



---

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)**

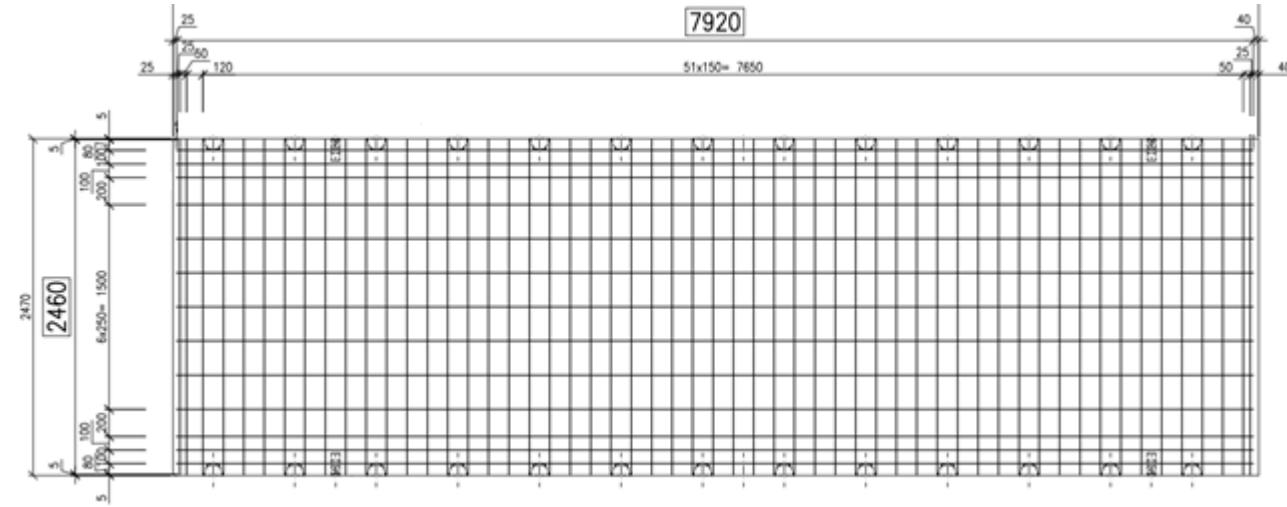
- Entwicklung eines Textils
- Bauteilversuche
- Materialversuche
- Ergebnisse

