

CCeV-Thementag , Weimar, 22.Oktober 2019

**“ Vom Werkstoff bis zur Zulassung von  
Bauteilen aus Polymermatrix und Betonmatrix ”**

## Einleitung zum Thementag

**Prof. Dr.-Ing. habil. Ralf Cuntze VDI, Baustatiker, INGENIEUR & HOBBY-WERKSTOFFMODELLIERER**

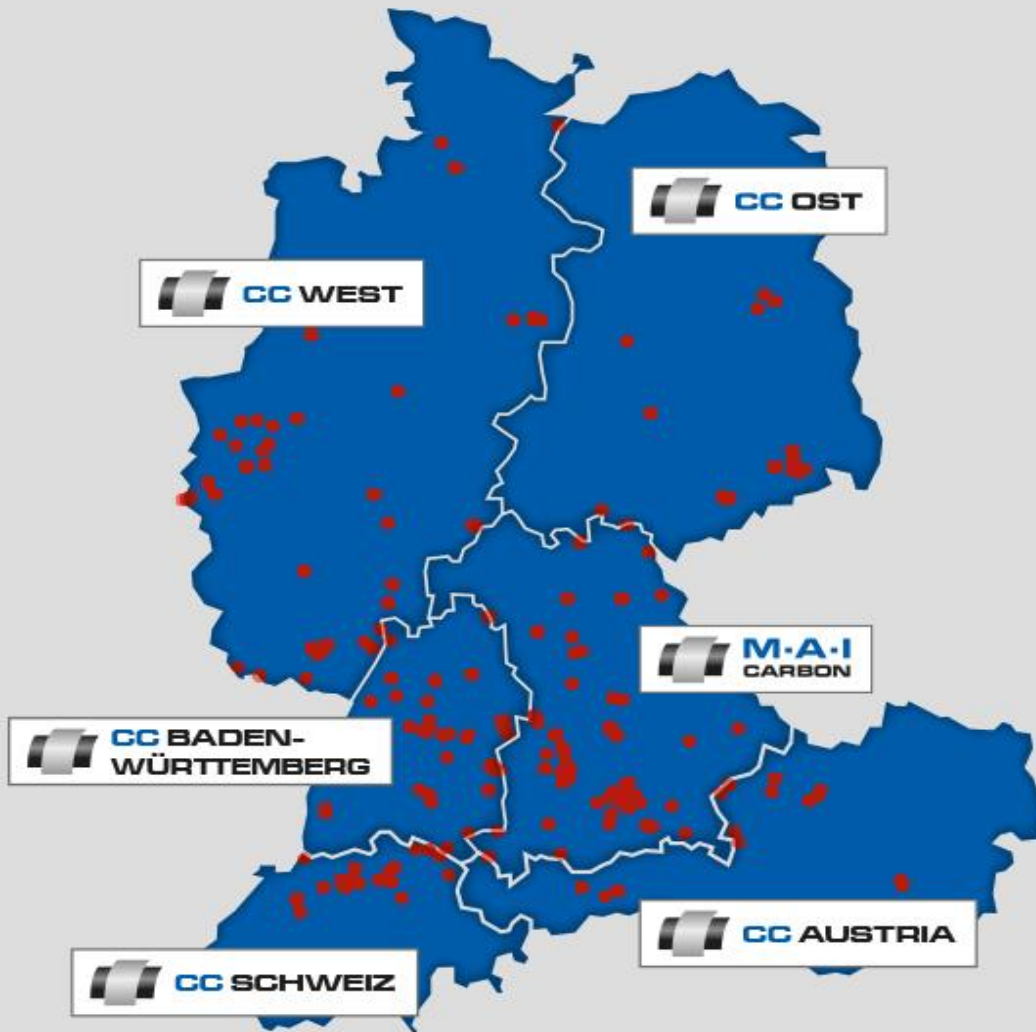
*Jetzt: verbunden mit Carbon Composite e.V. (CCeV), Augsburg.*

*Leiter der Arbeitsgruppen “Engineering“ (Maschinenbau) + “Bemessung und Nachweis” ,  
so wie kommissarisch der AG “Automatisierte Fertigung im Bauwesen”.*

*“Vater” von CC Bau und der AG ‘Composite Fatigue’.*


*Seit 1970 im ‘Carbonfaser-Geschäft’*


# Das Kompetenz-Netzwerk Carbon Composite e.V. (CCeV)



## Regionalabteilungen

 **CC BADEN-WÜRTTEMBERG** 2014

 **M-A-I CARBON** 2012

 **CC OST** 2012


 **CC WEST** 2016

 **CC AUSTRIA** 2012

 **CC SCHWEIZ** 2012

## DACH-weite Fachabteilungen

 **CERAMIC COMPOSITES** 2008

 **CC BAU** (2011)

# Gründung einer 'Fachabteilung CC Bau' beim Netzwerk CC e.V.



2 Bereiche werden im CC Bau zusammengeführt:

Textilbeton (CFK-bestimmt) +

Faser-Verstärkte Kunststoff-Bauteile (FVK, mehr GFK-bestimmt).

