



Quelle: solidian

CFK-vorgespannte Fußgängerbrücken aus Carbonbeton in Systembauweise

Dr.-Ing. Norbert Will



Ziel und Motivation

Stand der Technik: Herstellung von Fußgängerbrücken als stahlbewehrte Ortbetonkonstruktionen
 → Einfache Konstruktion und vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten

Beispiel Fußgängerbrücke Albstadt-Lautlingen (Stand 2006)



Quelle: solidian



Quelle: solidian

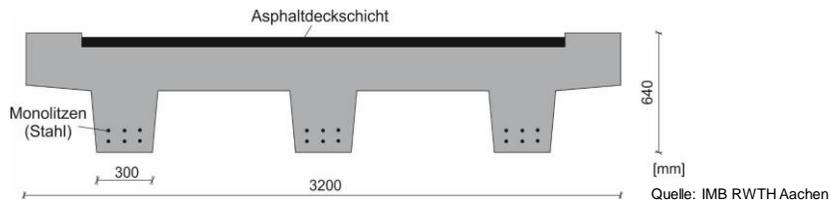
Ziel und Motivation

Stand der Technik: Herstellung von Fußgängerbrücken als stahlbewehrte Ortbetonkonstruktionen

→ Einfache Konstruktion und vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten

Nachteile:

- Großer wirtschaftlicher / zeitlicher Aufwand (Schalungsarbeiten und Betonage vor Ort)
- Große Betondeckung zum Korrosionsschutz der Stahlbewehrung → Massige Bauteile



- Auftreten von Korrosionsschäden → Teure + aufwändige Sanierungen oder Neubauten
- Wartungsaufwand z.B. für Verschleißschicht

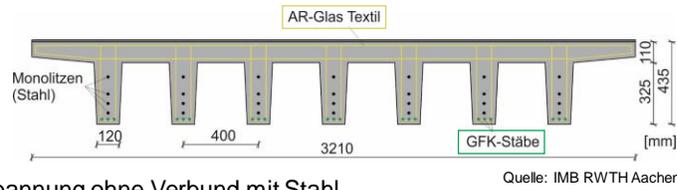
Ziel und Motivation

Pilotprojekt: Fußgängerbrücke aus Textilbeton mit Stahlvorspannung (ohne Verbund) in Albstadt-Lautlingen



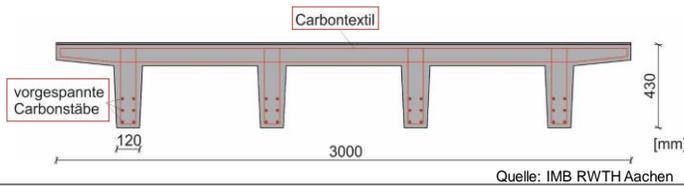
Ziel und Motivation

Pilotprojekt: Fußgängerbrücke aus Textilbeton mit Stahlvorspannung



- Offene Punkte:
- Vorspannung ohne Verbund mit Stahl
 - Dauerhaftigkeit + Tragfähigkeit der AR-Glas Bewehrung

Ziel: Entwicklung einer modularen Fußgängerbrücke mit vorgespannter CFK-Bewehrung in Systembauweise

