



Seit 1969.

Untersuchungen zur baupraktischen Anwendung von Carbonbeton in Neubauteilen

Berlin | 20. April 2017

Oliver Heppes



Fachkolloquium II/2017

„Entwicklungen bei nichtmetallischer Bewehrung“

Inhalt

Agenda

Untersuchungen zur baupraktischen Anwendung von Carbonbeton in Neubauteilen

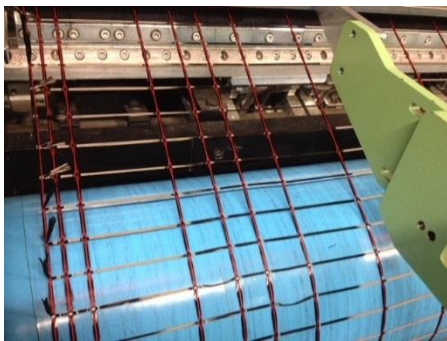
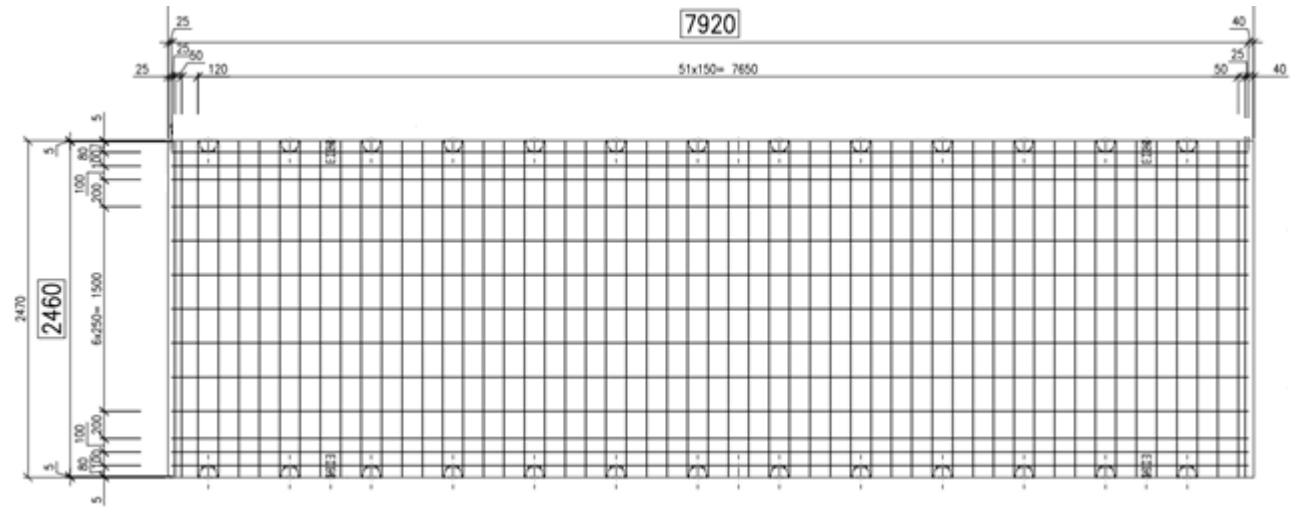
- **Untersuchungen (Versuche)**
 - Entwicklung eines Textils
 - Bauteilversuche
 - Materialversuche
 - Ergebnisse

- **Anwendung Carbonbeton**

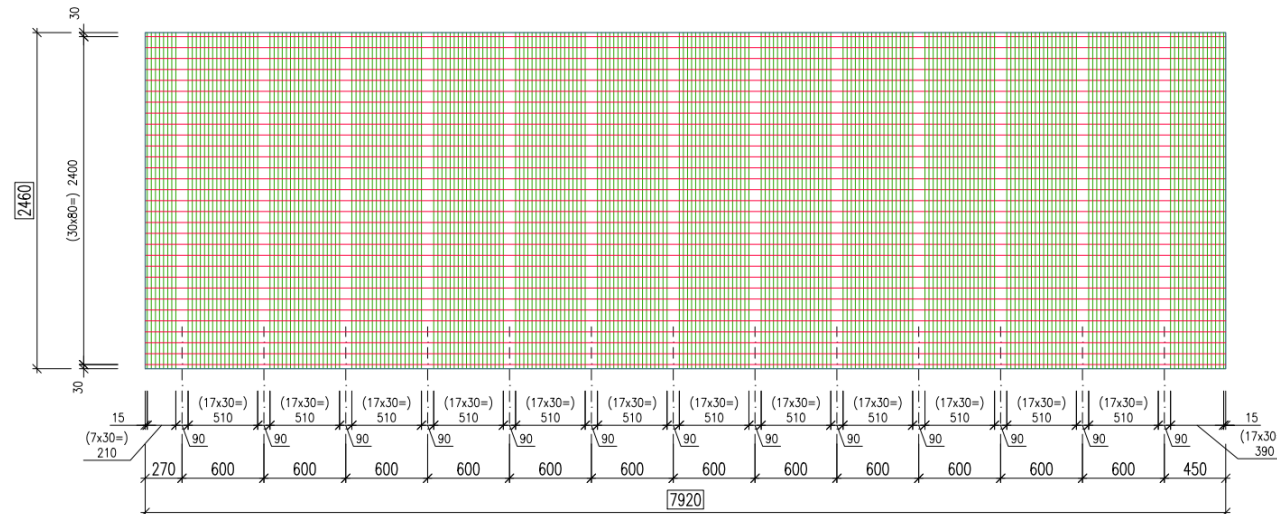
Carbondeckenplatte

Untersuchungen – Entwicklung eines Textils

Stahlbewehrung



Carbonbewehrung



Carbondeckenplatte

Untersuchungen – Entwicklung eines Textils

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	
6	1. System:																
7																	
8																	b = 8,00 [m]
9																	l = 2,70 [m]
10																	h _c = 2,50 [m]
11																	a = 2,70 [m] (Auflagertiefe)
12	8,00 m																
13	leff = 2,65 m																
14																	
15	2. Dauerhaftigkeit:																
16																	
17	Plattenunterseite:	Expositionsclassen XC3, XF1, WF															
18		erforderliche Betongüte: C25/30 → vorhandene Betongüte: C40/50															
19		gewählte Betonüberdeckung: → c _{vorh} = 21 mm (Carbonbewehrung)															
20																	
21	Plattenoberseite:	Expositionsclassen XC4, XD3, XF4, WA															
22		erforderliche Betongüte: C30/37 LP → vorhandene Betongüte: C40/50 LP															
23		Betonüberdeckung: c _{nom} = 40 - 5 + 15 - 5 = 45 mm = c _{vorh}															
24																	
25	Abminderung c _{min} um 5 mm, da die vorhandene Betonfestigkeitsklasse um 2 Festigkeitsklassen höher																
26	als die Mindestbetonfestigkeitsklasse liegt.																

