Technische Universität Braunschweig

iBMB MPA TU BRAUNSCHWEIG

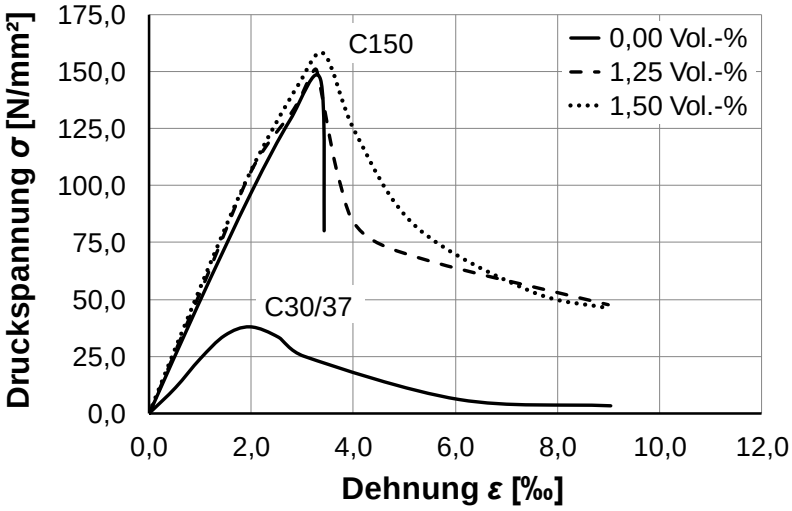
4. Jahrestagung des DAfStb – Braunschweig – 16. und 17. November 2016

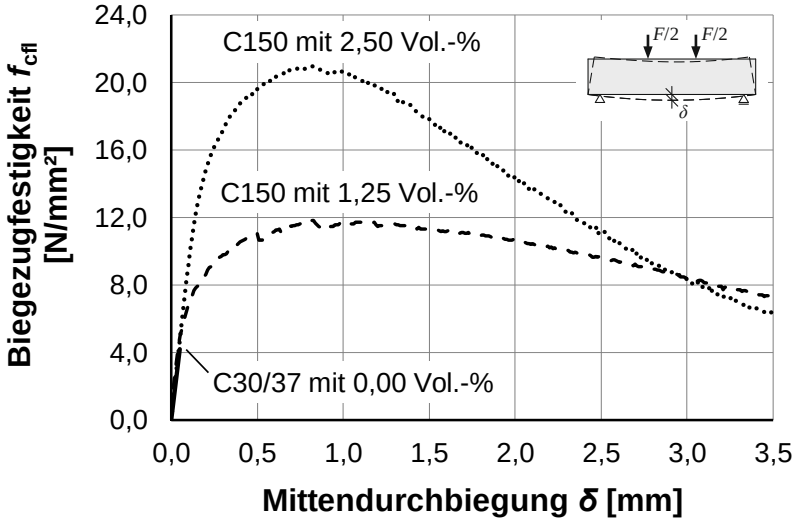
Hohlkastenträger aus ultrahochfestem Beton

Vincent Oettel
Technische Universität Braunschweig, iBMB, Fachgebiet Massivbau

Ultrahochfester Faserbeton

- UHPFRC = **U**ltra **H**igh **P**erformance **F**ibre **R**einforced **C**oncrete
- Verwendung von Feinstoffen mit gleichzeitig niedrigem Wasser-Bindemittel-Wert
  - Sehr hohe Druckfestigkeit
  - Sehr hohe Dauerhaftigkeit
  - Sehr hohe Verbundfestigkeit
- Zugabe von Stahlfasern für die Robustheit
  - Hochfeste Mikrostahldrahtfasern
  - Üblich: l_f / d_f = 13,0 / 0,19 mm
  - Fasergehalt bis zu 2,50 Vol.-% (= 196 kg/m³)
  - Hohe Nachrisszugfestigkeit





Segmentbau

- Zusammenspannen von Segmenten auf der Baustelle zu Tragwerken wie z. B.:
  - Brückenüberbau
  - Brückenpfeiler
  - Fertigteilmasten
- Vorteile der Segmentbauweise:
  - Kurze witterungsunabhängige Errichtung
  - Hohe Ausführungsqualität
  - Einfache Rückbaubarkeit der Tragwerke
- Durch die Verwendung von UHPFRC können
  - dünnwandige,
  - materialeffiziente,
  - gewichtsoptimierte und
  - transportgerechte

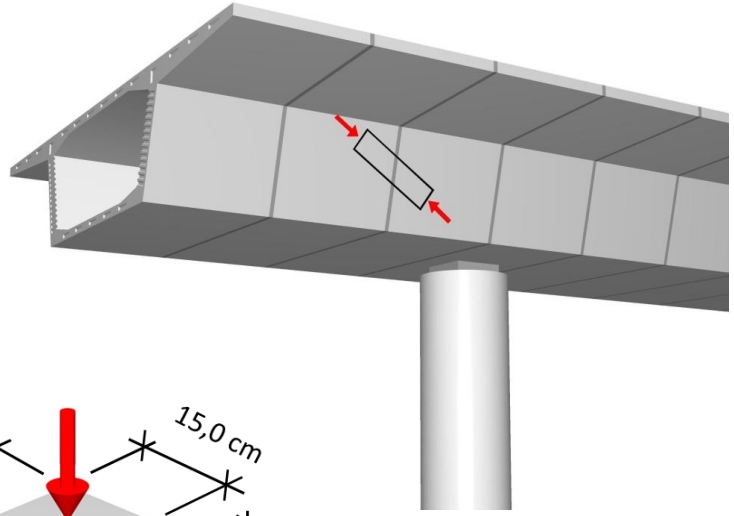
  Segmente hergestellt werden.

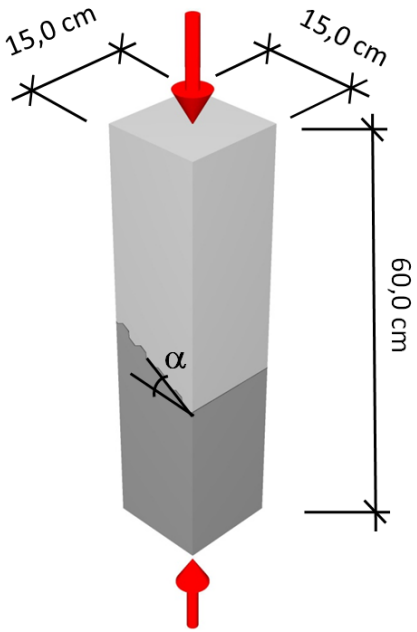
Quelle: VSL International Ltd.

Quelle: VSL International Ltd.