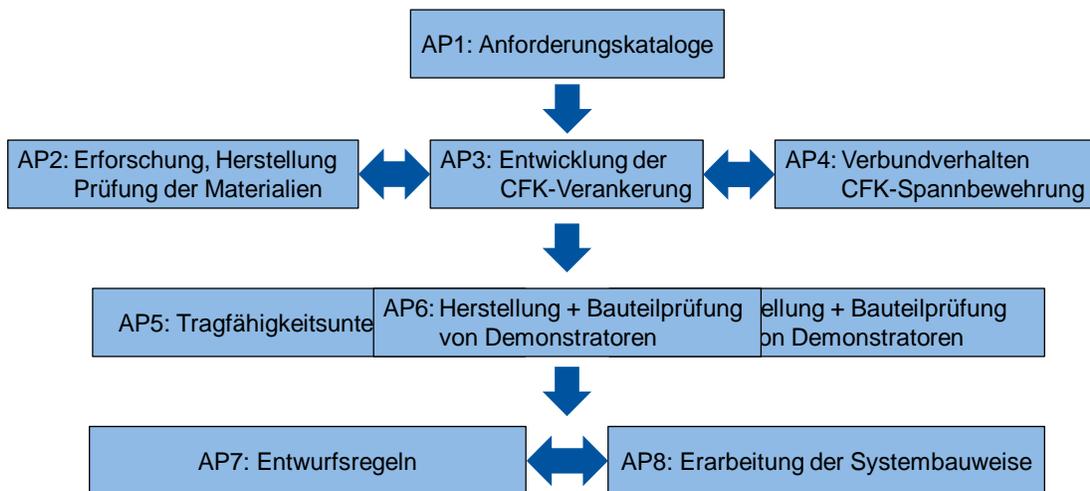


5 von 25

HighTechMatBau 2018 | Dr.-Ing. Norbert Will | Institut für Massivbau | 31.01.2018



Arbeitspakete



6 von 25

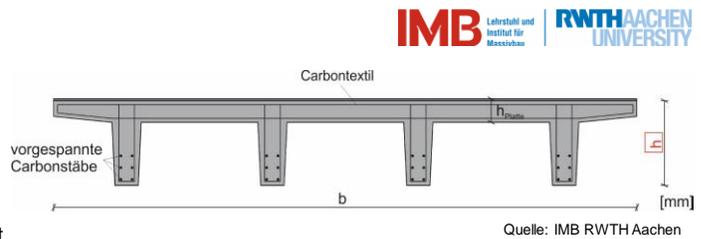
HighTechMatBau 2018 | Dr.-Ing. Norbert Will | Institut für Massivbau | 31.01.2018



AP1: Anforderungskataloge

Abmessungen

- Auswahl von zwei Varianten
- T-Querschnitt
 - 4 Stege
 - Plattendicke: 110 mm + 10 mm Verschleißschicht
- Nach aktuellen Richtlinien: $w_{\min} = 2,5 \text{ m}$ → **3,0 m**
- Spannweiten für gängige Anwendungsfälle → **12,0 m bis 25,0 m**
- Gesamthöhe: 430 bzw. 900 mm → **$h/l = 1/28$**



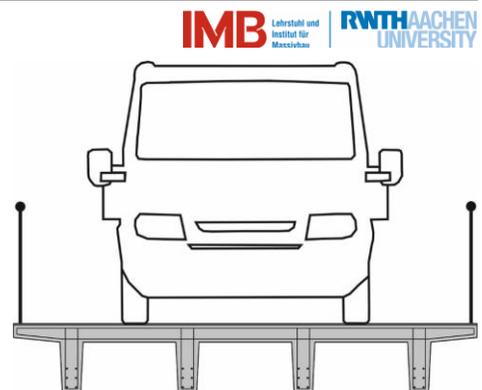
Variante	b (m)	l (m)	h (m)	n _{Steg} (-)
V1	3,00	12,0	0,43	4
V2	3,00	25,0	0,90	4

7 von 25 HighTechMatBau 2018 | Dr.-Ing. Norbert Will | Institut für Massivbau | 31.01.2018

AP1: Anforderungskataloge

Lasten nach EC1

- Eigengewicht und Ausbaulast
- Veränderliche Lasten infolge Fußgängern und Wind
- Servicefahrzeug (Gesamtgewicht 5,0 t)
- Unplanmäßige Anwesenheit eines Fahrzeugs auf der Brücke (Gesamtgewicht 12,0 t)



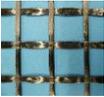
Vorspanngrad

- Nicht-korrosive CFK-Spannstäbe → keine Anforderungen aus Gründen der Dauerhaftigkeit
- Nachweis der Dekompression für die quasi-ständige Lastfallkombination

8 von 25 HighTechMatBau 2018 | Dr.-Ing. Norbert Will | Institut für Massivbau | 31.01.2018