Betrachtete Hauptaufgabe:

“Verstärkung mit Endlosfasern” wie GFK, CFK, Textilbeton  
Erweiterung des Aufgabenbereichs um:  
“Automatisierte Fertigung im Bauwesen“

## Arbeitsgruppen (AGs)-Beginn:

Bemessung und Nachweis:	Prof.-Dr.-Ing. habil. Ralf Cuntze* VDI	(2011)
Faserverbundarmierter Beton:	Dr.-Ing. Ingelore Gaitzsch	(2016)
Faserverstärkte Kunststoffe:	Prof. Dr.-Ing. Jens Ridzewski	(2018)
Automatisierte Fertigung:	(kommissarisch: Ralf Cuntze)	(2018)

**Nach Vereinigung mit  
CFK-Valley Stade zum 1.1.2019**

**und 3-jährigem Übergang zum**

**Netzwerk  
Composites United e.V. (CU)  
aus CC Bau wird CU Bau (CUntze Bau)**

**vielleicht  
weltweit größtes Kompetenz-Netzwerk (ca. 400 Mitglieder)  
in diesem technischen Bereich**

*Heute sind wir durchgehend  
'konstruktiv' unterwegs*



**„Konstruktiver Ingenieurbau ist die Kunst,**

**Baustoffe zu verarbeiten,  
die wir nicht vollständig kennen;**

**zu Bauformen, die wir nicht exakt berechnen können,**

**damit sie Einwirkungen widerstehen,  
die wir nicht genau vorhersagen können.**

**Und dies alles auf eine Weise, die der Gesellschaft allgemein  
keinen Anlass gibt, über das Ausmaß unserer Unkenntnis zu argwöhnen.“**

*Kenneth Carper (1996)*

Evtl. auch Zitat von James Amrhein (ehemaliger Direktor des Amerikanischen Mauerwerksinstituts) in der freien pointierten Übersetzung von Professor Quast, TU Hamburg-Harburg.

# Bemessung, statisch (+ zyklisch = nicht vorwiegend ruhend)

---

## **Bewehrung:**


vorhandene Bewehrung > erforderliche Bewehrung

## **Betonmatrix, Kunststoffmatrix:**

anliegende rechnerische Spannung < Festigkeit

Ein Last-Reservefaktor  $RF > 1$   
erlaubt eine weitere Steigerung der Last  
oder analog erlaubt dies  
eine Werkstoffanstrengung  $Eff < 100\%$  !

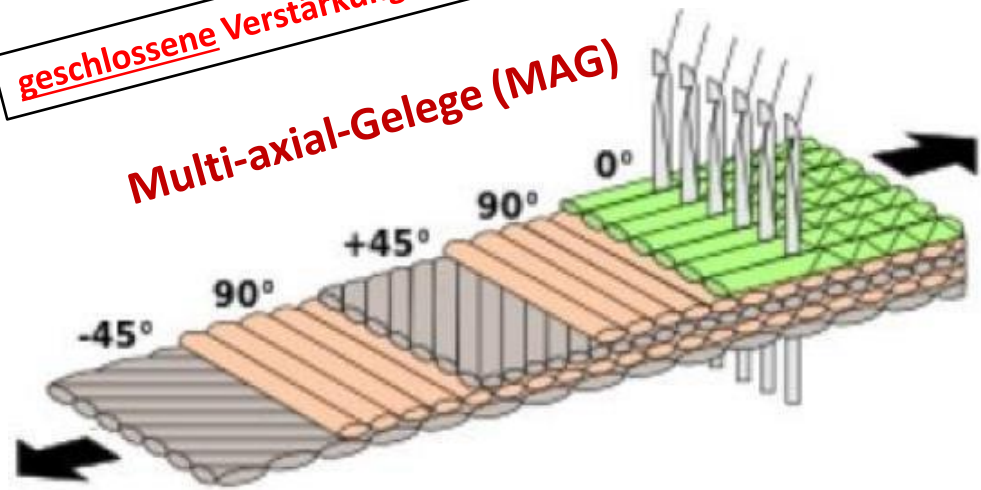
.. dabei zu erfassen sind  
Endlosfasern, Langfasern und Kurzfasern