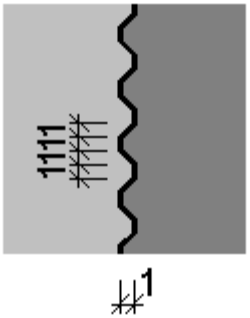
UHPFRC-Segmentfugen

- Untersuchungen zur Tragfähigkeit der schub- und druckbeanspruchten UHPFRC-Segmentfugen
- Versuchskörper in Anlehnung an einen Ausschnitt einer Druckstrebe im Bereich einer Segmentfuge
- Prismatischer Versuchskörper 15 / 15 / 60 cm
- Um variablen Druckstrebenneigungswinkel zu simulieren, Fugenneigung α von 0°, 20°, 30°, 50°, 55° und 60°
- Feinprofilierte, trapezförmige Trockenfuge
- Feinkorn-UHPFRC mit 2,5 Vol.-% Stahlfasern und $f_{cm} \geq 150$ MN/m²



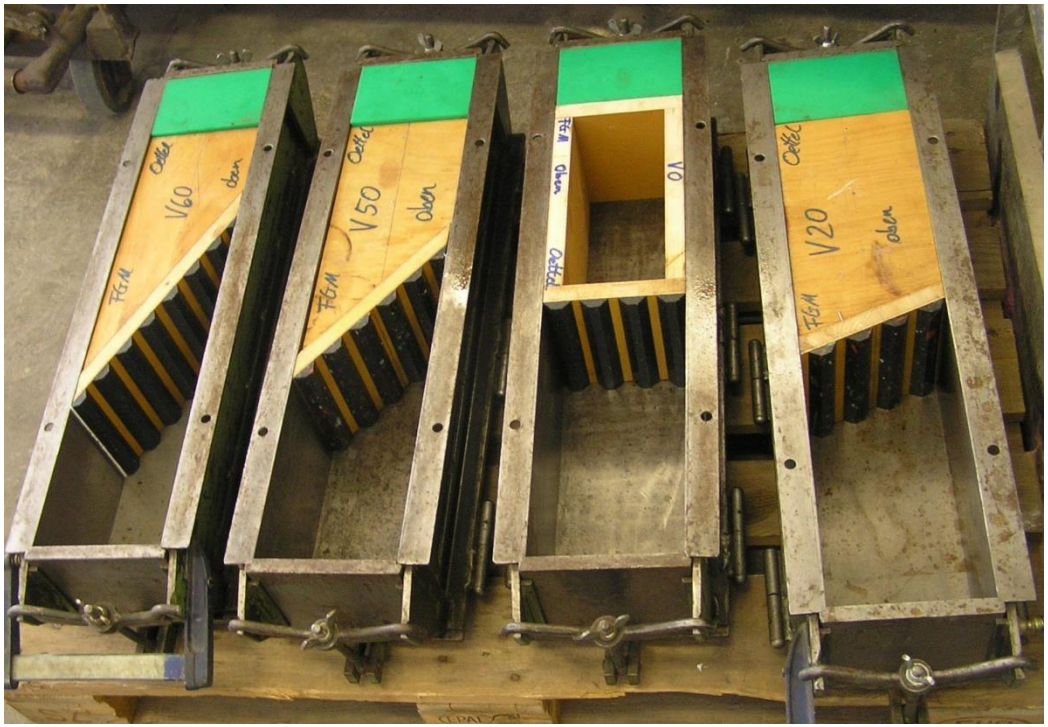


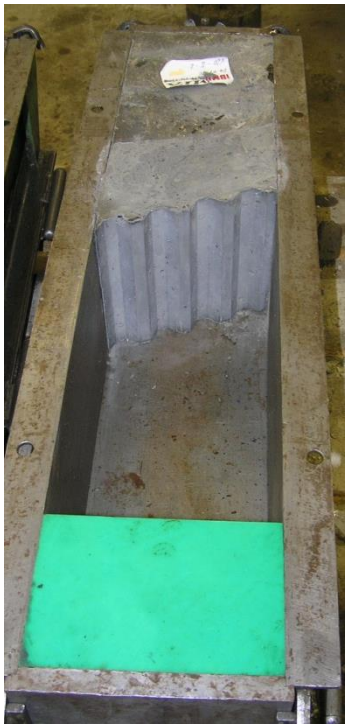
Fugenprofilierung:



UHPFRC-Segmentfugen

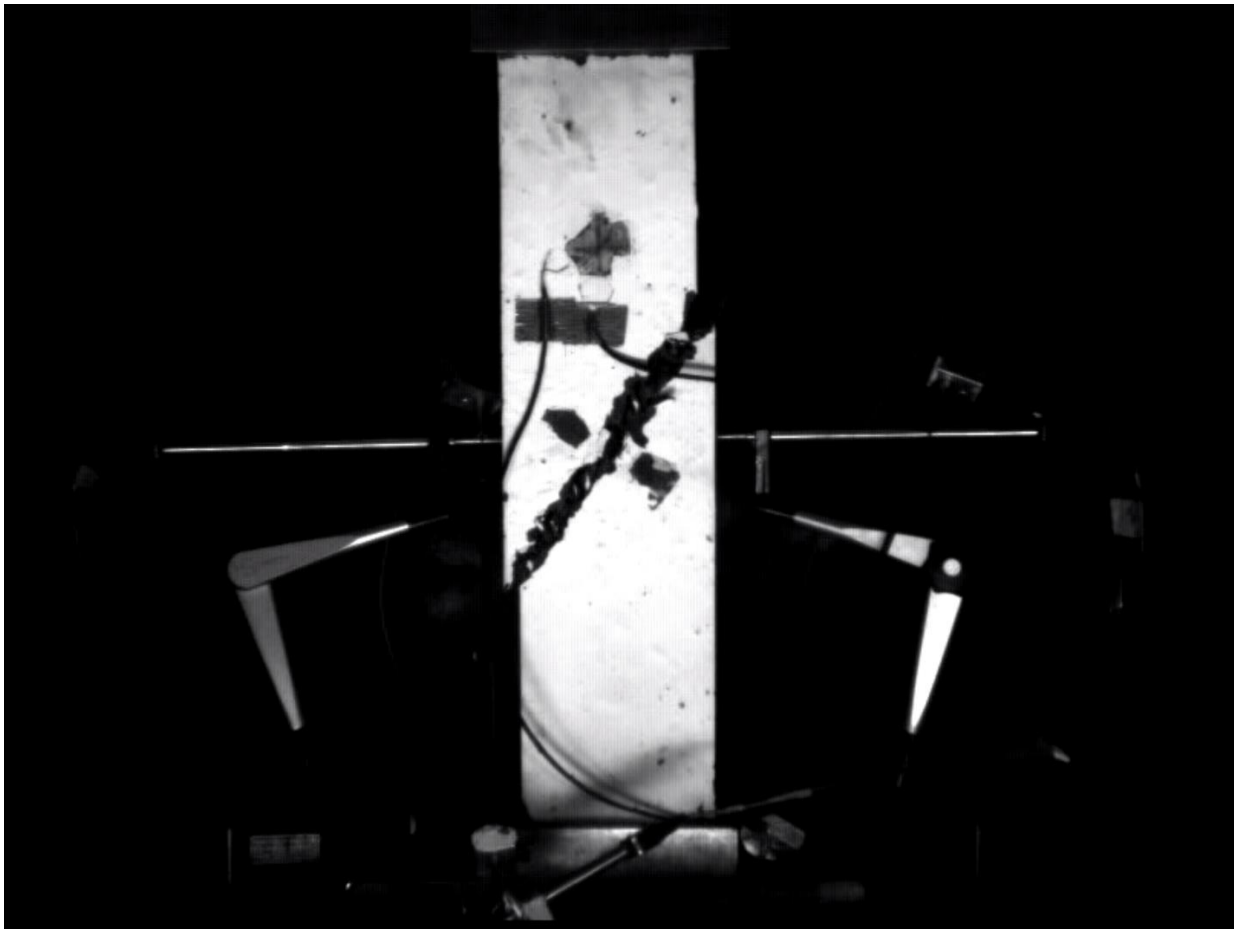
- Herstellung der Versuchskörper mit dem Kontaktverfahren („Match-Cast-Verfahren“)
- Zwei Betonierabschnitte mit einem Betonierabstand von einem Tag
- Trennung der beiden Betonierabschnitte mittels Schalöl