- **Anwendung Carbonbeton**

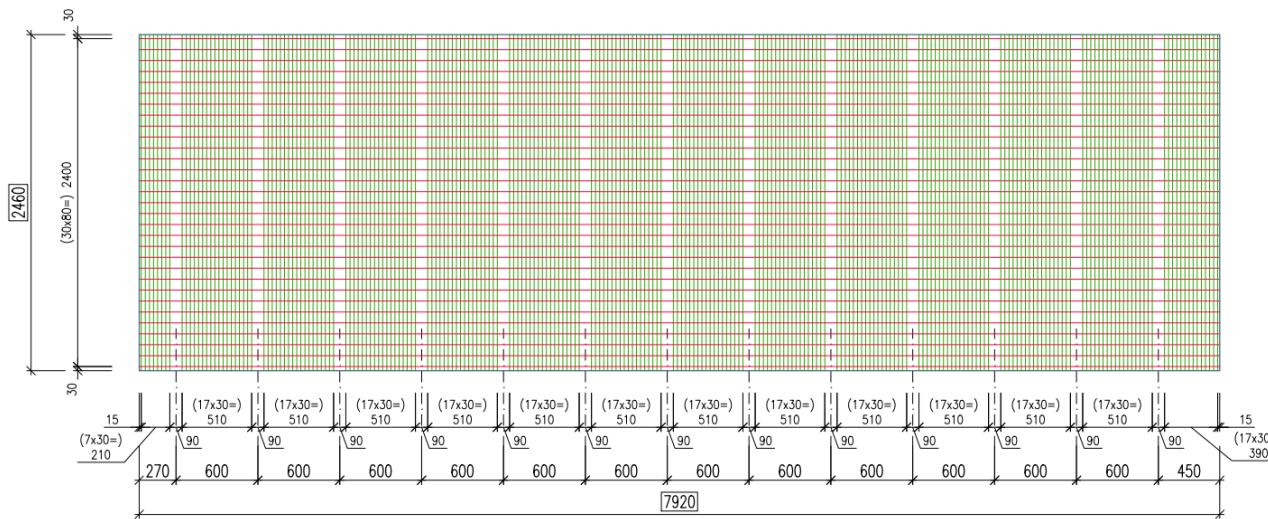
# Carboneckenplatte

Untersuchungen – Entwicklung eines Textils

## Stahlbewehrung



## Carbonbewehrung



# Carboneckenplatte

## Untersuchungen – Entwicklung eines Textils

164	<b>6.1 Biegebemessung für Flächenlast:</b>			
165				
166	Einwirkendes Bemessungsmoment:		$M_{Ed} =$	6,99 [kNm/m]
167			Druckzonenhöhe $x_c =$	3,9 [cm]
168			innerer Hebelarm $z = d - 0,5 \cdot x_c =$	6,3 [cm]
169	Einwirkende Bemessungszugkraft in der Bewehrung:	$Z_{Ed} = M_{Ed} / (z / 100) =$	111,5	[kN/m]
170	Erforderlicher Bewehrungsgehalt:	$A_{eff} = Z_{Ed} / (f_{t,tek,d} / 10) =$	0,47	[cm <sup>2</sup> /m]
171			$A_{vorb} =$	1,19 [cm <sup>2</sup> /m]
172	<b>Nachweis:</b>	$\eta = A_{eff} / A_{vorb} =$	0,40	$\leq 1$
173				
174				
175	<b>6.2 Biegebemessung für Einzellast am freien Plattenrand:</b>			
176				
177	Einwirkendes Bemessungsmoment:		$M_{Ed} =$	12,82 [kNm/m]
178			Druckzonenhöhe $x_c =$	7,2 [cm]
179			innerer Hebelarm $z = d - 0,5 \cdot x_c =$	4,6 [cm]
180	Einwirkende Bemessungszugkraft in der Bewehrung:	$Z_{Ed} = M_{Ed} / (z / 100) =$	279,2	[kN/m]
181	Erforderlicher Bewehrungsgehalt:	$A_{eff} = Z_{Ed} / (f_{t,tek,d} / 10) =$	1,19	[cm <sup>2</sup> /m]
182			$A_{vorb} =$	1,19 [cm <sup>2</sup> /m]
183	<b>Nachweis:</b>	$\eta = A_{eff} / A_{vorb} =$	1,30	$\leq 1$
184				
185				
186	<b>6.3 Biegebemessung für Einzellast vom freien Plattenrand entfernt:</b>			
187				
188	Einwirkendes Bemessungsmoment:		$M_{Ed} =$	8,48 [kNm/m]
189			Druckzonenhöhe $x_c =$	4,7 [cm]
190			innerer Hebelarm $z = d - 0,5 \cdot x_c =$	5,9 [cm]
191	Einwirkende Bemessungszugkraft in der Bewehrung:	$Z_{Ed} = M_{Ed} / (z / 100) =$	144,9	[kN/m]
192	Erforderlicher Bewehrungsgehalt:	$A_{eff} = Z_{Ed} / (f_{t,tek,d} / 10) =$	0,62	[cm <sup>2</sup> /m]
193			$A_{vorb} =$	1,19 [cm <sup>2</sup> /m]
194	<b>Nachweis:</b>	$\eta = A_{eff} / A_{vorb} =$	0,53	$\leq 1$

# Betonier(en)versuch

## Untersuchungen – Bauteilversuche

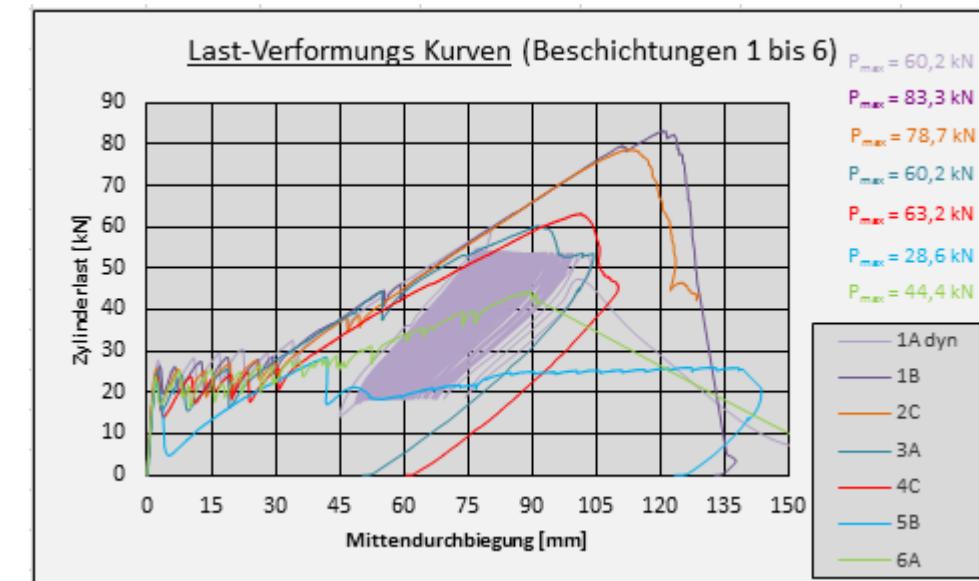
---



### 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  $\approx 3$  Tagen unter Dauerbeanspruchung

→ Dauerstandproblem

# Materialversuche

## Untersuchungen – Materialversuche

### Zugfestigkeit von Rovings

Unterschiedliche Auffassung

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

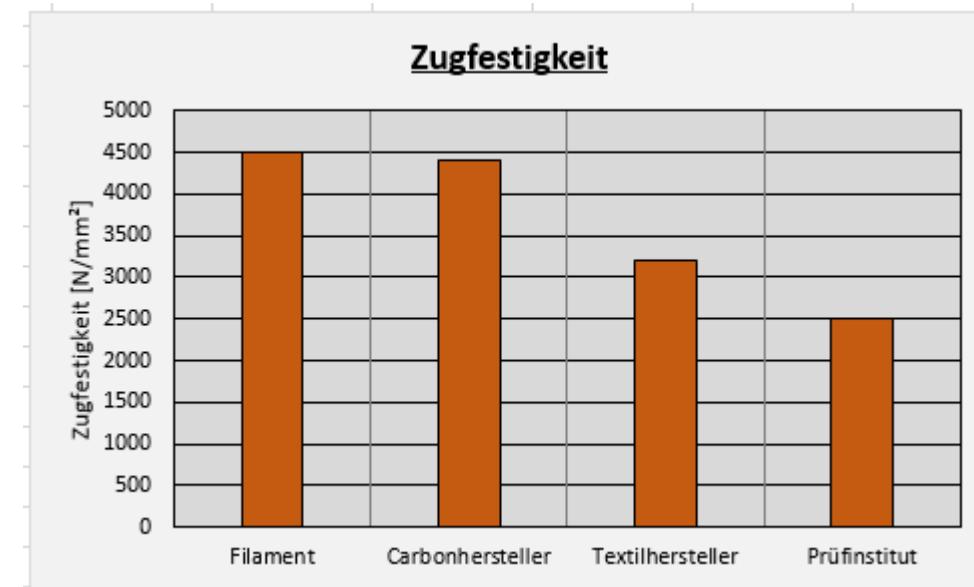
(Beispiel)zugfestigkeit von Carbon:

