entsprechend ihrer statistischen Streuung und entsprechend der möglichen Genauigkeit ihrer Ermittlung festlegen)*

**Verschmieren: homogenisieren**

theoretische Überführung eines mit Defekten behafteten Werkstoffs in einen homogenen Werkstoff.

*(Note: aber auch für Faserbeton oder eine UD-Schicht-Lamelle verwendet)*

**Verschmierbarkeit: Homogenisierbarkeit**

Überführbarkeit eines Werkstoffkonglomerats in einen einfacher berechenbaren (homogenisierten) Werkstoff

**Verschnitt: s.a. buy-to fly entspricht einem buy-to-operate im Bauwesen**

Materialverlust beim Zuschneiden von z. B. einzelnen, zu laminierenden Lagen mit in der Regel verschiedenen Faserrichtungen oder bei der Herstellung von Carbonstäben und -matten.

*(Note: Materialverluste entstehen an vielen Stellen im Fertigungsprozess, nicht nur beim Verschnitt! Bei hohen Materialpreisen, wie der CF, sind diese Verluste kosten-relevant. Gelegentlich wird Verschnitt auch für andere Teil-Fertigungsprozesse angegeben, z. B. für die Umrissbearbeitung, Verluste durch Lager- bzw. Verarbeitungszeitablauf, Wareneingangsprüfmengen, Fertigungsbegleitproben, Rollenreste. Der Verschnitt wird in Prozent angegeben als 'Abfall / eingesetzte Materialmenge', was aber nicht wirklich aussagekräftig ist, so wie die aus der Luftfahrt stammende Kennzahl 'buy-to-fly', die im Bauwesen mit 'buy-to-operate' übertragen werden könnte)*

**Verstärkung: faserverstärkt im Bauwesen**

Erhöhung der Tragfähigkeit von Bauteilen durch nachträgliches Aufbringen zusätzlicher Bewehrung.

*(Note: Durchführung mit den Bewehrungsarten Stäben, Lamellen und Gittern)*

**Verstärkungsbewehrung: textiles Gitter**

spezielle 'mattenartige' Bewehrungsstruktur.

*(Note: laut abZ Z 31-10-182 gilt derzeit für eine textile Schicht = 112 kN/m ( $\equiv$  Stahl  $\varnothing 8 / 20$  cm Abstand) und 4 Lagen entsprechen Stahl  $\varnothing 10 / 7,5$  cm. Weiterentwicklungen finden statt)*

**Verteilungsfunktion:**

Funktion, welche für jedes  $x$  die Wahrscheinlichkeit angibt, daß die Zufallsvariable  $X$  (Großbuchstabe!) kleiner oder gleich  $x$  ist (nach DIN 55 350, Teil 21)



**Vertrauensniveau (Konfidenzniveau) C:**

Mindestwert der Wahrscheinlichkeit, der für die Berechnung eines Vertrauensbereiches oder eines statistischen Anteilsbereiches vorgegeben ist [DIN 55 350].

*(Note: Ein gewählter Wert, der bei Schätzproblemen die Wahrscheinlichkeit C dafür angibt, daß der Vertrauensbereich den wahren Wert des geschätzten Parameters enthält. Übergang von Stichprobe zur Grundgesamtheit hiermit durchführbar)*

**Verzug:**

Differenz zwischen erreichter Form und Formvorgabe, bedingt durch chemisches Schwinden, physikalisches Schrumpfen und erzeugte Eigenspannungen

**Vliesstoff (Vlies):**

flächiges Halbzeug, durch mechanische, chemische oder auch thermische Verfestigung erzeugt.

*(Note: Zumeist durch Vernadeln von Langfasern hergestellt, also ohne Anwendung textiler Prozesse wie Weben, Wirken, Flechten, Stricken aber auch aus Stapelfasern als ein gut drapierbarer Wirrlagen-Vliesstoff,*

**Vorform: preform**

Faserhalbzeug (trocken, oder auch imprägniert), das aus mehreren, ggf. unterschiedlichen Halbzeugen zusammengesetzt ist (mit Hilfe eines Binders, oder auch durch Vernähen) und ggf. endkonturnah umgeformt wird.

*(Note: In einem weiteren Fertigungsschritt, wie z. B. RTM oder Thermoplastumformung, entsteht aus der Vorform das fertige Bauteil)*

**Vorgefertigte Anlage:**

Gemäß BauPG aus Baustoffen und Bauteilen hergestellte Bauten wie Fertighäuser, Fertiggaragen, Trafohäuser

**Vorspannung:**

ohne äußere Belastung in Bauteilen vorhandene mechanische Spannung, die bei der Fertigung oder Montage eingebracht wird, um im Lastfall das gewünschte Verhalten zu erreichen.

*(Note: Vorspannungskonzepte im Spannbeton sind: (1) hydraulisch vorgespannte Spannstäbe und (2) bei Carbon-Tow-Einsatz wie ZHAW-Brücke mit vorgespannten Deckplatten Fig.39 und auch Stäbe sowie Lamellen in Fig.45; Fig.46; Fig.50; Fig.51; Fig.52; (3) Vorspannung mit einer eisenbasierten Formgedächtnislegierung (Steel Memory Alloys, SMA). ermöglicht eine einfache und neuartige Vorspanntechnik für Sanierungen, Neubauten und Vorfabrikate [EMPA]. SMA sind Funktionswerkstoffe, die in der Lage sind, sich an eine zuvor eingeprägte Form zu erinnern infolge einer temperatur- oder spannungsinduzierten Phasentransformation, Fig.63)*

**Wahrscheinlichkeitsdichte  $f(x) = dF(x)/dx$ :**

erste Ableitung der Verteilungsfunktion F, falls eine solche existiert [DIN 55 350 Teil 21]

**Wahre Spannung:**

auf den beim Bruch vorliegenden Rest-Querschnitt bezogene Spannung

**Wasser-Zement Verhältnis:**

w/z mit Anteilen 0.3 bis 0.4 bei Normalbeton

**Wasserstoffversprödung:**

Korrosionsart, bei der atomarer Wasserstoff in den Werkstoff diffundiert und in der Metallgitterstruktur eingelagert wird.

*(Note: Werden hochfeste Stähle geschweißt, können bewegliche Wasserstoff-Atome im Material Probleme verursachen: Die Atome sammeln sich langsam in Bauteilbereichen mit hohen Eigenspannungen an und machen dort den Stahl spröde. Die Folge sind sogenannte Kaltrisse durch Spannungsrißkorrosion)*

**Weibull-Verteilung (WV):**

Verteilung, die bis zu vier freie Parameter besitzt, mit denen sie sehr gut an unterschiedliche Merkmalsverteilungen angepaßt werden kann.

*(Note: wird zur Darstellung von Extremwertverteilungen benutzt wie Weakest Link Model und vor allem bei Kurzzeitfestigkeits- und Restfestigkeitsverteilungen wie der Wöhlerkurve)*

**Welligkeit: Tow, Laminat**

Ondulation des abgelegten bzw. im textilen Halbzeug eingebundenen Tows sowie auch einer Faserschicht in einem Laminat

### **Werkstoffanstrengung:**

Anstrengungszustand  $E_{ff}$  eines Werkstoffs.

*(Note: Für UD-Werkstoffe benutzt A. Puck den Namen 'stress exposure'. Beim Versagensspannungszustand, den ein Werkstoff gerade noch ertragen kann, ist  $E_{ff} = 100\%$ )*

### **Werkstofftest:**

Verfahren mit kontinuierlicher Lasterhöhung, sowie stufenweiser kontinuierlicher Lasterhöhung.

*(Note: Prüfdauer bewegt sich normalerweise im Minutenbereich und wird mit niedrigen Dehnraten durchgeführt, allerdings so hoch, dass keine Relaxationseffekte und keine viskoelastischen Effekte auftreten)*

### **Werkstoffverbund<sup>1</sup>:** material composite, s. Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.

Verbund unterschiedlicher Werkstoffe, bei denen strukturmechanisch bereits eine Verbundkonstruktion vorliegt.

*(Note: Beispiele sind Sandwich-Halbzeug, Metall mit CFK-Verstärkung, Stab-Verstärkungsstruktur oder Textilbewehrung im Beton. Es sind Werkstoffverbund-Komponenten, die praktisch nicht zu einem Werkstoff verschmiert werden können. Leider wird der Textilbeton oft als Verbundwerkstoff bezeichnet)*

### **WHO-Feinstaubpartikel:**

faserförmige und nicht-faserförmige Partikel, die in die Alveolen (Lungenbläschen) der Lunge gelangen können.

*(Notes: (1) Problem ist, ob die feinen Partikel chemisch bereits karzinogen wirken oder, ob aufgrund ihrer Kleinheit, Form, Steifigkeit oder ihrer Menge (mögliche Überdosis) eine toxische Gefährdung hervorgerufen wird. (2) Kritische Faserpartikel sind nach derzeitiger Erfahrung der BAuA:  $\varnothing < 3 \mu\text{m}$ ,  $L > 5 \mu\text{m}$ ,  $L/\varnothing > 3$ , da diese durch die Makrophagen (Amöben in der Alveole) nur schlecht heraus transportiert werden können. (3) Generell ist zu beachten, dass natürlich 'Risiko = Gefährdung x Häufigkeit' gilt. Wie häufig brennen also z. B. Carbonfasern zu solchen kritischen Größen einmal ab? Wie häufig können durch Abschleifen, durch Trennen eines CF-Bauteils mit Polymer- oder Betonmatrix bei den einzuhaltenden Arbeitsschutzbedingungen solche WHO-Faser-Partikel auftreten? (4) Bei den üblicherweise verwendeten PAN-basierten HT-Fasern in Betonbauteilen wurden beim Bearbeiten keine solchen Fasergrößen festgestellt [BAuA]. Stäube sind gesundheitsschädlich und müssen möglichst direkt beim Bearbeiten, Zerspanen vom Werkstück abgeleitet werden. Übliche Arbeitsschutzmaßnahmen sind also immer vorzusehen, und es muss selbstverständlich sein, sich immer sachkundig zu machen. (5) Bei Verwendung der spröderen, hochmoduligen pechfaser-basierten Fasern (sehr teuer, Raumfahrtanwendung) ist bei der Bearbeitung besondere Sorgfalt notwendig)*

### **Wickeln:**

Herstellprozess für zumeist rotationssymmetrische Strukturbauteile, wobei der Wickel-Faden (ein oder mehrere Tows oder ein Tape) auf einen Kern aufgewickelt wird.

*(Note: Die Tows werden entweder in der Wickelmaschine imprägniert (Nasswickeln), oder es werden bereits imprägnierte Tows (TowPregs) verwendet)*

### **Wickelband:** tape

Gesamtheit aller Tows, die gleichzeitig miteinander gewickelt werden

### **Widerstand R:** Beanspruchbarkeit

Eigenschaft eines Werkstoffs oder einer Struktur, den äußeren Lasten oder auch resultierenden Spannungszuständen (Beanspruchungen) zu widerstehen.

*(Note: Beispiele sind Lastwiderstand und Beulwiderstand (Strukturwiderstandseigenschaften auf Lastniveau oder die Festigkeit (Werkstoffwiderstandseigenschaft  $f$  oder  $R$  auf Spannungsniveau) oder manchmal auch als ertragbare Grenzdehnung gegeben. Gemessen wird jeweils in derselben Einheit wie die zugehörige Einwirkung  $S$ )*

### **Widerstandsfähigkeit R:** Resistance

Eigenschaftsniveau, auf dem etwas widerstandsfähig ist, wie beispielhaft Festigkeit, Steifigkeit, Nicht-Korrodiierbarkeit

**Widerstandsklasse RC:** Exposition für Beton

Expositionsklassifizierung als Konzept zur Tragwerksplanung.

*(Note: eine 50-jährige Nutzungsdauer angenommen, bedeutet dann z. B. die Widerstandsklasse RC40 bei Carbonatisierung, dass die Carbonatisierungsfrent nach 50 Jahren unter bestimmten Lagerungsbedingungen mit einer Annahmewahrscheinlichkeit von 90 % eine Tiefe von 40 mm nicht überschreitet [ISO 16204:2012])*

**Widerstandsklasse WK:** Einbruchschutz

genormte Einbruch-Sicherheitsklassen (alt).

**Wirkebene:**

Schnittebene, auf der eine oder mehrere Spannungen wirken **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

**Wirken:**

Textiles Flächenbildungsverfahren, bei dem die textile Fläche in separaten Arbeitsschritten durch Schleifenbildung der Wirkfäden und deren Verbinden entsteht.

*(Note: Bei MAGs und Multi-Axial-Gittern dient der Wirkprozess dazu, die gestreckten Verstärkungsfadensysteme zu verbinden und zu fixieren)*

**Wirkfaden:** s. Bindefaden, Maschenfaden

**Wirrfaserverbund:**

Komposit aus ungerichteten Fasern, beispielsweise eine W-ES bildend

**Wöhlerkurve (Wöhlerlinie):**

Verlauf der Schwingfestigkeitsergebnisse  $\sigma(N)$  oder  $\sigma_a(N)$  für ein bestimmtes Spannungsverhältnis  $R = \min\sigma / \max\sigma$  mit  $\sigma_a$  als Amplitude der Schwingung und  $N$  als Bruchlastspielzahl.

*(Notes: (1) für spröden Werkstoffe wird die Auftragung  $\sigma(N)$  empfohlen, da die Kurve bei  $n=0$  aus dem Festigkeitspunkt  $f$  bzw.  $R$  (leider gleicher Buchstabe wie das Spannungsverhältnis!) herausgeht. (2) Charakteristische Spannungsverhältnisse in den Tests sind  $R = 0$  (Zugwechsel),  $-1$  (Biegung),  $+10$  (Druckwechsel). Sinnvoller als  $R = -1$  ist  $R_{transition} = -R_c / R_t$ , da zwei Versagensmodusbereiche im spröden Werkstofffall durch den zugehörigen Strahl im Haugh-Diagramm gerade getrennt werden, und damit bestmöglich die Interaktion der beiden Modi erfasst wird! (3) Zyklische Versuche sollten speziell bei Laminaten verformungskontrolliert, d.h. die ZFB-versagende, eingebettete Schicht sollte laminat-kontrolliert gefahren werden)*

**Zeitfestigkeit:** Schwingfestigkeit, Ermüdung

zeitabhängiges dynamisches Verhalten des Werkstoffs

**Zeitstandverhalten:** statisch

zeitabhängiges statisches Verhalten des Werkstoffs

**Zement:**

Bindemittel für Beton und Mörtel.

*(Note: Baustoff, bei dem Kalkstein und tonhaltige Gesteine, wie z. B. Mergel, zusammen fast bis zur Schmelze erhitzt werden. Dabei entstehen sog. Klinkermineralien, die Ca, Si, Al und Fe enthalten. Beim Anmachen mit Wasser gehen die Klinkermineralien nach und nach in Lösung und werden als mikrokristalline, wasserhaltige Mischphasen aus Ca, Si, Al und Fe in einem exothermen Hydratationsvorgang abgeschieden. Diese Mischphasen verkleben die Gesteinskörnungen Sand und Kies und nehmen während des Durchhärtens unter Wärmeabgabe (Hydratationswärme) chemisch Wasser auf)*

**Zementleim:**

zähflüssige Mischung aus Zement und Wasser, die aufgrund einsetzender Hydratationsreaktionen erhärtet.

**Zerstörungsfreie Prüfverfahren (ZfP):** non-destructive testing NDT

Verfahren zur zerstörungsfreien Detektion von Fehlern in Bauteilen.

*(Note: Verfahren sind beispielhaft Ultraschall, Röntgen, Thermografie)*

**z-Faden:**

Verbindungselement in z-Richtung beim textilen Prozess, z. B. Wirkfaden (beim MAG) und Nähfaden (beim

TFP)

**Zeuge:**

Beweisprobekörper

**Zufallsvariable (Basisvariable):**

veränderliche Größe, die Werte - einer vorgegebenen Menge von Werten entsprechend - einer dieser Menge zugeordneten Wahrscheinlichkeitsverteilung annehmen kann [DIN 55350, Teil 21].

*(Note: Die Zufallsvariablen können voneinander abhängig sein, also Korrelation zeigen)*

**Zugabewasser:**

Wasser, welches bei der Mischung und Aufbereitung von zum Beispiel Beton oder Mörtel eingebracht werden muss, um das Baumaterial verarbeitbar zu machen und den Abbindeprozess in Gang zu bringen, EN 1008.

*(Note: Notwendige Wasser-Menge, um sowohl eine optimale Menge an Hydratationswasser als auch eine gute Pumpfähigkeit und weiter um Interphasematerial am Interface Filament-zementöse Matrix zu erhalten)*

**Zulassungstextil:**

textiles Halbzeug, das zugelassen ist

**Zusatzmittel:**

additive Beigaben

**Zuschlagstoff:**

Gesteinskörnung

**Zustandsfunktion  $g_i(\mathbf{X})$ :**

zu einem Versagensmodus gehörende Formulierung des Versagens-Zustands, genannt Zustandsgleichung

**Zustandsraum:** engl. state space

Raum der Zustandsvariablen  $X_i$  (prob.) mit Versagensbereich (engl. failure domain)  $g_i(\mathbf{X}) < 0$ , Überlebensbereich (engl. survival domain)  $g_i > 0$  und Grenz(zustandsober)fläche (engl. limit state surface)  $g_i = 0$  oder mit der Versagensfunktion  $F$  geschrieben als  $F_i = 1$ .

*(Note:  $x_i$  sind die Realisationen)*

**Zustand I:**

Zustand, bei dem der Beton-Querschnitt noch nicht als gerissen angenommen wird.

*(Note: Feine Mikrorisse werden als gegeben angenommen).*

**Zustand IIa:**

Rissbildungszustand, bei dem sich die Mikro-Risse vergrößern in Richtung Makro-Risse

**Zustand IIb:**

abgeschlossenes Rissbildungsmuster.

*(Note: Finaler Riss-Zustand im Textilbeton erreicht, ähnlich zu Faserbeton und auch zu den Schichten in einem Laminat, einer Lamelle bei Erreichung des Characteristic Damage State CDS)*

**Zuverlässigkeitsindex  $\beta$ :** ‘Sicherheitsindex‘

kürzester Abstand zum Versagenspunkt.

*(Note: Kenngröße für Bewertung der Zuverlässigkeit des Bauteils  $P_f = \Phi(-\beta)$ ,  $\mathcal{R} = 1 - P_f = \Phi(\beta)$ , wobei  $\beta$  die Quantile der Gaußschen Normalverteilung  $\Phi$  ist)*

**Zwirn:**

miteinander verdrehte Garne.

*(Note: dient u.a. zur Steigerung der Festigkeit und der Elastizität)*

**Zwischenfaserbruch (ZFB):**

Mikrorisse zwischen den Fasern in der Matrix, im Interface, aber auch zwischen den Fibrillen einer Aramidfaser.

*(Note: Für die P-ES (Lamina, Lamelle) als ‘freier‘, sog. isolierter Werkstoffprobekörper unter Querkzug bedeutet ZFB aufgrund des "Schwächste-Glied-Verhaltens" Bruch, für die eingebettete Schicht aber praktisch nur Mikrorißbeginn bzw. Schädigungsbeginn wegen der "Redundanz", die praktisch in einem SV vorliegt)*

**zyklische Beanspruchung:** Lasten, Spannungen

veränderliche Beanspruchung, die mehrachsig nicht-proportionale und phasenverschobene Komponenten haben kann

**Z-Verstärkung:**

Verstärkung in der 3. Richtung.

*(Note: Notwendig zur Erzeugung einer mechanischen Verbindung zwischen verschiedenen Schichten)*

**3D-Drucken:**

Aufaddieren von relativ dünnen Schichten eines Querschnitts oder additiver 2D-Schichtenaufbau dünner Querschnitte von 3D-Strukturen.

*(Note: Untergruppe von additiver Fertigung (Additive Manufacturing AM).. Maschinenbau-Verfahren für Metalle und Polymere wie Laser-Sintern (SLS), Schmelzstrangablegen (FDM, FLM) oder Polyjet, Stereo-Lithographie (SL). Im Bauwesen gibt es derzeit keinen 3D-Druck. Es bietet sich zukünftig lediglich für teure Freiformschalung an)*

**3D-Gitterstrukturen:** Bewehrungsstruktur, Halbzeug

räumliche Verstärkungsgitter wie z. B. Bewehrungskörbe, s. Fig.26, Fig.29

**3D-Komposit:** Werkstoff

räumliches Halbzeug oder Werkstoff, erzeugt durch einen 3D-Webprozess, einen 3D-Flechtprozess, oder eine 3D-Verteilung von Kurzfasern im Faserbeton, s. Fig.22.

## 2. Deutsche Fachbegriffe in Englisch

Deutsch	Englisch
Abbinden	cure
Abplatzung	spalling
Abreißgewebe	peel ply
Abstandsgewebe	spacer fabric
Abwitterung	scaling
allgemeine bauaufsichtliche Zulassung abZ	general construction approval
Alterung	aging
Arbeitsablauf	workflow
Arbeitsvermögen	deformation capacity
Atlasgewebe	satin-woven fabric
Ausdehnung	dilatation
Auslegung, Bemessung	design dimensioning
Ausnutzbarkeit	exploitability (e.g. of a material)
Aussparung	opening
Bahn (breiteres Band)	tape
Balken	beam
Balken, gedrunken	deep beam
Band (hier: Gelegeband ≡ breite Lamelle)	tape
Bauen im Bestand	building in the stock
Bauindustrie	building and construction industry
Baumaterialien	construction (building) materials
Baukastenprinzip	building-block-approach:
Bauphasen	Planung, Bau, Nutzung, Abbruch, Recycling
Baustahlmatte, Baustahlgewebematte,	steel reinforcement grid (mat, mesh)
Beanspruchungsfall	stress case
Betonstahlmatte (s. Baustahlmatte)	
Baustelle	building site
Bauteil	structural component, part of a building
Bauweise	method of construction
Bauwesen	civil engineering
Beanspruchung	mechanical stress
Bedingungen	constraints (in optimisation, programming)
Belastung	loading
Belastungsarten	loading types
Bemessung, Auslegung	(design) dimensioning
Bemessungsfestigkeit	reduced characteristic strength, design strength $f_d$
Beschichtung	coating
Beschlichtung	sizing
beständig	resistant, enduring, durable
Bestandserfassung	stock-taking
Beton	concrete
Betonfertigteile	precast concrete elements
Betonfestigkeit	concrete strength
Betongüte	concrete quality
Betonmatrix	concrete matrix
Betonspaltung	concrete splitting
Betonstahl	rebar
Betonstahlmatte	steel reinforcement grid (mat, mesh)
Betonüberdeckung	concrete cover
Betonzusatzmittel	concrete admixtures
Betonzusatzstoffe	concrete additives
Betonzuschlag	concrete aggregate
Beurteilung	assessment
Bewehrung	reinforcement or armoring

**Deutsch**

Bewehrung, schlaffe  
Bewehrungsgitter  
Bewehrungsgrad  
Bewehrungskorb  
Bewehrungsstab  
Bindemittel  
Bindemittelsystem  
Bruchzähigkeit  
Bügel (Schub-Bewehrung)  
CarbonBeton CB  
Carbonfaser  
charakteristische (Nenn)Festigkeit

Datenmigration  
Dauerfestigkeit  
Dauerhaftigkeit  
Dauerstandfestigkeit  
Decke  
Deckenplatte  
Dehnkörper  
Dehnrateneffekt  
Delamination  
Dichte  
Drehergewebe  
Drehung  
Duromer  
Eigengewicht  
Einspannung (Zurückhaltung)  
Einschränkungen  
Einwirkung S (Belastung)  
Einzelstab  
Endlosfaser  
Endverankerung  
Entfestigung  
Ermüdung  
Ermüdungsfestigkeit  
Ertüchtigung, Nachverstärkung  
Expositionsklasse  
Faden  
Fadenspreizung (Tow)  
Faser  
Faserauszug  
(Kurz)Faserbeton FB  
Faser-Kunststoff-Verbund FKV  
Faser-Rezyklat  
Faserschlichte (s. Beschichtung)  
Fasertypen  
Faserspule  
faserverbund-armierter Beton  
Faser-Verstärkter Kunststoff FVK  
Faservolumenanteil  
Feinbeton  
feinkörnig  
Festigkeit (effektiv)  
Filament  
Fließmittel

**Englisch**

reinforcement, non-tensioned or un-prestressed  
reinforcement grid  
percentage (degree) of reinforcement  
reinforcement cage  
rebar  
binder  
binder system  
fracture toughness  $K_{Ic}$   
stirrup (shear reinforcement)  
carbon concrete  
carbon fiber CF  
statistically reduced compressive strength value  $f_{ck}$  of a series of cured test specimens, determined after 28 days  
data migration  
endurance strength, fatigue limit, fatigue strength  
durability  
long-term static strength incl. creep resistance  
ceiling slab  
slab  
tensile test specimen  
strain rate effect  
delamination  
density  $\rho$   
leno-woven fabric  
twist  
thermoset material  
dead load; net weight  
restraint  
constraints  
action  
single bar  
continuous or endless fiber  
end anchorage  
softening  
fatigue  
fatigue strength  
upgrading, retrofitting  
exposure class  
thread  
thread spreading  
fiber (US), fibre (UK)  
fiber pull-out  
fiber reinforced concrete FRC  
Fiber Polymer Composite  
recycled fiber material  
sizing  
fiber types  
bobbin  
concrete, armored by an endless fiber product  
Fiber-Reinforced Polymer FRP  
fiber volume fraction  $V_f$  in %  
fine-grained concrete  
fine-grained  
effective strength  
filament  
super-plasticiser

**Deutsch****Englisch**

früher Zwang (Eigenspannungen, Zwängung)	residual stresses causing early cracking
Garn (Filamentbündel)	yarn
Garn-Feinheit	yarn count or fineness
Gebrauchstauglichkeit	serviceability
Gebrauchszustand	use state
gedrungener Balken	deep beam
Geflecht	braided fabric
Gelege	non-crimp fabrics or laid webs
Geo-Textilien	geo-textiles
gerissene Zugzone	cracked concrete tensile zone
geschnitten	chopped (fibers, strands, rovings)
Gesteinskörnung (Zuschlag)	aggregate
gestickt	embroidered
Gestrick	weft-knitted fabric
Gewebe	woven fabric
Gewirke	warp-knitted fabric
Gitter (Stab-Gitter)	rebar grid
Gitter (textiles)	flat, open fabric grid structure
Gitterweite	s. Maschenweite
Grenzfläche	failure surface (strength criteria), also interface (composites)
Grenzflächenscherfestigkeit	interfacial shear strength
Grenzzustand	limit state
Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	limit state of serviceability
Grenzzustand der Tragfähigkeit	ultimate limit state ULS
Grundgesamtheit	basic population
Haftung	bond (e.g. filament-matrix)
Haftvermittler	adhesion promoter
Halbzeuge	semi-finished product
Harz	resin
Harzsystem	resin system
Hochbau	building construction
Hohlkastenträger	box girder
Hydratation	hydration
hydrostatische Achse	hydrostatic axis
Imprägnierung	impregnation
Infiltrierung	infiltration
Infusion	infusion
Injektion	Injection (with pressure)
Instandsetzung	repair or retrofitting
inter-laminar	interlaminar
Interphase	interphase
intra-laminar	intralaminar
Intrusion	intrusion
Kardiervverfahren	carding procedure
Kaschierung (Schichtbildung)	lamination
Kette	warp
Kettfaden	warp yarn
Konditionierung	conditioning
konstruktive Bewehrung	secondary (structural) reinforcement
Koordinatensystem	coordinate system
Köpergewebe	twill-woven fabric
Korb (Bügel-Korb)	cage
Lage	layer, ply
Lagermatte	stock 'mat'
Lamelle (UD Schicht-Gelegestreifen )	lamella
Lamelle (schmale Lamelle)	strip



**Deutsch**

Lamina  
Laminat  
Last, sichere  
Lastannahmen für Bauten  
Lasten (Bauwesen), ständige  
Lastenheft (Anforderungsliste des Kunden)  
Leichtbeton  
Leistungsverhalten  
Leinwandgewebe  
Listenmatte  
Maschenweite  
Massivbau  
Matrix (Matrizes)  
Matte  
Mattenware  
Mindestbewehrung  
Mischung  
Modellierung ausgehärteter Halbzeuge  
Mörtel  
Multiaxial-Gelege (MAG)  
Multiaxial-Gitter  
Nachbruch(beginn)verhalten  
Nachrechnung  
Nachrechnungsrichtlinie  
Nachrüsten  
Nachweis  
Nähen  
Nähfaden  
Neubau  
nicht-gewebt  
Nutzlast  
Öffnungsweite (Gitterweite)  
orthotrop  
passive Schädigung  
Pflichtenheft  
Platte  
Polymer  
Preform (Vorformling)  
Prepreg  
Probekörper  
Profil  
Querkraft  
Querkontraktionszahl  
Querzugfestigkeit  
R-Beton; ressourcenschonender Beton  
Rechnerischer Nachweis  
Redundanz  
Referenzexperiment  
rezykliertes Material  
Riss  
Rissbreitenbeschränkung  
Rissbreitennachweis  
Roving  
(technischer) Schaden  
Säule  
Schädigung

**Englisch**

lamina  
laminated  
(Design) Limit Load DLL  
design loads for buildings [EC1]  
static (constant) loads  
tender specification of customer  
lightweight concrete  
performance  
plain weave fabric, canvas weave or linen fabric  
individual grid due to length, width, Ø  
mesh width  
solid construction  
matrix (matrices)  
mat  
mat ware  
minimum reinforcement  
compound  
modelling of semi-finished products  
mortar  
multi-axial non-crimp fabric NCF  
multi-axial grid  
post-failure behavior  
recalculation  
recalculation guideline  
retrofit (of old structures)  
design verification (design proof )  
stitching (referred to grids), sewing (referred to confection technology)  
sewing thread  
new construction (building)  
non-woven  
payload  
opening width  
orthotropic  
passive damaging  
customer-tender (final) performance requirements specification  
slab (base slab = Bodenplatte)  
polymer (plastic)  
preform  
pre-impregnated fiber product  
test specimen  
profile  
shear force, lateral force  
Poisson's ratio  $\nu$   
transverse (lateral) tensile strength  
resource-saving concrete  
computational proof (justification)  
redundancy  
reference experiment  
recycled material  
crack (micro and macro)  
crack width limitation  
crack width verification  
roving  
(technical) damage  
column  
damaging process, damaging (is unique compared to damage)

**Deutsch**

Schädigung(sportion)  
Schädigungsakkumulation  
Schädigungsmass  
Schalentragwerk  
Schalung  
Schicht  
Schichtweise Bruchanalyse  
Schlaffe-Bewehrung  
Schlichte (Avivage, s.a. Beschlichtung)  
Schnittfaser  
Schnittgrößen  
Schnittkraft  
Schrumpfen  
Schubfluss  
Schuss ('füllen')  
Schussverstärkt  
Schwinden  
Schwingungsrissskorrosion  
Sichere Last  
Sieblinie  
Spaltung  
Spannglied ohne Verbund  
Spannkabel (-glied)  
Spannung  
Spannungsrissskorrosion  
Spannungsverhältnis  
Spritzguss  
Spritzbeton  
Spule  
Stab  
Stabstahl  
Stahlbeton  
Stahlbetonfertigteile  
Stahlgitter  
Ständige Einwirkungen  
Ständige Lasten  
Stand sicherheitsnachweis  
Stapelfasermatte  
Statische Berechnung  
Stehfaden  
Stichprobe  
Sticken  
Strang  
Strebe  
Stricken  
tex  
Textilbeton  
(technische) textile Halbzeuge  
Textilerzeugnis (flächig)  
textiles Gitter  
Thermoplast TP  
Topfzeit  
Tow  
Tragwerk  
Träger, Binder  
Tragfähigkeit

**Englisch**

damaging portion  
accumulation of damaging portions  
degree of damaging  
shell load-bearing structure  
formwork  
lamina, ply (layer = physical ply)  
ply-wise fracture analysis (of laminates)  
non-tensioned (un-prestressed) reinforcement  
sizing (water-based formulation)  
chopped strand  
cross section quantities or stress resultants  
section force  
physical shrinking  
shear flow  
weft  $\equiv$  fill  
weft-inserted  
chemical shrinking  
vibration corrosion cracking or corrosion fatigue  
(Design) Limit Load DLL  
grain curve  
splitting  
tendon without bond (for pre-stressed concrete)  
tendons (tensioned or non-tensioned)  
stress (in MPa = N/mm<sup>2</sup>)  
stress corrosion cracking SCC  
stress ratio  $R(\sigma) = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$   
injection molding  
shotcrete  
bobbin  
bar, rod  
rebar  
(steel) reinforced concrete  
prefabricated reinforced concrete parts  
steel mesh, mat or grid  
permanent actions  
static (constant) loads  
proof of safe status (proof of 'stability')  
chopped strand mat  
structural analysis  
stand thread, warp yarn  
sample (set of test specimen or of measurements)  
stitching (embroiding)  
strand (= subset of a yarn)  
strut  
weft knitting  
tex (measure of fineness of a yarn in g/km)  
textile-reinforced concrete TRC  
textile semi-finished products  
fabric  
fiber grid  
thermoplastic material  
pot life  
tow  
load-bearing structure  
girder  
load carrying capacity (ultimate limit state)

**Deutsch**

Tränkung  
transversal-isotrop  
Trennfestigkeit  
Trennmittel  
tri-axial  
Übergreifungslänge (Überlappungslänge)  
UD-Schicht  
Umschnürungsbewehrung  
Unschärfe, Unsicherheit  
Validierung  
veränderliche Einwirkungen  
Verankerungslänge  
Verarbeitung  
Verbindungen:  
Verbundwerkstoff <sup>2</sup>  
Verfestigung  
Verfügbarkeit  
Verifizierung  
Versagen  
(Festigkeits-)Versagensoberfläche  
Verschnitt  
Versprödung  
Verstärkung  
Verzögerer  
Vliesstoffe  
Vorform  
Vorgespannte Bewehrung  
Vorspannung  
vorwiegend ruhende Lasten  
Wasserbindemittel  
Wasserstoffversprödung  
Welligkeit  
Werkstoff  
Werkstoffanstrengung  
Werkstoffverbund <sup>1</sup>  
Wickelkörper  
Widerstand, Beanspruchbarkeit  
Wirken  
Wirkfaden  
wirr angeordnet  
Wöhlerkurve  
Zeitstandverhalten  
Zement  
Zementleim  
Zerstörungsfreie Prüfverfahren ZfP  
Zeuge (Beweisprobekörper)  
Zugabewasser  
Zugzone, gerissene Zugzone  
Zusatzmittel  
Zuschlagstoff  
Zustand I  
Zustand IIa  
Zustand IIb  
Zuverlässigkeitsindex  $\beta$   
Z-Verstärkung  
Zwang, Einschränkung

**Englisch**

impregnation  
transversely-isotropic  
cohesion  
release agent  
triaxial  
overlap length  
UD lamina  
confining (hoop) reinforcement  
fuzziness, uncertainty  
validation  
variable actions  
anchoring length  
processing  
joints, connections  
composite material  
hardening  
uptime reliability  
verification  
failure  
(strength) failure surface  
waste  
embrittlement  
reinforcement  
retarder  
non-wovens (principally no fabric)  
preform  
prestressed reinforcement  
pre-stressing load  
predominantly static loads  
water binder  
hydrogen embrittlement  
waviness of a ply, ondulation of a roving  
material  
material stressing effort *Eff*  
composite of different materials  
filament-wound structure  
resistance  
warp knitting  
warp knitting thread  
randomly oriented  
S-N curve  
stress rupture or static fatigue behavior  
cement  
cement paste  
non-destructive testing NDT  
testify experiment  
mixing water  
cracked concrete tensile zone  
additives  
aggregate  
state I  
state II  
final crack state  
reliability index  $\beta$  (not safety index)  
Z-reinforcement  
constraint

**Deutsch**

Zwirn  
3D-Komposite-Werkstoff

**Englisch**

twisted yarn  
three-dimensional composite material

### 3. English Technical Terms with Definitions

#### 4.2 Definitions / English

**A-Basis Design Allowable (or “A”-Value):**

statistically-based material property, above which at least 99% of the population of values is expected to fall, with a confidence level of  $C = 95\%$

**action (S):**

externally applied loading in design.

*(Note: Examples are loads, fluxes, forced deformation, or a pressure as well as hygro-thermal loading, external differential pressure, line load, stress states, suction, thermal constraint, patch/local load, friction load)*

**additive manufacturing:** polymer and concrete matrices

process of composing materials layerwise to make objects from 3D-model data sets, as opposed to subtractive manufacturing methodologies.

*(Note: 3D-print is a subset, where the full cross-section area is produced thin layer upon thin layer)*

**adhesion:**

state, in which two surfaces are held together at an interface by forces or interlocking action or both

**aging:**

effect of exposure to an environment for a period of time

**(design) allowable:**

design quantity (usually a statistically reduced resistance or strength), being allowable with respect to the actual design requirements

**allowable stress:**

notion that belongs to a former safety concept.

*(Note: shall not be used anymore since 1926, when applying modern safety concepts. It is confusing and causes errors)*

**ambient:**

state of the surrounding environmental conditions

**anisotropic:**

not isotropic, due to having different mechanical and/or physical properties in different directions

**angle-ply:**

balanced laminate, consisting of plies at arbitrary angles of plus and minus, where  $\alpha$  is the angle of the fibers with the principal laminate axis

**ANOVA:** analysis of variance

statistical method in which the variation in a set of observations is divided into distinct components.

*(Note: Design-of-Experiment DoE approach)*

**ARAMIS:**

optical measuring system (GOM)

**as-built status:**

status, that must be respected in dimensioning

**augmented reality:** (angereicherte, erweiterte Realität)

interactive experience of a real world environment, alters one's ongoing perception (Auffassung) of a real world

**autoclave:**

closed vessel for producing a distinct environment while curing

**automatic mesh generation:**

process of generating a mesh of elements over the volume that is being analysed.

*(Note: There are two forms of automatic mesh generation: Free Meshing – where the mesh has no structure to it. Free meshing generally uses triangular and tetrahedral elements. Free meshing can be used to fill any shape. Mapped Meshing – where large regions, if not all, of the volume is covered with regular meshes. This can use any form of element. Mapped meshing can only be used on some shapes without elements being excessively distorted [NAFEMS])*

**availability:**

aptitude of a product to be - at a certain time or during a certain time - in a position to provide the functions, expressed in terms of probability

**average strength:**

typical strength, utilized in test data mapping.

*(Note: Is the statistical mean strength in the case enough test data are available)*

**axisymmetry:**

geometrical situation when a shape can be defined by rotating a cross-section about a line then it is said to be an axisymmetric model, e.g. a cone).

*(Note: Such a model can be used to simplify the numerical modelling of the system)*

**balanced laminate:**

composite laminate in which all laminae at angles other than  $0^\circ$  and  $90^\circ$  occur only in  $\pm$  pairs, and not necessarily adjacent.

*(Note: Balanced laminates, necessarily not symmetric)*

**bandwidth:**

half bandwidth of a matrix is the maximum distance of any non-zero term in the matrix from the leading diagonal of the matrix.

*(Note: The bandwidth for a symmetric matrix is then twice this)*

**bar, rod:**

pultruded fiber reinforced polymer rods used as rebars for strengthening concrete, timber and masonry structures.