UHPFRC-Segmentfugen

- Aufnahme des Versagens mit Hochgeschwindigkeitskamera – Versuchskörper mit α = 55°

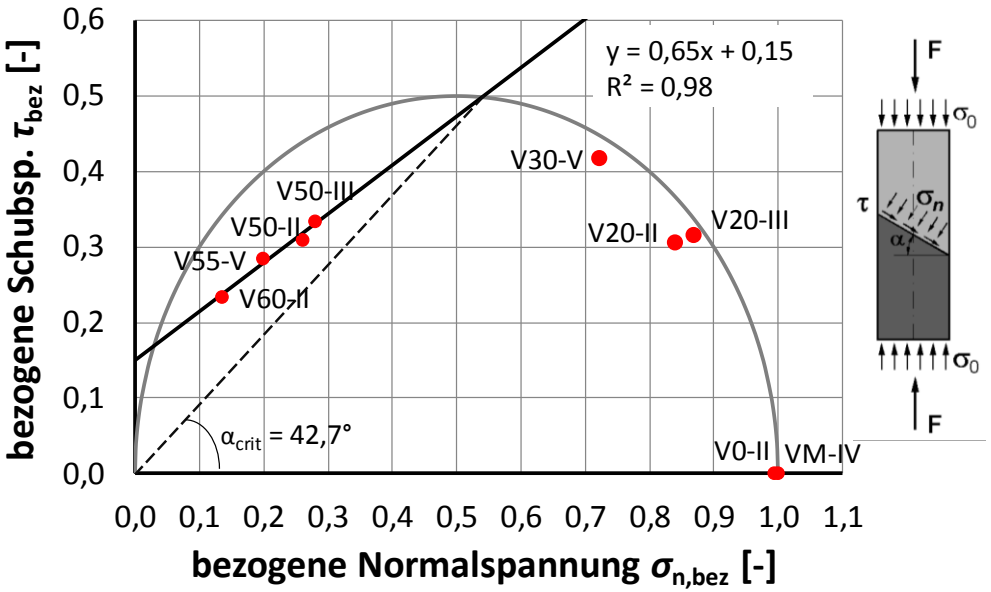


UHPFRC-Segmentfugen

- Versagen der Schub-Druck-Versuchskörper in Abhängigkeit der Fugenneigung
- $\alpha \leq 30°$ Druckbruch → Versagen des Betons unbeeinflusst von der Fuge
- $\alpha \geq 50°$ Gleitbruch → Versagen der Verzahnung durch Abscheren

UHPFRC-Segmentfugen

- Auswertung der Versuchsergebnisse als Schub-Druck-Diagramm:
  - MOHR'scher Grenzspannungskreis
  - COULOMB'sche Bruchgerade
- Ab kritischem Winkel α_{crit} = 42,7° wird die Fuge für das Versagen maßgebend
- Bemessungsansatz für feinprofilierte UHPFRC-Trockenfugen aufbauend auf der Formulierung von SPECKER



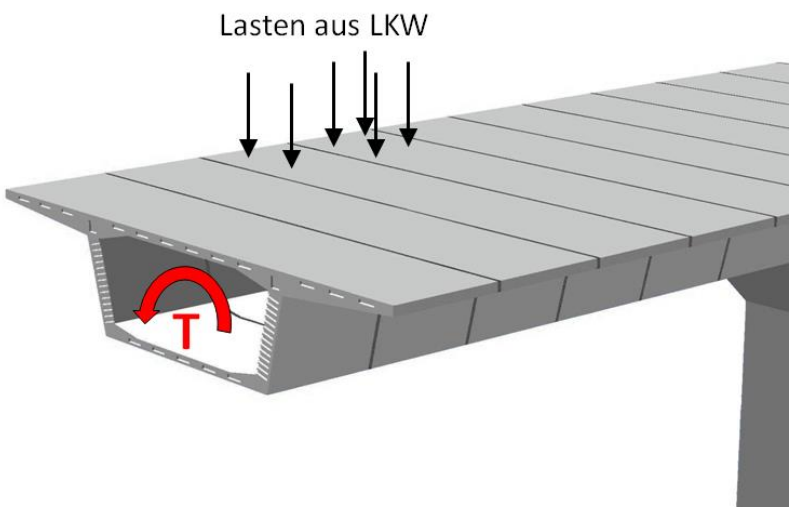
$$v_{\mathrm{Ri}} = \mu \cdot \sigma_{\mathrm{n}} + f \cdot f_{\mathrm{c}} \cdot \frac{A_{\mathrm{Nocke}}}{A_{\mathrm{Fuge}}}$$

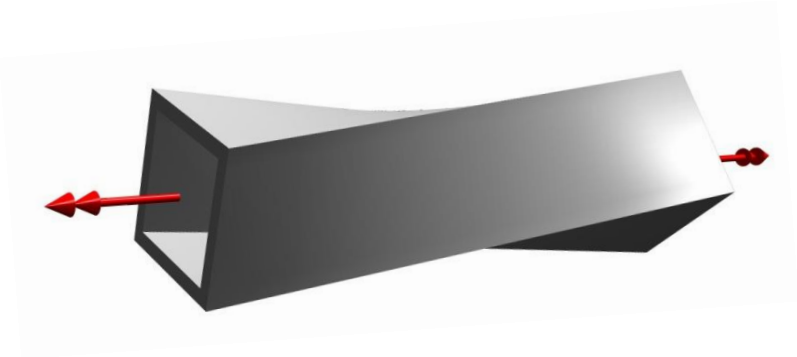
Anteil Reibung ($\mu = 0{,}65$)

Anteil Fugenprofilierung ($f = 0{,}19$)