4500 N/mm<sup>2</sup> Filament

4400 N/mm<sup>2</sup> Roving (Carbonhersteller)

3200 N/mm<sup>2</sup> Roving aus Textil (Textilhersteller)

2500 N/mm<sup>2</sup> 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

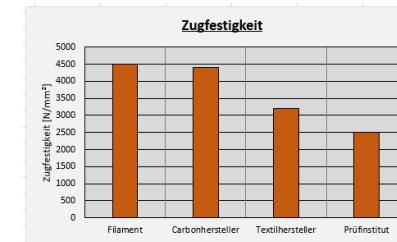
### Untersuchungen – Materialversuche

4500 N/mm<sup>2</sup> Filament

4400 N/mm<sup>2</sup> Roving (Carbonhersteller)

3200 N/mm<sup>2</sup> Roving aus Textil (Textilhersteller)

2500 N/mm<sup>2</sup> Roving aus Textil (Prüfinstitut)



Ausgehend von 2500 N/mm<sup>2</sup> (Mittelwert) versagten die Rovings bei einer Dauerbeanspruchung von 60 % (1500 N/mm<sup>2</sup>) 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**

### Prüfvoraussetzungen:

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

Zur Zeit laufen Dauerstandversuche mit

- ph = 13,7
- T = 45 °C (zuvor 40 °C)
- ca. 2000 N/mm<sup>2</sup>

seit mehr als 3 Monate stabil!

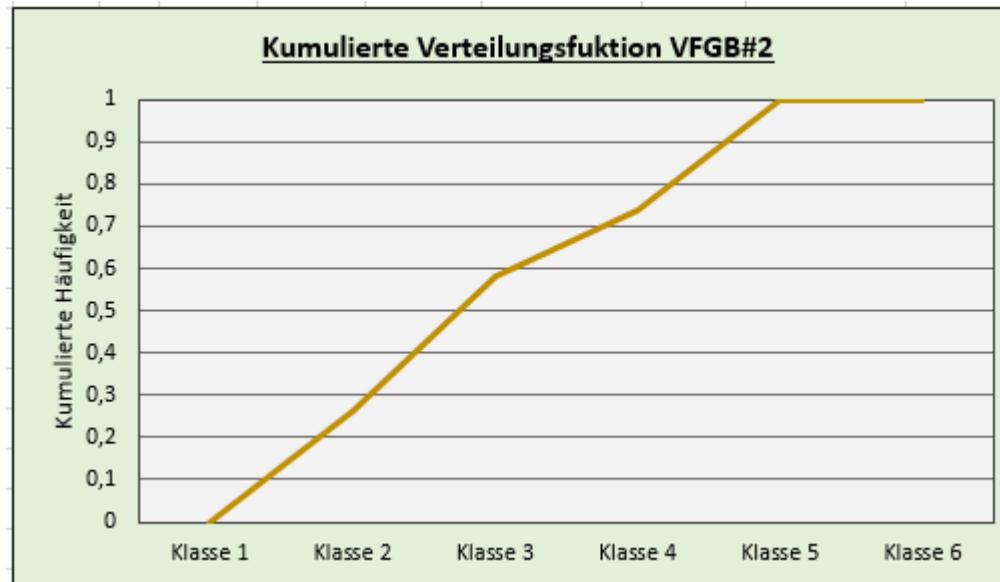
(Seit 1 Woche mit 2500 N/mm<sup>2</sup>)