# Endlosfaser-Bewehrung: Gelege, Gewebe, Textiles Gitter und Stab-Gitter

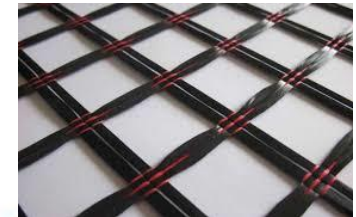
**geschlossene** Verstärkungsstrukturen [Sherif]

**Multi-axial-Gelege (MAG)**

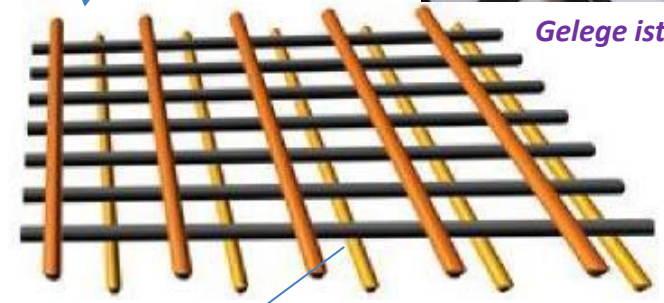


**offene** gitterartige Verstärkungs- oder Bewehrungsstrukturen [Sherif]

textiles Gitter

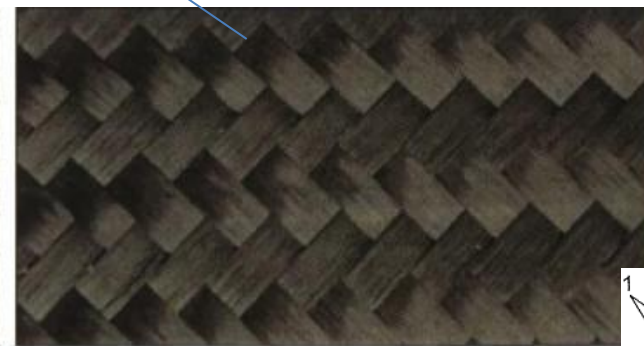


Bewehrungs-matten



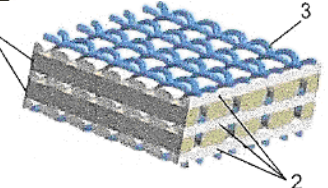
Gelege ist falsch !

UD-Gelege (≡ Lamelle), Gewebe, Stab-Gitter



**geschlossene** Verstärkungs- oder Bewehrungsstrukturen

Schicht eines Gewebe-Laminats



Lamelle ≡ Gelege-Streifen, schmaler Gelege-Streifen ≡ strip, breites Gelege-Stück ≡ sheet



Mekka, **CFK**-Pilgerweg-Konstruktion um die Kaaba. Inner  $\Phi$  80 m, 400 t CFRP  
[Premier Composite Technologie PCT, Dubai, [VancouverSun.com](http://VancouverSun.com)]

Wäre zu dimensionieren nach : BÜV-Empfehlung Stand 08 / 2010

„Tragende Kunststoffbauteile im Bauwesen [TKB] - Entwurf, Bemessung und Konstruktion – „





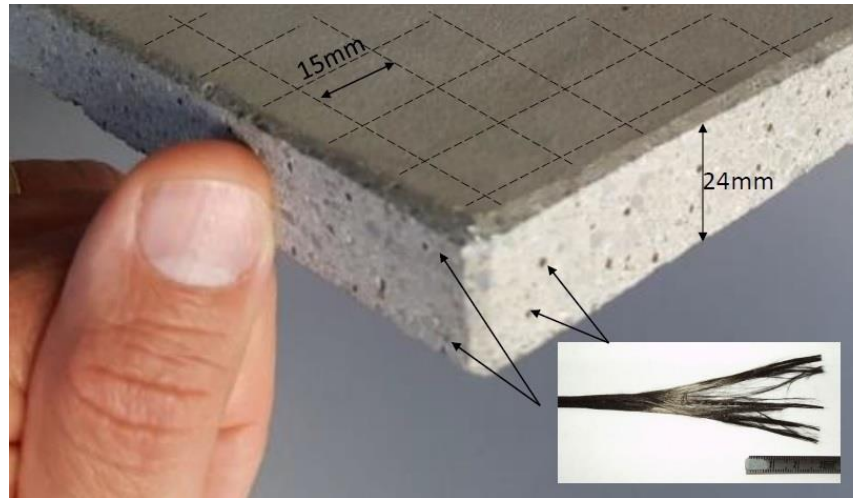
***Test tower [Jahn/Sobek] querschwingungenvermeidende GF-Gewebe-Verkleidung des Thyssen-Krupp-Testturms für Hochgeschwindigkeitsaufzüge Rottweil, 245m, und der Prophetenmoschee, Medina SA,2010 [ILEK in cooperation with SL-Rasch]***