150			
151	Betonfestigkeitsklasse:	C 40/50	α _c = 0,85
152	Teilsicherheitsbeiwert:	γ _c = 1,5	f _{ck} = 40 [N/mm ²]
153			f _{cd} = α _c · f _{ck} / γ _c = 22,7 [N/mm ²]
154			
155	Textilfestigkeitswerte (aus Versuchen):		f _{t, tex} = 2000 [N/mm ²]
156	Teilsicherheitsbeiwert:	γ _{tex} = 1,3	f _{t, tex, d} = 1538 [N/mm ²]
157	Achsabstand der Rovings:		s = 30 [mm]
158	Tex der Rovings:		X = 3200 [tex]
159	Dichte des Materials:		ρ = 1,8 [g/cm ³]
160	Äquivalenter Bewehrungsquerschnitt:		A _{vorh} = 0,59 [cm ² /m]

164	6.1 Biegebemessung für Flächenlast:		
165			
166	Einwirkendes Bemessungsmoment:	M _{Ed} = 6,99 [kNm/m]	
167		Druckzonenhöhe x _c = 3,9 [cm]	
168		innerer Hebelarm z = d - 0,5 · x _c = 6,3 [cm]	
169	Einwirkende Bemessungszugkraft in der Bewehrung:	Z _{Ed} = M _{Ed} / (z / 100) = 111,5 [kN/m]	
170	Erforderlicher Bewehrungsgehalt:	A _{erf} = Z _{Ed} / (f _{t, tex, d} / 10) = 0,47 [cm ² /m]	
171		A _{vorh} = 1,19 [cm ² /m]	
172	Nachweis:	η = A _{erf} / A _{vorh} = 0,40 ≤ 1	
173			
174			
175	6.2 Biegebemessung für Einzellast am freien Plattenrand:		
176			
177	Einwirkendes Bemessungsmoment:	M _{Ed} = 12,82 [kNm/m]	
178		Druckzonenhöhe x _c = 7,2 [cm]	
179		innerer Hebelarm z = d - 0,5 · x _c = 4,6 [cm]	
180	Einwirkende Bemessungszugkraft in der Bewehrung:	Z _{Ed} = M _{Ed} / (z / 100) = 279,2 [kN/m]	
181	Erforderlicher Bewehrungsgehalt:	A _{erf} = Z _{Ed} / (f _{t, tex, d} / 10) = 1,19 [cm ² /m]	
182		A _{vorh} = 1,19 [cm ² /m]	
183	Nachweis:	η = A _{erf} / A _{vorh} = 1,30 ≤ 1	
184			
185			
186	6.3 Biegebemessung für Einzellast vom freien Plattenrand entfernt:		
187			
188	Einwirkendes Bemessungsmoment:	M _{Ed} = 8,48 [kNm/m]	
189		Druckzonenhöhe x _c = 4,7 [cm]	
190		innerer Hebelarm z = d - 0,5 · x _c = 5,9 [cm]	
191	Einwirkende Bemessungszugkraft in der Bewehrung:	Z _{Ed} = M _{Ed} / (z / 100) = 144,9 [kN/m]	
192	Erforderlicher Bewehrungsgehalt:	A _{erf} = Z _{Ed} / (f _{t, tex, d} / 10) = 0,62 [cm ² /m]	
193		A _{vorh} = 1,19 [cm ² /m]	
194	Nachweis:	η = A _{erf} / A _{vorh} = 1,03 ≤ 1	

Betonier(en)versuch

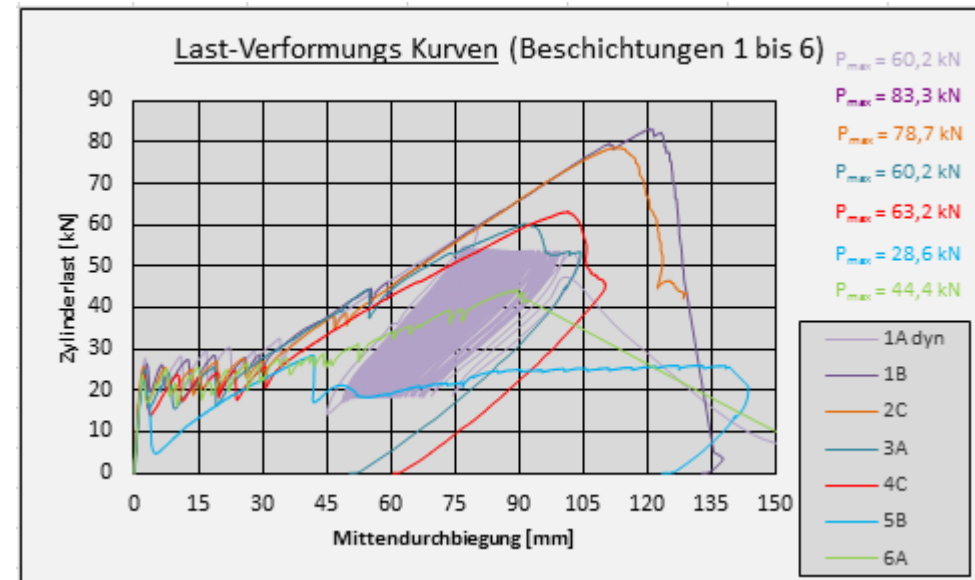
Untersuchungen – Bauteilversuche



Mögliche Stellparameter:

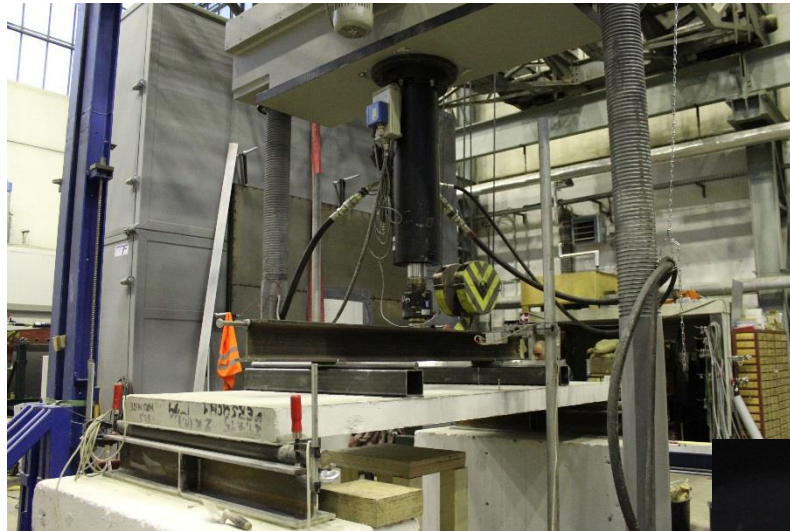
- Steifigkeit Textil
 - Beschichtungen
 - Machenweite (Geometrie)
 - Auswahl Rovinggröße (Bsp. 24k, 48k, usw.)
 - Auswahl Material
- Betonrezeptur
- Betonierprozess (Maschinenbau)
- Abstandhalter

(Haupt)Entscheidung: Beschichtung



Traglastversuche

Untersuchungen – Bauteilversuche



Feldversuch

Untersuchungen – Bauteilversuche



Kollaps:

- Bei ca. 45 % der prognostizierten Versagenslast
- Nach ≈ 3 Tagen unter Dauerbeanspruchung

→ Dauerstandproblem

Materialversuche

Untersuchungen – Materialversuche

Zugfestigkeit von Rovings

Unterschiedliche Auffassung

- Carbonhersteller
- Carbonverarbeiter (Textilhersteller)
- Hersteller Beschichtungen
- Prüfinstitutionen

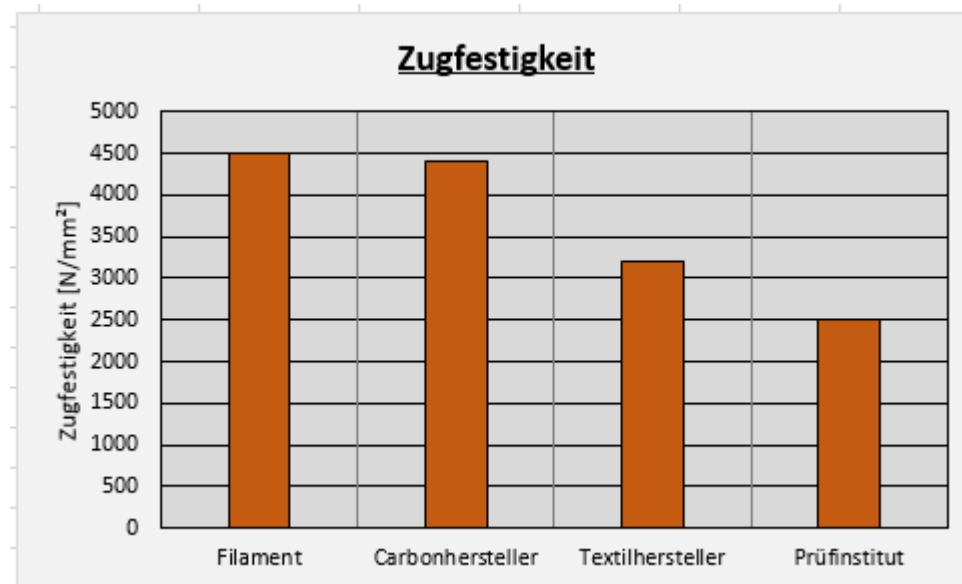
(Beispiel)zugfestigkeit von Carbon:

4500 N/mm² Filament

4400 N/mm² Roving (Carbonhersteller)

3200 N/mm² Roving aus Textil (Textilhersteller)

2500 N/mm² Roving aus Textil (Prüfinstitut)



Jeder fuhr Versuche mit anderen Annahmen, Voraussetzungen, Probengeometrien, ...

→ unterschiedliche Ergebnisse von Festigkeitswerten und Streuungen

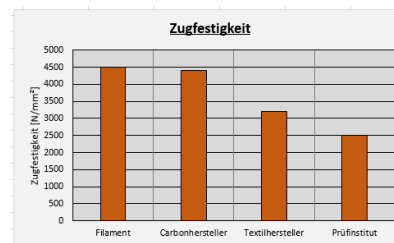
→ große Auswirkungen auf die Dimensionierung von Bauteilen

→ große Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit

Dauerstandversuche

Untersuchungen – Materialversuche

- 4500 N/mm² Filament
- 4400 N/mm² Roving (Carbonhersteller)
- 3200 N/mm² Roving aus Textil (Textilhersteller)
- 2500 N/mm² Roving aus Textil (Prüfinstitut)



Prüfvoraussetzungen:

- ph = 13,7
- Temperatur T = 40 °C
- Prüfung unmittelbar nach Entnehmen

Ausgehend von 2500 N/mm² (Mittelwert) versagten die Rovings bei einer Dauerbeanspruchung von **60 %** (1500 N/mm²) nach minimal 2 Stunden bis maximal 6 Tagen!

Ergebnisse waren eine Motivation für GOLDBECK der Sache auf den Grund zu gehen!

Abhängigkeiten:

- Lastniveau
- ph-Wert
- Temperatur
- Ausbildung der Knotenpunkte im Textil
- Ausbildung der Rovings
- Feuchtigkeit
- **Beschichtung**