## Ergebnisse

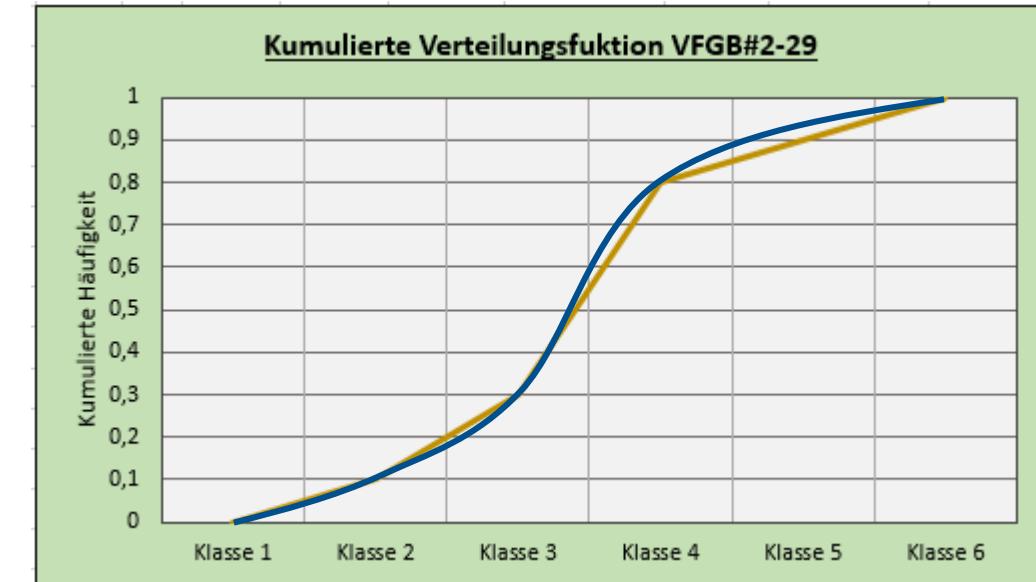
### Untersuchungen – Ergebnisse

---

#### Zugprüfungen (T=45 °C, pH=13,7)



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



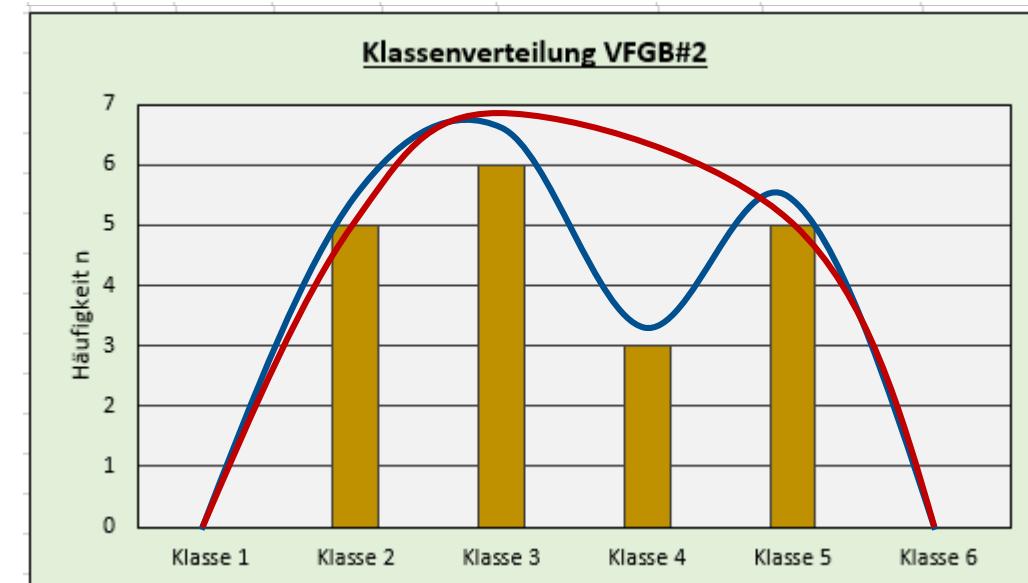
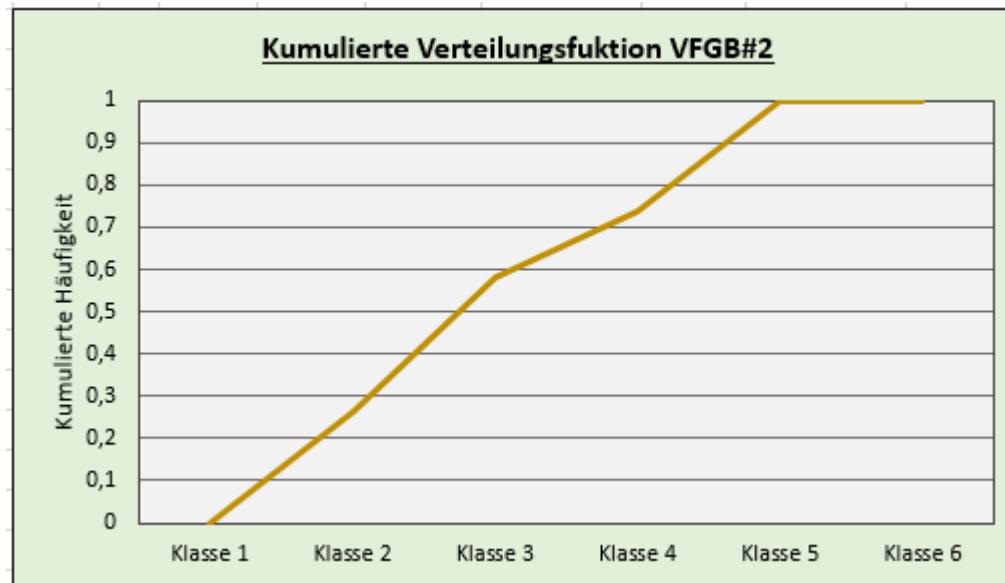
Typischer S-Kurven Verlauf