**SOLIDIAN  
Fußgängerbrücke  
Albstadt**

**schlaffe  
Bewehrung**

**Wäre zu dimensionieren nach: D 36 DAfStb UA Nichtmetallische<sub>nm</sub> Bewehrung:  
DAfStb-Richtlinie "Betonbauteile mit nichtmetallischer Bewehrung"**



200g Carbon  
und 55kg Beton  
pro m<sup>2</sup> Platte

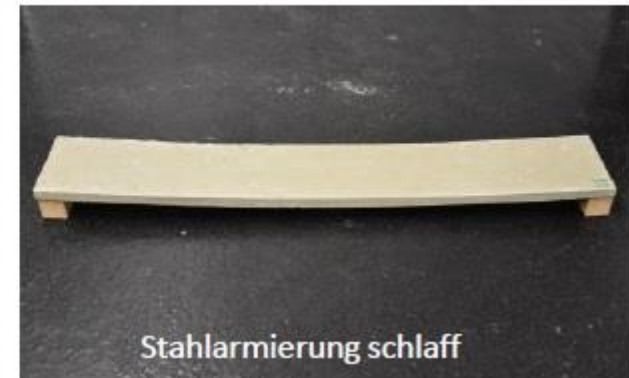
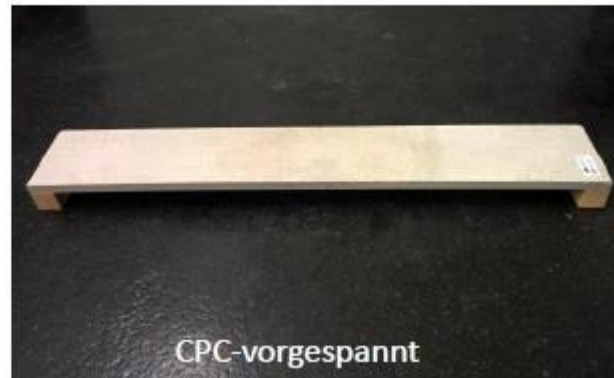


CPC 24mm

Carbon-Prestressed Concrete

Versuch

Nach dem Versuch



Bleibende Verformung aufgrund  
der gedehnten Stahllarmierung

**Vorspannung : Der Beton wird druck-aktiviert, dadurch wird die Steifigkeit des Bauteils massiv erhöht, Carbon-Festigkeit kann voll genutzt werden. Steifigkeit für Gebrauchslasten bleibt**

**Wäre wünschenswerterweise ebenfalls zu dimensionieren mit  
begonnener DAfStb-Richtlinie "Betonbauteile mit nichtmetallischer<sub>nm</sub> Bewehrung"**

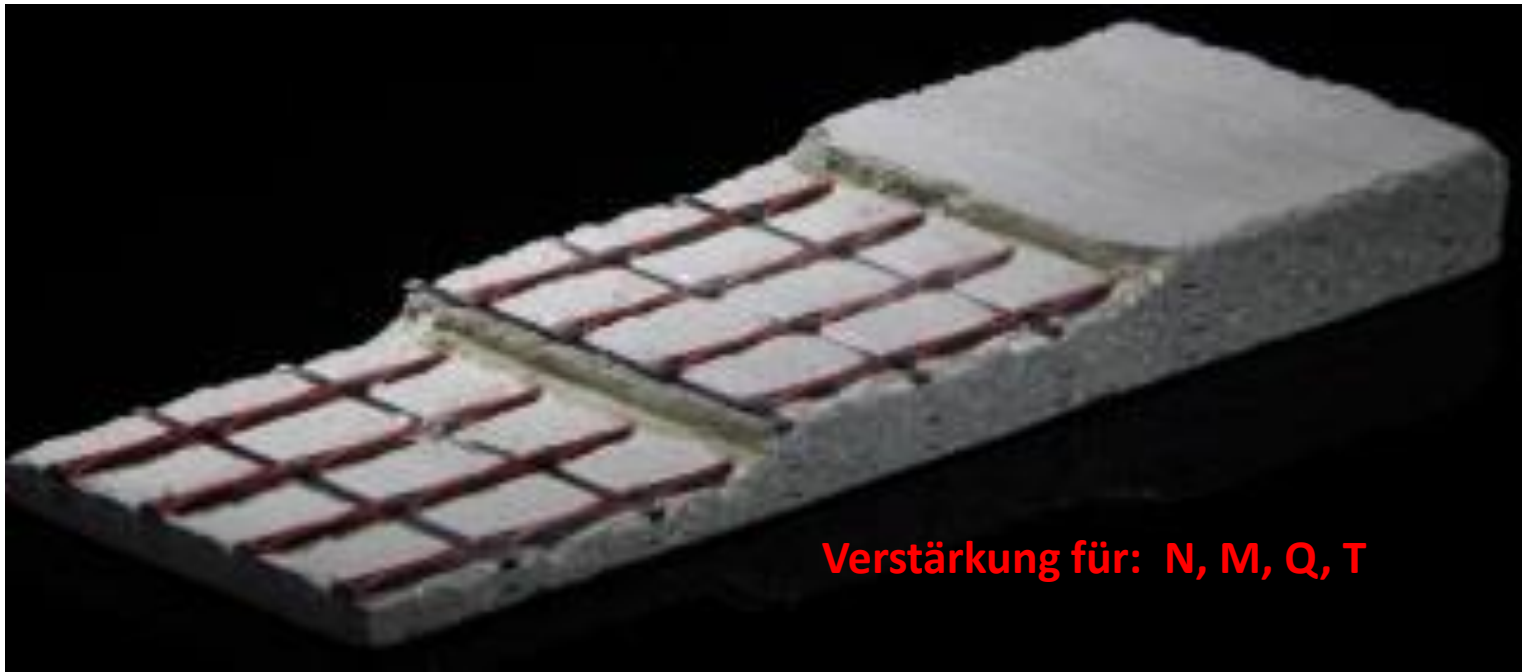
# Was muss alles im faserverstärkten Bauwesen bemessen werden?