Zur Zeit laufen Dauerstandversuche mit

- ph = 13,7
- T = 45 °C (zuvor 40 °C)
- ca. 2000 N/mm²

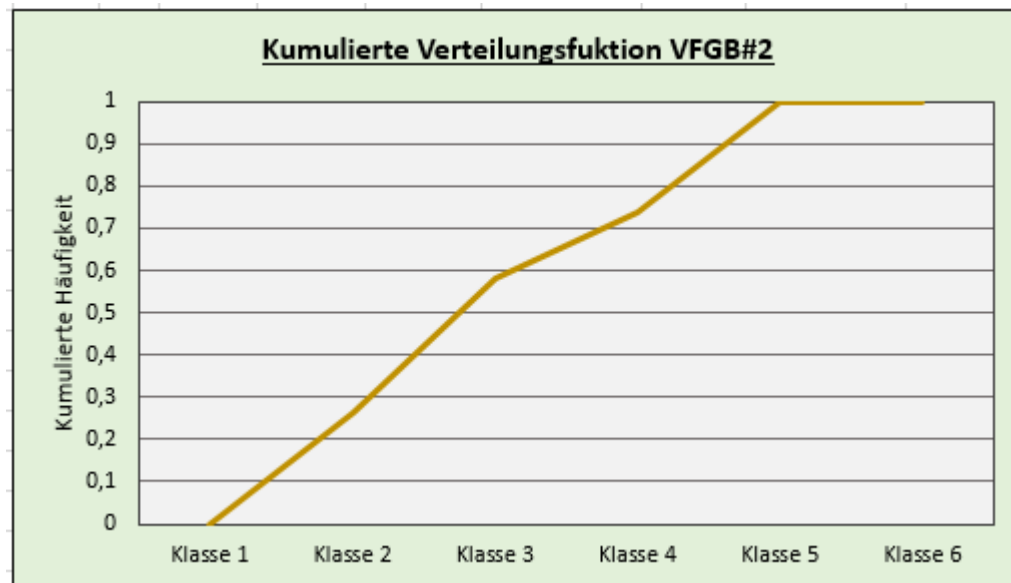
seit mehr als 3 Monate stabil!

(Seit 1 Woche mit 2500 N/mm²)

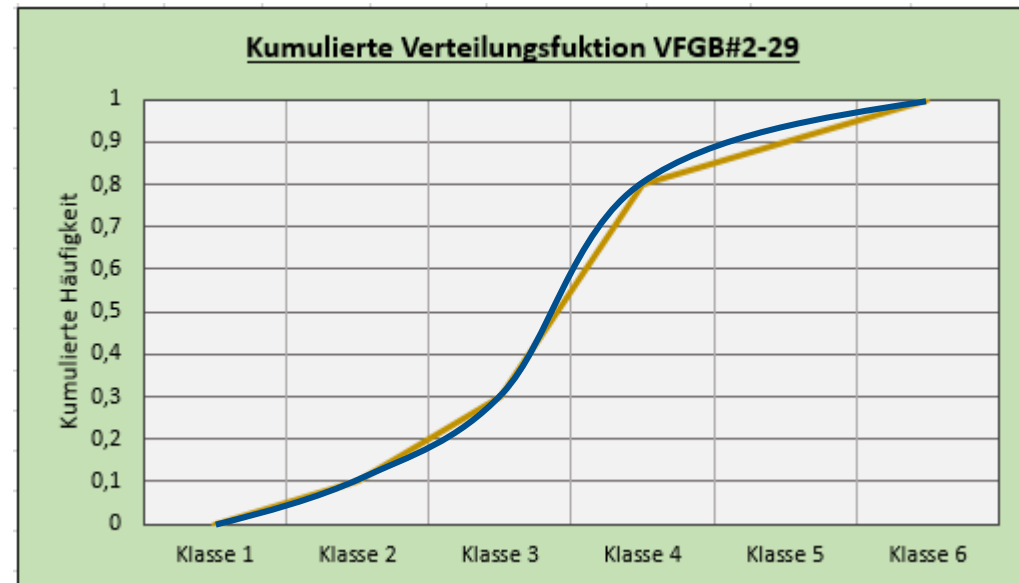
Ergebnisse

Untersuchungen – Ergebnisse

Zugprüfungen (T=45 °C, pH=13,7)



Zuverlässigkeitsindex β für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (50 Jahre):
 $\beta > 3,8$ (hier 22,9)

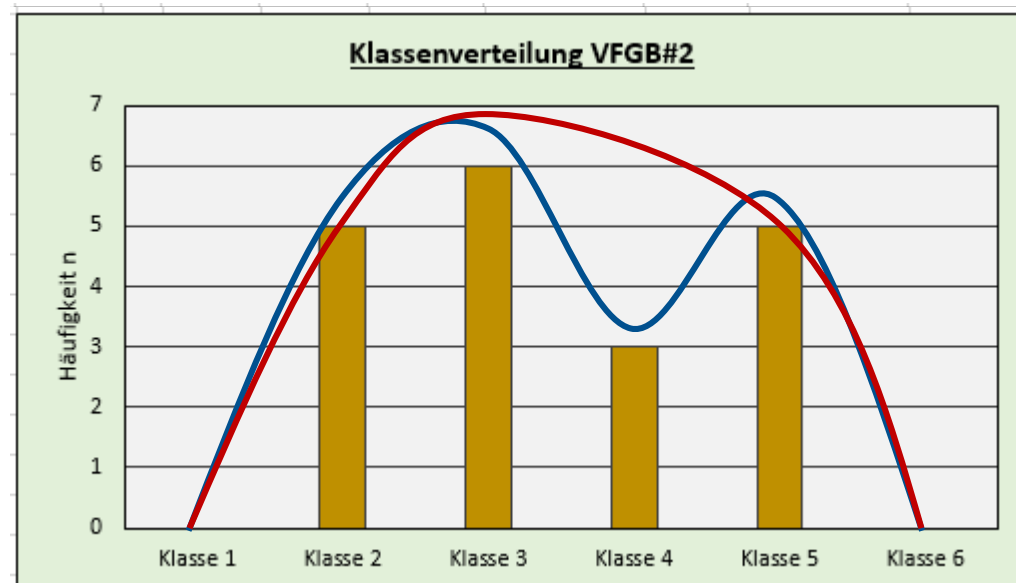
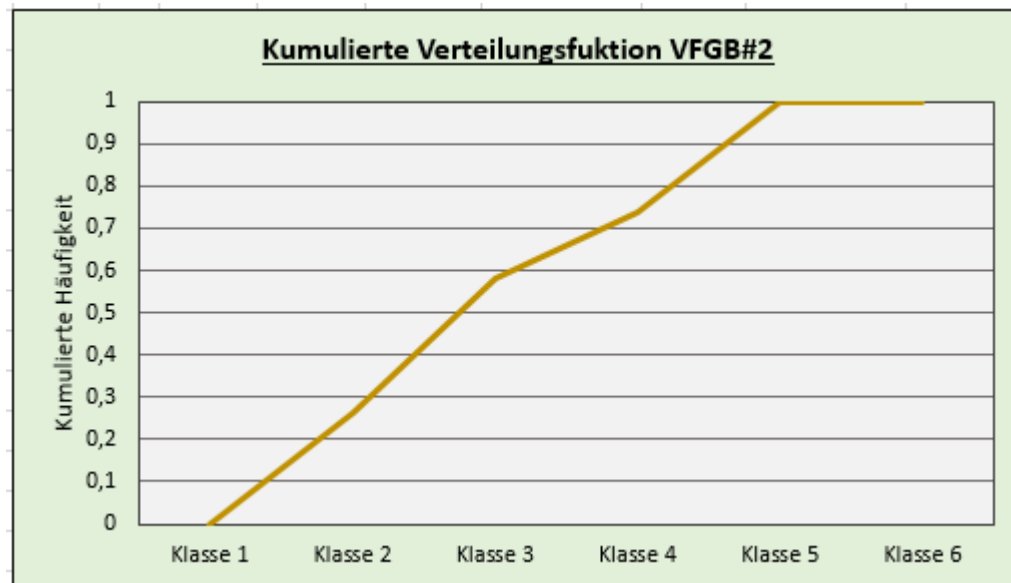