AP1: Anforderungskataloge

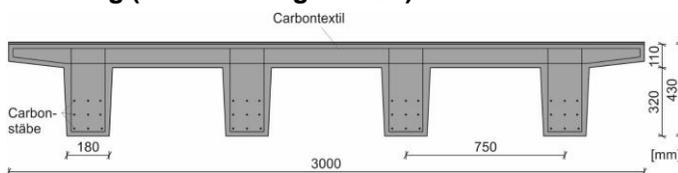
Materialanforderungen

	Quelle: IMB RWTH Aachen	f_{cm} (MPa)	f_{ck} (MPa)	f_{cd} (MPa)	E_{cm} (MPa)
Beton		78	70	39,7	41.000
	Quelle: IMB RWTH Aachen	f_{tm} (MPa)	f_{tk} (MPa)	f_{td} (MPa)	E_{tm} (MPa)
Carbontextil		3000	2400	1600	180.000
	Quelle: IMB RWTH Aachen	f_{pm} (MPa)	f_{pk} (MPa)	f_{pd} (MPa)	E_{pm} (MPa)
CFK-Stäbe		3000	2400	1600	180.000

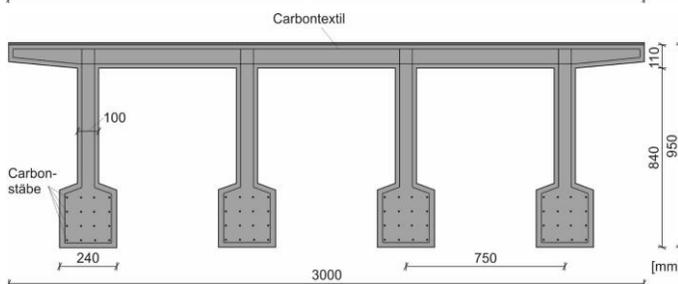
AP1: Anforderungskataloge

Vorbemessung (in Anlehnung an EC2)

V1:



V2:



Quelle: IMB RWTH Aachen

Annahmen/Grundlagen:

- Materialkennwerte gemäß Anforderung
- Lastannahmen nach EC1
- Abmessungen Spannkrafteinleitung
- Vorspannung $\geq 1500 \text{ N/mm}^2$
- Iterative Biegebemessung in Anlehnung an EC2
- Querkraft in Anlehnung an EC2
- Betondruckspannungen
- Eigenfrequenzen

AP2: Erforschung, Herstellung und Prüfung der Materialien



solidian



RWTH AACHEN UNIVERSITY IMB

Lehrstuhl und Institut für Massivbau

RWTH AACHEN UNIVERSITY

- Entwicklung **SVB** der Festigkeitsklasse C70/85

	E-Modul [MPa]	Druckfestigkeit [MPa]	Biegezugfestigkeit [MPa]
1 d	39.200	54,4	7,3
28 d	48.900	88,8	12,3

- Durchführung von Dehnkörperversuchen zur Auswahl eines **Carbontextils**

– 3 Textilien:

- Q95/95-CCE-38

- **Q142/142-CCE-38-E1**

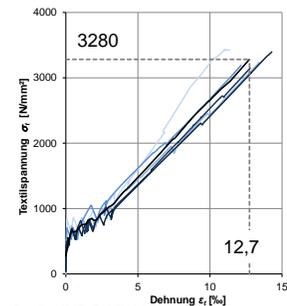
– $\sigma_{t,m} = 2970 \text{ N/mm}^2$

– $\varepsilon_{t,m} = 13,6 \text{ ‰}$

- Q142/142-CCE-25

– 2 Betondeckungen

→ Auswahl entsprechend der erforderlichen Bewehrungsmenge aus der Vorbemessung



11 von 25

HighTechMatBau 2018 | Dr.-Ing. Norbert Will | Institut für Massivbau | 31.01.2018



Lehrstuhl und Institut für Massivbau

RWTH AACHEN UNIVERSITY

AP2: Erforschung, Herstellung und Prüfung der Materialien

- Entwicklung des **CFK-Spannstabs**

– ausreichende Zugfestigkeit → $\geq 3000 \text{ N/mm}^2$

– gute Verbundeigenschaften → Oberflächenprofilierung



P0



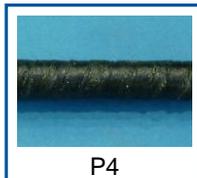
P1



P2



P3



P4



P5



P6



P7

Quelle: IMB RWTH Aachen

12 von 25

HighTechMatBau 2018 | Dr.-Ing. Norbert Will | Institut für Massivbau | 31.01.2018