UHPFRC-Balken

- DFG-Forschungsvorhaben innerhalb SPP 1182 „Nachhaltiges Bauen mit ultra-hochfestem Beton“
- „Monolithische Balken und vorgespannte Segmentbauteile aus UHPC unter Torsions- und kombinierter Biege-, Querkraft- und Torsionsbeanspruchung“
- Versuchsserien
  - Zugstrebentragfähigkeit unter reiner Torsion (V0 – V5)
  - Druckstrebentragfähigkeit unter reiner Torsion (V6 – V8)
  - Druckstrebentragfähigkeit unter kombinierter Beanspruchung (V9 & V10)

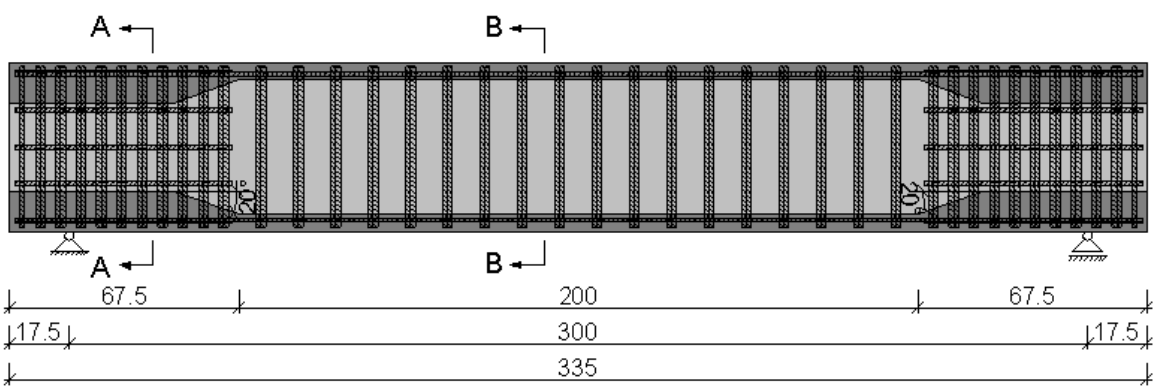




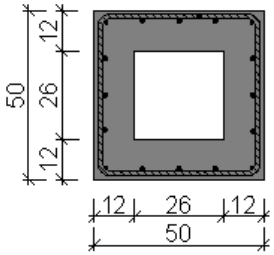
UHPFRC-Balken

- Untersuchungen an drei monolithischen und zwei segmentären Balken

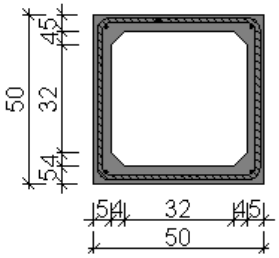
Ansicht monolithischer Versuchskörper



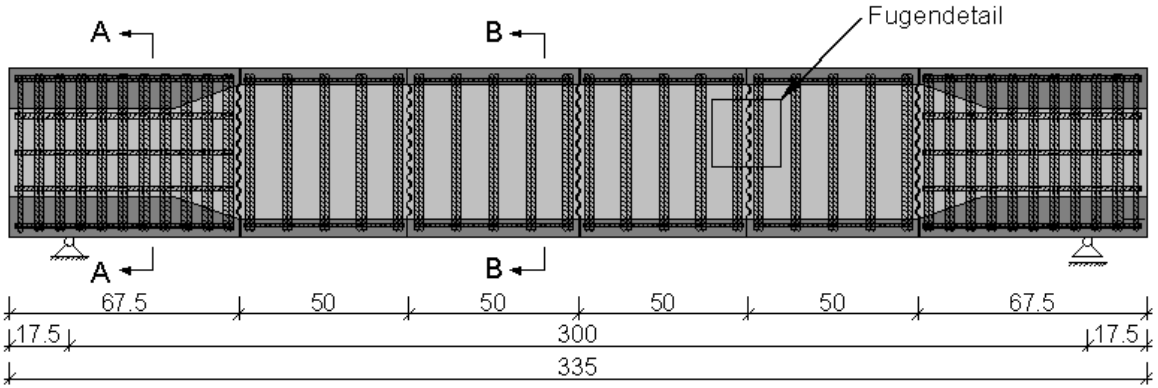
Querschnitt A-A



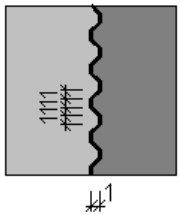
Querschnitt B-B

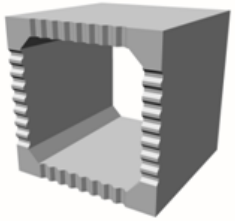


Ansicht segmentärer Versuchskörper



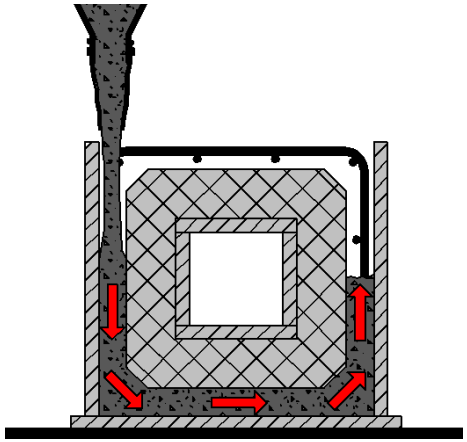
Fugendetail





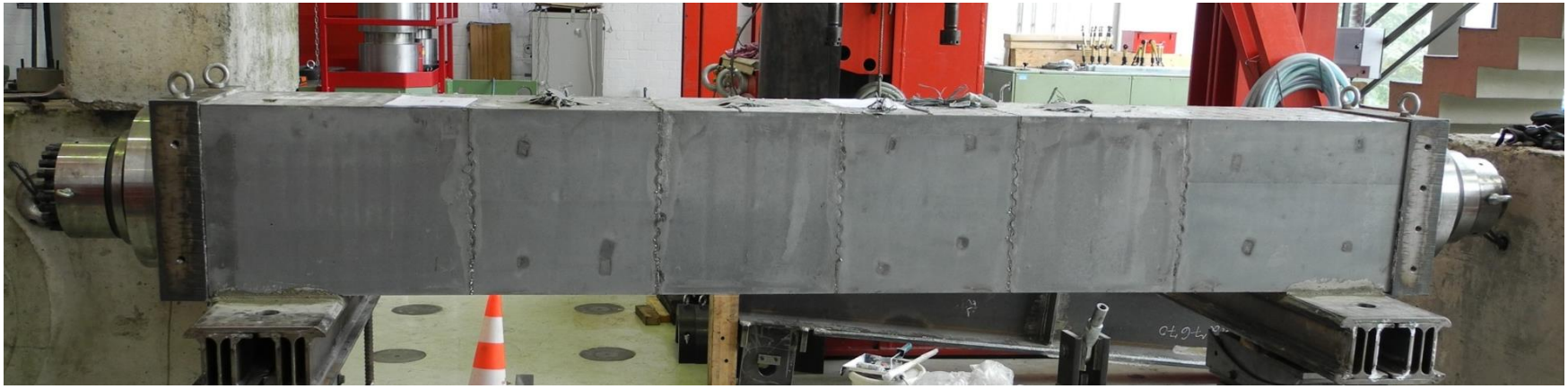
UHPFRC-Balken

- Herstellung mit modifiziertem Kontaktverfahren im Fertigteilwerk Rekers (Spelle)