Typischer S-Kurven Verlauf

Ergebnisse

Untersuchungen – Ergebnisse

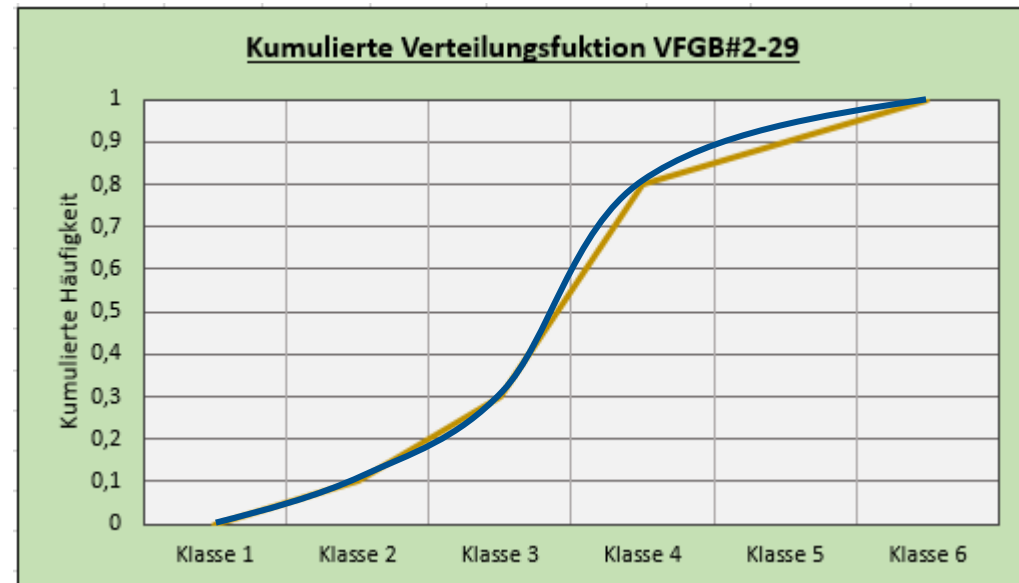
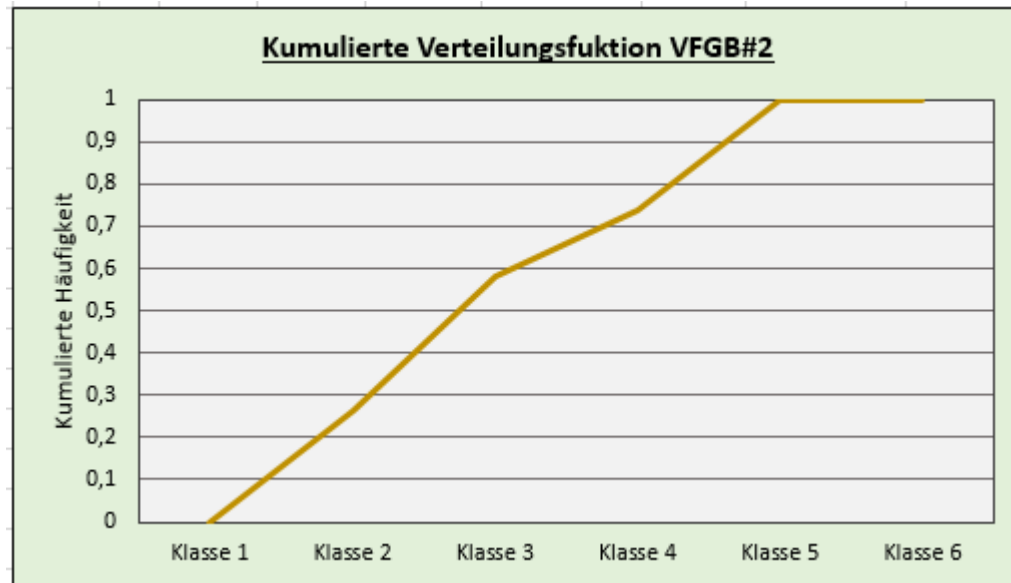
Zugprüfungen (T=45 °C, pH=13,7)