Lehrstuhl und Institut für Massivbau

RWTH AACHEN UNIVERSITY

AP2: Erforschung, Herstellung und Prüfung der Materialien

• Prüfung des CFK-Spannstabs

Nr.	E-Modul [MPa]	Zugfestigkeit [MPa]
MW	187000	2980

Quelle: ibac RWTH Aachen



Rac Institut für Bauforschung
Bauelemente und
Polymerkomposite

RWTH AACHEN
UNIVERSITY

13 von 25

HighTechMatBau 2018 | Dr.-Ing. Norbert Will | Institut für Massivbau | 31.01.2018

IMB Lehrstuhl und
Institut für
Massivbau

RWTH AACHEN
UNIVERSITY

AP3: Erforschung der CFK-Verankerung

• Anforderungen:

- gleichmäßige Spannungsverteilung und geringe Spannungsspitzen
- einfache Montage, wiederverwendbar
- Vorspannung von $\sigma \geq 1500 \text{ N/mm}^2$ möglich

• FE-Berechnungen mit Variation von Geometrie, Länge und Materialien

→ Untersuchung von drei Varianten:

A1: geneigte Keilflächen

A2: gekrümmte Keilflächen

A3: außen geneigte und
innen gekrümmte Keilflächen

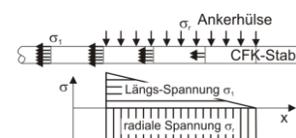
• Zugversuche an Carbonstäben mit dem Durchmesser 10 mm



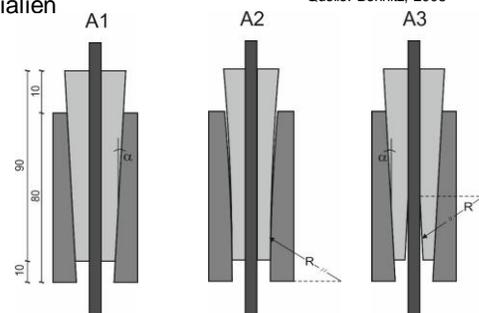
solidian IMB

Lehrstuhl und
Institut für
Massivbau

RWTH AACHEN
UNIVERSITY



Quelle: Bennitz, 2008



Quelle: IMB RWTH Aachen

14 von 25

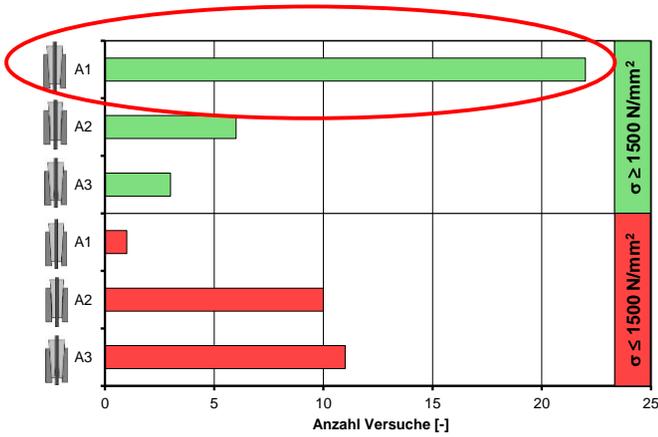
HighTechMatBau 2018 | Dr.-Ing. Norbert Will | Institut für Massivbau | 31.01.2018

IMB Lehrstuhl und
Institut für
Massivbau

RWTH AACHEN
UNIVERSITY

AP3: Erforschung der CFK-Verankerung

- Ergebnisse der Zugversuche zur Untersuchung der Verankerung



Quelle: IMB RWTH Aachen

→ Wahl Verankerung A1 für die weiteren Untersuchungen

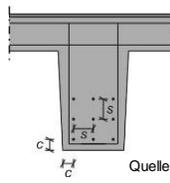


AP4: Untersuchungen zum Verbundverhalten der CFK-Spannbewehrung

- Überprüfung der getroffenen Annahmen für die Vorbemessung

- Minimal erforderliche Betondeckung c
- Erforderlicher Abstand der Carbonstäbe s