---

**Bauteile** mit:

- Carbonbeton CB mit seiner Bewehrung aus Textil-Gitter und Stab-Gitter, sowie Verstärkung mit Lamellen
- Endlos-Faserverstärkung mit Carbon-Fasern CF, Glas-Fasern GF, Basalt-Fasern BsF (BF kennzeichnet bereits 70 Jahre die Bor-Faser), Aramidfaser AF
- GFK, CFK, BsFK
- (Kurz-)Faser(verstärktem)-Beton, oder auch langfaser-verstärkt
- Vorspannung anstatt üblicher schlaffer Bewehrung
- additiver Fertigung mittels Betonraupenablage (3-Druck ist falscher Name)

## Platte, falls das Modell “ Geschichtetes Carbonbeton-Laminat“ anwendbar ist



**Verstärkung für: N, M, Q, T**

Stichpunkte: Mittragende Breite. Unterschiedliche Gitterweite.  
Bei kleiner Gitterweite ‘verschmierbar’. Damit Anwendungsmöglichkeit der sog. ‘Schichtenweise Bruchanalyse’ der sich aus ‘verschmierten Schichten zusammensetzenden Platte gemäß der klassischen Laminat-Theorie (CLT). *Dazu siehe auch VDI 2014 “Entwicklung von Bauteilen aus Faserkunststoffverbund – Blatt 3, Berechnung” (2006, Herausgeber R. Cuntze, englisch und deutsch)*

**Wäre wünschenswerterweise ebenfalls zu dimensionieren mit  
beginnener DAfStb-Richtlinie “Betonbauteile mit nichtmetallischer<sub>nm</sub> Bewehrung“**

# Modellwahl, als **Verbundwerkstoff** oder **Werkstoffverbund** ?

---

**Verbundwerkstoff:** ‚*composite material*‘

hoffentlich **homogenisierbar** und dann als homogenisierter Verbund über seine ‘verschmierten‘ Verbundeigenschaften **modellierbar** und berechenbar.

*(Beispiele: (Kurz-)Faserbeton, SMC, UD-Schicht-Lamelle, prinzipiell der Beton bereits auch).*

**Werkstoffverbund:** ‚*material composite*‘, Verbund unterschiedlicher Werkstoffe, bei denen strukturmechanisch bereits eine Verbundkonstruktion vorliegt.

Wie „Carbon Concrete **Composite**“ (≠ Verbundwerkstoff !)

*(Beispiele sind Textilbewehrung im Beton, Sandwich-Halbzeug, Metall mit CFK-Verstärkung, Stab-Verstärkungsgitter.*

*Es handelt sich um Werkstoff-Komponenten, die praktisch selten zu einem Werkstoff verschmiert werden können. Leider wird Textilbeton trotzdem oft einfach als Verbundwerkstoff bezeichnet !)*