*(Note: Challenge is to produce an efficient load-transferring surface profile)*

**batch:** lot, staple, charge

technical term in several disciplines to address togetherness.

*(Notes: Examples (1) Generally, a distinct quantity of material (same raw material) formed during the same process or in one continuous process and having identical characteristics throughout. (2) Fabrics woven from one warp loom setup. (3) Batch may be a large or small amount of resin or adhesive, or woven fabric. See ASTM D 907. (4) Production run of prepreg material that is preimpregnated using one batch of resin and fabric, all in one continuous operation. A batch of prepreg may consist of one or more rolls of material) [SAE]*

**Bauschinger Effect:**

effect, observed in plasticity when, after initial tensile loading into the plastic region, the yield stress in compression is less than the equivalent value in tension

**B-Basis Design Allowable (or “B”-Value):**

statistically-based material property, above which at least 90% of the population of values is expected to fall, with a confidence level of 95%

**bifurcation point:**

in stability theory, point on a non-linear load-displacement curve where the load path forks into two or more solution paths that satisfy equilibrium.

*(Note: Only one path is stable, the others are unstable)*

**binder:** polymers

bonding resin, used to hold strands together mechanically, chemically, by adhesion or cohesion in a mat or a preform during manufacture of a molded object

**binder:** concrete

organic (see above) and inorganic substance that holds or draws other materials together.

*(Note: reactive mineralic fine particles, such as from Portlandcement, Puzzolane, that harden when adding water)*

**bleeder cloth:**

nonstructural layer of material used in the manufacture of composite parts.

*(Note: Allows the escape of excess gas and resin during cure. The bleeder cloth is removed after the curing process and is not part of the final composite)*

**bobbin:**

spindle or cylinder on which a yarn is wound

**bond:**

adhesion of one surface to another, with or without the use of an adhesive as a bonding agent

**Boundary Conditions BC:**

prescribed degrees of freedom and other quantities within a finite element model, which represent the physical model and are required to produce a unique solution for any type of applied loading

**braiding:**

textile process where two or more strands, yarns or tapes are intertwined in the bias direction to form an integrated structure

**brick element:**

in FEA the 3D solid elements are termed like this

**brittle material:**

material, when subjected to especially tensile stress, will break without significant plastic deformation.

*(Note: Brittle materials absorb relatively little energy prior to fracture, even those of high strength. Breaking is often accompanied by a snapping sound. Brittle materials include concrete, most ceramics and glasses which practically do not deform plastically and some polymers, such as PMMA and polystyrene. Many steels become brittle at low temperatures (remind: ductile-brittle transition temperature) and according to corrosive environment, depending on their composition and processing [Wikipedia]. Brittle: about  $R^e / R^t > 3$ , concrete still exhibits  $f_c / f_t > 10$ ! Brittle behaving materials are unforgiving to overloading)*

**buckling:**

geometric instability, generally caused by compressive forces in thin-sectioned bodies.

*(Note: It can be analysed as a special case of geometric non-linearity using eigenvalue analysis)*

**buckling resistance:**

resistance of the structure equal to the smallest load under which the structure can respond in more than one system equilibrium state.

*(Notes: (1) characteristic buckling resistance: buckling resistance determined under the prerequisite of possible inelastic material response, geometrical and structural imperfections, follower load effects and residual stresses. (2) critical buckling resistance: buckling resistance determined with a model under the prerequisite of idealized conditions. (3) design buckling resistance: design value of the buckling resistance taking into account the uncertainties of model-based predictions)*

**bundle:**

collection of parallel filaments or rovings, tows, strands

**buckling factor:**

factor to obtain the critical buckling resistance of the investigated structural system from a generic problem characterizing quantity.

*(Note: the term buckling factor includes the effects of different support conditions, different cross section properties and non-uniformly distributed applied stresses. It is also applicable for prediction of the critical buckling stress)*

**buckling load:**

load level at which buckling occurs.

*(Note: The buckling load is not a load but a resistance property of the structure or the structural item)*

**buckling stress:**

key value of a stress field associated with the buckling resistance in the non-buckled equilibrium state.

**buckling resistance:**

resistance of the structure equal to the smallest load under which the structure can respond in more than one equilibrium state

**Building-Information-Modeling BIM:** besser building-information management

Methode der optimierten Planung, Ausführung und Bewirtschaftung von Gebäuden und anderen Bauwerken mit Hilfe von Software.

*(Note: Bauwerk liegt als virtuelles, visualisiertes Computermodell ähnlich 'Digitalem Zwilling' vor)*

**characteristic buckling resistance:**

buckling resistance determined under the pre-requisite of possible inelastic material response, geometrical and structural imperfections, follower load effects and residual stresses

**critical buckling resistance:**

buckling resistance determined with a model under the pre-requisite of idealized conditions

**design buckling resistance:**

design value of the buckling resistance taking into account the uncertainties of model-based prediction.

*(Note: Associated knock-down factors may be obtained from statistical evaluation of test results)*

**building in the stock:**

design and construction in existing contexts

**buy-to-fly: ≡ buy-to-use** in civil engineering

quotient of material input (buy) and product output (fly, use).

*(Note: Improved characterization of material waste)*

**carbon fiber CF:**

man-made fiber produced by the pyrolysis of organic precursor fibers such as rayon, polyacrylonitrile (PAN), and pitch in an inert atmosphere.

*(Note: Term is often used interchangeably with "graphite"; however, carbon fibers and graphite fibers differ in the temperature at which the filaments are made and heat-treated, and the amount of carbon produced. Carbon filaments (= structural materials) typically are carbonized at about 1300°C and contain 93 to 95 % carbon, while graphite filaments are graphitized at 1900 to 3000 C and contain more than 99 % elemental carbon. Pitch-based filaments have a higher E-modulus than PAN-based ones and are thereby stiffer)*

**carbon footprint:**

carbonation output during manufacturing of e.g. 1 m<sup>3</sup> concrete

**carbonation depth:**

concrete type (diffusion) dependent effect in mm that determines the durability of the concrete after the 50 years limit

**casting direction (concrete):**

direction of the concrete flow.

*(Note: May cause different strength and moduli)*

**Cauchy stress:**

see true stress

**cement:**

fine-grained compound that turns into a solid when mixed with water.

*(Note: Cement is used to bind mixtures of materials into a composite solid. Grain size distribution 1 <20 < 100 μm)*

**certification:**

written declaration stating that the structural product complies with requirements



**characteristic (compressive) strength  $f_{ck}$ :** concrete cube (index  $c$ ), characteristic (index  $k$ )

strength of the concrete below which not more than 5 % of the test results are expected to fail.

*(Note: Under the assumption 'Normal distribution of the data of the test series is applicable' the strength value of concrete specimens casted and tested as per given code of practice and cured for a period of 28 days; 95 % of tested specimens should not have a value less than this value or less than 5% of the test specimens are expected to fail, respectively. For a confidence level of  $C=95$  %,  $k = 1.64$  (varies on chosen or fixed  $C$ ), from transferring sample test data into a basic distribution. Cube  $\varnothing = 150$  mm, tested at 28 days)*

**chopped strand mat:**

random fiber mat that provides equal strength in all directions.

*(Note: A chopped strand mat is produced by chopping a continuous strand or roving into short lengths of usually  $< \approx 7$  mm)*

**circularity:**

shape of a failure surface.

*(Note: Cross-section of a strength failure body considering roundness and radial symmetry features. Von Mises failure surface is fully circular, is a cylinder)*

**Classical Laminate Theory CLT:**

2D continuum theory used in laminate composites analysis.

*(Note: The CLT bases on Kirchhoff's classical plate theory where the normal hypothesis is applied and transverse shear deformation is neglected)*

**coating:**

impregnation of the surface, only.

*(Note: Coating, that does not go into the depth of the roving (example CF rovings: aqueous film-forming dispersion Styrene Butadiene SB)*

**co-bonding:**

curing-together of two or more elements, of which at least one has already been fully cured and at least one is uncured.

*(Note: Requires film adhesive between any precured and uncured interface, BDS 1330)*

**coaxiality:**

equal directions of the axes of several strength failure surfaces (bodies)

**co-curing:**

simultaneous curing together of two or more uncured elements, BDS 1330).

*(Note: Bonding while curing a laminate)*

**cohesive zone model:**

fracture mechanics model for analyzing the separation of the surfaces across an extended crack tip, termed cohesive zone.

*(Note: Describes the cohesive forces which occur when material elements are being pulled apart)*

**commingled yarns:**

blends where two types of filaments were put together

**compaction:**

densification of the solid material compacting its elements, such as loose, granular ones, which results in reduced porosity and causes a volumetric reduction

**composite:**

made up of distinct elements, parts

**composition:**

way, in which distinct elements are put together

**composite material:** Verbundwerkstoff

combination of constituent materials, different in composition.

*(Notes: (1) The constituents retain their identities in the composite; that is, they do not dissolve or otherwise*

merge completely into each other although they act in concert. Composite materials provide improved characteristics not obtainable by any of the original constituents acting alone. (2) Normally the constituents can be physically identified, and there is an interface between them. (3) Composites include fibrous materials, fabrics, laminated (layers of materials), and combinations of any of the above. (4) Composite materials can be metallic, non-metallic or a hybrid combination thereof, and carbon concrete is a further example. (5) probably homogenizable to a smeared material such as FRC, SMC, UD-ply and lamella. The lamella is smearable and not a 'material composite' or 'material composition' (Werkstoffverbund). Therefore it can be modelled as a 'composite material' (Verbundwerkstoff). (6) Layered materials and foam materials are also forms of composite materials)

**composite design challenges: FRP**

these are thick composite sections with large number of plies, regions of significant ply-drop-offs, T-joints, highly loaded locations, structural shapes causing changes in draping angle and thickness, edge effects, failure criteria choice

**compound:**

mixture of polymers

**compressibility:**

property of a material, showing volume reduction under compressive forces.

*(Note: Low means high Poisson's ratios  $\nu$  and vice versa)*

**computational modelling: FEA**

common application of the disciplines mathematics, physics and computer science to study the behavior of complex systems by computer analyses

**concentricity (coaxiality):**

tolerance condition of a shape being concentric to an axis.

*(Note: Concentric means having a common center)*

**concrete cover:**

adequate thickness as protection.

*(Note: Used to tackle the insufficient corrosion resistance of steel. Many cm for the corroding steel reinforcement are needed and much less for a CF textile reinforcement)*

**concrete matrix:**

construction material composed of cement, fine aggregates (sand) and coarse aggregates mixed with water which hardens with time.

*(Note: Portland cement is the most often used cement for concrete production. Different types of binding material are also used such as lime for lime concrete and bitumen for asphalt concrete in road construction)*

**concrete splitting:**

longitudinal cracks, which form under compression.

*(Note: Larger internal flaws may cause concrete splitting due to effects describable by a fracture mechanical condition. It is a failure beside the so-called cone failure due to shear fracture failure that is predictable by a strength failure condition)*

**conditioning:**

process of exposure of a material to a property-altering environment prior to subsequent testing, applying equilibrium conditioning and fixed-time conditioning

**confidence level (C):**

interval estimate of a population parameter (design variable) used to indicate the reliability of an estimate.

*(Note: Describes, how frequently the observed interval contains the parameter is determined by the confidence level or confidence coefficient)*

**confining pressure  $p_{\text{conf}}$  :**

maximum level of compression applied in a tri-axial compression test of a concrete or a neat resin test specimen defined by  $(\sigma_{\text{ax}}, \sigma_{\text{conf}}, \sigma_{\text{conf}}) = (\sigma_{\text{ax,p}} - p_{\text{hyd}}, -p_{\text{hyd}}, -p_{\text{hyd}})$  with  $\sigma_{\text{ax}}$  (from test brushes) =  $\sigma_{\text{ax,p}} - p_{\text{hyd}}$

**confining lithostatic pressure:**

$p_{hyd}$  + overlying weight

**concrete:**

composite material, primarily consisting of mortar and aggregates or of a mixture of cement, sand and gravel

**consistence of a material:**

dense or porous or mixed.

*(Note: Consistence is essential for the choice of the right strength failure condition)*

**constant amplitude loading:**

fatigue loading of a test specimen when the amplitude remains constant

**constituent:**

element of a higher level material.

*(Note: Examples are fiber and matrix of a UD ply)*

**constitutive equation:**

description of any linear or non-linear material behaviour law, usually relating strain, stress and temperature

**constraint:**

fixed relationships between the basic degrees of freedom in a finite element model

**contact elements / gap elements:**

elements, as lines or areas, used to model states of contact between surfaces

**contamination:**

action or state of making or being made impure by polluting or poisoning

**Continuous Profile Preforming System CPPS:**

net shape preforming process, which is faster than spatial weaving, braiding or knitting

**convergence:**

situation, achieved for any non-linear solution procedure, when sufficient iterations within a given increment of time or loading have produced an equilibrium state regarding a given convergence criterion

**crack a:**

large flaw of the size  $a$ .

*(Note:  $a_0$  is the initial crack size. Mind micro-crack and macro-crack)*

**crack propagation:** fracture mechanics

process by which a crack can propagate through a structure.

*(Note: It is assumed that a crack occurs if a critical value of stress or strain is reached and that the crack propagates if it can release more than a critical amount of energy by the crack opening)*

**crack width verification:** concrete

proof, grouped by the exposure class in EN 1992-1-1, Chapter 7.3, Table 7.1

**crazing:** organic matrix

result of a fine network of apparent micro-cracks at or under the surface of the matrix.

*(Note: So-called whitening may happen to be)*

**creep:**

time-dependent deformation  $\epsilon(t,T)$  of a material under loading and temperature.

*(Note: Creep terminates by stress rupture if straining is not brought to a halt)*

**cross-ply:**

layers with rovings running cross-wise

**cross section:**

intersection of a body with a plane.

*(Note: Here, area of a load-carrying structural element)*

**cross sections of a fracture failure body (surface):**

(1) convex  $\pi$ -plane  $\equiv$  plane  $I_1 = \text{constant} \equiv$  hoop plane; (2) deviatoric plane = meridian planes (tensile, compressive, shear), may be not convex at  $I_1 \rightarrow \max I_1$  because this will depend on the ratio  $R^t / R^c$ , or  $f_{ct} / f_{ct}$  (index  $c$  for concrete)

**crushing:**

failure mode of brittle behaving materials under compression

**C-stage:**

usually fully cured state

**curing:** Vernetzung

process where a chemical reaction takes place.

*(Note: Change of properties of a thermosetting resin irreversibly by chemical reaction. Example: condensation, ring closure, or addition. Cure may be accomplished by addition of curing (cross linking) agents, with or without catalyst, and with or without heat. Cure may occur also by addition, such as it occurs with an-hydrate cures for epoxy resin systems)*

**cyclic loading:**

loads that repeatedly oscillate between maximum and minimum values over time, alternating loading

**cyclic symmetry:**

generalisation of axisymmetry.

*(Note: Structure is composed of a series of identical sectors that are arranged circumferentially to form a ring. A turbine disc with blades attached is a typical example)*

**cylindricity:**

full cylindricity is demonstrated by e.g. two axially parallel cylinders

**damage accumulation:** see damaging accumulation

accumulation of damaging portions.

*(Notes: (1) Unfortunately in English literature the term damage is used for the damaging process wherein the results, the damaging portions, finally accumulate to a critical damage size such as a macroscopic delamination. Damaging begins when the elasticity domain ends. (2) It is to be noted that also a local cloud of damages such as technical cracks might exist and grow together)*

**damage:** technical

(1) result of an impact event, (2) sum of the accumulated damaging (degradation), which is judged to be of critical technical size.

*(Notes: (1) Micro-damage is given by crazes, micro-voids, micro-flaws whereas macro-damage is represented by macro-cracks, technical cracks, delamination. (2) Damage Tolerance Analysis is used to predict damage growth under further cyclic loading or static failure under further increased static loading)*

**damage (damaging) accumulation:**

accumulation of the damaging portions.

*(Note: Usually applied as model for the accumulation of the damaging portions is the Palmgren-Miner rule)*

**damage tolerance:**

capability of a structure to resist failure due to the presence of large flaws or other damage for a specified period of usage without inspection or repair.

*(Note: Continued operation with the damage will not produce an imminent failure)*

**Damage Tolerance Assessment DTA:**

assessment, whether the structure's damage tolerance capability can withstand the envisaged damage state.

*(Note: With threat assessment of e.g. a tool drop, with no-growth requirement of non-detectable flaws during inspection time, with proofing enough strength against Design Ultimate Load after fatigue and impact loading (BVID < 0.3 mm) and against Design Limit Load (VID > 1 mm in aerospace design)*

**damage variable:** Schädigungsvariable

variable that is used to describe and quantify the damaging process

**damaging:**

process when damaging portions are activated

**damaging parameters:**

derived from stress-strain curves and crack measurements etc.

**damaging portion:**

result of a damaging event (unfortunately, in English also termed damage)

**defect: flaw**

shortcoming that prevents a product from working correctly.

*(Note: Defect should not be used for legal reasons regarding product warranty. Instead for laminates, it should be taken flaw or manufacturing imperfection such as for a pore, ply waviness, matrix nests, debonding of fiber from matrix, fiber misalignment)*

**deflection:**

term to describe the magnitude to which a structural element deforms laterally or bends under loading

**deformation:**

change in shape of a structural part caused by the application of a load or force or hygrothermal loading

**deformation-controlled testing:**

stress, in for instance an embedded lamina (ply) in a laminate depends on the adjacent layers.

*(Note: Strain-controlling is practically not possible)*

**degradation:**

process of deterioration in the material or in a structural element.

*(Note: Deleterious change in chemical structure, physical properties or appearance)*

**Degrees of Freedom DoF:**

number of equations of equilibrium for the system.

*(Note: In dynamics, the number of displacement quantities which must be considered in order to represent the effects of all of the significant inertia forces)*

**delamination:**

separation of material layers within a laminate or also in a textile reinforced concrete.

*(Note: This may be local or may cover a large area of the laminate. It may occur at any time in the cure or subsequent life of the laminate and may arise from a wide variety of causes)*

**democratization:**

novel FEA-provider idea enabling the use of software by not well educated users (danger of “black box use”)

**density:**

mass per unit volume  $\rho$

**(structural) design:**

common work of a team of engineers to develop conceptual and detailed designs.

*(Note: Design that meets the design specifications, to finally achieve a sustainable construction especially for large load-carrying damage-tolerant infrastructure structures such as bridges, buildings, wind tribune blades, offshore structures. Sustainability, however, needs some pre-sumptions:*

- *designed by qualified and experienced personnel [see EUROCOMP Design Code]*
- *adequate supervision and quality control in plants and on site*
- *construction executed by experienced personnel*
- *construction materials and products are used as specified*
- *structure will be adequately maintained*
- *structure will be used in accordance with the design requirements.*

*This means, the design procedures are good only when the requirements for construction and workmanship are met and they are good further, when the life-span costs are reduced)*

**design allowable (for resistances!):**

statistically-based minimum value of the strength capacity w.r.t. a failure mode.

*(Note: In terms of resistance to a loading, a strength, or a strain limit with respect to a failure mode where some examples are fracture, rupture, collapse, detrimental deformation or an unacceptable flaw growth)*

**design dimensioning:** Bemessung, Auslegung  
static and cyclic sizing

**Design of Experiments (DoE):**

concept to optimally plan tests and to sort out the significant number of design variables focussing a reduced number of test specimens.

*(Note: A DoE approach is implemented by using a statistical ANalysis Of VAriance (ANOVA) to investigate the influence of the design variables)*

**design (working) life:**

project-defined lifetime of a product

**Design Limit Load DLL:**

maximum load, or combination of loads, which a structure is expected to experience with a given probability during the performance of specified missions in specified environments

**Design Load:**

maximum amount (of loading) a (load-carrying) system is to be designed to.

*(Notes: (1) Examples are design limit load DLL or design yield load DYL or design ultimate load DUL (= ULS) or design buckling load. (2) analogous for the case of pressure loading)*

**design load cases:**

relevant load cases, to be extracted from the numerous load cases given by single loads, load combinations, stiffness requirements etc.

**design point:**  $\beta$  point

point in structural reliability hyperspace which represents or includes all nominal values of the significant design variables calculated in the analysis

**design space:**

multidimensional combination and interaction of input variables (e.g. material attributes) and process variables

**design value:**

value of a property used in design that is assumed to consider its uncertainty

**design variable (parameter):**

physical feature which influences the design performance.

*(Note: According to the nature of the design variables, linked to loading, geometry, tolerances, and material properties, different design problems can be identified such as structural sizing for the dimensioning of beams, shells, plates; further shape optimization; material selection and finally structural topology tasks)*

**design verification:** see definition of verification

demonstration that the design fulfils the requirement's data defined in the final customer-tender 'performance requirements specification'.

*(Note: Process, whereby a structural design is comprehensively examined and qualification-tested to ensure that it will perform in the required way, before and during operational use. Proof by determination of the Reserve Factor RF on basis of a statistically reduced strength failure body with its strengths spanning the fracture body)*

**desorption:**

process in which an absorbed or adsorbed material is released from another material.

*(Note: Desorption is the reverse of absorption, adsorption or both)*

**deviatoric stress and strain:**

shear components of stress and strain tensor.

*(Note: Components in the remaining tensor after deducting the hydrostatic stress  $\sigma_{hyd}$  or strain. The deviatoric components govern plastic and creep flows, when there is a change in shape but not of the volume. Deviatoric stress:  $\sigma_{dev} = \sigma' = \sigma - \sigma_{hyd}$  with  $\sigma_{hyd} = I_1/3$ )*

**deviatoric stress plane:**

$\sigma_{hyd} =$  constant plane,  $\pi$ -plane,

**diffuse damaging:**

damaging, occurring from onset of micro-cracking on until the onset of discrete local macro-cracks, indicated by whitening in the case of polymers.

*(Note: Essential for ductile thermoplastics connected to void initiation and void growth, linked to the termination of the linear elastic stress-strain curve)*

**digital (virtual) twin:** see also BIM

counterpart to the physical twin in product development

**digital transformation:**

changes associated with digital technology application and integration.

*(Note: Transformation of business by revamping former strategies adopting digital technologies)*

**dilatation (dilation US):**

amount of shear stress-generated increase of the solid's volume accompanied by degradation.

*(Note: Due to  $\nu < 0.5$  the material solid under compression elastically reduces its volume until dilatation is superimposed, initiated shortly before fracture of the test specimen occurs. Dilatation decreases under growing high confining stresses, e.g. hydrostatic stress states, and is suppressed finally)*

**dimensioning load case:**

physically possible, driving design load case which is of a certain probability of occurrence

**discrete crack model:**

model that attempts to follow individual crack in non-linear concrete analysis

**discrete damaging:**

localization of damaging after diffuse damaging

**disruptive technology:**

technology or innovation that changes the market and creates a new one

**Drucker-Prager yield criterion:**

elasto-plastic material model using both hydrostatic and deviatoric stresses in compressive stress cases.

*(Note: Its failure surface is a cone in the principal stress space. Used for instance in soil mechanics)*

**ductile fracture:**

type of fracture occurring in a material the behaviour of which is ductile.

*(Note: Such fracturing occurs, after some general plastic deformation as the load builds up, in metals at temperatures above the range of the brittle-ductile transition temperature)*

**dwelt time:**

amount of time, e.g. between test cycles

**effective:** wirksam

here, real out-come or real performance

**effective strength:** see in-situ strength**effective stress:**

degraded material-related stress that considers a reduced load-carrying cross-section, such as  $\sigma_{ef} = \sigma / (1 - D)$ .

*(Note: Scalar quantity, with degradation sum  $D$  and nominal stress  $\sigma$  of the intact material. It is defined in the case of ductile behaving materials usually as the Von Mises stress. For brittle behaving materials like concrete other failure conditions must be applied, namely, fracture failure conditions)*

**eigenvalues:**

roots of the characteristic equation of the structural system.

*(Notes: (1) If a system has  $n$  equations of motion then it has  $n$  eigenvalues. The square root of the eigenvalues are the resonant frequencies. These are the frequencies that the structure will vibrate at. (2) There are other problems that require the solution of the eigenvalue problem, the buckling loads of a structure are eigenvalues, too)*

**elastic foundation:**

elastic bedding of a structure.

*(Note: If a structure is sitting on a flexible foundation the supports are primarily treated as a continuous elastic foundation. The elastic foundation can have a significant effect upon the structural response [NAFEMS])*

**elasticity quantities, FRP, UD = lamella:**

$E_{||}, E_{\perp}, G_{||\perp}, \nu_{||\perp}$ , (and  $\nu_{\perp\perp}$ , if 3D)

**elasticity quantities, general fabric:**

$E_W, E_F, E_3, G_{WF}, G_{W3}, G_{F3}, \nu_{WF}, \nu_{W3}, \nu_{F3}$  (for a plain weave fabric where weft (fill)  $\equiv$  warp this means a reduction from 9 to 6 quantities)

**(strain) energy release rate SERR:** fracture mechanics quantity

energy dissipated during fracture per unit of newly created crack surface area

**end:** thread

a single bundle of fibers

**end-of-life:**

end of usable time of a product

**endurance limit:** fatigue limit

cyclic strength without causing failure

**engineering stress:**

ratio of acting load and initial area (non-deformed area).

*(Note: Mind the difference to True Stress)*

**equilibrium:**

state of a loaded body when the internal stresses are in equilibrium with the externally applied loads

**equivalent stress  $\sigma_{eq}$ :** author's view on ductile and brittle materials

(1) Equivalent (in German, gleichwertig dem Spannungszustand) to a multi-axial stress state combining the effects of those stresses that are active in a distinct failure mode. Examples: Von Mises Equivalent Stress in the case of the associated 'shear yielding' failure mode; or Maximum Principal Stress in the case of Rankine's brittle 'tensile fracture' failure mode NF.

(2) The uni-axial scalar  $\sigma_{eq}$ -value (in German termed 'Vergleichsspannung' = vergleichbar mit Festigkeit) can be compared to the mode-'reigning' associated uni-axial 'basic' strength R or f of the activated failure mode

**Eulerian formulation:**

geometrically non-linear formulation where the equilibrium conditions are evaluated in the deformed configuration

**Eurocode, major concepts:**

Fulfillment of the fundamental requirements safety, serviceability, fire and robustness.

*(Notes: The structure and structural members should be designed, executed and maintained in such a way that they meet the following: (1) Serviceability requirement – the structure during its intended life, with appropriate degrees of reliability and in an economic way, will remain fit for the use for which it is required. (2) Safety requirement – the structure will sustain all actions and influences likely to occur during execution and use. (3) Fire requirement – the structural resistance shall be adequate for the required period of time. (4) Robustness requirement – the structure will not be damaged by events such as explosion, impact or consequences of human errors, to an extent disproportionate to the original cause*

**explicit method:**

method for integrating equations of motion.

*(Note: Explicit methods can deal with highly non-linear systems but need small steps. Implicit methods can deal with mildly non-linear problems but with large steps)*

**fabrics:** Stoffe

2D-woven textile semi-finished products (interlocking of fibers) and 2D-non-woven ones.

*(Note: From a practically zero fiber amount in the transversal direction up to multi-axially woven fabrics.*



*Non-crimp fabrics NCF have the best fiber alignment and – when stacked - can be modelled as a composition of UD-laminae. Hybrid fabrics composed of different fibers in the various directions are further available)*

**face sheet:**

cover sheet of a sandwich

**(design) Factor of Safety (FoS):** Safety Factor, mechanical engineering.

deterministic factor - based on long experience - which increases or factors the level of the given loading.

*(Note: In civil engineering the Partial Safety Factor concept is applied)*

**Fail-Safe:**

design philosophy in which products are designed in such a way that failure, prior to the required operational life, is not catastrophic

**failure:**

state of inability of an item to perform a required function in its limit state.

*(Notes: (1) The structural part does not fulfill its functional requirements such as onset of yielding, brittle fracture, leakage, deformation limit, a distinct delamination size limit, frequency bound, heat flow. (2) What failure is? This is often a 'project-defined Limit State')*

**failure condition F:**

mathematical formulation of the failure surface that takes the form  $F = 1 = 100\%$  .

*(Notes: (1) Most often meant is a strength failure condition SFC. Aim of a Failure Condition is to assess multi-axial states of stresses by just utilizing the uniaxial strength values, which are alwaysandatory in design. Usual SFC describe just a 1-fold occurring failure mode or mechanism! (2) A multi-fold occurrence of a compressive concrete failure (i.e.  $f_{c,cc}$ ) with its joint probabilistic effects must be additionally considered in the formulas. In other words, the accumulation of two damaging portions works and must be considered)*

**failure criterion:**

formulation that takes the form  $F > 1$ ,  $F = 1$ ,  $F < 1$

**failure index FI:** polymer composites

value of the failure function.

*(Note: Corresponds to the stress effort (Puck uses the term exposure) Eff only in cases where the considered stress terms are linear (homogeneous) in the strength failure condition)*

**failure initiation (onset):**

event that initiates a certain defined failure

**failure limit state:**

termination of the ability of an item to perform a required function (limit state, such as stability, ductile tearing, (brittle) cleavage fracture, onset of yielding, deformation limit, leaking.

*(Note: Material failure, e.g. a strength failure mode or a structural failure, such as stability failure)*

**failure mechanism:**

underlying phenomenon that determines the mode of failure

**failure mode:**

observable effect of the mechanism through which the failure occurs.

*(Notes: (1) Examples are rupture, collapse, global and local buckling, leakage, degradation, excessive wear, corrosion, fiber-fracture FF, inter-fiber-fracture IFF, delamination, initiation of yielding, deformation limit, or any other phenomenon resulting in an inability to sustain design loads, design pressures with associated environments. (2) There are different levels of failure types: (a) Material failure type: denotation of failure for a ductile or brittle failure material (ductile means a gradually occurring and brittle a rapidly occurring sudden failure);(b) Structural failure type like buckling)*

**Failure-Mode-Concept-based failure criteria (Cuntze):**

failure mode-wise formulated strength failure conditions SFC ('criteria') for brittle materials.

*(Notes: (1) Stress-invariant-based concept, like Mises with the invariant  $J_2$ , obtaining equivalent stresses  $\sigma_{eq}$ . (2) Applicable for isotropic materials [Cun17 for concretes], transversely-isotropic materials [Cun17 for UD-laminas and the the lamella] and orthotropic materials. (3) The number of independent strength failure modes is fixed by the material symmetry requirements which demand 2 for isotropic, 5 for transversely-isotropic and 9 for generally isotropic (9 reduces to 6, if weft  $\equiv$  fill and identical to warp, a situation given with plain weave fabric materials). For the lamella, a UD layer, there are 3 Inter Fiber Failure IFF conditions and 2 Fiber Failure FF ones. These are based on averaged lamina stresses [Cun04, Cun13, Cun16]. (4) The combined effect of commonly acting failure modes is considered by an interaction equation. (5) SFC capture one failure mode just once. Multi-fold acting failure modes must be considered additionally, because the danger to fail multiplies. For concrete this is usually modelled by the invariant  $J^3$ , see examples in [Cun17])*

**failure surface (F = 1):**

formulation of a mathematical condition under which materials or structures fail.

*(Note: An example shall be the load-driven growing yield failure surface (yield failure body), analogous to Von Mises  $\sqrt{3 \cdot J_2} / R_{p0.2} = s$  with  $s$  as growing radius of the Mises cylinder. This yield failure surface, growing under further loading, is terminated by a fracture failure body)*

**failure type: strength failure mode**

basically addressed are Normal Fracture NF, Shear Fracture SF under compression, and Crushing Fracture CrF under compression

**far-field stress:**

stress far away from a notch or a crack

**fatigue:**

deterioration of a material under dynamic/cyclic loading.

*(Note: Damaging process in which repeated cycles of increasing and decreasing stress finally may lead to the development of a fatigue damage. Principally, fatigue life captures the phases crack initiation and crack propagation)*

**fatigue limit: endurance limit, fatigue strength**

limiting cyclic stress.

*(Note: cyclic loadings can be applied to the material (structure) without causing failure)*

**felt:**

non-woven fabric

**fiber:**

term used to refer to filamentary materials.

*(Notes: (1) Unfortunately, fiber is sometimes synonymously used for the filament but also in textile production for a bundle of filaments (thread, strand, roving, tow) consisting of thousands of filaments. (2) Length: short (chopped) fiber < 5 mm (is differently fixed), long fiber < 50mm, and endless (continuous) fiber. Hooked steel fibers used in FRC are > 50 mm). (3) In most cases the fiber is prepared by drawing from a molten bath, spinning. Fibers can be continuous or of specific short lengths (discontinuous). (4) From load transfer reasons the finite length should be at least 100 times its diameter)*

**fiber architecture:**

fibrous preform or part in which the fibers are arranged in a particular way to achieve a desired result.

*(Note: Braided, stitched and woven fabrics are common forms of fiber architecture)*

**fiber bridging:**

fiber material bridging layers in a laminate and thereby strengthening in z-direction.

*(Note: Increases ILSS)*

**fiber classes (carbon fibers):**

Designation	Tensile Modulus GPa	Tensile Strength MPa
-------------	------------------------	-------------------------

HT	(high tensile)	225 - 265	4000 - 5000
IM	(intermediate modulus)	270 - 320	5400 - 6500
HM	(high modulus)	330 - 400	3200 - 4700
UHM	(ultra high modulus)	430 - 590	3800 - 4700
<b>Typical properties of carbon fibers</b>			

Pultruded CF-profiles are lighter than aluminum, stronger than steel.

HM-fibers ( $V_f = 60\%$ ) are stiffer than steel

The pultruded carbon fibre profiles are much stronger than steel, lighter than aluminium and may be stiffer than steel (stiffness range 100-400+ GPa).

Typical properties of carbon fibres

Type	Density [kg/dm <sup>3</sup> ]	Tensile strength [Gpa]	Tensile modulus [Gpa]
HS1	1.75	3.31	228
HS2	1.80	5.0	248
IM	1.74	4.50	296
HM1	1.81	2.41	393
HM2	1.96	1.52	483
UHM	2.15	2.24	724

<http://www.exelcomposites.com/en-us/english/composites/rawmaterials/reinforcements.aspx>

**fiber efficiency:** Faserausnutzbarkeit  
exploitability of the reinforcing fibers

**(short, discrete) Fiber-Reinforced Concrete FRC:** Faserbeton  
concrete with usually stochastically distributed short fibers.

*(Notes: (1) Primary intention is to isotropically improve the concrete matrix properties such as tensile strength. Reinforcement in order to withstand high local stress states. In future, the 'load carrying participation effect' should be considered in civil engineering. (2) Technical Groups FIB (TG 8.3 "Fibre reinforced concrete" and fib TG 8.6 "Ultra high performance FRC". (3) Short fibers used are steel, polymer, AR glass or CF of the length 6 mm up to 20 mm. An example for such a concrete with short fibers added is Carbocrete, SGL)*

**(endless) Fiber Reinforced Concrete FC:**  
concrete, reinforced by a bar grid or a R-mat or a Q-mat.  
*(Note: The abbreviation FRC confuses as it does not fit to the old term FRP)*

**Fiber-Reinforced Polymer (plastic) FRP:**  
composite material made of a polymer matrix reinforced with (long) fibers.  
*(Note: The fibers are usually glass, carbon, aramid, basalt. . The polymer is usually an epoxy, vinyl ester or polyester thermoset, and further thermoplastic resin systems are applied in construction industry)*

**fiber grid:**  
structure, which consists of grid-type fiber semi-finished reinforcement products

**fiber volume content  $V_f$  in %:**  
amount of fiber present in a composite.  
*(Note: Usually expressed as a percentage of fiber volume fraction  $V_f$  or less often as a fiber weight fraction of the composite  $W_f$ )*

**filament:**  
thinly spun single fiber.

*(Notes: Carbon fiber CF, alkali-resistant glass fiber AR-GF, polymer, aramid, basalt). CF types 7 mm  $\phi$ ; (1) PAN precursor-based, derived from the controlled pyrolysis of poly(acrylonitrile) fiber after oxidation and carbonization, (2) Pitch precursor-based, derived from petroleum or coal tar pitch - for generation of high stiffness fibers - after oxidation and graphitization. (3) In civil engineering, a CF of the type High Tensile is exemplarily used with  $E \approx 200$  GPa,  $\rho \approx 1.75$  g/cm<sup>3</sup>,  $f_t (= R_{||}^I) \approx 2700$  MPa (N/mm<sup>2</sup>), and Coefficient of Thermal Elongation  $CTE \equiv \alpha_T \approx 0 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$ )*

**filament winding:**

manufacturing technique of winding rovings under some pre-tension over a rotating mandrel

**fill (weft):**

filling yarn in a woven fabric running at right angles to the warp.

*(Note: Replaces the normally used term weft in order to avoid the index-letter conflict with warp)*

**fine-grained concrete:** 'Feinbeton'

mortar due to the fine grain definition (< 4 mm  $\emptyset$ ), however termed concrete due to application as matrix

**finish:**

material, with which filaments are treated, which contains a coupling agent to improve the bond between the filament surface and the resin matrix in a composite material

**flaw:**

local discontinuity in a structural material.

*(Note: Examples are a scratch, notch, tiny crack, a void or a pore in case of metallic and homogeneous non-metallic material like porosity in the case of a composite material.)*

**flow rule:**

rule, used in plasticity to define a relationship between the plastic strain increment and the stress increment

**folding (draping) of semi-finished products:**

process, performed for organic sheets and green textile concrete elements

**follower forces:**

forces that change their direction to follow geometric deformation during a large deformation analysis

**fracture:**

separation of a whole into parts

**fracture body (surface):**

surface of all the vector tips of 3D- and 2D-fracture stress states, mathematically described by a strength failure condition SFC, representing  $F = 1 \equiv 100$  % material stressing effort  $Eff$

**fracture mechanics:**

solid mechanics theory, concerning the propagation of cracks in structural materials

**fracture mechanics modes:**

modes, defined by the three ways of crack propagation used in Irwin's model (mode I opening, mode II sliding, mode III tearing), loaded by far-field stresses

**fracture mechanics test specimens:**

test specimens for the 3 fracture mechanics modes and combinations thereof.

*(Note: Brittleness-depending geometry presumptions for the test specimen-dimensions must be met!)*

**fracture toughness  $K_c$  :**

ability of a material to withstand a loading in the presence of a sharp crack.

*(Note: Fracture toughness is the critical value of the stress intensity factor  $K$  needed for a crack to grow under monotonic loading)*

**free edge effect:** laminate

stress singularity and stress 'intensities' (intensity factors) situation at the edges of outer plies.

*(Notes: (1) Singularity, caused by mismatch of the plies in a laminate. At the edge, all stresses are zero and*

must be build up to the size of the 'internal' ply stresses. This causes an outer 3D-stress state. (2) Further, due to flaws, micro-mechanically based stress 'intensities' (intensity factors) occur)

**freeform (contoured) surface:**

complex shapes, desired in architecture design

**friction:** material attribute

Mohr-Coulomb-linked material internal behavior.

*(Note: The friction value  $\mu$  is a strength property to be applied to capture compressive stressing in the respective strength failure function  $F$ . Often, indirectly described by the term 'Pressure-dependent material' behavior)*

**friction value, isotropic:**

$\mu$  as (internal) strength property to be applied when capturing compressive stressing of dense brittle materials.