Ergebnisse

Untersuchungen – Ergebnisse

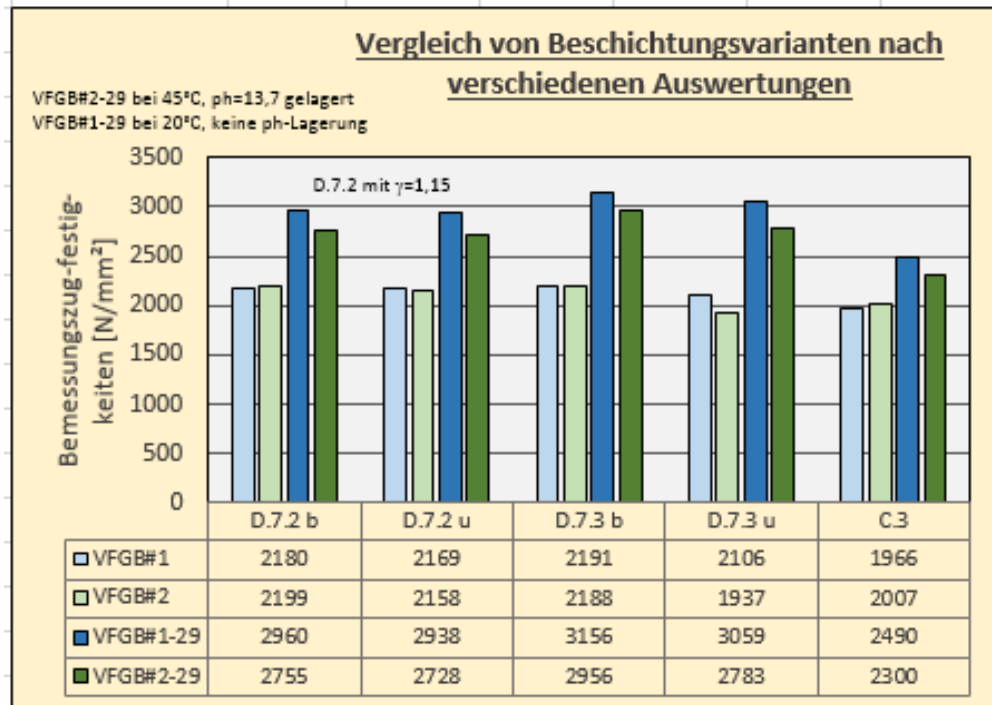
S-Kurven Verläufe (T=45 °C, pH=13,7)



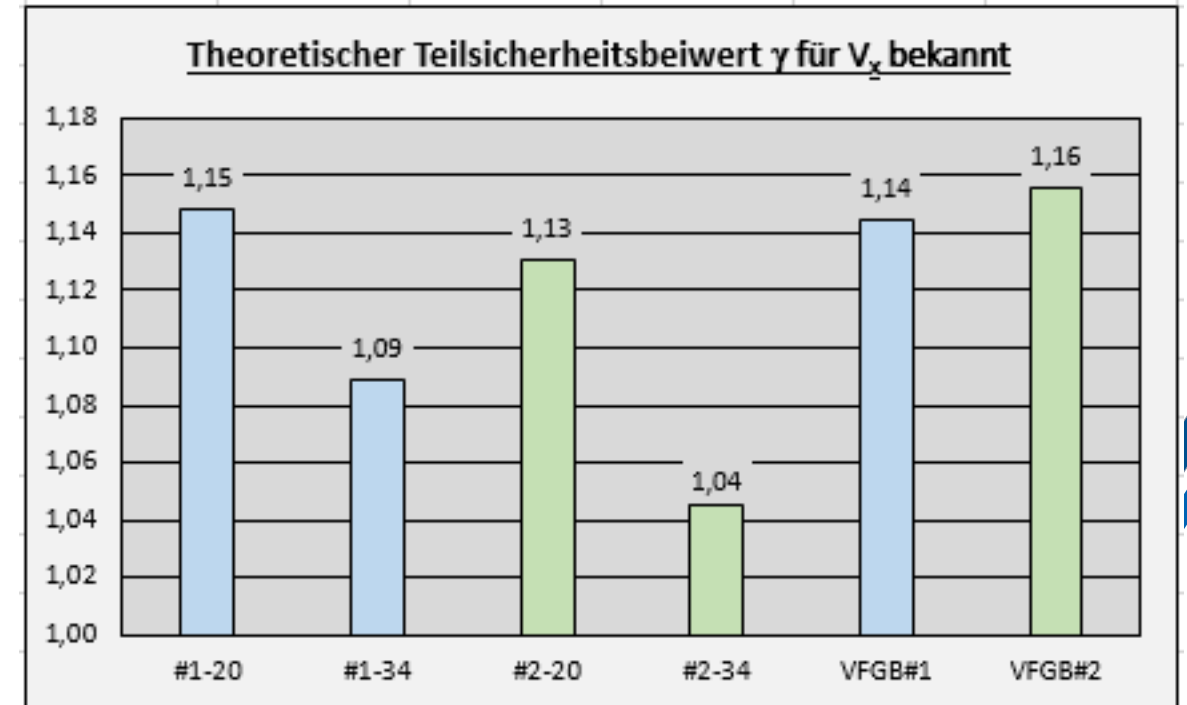
Ergebnisse

Untersuchungen – Ergebnisse

Materialversuche an Rovings



Bauteilversuche

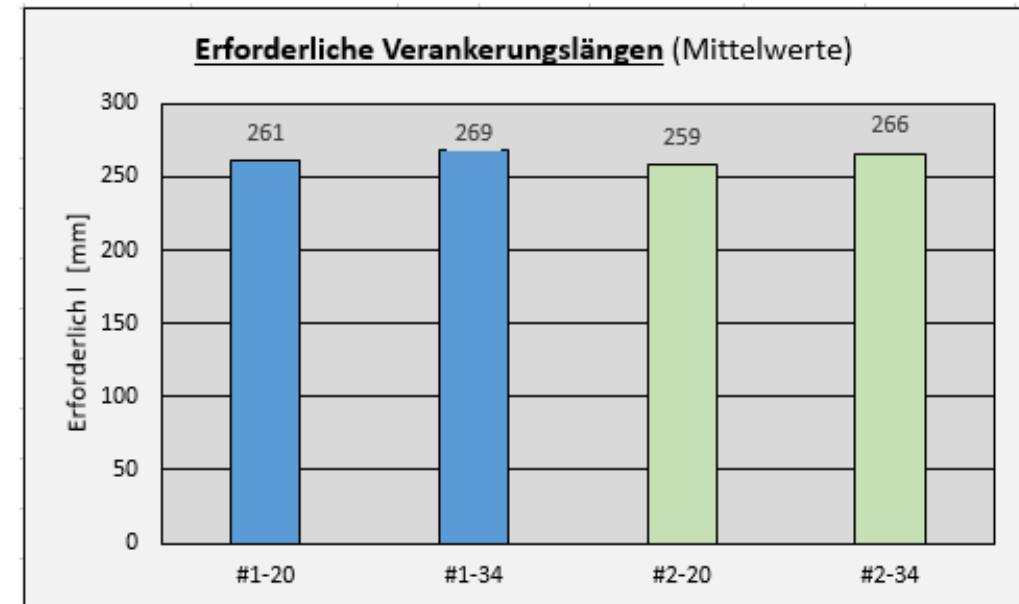
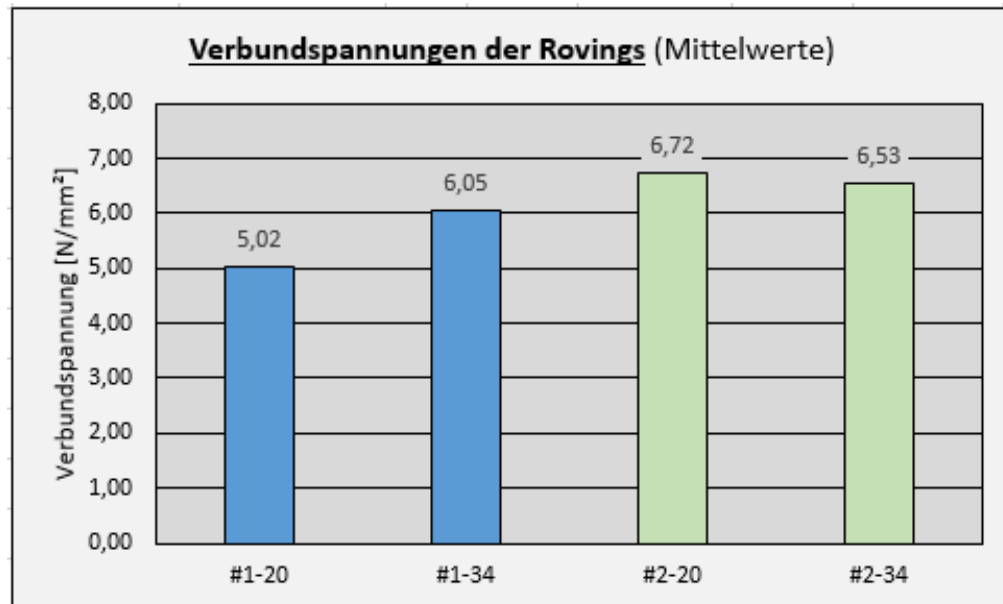