# aus Impulsseminar DIBt : 11. Carbon- und Textilbetontage

## „Verfahren für eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung abZ /allgemeine Bauartgenehmigung aBG“

---

- Das DIBt 'kümmert' sich um ein Verfahren für eine abZ mit aBG
- In der Abteilung 'Konstruktiver Ingenieurbau' wurden thematisiert:
  - Bauteile aus Textilbewehrtem Beton + Nichtmetallische Bewehrung aus Faser-Verbund-Werkstoff (FVW)
- Stand der Normung mit 'Nicht-metallischer Bewehrung':
  - \* EN 1992-1.1 für FVW-Stäbe, CFK-Verstärkung, Klebung von Lamellen
  - \* DAfStb-Richtlinie zur Bemessung von Betonbauteilen mit 'Nicht-metallischer Bewehrung' wird erstellt (umfassender als EN 1992, derzeitiger Entwurf wird derzeit überarbeitet)
- Bei "Abweichung" von der Technischen Baubestimmung oder „ungeregelt“ ist generell abZ + aBG erforderlich (Solidian erfüllt: Sandwichwand, Kleingebäude).  
Zumindest ist Zustimmung im Einzelfall ZiE notwendig.

# Unterschiedliche Festlegungen bemerkt

---

.. Wie bei Charakteristische Festigkeit  $f_k$  bei FVW-Bewehrung: Ständige Lasten

- Definition als Mittelwert – 3 x Standardabweichung (Annahme: ND, obwohl physikalisch nicht interpretierbare negative Zug- und Druckfestigkeiten auftreten können und nicht **logND** ?)

Üblich doch bei FVW: 5%-Fraktile mit **C=70% Vertrauenswahrscheinlichkeit** beim Übergang

Probekörper→Grundgesamtheit

- Reduktion durch **Umweltfaktor  $C_E$** : Textilgitter 0.6, Stäbe 0.5 (< als für den Faserstrang im Gitter?)
- Teilung durch **partiellen Sicherheitsfaktor** für die Festigkeit, Biegung mit Normalkraft:

$\gamma_{nm}$  Textilgitter (1.5 DIBt) 1.3, Stab 1.3. Gegenüber Beton mit  $\gamma_c = 1.5$

*WEITER: bei neuen Festlegungen  
Es sind Selbsterklärende Bezeichnungen oder Indizes gefragt,  
aufbauend auf bereits sinnvollen vorhandenen!*



C3 V1.2 PG1+PG2  
DAfStb D 152

# Arbeitspapier Bemessung

Sicherheitskonzept, Bemessungs- und Konstruktionsregeln, Prüfverfahren

29. Entwurf vom 15. April 2019

Es gilt die Vorzeichenregelung nach EC 2 (Druck „+“; Zug „-“)

*Auch wir Bauleute  
leben nicht in einer  
eigenen Begriffswelt !*

BMBF-Förderkennzeichen: 03ZZ0312

**Wie konnte es dazu kommen, dass man in der EC 2  
mit dieser Vorzeichenregelung**

- *eine mathematische Festlegung umgekehrt wird und es auch*
- *umgekehrt als in anderen Ingenieurdisziplinen gemacht wird, sowie*
- *inkompatibel zu den für Beton unter Druck heranzuziehenden  
Mohrschen Spannungen  $\sigma_I > (\text{positiver}) \sigma_{II} > \sigma_{III}$  ist?*

**Lösungsvorschlag: wie in anderen Ingenieurdisziplinen:**

**t = tensile, c = compressive** nicht mehr c für concrete (das heißt EC 2 nicht)

*FEA-Manual- Gebrauch  
ist de-harmonisiert !!*

***Wie wollen wir aber leicht und sinnvoll nachhaltig bauen,  
wenn keine Harmonisierung der folgenden Unterlagen erfolgt ?***

**D 36 DAfStb UA Nichtmetallische<sub>nm</sub> Bewehrung: (Entwurf, derzeit überarbeitet)  
DAfStb-Richtlinie "Betonbauteile mit nichtmetallischer Bewehrung".**

**Anwendungsbereich dieser DAfStb-Richtlinie**

Dieses Dokument gilt für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Hoch- und Ingenieurbauten aus Beton, die mit nichtmetallischen Bewehrungselementen bewehrt sind. Bewehrungselemente sind dabei in der Regel Stäbe und bi-axiale Gitter.

**BÜV-Empfehlung Stand 08 / 2010 (Neuentwurf, derzeit überarbeitet)**

**"Tragende Kunststoffbauteile im Bauwesen [TKB] - Entwurf, Bemessung und Konstruktion – „**

**VDI 2014 Richtlinie, Blatt 3, 2006**

**"Entwicklung von Bauteilen aus Faserkunststoffverbund – Berechnung".**

***Basierend auf unseren früheren Holzbauern: Schichtbrettanalyse***

HINWEISE, wo man Informationen holen kann:

\* STANDARD DNV GL AS: DNVGL-ST-0376 Edition December 2015, „**Rotor blades for wind turbines**“  
*electronic pdf version of this document free of charge under <http://www.dnvgl.com>*

\* STANDARD DNVGL-ST-C501 Edition August 2017, "**Composite components**"

\* Es wird weiter an einer "**Bundesbahnrichtlinie für FVW-Frontstrukturen**" gearbeitet

# Zwei Fragen, die mich umtreiben

---

## ❖ Bemessungsannahme:

„Beton unter Zug ist als gerissen zu betrachten“.