*(Note: Range  $0.05 < \mu < 0.3$ , whereby the use of a lower value is more conservative)*

**friction values, UD:** transversely-isotropic UD lamina, lamella

strength property.

*(Note:  $\mu_{||\perp}$ ,  $\mu_{\perp\perp}$  with  $0.05 < \mu_{||\perp} < 0.3$  and  $0.05 < \mu_{\perp\perp} < 0.2$ )*

**full-range curve:**

captures all test data belonging to this physical item, e.g. a complete S-N curve

**Fused Deposition Modeling FDM:**

additive manufacturing process.

*(Note: Stratasys, 3D- Druck-Schmelzschichtungsverfahren mit PP, PA6, PEEK), see SLS)*

**gap:**

missing contact

**Gauss point:**

strategic location within finite elements where numerical integration and stress evaluations are made.

*(Note: Depend on element types and can differ depending on usage for both numerical integration and stress evaluation)*

**gel-coat:**

resin, applied to the mold after the mold-release agent to provide a good surface

**glass fibers:**

fiber, spun from an inorganic product of fusion which has cooled to a rigid condition without crystallizing.

*(Notes: (1) E-glass: alumina-calcium-borosilicate glass where strength and high electrical resistivity are required. R-glass: calcium-alumino-silicate glass where strength temperature resistance is required. S-glass: magnesium-alumino-silicate glass where high strength, modulus and durability under high temperature and in corrosive media are required. AR-glass: alkaliresistant. (2) Static 'fatigue' under long time static loading of the GF is worse than that of CF)*

**glass transition temperature  $T_g$ :**

approximate midpoint of the temperature range over which the glass transition takes place

**grain curve:**

curve, where the grains (after DIN EN 933-1) must lie between the limiting grain curves in order to meet the filling requirements

**grid (textile reinforcement):**

reinforcing structure as a flat, open-grid fabric 2D grid of a plane or of a curved shape with 2 or 3 roving directions and probably different grid spacing

**grid (rebar):**

reinforcing structure, automatically composed at a plant or hand-made at the construction site

**grid '3D':**

usually parallel grids of a plane or a curved shape which build a stitch-fiber joined upper layer with a lower

layer.

(*Note: Sandwich faces-like, better termed 2.5D-grid, see Fig.23; Fig.26*)

**grid spacing:**

distance of strands, yarns, tows in the grid (see Fig.24 and Fig.29)

**Haigh-Westergaard coordinates:**

$$\rho = I_1 / 3, q = \sqrt{3} \cdot \sqrt{J_2}$$

**hardening (work or strain):** Verfestigung

strengthening of a material by plastic deformation.

(*Notes: (1) With metals, it occurs because of dislocation movements and dislocation generation within the crystal structure of the material. (2) With composite materials, after a straight elastic part the following hardening branch is basically linked to a diffuse damaging (especially in the case of woven textiles) whereas in the softening branch preferably discrete damaging is experienced. The hardening branch of the stress-strain curve corresponds with the test on so-called 'isolated' test specimens finally delivering the 'isolated' (basic) strengths of the material. The softening branch of the stress-strain curve (discrete, localized damaging and cracks) may be determined by novel fracture mechanics test specimens on sub-laminate level. (3) Under tension, fabrics may behave over-linear due to lengthening effects of the usually not fully straight tows*)

**heavy tow:**

tow, consisting of 50 k or 100 k filaments.

(*Notes: (1) 100 k-CF-tow = 6667 tex  $\approx$  6.7 kg / km. (2) 105 filaments = 2 x 3300 tex  $\equiv$  1 kN*)

**heterogeneous:**

descriptive term for a material consisting of dissimilar constituents, separately identifiable.

(*Note: Medium, consisting of regions of unlike properties separated by internal boundaries. Non-homogeneous materials are not necessarily heterogeneous*)

**homogeneous:**

descriptive term for a material of uniform composition throughout.

(*Note: medium which has no internal physical boundaries; a material whose properties are constant at every point or - in other words - constant with respect to spatial coordinates*)

**hybrid laminate:** mixed 'composite material'

composite laminate composed of laminae (plies) of two or more materials.

(*Note: examples are CFRP with metal, Glare, Arall, organo-sheets*)

**hybrid:**

combination of different materials

**hydrogen embrittlement:**

process by which metals become brittle and break due to the introduction and subsequent diffusion of hydrogen into the metal (steel reinforcement)

**hydrostatic axis:**

$\sigma_{\text{hyd}}$ -axis.

(*Note: equally measuring Lode-coordinates should be used in visualization of an isotropic fracture body*)

**hydrostatic failure point:**

top cap or bottom closure of an isotropic strength failure body, [Cun17]

(*Note: statistically estimated tri-axial failure point (failure behavior acts three-fold). Such a three-fold failure point cannot be predicted by a 'one-fold' SFC!*)

**hydrostatic pressure  $p_{\text{hyd}}$ :**

absolute value of hydrostatic compression.

(*Note: hydrostatic stresses  $\sigma_{\text{hyd}}$  have signs, of course*)

**hydrostatic stress:**

stress arising from a uniform pressure load on - for instance - a cube of material.

(*Note: Used term, when generating principal stresses, defined as average value of the 3 stresses at any point*)

in the body. These 3 stresses are equal in the hydrostatic pressure case. Seldom, a positive 3D-stress state can be subdivided into a positive  $\sigma_{hyd}$  plus further parts)

**IFF modes:**

the 3 different Inter Fiber Failure (fracture) modes of UD materials, known from fractography.

*(Note: Each of these modes is governed by an associated strength. The term IFF mode may be differently used)*

**impact:**

force or action of one object hitting another one

**imperfections:**

state or instance of being imperfect or a shortcoming, such as flaws being generated manufacturing imperfections.

*(Note: The traditional imperfection is of geometrical type)*

**implicit method:**

method for integrating equations of motion.

*(Note: Implicit methods can deal with mildly non-linear problems but with large steps)*

**impregnation:**

saturation of the voids and interstices of a reinforcement with a resin inclusion.

*(Notes: (1) Impregnation of the roving (EP-, TP-compatible) as component of the tow (48 k heavy tow with a fiber grid of e.g. warp 3300 tex, fill > 800 tex. Only a good filament impregnation guarantees an equal stressability of the roving-internal filaments. (2) Impregnation captures infiltration, infusion, injection).)*

**impulse:**

integral over a force acting in a time interval  $t_2 - t_1$ , formulated by  $I = \int F(t) \cdot dt$ , in [N·s], with F = force

**inclusion:**

part, trapped inside a material.

*(Note: Inclusions are often capable of transmitting some structural stresses, but in a noticeably different manner from the parent material. They are often the source of stress concentrations)*

**incompressibility:**

straining with zero volumetric strain or with no change in volume, like soft materials

**inelastic behavior:**

non-linearity, caused by ductile behavior of materials such as with yield flow, creep and further nonlinearity caused by micro-damaging of brittle behaving materials.

*(Note: Further, time-dependent visco-plastic behavior. De-loading runs a different path than up-loading)*

**infiltration:** polymer composite

impregnation of tows with its fibers by resin

**infusion:** polymer composite

impregnation of tows with its fibers by resin under a pressure less than 1 bar

**initial failure:**

‘practically’ the onset of degradation.

*(Note: For laminates and fiber grids, initial failure is usually indicated by the occurrence of a distinct knee in the stress-strain curve, and this is determined by the first IFF mode of failure)*

**injection molding:**

manufacturing process for producing parts by injecting molten material into a mould.

*(Note: A thermoplastic or a thermoset polymer is injected under some pressure into the cavity of the injection mold, probably adding short fibers for improving the polymer matrix generating a Sheet Molding Compound, SMC. Such a SMC is most often composed of Polyester- or Vinylester-resins and glass fibers)*

**injection:** polymer composite

impregnation of tows with its fibers by resin under a pressure higher than 1 bar

**in-situ measurement:**

measurement under loading and environment

**in-situ strength:**

strength capacity of the built-in material.

*(Notes: (1) Exemplarily, the strength of a UD layer, embedded within a laminate, is different (redundant due to embedding, therefore obeying to a 'parallel failure system') to the strength values from the usual 'isolated' material test specimens (weakest link behavior, obeying to a 'series failure system'). (2) The in-situ strength might be termed an 'effective' strength)*

**interaction:**

process of a combined action of stresses, or loadings, or failure modes

**interface:**

boundary or surface between the individual, physically distinguishable constituents of a composite.

*(Note: Surface between filament and matrix and also used for the surface (2D) that separates two parts or two laminate layers)*

**interfacial shear strength:** fiber-matrix

maximum stress when sliding fracture begins.

*(Note: determined by the single fiber push-out method)*

**inter-laminar:**

descriptive term pertaining to an event (e.g. fracture), or a stress field (e.g. shear stress) referenced as existing or occurring between two or more adjacent laminae

**inter-laminar shear stresses (ILS):**

shear stresses  $\tau_{23}$ ,  $\tau_{13}$  in a 3D-stressed UD ply.

*(Note: The normal stress  $\sigma_3$  completes the 3D stress state)*

**inter-laminar shear strength (ILSS):**

maximum shear stress reached in the respective ILSS laminate specimen test

**intra-laminar:**

descriptive term pertaining to a single lamina existing entirely, 2D, in the plane

**interphase material:**

material at the interface between fiber and embedding matrix.

*(Note: Often micro-mechanically modelled as gradual from fiber stiffness down to matrix stiffness because its properties are practically not determinable)*

**invariant:**

combination of stresses or strains.

*(Notes: (1) Its value does not change when altering the coordinate system. (2) The stresses in the invariants may be powered (exponents may be of the power <sup>2</sup>, <sup>3</sup> or <sup>4</sup>) or not powered. (3) Invariants are advantageous when formulating a usually desired scalar strength failure condition SFC. (4) Such material-associated invariants are utilized for isotropic, transversely-isotropic and orthotropic materials.  $I_1/3$  is often termed hydrostatic stress  $\sigma_{hyd}$ , which might be mis-leading, see definition)*

**isotropic:**

identical properties in all directions

**isotropic compression:**

hydrostatic compression with  $p_{hyd}$

**isotropic hardening:**

behavior, when plastic strains increase after initial yielding.

*(Note: In this case, the yield surface in principal stress coordinates expands uniformly about the origin while still maintaining its shape and orientation)*

**knitting:**



method of constructing a fabric by interlocking (inter-looping or inter-meshing) series of loops of one or more yarns

**kissing bond:** NDI

zero-volume disbond.

*(Note: There are two types of kissing bonds (1) adherend and adhesive are in dry solid-solid contact, and (2) a surface contamination caused by a thin liquid layer)*

**lace:**

open space fabric

**Lagrangian formulation:**

geometrically non-linear formulation where the equilibrium conditions are satisfied in the fixed reference configuration

**lamella:** plural is lamellae (latin) or lamellas (US)

small plate or fine sheet and designation used in civil engineering for tapes to reinforce a concrete construction. See also lamina

*(Notes: (1) A lamella may be a line strengthening element being a UD lamina or a multi-axial NCF. There are applications such as bonded tapes, concrete inserted strips, 45°-reinforcement cages for shear-strengthening. (2) CFRP lamellas are used for strengthening of concrete slabs, timber beams, masonry and steel structures. (3) Lamellas are glued to the structure as external strengthening by an epoxy resin adhesive (e.g. Sikadur, minimal tensile strength of the old concrete should be 1.5 MPa)*

**lamina:** plural laminae (latin) or laminas (US)

thin plate or layer, used as designation of a single ply.

*(Notes: (1) A lamina may be a uni-axial UD lamina or a multi-axial NCF. Lamina is the designation of the single ply as computational element of the laminate, respectively used as laminate subset or building block for modeling. (2) The term lamina does not necessarily mean the physical single layer as it is realized in the laminate. (3) The single layer of a non-crimped fabric NCF layer, e.g. [0/90/45]<sub>s</sub>, is usually modelled using 3 distinct laminae with orientation angles 0°, 90° and 45°)*

**lamina properties (isolated):**

properties obtained from traditional ‘isolated’ test specimens for UD lamina material.

*(Notes: (1) The values used in analysis despite of the fact that they cannot consider the effect of embedding in the laminate which may improve the property values. (2) Embedded lamina properties are obtained from special sub-laminate test specimens, where the test ply is embedded between other plies which break at higher load levels than the test ply. (3) UD lamina properties are applicable for different laminate stacks)*

**laminate:**

designation of a complete lay-up or stack of several laminae (laminas) which are bonded together

**laminate properties:**

properties obtained from laminate test specimens.

*(Note: Data principally applicable for the tested stack, only)*

**layer (ply):**

physical element from winding, tape-laying process, etc.

*(Note: Subset of a laminate)*

**lay-up:** stack

process of fabrication involving the assembly of successive layers of fiber-reinforced material, dry or prepreg.

*(Notes: (1) The reinforcing material placed in position in the mold. (2) The process of placing the reinforcing material in position in the mold. (3) The resin-impregnated reinforcement. (4) A description of the component materials, geometry, etc., of a laminate. (5) A stack-up of composite materials that forms either a cured or uncured part, (BDS 1330). (6) A process of fabrication involving the assembly of successive layers of resin impregnated material)*

**length scales:** official

macroscopic: 1 mm - 1000 mm ≡ 1m

microscopic:  $1 \mu\text{m} - 1000 \mu\text{m} \equiv 1 \text{mm}$  (scale where practically damaging occurs is  $< 0.1\text{mm}$ )

nanoscopic:  $1 \text{nm} - 1000 \text{nm} \equiv 10^{-3} \text{mm}$

**(design) Limit Loads:**

maximum external loads expected in service.

*(Note: Examples are Design Limit Load DLL, Design Ultimate Load DUL as a  $DLL \cdot j_{ult}$ -factored load)*

**Life Cycle Assessment LCA:**

method that estimates the environmental footprint of a product from chosen materials via manufacturing until end-of-life

**lifetime:**

span of time during a material or a structural component must work.

*(Note: This definition is specified in any actual project)*

**limit point:**

point along the equilibrium path where the instantaneous stiffness is zero

**limit state:**

state in which a structure or a material comes to a distinct limit

**limit state design:**

design that the structure satisfies two principal criteria: the ultimate limit state (ULS = GZT) and the serviceability limit state (SLS)

**limit state function G: Grenzzustandsfunktion**

$$G = F - 1$$

**Linear Elastic Fracture Mechanics LEFM:**

method that linearly deals with cracks.

*(Note: A given crack inside a loaded structure behaves in conditions of LEFM, if the crack field in the vicinity of the crack tip is assumed to be elastic, and any significant plastic behavior can be neglected)*

**load collective:**

'shape' of the load spectrum.

*(Note: Is marked by the number of cycles  $n$ , and the number of cycles to failure  $N$ )*

**load-controlled testing:**

procedure where the load controls testing.

*(Note: The stress  $\max \sigma$  in the tested structure is determined by the associated failure load and the cross section area, the load has to be transferred through. This stress does not depend on the deformation. Strength  $R$  or  $f \equiv \max \sigma$ )*

**load cycle:**

closed alteration of load change

**load history:**

loadings, experienced during life

**loading:**

loads (including normal and shear forces, moments, torques), pressures, temperature and moisture applied to the structural system

**load path: Lastpfad**

(1) path, the force runs in the structural body and (2) strength test condition 'proportional loading'.

*(Note: There are structures of non-redundant (single load paths) and redundant type (multiple load paths): If non-redundant, the applied loads are distributed through a single member within an assembly, the failure of which would result in the loss of structural integrity of the component involved ('series failure system'). If redundant, the applied loads are safely distributed to other load-carrying members in case of failure which means a multiple load path ('parallel failure system'))*

**load(ing) scenario:**

defined result of the evaluation of all loadings relevant for the design

**load spectrum:**

spectrum of loads used in fatigue analysis

**Lode coordinates:**

coordinates of the stress space where the stress combinations are equally measured in all directions

**logarithmic strains:** see true strain

**log-book:**

book in which product information is recorded

**loom:**

machine, used for weaving fabrics

**lot:** batch, charge

specific amount of material produced at one time using the same process and the same conditions of manufacture, and offered for sale as a unit quantity.

*(Note: One batch of prepreg material or a portion of one batch that is shipped to a purchaser for acceptance at one time. A lot may be one or more rolls of material but cannot exceed the amount of material produced in the batch the rolls are taken from [SAE])*

**macroscopic length scale:**

physical scale, having a characteristic dimension above 1mm

*(Notes: Desired engineering length scale, originally used when modeling and analyzing composite laminas and laminates denoting the ply characteristics. In the early days the thicker fibers (boron) caused ply thicknesses larger than one mm. Therefore the homogenized ply or lamina was addressed as macroscopic. (2) This is not always kept any more in the literature and the FE codes. (3) Macroscopically formulated strength failure condition should consider in its formulations that fracture occurs at micro-scale)*

**maintainability:**

probability that the product can be kept in or returned to a state in which it can provide its functions, when maintenance is applied.

*(Note: Maintenance comprises adequate storage, controlling, and preventive actions such as repair of surface protection)*

**mapping of a course of test data:**

average fit of a test data set (mean curve)

**Margin of Safety (MoS) or Safety Margin:**

decimal fraction by which the failure load exceeds the design load.

*(Note: The margin of safety is connected with the reserve factor by  $MoS = RF - 1$ )*

**mat:** originally

fibrous material consisting of randomly oriented chopped or swirled filaments loosely held together with a binder.

*(Note: The term is also used in construction for open reinforcement grids)*

**material:**

usually the model of a homogenized more complex solid material.

*(Note: On the considered scale (level) the homogenized model of the envisaged complex solid is modelled as a smeared solid. On engineering level a macro-model is preferred and normally used)*

**material composite:** Werkstoffverbund

structural-mechanically a composite 'construction of different materials.

*(Note: A not smearable 'conglomerate' such as TRC is not a 'composite material')*

**material design allowable:**

statistically derived value used for design verification

**material properties:** physical properties

properties required to define the material behavior for analysis purposes.

*(Notes: (1) For stress analysis some typically required material properties are Young's modulus, Poisson's ratio, density and coefficient of linear expansion. (2) Material properties should be obtained by experiment)*

**material stressing effort Eff:** Werkstoff-Anstrengung

exertion, a material experiences under a stress state generated by external loading and residual stresses.

*(Notes: (1) Percentage (portion) of the 'load' carrying capacity of the envisaged material such as metal, lamina, concrete. Eff is caused by a stress state in a distinct failure mode and is the mode-dedicated ratio  $Eff_{mode} = \sigma_{eq\ mode} / R_{mode}$ , which means equivalent stress over strength. (2) Artificial technical term, created about 2001 together with QinetiQ, UK, during the World-Wide-Failure-Exercises (since 1991,) in order to obtain an English expression for the German term Werkstoffanstrengung. (3) If non-linear analysis is required, then the computation must run up to a theoretical fracture loading at  $Eff = 100\%$  in order to determine the required deterministic reserve factor  $RF$  which is not of the same value as the material reserve factor  $f_{RF}$  obtained if linear analysis is permitted)*

**matrix:**

resin system or mortar system, cured or non-cured.

*(Note: Essentially a homogeneous material (polymer, concrete) in which the fiber reinforcement system of a composite is embedded)*

**matrix (contracted) notation:** example UD material

form of notation for writing sets of equations in a compact manner.

*(Note:  $\{\sigma\} = (\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5, \sigma_6)^T$  instead of the engineering formulation  $\{\sigma\} = (\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \tau_{23}, \tau_{31}, \tau_{21})^T$ )*

**Maxwell-Betti theorem:**

reciprocal work theorem (Gegenseitigkeit der Verschiebungsarbeiten).

*(Note: Reads for the example UD material  $v_{\perp\parallel} \cdot E_{\perp} = v_{\parallel\perp} \cdot E_{\parallel}$ , and is applicable for the degraded elasticity matrix, too. Thereby, it is showing symmetry to the diagonal of the elasticity matrix)*

**mean:** expected value

weighted average of the possible values, using their probabilities as their weights

**mechanical properties:** see also material properties

properties of the material such as elastic, physical, or strength properties.

*(Notes: (1) When analysing the structural behavior, usually average ( $\equiv$  typical) elastic and average physical properties (e.g. hygro-thermal ones) are used. (2) Generally, a stress-strain curve is also such a physical property of the material. (3) In strength analysis, statistically-based ('reduced') strength properties are used to capture the scatter of the material strength)*

**mechanical stress:**

stress caused by an action such as loading, temperature

**median:**

value such that the set of values less than the median, and the set greater than the median, each have probabilities no greater than one-half

**meridians:** isotropic materials

axial cross-sections of the failure body (surface).

*(Notes: Of special interest for concrete.*

*(1) Tensile meridian (extension,  $\sigma_I > \sigma_{II} = \sigma_{III}$ ) involves tensile strength point, means axial tension +  $p_{hyd}$ ;*

*(2) Compressive meridian ( $\sigma_I = \sigma_{II} > \sigma_{III}$ ): inv. compr. strength point, means axial compression +  $p_{hyd}$ ;*

*(3) Shear meridian involves the strength state  $\sigma_I = -\sigma_{II}$  or  $\sigma_2 = -\sigma_3$  and is origin of hoop (Lode) angle  $\vartheta$*

**mesh:** web

fabric, that has a large number of narrow spaced holes

**mesh adaptivity:**

automatic alteration of meshes to provide refinement where the calculated variables vary rapidly and coarsening where they vary slowly

**mesh design:**

creation of a suitable mesh model, to represent the given structure with suitable refinement in regions of high field variation with a good representation of boundaries, and incorporating all other required features

**meso-model:**

model that is used at an intermediate length scale being an artificially chosen scale

**meso-scale:**

artificially chosen intermediate scale for so-called multi-scale analyses.

*(Notes: (1) Not a traditional scale or level, but often used as a model-characterizing term at different length levels such as the micro-scale defined below. It has to be clearly defined in each application case and is used also by polymer researchers in the nano-region. (2) with composites, the term meso is referred to the fiber architecture within a textile lamina. Unfortunately, since some time it is also sometimes applied when citing lamina characteristics. Due to thicker fibers in the past, the lamina was originally termed to be macro, which is not accurate anymore in the case of the thin CF-plyes)*

**micro-scale:**

physical scale, having a characteristic dimension typically ranging from 1 µm to 999 µm, which means below 1 mm.

*(Note: Above term is not always used the same. In case of composites it addresses the constituents matrix, fiber, inter-phase and small flaws such as pores, inclusions etc.)*

**mixed (fracture) failure domain MiFD::** strength failure conditions

a stress state may jointly activate different but commonly acting strength failure modes.

*(Note: Example is Normal Fracture NF with Shear Fracture SF. The interaction of fracture modes increases the danger to fail. Failure test data under multi-axial stress states are 'joint-probabilistic' results, see 3D-UHPC fracture test data sets, modelled in [Cun17])*

**mixing water:**

water, necessary to achieve the optimal amount of hydration water, which is essential to obtain an ideal mortar for pumping and paving as well as an optimal interphase material between filament and cementitious matrix [EN 1008]

**mock-up:**

full-size structural model showing how the structure will look or might work.

*(Note: A mock-up is some sort of a dummy and should not be confused with a still functionally working prototype)*

**modeling:**

process of idealising a system and its loading to produce a numerical (finite element) model or an analytical model.

*(Note: Modeling structural parts, the modeling of joints and connections is the most numerically challenging item because these usually are pretty flexible locations within the full FEA-model (weak conditions))*

**mode equivalent stress  $\sigma_{eq}^{mode}$ :**

mode-dedicated equivalent stress.

*(Note: The highest mode equivalent stress gives the designer a hint where to 'turn the design key')*

**(failure) mode-interaction):**

several failure modes are in action.

*(Note: Interaction must be considered in order to capture the difficult consideration and measurement of the mode-coupled degradation. For instance, two commonly acting failure modes mutually lower both the associated elastic properties)*

**Mohr-Coulomb 'yield' condition:**

generalisation of the Coulomb friction failure law.

*(Note: Condition, used for brittle materials like concrete, rock and soils, showing a non-linear stress-strain curve in the compression domain. The displayed condition is an inverted hexagonal pyramid using the principal stress space (see and compare Cuntzes FMC-based conditions for brittle behaving materials)*

[Cun17])

**mold-release agent:**

lubricant, applied to mold surfaces to facilitate release of the part

**molding:**

forming of a composite part into a solid of prescribed size and shape

**monomer:**

compound, consisting of molecules each of which can provide one or more constitutional units

**Monte Carlo simulation method:**

reliability simulation method, where a huge number of random tests with combinations of the uncertain design parameters lead to a random distribution that can be probabilistically evaluated (response surface)

**mortar:**

fresh or hardened mixture of cement + additives + water + aggregates (size 0 mm - 4 mm)

**multi-fold (fracture) failure mode domain MfFD:  $f \equiv R$**

result, when the acting stress state with pretty equal orthogonal stresses activates the same mode multi-fold. (*Notes: (1) Example isotropic says  $\sigma I = \sigma II$  is 2-fold,  $\sigma I = \sigma II = \sigma III$  is 3-fold). Example transversely-isotropic UD.material says  $\sigma 2 = \sigma 3$  is 2-fold).*

(2) A multi-fold fracture mode

- increases the danger to fail !  $R^t > R^u$  (weakest-link effect),  $I_1 > 0$
- increases the danger to fail !  $R^c > R^{cc}$  (weakest-link effect),  $I_1 < 0$ , porous
- decreases the danger to fail !  $R^{cc} > R^c$  (redundancy effect),  $I_1 < 0$ , dense

(3) Multi-fold failure must be considered capturing the joint damaging effect demonstrated by  $R^u < R^t$ ,  $R^{cc} > R^c$  (porous foam  $R^u < R^t$ ,  $R^{cc} < R^c$ ). A multi-fold occurrence of a failure with its joint probabilistic effects must be additionally considered in the strength conditions, e.g. if  $\{\sigma_{fr}\} = (R^{cc}, R^{cc}, 0)^T$

**multi-material composite: Werkstoffverbund<sup>1</sup>**

see material composite.

(*Note: Composite of different materials that are structure-mechanically still a structure, such as a semi-finished sandwich fiber grid product or a rebar grid in the concrete*)

**multiple-site ‘damage’ MSD: wide local damaging**

arrangement of small, visually non-detectable small cracks (‘micro-cracks’)

**multi-scale analysis:**

analysis that is executed on several levels.

(*Note: Micro-scale and macro-scale using meso-modeling of the fiber architecture. In the associated analyses a bottom-up approach - micro to macro - combined with a top-down approach is mandatory because a closed system is necessary: micro-mechanical data in the HSB or other data sheets Fig.?? can be only used with the micro-mechanical formulas they have been based on!*)

**natural frequency: eigenfrequency**

frequency at which resonance occurs

**natural mode:**

shape of a vibration at a distinct natural frequency

(near) **net shape:**

fabrication to final dimensions that do not require final machining or cutting

**netting theory analysis:**

analysis where the fibers are assumed to take all the load.

(*Note: Cannot be used for inelastic analyses which need the real stiffness*)

**NOL ring:**

parallel filament- or tape-wound hoop test specimen developed by the Naval Ordnance Laboratory (NOL).

(*Note: For approximately measure various mechanical strength properties of the material, such as tension and*

compression, by testing the entire ring or segments of it)

**nominal life:**

life span from release via transport to the termination of use.

*(Note: Project-specific differently formulated)*

**nominal specimen thickness:**

summation over the thickness of nominal plies multiplied by the associated number of plies

**nominal value:**

value assigned for the purpose of a convenient designation.

*(Note: A nominal value exists in its name preferably)*

**non-crimp fabrics:** laid webs

type of fabric that consists of plies of unidirectional material laid up at any required angles and held together by a bonding agent or cross stitching (z-threads).

*(Note: Avoids the crimping involved with woven materials and results in higher laminate properties when impregnated with a suitable resin and fully cured)*

**non-linear analysis:**

analysis, to be applied when at least one of the design parameters, such as stiffness, mass or damping vary with displacement or time (superposition cannot be used anymore)

**non-redundant and redundant structures:**

types of different structural failure behavior.

*(Notes: There are non-redundant (or single load path) and redundant (or multiple load path) structures. (1) Non-redundant: applied loads are distributed through a single member within an assembly, the failure of which would result in the loss of structural integrity of the component involved. Has to sustain for instance DUL until exchange of the critical part or until end of service life. For multiple load path structural parts B-values may be used. (2) Redundant: applied loads are safely distributed to other load-carrying members in case of failure. A new load path can be generated that has to sustain in case of failure of one path just design limit load DLL)*

**non-woven fabric:** neither woven nor knit fabric

planar textile structure produced by loosely compressing together fibers, yarns, rovings, tows

**onset of delamination:**

separation failure in a laminate.

*(Note: Laminate, composed of several UD-ply, may experience inter-laminar fracture failure caused by inter-laminar stresses, preferably  $\sigma_3$ , or by 3D-states of stresses that notch the surface of the next ply. The prediction of the progress of delamination is a damage tolerance task)*

**opening width:**

distance within textile reinforcement grids, i.e. Fig.24.

*(Notes: (1) Minimum reinforcement distances of  $> \approx 4 \cdot$  maximum grain  $\emptyset$ . (2) Grain curve distribution  $\approx 0.5 \text{ mm} - 2 \text{ mm}$ , see grid width)*

**optimisation:** structural

tool, to find the best solution from all feasible structures.

*(Note: Optimisation can be grouped into topology, shape and sizing optimisation)*

**organic sheet:**

semifinished sheet product involving organic reinforcements.

*(Note: Hybrid technology can be extended even further if, instead of a steel sheet or an aluminum sheet, fiber-reinforced plastic sheets are used. These are flat, semi-finished plastic sheets, reinforced with a woven or non-woven fabric of glass, carbon, aramid or blended fibers, which give the component particularly high mechanical performance and draping capacity)*

**orthotropic:**

having three mutually perpendicular planes of elastic symmetry

**(over)lap length:**

length of two reinforcement (bars or grid) to transfer loads.

*(Notes: (1) Not fully the same for tension and compression. (2) Equals about the end-anchorage length, Fig.41)*

**panel:**

flat or curved thin-walled structural element.

*(Note: It may be also a stiffener-reinforced part as the barrel of a fuselage section. Therefore, it is not fully compatible to the term flat plate)*

**PAN fiber:**

fiber derived from the pyrolysis of a polyacrylonitrile fiber as precursor

**parametric modelling:**

parameters in solid modeling to define its dimensions in the given design space.

*(Note: Initial parametric studies may be conducted on simplified models to determine the important parameters for the solution of the full problem. These studies are often used to determine the basic FE-mesh density)*

**parametric design:**

automatic design process in which the functional, manufacturing and constructive requirements for the design space are provided.

*(Note: In future, an AI-driven learning computer will propose design variants that fulfill the requirements best)*

**Partial Safety Factor Concept:**

safety concept, applied in civil engineering.

*(Note: Replaces the old, global safety concept in civil engineering by putting partial safety factors  $\gamma$  according to the necessity to capture the different uncertainties of the design parameters on the action side (loadings) and on the resistance side (material, geometry, modelling). See Safety concepts)*

**peel ply:** Abreißgewebe

layer of material applied to a prepreg lay-up surface.

*(Note: Layer of open-weave material, usually polyester, fiberglass or heat-set nylon, applied directly to the surface of an uncured lay-up. It protects the to be bonded surface from contamination during manufacturing or repair operations. The peel ply is removed from the cured laminate immediately before the bonding operations, leaving a clean, resin-rich surface that needs no further preparation for bonding, other than application of a primer where one is required. Peel ply is available wet (pre-preg), dry and with or without release agent. It is important to evaluate which type of peel ply is appropriate for a specific application)*

**part consolidation:**

design-and-fabrication process in which a number of previously discrete parts are combined in a single component to reduce or eliminate assembly operations and associated costs

**perfect plasticity:**

plastic behavior where the yield stress remains constant for all values of plastic strain

**performance:**

characteristic, how well a product fulfils given requirements

**performance requirements:**

final specification between customer and tender

**pitch fibers:**

reinforcement fiber manufactured from petroleum or coal tar pitch possessing a higher elasticity modulus

**phase angle:**

ratio of the in-phase component of a signal to its out-of-phase component (fatigue significant)



**plasticizer:**

material of lower molecular weight added to a polymer to separate the molecular chains.

*(Note: Application results in a depression of the glass transition temperature, reduced stiffness and brittleness, and improved processability. Many polymeric materials do not need a plasticizer)*

**ply:**

synonym for layer and lamina

**ply-book:**

way to forward the production data to other members of the project (designers, manufacturers and others) or medium to exchange information

**ply-by-ply analysis:**

term used in laminate analysis if each ply (lamina) is analysed

**ply-discounting approach:**

degradation model of the ply

**Poisson's ratio: UD ply**

ratio of transverse strain and longitudinal strain of a uni-axially tensioned test specimen.

*(Note: Of course, there is no objective reason to write  $\nu_{21}$  or  $\nu_{12}$  but in the early days indexing of Poisson's ratio followed 'location before cause'. This makes more sense and - in addition - follows the convention for the load quantities. This is the reason why - after many discussions and extensive literature work of the working group - the VDI 2014 guideline still sticks to the 'old' sequencing  $\nu_{21}$  for the larger Poisson's ratio. However, for the larger Poisson's ratio in the last two decades - more and more -  $\nu_{12}$  has been used, especially in the FE codes. This might have been the reason for the change. Meanwhile, Stephen Tsai turned back in his newest book 'Strength and Life of Composites', 2011, to the old sequencing  $\nu_{21}$ )*

**polymer (plastic):**

organic material composed of molecules characterized by the repetition of one or more types of monomeric units

**polymerization:**

chemical reaction in which the molecules of monomers are linked together to form polymers via two principal reaction mechanisms.

*(Note: Addition polymerization proceeds by chain growth and most condensation polymerizations through step growth)*

**porosity:**

aggregation of micro-voids.

*(Note: Condition of trapped pockets of air, gas, or vacuum within a solid material, usually expressed as a percentage of the total non-solid volume to the total volume or solid plus non-solid of a unit quantity of material. Porosity may decrease stiffness and strength.)*

**post-buckling:**

denotation, if the structural element operates in a region where the applied load has exceeded the buckling resistance

**post-processing:**

interrogation of the results after the analysis phase, usually done graphically

**pot life:**

period of time during which a reacting thermosetting composition remains suitable for its intended processing after mixing with a reaction initiating agent

**precursor:** for carbon fibers

PAN or pitch fibers from which carbon fibers are produced.

*(Note: Oil-independent, bio-mass- derived acrylonitrile precursors are presently investigated)*

**preform:**

uncompleted part after preliminary shaping.

*(Note: Assembly of dry fabric, which has been prepared for one of several different wet resin injection processes. The preform may be stitched or stabilized in some other way to hold its shape. A commingled preform may contain thermoplastic fibers and may be consolidated by elevated temperature and pressure without resin injection, example is an organic sheet)*

**prepreg:**

pre-impregnated fiber product, ready to mold or cure.

*(Note: Material in sheet form which may be a UD-tape, fabric or mat)*

**pressure-independent material:**

perfectly plastic material, independent of the hydrostatic stress.

*(Note: Elastic-plastic material in which plasticity exhibits only in the deviatoric stress-strain response, whereas the volumetric stress-strain response is linear-elastic and is independent of the deviatoric response. First invariant  $I_1$  of the stress tensor comes not to act, just  $J_2$  being proportional to  $\sigma_{eq,Mises}$ )*

**prestressed concrete:**

concrete in which the reinforcement is stretched via tensioned tendons and anchored to compress it in order to increase its resistance to tensile stresses

**principal axis:** transversely-isotropic UD lamina material

coordinate axis that coincides with the fiber direction

**principal plane:** isotropic material

planes on which the shear stresses are zero.

*(Note: Three such planes exist at every point in a stressed isotropic body)*

**principal stress:** isotropic material

remaining components of the stress tensor after the original basis is transformed in such a way that the shear stresses of isotropic materials become zero

**'principal stresses hypothesis' of Rankine:**

normal stress-based hypothesis.

*(Note: Possesses a tension-cut-off, is a three-corner SFC, merely applicable in the case of brittle behavior)*

**profile:**

here a load-carrying structural element (pultruded, rolled from organo sheets)

**process-induced distortions PID:**

effect when the production of composite structures ends with warpings and curvatures.

*(Note: Leads to internally balanced residual stresses in laminated plates. Compensation is undertaken by adjusting the tools)*

**progressive collapse:** building

failure of adjoining structural elements with final collapse of a primary structural element.

*(Note: Redundancy eventually exhausted)*

**progressive failure:** ply, amina, lamella

behaviour after onset of degradation of an internal ply of the loaded laminate.

*(Notes: (1) Failure often starts as a tiny crack between the fibers and matrix. Continuous loading leads to the formation of multiple micro-cracks in the lamina. (2) The increase of loading is accompanied by progressing damaging, up to the FF loading level. In the critical ply a material stressing effort of  $Eff = 100\%$  (Werkstoff-Anstrengung) will be reached in the hardening domain. However in this ply strength and stiffness are not exhausted. Along the softening domain,  $Eff$  remains  $100\% =$  'lowering effective stress' / 'lowering strength', when further progressing damaging occurs. (3) The behavior is not deterministically but probabilistically determined. Hence, progressing failure events are dependent on the typical size of the coefficient of variation of each ply strength)*

**progressive failure:** FRP laminate

progressive series of failure events in the components, plies of the composite part.

*(Note: The microcracks decrease the stiffness of the matrix causing the fibers or surrounding plies to carry a higher stress than they normally would carry. Stress redistribution is activated. The laminate experiences a kink in the laminate stress-strain curve. Consequently, capturing stress redistribution is the key to a realistic simulation of the progressive failure of laminate structures.)*

**proof load:**

load applied during a proof test

**proof test:**

test of a hardware under proof load or proof pressure loading to give evidence of satisfactory workmanship and material quality or to establish the initial crack sizes in the hardware

**(material) properties:**

‘agreed to values’ in order to achieve a common and comparable design basis by using a standard.

*(Note: Material properties should be test-provided with average value and coefficient of variation cov)*

**proportional loading:** test and analysis

loading situation, when all the external loads are applied simultaneously and when these increase in proportion to one another throughout the loading history.

*(Note: This clearly does not occur when one component of load is applied and another later, which reads ‘out-of-phase’)*

**proportional stressing:** analysis

multi-axial stress state situation

**pultrusion:**

continuous process for manufacturing composites in rods, tubes, and structural shapes having a constant cross section.

*(Note: After the reinforcement is passed through the resin-impregnation bath, it is drawn through a shaping die to form the desired cross section; curing takes place before the pultruded part can depart from that cross section)*

**quasi-isotropic laminate:**

laminate approximating isotropy by orientation of plies in several directions like [0/60/-60]

**quasi-laminar composite:**

denotation for a textile composite which basically behaves 2D-like

**rainflow counting:**

counting method, used in the analysis of fatigue data in order to reduce a spectrum of the varying stress into a set of simple stress reversals R-curve (crack extension resistance curve):

curve of strain-energy release rate  $G$  versus crack length  $a$ .

*(Note: A positive slope indicates unstable crack propagation and a negative that the crack growth is stable)*

**Ramberg-Osgood ‘law’:**

stress-strain relationship where the strain is proportional to a power of stress

**rapid manufacturing:**

manufacturing process using additive material.