## Ergebnisse

### Untersuchungen – Ergebnisse

---

#### Zugprüfungen (T=45 °C, pH=13,7)

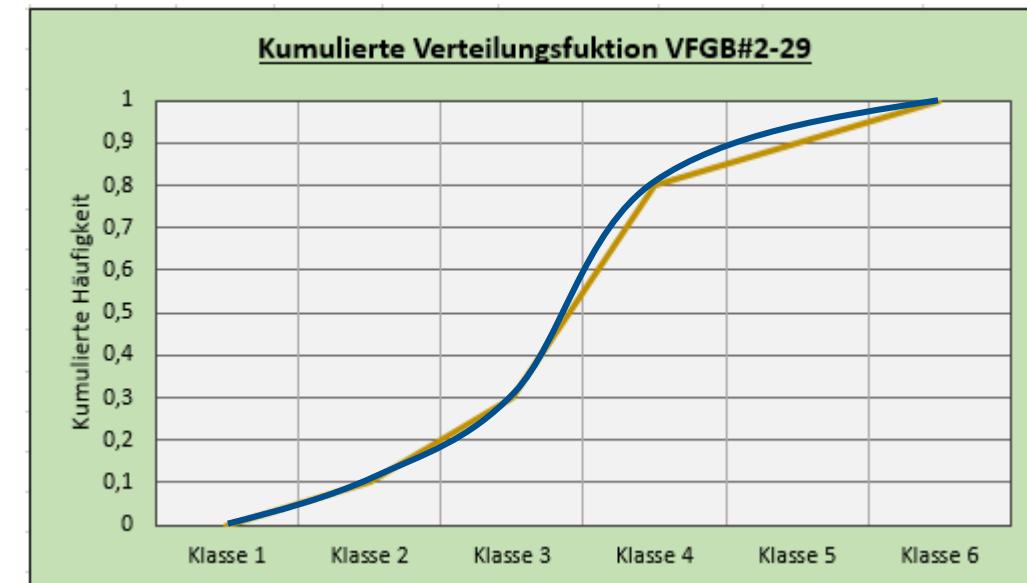
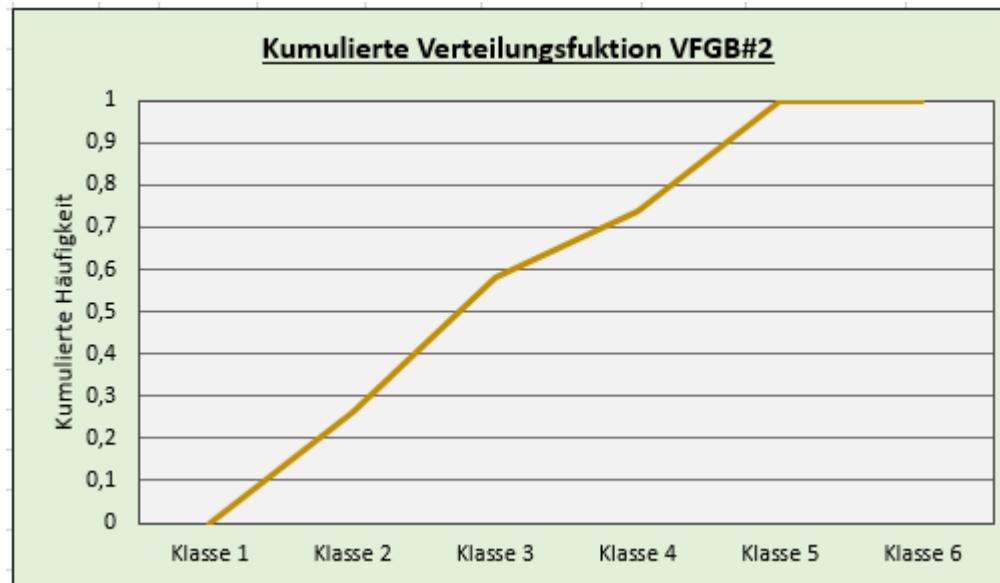


## Ergebnisse

### Untersuchungen – Ergebnisse

---

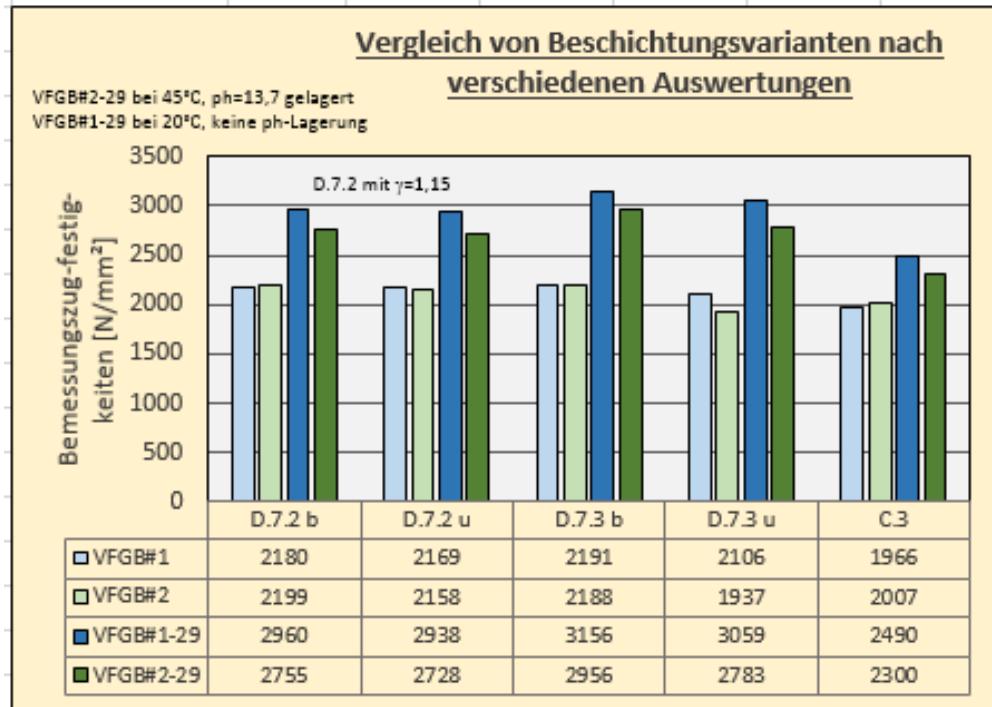
#### S-Kurven Verläufe ( $T=45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $\text{pH}=13,7$ )