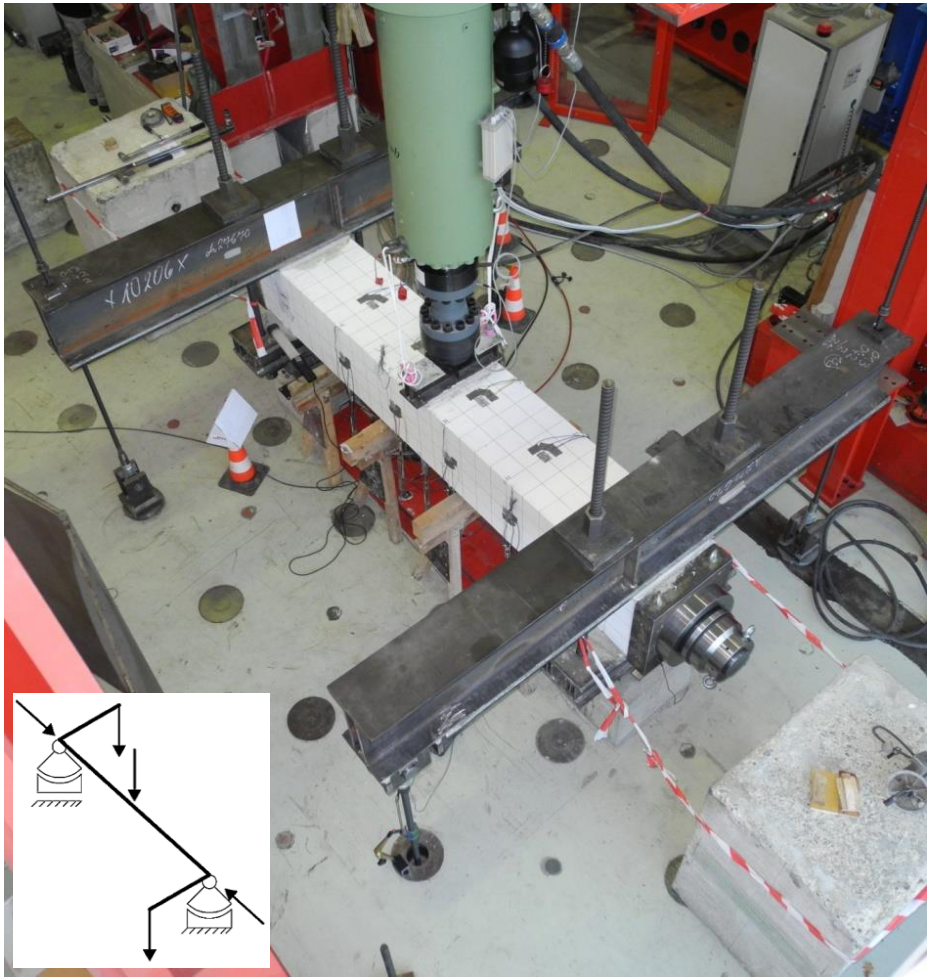
UHPFRC-Balken

- Anlieferung der einzelnen Segmente und Zusammenspannen zu einem Balken

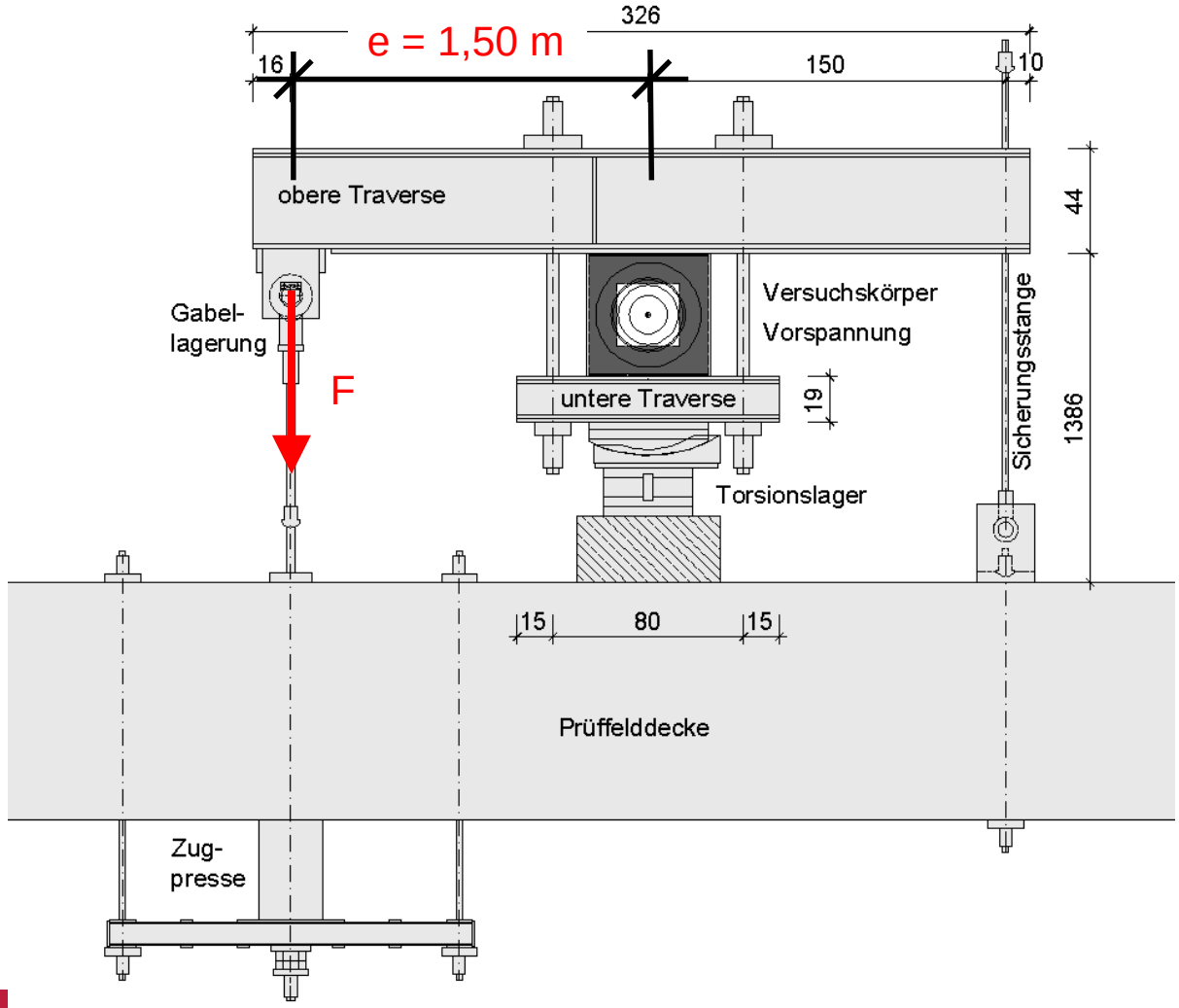


UHPFRC-Balken

- Vorspannung
  - Externes Spannglied
- Biegemoment und Querkraft
  - Einzellast in Feldmitte
- Torsionsmoment
  - Belastungsrahmen mit Zugpresse an beiden Auflagern
- Auflager
  - Festes Kipp- und Torsionslager
  - Bewegliches Kipp- und Torsionslager