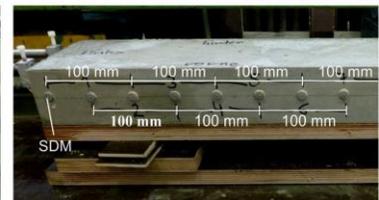
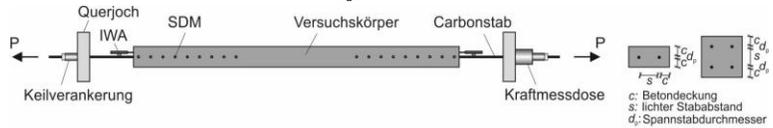
→ Ermittlung mit Spannkrafteinleitungsversuchen



Quelle: IMB RWTH Aachen

Versuchsaufbau

- Vorspannkraft: ca. 75 kN pro Stab ($\approx 1700 \text{ N/mm}^2$)
- Betonalter: 1 d
- Betondeckung: $c/d_p = 2,5 - 5,0$
- Stababstand: $s/d_p = 3,5 - 10,3$
- Anzahl Stäbe: $n = 2$ bzw. 4



Quelle: IMB RWTH Aachen

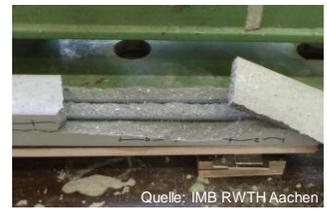


AP4: Untersuchungen zum Verbundverhalten der CFK-Spannbewehrung

Ergebnisse der Spannkrafteinleitungsversuche

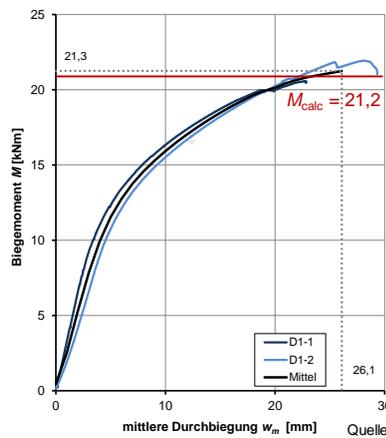
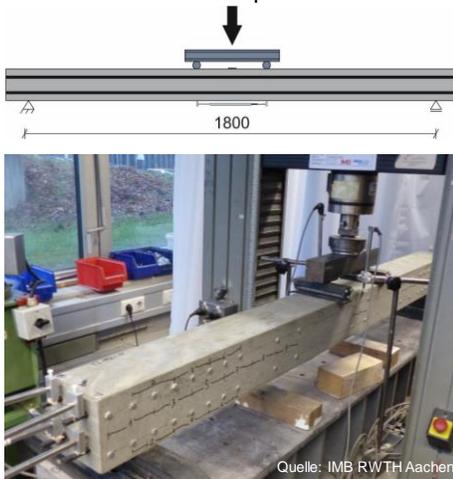
Versuch	Betondeckung	Abstand	Anzahl Stäbe	$f_{c,cyl,1d}$ [MPa]	gerissen	
	c/d_p [-]	s/d_p [-]			S1	S2
TL1	4	8	2	51,4		
TL2	3	5,75	2			
TL3	2,5	5,75	2	54,8	X	
TL4	5	10,3	2			

→ Betondeckung: $\min c/d_p = 3,0$
 → Stababstand: $\min s/d_p = 5,75$ } Anpassung der Querschnittsabmessungen für Variante V1 und V2



AP6: Demonstratoren

- Demonstrator 1: Vorspanntechnik



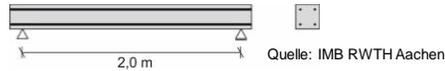
Rechnerische Biegetragfähigkeit

- Iterative Biegebemessung
- Mittelwertniveau
- Gemessene Dehnungsverteilung
- Ermittelte Materialkennwerte (AP2)
- Hohe Ausnutzung der Druckzone (-4,5 ‰)

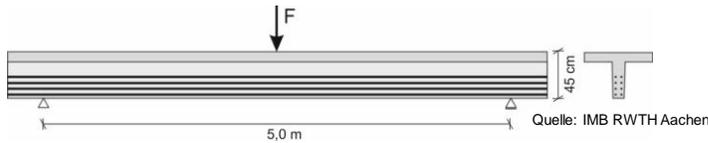


AP6: Demonstratoren

- Demonstrator 1: Vorspanntechnik (abgeschlossen)