*(Note: Rapid prototyping, rapid tooling. Each material that can be glued, welded or merged may be used as additive material)*

**raw material fiber cost :** carbonfiber roving

production cost of CF on a bobbin is currently 16 €/kg

*(Note: Example CF cost per m<sup>3</sup> for  $V_f = 0.2\% \rightarrow \text{mass} \cdot \rho \cdot \text{price} \cdot V_f = (1 \cdot \text{m})^3 \cdot 1700 \text{ kg/m}^3 \cdot 16 \text{ €/kg} \cdot 0.002 \Rightarrow \approx 50 \text{ € for FRC. For comparison: Normal Concrete: } 60 \text{ -} 80 \text{ €/m}^3, \text{ Fine Concrete: still ten times Normal Concrete})$*

**reaction force:**

force, generated at support points when a structure is loaded

**rebar:** steel, fibers

reinforcing bar, used as a tension device in reinforced concrete and reinforced masonry structures to strengthen and hold the concrete in tension.

*(Note: Rebar surface should be patterned to get a geometrical contact and a better 'bond' with the concrete. Helix pultrusion saves waste compared to grinding a pattern. Rebars are also used for generating bar-grids, Fig.32, e.g. Solidian GFRP REBAR Ø 4, 6, 8, 10, 12–A)*

**recycling:** CF

pyrolysis process

*(Notes: (1) The recycled fiber amount rCF is about 50 % of presently (2018) ca. 25000 t / year (from production waste material, prepreg cooling interruptions, bad parts due to manufacturing error, wind mill blades etc). They are going to cost about 50 % of the new price. Due to the experienced degradation process – they show 75 % of the short time properties of new material. (2) Information: A yearly CF output of 50000 t means (2018) 4 min steel production. The yearly concrete production equals oil production and is ?? times larger, Fig.18. (3) Generated by treatment in a furnace, which vaporizes the resin that holds the carbon fiber layers together and leaves behind a material, which is cleaned and sold to companies in the electronics and ground transportation industries for making laptop cases, car parts and other products)*

**redundant structure:**

structure where all of the unknowns cannot be found from equilibrium considerations alone.

*(Note: In the case the structure is said to be redundant then the compatibility equations must also be used)*

**reinforced concrete RC:**

concrete, armored by an arbitrary endless fiber product with polymer impregnation (P) or mineral impregnation (M) hopefully in future for better fire resistance.

*(Note: This will lead to some discrimination between FRP-reinforced concrete and FRM-reinforced concrete)*

**reinforcement:** Bewehrungsstruktur

reinforcing semi-finished product

*(Note: In construction industry performed by bars, bar-grids, and textile grids (mat, mesh))*

**release agent:** see mold release agent

**reliability  $\mathfrak{R}$ :**

aptitude of a product to perform the required functions at certain performance levels under specific conditions and for a given period of time, expressed in terms of probability.

*(Notes: (1) Structural reliability considers the probability of combinations of the recognized significant scattering design variables (stochastic, random). (2) Currently in mechanical engineering, the two essential design variables load and strength are separately treated, but not really stochastically combined as in real structural reliability applications where a probabilistic concept is applied. (3) Reliability is a probability measure to guarantee during lifetime the limit states ultimate, serviceability, fatigue)*

**Rendulic plane coordinates:**

$\xi$ - $\rho$ -plane coordinates of the strength failure body

**Reserve Factor RF:** mechanical engineering

load-defined factor, defined as ratio of a 'resistance value' and an 'action value'.

*(Notes: (1) Resistance value means here Predicted or Measured 'failure load / (design factor of safety x Design Limit Load)'. (2) If linear analysis is permitted RF will correspond to the material reserve factor, derived from ' $f_{RF} = \text{strength} / \text{design stress}$ '. A value higher than one would allow an increase of loading. (3) For brittle behaving materials, the decisive static limit state is the Design Ultimate Load case. The Design's strength is demonstrated if (a) no relevant strength failure, respectively limit state of any failure mode, is met and (b) all dimensioning load cases are respected by the following formulas, reaching values  $> 1 = 100\%$*

$$f_{RF} = \frac{\text{design allowable "strength "}}{j \cdot \sigma(DLL)} \quad \text{linear model permitted } (f_{RF} = 1)$$

$$RF_{ULT} = \frac{\text{Final Failure Load}}{\text{Design Ultimate Load}} = MoS + 1 \quad \text{non-linear model required } (Eff = 100\%)$$

$$= \frac{\text{design allowable "load resistance" }}{\text{Design Ultimate Load}}$$

*(4) The Final Failure Load in the non-linear case is reached when Eff becomes 100% in the critical stress 'point'. (5) Assumption in usual deterministic procedure is most often: 'Worst case scenario with respect to loading, temperature and moisture, and to undetected damage'*

**residual strength:**

fracture stress after pre-damaging and re-loading

**residual stress:**

stress, generated by external and internal loadings according to constraining.

*(Note: Stress that remains in a structure after processing, fabrication, assembly, testing or operation. An internal equilibrium system is given)*

**resin:**

organic polymer or pre-polymer used as a matrix or glueing material.

*(Note: Application as a matrix to contain the fibrous reinforcement in a composite material or as an adhesive. It may be a thermoset EP or a thermoplastic TP. Neat resin is the purest resin containing just the main polymers)*

**resin system:**

mixture of resin, with ingredients such as catalyst, initiator, diluents or additives to influence handling, processing behavior and ultimate properties of the final product.

**resin-transfer molding (RTM):**

molding process in which catalyzed resin is transferred into an enclosed mold into which the fiber reinforcement has been placed.

*(Note: Cure normally is accomplished without external heat. RTM combines relatively low tooling and equipment costs with the ability to mold large structural parts)*

**resistance (R):**

material property or a structural property counteracting the applied loadings.

*(Note: Example load resistance and buckling resistance, which are structural resistance properties at load level. Example strength, which is a material resistance property R at stress level or sometimes given as a limiting strain level  $\epsilon_{design}$ . (3) The letter R is unfortunately the same as for the stress ratio)*

**reverse engineering:** für Nachrechnung

good reconstruction of a given structure or building i.e. for retrofitting

**residual stress:**

stress, generated by external and internal loadings according to constraining

**risk:**

probability of loss

*(Note: Risk = 'criticality level' = 'severity of the failure times its probability of occurrence'. An interesting complementary definition is robustness)*

**robust design:**

design that performs optimally under the variable operating conditions during lifetime or optimally captures the scatter of the design parameters.

**robustness:**

robustness =  $1 / (\text{uncertainty} \cdot \text{complexity}) = 1 / \text{fragility}$  [definition of Ontonix].

*(Note: robustness and reliability are cross-linked to some extent)*

**Robust Design Optimisation:**

tool to evaluate the combined action of the scattering design variables such as fiber waviness, layer orientation and undulation as manufacturing significances, material properties

**rod:**

here, reinforcing semi-finished product.

*(Note: Pultruded carbon fiber reinforced polymer (CFRP) rods designed for strengthening concrete, timber and masonry structures such as, Fig.18)*

**room temperature, ambient (RTA):**

usual reference temperature for material properties.

*(Notes: (1) Environmental condition of  $23 \pm 3^\circ \text{C}$  at ambient laboratory relative humidity; (2) Material condition where, immediately following consolidation or cure, the material is stored at  $(23 \pm 3^\circ \text{C})$  and at a maximum relative humidity of 60 %)*

**roving:** tow, strand

number of yarns or ends collected in a parallel bundle with approximately no twist.

*(Note: Term is applied most commonly to glass, carbon and aramide (Kevlar), see ISO 472. The cross-section of a roving is an oval, round cross-sections are caused by protection twist of about 10 rotations. The roving must be through-impregnated not only surface-coated in order to equally load each single filament. It is marked in thousands (k) of filaments. Instead of roving the term tow is often used in construction industry.*

**R-ratio:** fatigue

ratio of minimum stress and maximum stress or load

**rupture:**

break of the final cross section area of a ductile behaving tensile test specimen.

*(Note: Rupture comes after necking, and therefore should be not confused with fracture, which is associated with the maximum load of the test specimen at onset of necking. See stress rupture)*

**safe life:**

design philosophy in which products are designed to survive a specific operational life with a chosen reserve or period, during which the structure is predicted not to fail in the expected service life environment.

*(Note: Newly also used as 'fracture control design policy', for which the largest undetected flaw - that might exist in the part - does not grow to failure when subjected to the cyclic and sustained loads and environments encountered in the service life)*

**safety (security):**

defined as 'absence of circumstances liable to cause death, or degradation or loss of equipment within limits of probability of occurrence' of these events.

*(Note: Safety is - in contrast to structural design safety - related to human beings if they might be excessively endangered)*

**safety concepts:**

deterministic, semi-probabilistic or even probabilistic concepts (formats) to capture uncertainties in order to implement structural reliability into the design.

*(Notes: Above concepts are working as follows: (1) The deterministic concept accounts for design*

uncertainties in a global (lumped) manner by enlarging the design limit loads by a multiplication with FoS  $j$  (usual way in mechanical engineering). (2) The semi-probabilistic concept puts partial FoS  $\gamma_i$  on the  $i$  design-relevant uncertain design variables (civil engineering). (3) The probabilistic concept maps each single design parameter's uncertainty into a probability density function. Thereby, the 'joint probability of failure' caused by a combination of all the design variables (scattering design parameters) is considered)

**Safety Factor concept:** factor of safety concept, mechanical engineering

deterministic concept using one factor by which the level of the given loading is increased. The applied so-called Factors of Safety FoS are load-increasing factors, see [Cun12].

*(Notes: (1) Present Safety Concept: by a distinct FoS  $j$  the design limit loads (DLL) are multiplied in order to account for uncertainties of the loadings (or stresses in the case of linear behavior), of the verification methods, the uncertainties in manufacturing process and material properties, the failure criteria for purposes of analytical assessment or also the test verification of design accuracy in strength, stiffness and stability). This deterministic concept enlarges the deterministic loads (stresses) and causes thereby a distance to the load resistance (strengths). This difference is represented by the required positive Margin of Safety MoS. (2) Former 'Allowable (permissible) Safety Factor concept': this old deterministic concept reduces the load resistances (strengths) with the consequence that it cannot deliver accurate MoS in case of non-linear analyse according to the fact 'load is not proportional to the stress any more'. Therefore: The citation of the term 'allowable stress' is restricted to the old concept and shall be not applied within the present concept anymore. Why? The use of the abbreviating term 'allowable' instead of 'design allowable' may not confuse, 'allowable stress' however does, because  $j \cdot \text{allowable stress} = \text{strength design allowable}$  ! The 'allowable stress safety concept' shall be not employed if non-linear analysis is required*

**(partial) Safety Factor concept:** civil engineering

see Partial Safety Factor Concept.

*(Note: The 'Allowable (permissible) Safety Factor concept', which uses a global safety factor to reduce the strength was replaced in DIN 1054 by the Partial Safety Factor concept. This applies safety factors and combination factors for general service loads, live loads, snow, ice loads, and wind loads as. Temperature effects are specified in DIN 1055-100)*

**sample:**

small portion of a material or product intended to be representative of the whole.

*(Note: statistically, a sample is the collection of measurements taken from a specified population or of a set of measurements on a test specimen)*

**sample variance:**

see variance, applied for a sample

**satin weave fabric:**

woven edges of a fabric lie parallel to the warp, Fig.20

**saturation:** Sättigung

equilibrium condition in which the rate of absorption under prescribed conditions practically falls to zero.

*(Note: Essential for conditioning of polymer matrix composite test specimens prior to testing. The MIL-HDBK 17, paragraph 2.2.7.2 formulation is: saturation content is the largest value of moisture equilibrium content for a given material under humid conditions at 100% relative humidity RH)*

**scatter factor:**

factor which indicates the variation of a fatigue property.

*(Note: In fatigue analysis it is practically a knock-down factor by which the number of cycles or the life time is multiplied in order to account for uncertainties in the statistical distribution of loads and cycles as well as uncertainties in fatigue analysis, manufacturing processes and material properties are considered. The term is explicitly reserved for the lifetime ratio T50%/ T90% survival data which stem from S-N curves)*

**secant modulus:**

ratio of stress to strain at any point of a stress-strain curve (tension, compression, torsion, shear).

*(Note: Elasticity modulus (stiffness) defined by the slope of the line from the origin to the current point of interest on a load/deflection curve)*

**secondary bonding:**

joining together, by the process of adhesive bonding, of two or more already cured composite parts, during which the only chemical or thermal reaction occurring is the curing of the adhesive itself

**secondary components (structures, parts, elements):**

components of a structure, that are not of direct interest but may have some influence on the behavior of the part of the structure which is of interest, namely the primary component, and have to be included in the analysis in some approximate form

**section force: Schnittkraft**

force acting at a distinct cross section

**(cross) section quantities:**

forces and moments acting at a cross section or node (beams: forces  $N$ ,  $Q$ , moments  $M$ ; shells and plates:  $n$ ,  $q$ ,  $m$  being width-related)

**service life:**

life of a structural component which starts with the manufacture of the structure and continues through all acceptance testing, handling, storage, transportation, service, repair, re-testing, re-use.

*(Note: Interval, beginning with the last item inspection or flaw screening proof test after manufacturing, and ending with completion of its specified life as completion of the mission)*

**secondary stresses:**

stresses induced by needs of internal compatibility or compatibility with the boundary conditions.

*(Note: Secondary stresses are associated with imposed loading or imposed displacements such as temperature, pre-stressing, settlement, shrinkage. These stresses are not required to achieve equilibrium between an internal stress state and the external loading. They build up eigen-stress states)*

**section:**

station at a distinct length coordinate  $x$  of the structure.

*(Note: In practical application, the term section is unfortunately used as well as for an extruded beam, e.g. a product form such as a fabricated composite angle section or a channel section, as well as the cross section forces and moments at a section cut at the coordinate  $x$  and dedicated to a distinct cross section)*

**semi-finished product SFP (good SFG: Halbzeug, Halbfabrikat**

intermediate product which is further processed to become a final finished product.

*(Notes: In [Che11] different textile semi-finished products are discriminated due to (1) geometry (1D, 2D, 3D), (2) structure of the reinforcement alignment UD, bi-axial, tri-axial), and (3) z-reinforcement dependent structure i.s. cross-breeding yarns or interlacing yarns). (4) SFPs with continuous z-reinforcement may be treated as 'smeared 3D-materials')*

**semi-probabilistic Safety Concept: see Euro Codes**

concept where the uncertainties on action and resistance side are accounted for, separately. They are reflected by the load (action) factor  $\gamma_S$  and the resistance factor  $\gamma_R$ .

*(Notes: (1) For comparison the deterministic approach uses an experience-based global safety factor that is meant to incorporate all uncertainties  $R / \gamma > S$ . (2) The partial safety factor version is more refined and represented by  $R / \gamma_R > S / \gamma_S$ . The computation remains purely deterministic but since the partial safety factors are calibrated to match a predefined probability of failure level (= acceptable probability of failure), the approach is classified as semi-probabilistic)*

**shear locking:**

phenomenon which occurs with thick elements if they give overstiff results when modelling thin beams, plates, shells, due to an excess of shear energy

**(CFRP) sheet: for rehabilitation and new construction**

flat rectangular piece.

*(Note: uni-axially (wide UD lamella  $\equiv$  UD non-crimp fabric NCF) or a multi-axially reinforced semi-finished product (wide multi-axial NCF = MAG for shear force reinforcement in cages)*

**shrinkage: polymer or concrete matrix**



chemical shrinkage and physical shrinkage due to deformation mismatch, moisture, temperature

**side constraints (optimization):**

based on e.g. past product experience and manufacture.

*(Note: the objective function  $f(x)$  needs to be satisfied considering equality constraints (hard constraints)  $g_i(x) = c_i$  and  $h_j(x) \geq d_j$  (soft constraints))*

**simulation:**

imitation of the operation of a real-world process or system.

*(Note: The model represents the system itself, whereas the simulation represents the operation of the system over time. Model adaption due to test information)*

**simulation governance:** mechanical design

managerial function, concerned with assurance of reliability of information generated by numerical simulation

**site construction:**

construction, performed at the construction site

**sizing:** compare finishing

coating of filaments to protect the surface during textile processes such as weaving.

*(Notes: (1) Starch, gelatin, oil, wax, and man-made polymers such as polyvinyl alcohol, polystyrene, polyacrylic acid, and polyacetates are employed. (2) Generic term for compounds which are applied to yarns to bind the fiber together and stiffen the yarn to provide abrasion-resistance during weaving.). (3) The treatment contains ingredients that provide surface lubricity and binding action but, unlike a finish, contains no coupling agent. Before final fabrication into a composite, the size is usually removed by heat cleaning, and a finish is applied. Sometimes, size is incorrectly used to mean "finish".*

**specimen (test):**

piece or portion of a sample or other material taken to be tested.

*(Note: Specimens normally must be conditioned and are prepared to conform with the applicable test method)*

**slenderness ratio:**

ratio of the effective length of a column to the least radius of gyration of its cross section is called the slenderness ratio (stability analysis)

**slit tape:**

prepreg-tape of width 3 mm through 50 mm, cut out from standard-tapes.

*(Note: Die Slit-Tapes mit engen Breittoleranzen werden von AFP- Maschinen zur endkonturnahen Ablage von Bauteilen verwendet. Übliche Slit-Tape-Breiten sind: 3,18mm, 6,35mm (1/4") und 12,7mm. Die von Airbus spezifizierte Breittoleranz ist +/- 0,125mm. Der Slit-Prozess verteuert das Prepreg erheblich.*

**smear crack models:**

models used in non-linear analysis of concrete structures

**smearing (homogenization-ability):**

ability of a multi-material that it can be replaced by a simpler treatable material model

**S-N curve (Woehlerkurve):**

stress-life curve of a material, in terms of cycles N, for a determined applied stress ( $\sigma(N)$ , advantageous when brittle) or an applied stress amplitude  $\Delta\sigma(N)$ .

*(Note: Renders the weakening of a repeatedly loaded material)*

**softening:** Entfestigung

degradation of a material shown by the decay of the stress-strain curve which results in a contraction of the failure body

**softening curve:**

degradation branch of the full stress-strain curve

**Solid Isotropic Material with Penalization (SIMP) approach:** Microstructure, FEA

topology approach, with continuous topology optimisation where the FE-Elements beside failure (delete

element) and non-failure take intermediate penalized values which leads to more continuous contours

**spalling:** concrete

process of surface failure due to volume expansion in which flakes break off from the concrete

**specific mass:**

weight per unit volume of a material.

*(Note: Concrete, e.g.  $\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$  with  $1 \text{ kg} \equiv \approx 10 \text{ N}$ )*

**specific strength:**

material strength divided by its density

**(longitudinal) splitting:**

fracture mechanism, resulting from compression along an axis that creates fractures parallel to the load axis due to generated tensile stresses combined with wing cracks

**stacking sequence:** stack, lay-up

arrangement of ply orientations and material components in a laminate specified with respect to some reference direction

**standard deviation:**

measure in statistics, used to quantify the amount of variation of a set of data values.

*(Note: Represented by the lower case Greek letter sigma  $\sigma$  (basic distribution) and the Latin letter  $s$  (sample))*

**staple fiber:**

fibers cut to a distinct length (staple length).

*(Note: Either short natural fibers or of lengths cut from fibers)*

**State I:**

state, where the cross-section not yet ‘cracked’ concrete matrix.

*(Note: Micro-cracking is always presumed)*

**State IIa:**

state, when macro-cracks occur after multi-fold (micro-)crack generation

**State IIb:**

state, when the final crack state is reached

**State-of-the-Art:**

highest level of development, as of a device, technique, or scientific field, achieved at a particular time

**statically determinate structure:**

structure where all of the unknowns can be found from equilibrium considerations alone

**statically indeterminate structure:**

structure where not all of the unknowns can be found from equilibrium considerations alone, compatibility equations must be used also.

*(Note: A structure is said to be redundant if it provides more load paths than are necessary to satisfy equilibrium)*

**statistical distribution:**

arrangement of values of a variable showing their frequency of occurrence.

*(Note: A function describing the probability that a given value will occur is called the probability density function PDF, and the function describing the cumulative probability that a given value or any value smaller than it will occur is called the distribution function or cumulative distribution function, abbreviated CDF. Applicable for strength are the Weibull distribution and the logarithmic normal distribution. For loads, extreme value distributions are used)*

**steel fibers:**

reinforcing fibers such as Ni/Ti, 22MnB5

**stiffness:**

rigidity of a structure, and elasticity of a material

**stitch:**

single turn or loop of the thread or yarn in sewing, knitting [GlossWi]

**stitch parameters:**

parameters which define stitching such as stitch pattern, stitch length, stitch gage

**stochastic design parameter:** uncertain basic variable

scattering design parameter which is uncertain before realization and random after realization

**storage life:**

amount of time a material can be stored and remain suitable for use

**strain:**

length change per unit length due to force, temperature, moisture.

*(Note: Strain is frequently expressed in meters per meter or percent %. It describes the change in the metric properties of a continuous body in the final displacement from an initial placement)*

**Strain Energy Release Rate (SERR)  $G_c$ :**

change in strain energy  $dU$  due to the creation of a new crack surface  $dA$ .

*(Note: Is related to the change in crack area, so if one uses  $U$  for strain energy, the strain energy release rate is numerically  $dU/dA$ . The elastic energy released = surface energy + plastic deformation energy)*

**strain (work) hardening:**

strengthening of a material during increasing plastic deformation

**strain rate effect:**

influence of the speed of straining  $d\varepsilon/dt$  on the measured property.

*(Notes: (1) material properties may change due to a fast strain change, in  $\dot{\varepsilon} = \% / s$ . (2) If there is a strength increasing effect of the material under impact, then the material is a strain-rate dependent one)*

**strand:**

normally an untwisted bundle or assembly of continuous filaments used as a unit.

*(Note: Includes the terms rovings, tow, ends, yarn, etc. Unfortunately, sometimes a single fiber or filament is called a strand)*

**strength  $R$ , uni-axial:** Resistance

generally a resistance capacity of a structure or of a material to withstand loading actions.

*(Notes:*

*(1) Uni-axial strength of a material referred to a level of stress) at which there is a significant change in the state of the material, e.g. stress at onset of yielding, fracture stress;*

*(2) Strength of a structure refers to a level of loading which produces a significant change in the state of the structure, e.g. inelastic deformations, collapse;*

*(3) In structural design should be demonstrated both material strength (applying strength failure conditions SFC as well as structural strength (applying buckling resistance conditions). The strength of construction materials is linked to strength failure modes such as NF, SF, SY, FF, IFF;*

*(4) In engineering, the uni-axial strength ( $\equiv$  failure stress)  $R$  may be termed ('basic') strength and is a fixed value in design obtained from a standard test series under a uni-axial load, capturing one strength failure mode. Fracture tensile stress  $\sigma_t \equiv$  ultimate tensile strength  $R_m$ ;*

*(5) Multi-axial failure stress states are better termed multi-axial strength capacities, because damaging according to more than one failure mode may happen and increase the danger to fail;*

*(6) In test data mapping - in order to validate a SFC model - the average 2D failure curve or the multi-axial average failure surface (body) is searched. Therefore, the task 'average test data fit' must be tackled by applying average strength values  $\bar{R}$ . In design verification, when determining a RF a statistically reduced surface (shrunk failure body) is used applying a strength value marked  $R$  or  $fd$ )*

**strength, bi-axial:**

isotropic materials: tensile  $R_{tt}$ , compressive  $R_{cc}$  and for UD materials  $R_{\perp}^{tt}$ ,  $R_{\perp}^{cc}$

**strength, tri-axial:**

isotropic materials: tensile  $R_{tt}$  , compressive  $R_{ccc}$  (porous materials)

(design) **strengths of a lamella:** FRP UD ply, civil engineering

property values in the partial safety factor-based design.

*(Notes: (1) A 5% fractile is applied to the test data which is less than for the A-values). (2) Partial safety factors are put on the main scattering, uncertain design parameters.*

(design) **strengths of a lamina:** FRP UD ply, mechanical engineering

A-values or B-values (= statistically reduced, see definitions of these terms) values, deterministic-based values for design verification.  $\{R\} = (R_{||}^t, R_{||}^c, R_{\perp}^t, R_{\perp}^c, R_{\perp||})^T$

*(Notes: (1) A single action or loading increasing safety factor is put on. (2) Under compression, following Mohr-Coulomb the respective friction value  $\mu_{||\perp}$  or  $\mu_{\perp||}$  must be considered (in the isotropic case, just one friction value  $\mu$  acts). (3) In test data mapping, average values (mean) are determined usually marked by a bar over  $\{\bar{R}\} = (\bar{R}_{||}^t, \bar{R}_{||}^c, \bar{R}_{\perp}^t, \bar{R}_{\perp}^c, \bar{R}_{\perp||})^T$ . (4) Obtaining tension and compression strength of a UD-lamina parallel to fiber direction careful experiments, carried out by Bansemir and Schürmann, on test specimens with really straight fibers proved  $R_{||}^c \approx R_{||}^t$ . Measured values  $R_{||}^c < R_{||}^t$  is the result of micro-buckling and therefore not a strength value but a structural instability value, which better represents the local structural situation and not the material)*

**strengths of fabrics:** smeared material , A- or B-values

$R_W^t, R_F^t, R_W^c, R_F^c, R_{WF}, R_3^t, R_3^c, R_{W3}, R_{F3}$  for general fabric (6 instead of 9 if warp = fill)

**strength of impregnated rovings in textile grids:**

design values  $R_{||}^t \approx R_f \cdot V_f \equiv f_{||td}$  with a further index  $_W$  and  $_F$  if warp  $\neq$  fill (weft) in case of hybrid and different reinforcement in grids)

**strength of textile grid reinforced concrete:**

design value  $f_{td, tex}$  (index  $_W$  and  $_F$  if warp  $\neq$  fill (weft))

**strength capacity (multi-axial):**

see strength versus strength capacity

**strength ratio:**

ratio of compressive strength to tensile strength.

*(Note: Gives an idea about how brittle a material is. Separates in the Haigh digram compression from tension domain. Advantageous, compared to run  $R = -1$ )*

(uni-axial) **strength versus (multi-axial) strength capacity:**

terms capturing different contents in strength domain.

*(Notes: (1) One should not mix up an increase of the measured uni-axial 'basic' strength with a calculatory increase of strength resistance under multi-axial stressing, described by the material stressing effort  $Eff$  and derived from SFC application. (2) In the multi-axial stress state case the resistance  $Eff$  may be reduced which can take place under an external loading superimposed by hydrostatic stressing. This physical effect can be demonstrated by UHPC measurements at the TU Dresden: fracture test results ( $Eff = 100\%$ ) with uni-axial strength  $\{\sigma_{fr}\} = (-160, 0, 0)^T$  MPa  $\Rightarrow$  multi-axial strength capacity  $\{\sigma_{fr}\} = (-224, -6, -6, -6)^T$  MPa. This proves that the external axial compressive loading capacity increases from -160 MPa to -224 MPa. It has nothing to do with an increased 'basic' uni-axial strength)*

**strength design allowables:**

statistically reduced average values such as A- and B-values or 5% fractiles in civil engineering

**Strength Failure Condition SFC ("criterion")  $F = 1$ :**

mathematical formulation of the limit state, here the strength limit state to assess a 'multi-axial failure stress state in a critical location of the structural part).

*(Notes: (1) A physically based strength model possesses a minimum number of model parameters. After proven demonstrations of a good mapping of the courses of accurate test data ('goodness of fit') such a model is able to even sort out false test data. (2) Principally, a SFC can describe one failure mode, only! (3) There are so-called Global or Lumped SFCs (describe the full failure surface by one single equation capturing all existing failure modes such as Normal Fracture NF, occurring under tension and shear or Shear Fracture SF,*

under compression and shear, which means mapping all failure modes in one failure condition) and Modal SFCs (describing each failure mode-associated part of the full failure surface by one equation, respectively mapping each single failure mode separately). (4) Failure at micro-scopic level must be considered in a macro-scopic SFC)

**strength failure surface:**

visualisation of the failure function  $F = 1$ .

(*Note: The strength failure surface is a fracture failure surface in case of brittle materials, such as concrete*)

**(mechanical) stress:**

quantity  $\sigma = F/A$  in MPa = N/mm<sup>2</sup> where F is the force acting on an area A.

(*Note: A can be the undeformed area or the deformed area, depending on whether an engineering stress or a true stress is of interest*)

**stress component:**

component of a shear stress composed of a compressive and a tensile part

(*Note: The often used term stress component for stresses is not accurate. It must read stress tensor components*)

**stress intensity factor:**

measure for the intensity of the stress state in the vicinity of the crack tip

**stress concentration:**

local stress area of the structure where the stresses are significantly higher than the general stress level.

(*Note: A fine mesh of elements is required in such regions if accurate estimates of the stress concentration values are required*)

**stress corrosion cracking SCC:**

type of corrosion that leads under static tensile stress and a harmful medium to fracture.

(*Note: May lead under tensile stress below  $R_{p0.2}$  incl. residual stresses and an corrosive environment (sulphide, chloride) to unexpected sudden failure of usually ductile behaving materials due to microscopic cracking, transcrystalline and intercrystalline*)

**stress state, bi-axial ( $\sigma_x, \sigma_y$ ):** effect on strength capacity

stress state where different stresses act together and where the signs determine the effect.

(*Notes: (1)  $\sigma_x^c$  with  $\sigma_y^t$  leads to a load-carrying reduction in the compressive x-direction due to the fact that two failure effects occur: shear damaging under compression  $\sigma_x^c$  and tensile damaging under  $\sigma_y^t$ . For concrete, the reduction effect increases with increasing concrete quality. However, it might be not harmful (mind GZG) if a minimum reinforcement is provided. It is valid for plain and for short fiber reinforced concrete, too. (2) In contrast ( $\sigma_x^c, \sigma_y^c$ ) leads to a load-carrying increase due to internal stabilisation [Cun17]*)

**stresses, general fabric 3D:**

$$\{\sigma\}_{fabric} = (\sigma_W, \sigma_F, \sigma_3, \tau_{3F}, \tau_{3W}, \tau_{FW})^T$$

**stresses, isotropic 3D:**

$$\{\sigma\} = (\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{yz}, \tau_{zx}, \tau_{xy})^T = (\sigma_I, \sigma_{II}, \sigma_{III})^T$$

**stresses, transversely-isotropic 3D UD-material:**

$$\{\sigma\}_{UD} = (\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \tau_{23}, \tau_{31}, \tau_{21})^T$$

**stress-free temperature:**

temperature at which a material is free of residual stresses

**stress ratio R:**

ratio of minimum stress (mathematically, less positive) to maximum stress,  $R(\sigma) = \min\sigma / \max$ , under cyclic (dynamic) fatigue loading

**stress rupture (static fatigue):**

time-dependent behavior of a material, here w.r.t. strength)

**stress vector:**

vector which incorporates mechanical stresses from external and internal loads + hygro-thermal stresses due to environment + residual stresses from manufacture

**structural analysis:**

procedure to find and measure the effect of external forces on physical objects like built structure.

*(Note: Used to predict the behavior of structures upon loads acting on them. On the basis of structural analysis the material choice is performed and structural elements are designed)*

**structural integrity:**

characteristic of a structural part enabling it to withstand the loadings within the environment and the imposed service conditions

**strip:** for rehabilitation

usually a narrow UD laminate tape (Fig.36)

**structural element:**

generic element such as a stringer, a sandwich panel, or a girder of a structure

**structural integrity:**

characteristic of a structure that enables it to withstand the load environment and the usage imposed during service

**structural reliability:**

ability of a structure to fulfill the functional requirements during a distinct lifetime with a distinct reliability.

*(Notes: (1) Considers the probability of combinations of the significant scattering (stochastic, random) design parameters (better: design variables). (2) Currently, in aerospace the two essential design variables load and strength are separately treated, but not really stochastically combined as in real structural reliability applications using a probabilistic concept  $\mathcal{R} = 1 - p_f$  with  $p_f$  as failure probability)*

**structural optimisation (FEA):**

structural analysis tool consisting of the objective function and constraints.

*(Note: Tool to approach the design objective 'Right first time' including all functional requirements such as mass, life time, operating costs, maintenance costs, manufacturing constraints, stiffness performance, thermal deformation, electrical and thermal conductivity, end-of-life requirements (recycling, sustainability CO<sup>2</sup>-reduction) and consideration of the scattering parameters in order to be robust. Manufacturing effort most often sets the limit for design freedom)*

**superplasticizer:**

chemical admixtures to reduce water amount and the ratio of water/cement

**superposition principle:**

principle how stress states may be combined.

*(Note: For a linear system the response is the same by adding together two or more separate forcing functions and then solving the equations or by solving for the separate forcing functions and then adding the responses together. The method of solving for each forcing function and adding the response is superposition)*

**(rigid) support:**

fixed point of the structural model.

*(Note: Degree of freedom where the variable is known before the solution is found. Typically, the zero displacements at fixed points in a structural analysis or the points of known temperature in a heat conduction analysis. Generally there must be some points of known value, i.e the structure must be supported before the equations can be solved)*

**sustainability:** sustinere, to hold up

aim of a development that meets the needs of the present without compromising the ability of the future [UN March 1987]

**symmetric lay-up (stack):**

stack in order to reduce unfavorable distortions.

*(Note: Can practically not be realized when winding)*

**tack:**

stickiness of the prepreg

**tailored blanks:** maßgeschneiderte Blech-Halbzeuge

designed and then tailored semi-finished sheet to reduce waste and costs

**Tailored Fiber Placement TFP:**

textile manufacturing technique based on the principle of sewing for a continuous placement of fibrous material for composite components.

*(Note: The fibrous material is fixed with an upper and lower stitching thread on a base material. Compared to other textile manufacturing processes fiber material can be placed near net-shape in curvilinear patterns upon a base material in order to create stress adapted composite parts)*

**tailored NCF:**

NCF with locally adapted properties due to the local design requirements

**tangent stiffness:**

slope of the load/deflection curve for the current solution position

**tape:** see UD fabric

usually narrow UD-prepreg strip (lamellas), however further, NCF tapes (to increase beside the axial strength capacity also the shear strength capacity of for instance girders by NCF lamellas).

*(Note: fabricated in widths up to 1200 mm wide for carbon (UD tapes, NCF tapes, CF/PA6 tapes etc.)*

**textiles (technical, structural):**

‘terminus technicus’ for textiles utilized in structural engineering for high performance applications involving 2D planar pre-forms such as woven, knitted, non-woven, 3D one-step processed pre-forms or reinforcing structural elements

**tendon:**

pre-stressing element, comprising tensioned elements like bars, strands that apply compression to the surrounding concrete without bond.

*(Note: For pre-stressed concrete usually applied to limit deformation and improve the concrete’s fatigue strength)*

**test:**

experiment, performed physically or also virtually by realistic digital simulations

**test specimen:** Prüfling, Probekörper

here, structural item to obtain structural properties, material properties.

*(Notes: (1) Concrete test specimens that must be dimensioned due to a thickness  $> 3 \cdot \varnothing$  maximum grain). (2) single layer test specimens, such as the brittle behaving UD material coupons, are so-called isolated test specimens ( $\equiv$  lamella strips) which experience a so called Sudden Death failure. (3) Embedded layers, however, experience a deformation-controlled benign failure behavior, which should be considered as it delivers the usually desired post-failure deformation capacity. (4) ‘Embedded’ test specimen = sub-laminate test specimen can be tested deformation-controlled in a very stiff testing machine. This delivers an output for the laminate, however can be evaluated by a non-linear lamina-composed laminate model working as inverse parameter identification*

**tex:**

fineness of a roving measured in g/1000 m

**textile concrete TRC:**

see textile reinforced concrete

**textile failure:**

complex failure of a textile structure.

*(Note: Unfortunately for most of the structural textiles, fractography will not exhibit clear strength failure modes. In these materials, always multiple cracking is caused under tension, compression, bending, or shear.*

No clear mode-related strengths are observed. Therefore, homogenizing to a material is permitted, strengths can be defined according to the number orthotropic material symmetry requires)

**textile-reinforced concrete TRC:**

textile reinforced fine grained high strength mortar, usually reinforced by high-performance fibers composed in a fiber grid.

*(Notes: (1) The obtained 'fine grain concrete' such as with Pagel TF 10 involves: grains  $\varnothing$  1-7  $\mu\text{m}$ ,  $f_c > 65$  MPa,  $E_0 \approx 25$  GPa. CF filament  $\varnothing$  7  $\mu\text{m}$ , cured roving  $f_{jt} \approx 3000$  MPa. (2) The generated filigree reinforcement with relatively small grid sizes compared to a steel 'mat' is causing more but smaller cracks, which is advantageous for crack width limitation. (3) Similar to StB, the TRC is a composite of materials, that practically cannot be homogenized)*

**thermal capacity:**

material property, defining the thermal inertia of a material.

*(Note: Relates the rate of change of temperature with time to the heat flux)*

**thermal conductivity:**

material property, relating temperature gradient to heat flux

**thermoplastic, TP:**

plastic, polymer, that repeatedly can be softened by heating and hardened by cooling.

*(Notes: (1) TP is partly crystalline in contrast to the strongly linked thermosets and thereby residual stresses may be reduced by a thermal treatment. (2) Characteristic of the plastic in the softened stage, it can be shaped by flow into parts by molding or extrusion.)*

**thermoset:**

polymer, that is substantially infusible and insoluble after having been cured by heat or other means

**thread count:** carpet characterization

number of warp threads per length plus number of weft (fill) threads per length

**time domain:**

physical data sets, such as a structural forcing function and its response, are usually is given or defined in terms of time histories.

*(Note: The Fourier transform of the time domain gives the corresponding quantity in the frequency domain)*

**toughness:**

measure of a material's ability to absorb work, or the actual work per unit volume or unit mass of a material that is required to rupture it.

*(Note: Toughness is proportional to the area under the load-elongation curve from the origin to the breaking point).*

**tow:** tow rope = Abschleppseil

in the composite industry an untwisted bundle of continuous filaments.

*(Notes: (1) When filaments are grouped together in a loose, continuous rope without twist, man-made filaments are called tow. In composites industry commonly used for carbon and graphite fibers but also glass and aramid. Heavy tow such as 48k, 96k (= thousand) filaments, with a 96k-CF-roving = 6400 tex  $\approx$  6.4 kg/km. Commonly used in referring to man-made fibers, particularly carbon. (3) Equivalent meaning to "roving" in glass[SAE])*

**transient analysis:**

analysis performed when at least one of the parameters involved in the boundary conditions, material properties or loading conditions is time dependent

**transition zone (modes):**

zone between mode domains in static and cyclic (Haigh diagram) cases linking compression and tension

**transversely-isotropic:**

descriptive term for a material exhibiting a special case of orthotropy in which properties are identical in two orthotropic dimensions, but not in the third and having identical properties in both transverse directions but not



the longitudinal direction

**transverse (lateral) tensile strength:**

- (1) strength of a textile reinforced concrete transversal to its 'plane' (inter-laminar)  $R_{3t}$ .
- (2) Lateral in-plane strength of the transversely-isotropic UD –lamina  $R_{\perp t}$  (intra-laminar) or lamella  $f_{\perp t}$

**tri-axial stress state 3D:**

most general stress state

**tri-axial textiles 2D:**

textile, marked by the 3 in-plane directions of the fibers (is not a 3D textile material)

**tri-axiality factor:**

assessment number of tri-axial stress states of isotropic materials: (uni-axial:  $Tr = 1/3$ )

$$Tr = (I_1 / 3) / \sqrt{3J_2} = \sigma_m / \sigma_{eq}^{Mises}, \quad \sigma_{eq}^{Mises} = \sqrt{3J_2}$$

**true strain:**

particular strain measure, used in large strain elasto-plasticity being the log of 1 plus Engineering Strain  $\epsilon$ , or the integral of the incremental change of length over the current length

**true stress:**

force divided by the current (instantaneous) area. See also Cauchy stress

**twill weave:**

fabric woven with a pattern of diagonal parallel ribs, made by passing the weft threads over one warp thread and then under two or more warp threads

**UD-fabric:**

fabric (such as a woven or a NCF) with a high amount of parallel tows, hold together by a small amount of weft respectively stitching fibers.