Ist dies im Sinne von **Nachhaltigkeit** bei den neuen Betonsorten noch aufrecht zu erhalten ?

## ❖ Bemessungskennlinie:

**Abminderung der mittleren Spannungs-Dehnungs-Kurve** über die charakteristische Kennlinie, nach Eurocode 2 mit 5%-Quantile, zu einer durch einen Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma$  weiter abgeminderten Bemessungskennlinie.

### Erlebtes Wissen *In der Strukturmechanik:*

*„Laut Probabilistik führt die Mittelwertkurve zu dem höchsten erreichbarem, nämlich einem 50%-Erwartungswert des Verformungsverhaltens des Bauteils“. Das gilt prinzipiell auch für die Ermittlung der Schnittgrößen.*

*Die Spannungs-Dehnungskurve ist eine sogenannte Physikalische Größe. Dies sind Größen, welche in der Regel mit ihren Mittelwerten in die Rechnung eingesetzt werden.*

*Abminderungen müssen für die Vorhersage des Verformungsverhaltens von üblicherweise statisch unbestimmten Tragwerken nicht konservativ sein. Diskussion mit Rüdiger Rackwitz (1986, IfM TUM, Kupfer, GruSiBau) bei der Initialisierung des partiellen Sicherheitskonzeptes.*

**Wo stehen Anwendungsgrenzen für die Benutzung obiger Bemessungskennlinie?**

*Bemessung + Nachweis können nur sehr selten in einem Schritt durchgeführt werden. Bei statisch bestimmten Tragwerken, wie Einfeldträgern,.*

# Zu den Sicherheitskonzepten (Nachweisformat mit $Eff = 100\%$ , GZT)

Aus Sicht Reservefaktor: *Wie weit kann man die Einwirkung (Last) deterministisch noch steigern?*

## Konzept der 'Zulässigen Spannungen' mit abgeminderten Widerständen: $W/j$

Einwirkung (action  $S$ )  $E < W/j$  (= statistisch abgeminderter Widerstand / pauschalen Sicherheitsbeiwert  $j$ )

linear elastisch, Spannungsniveau: hier gilt  $E (\equiv S) = \text{Spannung } \sigma$ ;  $R = \text{Festigkeit } \equiv f$

$\rightarrow RF$  (spannungsbezogen) =  $(R/j) / \sigma(E) > 1$  (ungeeignet für nichtlineare Probleme, Th. 2. Ordnung)

zul $\sigma = R / j$

## Konzept der Erhöhten Einwirkungen: $E \cdot j$

Einwirkung  $E$  / pauschalen Sicherheitsbeiwert  $j < R$  (statistisch abgeminderter Widerstand  $R$ )

linear elastisch, Spannungsniveau:  $\rightarrow RF$  (spannungsbezogen) =  $R / \sigma(E \cdot j) > 1$

nicht-linear elastisch, Traglastniveau  $\rightarrow RF$  (lastbezogen) =  $W / (E \cdot j) > 1$

Begriff  
Zul.-Spannung

(semiprobabilistisches) Konzept der Partiiellen Sicherheitsbeiwerte: vereinfacht  $\gamma$ , DIN EN 1990 \*

linear elastisch, Spannungsniveau:  $\rightarrow RF = (R_{\text{charakt Material}} / \gamma_{\text{Tragwiderstand}}) / (\sigma \cdot \gamma_{\text{Einwirkung}}) > 1$

nicht-linear elastisch, Traglastniveau:  $\rightarrow RF = (W_{\text{charakt}} / \gamma_{\text{Tragwiderstand}}) / (E \cdot \gamma_{\text{Einwirkung}}) > 1$ .