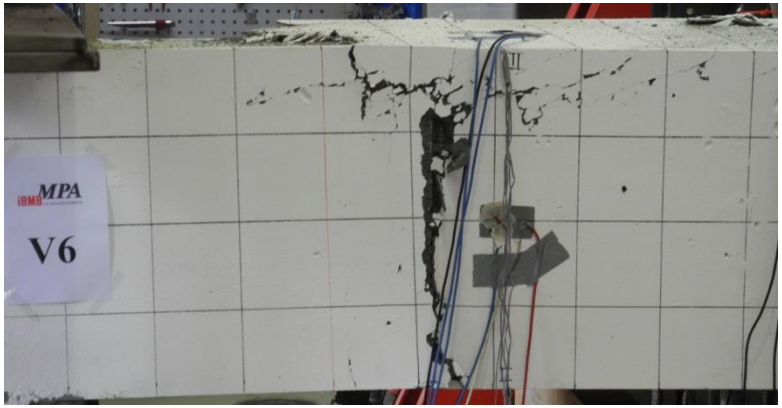


UHPFRC-Balken

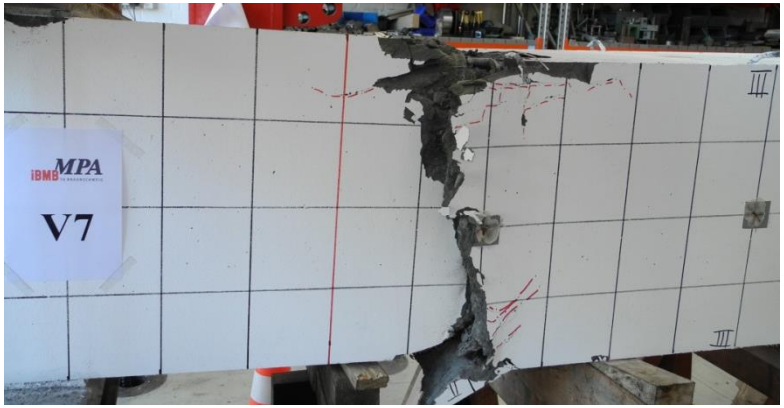


UHPFRC-Balken

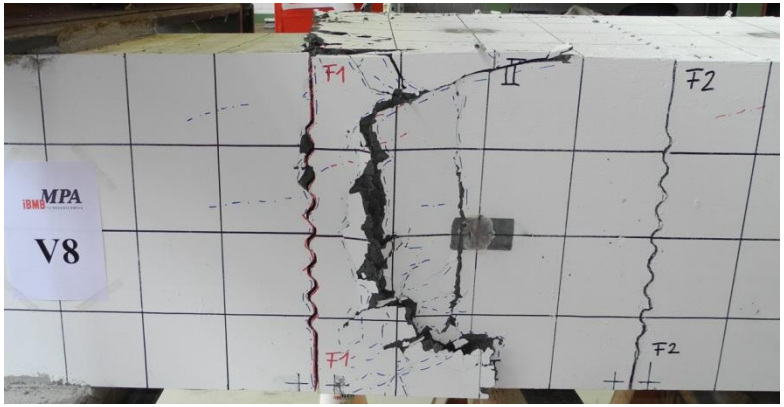
- Rissbilder im Bruchzustand – Versuche unter reiner Torsionsbeanspruchung



V6 → Monolithischer Balken



V7 → Monolithischer Balken



V8 → Segmentbalken

V8 → Trockenfuge nach Versuch

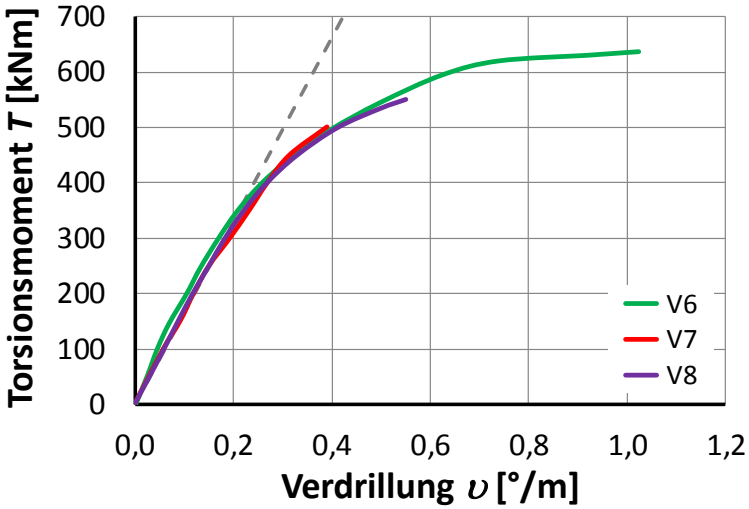
UHPFRC-Balken

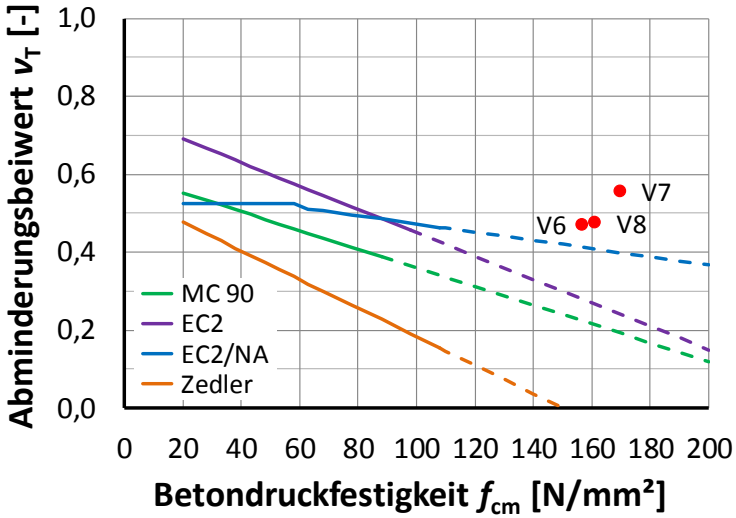
- Last-Verformungs-Kurven ähneln denen eines konventionell bewehrten Balkens aus Normalbeton
- Gilt auch für den Segmentbalken, wenn die Trockenfugen bis zum Erreichen der Traglast vollständig überdrückt bleiben
- Druckstrebe entsprechend räumlichem Fachwerkmodell nach EC2/NA

$$T_{\mathrm{Rd,max}} = \frac{\nu_{\mathrm{T}} \cdot f_{\mathrm{cd}} \cdot t_{\mathrm{ef}} \cdot 2 \cdot A_{\mathrm{k}}}{\cot\theta + \tan\theta}$$