*(Note: This textile can be used for the manufacturing of composites dry or as a prepreg)*

**UD-lamina: lamella**

lamina (ply) with a unidirectional reinforcement, being the building block of a laminate.

*(Note: In Fig.61, beside 2D and 3D visualisation, the definition of the positive fiber orientation angle ( $x \Rightarrow x_1$ , clockwise) of the embedded lamina and of a reference plane is depicted. Here mid-plane is used as reference plane, s.a. Fig.62, [CLT]).*

**ultimate strength:**

maximum stress (tensile, compressive or shear) a material experiences at fracture.

*(Note: Maximum load the material test specimen can withstand without incurring fracture divided by the associated original cross section area (rupture or collapse are differently used limits!). The stress represents uniaxial tension, uniaxial compression (essential, just in case of brittle behavior, as given with concrete) or pure shear)*

**uncertainty (fuzzy): Ungewißheit, Unsicherheit**

unclearness in loadings, strengths, and other design parameters such as geometrical parameters, applied engineering models etc.

*(Notes: It must be discriminated (1) Epistemic uncertainty within technical measurements of geometry, material properties etc., which is improvable by better and more measurements, test data evaluation and additional information. (2) Aleatoric uncertainty due to usual measurement tolerances where 'nothing' can be improved concerning the given test situation)*

**uncertainty quantification:**

formulation of a statistical model to characterise imperfect and/or unknown information in engineering simulation and physical testing for predictions and for decision making

**undulation:**

waviness of yarns, tows

**validation:** validus = kräftig oder wirksam

control whether the design requirements in the performance specification are met

**validation of a model:**

modeller's objective to 'qualify' a created model by well mapping physical test results with the model

**variance:**

measure of the average distance between each of a set of data points and their mean value.

(*Note: equal to the sum of the squares of the deviation from the mean value*)

**verification:** from Latin, veritas facere

proof, that the product fulfils the product requirements data, defined in the performance requirements specification (= Pflichtenheft).

(*Note: Performed by a computation and/or a physical experiment such as the following structural test example Girder, below*)

**verification versus validation:** When is what fulfilled?

Example 'maximal girder deformation':

(*Note: Customer's validation objective was "to maximally obtain a bending deformation  $\delta$  of the Girder". Material tests validated the material model, the structural model was proven by a pre-test. Then, 3 structural loading tests are performed according to a specified test plan with a product verification load  $P$  and measurement of the deformation  $\delta_i$ . This means for the official achievement of verification and validation that:*

$P_1 = P, \delta_1 < \delta$ : verification (+), validation (+), structure is stiffer than assumed, usability not restricted

$P_2 = P, \delta_2 = \delta$ : verification (+), validation (+),

$P_3 = P, \delta_3 > \delta$ : verification (+), validation (-), structure is less stiff than assumed

$P_4 < P, \delta_3 > \delta$ : verification (-), validation (-), structure exceeds  $\delta$  still under a not achieved  $P$

(design) **verification procedure: Nachweisverfahren**

provision of required evidence = verification

**vibration corrosion cracking:** high strength steels

cracking caused by vibration fatigue.

(*Note: Vibration corrosion cracking or corrosion fatigue may lead under all stress ratios and a corrosive medium finally to sudden failure*)

**virtual prototype:**

a tool to validate a preliminary design before producing a physical prototype by testing different functions

**virtual testing:**

novel approach to accelerate designing from screening of materials via material characterization to design verification.

(*Note: Approach from test specimen level to structural component level by reducing the physical testing effort and by for instance estimating B-values from standard coupon tests*)

**virtual reality:**

replacement of the real world environment by a simulated one

**viscosity:**

resistance to flow of a material

**void:**

here pocket of entrapped gas or fluid that has been cured into a laminate.

(*Notes: (1) A physical and mechanical discontinuity occurring within a material or a part which may be 2D such as thin flat disbonds, delaminations or 3D-pockets such as vacuum-, air-, or gas-filled pockets. (2) Voids are essentially incapable of transmitting structural stresses or non-radiative energy fields. (3) Porosity is an aggregation of micro-voids and may decrease stiffness and strength*)

**Von Mises stress:**

stress determined by the second invariant of the deviatoric stress tensor  $\sigma_{\text{eq,Mises}} = \sqrt{2 \cdot J_2}$ .

(*Note: Scalar value, used to relate a multiaxial stress state to a 1D tensile test strength value. It is classically*

called equivalent stress)

**Von Mises yield criterion:**

criterion, used to describe the yield of ductile materials.

(*Note: Assumes that yielding commences when the Von Mises equivalent stress reaches a critical value*)

**warp:**

longitudinally oriented yarn in a woven fabric

**warpage:**

out-of-plane deformation of a cross section

**warp knitted fabrics:**

fabric types with more or less straight reinforcing fibres

**water-cement ratio:**

water-cement w/c-ratio or water-binder w/b ratio

**weaves or woven fabrics:** types

plain (Leinwandgewebe), twill (Köpergewebe), harness satin (Atlasgewebe).

(*Notes: (1) The weave may be UD, tri-axial plain, near-net shape, polar, a spacer weave (Abstandsgewebe) or also 3D. (2) Usually semi-finished 2D structure products, constructed by interlacing yarns, fibers, to form above fabric patterns. (3) Warp and weft tracer fibers of another material may be incorporated into the fabric*)

**weft or fill:** in German Schuss

‘filling’ material of the fabric or the transversely oriented yarn, respectively.

(*Note: For a weft property the index  $F$  is used to separate weft from warp*)

**winding pattern:**

regularly recurring pattern of the filament path in a filament winding after a certain number of mandrel revolutions

**woven fabric:**

fabric formed by weaving.

(*Note: Stretches bias, between the warp and weft directions*)

**yarn:** Garn

group, bundle or assembly of twisted or practically un-twisted filaments suitable in textile fabrication.

(*Note: Assembly from either natural or manufactured fibers to form a continuous length that is suitable for use in weaving or interweaving into textile materials. Staple fibre yarns, such as cotton, only a few inches long, must be tightly twisted together to produce a satisfactory yarn length. Filament yarns are usually thinner and smoother than staple yarns*)

**yarn count:**

fineness, measured in tex = g / m

**yield stress:**

stress in a uni-axial or multi-axial stress-strain state of a yielding material,  $\sigma_{\text{yield}} \geq R_{p0.2}$

**yield strength (technical):**

$R_{p0.2} \equiv f_y$ , corresponds to stress  $\sigma_{p0.2}$  at 0.2% remaining strain in a uni-axial stress state.

(*Note: Stress level at onset of yielding, proportionality then practically away*)

**Young’s modulus:**

material property, defined by the ratio ‘uniaxial stress’ / ‘corresponding strain’

**Z-reinforcement:**

reinforcement in third direction by so-called Z-pinning, necessary to introduce a mechanical link by e.g. a stiff carbon fiber between the different plies of the composite

**x-y-plane:**

in composite laminates, the reference plane coinciding often with the mid-plane of the laminate

**z-axis:**

in composite laminates, the reference axis normal to the plane of the laminate

**3D composite structures:**

three-dimensional fiber preforms arranged into complex three-dimensional reinforcement structures.

**3D composite material:**

three-dimensional composite materials created from a 3D-weaving process, a 3D-braiding process, or a 3D-lay-up or of distributed short fibers

**3D printing:**

additive manufacturing of pretty thin cross section wide layers.

*(Note: Subset of additive manufacturing. In civil engineering practically not applied, but could be used to manufacture free-shape formwork)*

## 4. Abkürzungen and Abbreviations

A	AR-Glas mit Vinylester ( <b>Solidian</b> , Stabbewehrung)
AAB	alkalisch aktivierte Bindemittel (bei Säureangriff, Industriefußböden)
AAE	AR-Glas mit EP-Tränkung (Solidianproduktabkürzung, AA:= in beiden Richtungen AR-Glas-Bewehrung)
AAS	AR-Glas mit Styrol-Butadien-Tränkung (Solidian)
aaRdB	allgemein anerkannte Regeln der Baukunst (bewährte technische Regeln für den Entwurf und die Ausführung baulicher Anlagen)
abZ	allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung des DIBt. Beispiel: Z-31.10-182, Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit TUDALIT (textilbewehrter Beton)
AF	Aramid Faser, aramid fiber
AFK	Aramid Faserverstärkter Kunststoff
AFP	Automated Fiber Placement (for complex structure manufacture). Verfahren zur Verarbeitung von Halbzeugen mit thermoplastischer Matrix im AFP-Prozess
AFRP	Aramid-Fiber-Reinforced Polymer (or Plastic)
AI	Artificial Intelligence (machine ‘learning‘)
ALM	<ul style="list-style-type: none"><li>• Advanced Laser Materials such as ALM HP 11-30, short CF 3D-reinforced PA 11 material</li><li>• Application Lifecycle Management (Entwicklung und Betreuung von Applikationen über Lebenszyklus)</li><li>• Additive Layer Manufacturing</li></ul>
AM	Additive Manufacturing
AR	<ul style="list-style-type: none"><li>• Alkali-Resistant</li><li>• Augmented Reality</li></ul>
ASR	Alkali-Silica-Reaction
ASTM	American Society for Testing and Materials (test standards)
ATL	Automated Tape Laying
ATP	Automated Tape Placing
AWV	Ausgeglichener WinkelVerbund (balanced angle-ply laminate)
B	Basaltfaser mit Vinylester ( <i>Solidian</i> , Stabbewehrung. <i>Mit B wird die Borfaser abgekürzt, daher wäre besser Bs</i> )
BAP	Balanced Angle-Ply laminate
BAuA	Bundesamt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BauPG	Bauproduktengesetz
BBQ	BetonBauQualität (DAfStb: zukünftige Einführung von Klassen, um unterschiedliche Bau-Randbedingungen betreffend Bauwerk/Bauteil, Beton, Bauausführung besser abbilden zu können)
BBS	Basalt mit SBR (in beiden Richtungen eine Basaltfaser-Bewehrung, Solidian)
BC	Boundary Condition
BD	Bi-Direktional, bi-directional
BDCB	Bi-Direktional verstärkter CarbonBeton
BIM	Building Information Modeling (besser wäre Management)
BMC	Bulk Molding Compound (containing short fibers = 3D-SMC Pressmasse, Spritzguss)
BÜV	Bauüberwachungsverein
BVID	Barely Visible Impact Damage (observation limit at inspection, < 0.3 mm)
bvse	Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung
C	Composite, Carbon, Concrete, Ceramics, Cube, Compression
C/C	Carbon/Carbon (ceramics)
C/SiC	Carbon/Silicium Carbide (ceramics)
C <sup>3</sup>	Carbon Concrete Composite (cluster research project at Dresden University)
CAD	Computer-Aided Design
CAE	Computer-Aided Engineering
CAI	Compression-After-Impact
CAM	Computer-Aided Manufacturing

CB	CarbonBeton
CC	Carbon Concrete
CCC	Carbon Concrete Composite
CCE	Carbon Concrete mit EP (Solidian)
CCS	Carbon mit SBR (Solidian)
CDM	Continuum Damage Mechanics
CDS	Characteristic Damage (better damaging) State
CE	Cyanate-Esther
CE-Zeich.	Conformite Europeenne (erfüllen BauPR, Produkte dürfen innerhalb EU frei gehandelt werden)
CEB	Comite Europeen du Beton
CEM	CEMent types classified by DIN EN 197 (examples: CEM I Portland cement, CEM II Portland composite cement)
CEN	Comité Européen de Normalisation (Europäisches Komitee für Normung)
CF	Carbon Fiber
CFD	Computational Fluid Dynamics
CF-EP	Carbon Fiber-EPOxy
CFHT	CF Heavy Tows
CF-HT	CF-HighTensile
CF-HT/EP	CF-High Tensile with EP matrix
CFK	Carbon-Faser-Kunststoff (carbonfaserverstärkter Kunststoff ist zu einschränkend, s.a. [Sch06])
CFM	Continuous Filament Mat
CF-PP	(Kurz)CF verstärktes PP (ist nicht hygroskopisch)
CFRC	Carbon (short)Fiber-Reinforced Concrete to improve matrix properties ((Kurz)faserbeton als Matrix-verstärkung analog zur Polymermatrix beim SMC!)
CFRP	Carbon Fiber-Reinforced Polymer (different CF materials available, usually endless fibers!)
CFRP-TP	Carbon Fiber-Reinforced Polymer-ThermoPlastic
CFRTP	Carbon(long)Fiber-Reinforced ThermoPlastic (Covestro)
CFS	Carbon Fiber-based Sensor
CGS	Centimeter Gram Second unit system
CL	Component Level
CLT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Classical Laminat Theory (klassische Laminattheorie)</li> <li>• Cross-Laminated Timber (Brettschichtholz)</li> </ul>
CMC	Ceramic Matrix Composite
CME	Coefficient of Moisture Expansion (Feuchteausdehnungskoeffizient)
CNF	Cellulose NanoFiber ( $R_{  }^t \approx 1500$ MPa; durch spezielles Verfahren am DESY erzeugte orientierte und enggepackte Nanofasern-Rovings)
COD	Crack-Opening Displacement (applied in fracture mechanics verification, for polymer and concrete parts)
COS	Coordinate System
CoV	Coefficient of Variation
CPC	Carbon-Prestressed Composite
CPPS	Continuous Profile Preforming System
CPT	Cured Ply Thickness (ausgehärtete Lagendicke)
CPU	Core Processing Unit
CpU	Cost per Unit
C-RTM	Compression-Resin Transfer Molding
CSH	Calcium Silicate Hydrate
CSM	Chopped Strand Mat
CT	Compact Tension (fracture mechanics test specimen in)
CTE	Coefficient of Thermal Expansion
CVD	Chemical Vapor Deposition
CVI	Chemical Vapor Infiltration

D	accumulated damaging sum (Palmgren-Miner $D = \sum \frac{ni}{Ni} < 1 \geq D_{admissible}$ )
DAfStb	Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Richtlinie für Schutz- und Instandsetzung von Betonbauteilen)
DBV	Deutscher Beton- und BautechnikVerein e.V.
DCB	Double Cantilever Beam (fracture mechanics test specimen)
DEM	Discrete Element Method
DFP	Dry Fiber Placement (preforming procedure)
DfSS	Design for $6\sigma$ (stochastic design optimization concept using the standard deviation $\sigma$ of an assumed Normal Distribution for the envisaged uncertain scattering design parameter)
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DIC	Digital Image Correlation
DIN EN	Deutsches Institut für Normung
DLL	Design Limit Load
DoE	Design of Experiments
DoF	Degree of Freedom
DP	DuroPlast
DSC	Differential Scanning Calorimetry
DTA	Damage Tolerance Assessment
DUL	Design Ultimate Load
EAD	European Assessment Documents (Europäische Bewertungs-Dokumente)
EC	EuroCode
Eff	material stressing EFFort (Werkstoffanstrengung)
ELM	ErmüdungsLastModelle (Schwervekehrseinwirkungen, Einwirkungskombinationen, Festlegung von Grenschwingbreiten $\Delta\sigma$ )
ENF	End Notched Flexure (fracture mechanics test specimen)
EoL	End-of-Life
EP	EPOxy (thermoset)
EPS	Expanded PolyStyrene
ERB	External Reinforced Bonding
ERC	Exposure Resistance Class
ES	Einzelschicht (Parallelfaser, P-ES; Gewebe, G-ES; Wirrfaser, W-ES)
ETA	European Technical Approval (Zulassung ohne Bemessung)
EU-BauPVO	Europäische BauProduktenVerOrdnung (Bauwerke müssen Grundanforderungen bei normaler Instandhaltung über einen wirtschaftlich angemessenen Zeitraum erfüllen)
F	failure function ( $F = 1$ is failure condition. $F > = < 1$ is failure criterion)
FAW	Fiber Aerial Weight (Faserflächengewicht)
FB	FaserBruch
FCC	Fleece Concrete Composite
FCM	Fiber Composite Materials
FDM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fatigue Damage Model</li> <li>• Fused Deposition Modeling</li> </ul>
FEA	Finite Element Analysis
FEM	Finite Element Method
FF	Fiber Failure
FFF	Fused-Filament-Fabrication ( $\equiv$ FDM)
FGM	Functionally Graded Material
FI	Failure Index (deterministic measure for failure criticality)
FIB	Fédération Internationale du Béton (internationales Pendant für DIBt)
FKV	Faser-Kunststoff-Verbund (zu bevorzugen, da allgemeiner als FVK)
FLM	Fused Layer Modeling FLM

FM	Facility Management
FMC	Failure Mode Concept
FMEA	Failure Mode Effect Analysis
FMECA	Failure Mode Effect Critical Analysis
FML	Fiber Metal Laminate
FoS	(design) Factor of Safety (prescribed values $j$ or $\gamma$ )
FPF	First-Ply-Failure (generally, not dedicated to a FF or an IFF)
FPP	Fiber-Patch Placement
FPUR	Flat Pre-stressed Un-bonded Retrofit system
FRC	Fiber-Reinforced Composite
FRC	(Short)Fiber-Reinforced Concrete (matrix improvement)
FRCM	(short) Fiber-Reinforced-Cementitious Matrix (composites) $\equiv$ FRC $\equiv$ smart concrete
FRP	Fibre-Reinforced Polymer (plastic)
FSDT	First-order Shear Deformation Theory
FVC	Fiber Volume Content (= fiber volume fraction $V_f$ in %)
FVG	Faser-Volumen-Gehalt
FVK	FaserVerstärkter Kunststoff
FVW	Faser-Verbund-Werkstoff (Oberbegriff) = fiber composite material
GB	Glasbeton
G-ES	Gewebeverstärkte ES
GF	Glasfaser, glass fiber
GFK	Glas-Faser-Kunststoff (Begriff Glasfaserverstärkter Kunststoff ist einschränkend)
GFRP	Glass-Fiber-Reinforced Plastic
GF-TP	Glas-Faser-ThermoPlast-Verbund
GLARE	Glass Laminate Aluminum Reinforced Epoxy (= FML, glasfaser-verstärktes Aluminium)
GMT	GlasMattenverstärkter Thermoplast
GRP	Glass(fiber)-Reinforced Polymer
GTRC	GlassTextile-reinforced Concrete
GZG	Grenzzustand der Gebrauchsfähigkeit
GZT	Grenzzustand der Tragfähigkeit
hEN	harmonisierte Europäische ProduktNormen
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (edition 2013)
HM	High Modulus
HMH	Hencky-Mises-Huber ('Von Mises') strength condition for initiation of yielding and further yielding
HP	High Performance
HM	High Pressure (i.e. RTM process)
HPAC	Hochleistungs-aerogelbeton
HPC	High-Performance Concrete
HSB	(luftfahrttechnisches) Handbuch für Strukturberechnung
HST	High Strength
HT	High Tensile
HTA	High Tenacy carbon fiber (< 6k, HTS > 6k)
IFF	Inter-Fiber Failure (cohesive matrix failure and hesive interface failure)
ILC	Infra-Light Concrete
ILEK	Institut für Leichtbau, Entwerfen und Konstruieren
ILS	Inter Laminar Stresses ( $\tau_{31}$ , $\tau_{32}$ , $\sigma_3$ )
ILSS	Inter Laminar Shear Strength $\tau_{ILSS}$
IoT	Internet of Things
ISO	International Organisation for Standardisation (for test standards)



IT	Information Technology, Informationstechnik
ITKE	Institut für Tragkonstruktionen und konstruktives Entwerfen
KI	Künstliche Intelligenz
KKS	Kathodischer Korrosions-Schutz (von chloridkontaminiertem/karbonatisiertem Beton)
KOS	Koordinatensystem
LBO	LandesBauOrdnung
LCA	Life Cycle Assessment (Treiber für CB)
LCM	Liquid Composite Molding
LEFM	Linear Elastic Fracture Mechanics
LFT	Langfaser-verstärkter Thermoplast (example: LFT GF50/PA6)
LNV	Logarithmische Normal-Verteilung
LOM	Laminated Object Modeling (for bondable materials)
MAG	Multiaxial-Gelege $\equiv$ NCF
LSS	Laminate Stacking Sequence
MAK	Maximal zulässige Arbeitsplatz-Konzentration für Styrolverdunstung
MBE	Model-Based Engineering
MBSE	Model-Based System Engineering
MD	Molecular Dynamics (novel multiscale simulation tool in design to enhance the performance of composites and parts thereof)
MDAO	Multi-Disciplinary-Design-Analysis & Optimisation
MDO	Multi-Disciplinary Optimisation
MDOF	Multi Degree of Freedom (vibrating systems)
MfFD	Multifold (strength) Failure Domain
MiFD	Mixed (strength modes) Failure Domain
MKF	Multi-axially reinforced weft Knitted Fabrics
MKS	m, kg, s - system of units (succeeded the cm, g, s = CGS system)
MLG	Mehrlagengestrick
MM	Mixed Mode (more than one fracture mechanics mode I, II, III is acting)
MMB	Mixed-Mode Bending (fracture mechanics test)
MMC	Metal Matrix Composites
MN	MegaNewton
MoR	Management of Risk
MoU	Minutes of Understanding
MoS	Margin of Safety (= RF-1)
MRO	Maintenance, Repair, Overhaul
MS	Margin of Safety (= RF-1)
MTTF	Mean Time To Failure (mittlere Zeit bis zum gefahrbringenden Ausfall)
MVF	Metal Volume Fraction
NABau	NormenAusschuss Bauwesen
NAFEMS	National Agency for Finite Element Methods and Standards (independent, not-for-profit, International Association for the Engineering Modelling, Analysis and Simulation Community)
NCF	Non-Crimped Fabric ( $\equiv$ MAG)
NDI	Non-Destructive Inspection
NDT	Non-Destructive Testing
NF	Normal Fracture (failure mode with normal stress $\sigma$ -activated damaging)
NFK	NaturFaser-Komposite
NH	Normal stress-based 'principal stresses Hypothesis'
NOL	Naval Ordnance Laboratory
NRC	Non-Recurring Costs
NSM	Near Surface Mounted (lamella in slits)

NV	Normal-Verteilung von Gauss
NVH	Noise Vibration Harshness (unerwünschte Geräusche)
OEM	Original Equipment Manufacturer
PA6	Polyamid 6 (resin)
PAN	Polyacrylnitril (precursor)
PAW	Prepreg Areal Weight (Prepreg-Flächengewicht)
PC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PolyCarbonat</li> <li>• Prestressed Concrete</li> </ul>
PCC	PolyCarbonatCement (kunststoffmodifizierter zementgebundener Instandsetzungsmörtel (Feinbetonmatrix) mit Haftbrücke und Korrosionsschutz)
PCE	PerChlorEthen (plasticizer)
PCT	Premier Composites Technology (on FRP)
PDF	Power Density Function
PDM	Product (process) Data Management
PEEK	PolyEtherEtherKetone (resin)
PEKK	PolyEtherKetoneKetone (resin)
PEI	PolyEtherImide (resin)
P-ES	Parallelfaser-verstärkte ES
PET	Polyethylenterephthalat (Polyester resin)
PFHC	Pneumatic Forming of Hardened Concrete (process to obtain free-form surfaces, is natural load path-oriented)
PI	PolyImide (resin)
PiD	Process-induced Distortion
PLM	Product-Lifecycle-Management
PM	Project Management
PMC	Polymer Matrix Composites
PP	Poly-Propylen (resin)
Prepreg	Pre-impregnated endless fiber system (UD-Band, Multiaxialgelege, Gewebe)
PSD	Power Spectral Density
PSE	Professional Simulation Engineer (NAFEMS certification)
PT	PostTensioning
PTFE	PolyTetraFluoroEthylene
PU (PUR)	PolyURethan
PUR	Pre-stressed Un-bonded Retrofit
PÜZ	Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungssystem
PVA	PolyVinylAlcohol
PVC	PolyVinylChloride (polymer)
R, f	Resistance, festigkeit, (strength)
RAMS	Reliability Availability Maintainability Safety
RC	Reinforced Concrete; Recurring Costs; Resistance Class (concrete); Resin Content
RCC	Reinforced Concrete Column
rCF	recycled Carbon Fiber
rConcrete	Reccycled concrete
RDO	Robust Design Optimisation
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals
REM	RasterElektronenMikroskop
RF	ReserveFaktor
RFEM	3D-FEM for general static dimensioning
RFID	Radio-Frequency Identification (Identifizierung mit Hilfe elektromagnetischer Wellen)
RILEM	Reunion Internationale des Laboratoires et Experts des Materiaux, Systemes de Construction et Ouvrages

(International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems, and Structures)

RT	Room Temperature (ambient temperature)
RTA	Room Temperature Ambient
RTM	Resin-Transfer-Molding
RVE	Representative Volume Element (concrete $> (4 \cdot \varnothing \text{ max grain})^3$ , [Newman])
SAE	Society of Automotive Engineers (prepares Standards in Mechanical Engineering)
SB	(Styrol) Styrene Butadien co-polymer
SBR	(Styrol) Styrene Butadien Rubber (flexibles Tränkungsmittel, aber nicht so temperaturstabil)
SCC	<ul style="list-style-type: none"><li>• Self Compressing Concrete</li></ul>
SCC	<ul style="list-style-type: none"><li>• Stress Corrosion Cracking</li></ul>
SCF	Stress Concentration Factor
SDM	Simulation Data Management
SE	Simultaneous Engineering
SEA	Schall-Emissions-Analyse
SEAM	Screw-Extrusion-Additiv-Manufacturing
SERR	Strain Energy Release Rate
SF	Shear Fracture ( $\tau$ -activated damaging under compressive stress)
SFC	Strength Failure Condition (Festigkeitsbedingung)
SFC	Strength Failure Condition (means here interaction of stresses within one mode)
SFP	Robust Design Optimisation (tool to evaluate the combined action of the scattering design variables such as fiber waviness, layer orientation and undulation as manufacturing significances, material properties)
SFP	Semi-Finished Product (Halbzeug)
SGF	Short Glass Fiber
SHM	Structural Health Monitoring
SI	Système International (international system of units)
SiC	Silicium Carbide
SiC/SiC	Silicium Carbide (fiber)/Silicium Carbide (matrix)
SIMP	Solid Isotropic Material (Microstructure) with Penalization (Topologyansatz )
SIVV	(Beton) Schützen, Instandsetzen, Verbinden und Verstärken
SLA	StereoLithography (“3D-Print”) Apparatus
SLM	Selective Laser Melting (metal “3D-print)
SLS	Serviceability Limit State
SLS	Selective Laser Sintering (powder-based additive manufacturing, PA12)
SMA	Shape Memory Alloy (Formgedächtnislegierung)
SMC	Sheet Molding Compound containing short fibers = flächige Pressmasse (CF-SMC, GF-SMC), Spritzguss
SME	Small Medium Enterprise ( $\equiv$ KMU)
PCC	Portland Cement Concrete (Spritzbar, keine Haftbrücke aufzutragen)
SPDM	Simulation Process and Data Management
SPMC	Smart Polymer Matrix Composites
SPP	SchwerPunkt Programm
SpRK	SpannungsRissKorrosion
StB, Stb	StahlBeton, Stahlbeton (steel-reinforced concrete)
STL= SL	STereoLithography
SV	SchichtenVerbund
TC	Technical Committee
TF10	abZ (Z-31.10-182)-definierter Feinbeton von PAGEL/TUDALIT
TFP	Tailored Fiber Placement (Sticktechnik)
TNCF	Tailored Non-Crimp Fabrics
TP	Thermo-Plast
TPE	ThermoPlastische Elastomere

TR UHPC	Textile-Reinforced UHPC
TRC	Textile-Reinforced Concrete
TS	Thermo-Set
TUDALIT	Markenname für CF-Textilbeton der TU-Dresden AG
Ü	Bauprodukte 'Übereinstimmungszeichen'
UC	Unit Cell
UD	Uni-Directional
UHFB	Ultra-Hoch-Fester Beton
UDRC	Uni-Directionally Reinforced Concrete (by bars, lamellas)
UHP TRC	Ultra-High-Performance TRC
UHPC	Ultra-High-Performance Concrete ( $f_c > 150$ MPa)
UHPFRC	Ultra-High-Performance-(short)Fiber-Reinforced Concrete (UHPC-Faserbeton $\equiv$ UHPC-FB)
UL	Ultimate Load (fracture failure load in test)
ULS	Ultimate Limit State
UP	Ungesättigtes Polyesterharz (Duomer)
UTS	Ultimate Tensile Strength $R_t$ (general materials), $f_{ct}$ (concrete)
ÜZ	Produktkennzeichnung nach Übereinstimmungszertifikat durch eine anerkannte Zertifizierungsstelle
VARTM	Vacuum-Assisted Resin Transfer Molding
VAP	Vacuum-Assisted Process (as an infusion process)
VARI	Vacuum-Assisted Resin Infusion
VCCT	Virtual Crack Closure Technique
VDMA	Verband Deutscher Maschinen und Anlagenbau
VFIB	Verein zur Förderung der Ausbildung zur Brückenprüfung, Brückeninspektion und Bauwerksprüfung nach DIN 1076
VMAP	Vector Map (interface standard for integrated virtual material modelling in manufacturing industry)
VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
WEA	WindEnergieAnlage
W-ES	Wirrfaserverstärkte ES
WF-ply	Woven-Fabric- ply
WHO	World Health Organisation
WP	Wet Pressure
wPK	werkseigene Produktionskontrolle
WV	Weibullverteilung (mit mehreren Abbildungsfunktionen der Testdaten, geeignet für Festigkeits-Testdaten)
WWFE	World-Wide-Failure-Exercise (on UD strength criteria)
XFEM	Extended Finite Element Method (extends the classical FEM approach to model the propagation of discontinuities such as cracks and weak material interfaces)
Zfb,ZFB	Zwischenfaserbruch (inter fiber failure IFF)
ZfP	Zerstörungsfreie Prüfung
ZiE	Zustimmung im Einzelfall (single case approval)
ZIM	Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand
ZTV	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen
ZTV-W	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für Schutz und Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauwerken
2D	two-dimensional, bi-axial
2K	zwei Komponenten-Harzsystem, two component resin system (building the matrix)
2k	two-thousands of filaments
3D	Räumlicher Verstärkungs-Werkstoff (Material), see <i>Fig.22</i> , d.b. 3 Richtungen in der Ebene, verbunden mit sog. z-Fäden in der 3. Raumrichtung $\equiv$ z-Richtung (leider bei Komposithalbzeugen oft für eine Verstärkungs-Struktur verwendet, die räumlich ist)
3DP	3D-Printing

e.g. (exempli gratia) for example

i.e. (id es) that is

## 5. Denotations, Symbols *considering the guideline VDI 2014; DIN 1055-100*

### 6.1 Roman Symbols

A	Fläche, area, permanent strain at failure
$A_i$	influence factors or knock-down factors for composites in construction ( <i>Note: these reduction factors are similar to those used for FRP in VDI 2014, part 1</i> )
[A]	laminate in-plane (or stretching) stiffness, sub-matrix of [K]
[K]	laminate stiffness matrix
[B]	laminate bending-stretching coupling, sub-matrix of [K]
$E_{  }, E_{\perp}$	Young's moduli of UD-lamina material, parallel and transverse to fiber direction
$E_m, E_f$	Young's moduli of the matrix, fiber material
[C]	stiffness matrix of the lamina for 3D-stress state (referring to lamina-COS) (Werkstoff-Steifigkeitsmatrix)
[C']	stiffness matrix of the lamina for 3D-stress state (referred to laminate-COS)
D	accumulated value of damaging portions or accumulated damaging sum Palmgren-Miner $D = \sum \frac{n_i}{N_i} < 1 \geq D_{\text{admissible}}$
D	Coefficient of diffusion and non-circularity parameter in the strength condition F of the fracture failure body (failure surface).
[D]	laminate bending stiffness, sub-matrix of [K]
$d_s$	static height
E	elastic modulus, Young's modulus
e	Betondeckung ( <i>bei Stahlbewehrung in Betonstahl-<math>\emptyset</math>-Vielfachen wegen Korrosionsgefahr, bei Carbonbewehrung deswegen viel dünner ausführbar</i> )
$E_{cm}$	average E-modulus under compression ( <i>index <math>c</math> for concrete not for compression!</i> )
$E_{cm,7d,  }$	average E-modulus, after 7 days, in fiber direction measured
$f_c$	concrete compressive strength, measured by using rigid compression plates
$f_c'$	concrete compressive strength, measured by using load introduction brushes
$f_{c,cc}, f_{c,tt}$	concrete bi-axial compressive and tensile strength capacity (bi-axial 'strength') if $\sigma_I = \sigma_{II}$ ( <i>technical strength is 'uni-axial'-dedicated</i> )
$f_{c,ccc}, f_{c,ttt}$	concrete tri-axial compressive and tensile strength capacity (tri-axial 'strength') if $\sigma_I = \sigma_{II} = \sigma_{III}$
$f_{c,cube}$	Betondruckfestigkeit, geprüft am Würfel (100 mm) <sup>3</sup>
$f_{c,cyl}$	concrete compressive strength, from cylinder (test specimen) test, $\emptyset = 150$ mm or 200 mm. ( <i>slightly inclined textile reinforcement layers in concrete cube test specimens exhibit spalling analogous to kinking with compression-loaded UD-CFRP specimens</i> )
$f_{cd}$	Bemessungswert der Betondruckfestigkeit in N/mm <sup>2</sup> , design compressive concrete strength statistically reduced strength (index $d$ for design. $\equiv$ <i>ultimate compressive strength <math>R_{mc}</math> if compared to A- or B-value in mechanical engineering</i> )
$f_{ci}$	einzelnes Prüfergebnis für die Druckfestigkeit von Beton
$f_{c,mpr}$	concrete compressive strength from mortar prisma, 160/40/40 in mm
$f_{c,pr}$	concrete compressive strength, from prisma, 400/100/100 in mm
$f_{cm}$	concrete mean strength ( in mechanical engineering $m$ for 'maximale')
$f_{cm,j}$	concrete average (statistical distribution-dependent, a mean or a median) compressive strength ( $\equiv \bar{R}_m^c$ ) measured after j days [Baunetz_Wissen]
$f_{ck}$	concrete characteristic compressive strength (examples $f_{ck,cube}, f_{ck,cyl}$ [DIN EN 206-1/DIN 1045-2]. Index $c$ for concrete and $k$ for characteristic)
$f_{ck,cube}$	charakteristische Betondruckfestigkeit, Würfel
$f_{ck,cyl}$	charakteristische Betondruckfestigkeit, Zylinder

$f_{p0.1m}$	mittlere 0.1%-Dehngrenze für hochfeste gerippte Betonstahlstäbe (z. B. für SIGMA Spannstahl ST 1470/1620 N/mm <sup>2</sup> ≈ 1500 N/mm <sup>2</sup> . Im Maschinenbau $\bar{R}_{p0.1}$ )
$f_R$	bezogene Rippenfläche der Betonstahlstäbe (auf eine zur Stabachse rechtwinklig stehende Schnittfläche projizierte Rippenfläche, bezogen auf den Nennumfang und den mittleren Rippenabstand)
$f_{ct}$	concrete tensile strength measured by using bars or cylinders (the maximum grain size determines the test specimen's geometry, $f_{ct}$ triggers $f_c$ due to lateral tensile stresses in the test specimen generated under uni-axial compression)
$f_{ct,I}$	Betonzugspannung bei Erstrissbildung (Ende Zustand I)
$f_{ctk}$	concrete characteristic tensile strength
$f_{ctm}$	concrete average (mean) tensile strength
$f_{  k}$	charakteristische Kurzzeitzugfestigkeit des Rovings, Faserstrangs, Tows ermittelt am standardisierten Faserstrangversuch
$f_{FRCK}$	charakteristische Kurzzeitdruckfestigkeit des Faserbetons FB (≡ FRC)
$f_{ct,0}$	concrete in-situ tensile strength
$f_{yd}$	Bemessungsstreckgrenze Betonstahl
$f_{ym}$	mittlere Fließgrenze von warmgewalzten Betonstahlstäben (rebars, z. B. 550 N/mm <sup>2</sup> für BSt 500, Ø 10 mm)
$G_{  \perp}$	in plane shear modulus
$g$	ständige Lasten
$H$	height
$I_1$	first invariant of the stress tensor, isotropic
$j$	deterministic design factor of safety (mechanical engineering)
$J_2$	second invariant of the deviatoric stress tensor, isotropic
$J_3$	third invariant of the deviatoric stress tensor, isotropic
$I_1, \dots, I_5$	invariants, transversely-isotropic UD-material
$K$	Kelvin
$K_c$	Bruchzähigkeit, fracture toughness
$[K]$	Laminat-Steifigkeitsmatrix, stiffness matrix of the laminate (composed of $[A],[B],[D]$ -sub-matrices)
$[K]^{-1}$	inverse laminate stiffness matrix
$k$	Wärmedurchgangswiderstand im Maschinenbau (in W/(mm <sup>2</sup> ·K))
$k_{cube150/200}$	Umrechnungsfaktor unterschiedlicher Betonwürfelgrößen (1.05 für Umrechnung von 200 mm Kantenlänge auf 150 mm (schlanker))
$l_E$	Endverankerungslänge
$M$	bending moment of a beam
$M$	saturation moisture
$m$	bending moment per unit width (stress resultant) of a plate or shell
$N$	normal force (beam)
$n$	number of test data; membrane stress resultant per unit length; number of laminas in a laminate or in a fiber-grid assembly; number of cycles of yarns in a thread
$p$	= $I_1/3$ = hydrostatic stress coordinate (axis of failure body)
$p_f$	failure probability
$q$	deviatoric stress coordinate = $\sqrt{3 \cdot J_2}$
$Q$	transverse shear force
$[Q]$	stiffness matrix of the lamina for 2D-stress state (referred to the lamina-COS)
$q$	veränderliche Lasten
$R$	stress ratio, defined as $\min\sigma/\max\sigma$ (mind signs)