Grundlage: Mehr als 150 Laborversuche + 1 Feldversuch (Bauteilversuche im Maßstab 1:1)

Ergebnisse

Untersuchungen – Ergebnisse

Verbundspannungen und Verankerungslängen für verschiedene Beschichtungssysteme



Carbonbeton

Anwendung – Carbonbeton

Favorisierte Anwendung bei GOLDBECK z. Bsp. in Neubauteilen
z. Bsp. Deckenkonstruktionen

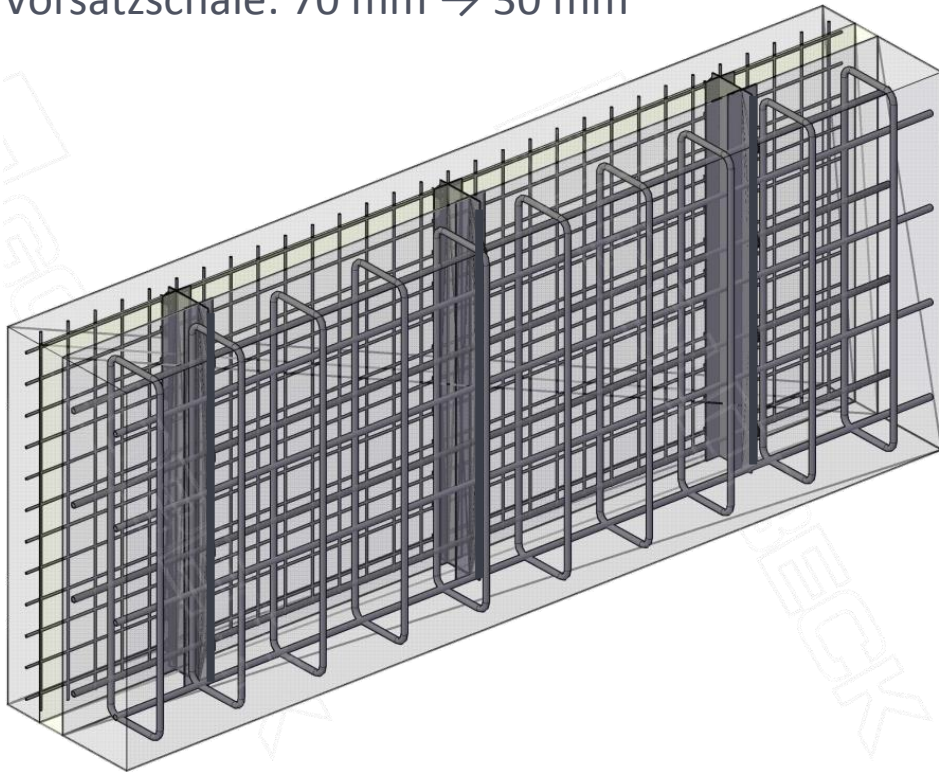


Carbonbeton

Anwendung – Carbonbeton

Favorisierte Anwendung bei GOLDBECK z. Bsp. in Neubauteilen oder Sandwichelemente

Vorsatzschale: 70 mm → 30 mm



Bemessung Einbauteil.xlsx - Excel

DATEI START EINFÜGEN SEITENLAYOUT FORMELN DATEN ÜBERPRÜFEN ANSICHT

Calibri 11 A A' A''