- Abminderungsbeiwert für UHPFRC kann durch lineare Extrapolation des Abminderungs-beiwerts von hochfestem Beton nach EC2/NA bestimmt werden kann

$$\nu_{\mathrm{T}} = 0{,}525 \cdot (1{,}1 - f_{\mathrm{ck}}/500)$$

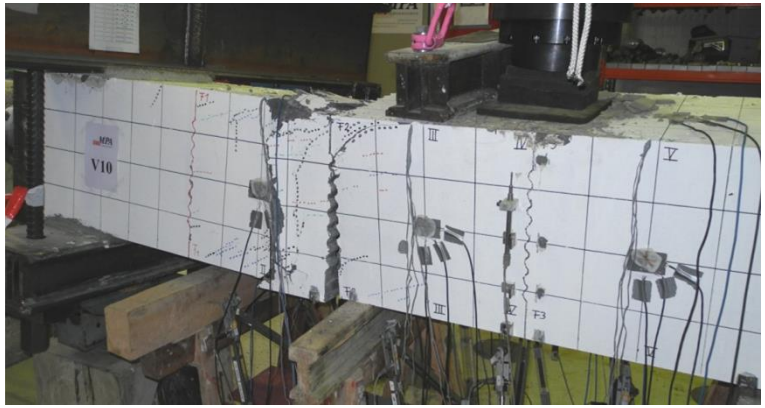




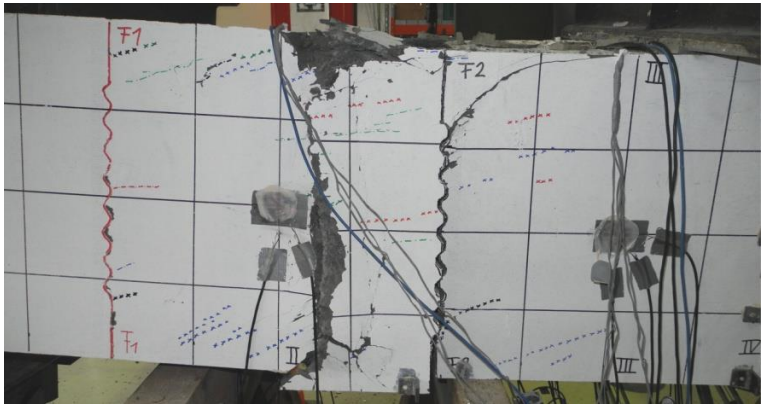
UHPFRC-Balken

- Rissbilder im Bruchzustand – Versuche unter kombinierter Beanspruchung

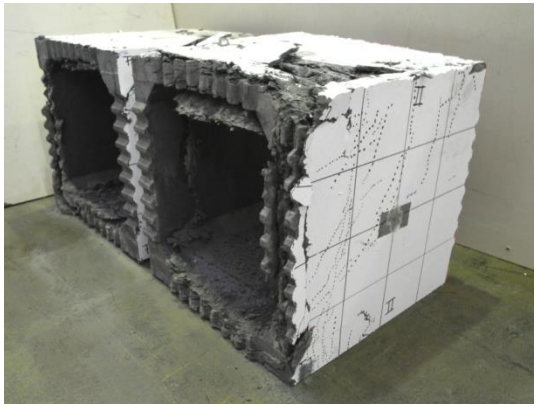
V9 → Monolithischer Balken



V10 → Übersicht



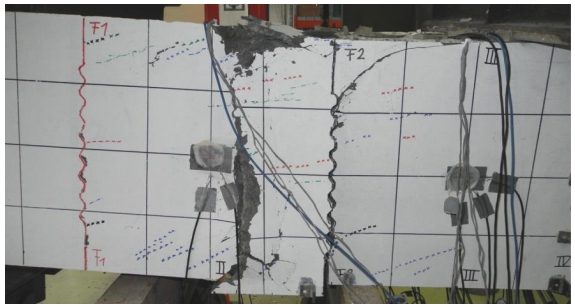
V10 → Segmentbalken

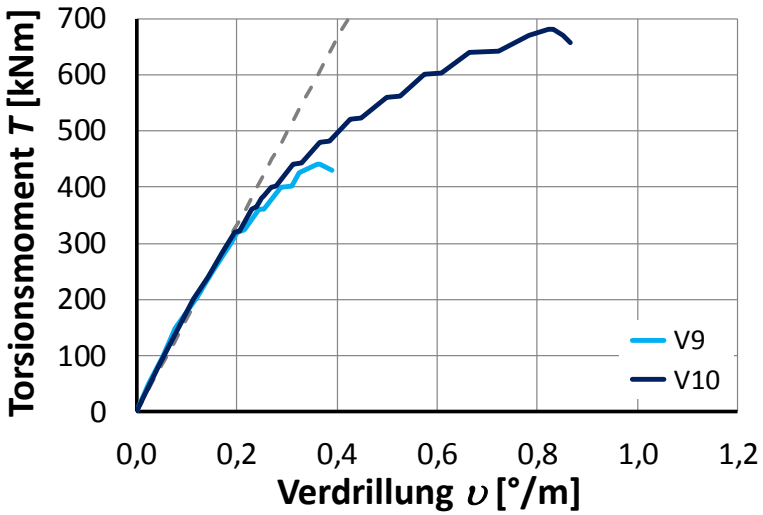


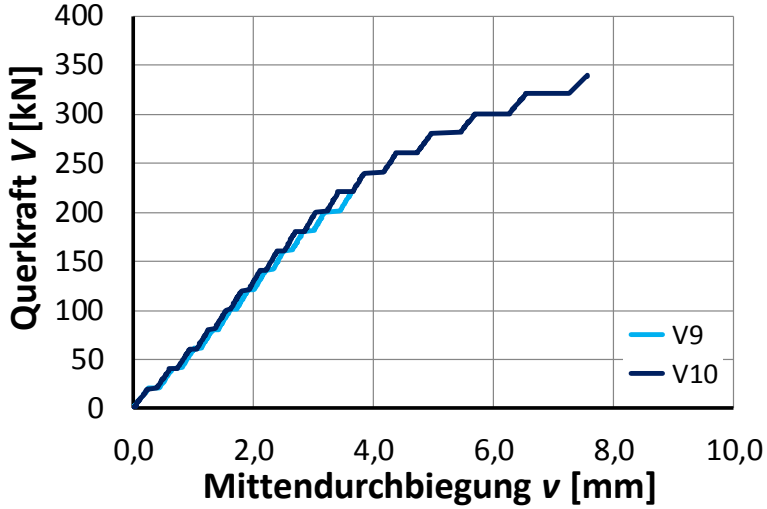
V10 → Trockenfuge nach Versuch

UHPFRC-Balken

- Last-Verformungs-Kurven ähneln denen eines konventionell bewehrten Balkens aus Normalbeton
- Gilt auch für den Segmentbalken, wenn die Trockenfugen bis zum Erreichen der Traglast vollständig überdrückt bleiben