R	strength design allowable ( <i>statistically reduced strength for design verification</i> )
$\bar{R}$	average ('mean') or typical strength ( <i>utilized for test data mapping</i> )
$R_{c0.2}$	compressive yield strength ( <i>metals etc., index <math>c</math> reads compression here</i> )
$R_{bk}$	charakteristische Biegezugfestigkeit von Faserbeton mit 5% Quantil, 75% Aussagewahrscheinlichkeit [Wie]. ( <i>Bemessungsbiegezugfestigkeit <math>R_{bd} = \eta \cdot R_{bk} / \gamma_m</math>, Faserzement mit Korrekturfaktor <math>\eta</math> gemäß EN1990 und Werkstoff-Teilsicherheitsbeiwert <math>\gamma_m</math></i> )
$R_m$	ultimate tensile strength ( <i>resistance maximale (French). Index <math>t</math> is usually not written in mechanical engineering, because tension is usually dominant, opposite to concrete</i> )
$R_{mc}, f_{cm}$	ultimate compressive strength ( $m$ for 'maximale', $c$ for compression), average compressive strength ( $c$ for concrete, $m$ for 'mean')
$R_{mc}$	ultimate compressive strength ( <i>in design verification only significant for brittle materials. For ductile materials a deformation limit is design driving</i> )
$R_{p0.2}$	tensile yield strength
$R_{  }^t, R_{  }^c$	tension and compression strength of a UD-lamina parallel to fiber direction
$R_{\perp}^t, R_{\perp}^c$	tension and compression strength of a UD-lamina perpendicular to fiber direction
$R_{\perp  }$	in plane shear strength of a lamina
$\mathfrak{R}$	reliability = $1 - p_f = \Phi(\beta)$ ( <i>example in [Cun04] assesses the goodness of the calculated deterministic RF by the more realistic, probabilistically determined reliability index <math>\beta</math></i> )
[S]	Nachgiebigkeitsmatrix, compliance matrix of the lamina for the 2D-stress state ( <i>referred to lamina-COS = material COS</i> ).
[S']	compliance matrix of the lamina for the 2D-stress state ( <i>referred to laminate-COS</i> )
T	temperature
$T_D$	Streuspanne bei einer Wöhlerlinie
$[T]_{\sigma}, [T]_{\epsilon}$	transformation matrix for stresses (left) and for strains (right)
t	laminate thickness; time
$t_k$	thickness of $k^{\text{th}}$ lamina (layer) or of the $k^{\text{th}}$ layer (laminate or fiber-grid)
tex	mass of the textile semi-finished product divided by 1000 m
w/z	Wasser-Zement-Verhältnis (water/cement ratio r)
$\bar{x}, s$	mean value, standard deviation of a sample
X, x	random variable, realization of a variable
x, y	abscissa, ordinate
x, y, z	structural COS(Cartesian), laminate COS
$x_1, x_2, x_3$	lamina COS
$x_1', x_2', x_3'$	turned lamina COS [VDI 2014]
$x_I, x_{II}$	directions of principal normal stresses 2D
U	Wärmedurchgangswiderstand im Bauwesen ( <i>für Wohngebäude <math>&lt; 0.28 \text{ W}/(\text{mm}^2 \cdot \text{K})</math></i> )
V	volume
$V_f$	fiber volume fraction in %

## 6.2 Greek Symbols

$\alpha$	fiber orientation angle of the lamina $\equiv$ angle of fibre direction ( <i>right hand COS, positive from fiber parallel <math>  </math>-axis <math>x</math> to <math>x_1</math> anticlockwise is measured in Fig.61</i> )
$\beta$	angle between fiber direction and principal normal-stress direction
$\alpha_M$ or $\alpha$	coefficients of moisture CME in $10^{-4}/\%$



$\alpha_T$ or $\beta$	coefficient of thermal expansion CTE in $10^{-6}/K$
$\alpha_T, \alpha_{t\infty}, \alpha_D$	Abminderungsfaktoren im Bauwesen zur Berücksichtigung von Temperatureinfluss, Dauerstandfestigkeit (Index $t_{\infty}$ ), Dauerhaftigkeit
$\beta$	Zuverlässigkeitsindex, reliability index ( <i>distance of the most-likely failure point in the Hasofer-Lind diagram to its origin using the standard normal distribution of Gauß</i> )
$\gamma$	partial design factor of safety in civil engineering, shear angle
$\gamma_{  t}$	partial safety factor for the tow's tensile strength in the textile grid ( $\approx 1.2$ , retrofitting)
$\dot{\epsilon}$	strain rate
$\eta$	viscosity in Nmm/min ( <i>e.g. CEM mortar</i> )
$\Theta$	non-circularity function
$\theta_{fp}$	angle of a strength fracture plane (isotropic, UD)
$\theta$	Lode angle in cross-section or $\pi$ -plane, circumference of an isotropic strength failure body
$\kappa$	curvature, permeability
$\lambda$	thermal conductivity
$\mu$	Mohr-Coulomb material friction
$\mu, \sigma$	mean value, standard deviation of the Basic Normal Distribution derived from the statistical population of the $i$ samples, characterized by $(m_i, s_i)$
$\nu$	Poisson's ratio, isotropic material ( <i>in civil engineering sometimes <math>\mu</math> is used. <math>\nu</math> grows with initiation of yielding of ductile materials</i> )
$\nu_{\perp  }, \nu_{\perp\perp}$	Poisson's ratios, transversely-isotropic UD-material with $\nu_{\perp  }$ the major one. ( <i>In the early days, indexing of Poisson's ratio followed the old convention 'location' before 'cause' like VDI 2014 and Tsai now. However, in the FE codes it is most often performed oppositely</i> )
$\xi, \rho$	Haigh-Westergaard coordinates. $\xi = \sqrt{3} \cdot \sigma_{oct}$ , $\rho = \sqrt{3} \cdot \tau_{oct}$
$\rho$	density of a material
$\sigma_{c10}$	(Kurz-)Faserwirksamkeit bzgl. erhöhter Zugfestigkeit des Betons bei Einbringung von Kurzfasern ( <i>index <math>c</math> für concrete, abhängig von dem Faserorientierungsbeiwert <math>\eta</math> der eingebrachten Kurzfasern, da in der Regel keine stochastische Verteilung</i> )
$\sigma, \tau$	stresses in engineering notation, with one index only (similarly with the strains)
$\sigma_1, \sigma_2, \tau_{21}$	intra-laminar (engineering) stresses of the lamina (ply) in the lamina COS ( $\tau_{12}$ is not the failure-driving shear stress)
$\sigma_3, \tau_{32}, \tau_{31}$	inter-laminar (engineering) stresses of the lamina (ply)
$\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$	intra-laminar (engineering) stresses of the lamina (ply) in the structural (laminated)
$\sigma_{oct}, \tau_{oct}$	octahedral stresses. $\sigma_{oct} = I_1/3$ , $\tau_{oct} = \sqrt{J_2/3}$
$\tau_{fm}$	mittlere Verbundspannung zwischen Faser und Betonmatrix
$\emptyset$	diameter of grains or filaments
$\varphi$	Faservolumenanteil
$\psi$	Fasermasseanteil
$\omega$	half of the crossing angle of an angle-ply laminate

## 6. Indexing, Laminate Descriptions and Layer Numbering (ply-book)

### 6.1 Subscripts and Superscripts

A, C, G, F	aramid, carbon, glass, fabric
app	applied (loading)
b	bending, bond
c	concrete (in $f_{cd}$ ) and compression in mechanical engineering ( <i>in civil engineering <math>c</math> for compression becomes dropped in compressive strength terms <math>f_{c,ed}</math> whereas in mechanical engineering the index <math>t</math> for tension usually becomes dropped in tensile strength <math>R_{m,t}</math></i> )
cr	critical
C,G	carbon, glass
CrF	crushing fracture (failure mode of compression-loaded brittle material like concrete)
d	marks value of the variable applied in design, kennzeichnet Bemessungswert
eff	effective
eq	equivalent
f	fiber, Faser
fr	fracture
i	marks a fracture-value
in	initial
is	in-situ
k	index of a UD-layer (lamina) within a laminate or of a fiber-grid and further the characteristic value of the concrete tensile strength such as $f_{tk}$
lim	limit
M	matrix, metal, moisture, mat (cloth)
m	matrix, maximale
na	neutral axis
nm	non-metallic
p	pre-tensioned, vorgespannt
pl:	plural
r	recycled
res	residual, resultant
s	shear, symmetric lay-up, Stabstahl
sec	secant (modulus)
T	temperature
t	tension, torque, twisting, Zug
tan	tangential (modulus)
tex	textile
x, y, z	structural COS (related to the x, y, z-directions)
W, F	warp and fill (weft) direction in case of woven fabrics
in	initial value
$\perp, \parallel, \perp\parallel$	symbolic designations: perpendicular (transverse), parallel, in-plane shear
$( )^T, ( )^{-1}$	transposed matrix, inverse matrix
0	COS origin, zero, in-situ, reference plane (may be the mid-plane, [CLT])
^	roof ( <i>Dach-Zeichen für Spannungs- oder Dehnungsgrößen, die sich auf das ganze Laminat beziehen</i> )
-	marking of a single center layer in a symmetric laminate

## 6.2 Laminate and Organosheet Coding

### Laminate Descriptions

(0°, 45°, 90°)	example of a laminate family
(20%0°, 70%-45°, 10%90°)	definition of a specific laminate showing the thickness fractions of UD lamina orientations (different percentages)
[0/90]s	definition of a laminate symmetrical to the mid-plane (different fiber types)
[90 <sub>2</sub> <sup>G</sup> /0 <sub>3</sub> <sup>C</sup> /+45 <sub>2</sub> <sup>A</sup> /0 <sup>C</sup> ] <sub>2s</sub>	specification of the lay-up of a laminate with respect to the fibre type
[0(45/-45/ <u>90</u> )]s	just one center layer, this is denoted by a bar over
[0/0/45 <sub>F</sub> /90/-45 <sub>F</sub> /0/0]	specification of the lay-up of a laminate with respect to the type of reinforcement (same UD and fabric F material)

### Product Descriptions

aramid tape	plain weave fabric containing 80% Aramid Twaron (42 tex), 5% Glass yarn (0.3 tex), 15% PES (7.8 tex), 124 g/m <sup>2</sup> , width 20 mm, thickness 0.2 mm. Permanent heat resistance 200°C. 124 g/m <sup>2</sup> , operational temperature > 200°C, spool ware 250 m
CFHT	CF High Tensile
CF-EP	(continuous) Carbon Fiber-EPOxy composite
CF-EP-CEMIII	
CF-EP, Q95/95-CCE-38	Solidian Grid 645 g/m <sup>2</sup> , max. 1,2m · 5 m, 95 mm <sup>2</sup> /m fiber cross-section, 38 mm roving distance, E=250 GPa, f <sub>  tk</sub> = 2300 MPa, f <sub>⊥ck</sub> = (f <sub>lateral,tex</sub> ) = 200 MPa
GF-PA66	PA66-TPmatrix, compound <u>GF-PA66</u> with short glass fibers and V <sub>f</sub> = 60% compared to the usual 30% ( <u>PA66-GF</u> ) . <i>(If the polymer is the major component in the compound then the polymer is set first. This is opposite to endless fiber reinforcements!)</i>
GF-UP	(continuous) Glass Fiber-UP composite
HTA40 12k (not K!)	HTATenax-Faser, 12000 Filamente im Roving
LFT PA6-GF47	PA66-TPmatrix with long glass fibers ( <i>organo sheet</i> )
PA66-GF	compound with lower GF content
PP-GF 30	30% short glass fiber-reinforced PP
PP-rCF-compounds	SFRP (SMC) using recycled carbon fiber material
Q120-GF-EP-38	Q grid, 120 mm <sup>2</sup> /m fiber cross-section, glass fiber (fiber type missing), epoxy, grid distance 38 mm
CFHT grids with loops	edge loop CFHT grid (larger anchorage and overlapping lengths are necessary for heavy tows. Edge loops help to solve this problem, s.
Rohr-Schlauch-UD-Gewebe	Leinwandbindung: 48.5% CF (12k, 800 tex) + 48.5% AF (Twaron: 5k, 805 tex) + 3% Elastikmaterial als Ummantelungsverstärkung
Grid ware (Fraas)	SITgrid 025, CF-example (≡ R-Matte, vendor provided data): ρ <sub>CF</sub> = 1.77 g/cm <sup>3</sup> , impregnated, roving with short term tensile design strength R <sub>  <sup>td</sup></sub> f <sub>  td</sub> = (f <sub>td,tow</sub> ) = 1700 N/mm <sup>2</sup> and E <sub>  d</sub> = 170000 N/mm <sup>2</sup> ; warp roving 48k distance 12.7 mm (length) and reinforcement cross sectional area 141 mm <sup>2</sup> /m width, weft (fill) roving 12k, distance 16 mm; deliverables: roll 2.50 m x 25.00 m, sheet 1.25 m x 2.00 m, area weight 309 g/m <sup>2</sup> (with SBR impregnation 346g/m <sup>2</sup> ), Fig. 43 (fiber type missing)
Grid ware (Solidian)	Q-Mat or Q-Grid, vendor provided data for Q-95/95-CCE-38: CF-example (≡): ρ <sub>CF</sub> = 1.77 g/cm <sup>2</sup> , EP-impregnated tow with a short term

	tensile strength $R_{ tk} = f_{ tk} = (f_{tk,tow}) = 2350 \text{ N/mm}^2$ and $E_{tk} \approx 220000 \text{ N/mm}^2$ (after DIN EN 1990 tensile tests); warp and fill tow 48k, grid distance 38 mm with reinforcement cross sectional area $95 \text{ mm}^2/\text{m}$ width; <i>deliverables: roll 2.50 m x 25.00 m, sheet 1.2 m x 5.00 m, area weight missing <math>\text{g/m}^2</math> with EP impregnation in <math>\text{g/m}^2</math></i> ; preformed ware with SBR (fiber type missing). As stock mat and list mat deliverable R-Mat or R-Grid R46/37-AAS-10 x 13 (see abbreviations). As stock mat and list mat deliverable
FibreMod™	PP reinforced with: short GF (3-5 mm), long GF (10-15 mm), short CF (0.5-1 mm)
FIBRACRETE	CF-Kurzfaser-Portlandzement-Mörtel (MRM Augsburg) mit $V_f = 1-2\%$ , 3 mm Kurzfasern $\varnothing 7\mu\text{m}$ , $> 100 \text{ MPa}$ Biegezugfestigkeit)

### Layer-numbering:

In the 3 cooperating worlds Manufacturing, CLT–Analysis and Structural FE-Analysis different ways of numbering the plies in the stack are used. This must be checked in each project case in order to reliably orient the fibers in production, see [CLT].

### Some units in engineering: *recommendations for dimensioning*

circular natural frequency  $\omega$ :  $2 \cdot \pi \cdot f$ , ( $f$  = eigenfrequency), 1/s

circular operational frequency  $\Omega$ : 1/s

density  $\rho$ :  $\text{g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$

energy J:  $1 \text{ W} \cdot \text{s} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2 = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$ ,  $1 \text{ kcal} = 4.19 \text{ kJ}$ ; (examples:  $1570 \text{ kcal} \equiv 60 \text{ min}$  cycling at 160

Watt is equivalent to eating 200 gramm apples  $\approx 100 \text{ kcal}$ )

forces and loads: kN, kN/m,  $\text{kN/m}^2$ ,  $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2$

frequency f: 1/s

impact  $\text{m} \cdot \text{v}^2$ :  $1 \text{ kg} \cdot (1000 \text{ m/s})^2 = 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2 = 1000 \text{ kJ} = 1000 / 4.19 \text{ kcal}$

mass:  $1 \text{ g/cm}^3 = 10^{-9} \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{mm}^4$ ,  $1 \text{ kg} = 1 \text{ N} \cdot \text{s}^2 / \text{m}$

momentum, impulse (Impuls):  $\text{kg} \cdot \text{m/s} = \text{N} \cdot \text{s}$

moments (bending, torsion):  $\text{kN} \cdot \text{m}$

pressure:  $1 \text{ bar} = 10 \text{ N/mm}^2 = 10 \text{ MPa}$

strain:  $1000 \mu\text{m/m} = 0.1 \text{ ‰} = 1 \text{ ‰}_{00}$

stress, strength:  $1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$ ,

viscosity: water at  $25^\circ\text{C}$   $0.89 \cdot 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s} = 0.89 \cdot \text{mm}^2/\text{s}$

weight  $G = \text{mass} \cdot \text{acceleration } g$ :  $1 \text{ kg} \cdot 9.82 \text{ m/s}^2 \approx 10 \text{ N}$ ,  $1 \text{ kg loading} \equiv \approx 10 \text{ N}$

## 7. Bilder zur Text-Illustration / Figures for clarification of the body text

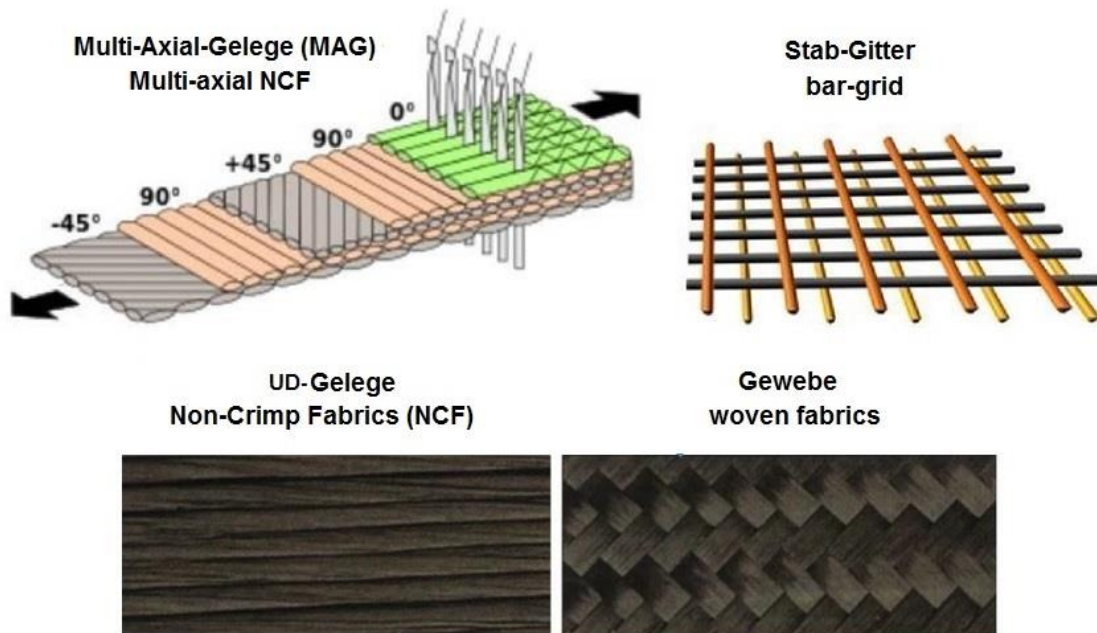


Fig.1:

Einige wesentliche Bewehrungsmaterial-Begriffe bei gerade ausgerichteten Fasern, ohne textile Gitter.

(links oben) Multi-Axial Gelege MAG aus Tapes, (rechts oben) Stabgitter aus pultrudierten Stäben.

(links unten) Lamelle  $\equiv$  UD-Gelege- oder auch MAG-Streifen, (rechts unten) Gewebe [Hänchen]

Schmalere Gelege-Streifen  $\equiv$  Lamelle = strip, breites Gelege-Band  $\equiv$  'Sheet' = tape.

Some essential notions for reinforcement materials with straight fibers, excluding textile fiber grids.

(left up) Non-crimp fabric NCF composed of tapes, (right up) Rebar grid composed of pultruded bars (industrially laid bars  $\equiv$  bar lattice mat) [after Wikipedia, DelcoteX].

(left down) Lamella  $\equiv$  UD-tape or a multi-axial NCF, (right bottom) weave



Fig.2: Mekka, CFK-Pilgerwegkonstruktion um die Kaaba.

Mekka, elevated walk-way around the Kaaba, CFRP construction inner  $\Phi$  80 m, 400 t CFRP.

[Premier Composite Technologie PCT, Dubai, Vancouversun.com]

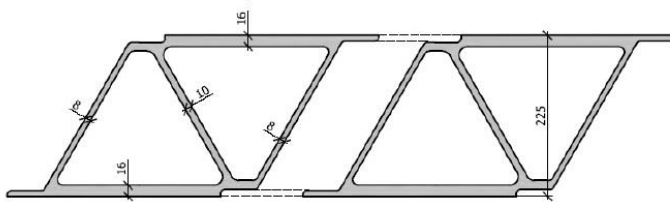


Courtesy of Apple Inc.

*Fig.3: Apple Campus 2, CFK-Dach-Tragwerk, 2017, 80 t,  $\Phi$  52 m.*

*Apple Campus 2 roof, 2017; largest freestanding carbon-fiber roof. 44 identical radial panels averaging 70 feet long and 11 feet wide, and each connects to a small central hub. 80 t,  $\Phi$  140 feet.*

*[Premier Composite Technologie PCT, Dubai, Vancouver.sun.com]*



*Fig.4: Brücke in Friedberg (Hessen), Ortsumgebung B 3a, statisch mittragendes Brückendeck aus FBD 600 ASSET-Profilen von Fiberline Composites A/S, verklebt auf durchlaufenden Stahlträgern. GFK-Geländer [IMA].  
Bridge, with a statically jointly carrying GFRP bridge deck, bonded to the steel girder, GFRP railing*



*Fig.5: 'Mae West' Munich, 52 m high, CFRP-tubes, Rita Mc.Bride artwork  
[Alamy-stock photo]*



*Fig.6: Left: querschwingungenvermeidende GF-Gewebe-Verkleidung des Thyssen-Krupp-Testturms für Hochgeschwindigkeitsaufzüge Rottweil, 245 m hoch. Test tower for high-speed lifts [ILEK, Jahn/Sobek] Right: Piazza-Überdachung, Prophetenmoschee, Medina SA, 2010. Canopy of the Piazza [ILEK with SL-Rasch]*



*Fig.7: Pultrudierte Flachprofile als große 'Federelemente' für die Regelung der Membranstreifen des Verschattungssystems.*

*Pultruded profiles for controlling the membrane lamellas of the shading system.  
[IBA-Softhouse in Hamburg, Knippers-Helbig]*



*Fig.8: Freileitungsmast, im Spannbett gegen Biegung carbon-längsvorgespannt, Wanddicke: 40 mm.  
Overhead line mast, carbon-pretended in tension bed, wall thickness 40 mm  
[Fa. SACAC mit EMPA, 2001]*



*Fig.9: Fassadenelemente, Façade construction elements.  
Mannheim East side [Solidian]*



*Fig.10: Links, Textilbetonpavillon mit Schalendicke 6 cm, 12 Lagen ungetränktes Carbondtextil, Abschlussdemonstrator des SFB 532, [Foto: Robert Mehl] und rechts Tragstruktur des T3 Pavillons, IfM RWTH Aachen.  
Left, TRC pavilion, wall thickness 6 cm, 12 layers dry CF textile; right, support structure of the T3 pavilion*





*Fig.11: (links) Integrativer Carbonbeton-Pavillon, Betonschalen aus hochfestem 'Feinbeton' mit textiler Carbonbewehrung, integrierter LED-Beleuchtung und induktiven Sensoren zur Steuerung der Lichtszenarien; (rechts) Neubau Kaiser-Wilhelm-Hof, Köln mit freigeformten dünnwandigen Fassadenelementen aus GFK-Architekturbeton hoher Oberflächenqualität, exzellenter Dauerhaftigkeit, mechanischer Eigenschaften [TU Chemnitz].*

*(left) Integrative carbon concrete pavilion, shells made of UHPC with textile reinforcement, integrated LED-lighting, inductive sensors for control of light scenarios; (right) free form façade elements of GFRP architecture surface quality, excellent durability and mechanical properties*



*Fig.12: Bosphorusbrückenpfeiler, H=320 m.*

*Textilbeton-Fassadenplatten für Brückenpylone, CF mit AR-G, max. 3.2 m x 4.5 m, Dicke 30 mm.*

*TRC-facades for bridge pylons, CF with AR-G, max. 3.2 m x 4.5 m, thickness 30 mm.*

*[Fibrobeton, Solidian AR Glas grid]*



*Fig.13: Fuß- und Radwegbrücke Albstadt-Ebingen. 2015.  
Erste, rein CF-bewehrte Betonbrücke der Welt mit CF-Textil soligrid Q95/95-CCE-38).  
First fully CF reinforced concrete bridge.  
[Knippers Helbig, für Solidian GmbH].*



*Fig.14: Rehabilitation: Brückendeckenplatte durch Carbonbeton-Aufbeton.  
Rehabilitation: bridge deck plate by carbon concrete topping.  
[J. Feix, M. Egger. Lehrstuhl Massivbau und Brückenbau, Uni Innsbruck]*



*Fig.15: Instandsetzungsarbeiten Zuckersilo Uelzen, Einbau der textilen Bewehrung, Arbeitszeit 3 Monate, 14000 m<sup>2</sup> CF-Textilgitter, 250 t 'Feinbeton'.  
Rehabilitation of the sugar silo Uelzen.  
[CarboCon, Al Jamous].*



*Fig.16: Vorgespannte UHPFRC-Eisenbahnbrücke bei Gmund Obb. C150/155 mit zusätzlicher 2,5% Mikro-Stahlfaserbewehrung.  
Pre-tensioned UHPFRC railway bridge with additional micro steel fiber reinforcement.  
[U. Benz, LfM TUM, Baufirma Max Bögl].*



Fig.17: Verstärkungen in Carbonbeton /Retrofitting with Carbon Concrete [Torkret].  
 (links) Innenstützenverstärkung, Berlin; (rechts) Tonnengewölbeverstärkung, Finanzamt Zwickau.  
 (left) Internal supporting pillar, Berlin; (right) Barrel vault reinforcement, tax office Zwickau

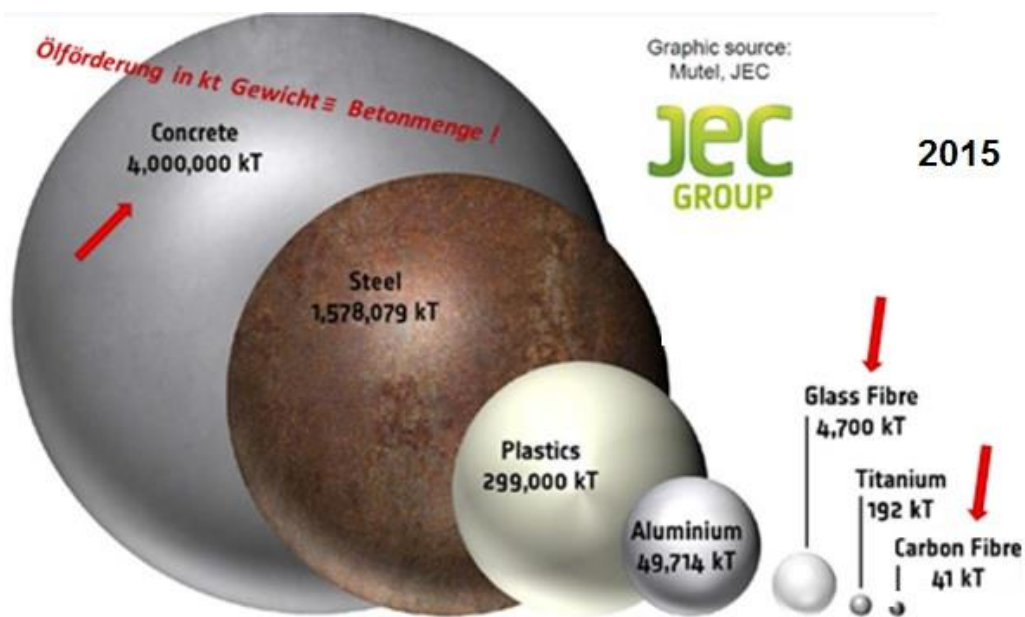
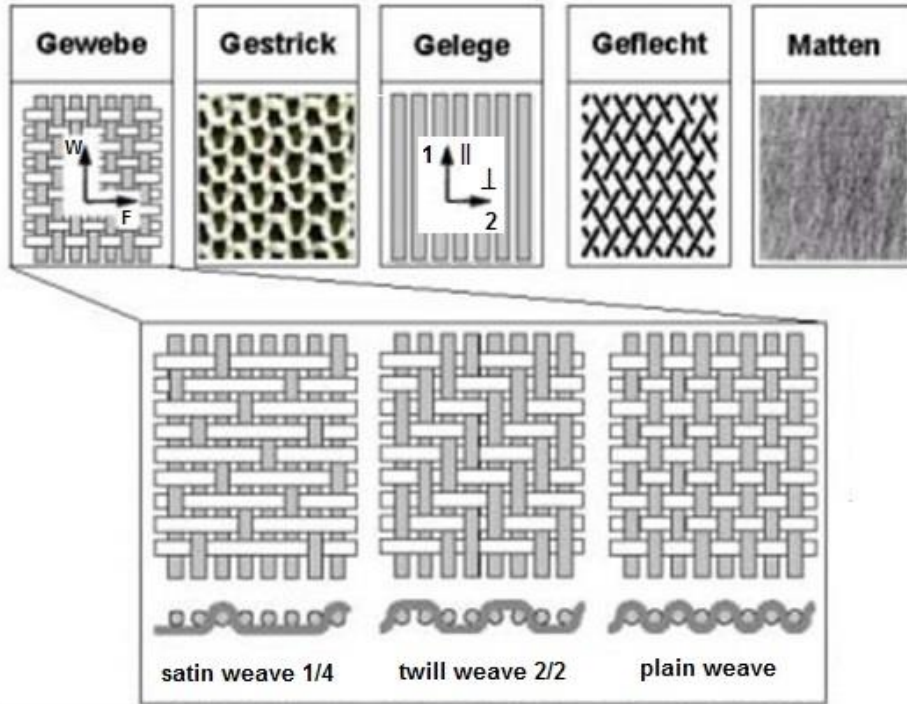


Fig.18: Welt-Mengenverhältnis Stahl / CF = 10000, Betonstahl 4.000kT in Deutschland.  
 world ratio Steel / CF = 10000, concrete reinforcing steel 4.000kT in Germany.  
 [JEC 2015]

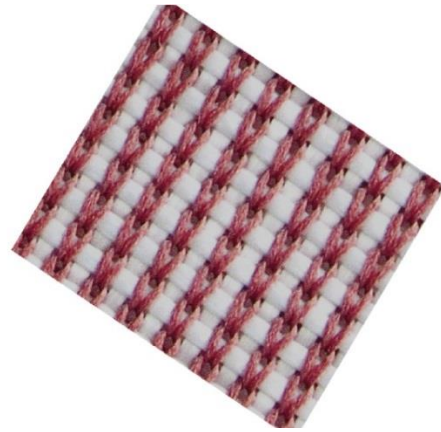
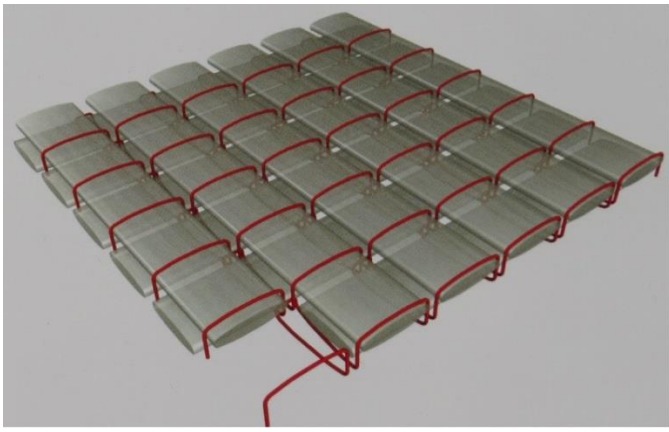


Fig.19: Knotentest von Fasern/ knot test of carbon, glass, basalt and aramid fibers.  
 (links) ein Test zum Aufzeigen der Grenzwerte der maximalen Faserkrümmung (wichtig für Krümmungsradien der Bewehrungskörbe, (rechts) Durchmesser-Vergleich Carbonfaser-Haar.  
 (left) a test to visualize brittleness grade and fiber bending radius limits of fibers, (right) a comparison of a carbon-fiber ( $\varnothing 7 \mu\text{m}$ ) versus a hair (necessary for radius of cages)



plain weave	twill weave	satin weave	leno weave	NCF-similar
Leinwandbindung	Körperbindung	Satinbindung	Scheindrehergewebe	gelegeähnlich
geringe Umformbarkeit, hohe Strukturstabilität low drapability high structural		intermediate		hohe Umformbarkeit geringe Strukturstabilität high drapability low structural stability

Fig.20: Einteilung und Eigenschaften von Gewebe.  
 Classification and characteristics of fabrics.  
 Atlas  $\equiv$  satin, [nach Wikipedia-Bildquelle].



*Fig.21: Mehrlagengestrick mit gesteckten Kett- und Schussfäden [Kobleder].  
Non-crimp knit, available in widths up to 900 mm and in tubular form up to  $\varnothing$  200 mm  
(Note: Obtaining straight fibers is the driving objective)*

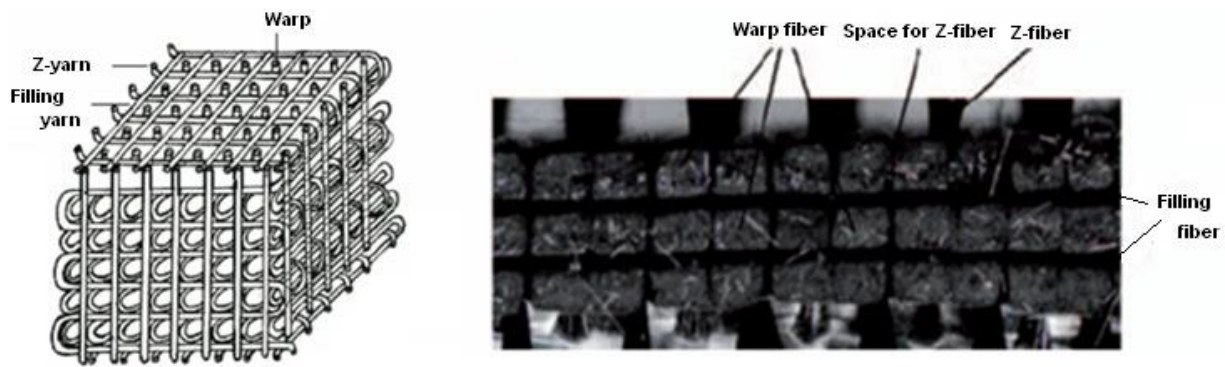


Fig.22: 3D-material: (left) a scheme, (right) a multiaxial 3D-Woven Fabric from [Kadir Bilisik, *Advances in Modern Woven Fabrics Technology*. Edited by Savvas Vassiliadis, ISBN 978-953-307-337-8, 252 pages

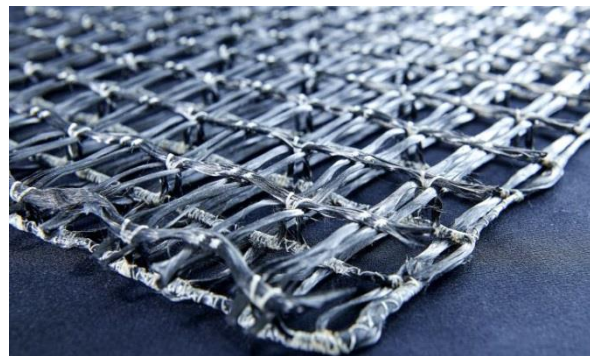


Fig.23: Textile Abstandsstruktur mit z-Richtungsverstärkung des 2D-Textils [J. Feix, *Massivbau und Brückenbau, UIBK, Uni Innsbruck*].  
Textile spacing structure with z-reinforcement of the 2D textile

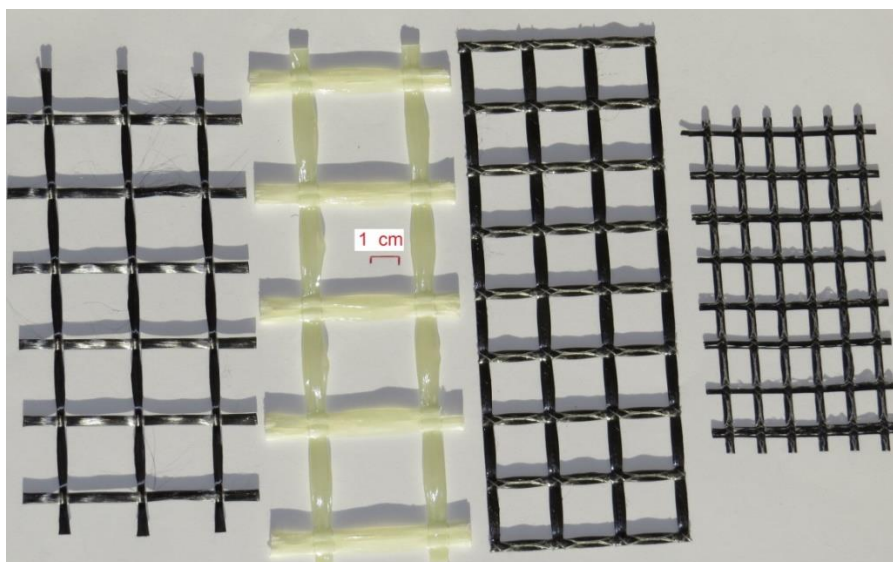
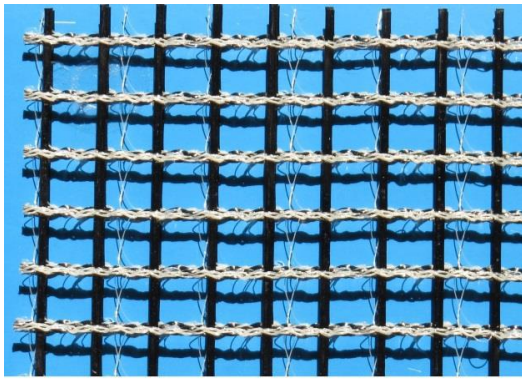
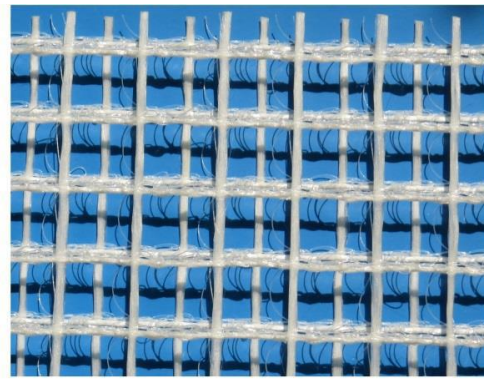


Fig.24: Gitter-Verstärkungsstrukturen (Gitter-Bewehrungsstrukturen) unterschiedlicher Gitterweite und Verstärkung [verschiedene Hersteller].  
Differently spaced and strengthened grids [different manufacturers].