Begriff  
Zul.-Spannung

*Ein erlaubter Wert  $RF = 1.03$  kann aufgrund der Nichterfassung der Wahrscheinlichkeit von Kombinationen der unsicheren Bemessungsvariablen ein größeres Risiko enthalten als  $RF = 0.97$  in einem anderen Fall !!*

Da Sicherheitsbeiwerte  $j$ ,  $\gamma$  und damit auch  $RF$  keinen Hinweis zu einer Versagenswahrscheinlichkeit  $p_f$  geben können, wird der sog. Zuverlässigkeitsindex  $\beta$  (Annahme nur NV) herangezogen. Er ist risikobezogen geknüpft an die Zuverlässigkeitsklassen RC1 – RC3, die direkt mit den Schadensfolgeklassen CC1 bis CC3 verbunden sind. Werte für 50 Jahre sind: RC1-CC1 ( $\beta = 4.3$ ) oder RC3-CC3 ( $\beta = 3.3 \rightarrow p_f = 1 - 0.99903$  mit NV (Gauss)-Wahrscheinlichkeitsintegral  $\Phi(-\beta) = 1 - \Phi(\beta) = p_f$ )\*\*.

$RF < 1$  bedeutet nicht Bruch, sondern dass die angestrebte Bruchversagenswahrscheinlichkeit von den ca.  $10^{-7}$  für 50 Jahre Lebensdauer - variationsgrößen abhängig - um Zehnerpotenzen - abnimmt, wie für  $RF = 0.96$ .

Dies liegt daran, dass die Kombinationen der einzelnen streuenden Einwirkungen (wie Ständige Einwirkungen  $G$ , Veränderliche Einwirkungen  $Q \cdot \psi$ , mit  $\psi < 1$  als Auftretenshäufigkeit-berücksichtigender Kombinationsbeiwert), sowie der streuenden Widerstände zur Wirkung kommen (probabilistisch berücksichtigbar) oder anders, dass es unwahrscheinlich ist, dass die ungünstigsten Kombinationen gleichzeitig auftreten.

\* Holschemacher K: *Entwurfs- und Berechnungstabellen für Bauingenieure*, 6. Auflage, Bauwerk Beuth, 2013

\*\* Cuntze R: *Is a costly re-design justified if slightly negative Safety Margins (=  $RF < 1$ ) are encountered.*

Konstruktion, März 2005, 77-82; April 93-98. Probabilistische Bewertung in einem Rechenbeispiel.

Für **Tragwerksplaner und Bauausführende**  
ein Satz aus dem Codex Hammurabi  
(babylonischer König, 1728-1686 v. Chr.)

Wird beim Einsturz Eigentum zerstört, so stelle der Baumeister wieder her, was immer zerstört wurde, weil er das Haus nicht fest genug baute, baue er es auf eigene Kosten wieder auf. *Gilt wohl heute nicht mehr!*

***Zur Vermeidung von Problemen  
müssen wir das Gesamtverständnis der zu lösenden Aufgabe verbessern!***

***In diesem Sinn wurde die Agenda von mir aufgesetzt und  
durch kompetente Vortragende inhaltlich realisiert.***

Dank für Ihre/Eure Bereitschaft mitzuwirken.

# „Vom Werkstoff bis zur Zulassung von Bauteilen aus Polymermatrix und Betonmatrix“

8:30	Registrierung der Teilnehmer, Begrüßungskaffee
8:45	Einführende Worte mit Ausrichtung CC Bau. R. Cuntze / J. Ridzewski
9:00	Vorstellung Institut: Dr.-Ing. Barbara Leydolph, IAB Weimar
9:15	Verwendete Baustoffe mit Schwerpunkt Carbonbeton: M. Butler, Institut für Baustoffe, TU Dresden
9:30	Fertigungsverfahren: Bauteile mit Polymermatrix. J. Ridzewski, IMA Dresden
10:00	Fertigungsverfahren: Bauteile mit Betonmatrix. G. Eisewicht, BCS Natur- und Spezialbaustoffe GmbH Dresden
10:30	Kaffeepause
11:00	Festigkeitsmodellierung der Baustoffe Beton und Lamelle. R. Cuntze, CC Bau Augsburg
11:30	Lasten, Sicherheitskonzept und Zulassungsaspekte. S. Rempel, Solidian Albstadt
12:00	Dimensionierungsbeispiel, GFK-Behälter (nach BÜV 2010). M. Oppe, Büro Knippers-Helbig Stuttgart
12:30	Mittagspause
13:30	Dimensionierungsbeispiel, Faserbetonbauteil. B. Wietek, Sistrans, Tirol
14:00	Dimensionierungsbeispiel, CF-Textilbeton-Bauteile: S. May, Carbocon-GmbH. Dresden Dr. Bochmann
14:30	Dimensionierungsbeispiel, CLT-Modellierung und Bemessung einer Textilbeton-Schale. D. Franitza, FE-Union GbR, Chemnitz
15:00	Kaffeepause
15:30	Abteilungsversammlung - CC Bau
17:30	Get Together

Wir freuen uns auf Ihre Beiträge Ihr Ralf Cuntze und der weitere CC Bau-Vorstand