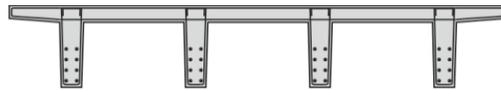


- Demonstrator 2: Bauteilquerschnitt (aktuell in Bearbeitung)



- Übertragung Vorspanntechnik in das Fertigteilwerk
- Herstelltechnik Bauteil
- Tragverhalten vorgespannter Carbonbeton

- Demonstrator 3: Brückenfertigteile



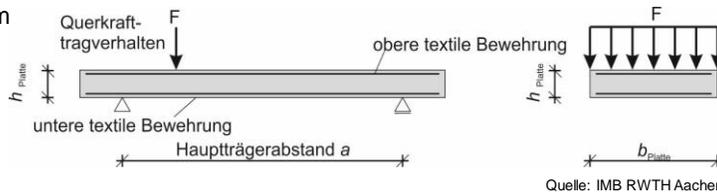
- Herstelltechnik reales Bauteil
- Last-Verformungsverhalten im Bruchversuch



AP5: Tragfähigkeitsuntersuchungen

Bauteilprüfung

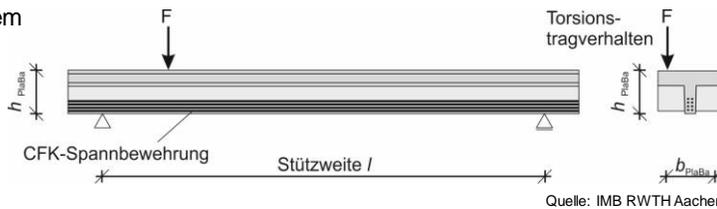
- Quersystem



Quersystem:

- Ermittlung der Tragfähigkeit
- 3x Biegung
- 3x Querkraft

- Längssystem



Längssystem:

- Variation Querschnittsabmessungen + Spannweiten
- 3x Biegung
- 2 x 2 Querkraft
- 2 x 2 Querkraft + Torsion

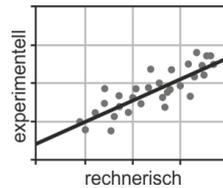
- Langzeitversuche (zeitabhängige Effekte)



Weitere Arbeitspakete

AP 7: Entwurfsregeln

- Entwicklung von Nachweiskonzepten
 - Tragfähigkeit
 - Dauerhaftigkeit
 - Gebrauchstauglichkeit
- Ableitung von Konstruktionsregeln



AP 8: Erarbeitung der Systembauweise

- Bemessungsbeispiel zur Veranschaulichung der entwickelten Bemessungskonzepte
- Festlegung von Montageregeln



Quelle: IMB RWTH Aachen / solidian

21 von 25

HighTechMatBau 2018 | Dr.-Ing. Norbert Will | Institut für Massivbau | 31.01.2018



Zusammenfassung und Ausblick

Aktueller Bearbeitungsstand:

- Zusammenstellen der Anforderungskataloge
- Ableitung von zwei Querschnittsvarianten inkl. Vorbemessung (nach EC 2)
- Auswahl und Untersuchung der Materialien: SVB, Carbondtextil und CFK-Spannstab
- Entwicklung der Verankerung zum Vorspannen der CFK-Stäbe *inkl. Anwendung im Fertigteilwerk*
- Untersuchungen zum Verbundverhalten und Spannkrafteinleitung der CFK-Spannstäbe
 - Anpassung der Querschnittsvarianten

Weitere Arbeiten (AP5 – 8):

- Untersuchung der Tragfähigkeit
 - Ableitung von Nachweiskonzepten und Entwurfsregeln
 - Erarbeitung der Systembauweise (Bemessungskonzepte, Montageregeln)
- } Demonstrator 3

22 von 25

HighTechMatBau 2018 | Dr.-Ing. Norbert Will | Institut für Massivbau | 31.01.2018





Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Dr.-Ing. Norbert Will
RWTH Aachen University
Institut für Massivbau
www.imb.rwth-aachen.de

IMB Lehrstuhl und
Institut für
Massivbau

RWTH AACHEN
UNIVERSITY