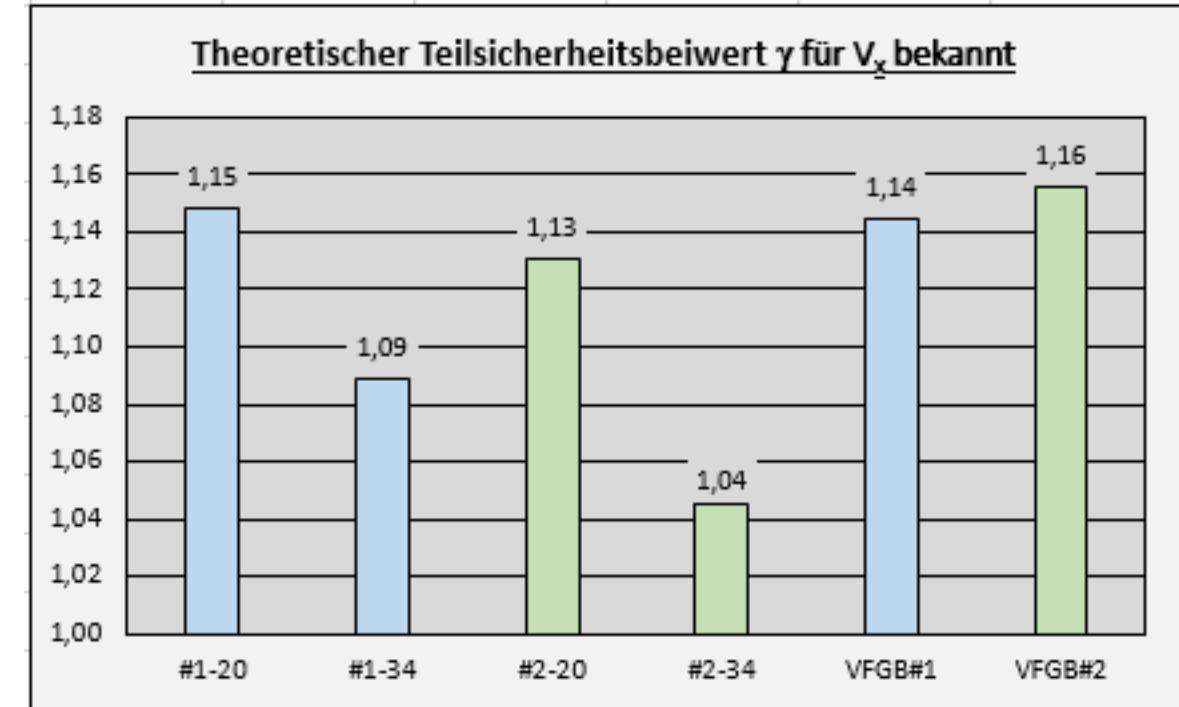
## Ergebnisse

### Untersuchungen – Ergebnisse

#### Materialversuche an Rovings



#### Bauteilversuche



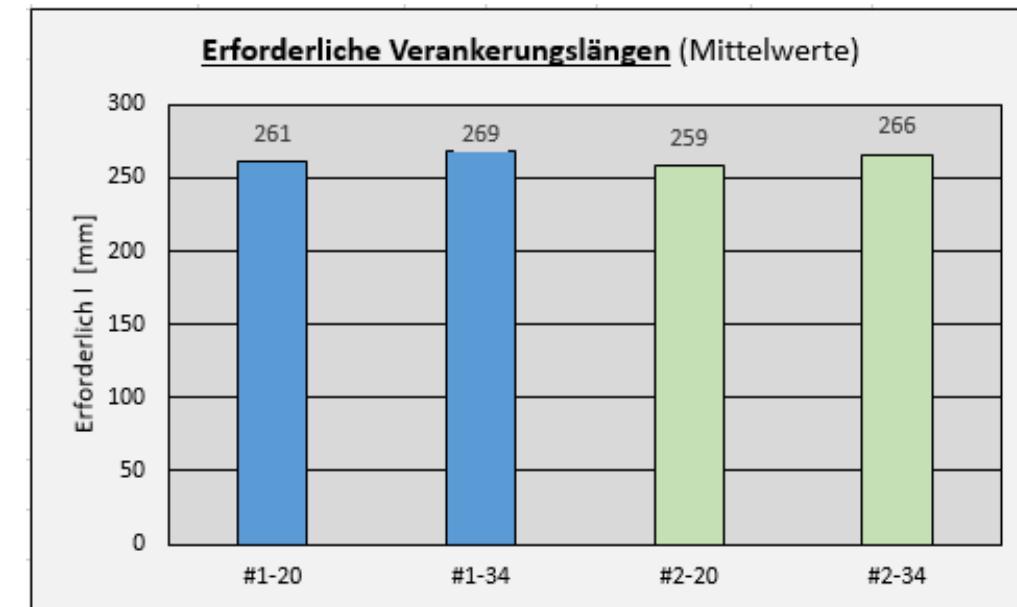
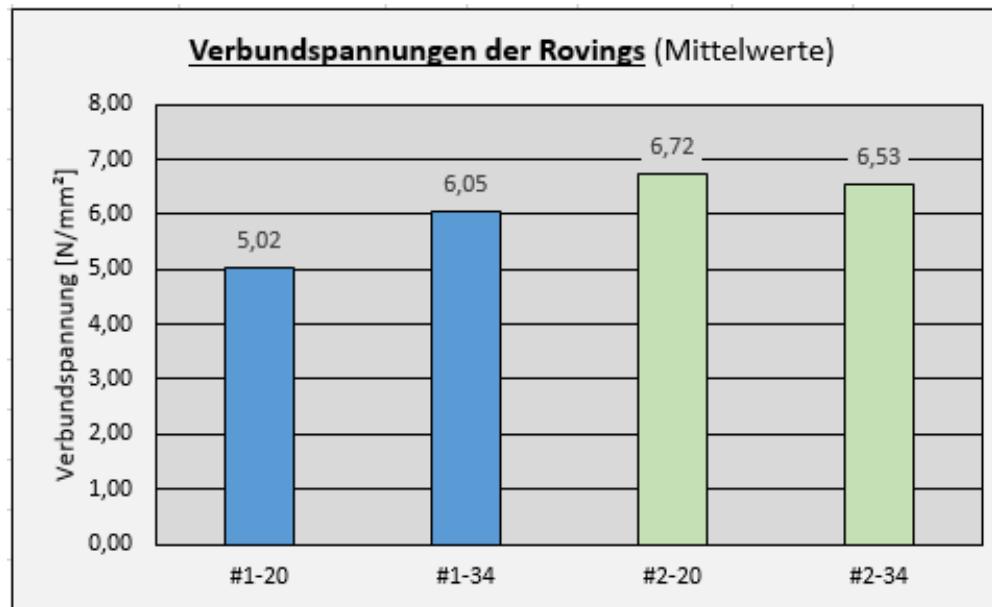
Grundlage: Mehr als 150 Laborversuche + 1 Feldversuch (Bauteilversuche im Maßstab 1:1)