Standard

Bedingte Formatierung

S26

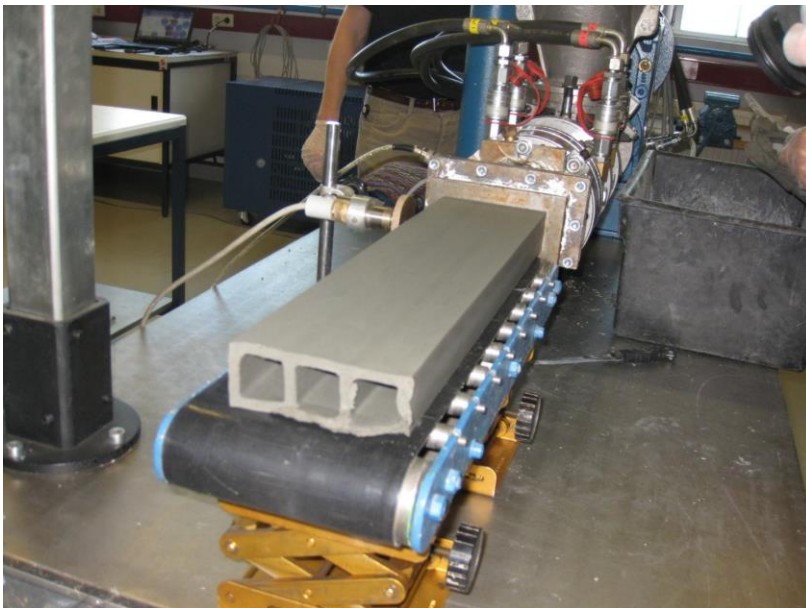
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
1	Dimensionierung Einbauteil für Sandwichsockel														Vertikal muss pro EBT das Gewicht G_{EBT} der Vorsatzschale aufgenommen werden.									
2															$G_{EBT,s} = 0,22$ [kN]									
3	Abstand der Einbauteile (EBT):														Pro "Haken" in der Vorsatzschale:									
4	Sockelhöhe:														Pro "Haken" in der Tragschale (nicht Hakenpaar!):									
5	Dicken:														$G_{TS,s} = 0,027$ [kN]									
6	Tragschale:														Horizontal muss unter Berücksichtigung des Durchlaufkoeffizienten f_{DLT}									
7	Druckfeste Perimeterdämmung:														pro EBT die Windlast W_{EBT} aufgenommen werden.									
8	Vorsatzschale:														Pro "Haken" in der Vorsatzschale:									
9	Länge des Einbauteils:														Pro "Haken" in der Tragschale (nicht Hakenpaar!):									
10	Betondichte:														$W_{TS,s} = 0,041$ [kN]									
11	Teilsicherheitsbeiwerte:														Bemessungswerte [kN]:									
12	ständige Lasten:														vertikal:									
13	veränderliche Lasten:														$G_{EBT,d} = 0,294$									
14															$G_{TS,d} = 0,017$									
15															$G_{TS,d} = 0,037$									
16	Durchlaufkoeffizient:														horizontal:									
17	Kunststoff:														$W_{EBT,d} = 0,489$									
18	Festigkeitswerte:														$W_{TS,d} = 0,029$									
19															$W_{TS,d} = 0,061$									
20															Resultierenden:									
21	Dicken:														$R_{EBT,d} = 0,571$									
22															$R_{TS,d} = 0,034$									
23															$R_{TS,d} = 0,071$									
24	Abstände der Verankerungen:														System:									
25	Vorsatzschale														W_s									
26	Tragschale																							
27	Anzahl der Verankerungen pro Einbauteil:																							
28	Vorsatzschale														$\tau_{EB} = 20,0$ [N/mm ²]									
29	Tragschale														$l_{w,TS} = 0,7$ [mm]									
30															$l_{s,TS} = 0,4$ [mm]									
31	Lastzusammenstellung:														$l_{s,TS} = 0,9$ [mm]									
32	Eigengewicht:																							
33	Gewicht der Vorsatzschale:														$G_s = 0,75$ [kN/m ²]									
34	Veränderliche Last:																							
35	Windsog:														$W_{SOG} = 0,9$ [kN/m ²]									

Carbonbeton

Anwendung – Carbonbeton

Carbonbeton nicht nur als Textilbeton, sondern auch mit Kurzfasern

Hier: Herstellung im Extrusionsverfahren ($v = 4 \text{ m/min}$)



Quelle: Neumann/Heppes/Möller: „Einsatzmöglichkeiten hoch-biegezugfester Betone“; Ulmer Betontage 2017

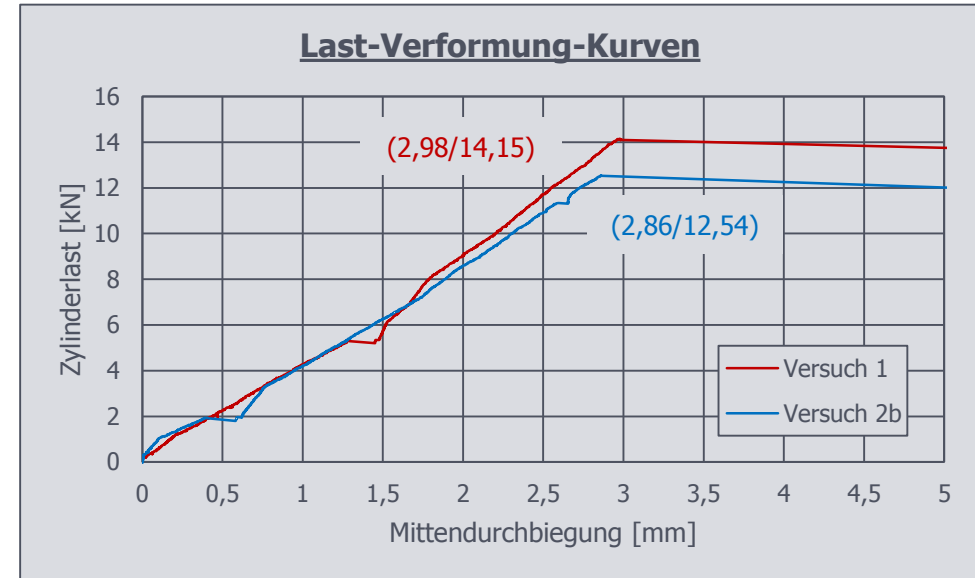


Quelle: Neumann/Heppes/Möller: „Einsatzmöglichkeiten hoch-biegezugfester Betone“; Ulmer Betontage 2017

Carbonbeton

Anwendung – Carbonbeton

Versuche und Ergebnisse

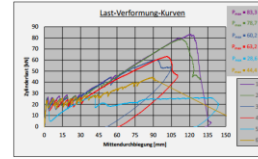


Brandschutzproblematik mit PP-Fasern

Probe	Biegezugfestigkeit [MPa]	Druckfestigkeit [MPa]
Mörtel ohne Fasern	8,3	102
Mörtel mit 1 Vol.-% Fasern <u>unausgerichtet</u>	20,3	87
Mörtel mit 1 Vol.-% Fasern ausgerichtet in Beanspruchungsrichtung	46	87
Mörtel mit 3 Vol.-% Fasern ausgerichtet in Beanspruchungsrichtung	120	84

Quelle: Neumann/Heppes/Möller: „Einsatzmöglichkeiten hoch-biegezugfester Betone“; Ulmer Betontage 2017

Carbonbeton



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