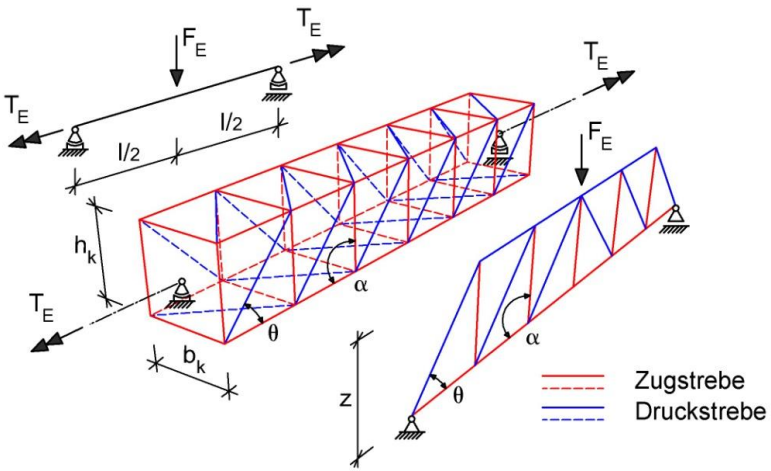


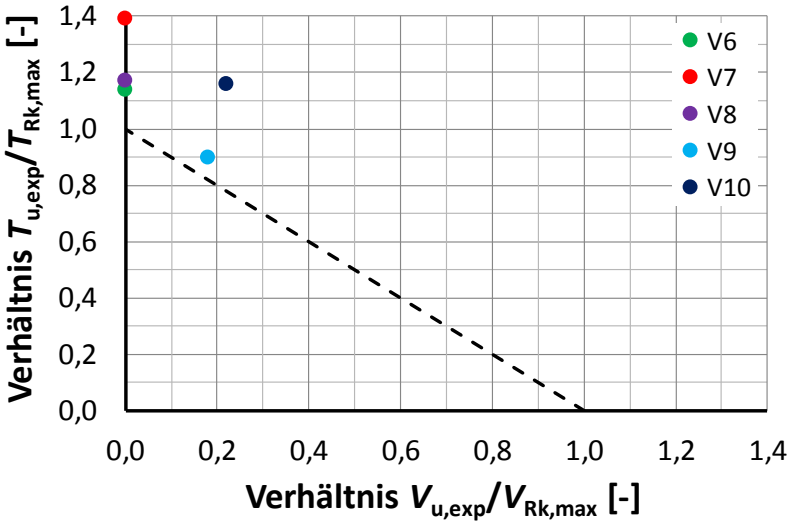
UHPFRC-Balken

- Bei kombinierter *T*- und *V*-Beanspruchung wird von einer Überlagerung der Fachwerkmodelle ausgegangen
- Nach EC2/NA erfolgt die Überlagerung der Fachwerkmodelle über eine lineare Interaktionsbedingung

$$\frac{T_{\mathrm{Ed}}}{T_{\mathrm{Rd,max}}} + \frac{V_{\mathrm{Ed}}}{V_{\mathrm{Rd,max}}} \leq 1{,}0$$

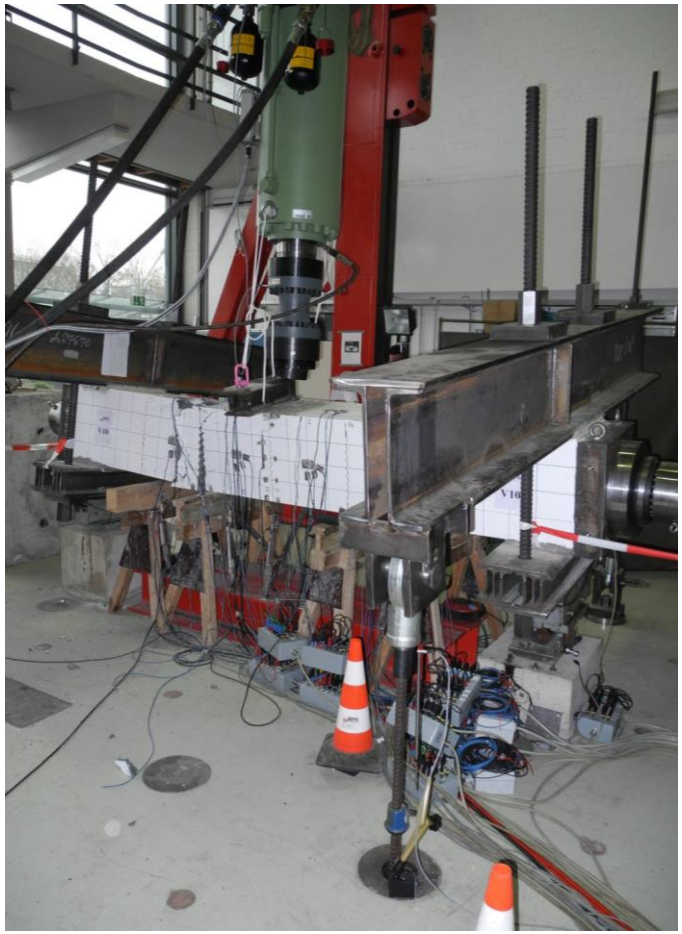
- Lineare Interaktionsbedingung gilt in guter Näherung auch für UHPFRC, falls die Abminderungsbeiwerte für hochfesten Beton nach EC2/NA verwendet und linear extrapoliert werden





Zusammenfassung

- Segmentbau in Verbindung mit UHPFRC stellt eine zukunftsträchtige Bauweise dar
- Fugentragfähigkeit von feinprofilierten UHPFRC-Trockenfugen wurde an Kleinkörpern untersucht und ein Bemessungsansatz aufgestellt
- Untersuchungen zum Trag- und Verformungs-verhalten von extern vorgespannten Hohlkästen in monolithischer und segmentärer Bauweise ergab:
  - UHPFRC-Balken haben ein ähnliches Verhalten wie monolithische Balken aus Normalbeton
  - UHPFRC-Segmentbalken verhalten sich wie monolithische UHPFRC-Balken, wenn die Fugen bis zur Traglast überdrückt bleiben
  - Bekannte Fachwerkmodelle können auch für UHPFRC benutzt werden, wenn die Abminderungsbeiwerte für hochfesten Beton linear extrapoliert werden



Ende

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Vielen Dank für die Unterstützung:

DFG Schwerpunktprogramm SPP1182
Nachhaltiges Bauen mit ultra-hochfestem Beton

Dr.-Ing. Vincent Oettel
mail: v.oettel@ibmb.tu-bs.de

Prof. Dr.-Ing. Martin Empelmann
mail: m.empelmann@ibmb.tu-bs.de