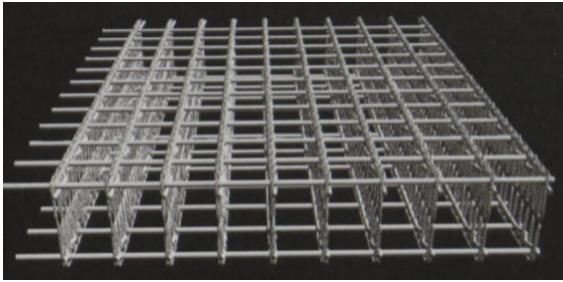


**SITgrid500KA (Fraas)** 15 mm x 15 mm  
24 k C50 T024 EP , thread PE 0.3 mm



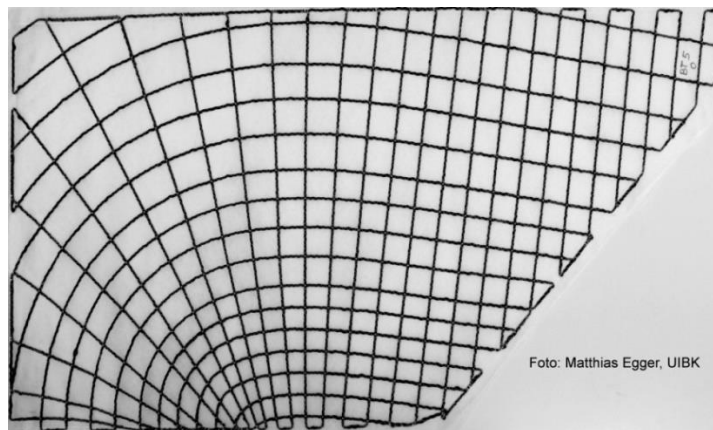
**SITgrid701KB20** mm x 20 mm  
AR-Glas Cemfil 5325 2400 tex, thread PE 0.30 mm

*Fig.25: Unterschiedliche Abstandsgewebe.  
Different spacer fabrics [Fraas, SITgrid]*



*Fig.26:*

*(links) 3D-Gitter als Sandwich-Verstärkungsstruktur [Fraas, 3D-grid structure], (rechts)  $\Omega$ -Verstärkungsstruktur  
(left) 3D grid reinforcement structure, (right)  $\Omega$ -shaped reinforcement structure [Solidian]*



*Fig.27: Durch Sticken realisierte beanspruchungsgerechte Teilbewehrungen.  
Loading-appropriate designed reinforcements realized by embroidery.  
[UIBK, Uni Innsbruck].*





Fig.28: Carbonbeton-Brücke Albstadt-Ebingen, (rechts) vorgeformte Bewehrungsstrukturen [Solidian].  
Carbon Concrete Bridge Albstadt-Ebingen, (right) pre-shaped reinforcement structures

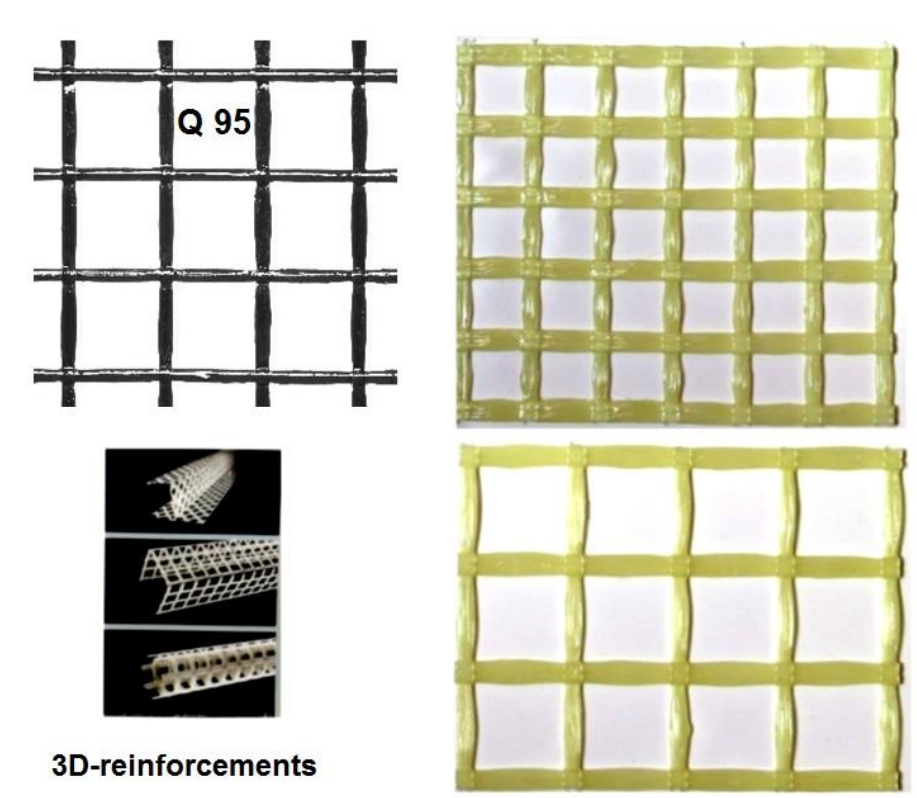


Fig.29: 2D-Bewehrungsstrukturen ('Bewehrungsgitter') und räumliche Bewehrungskörbe.  
Solidian 'fiber grids' and 3D-cages (≠ 3D material in Fig.222) made thereof.  
Q-Soligrids [Solidian, Grosz-Beckert]

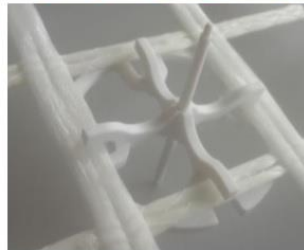
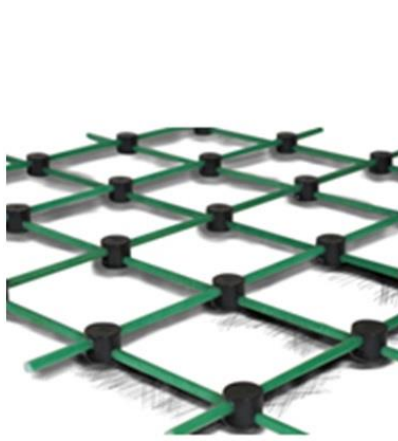


Fig.30: Stabgitter, Rebar-grid.  
(example: GF-polyesther or vinyllesther or epoxy)  
[FiReP®Powermesh].

Fig.31: Abstandhalter.  
Distance holder. [Neues vom Carbonbeton.5.  
Jahrestagung des Deutschen Ausschusses für  
Stahlbeton.21, 9. 2016, Kaiserslautern

### About the product

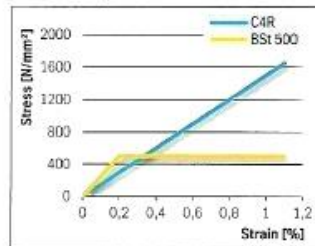
C4R is a reinforcement bar made of corrosion-resistant, high-strength carbon fibers embedded in a high-temperature custom-made epoxy resin system. Adopting an industrial process the bars are produced continuously. The optimized helical groove design is added in a subsequent production step.

Compared to standard reinforcement steel bars C4R offers a significant superior tensile strength and a remarkable reduction of mass up to 80%. Furthermore, concrete pull-out tests yield an outstanding level of bond stress that is significantly higher than the bond stress of competitors fiber-reinforced bars.

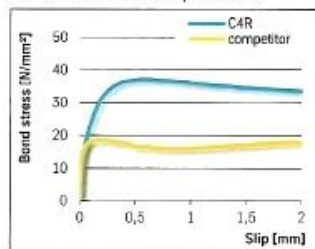
### Product range

C4R is manufactured in a variety of different diameters, lengths and groove geometries. Detailed mechanical and geometric properties are presented in the enclosed tables.

### Stress-strain plot



### Bond stress of concrete pull-out test



CFRP bar,  
Carbon4ReBar,  
Fa. Thyssen-Krupp

GFRP bar  
ComBar,  
Fa. Schöck



conventional  
steel bar

further CFRP bars



### C4R – Mechanical properties of straight bars

Material properties	C4R
Effective tensile strength $\sigma_{T,eff}$ [N/mm²]	1.650
Elongation at failure $\epsilon_2$ [%]	1.1
Effective tensile modulus $E_{eff}$ [N/mm²]	151.000



### Alternative cutting lengths on request.

Type	Diameter	Core	Cutting length	Mass per meter	Availability
Straight bar	8 mm	6,5 mm	0,1 – 6,0 m	0,077 kg	on request
	10 mm	8,5 mm	0,1 – 6,0 m	0,120 kg	at call
	12 mm	10,5 mm	0,1 – 6,0 m	0,172 kg	on request
	14 mm	12,5 mm	0,1 – 6,0 m	0,235 kg	on request
	16 mm	14,5 mm	0,1 – 6,0 m	0,310 kg	on request

In cooperation with C³ - Carbon Concrete Composite e.V. / In 2016 carbon concrete researchers from Dresden were awarded with Deutscher Zukunftspreis.



Fig.32: Einige Verstärkungsstäbe. Some rebars  
[thyssen-krupp Carbon Components, Schöck and Krauss-Maffei]

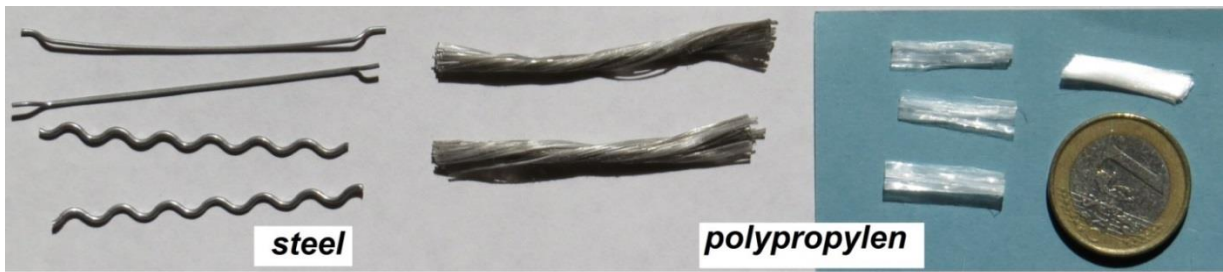


Fig.33: Einige Fasermaterialien zur Verbesserung der Betonmatrixeigenschaften.  
Some fiber materials used to improve properties of the concrete matrix

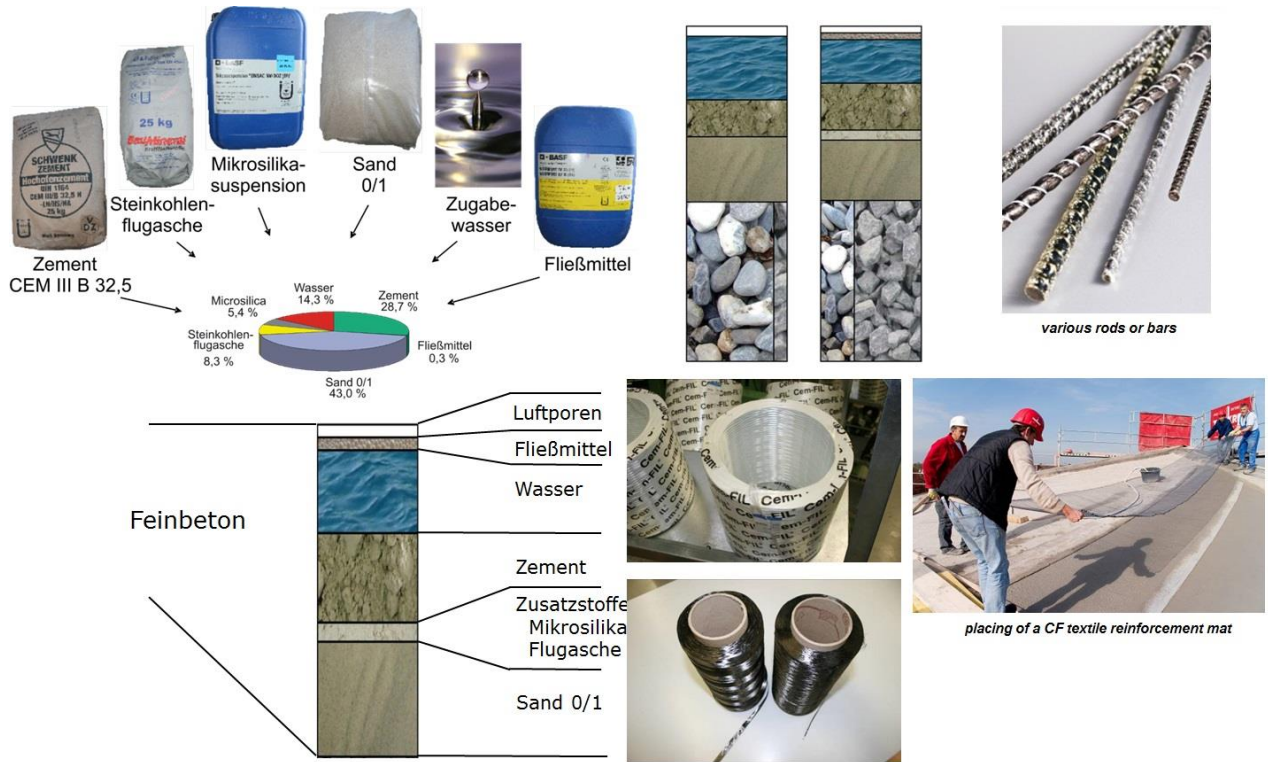
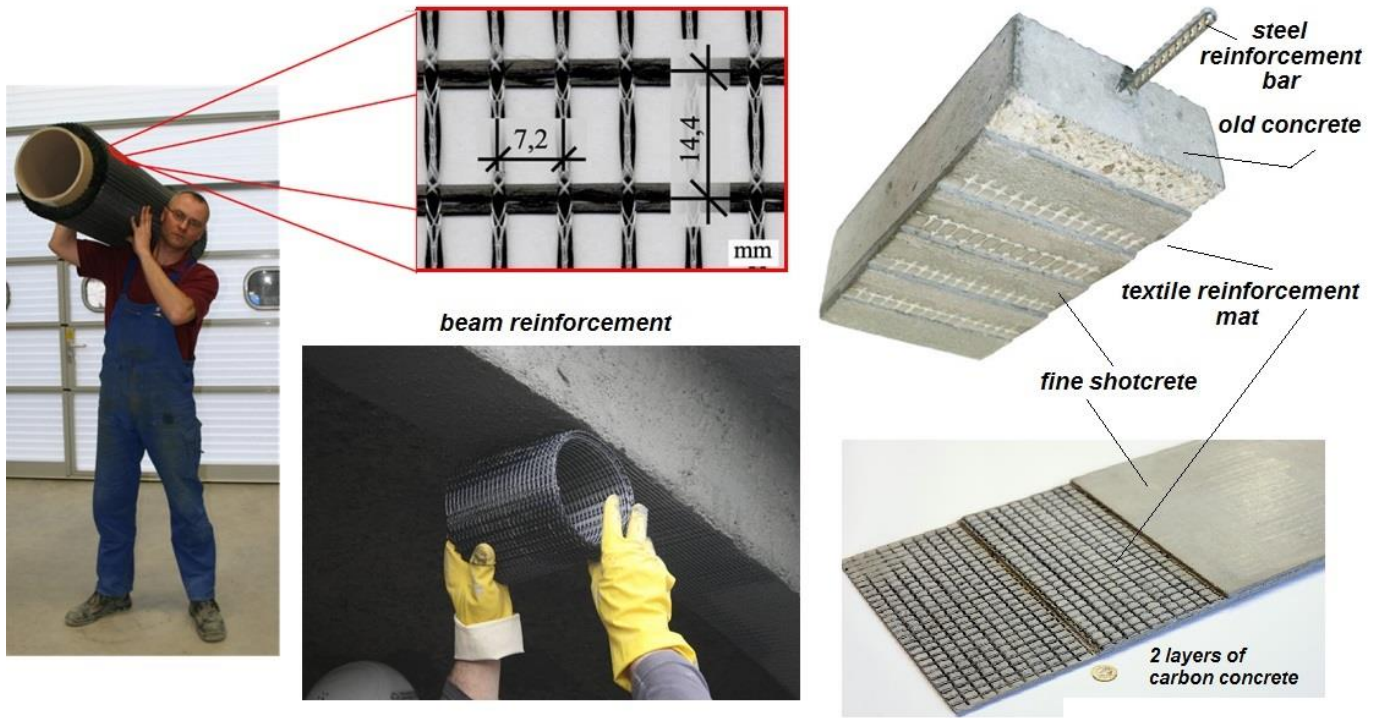


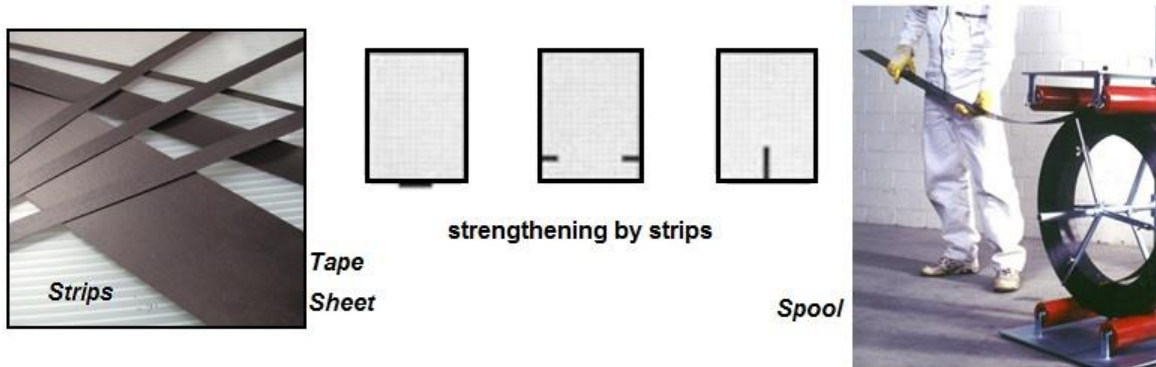
Fig.34: Überblick CB-Baumaterialien bis zu ihrer Anwendung.  
Survey carbon concrete construction materials until their application



*Fig.35: Rehabilitation, Sanierung, Retrofitting.*

*Fasergitter im Detail, auf Rolle (sitGrid) und als Lamelle beim Aufbringen auf Altbeton, sowie beispielsweise 2 eingebaute Schichten.*

*Fiber grid in detail, on roll and lamella strips during attachment to old concrete, as well as exemplarily 2 installed textile layers*



*Fig.36: StB-Träger/ Girder.*

*Möglichkeiten der 'Biegemomentenverstärkung' durch Lamellen.*

*Possibilities to improve bending moment situation though strengthening by lamella strips*



*Fig.37: Verstärkung von Decken wegen erhöhter Feld- und Stützmente mit CFK-Lamellen 100 mm x 1,4 mm.*

*Reinforcement of slabs because of increased moments by CFRP-lamellas, applying External Reinforced Bonding ERB.Mineralbad "Berg", Stuttgart, 2018, [HPTL]*



*Fig.38: Ertüchtigung durch Zusatz-Schubbewehrung gegen Schrägriss im Steg durch in Schlitze geklebte CFK-Lamellen.*

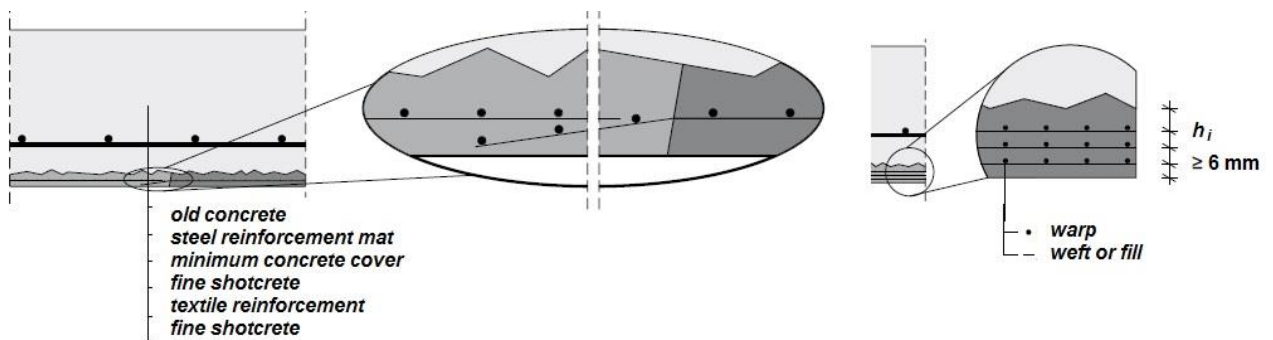
*Retrofitting by shear reinforcement against inclined cracking by CFRP lamellas 20 mm x 3mm bonded into slits [Motzachtobel-Brücke, HP-TL-Carbon Strengthening].*



Fig.39: *Brücke mit vorgespannten Deckplatten.*  
*Bridge with pre-tensioned slabs.*  
*ZHAW-bridge [J. Kurath].*



Fig.40: *Fertigteiltreppe aus Faserbeton FB.*  
*Precast stairs made of fiber-reinforced concrete FRC.*  
*[B. Wietek].*



*Fig.41: Übergreifungslänge/overlapping length [Planermappe, TUD16].  
(mass saving, thickness-reduced overlapping edge side [Fraas])*



*Fig.42: Praktisch wasserundurchlässiger Carbonbeton CB.  
Practically waterproof concrete [IfM TU-Dresden]*

Art. 279136  
HTC 21/21-40



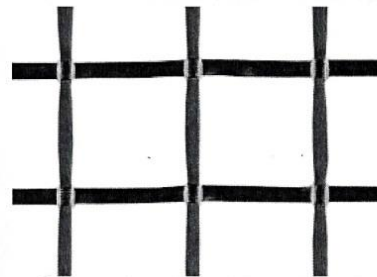
- Material, längs: Carbon 48 K Dichte: 1,8 g/cm<sup>3</sup>
- Material, quer : Carbon 48 K Dichte: 1,8 g/cm<sup>3</sup>
- Bindefaden: PP 110 dtex
- Gewicht: ca. 295 g/m<sup>2</sup> unbeschichtet  
ca. 330 g/m<sup>2</sup> beschichtet

- Anzahl Faden / m längs: 39
- Anzahl Faden / m quer: 39
- Gitteröffnung längs: 21 mm
- Gitteröffnung quer: 21 mm

- Bewehrungsquerschnitt / m:  
längs: 71 mm<sup>2</sup>
- Zugfestigkeit / m:  
längs: 179,7 kN
- quer: 71 mm<sup>2</sup>
- quer: 201,7 kN

- Prüfwerte in Anlehnung DIN EN ISO 3341  
Zugfestigkeit längs: 2531 N / mm<sup>2</sup> Zugfestigkeit quer: 2841 N / mm<sup>2</sup>  
Dehnung längs: 1,71 % Dehnung quer: 1,47 %

- Beschichtung: Styrol Butadien



Arbeitsbreite: 300cm



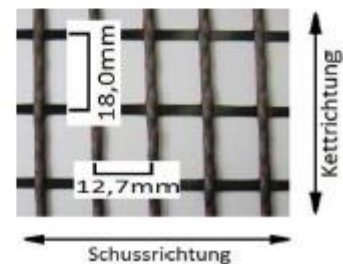
**Produktbeschreibung:**

TUDALIT- BZT2- V.FRAAS ist eine Textilbewehrung (eine TUDALIT-Komponente des Bausatzes) für ein Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton gemäß Allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Nr. Z-31.10-182. Die Textilbewehrung ist ein textiles Gitter aus Carbonfilamentgarnen (sogenannte Heavy Tows), die mechanisch durch maschenbildende, dünne Polypropylenfäden an den Kreuzungspunkten verbunden sind.

**Textile Konstruktion:**

	Fadenabstand [mm]	Anzahl Rovings pro Laufmeter	Material
Kettrichtung (0°)	12,7	78	Carbon (Toho Tenax/SGL)
Schussrichtung (90°)	16	62	Carbon (Toho Tenax)

Die Textilbewehrung wird mit einer filmbildenden Dispersion (Typ Lefasol VLT-1, Fa. Lefatex) imprägniert. Dadurch werden die einzelnen Filamente der Carbonfilamentgarne umhüllt bzw. miteinander „verklebt“ und der innere Verbund hergestellt, um die Kennwerte der beschichteten Garne zu erreichen. Der äußere Beschichtungsfilm sichert den guten Verbund der Textilbewehrung zum Beton.


**Maße (Beispiel):**

	Rolle	Platte
Breite [m]	2,50	1,25
Länge [m]	25,00	2,00

**Eigenschaften (Mittelwerte):**

	0°	90°	Bemessungswert 0°	Bemessungswert 90°
Bewehrungsquerschnitt/Faden [mm <sup>2</sup> ] <sup>(1)</sup>	1,8	0,45	141 mm <sup>2</sup> /m	28 mm <sup>2</sup> /m
Garnzugfestigkeit, beschichtet [N/mm <sup>2</sup> ]	1.700 <sup>(1)</sup>	1.700 <sup>(2)</sup>	-	-
Elastizitätsmodul Garn, beschichtet [N/mm <sup>2</sup> ]	170.000 <sup>(1)</sup>	152.000 <sup>(2)</sup>	-	-
Gewicht [g/m <sup>2</sup> ]	346 Toho Tenax / 368 SGL			

(1) Prüfung nach ISO 3341, Umschlingungsklemmen mit optischer Längenänderungserfassung, 500 mm freie Einspannlänge, Prüfgeschwindigkeit 200 mm/min, E-Modulbestimmung im Bereich des Linearanstieges der Spannungs-Dehnungs-Kurve

(2) Prüfung wie (1), jedoch bei 200 mm freier Einspannlänge der beschichteten Schussfäden, Prüfgeschwindigkeit 80 mm/min, um analoge Prüfung ab einer Warenbreite von 1,20 m der Textilbewehrung zu ermöglichen.



**TUDALIT**  
 Leichter bauen - Zukunft formen



[www.solutions-in-textile.com](http://www.solutions-in-textile.com)

Fig.43: Produktdatenblätter: Hitexbau und Fraas.  
 Product data sheets: Hitexbau and Fraas

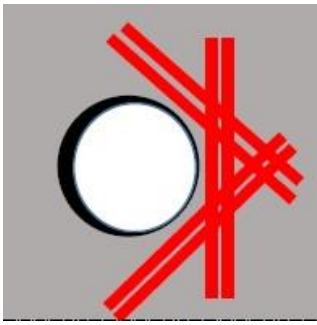


Fig.44: Schema, scheme [HPTL].  
 Verstärkung von Deckendurchbrüchen (Auswechselfbewehrung)  
 mit CFK-Lamellen 50 mm x 1,2 mm (ERB).  
 Reinforcement of ceiling or slab break-throughs using CFRP  
 lamellas 50 mm x 1,2 mm

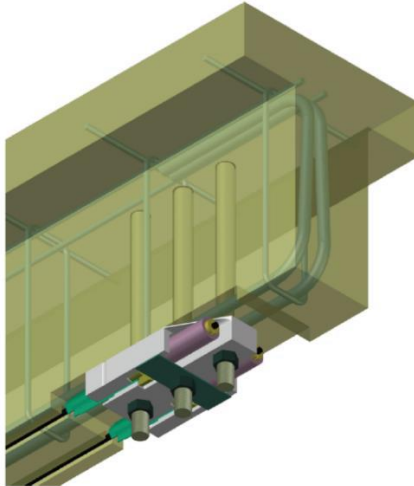


Fig.45: Vorspannungskonzept: Versuchsbalken zur Vorspannung mit CFK-Stäben  $\varnothing 6$  und  $\varnothing 8$  mm in Schlitten.  
 Pre-tensioning concept: test beam, CFRP rods  $\varnothing 6$  and  $\varnothing 8$  mm in slits (NSM-PT) System.  
 [HPTL- DTU, Technische Universität Kopenhagen]

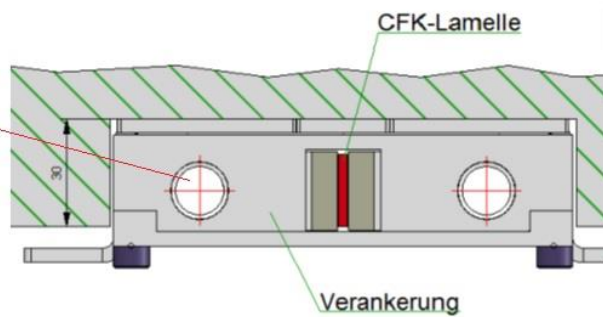


Fig.46: Nach-Vorspannungskonzept / Post-tensioning concept.  
 Versuchsbalken zur Vorspannung mit CFK-Lamellen 20 mm x 3 mm in Schlitten.  
 Test beam for pre-tensioning with CFRP-lamellas 20 mm x 3 mm in slits.  
 [HPTL- FiS = Force in Slit, mit Fa. Züblin und Fa. Paul Vorspanntechnik, TU Wien, NSM-PT System]

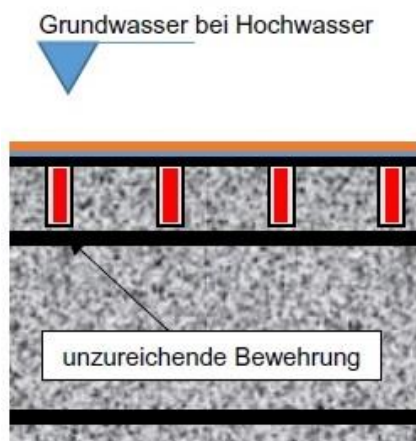


Fig.47: Rehabilitation /Retrofitting.

(links) Schema-Querschnitt, bi-axial unzureichende Bewehrung: Realisierung der Verstärkung einer Bodenplatte gegen drückendes Grundwasser (Weiße Wanne) mittels CFK-Schlitzlamellen 15 mm x 2,5 mm und 20 mm x 2,5 mm in x-Richtung unten in der Betondecke (NSM) und (rechts) CFK-Flachlamellen 80 mm x 1,2 mm in y-Richtung aufgeklebt (ERB).

(left) Scheme cross section, bi-axially no sufficient reinforcement: Realisation of the reinforcement of a bottom plate against groundwater using CFRP slit lamellas 15 mm x 2,5 mm und 20 mm x 2,5 mm in x-direction (in the plate) and (right) CFRP-Lamellas flat 80 mm x 1,2 mm in y-direction, bonded to slab



Fig.48: Rehabilitation / Retrofitting.

Verstärkung der oberen Bewehrung einer Decke mit in Schlitzen eingeklebten CFK-Lamellen 20 mm x 3 mm (NSM, M3-Mörtel).

Reinforcement of a ceiling plate using internally bonded CFRP-lamellas 20 mm x 3 mm

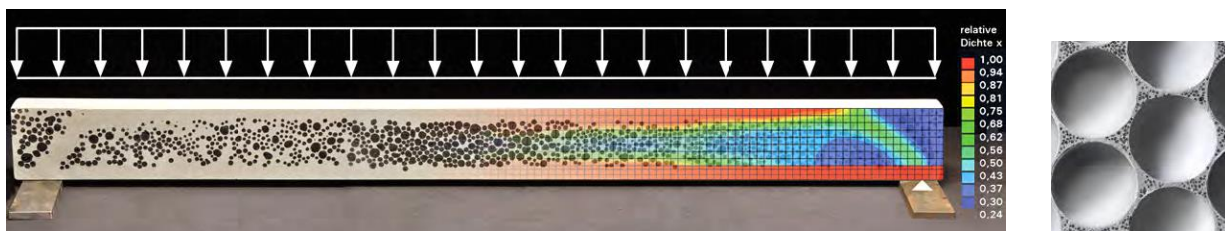


Fig.49: Ein-Material-Gradientenbeton, single material gradient concrete.

(links) Dichteverteilung als Entwurfsergebnis einer beanspruchungsgerechten Optimierung mit farbiger Darstellung der erzielten Porositätsverteilung, (rechts) Micro-Meso-Detail der 'Korn'verteilung, mineralische Meso-Hohlkugeln 10 mm - 250 mm.

(left) Density distribution from stress-efficient optimisation with coloured rendering of the porosity distribution found, (right) Detail of the obtained meso spheres.

[LiB18, Diss. M. Herrmann].



Fig.50: Rehabilitation durch endverankerte vorgespannte CFK-Lamellen (UD-Prepreg-Streifen von Rollen). 2

Probleme waren zu lösen: (1) schwieriges Verkleben auf Stahlblechoberfläche und (2) Dehnungsunverträglichkeit von Stahl-CFK, weil unter Temperatur CF ihre Länge nicht verändern, Stahl hingegen).

Rehabilitation by end-anchored pre-tensioned CFRP lamellas. Two problems had to be solved: (1) difficult bonding on the steel sheet surface and (2) non-compliance of temperature expansion due to CTE difference steel-to CFRP.

(links) Statischer Belastungstest mit LKW, (rechts) Anwendung des FPUR-Systems auf Brückenquerträger  
 (left) Test with static truck loading, (right) application of a Flat Pre-stressed Un-bonded Retrofit (FPUR) system for CFRP strengthening of the bridge cross-girders.

Diamond-Creek-Steelbridge, Melbourne, Australia, EMPA, 2018, Ghafoori et al. [Gha18]



Fig.51: (links) Statische Belastung durch Zug, (rechts) Pre-stressed Un-bonded Retrofit (PUR) - Querträgerverstärkung mit CFK-Lamellen.

(left) Static loading by a train, (right) Cross-girders were retrofitted with pre-stressed un-bonded CFRP strips. The bridge consists of 10 panels with the total length of 45.2 m, width of 5 m and height of 6.15 m. The PUR system includes a novel friction-based mechanical clamping system for strengthening of metallic I-beams.

Münchenstein-Stahl-Eisenbahnbrücke, 2015, 120-Jahre alt [Ghafoori et al. 2015]

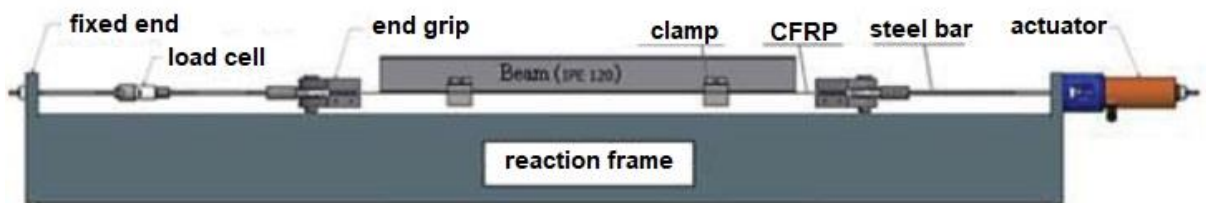


Fig.52: Elemente des Vorspannungssystems, das einen unabhängigen Spannrahmen zum Spannen der CFK Lamelle benutzt.

Elements of the pre-stressing set-up, which uses an independent reaction frame to pull the CFRP strip. [Ghafoori and Motavalli, 2015, EMPA]

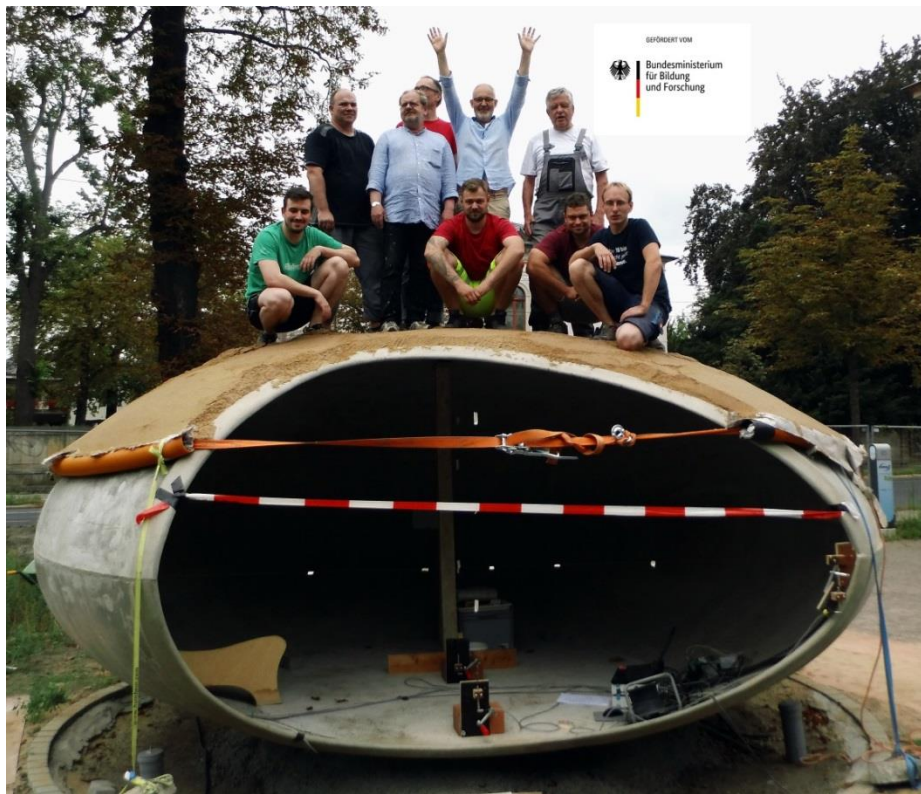


*Fig.53: Verbundmodul-Bauweise aus Carbonbeton-Holzrahmenbau als leichte modulare, rückbaubare Fertigteilbauweise hoher Isolation, 20 mm UHPC-Außenschale inkl. Carbongitterbewehrung 96k-SITgrid. Composite module 'method of construction' of carbon concrete with wooden frame, UHPC outer shell reinforced. [betondesign factory, Schönborn].*



*Fig.54: Eindhoven University of Technology, Future domestic buildings*

*Fig.55: Automatisierte Fertigung im Bauwesen. Erste Fertigungsschritte zum Bau eines additiv (kein 3D-Druck) hergestellten Wohngebäudes, beziehbar 2019. Spritzgußzusammensetzung: Kurzfasern/Zement. Automated manufacturing in construction, rentable 2019, short fiber/cement. [Eindhoven University of Technology for future domestic buildings].*



*Fig.56: Großlastversuch des Textilbeton-Schalentragwerks mit simulierter 1,5-facher Schneelast und '9-facher Mannlast', minimale Wanddicke 25 mm, an Fügstellen 50 mm, Betoneinsparungen ca. 80%. Basis für einen 18 m Wohnbaukörper mit Herausforderungen Bemessung, Herstellung, Bauklimatik, Schallschutz, Feuchtigkeitsschutz. Heavy load test of the textile carbon shell structure with simulation of 1.5 · snow load, '9 · man load', minimum shell thickness 25 mm, at joining location 50 mm. [Carbonbeton-Pavillon, Pilotprojekt, Dresden, 2018, texton, futureTEX, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung]*

*Im Augenblick werden in Deutschland ungefähr  $100 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  Beton verarbeitet. Der Anteil an Carbonbeton CB ist dagegen verschwindend, obwohl es sinnvolle, 'sich rechnende' CB-Anwendungsfälle bereits jetzt trotz hoher Preise der Baumaterialien CF und HPC gibt, besonders im Rehabilitationsbereich. Eine wesentlich Verbreiterung der Anwendungen verbunden mit notwendigen weiteren praktischen Erfahrungen wird erfolgen, wenn Herausforderungen wie Ressourcenschonung, Energieverbrauch, Dauerhaftigkeit und  $\text{CO}^2$ -Bilanz bereits in Ausschreibungen strikter einbezogen würden? Nachhaltigkeit + Kosten sind sonst nicht richtig erfasst. In obigem Zusammenhang noch einige Bemerkungen:*

- Bewehrungsstrukturen wie in Fig.57 werden sicherlich nicht durch Carbonbewehrung ersetzt werden aber viele ausgeführte Bewehrungen werden zukünftig einfacher ausschauen*
- Falls sich Carbonbeton - zukünftig 'nachhaltig gerechnet' – rechnet, dann werden manche Bauwerke zukünftig aus Carbonbeton hergestellt werden, Die Brücke in Fig.13 hat sich - laut Albstadt's Baubürgermeister Hollauer - bereits bei der Bauwerkerstellung gerechnet und hat sich erst recht nachhaltig gerechnet*
- Kostengünstiges Bauen ist also nicht allein die Erstellung des Bauwerkes! Es wird der Preis von CF noch sinken und der Preis für den notwendigen 'Feinbeton' muss noch entscheidend sinken. Bei den aufkommenden Stabgittern wird man z. B. mit größerem Korn arbeiten können, d. h. normalbetonähnlicher und damit preislich niedriger.*
- Und nicht zu vergessen: Weniger Beton = weniger  $\text{CO}_2$ .*



Fig.57: Bewehrungskonzentrationen, reinforcement concentrations.