## Ergebnisse

### Untersuchungen – Ergebnisse

---

Verbundspannungen und Verankerungslängen für verschiedene Beschichtungssysteme

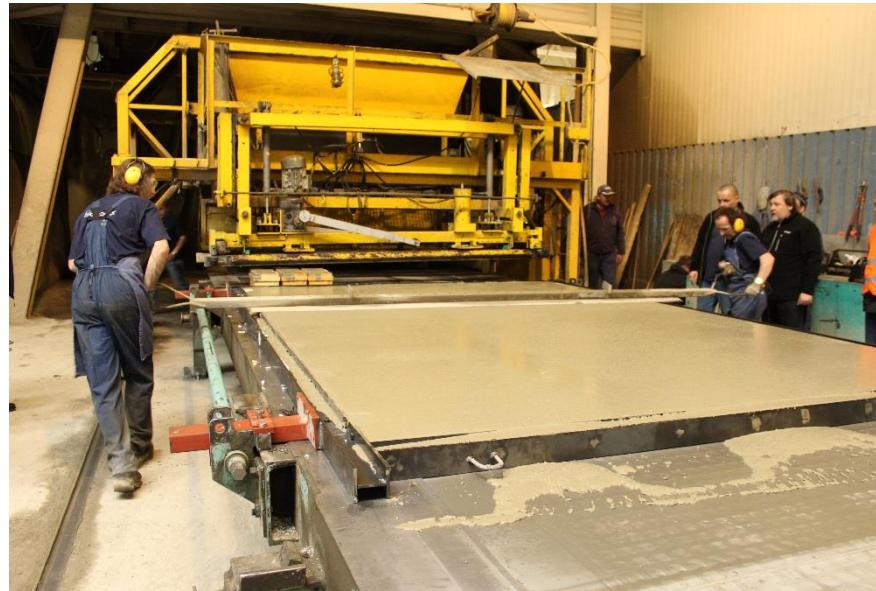


## Carbonbeton

### Anwendung – Carbonbeton

---

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

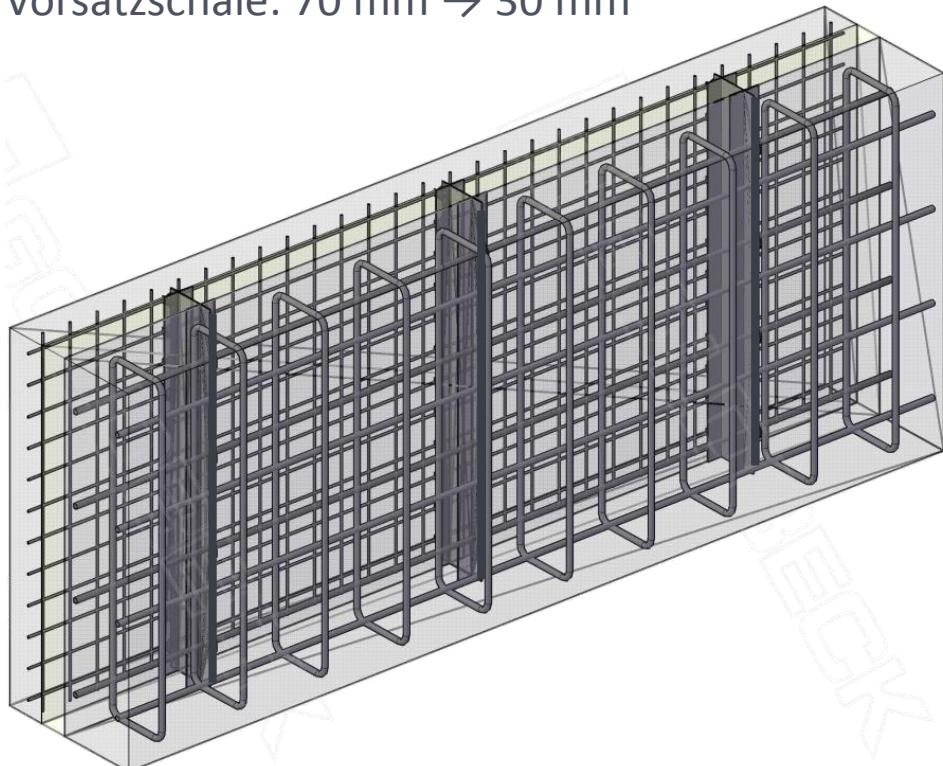


# Carbonbeton

## Anwendung – Carbonbeton

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

Vorsatzschale: 70 mm → 30 mm



Bemessung Einbauteil.xlsx - Excel															
DATEI START EINFÜGEN SEITENLAYOUT FORMELN DATEN ÜBERPRÜFEN ANSICHT															
Formatvorlagen															
S26	:	x	✓	fx											
1	Dimensionierung Einbauteil für Sandwichsockel														
2															
3	Abstand der Einbauteile (EBT):														
4	Sockelhöhe:														
5	Dicken:														
6	Tragschale:														
7	Druckfeste Perimeterdämmung:														
8	Vorsatzschale:														
9	Länge des Einbauteils:														
10	Betondichte:														
11	Teilsicherheitsbeiwerte:														
12	ständige Lasten:														
13	veränderliche Lasten:														
14	$\gamma_0 = 1,35$														
15	$\gamma_0 = 1,5$														
16	$\gamma_0 = 1,5$														
17	Kunststoff:														
18	Festigkeitswerte: $f_y = 52$ [MPa]														
19	$E = > 3.000$ [MPa]														
20															