<https://media.istockphoto.com/photos/steel-rebar-for-reinforced-concrete-at-building-construction-site-picture-id923099714>

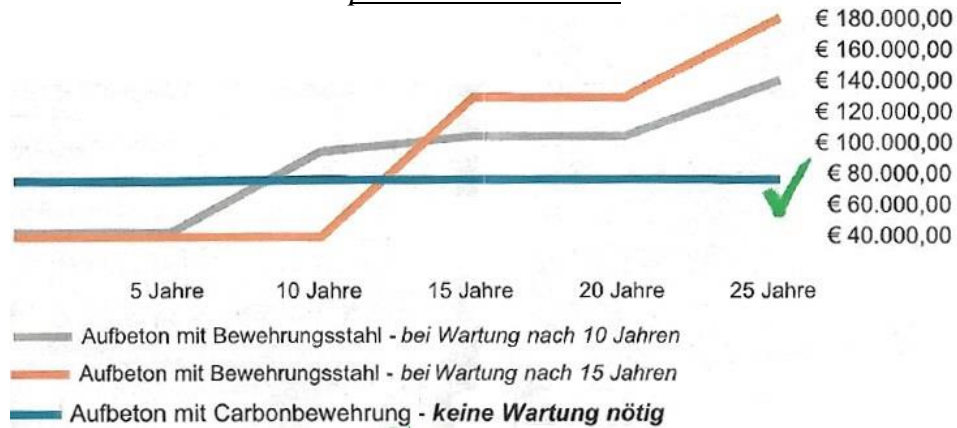


Fig.58: Aufbeton, Kostenvergleich CF-Bewehrung vs. Stahl-Bewehrung, 2018. Concrete topping, cost comparison CF-reinforcement versus steel-reinforcement. [HITEXBAU GmbH Augsburg].

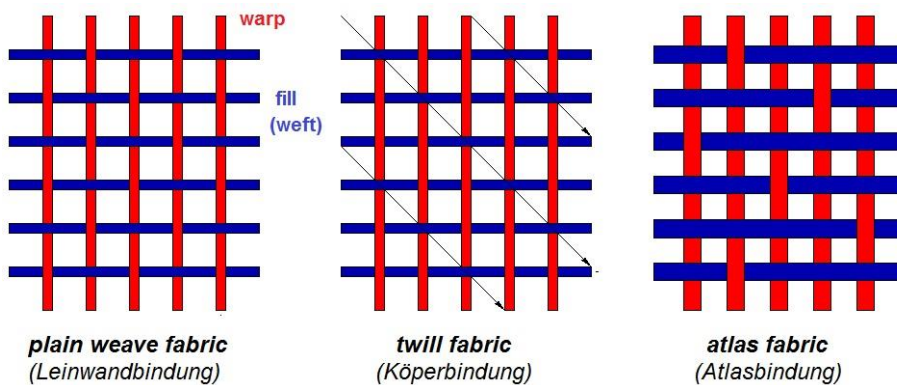


Fig.59: Bindungsarten und Modellierbarkeit. Types of mesh weave and modeling

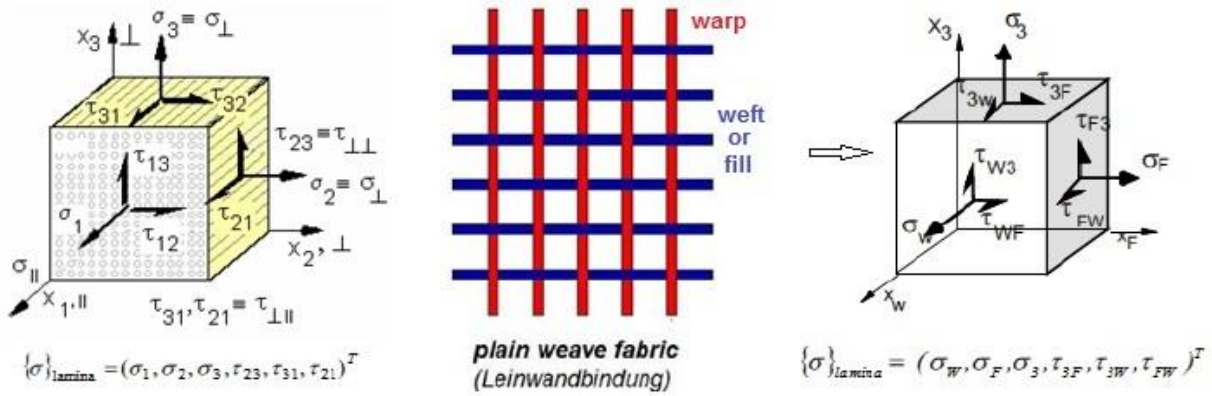


Fig.60: Bezeichnungen von transversal-isotroper UD-Schicht (Lamina, Lamelle) und rhombisch-anisotroper Gewebeschnitt, rechts.

Denotations of transversely-isotropic UD ply (lamina, lamella) and rhombic-anisotropic plain weave fabric, right

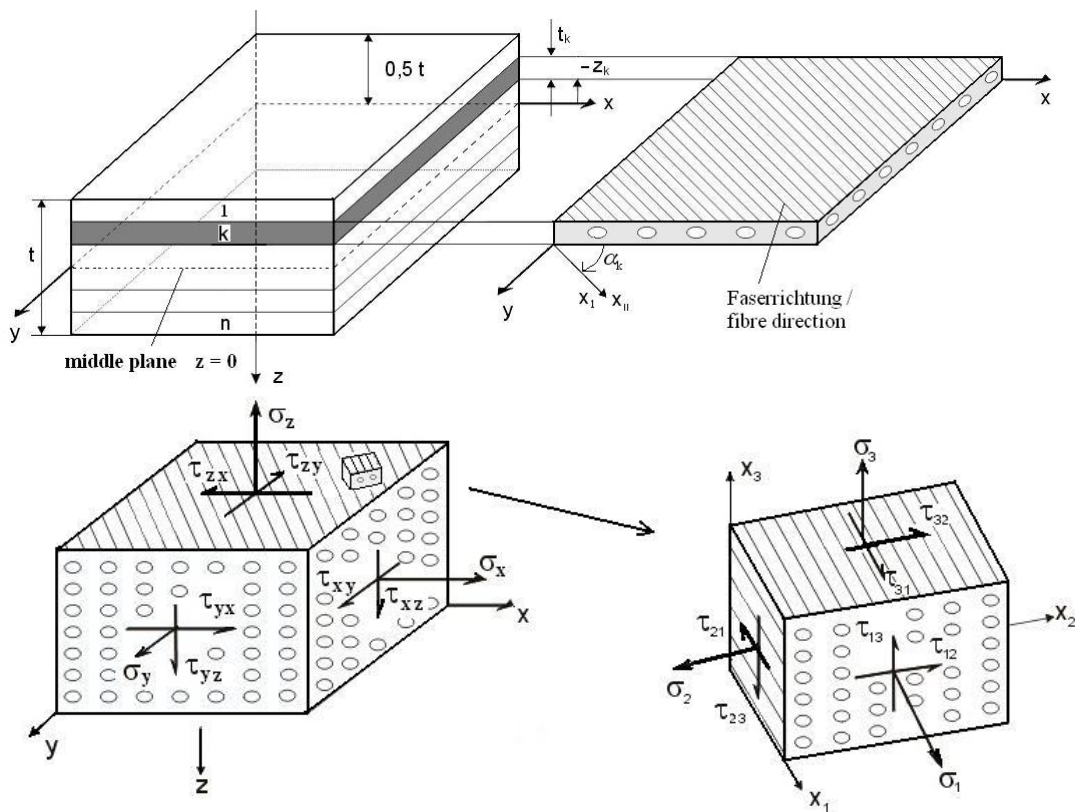


Fig.61: Bezeichnungen 2D-Laminat und UD-Einzelschicht sowie Spannungen einer 3D-UD-Schicht im UD-material COS.

Denotations 2D-laminate and singleUD ply such as section stresses of a 3D-UD ply



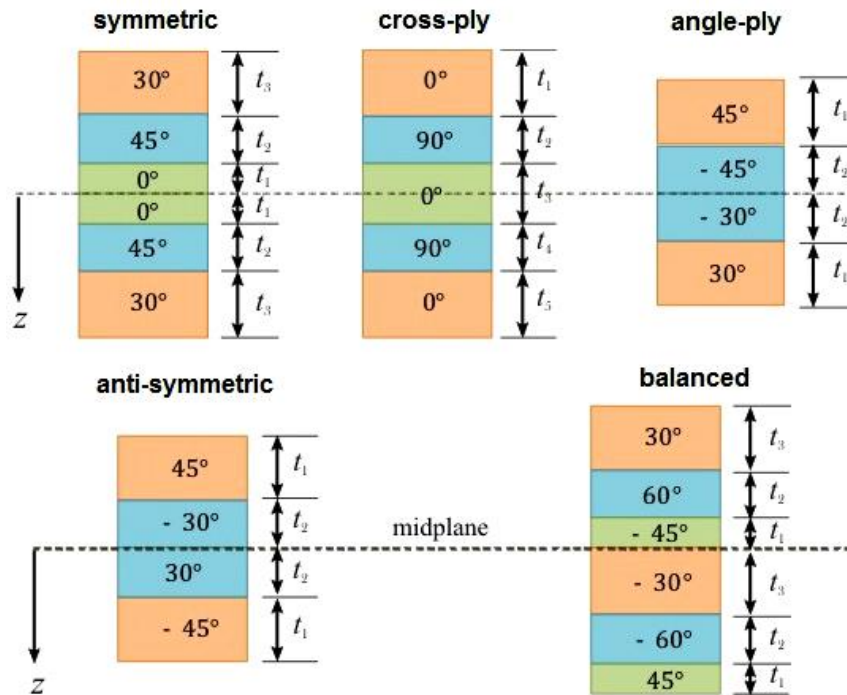
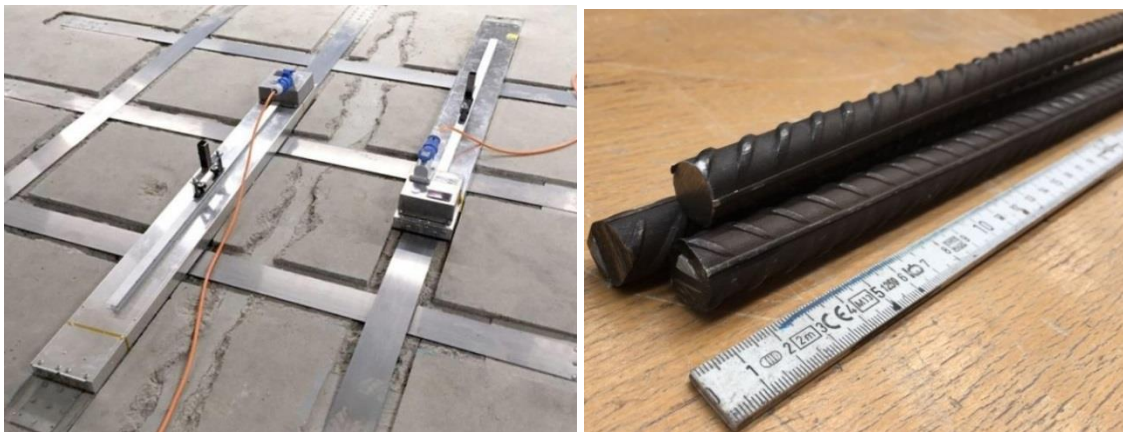


Fig.62: Klassifizierung von Laminaten.  
 Classification of laminates (midplane was chosen as reference plane).  
 [nptel.ac.in/courses/101104010/lecture17/17]



<https://media.springernature.com/lw1000/springer-cms/rest/v1/img/16221964/v1/4by3?as=jpg>

Fig.63: Lamellen und Stäbe in Formgedächtnislegierung zur Verstärkung von Beton.  
 Lamellas and rebars of shape memory alloys for strengthening of concrete.  
 [EMPA].

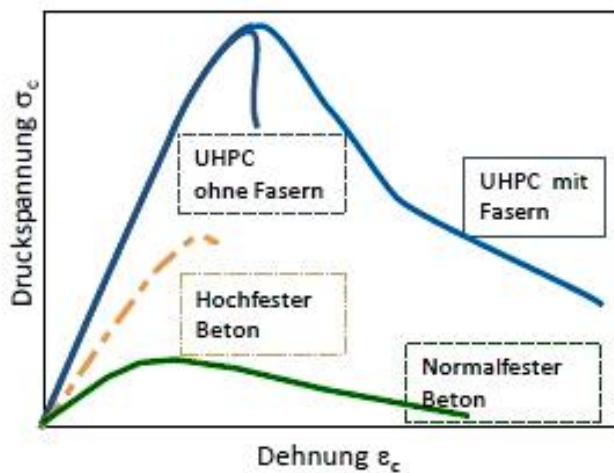


Fig.64: Spannungs-Dehnungskurven von Betonarten.  
 Stress-strain curves of concrete types. [Wil18]



Fig.65: rCFK-Pins (a) und rCFK-Stäbchen (b), rCF - 'Gewölle' (c), rCF-Garn (d) und rCFK 'entsorgt' in 0.3%-rCFK-Asphalt (e) eingebaut nach ZTV Asphalt-StB 07/13.  
 rCFRP-pins (a), rCFRP-rods (b), rCF- 'wool', rCF -yarn (d) and rCFRP disposed in asphalt (e)  
 [Carbonwerke Weißgerber]

Table 1: Überblick Tenax Fasern – einachsige Faserzugfestigkeit gegenüber Zugmodul.  
 Survey Tenax fibers – uniaxial tensile strength versus tensile modulus [AFBW 18]

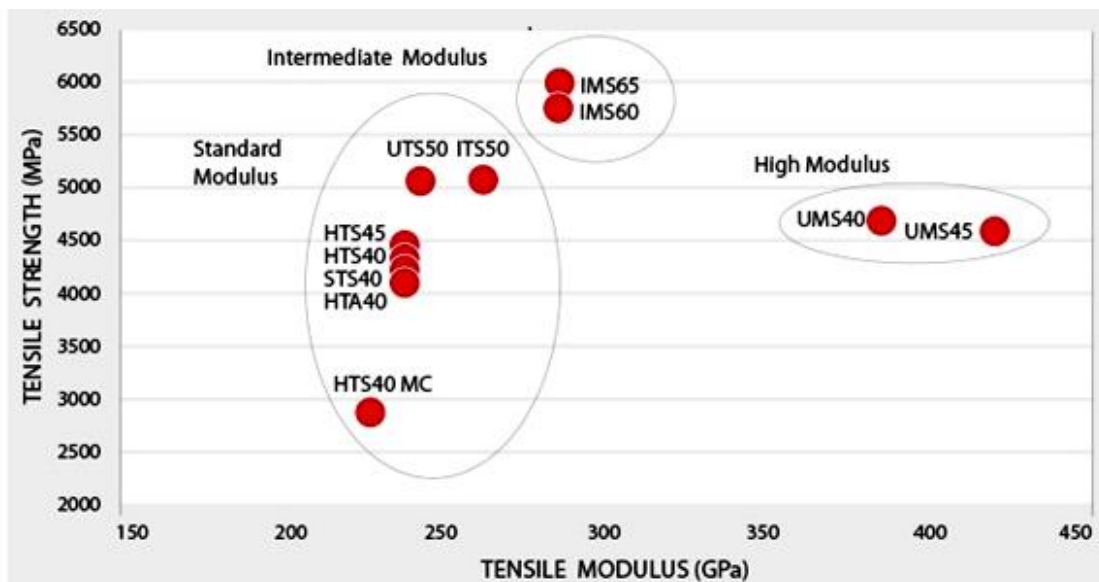


Table 2: Survey on fiber material types [example Toray fibers]

Grade		Filament Count	Yield	Tensile Strength	Tensile Modulus	Elongation	Density
			tex	MPa	GPa	%	g/cm <sup>3</sup>
Standard Modulus	HTA40	1 000	67	4100	240	1.7	1.77
		3 000	200				
		6 000	400				
		12 000	800				
	HTS40	3 000	200	4400	240	1.8	1.77
		6 000	400				
		12 000	800				
		24 000	1600				
	HTS45	12 000	800	4500	240	1.9	1.77
	STS40	24 000	1600	4300	240	1.8	1.78
		48 000	3200	4300	250	1.7	1.77
	UTS50	12 000	800	5100	245	2.1	1.78
		24 000	1630				
ITS50	24 000	1630	5100	265	1.9	1.80	
Intermediate Modulus	IMS40	3 000	170	4500	290	1.6	1.73
		6 000	340				
		12 000	680				
	IMS60	6 000	210	5800	290	2.0	1.79
		12 000	410				
		24 000	830				
IMS65	24 000	830	6000	290	2.1	1.78	
High Modulus	HMA35	12 000	760	3300	355	0.9	1.78
	UMS40	12 000	390	4700	390	1.2	1.79
		24 000	800				
	UMS45	12 000	390	4600	425	1.1	1.83
	UMS55	12 000	360	4000	550	0.7	1.91
Metalcoated	HTS40 MC	12 000	1430	2900	230	1.3	2.70

Table 3: Verschiedene Bewehrungsfasern mit einigen Kennwerten.  
Various reinforcing fibers with some properties. [AFBW 18]

Faserart	Durchmesser [μm]	Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	E-Modul [GPa]	Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Kosten [€/kg]
Stahl	10 - 200	2.200	210	7,8	1 - 100
(AR) Glas	14 - 20	1.700 - 2.000	72	2,7	2 - 8
Basalt	9 - 13	1.000 - 4.000	75 - 100	2,6 - 2,8	3 - 5
Carbon	7	bis 4.000	240 - 400	1,8	>18
Aramid	12	3.400	60 - 130	1,4	> 30
Polypropylen (PP)	18	300	3,5	0,9	3 - 5
Polyvinylalkohol (PVA)	40	1.600	42	1,3	5 - 10
Polyethylenterephthalat (PET)	8 - 200	35 - 130	4,5	1,4	ka.
Polytetrafluorethylen (PTFE)	ka.	170 - 310	0,6	2,1 - 2,3	ka.

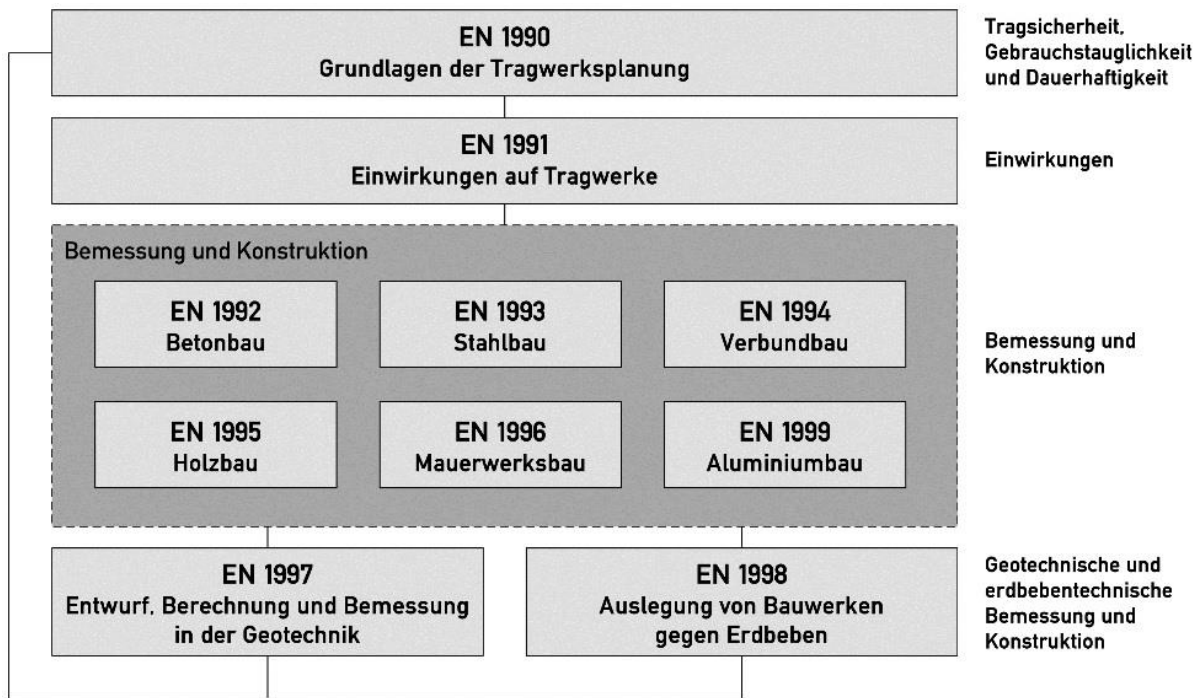


Table 4: Selbsterklärende Bezeichnungen für Festigkeits- und Elastizitätskennwerte.  
Self-explaining symbolic notations for strength and elastic properties in mechanical engineering ( $R \equiv f$ )

		Fracture <b>Strength Properties</b>									
loading		tension			compression			shear			
direction or plane		1	2	3	1	2	3	12	23	13	
9	general orthotropic	$R_1^t$	$R_2^t$	$R_3^t$	$R_1^c$	$R_2^c$	$R_3^c$	$R_{12}$	$R_{23}$	$R_{13}$	Friction property
5	UD	$R_{  }^t$ NF	$R_{\perp}^t$ NF	$R_{\perp}^t$ NF	$R_{  }^c$ SF	$R_{\perp}^c$ SF	$R_{\perp}^c$ SF	$R_{  \perp}$ SF	$R_{\perp\perp}$ NF	$R_{  \perp}$ SF	$\mu_{\perp\perp}, \mu_{  \perp}$
6	fabrics	$R_W^t$	$R_F^t$	$R_3^t$	$R_W^c$	$R_F^c$	$R_3^c$	$R_{WF}$	$R_{F3}$	$R_{W3}$	Warp = Fill
9	fabrics general	$R_W^t$	$R_F^t$	$R_3^t$	$R_W^c$	$R_F^c$	$R_3^c$	$R_{WF}$	$R_{F3}$	$R_{W3}$	$\mu_{W3}, \mu_{F3}, \mu_{WF}$
5	mat	$R_{1M}^t$	$R_{1M}^t$	$R_{3M}^t$	$R_M^c$	$R_{1M}^c$	$R_{3M}^c$	$R_M^r$	$R_M^r$	$R_M^r$	(UD, turned direction)
2	isotropic matrix	$R_m$ SF	$R_m$ SF	$R_m$ SF	deformation-limited			$R_M^r$	$R_M^r$	$R_M^r$	$\mu$
		$R_m$ NF	$R_m$ NF	$R_m$ NF	$R_m^c$ SF	$R_m^c$ SF	$R_m^c$ SF	$R_m^\sigma$ NF	$R_m^\sigma$ NF	$R_m^\sigma$ NF	$\mu$

Notes: \*As a consequence to isotropic materials (European standardisation) the letter  $R (\equiv f)$  has to be used for strength. US notations for UD material with letters X (direction 1) and Y (direction 2) confuse with the structure axes' descriptions X and Y. \*Effect of curing-based residual stresses and environment dependent on hygro-thermal stresses. \*Effect of the difference of stress-strain curves of e.g. the isolated UD test specimen and the embedded (redundancy) UD laminae.  $R_m :=$  'resistance maximale' (French) = tensile fracture strength (superscript t is here usually skipped),  $R :=$  basic strength. NF:= Normal Fracture, SF:= Shear Fracture

Table 5: EUROCODES Survey



Die Eurocode-Normen sind nur in Verbindung mit ihren nationalen Anhängen gültig, die für eine Auswahl an Parametern nationale Festlegungen treffen. Zur Erfassung der streuenden Entwurfsparameter werden in den EUROCODES (Table 7) die Bemessungskonzepte nach dem semi-probabilistischen Sicherheitskonzept aufgebaut.

Table 6: DIN EN Inhaltsverzeichnis Paket Eurocode 1 online, status 2018-06  
[www.eurocode-online.de, Beuth Verlag]

DIN-Normen, Entwürfe und Nationale Anhänge			
N	DIN EN 1990	2010-12	Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010
N	DIN EN 1990/NA	2010-12	Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung
N	DIN EN 1990/NA/A1	2012-08	Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Änderung A1
N	DIN 1055-2	2010-11	Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 2: Bodenkenngrößen
N	DIN EN 1991-1-1	2010-12	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau; Deutsche Fassung EN 1991-1-1:2002 + AC:2009
N	DIN EN 1991-1-1/NA	2010-12	Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau
N	DIN EN 1991-1-1/NA/A1	2015-05	Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau; Änderung A1
N	DIN EN 1991-1-2	2010-12	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsche Fassung EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (+ Berichtigung:2013-08)
N	DIN EN 1991-1-2/NA	2015-09	Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke
N	DIN EN 1991-1-3	2010-12	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten; Deutsche Fassung EN 1991-1-3:2003 + AC:2009
N	DIN EN 1991-1-3/A1	2015-12	Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen - Schneelasten; Deutsche Fassung EN 1991-1-3:2003/A1:2015
N	DIN EN 1991-1-3/NA	2010-12	Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen - Schneelasten
N-E	DIN EN 1991-1-3/NA	2018-03	Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen - Schneelasten
N	DIN EN 1991-1-4	2010-12	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten; Deutsche Fassung EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010
N	DIN EN 1991-1-4/NA	2010-12	Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten
N	DIN EN 1991-1-5	2010-12	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen - Temperatureinwirkungen; Deutsche Fassung EN 1991-1-5:2003 + AC:2009

## 8. References including Design and Material Aspects

- [abZ\_Z-31\_10-182] *Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit TUDALIT (Textilbewehrter Beton)*. DIBt, Berlin, 2014 (20.11.2016)
- [abZ\_Z-1.6-238] *allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, Schöck ComBAR, Eigenschaften und Bemessung* (2008, 2010, 2014, 2018 ?)
- [Bak02] Bakis C E et al.: *Fiber-Reinforced Polymer Composites for Construction—State-of-the-Art Review*. May 2002. *Journal of Composites for Construction* 6(2):73-87
- [BD90/05] Design Manual for Roads and Bridges Vol 1, Section 3, Part 17: BD 90/05, *Design of FRP Bridges and Highway Structures*. Highways Agency London
- [Bec18] Becker T: *Zur Konzeption und Bemessung von Brücken und Dächern aus Faserverbundwerkstoffen*. Vortrag, DACH-Veranstaltung des CC Bau, 21.6.2018, ZHAW Winterthur
- [BetonWiki] Online-Lexikon des Informations-Zentrums Beton. Wiki gestartet Jan 2016
- [BS5400] Part 1 *Code of Practice for Steel, Concrete and Composite Bridges*. General Statement
- [BÜV10] Bauüberwachungsverein, Empfehlung: *Tragende Kunststoffbauteile im Bauwesen (TKB) – Entwurf, Bemessung und Konstruktion*. 2010
- [CB] Neues vom Carbonbeton- Was ist schon möglich? C<sup>3</sup>-Präsentation „Bauen neu denken“. 5. Jahrestagung DASt, 21. 9. 2017
- [Che11] Cherif Ch.: *Textile Werkstoffe für den Leichtbau*. Springer-Verlag 2011
- [CICE 18] Polymer (FRP) Composites in Civil Engineering (CICE 2018), Paris 17-19 July 2018
- [Cla96] Clarke J.: *Structural Design of Polymer Composites*. EUROCOMP Design Code and Handbook. E&FN SPON, Chapman &Hall 1996
- [CLT] Cuntze R: *CLT for Laminates composed of uni-directional laminae – analysis, flow chart, and related topics*. HSB 37103-01 (Draft, Dec.2014)
- [Cun04] Cuntze R.: *The Predictive Capability of Failure Mode Concept-based Strength Criteria for Multidirectional Laminates*. WWFE-I, Part B, *Comp. Science and Technology* 64 (2004), 487-516
- [Cun05] Cuntze R: *Is a costly Re-design really justified if slightly negative margins are encountered?* *Konstruktion*, März 2005, 77-82 and April 2005, 93-98 (reliability treatment of the strength problem)
- [Cun11] *Glossary – with special emphasis put on composites*. HSB 00100-01, Issue A, 2011, 50 p.
- [Cun12] HSB 02000-01: *Essential topics in the determination of a reliable reserve factor*. Issue A, 2012, 20 pages
- [Cun13] Cuntze R.: *Comparison between Experimental and Theoretical Results using Cuntze's 'Failure Mode Concept' model for Composites under Triaxial Loadings - Part B* of the WWFE-II. *Journal of Composite Materials*, Vol.47 (2013), 893-924
- [Cun16a] Cuntze R: *Progress reached, in Static Design and Lifetime Estimation?* *Mechanik-Kolloquium*, TU-Darmstadt, December 21, 2016 (UD and isotropic materials, Extended Presentation)
- [Cun16b] *Classical Laminate Theory (CLT) for laminates composed of unidirectional (UD) laminae, analysis flow chart, and related topics*. Reworked HSB 37103-01, Draft, 2016, 58 pages. Available on Research Gate and Carbon Connected
- [Cun17] Cuntze R: *Fracture Failure of Porous Concrete Stone (foam-like), Normal Concrete, Ultra-High-Performance-Concrete and of the Lamella (sheet) - generated on basis of Cuntze's Failure-Mode-Concept (FMC)*. NWC 2017, June 11-14 Stockholm. Extended Abstract, *Symposium Handbook*, 13 pages
- [CUR] Revised CUR Recommendations 96 *FRP Bearing Civil structures in fibre reinforced polymers*. Update 2012, Draft. Civil Engineering Centre for the Implementation of Research and Regulation, The Netherlands.
- [Cur14] Curbach, M und Jesse F: *Textilbeton – Eigenschaften und Anwendungen*. 2014, Ernst &

- Sohn, 300 S.
- [DIN\_EN\_2564] *Kohlenstoffaser-Laminat. Bestimmung der Faser-, Harz- und Porenanteile.* 1998
- [DIN\_EN\_ISO 13002] *Kohlenstoffasern, Bezeichnungssystem für Filamentgarne.* 1999
- DIN 1055-100 *Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln*
- [DIN13316] *Kohlenstoffasern, Kohlestoffilamentgarne. Technische Lieferbedingungen.* 1992
- [DW29 965] *Basis of Design and Actions on Structures*
- [Eurocode 1] *Bemessung von Stahlbeton (Erweiterung um FVK geplant)*
- [EC2\_EN\_1992-1] *Gärtner C: Anwendungsrichtlinie Textilbeton.* 14.7.2018, downloadable
- [Gae18] Ghafoori E, Hosseini A, Pelissier E, Hueppi M and Motavalli M: *Application of pre-stressed un-bonded CFRP for strengthening of metallic structures.* 9th Int. Conference on Fibre-Reinforced Polymer Composites, CICE 2018, 7 pages
- [Gha18]
- [GlossWi] Glossary of textile manufacturing [Wikipedia]
- [Heg16] Hegger J and Will N: *Textile-reinforced concrete-Design Models.* In Triantafillou “Textile Fibre Composites in Civil Engineering”, Woodhead Publishing / Elsevier, 2016, pp. 189-207
- [Her15] Herrmann M.: *Gradientenbeton – Untersuchungen zur Gewichtsoptimierung einachsiger biege- und querkraftbeanspruchter Bauteile.* Diss. Uni. Stuttgart 2015
- [HPTL] 18.08 Flyer Referenzen, mA, EQ PDF (uploaded Carbon Connected). Kooperation von HPS, ENTECSOL und Indo-German Steel zur “HP-TL Consulting für Verstärkung von Bauwerken“
- [Jes10] Jesse F. und Curbach M.: *Verstärken mit Textilbeton.* Betonkalender 2010, S. 475-565
- [Kad13] Kaddour A and Hinton M: *Maturity of 3D failure criteria for fiber-reinforced composites: Comparison between theories and experiments.* Part B of WWFE-II, J. Compos. Materials 47 (6-7) (2013) 925–966
- [LiB18] *Leichtbau im Bauwesen – ein Praxis-Leitfaden zur Entwicklung und Anwendung ressourcen- und emissionsreduzierter Bauprodukte.* Fraunhofer Institut für BauPhysik IBP mit Institut für Leichtbau, Entwerfen und Konstruieren ILEK (TU Stuttgart). [www.wm.baden-wuerttemberg.de](http://www.wm.baden-wuerttemberg.de)
- [Mau06] Maurer W: *Zur Theorie des Kraftflusses,* 16. Juli 2006 <https://www.researchgate.net/publication/309845523>
- [Mil17] Mil-HDBK-17E *Composite Materials Handbook. Volume 2. Polymer Matrix Composites.* 1999
- [NAFEMS] NAFEMS Glossary, status 2018
- [Pic18] Pickett A: *Process and Mechanical Modelling of Engineering Composites.* ISBN 978-3-9819539-0-9
- [Pro17] Proske D: *Vergleich der Versagenswahrscheinlichkeit und der Versagenshäufigkeit von Brücken.* Bautechnik, 94, Juli 2017, Ernst & Sohn
- [Puc96] Puck A: *Festigkeitsanalyse von Faser-Matrix-Laminaten - Modelle für die Praxis.* Hanser-Verlag 1996, ISBN 3-446-18194-6
- [Rac87] Rackwitz R. and Cuntze R.: *System Reliability Aspects in Composite Structures.* Engin. Optim., Vol. 11, 1987, 69-76
- SAE AIR 4844 *Glossary*
- [Schu05] Schürmann H.: *Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden.* Springer-Verlag 2005
- [Schu89] Schürmann H: *Zur Erhöhung der Belastbarkeit von Bauteilen aus Faser-Kunststoff-verbunden durch gezielt eingebrachte Eigenspannungen.* Fortschritt-Berichte, Reihe 1, Nr. 170, VDI Verlag (1989)
- [SFB528] *Textile Bewehrungen zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung.* TU-Dresden, IfM, 1999-2011
- [SFB532] *Textilbewehrter Beton – Grundlagen für eine neuartige Technologie.* RWTH Aachen 2011

- [SIA-FIB] Kurath J: *Handbuch der FVK-Bewehrungsprodukte für Anwendungen im Bauwesen*. ZHAW, Winterthur
- [TB15] *Verstärken mit Textilbeton: Beton- und Stahlbetonbau Spezial*. Jan 2015, ISSN 0005-9900 A 1740 . Ernst & Sohn (Wiley)
- [TTC12] Trans Tech Composites. *Glossary General Composites Inc.*
- [TUD16] *TUDALIT-Planermappe – ein Leitfaden für planende Architekten und Ingenieure, für Ausführungsunternehmen und für Bauherren*. Erstausgabe, Dezember 2016. Verstärken mit Textilbeton nach abZ Z-31.10-182. <http://tudalit.de/planermappe/>
- [VDI2010\_Blatt 2] *Faserverstärkte Reaktionsharzformstoffe, Ungesättigte Polyesterharze (W-Harze)*. 1989
- [VDI2010\_Blatt 3] *Faserverstärkte Reaktionsharzformstoffe, Epoxidharze*. 1989
- [VDI2011] *Faserverstärkte Reaktionsharzformstoffe, Verarbeitungsverfahren*. 1973
- [VDI2014] German Guideline, Sheet 3 *Development of Fiber-Reinforced Plastic Components, Analysis*. Beuth-Verlag, 2006 (in German and English, author was convenor and co-author)
- [Wie15] Wietek B: *Faserbeton*. Springer Vieweg Verlag 2015, ISBN 978-3-658-07763-1
- [Wiki\_PR] [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Puzzolanische Reaktion&oldid=180014360](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Puzzolanische_Reaktion&oldid=180014360)
- [Wiki\_WZW] <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Wasserzementwert&oldid=178009049>
- [Wil18] Will N: Nachweis- und Prüfkonzepte für Normen und Zulassungen. *Das Arbeitspapier Bemessung – ein Beitrag zur Tragwerksplanung mit Carbonbeton*. C<sup>3</sup>-V1.2 “Nachweis- und Prüfkonzepte“. IfM, RWTH Aachen, Dresden 26. September 2018



## **Autor**

Prof. Dr.-Ing. habil. Ralf Cuntze VDI, structural engineer (Baustatiker) and hobby material modeller, formerly MAN technology, head of the Department of Structural and Thermal Analysis. Now in the Executive Board of the Network CU Construction at Composites United e.V. Augsburg. There head of the AG Design and Verification in Construction and further Head of AG Engineering in Mechanical Engineering. Since 1970 in the 'carbon business'. Editor of VDI 2014 guideline, sheet 3 "Development of components made of fiber-plastic composite (English/german in 2006) and the sheet HSB 00100-01 'Glossary' (2010). Creator of the Failure Mode Concept for establishing strength conditions for brittle materials such as isotropic concrete, transversal-isotropic UD layers (lamina, lamella) and orthotropic fabrics and thus winner of the World Wide Failure Exercise for UD materials, WWFE-I, as well as the best modeler of the test data of WWFE-II. 3D –test data modeler of spatially stressed foam, concrete stone, normal concrete, UHPC (3D test data of the IfM Dresden).

Creator of a novel, closed method of determination of lifetime curves 'N = const' based on a minimum test amount.

His initials RC for Reinforced Concrete gave him a certain obligation to begin this effortful work.

But he has already thought of the late medieval saying:

„Quid-quid agis, prudenter agas et respice fidem“!

Whatever you do, do it wisely, and think of the consequences,  
namely here the future revision of the present glossary edition!

Was auch immer Du tust, tue es klug, und denk an die Folgen,  
nämlich hier an die zukünftige Überarbeitung der vorliegenden Glossar-Ausgabe!

*(Cuntze's scientific works – inclusively this initial edition of the Glossary - were not funded)*

## **Mitwirkende**

Dipl.-Ing. Bernd Szelinski, Dasing (Lektor )

Dr.-Ing. Jan Bielak, IMB RTWH Aachen

Dr.-Ing. Marko Butler, Institut für Baustoffe TU Dresden

Dr.-Ing. Olaf Diestel, Inst. für Textilmaschinen u. Textile Hochleistungswerkstofftechnik TU Dresden

Dipl.-Ing. Thomas Radmann, Buxtehude

Dr.-Ing. Frank Purtak, Trag-Werk Ingenieure Dresden

Dipl.-Ing. Oliver Heppes, Goldbeck Bauelemente Bielefeld SE (Ordnungsschema)

M. Sc. Magdalena Kimm, ITA RWTH Aachen (Ordnungsschema)

Dr.-Ing. Horst Peters, CF-Solutions in Civil Engineering Gerlingen.

Dank für die Lieferung von Unterlagen, Bemerkungen und von Fotos:

Prof. DI B.Wietek; Dipl.-Ing. Erich Erhard, Torkret; Dipl.-Ing. Valentin Koslowski, ILEK Uni

Stuttgart; DI Matthias Egger, IKM Uni Innsbruck; Prof. Dr. Giovanni Terrasi, EMPA Schweiz; Prof.

Joseph Kurath, ZHAW Winterthur; Prof. Dr.-Ing. habil. Wilfried Becker, TU-Darmstadt.