21	Dicken: $t_f = 2,0$ [mm]														
22	$t_w = 2,0$ [mm]														
23															
24	Abstände der Verankerungen:														
25	Vorsatzschale $a_{VS} = 30$ [mm]														
26	Tragschale $a_{TS} = 150$ [mm]														
27	Anzahl der Verankerungen pro Einbauteil:														
28	Vorsatzschale $n_{VS} = 17$														
29	Tragschale $n_{TS} = 4$														
30															
31	Lastzusammenstellung:														
32	Eigengewicht:														
33	Gewicht der Vorsatzschale: $G_v = 0,75$ [kN/m <sup>2</sup> ]														
34	Veränderliche Last:														
35	Windzug: $W_{G,TS} = 0,9$ [kN/m <sup>2</sup> ]														

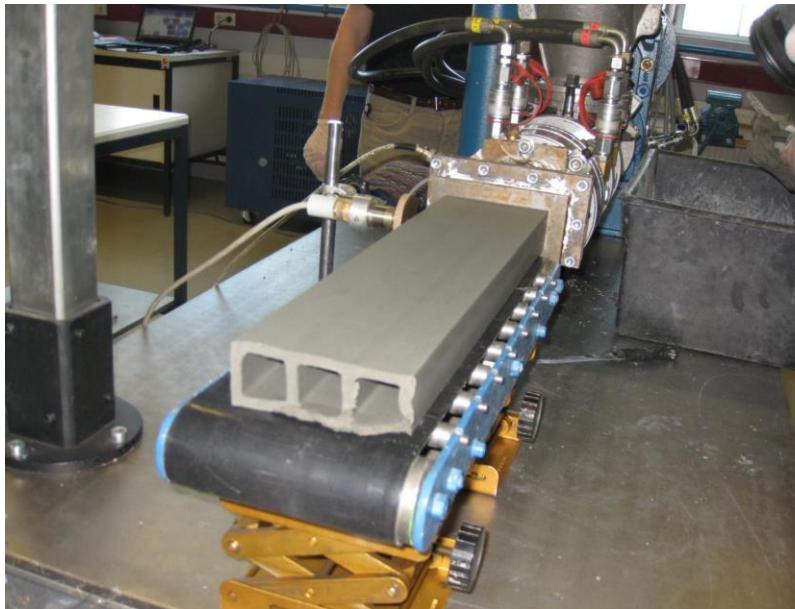
## Carbonbeton

### Anwendung – Carbonbeton

---

Carbonbeton nicht nur als Textilbeton, sondern auch mit Kurzfasern

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



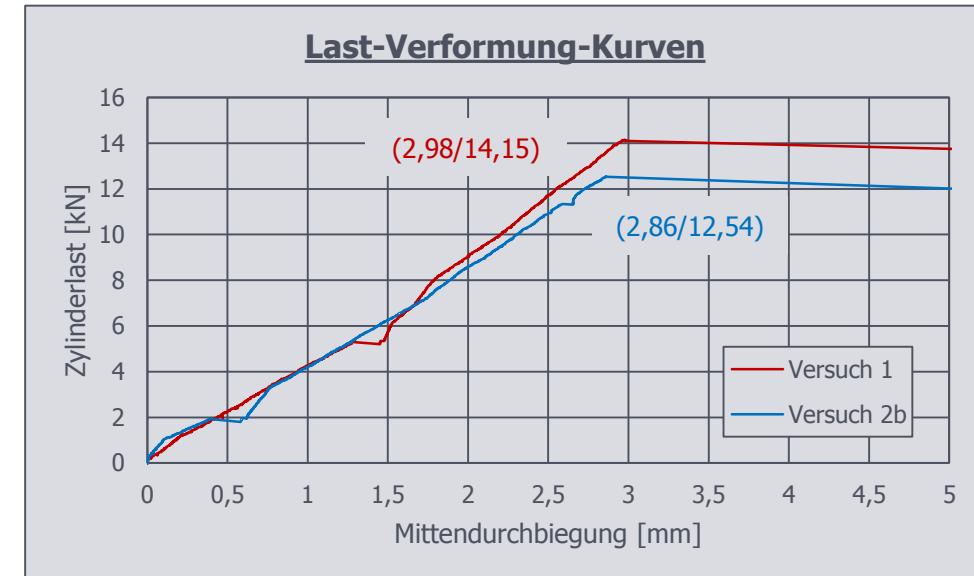
Quelle: Neumann/Heppes/Möller: „Einsatzmöglichkeiten hoch-biegezufester Betone“; Ulmer Betontage 2017

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

## Carbonbeton

### Anwendung – Carbonbeton

### Versuche und Ergebnisse



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

Brandschutzproblematik  
mit PP-Fasern

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

# Carbonbeton



## Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!