

# Zukunft Bau

## STRUKTUR / GLIEDERUNG KURZBERICHT

---

### Titel

Neuartige, mit nicht-metallischer Basaltbewehrung (BFRP) vorgespannte Rohrprofile aus Ultra-Hochleistungsbeton (UHPC) für außerordentlich dauerhafte, materialsparende Betontragkonstruktionen unter klimatisch und chemisch extremen Beanspruchungen

### Anlass/ Ausgangslage

Zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit von Stahlbetonbauteilen gegen klimatische und chemische Einwirkungen kann ein UHPC verwendet werden, der sich durch eine hohe Druckfestigkeit und äußerst dichte Gefügematrix auszeichnet. Die Dauerhaftigkeit lässt sich weiter steigern, wenn die Betonstahlbewehrung durch eine nicht korrodierende BFRP ersetzt wird. Ferner hat BFRP eine höhere Zugfestigkeit, so dass prinzipiell auch eine Vorspannung möglich ist.

### Gegenstand des Forschungsvorhabens

Betonbauteile, die extremen und aggressiven Randbedingungen ausgesetzt sind, müssen besonders dauerhaft und widerstandsfähig sein. Für solche Bauteile kann an Stelle eines Normalbetons ein Ultra-Hochleistungsbeton (UHPC) verwendet werden, der durch die Verringerung der Porosität und die Erhöhung der Packungsdichte eine hohe Druckfestigkeit auch einen hohen Widerstand gegen klimatische und chemische Einwirkungen aufweist. Darüber hinaus kann die konventionelle Betonstahlbewehrung durch eine nichtmetallische faserverstärkte Bewehrung (FRP) ersetzt werden, die im Vergleich zu konventioneller Betonstahlbewehrung nicht korrodiert und ein geringes Eigengewicht sowie eine hohe Zugfestigkeit besitzt.

Im vorliegenden Projekt wurde im Wesentlichen eine basaltfaser-verstärkte Bewehrung (BFRP) verwendet, wobei zu Referenzzwecken auch eine glasfaserverstärkte Bewehrung (GFRP) und konventioneller Betonstabstahl (B500) betrachtet wurde. Insgesamt wurden umfangreiche experimentelle und theoretische Untersuchungen zu verschiedenen Themen und Fragestellungen im Hinblick auf den Einsatz von BFRP in Betonbauteilen aus UHPC geführt.

Zunächst wurden zahlreiche Zug- und Druckversuche zur Bestimmung der Materialeigenschaften und der mechanischen Kennwerte durchgeführt. Die untersuchten faserverstärkten Bewehrungen (BFRP und GFRP) erreichten im Mittel eine doppelte so hohe Zugfestigkeit wie Betonstahl und einen E-Modul, der etwa 25% des E-Moduls von Betonstahl beträgt. Darüber hinaus wurde die Dauerhaftigkeit der BFRP in verschiedenen Laborprüfungen untersucht (Alkalische Resistenzprüfung, UV-Beständigkeit und Frostwiderstand) und im Nachgang auch noch weitergehend mit REM-Aufnahmen und EDX-Analysen ausgewertet. Lediglich beim alkalischen Widerstand hatten die BFRP Probleme, die Mindestanforderungen an den Festigkeitsabfall einzuhalten. Des Weiteren wurden Dauerschwingversuche mit FRP durchgeführt, die aber bei der FRP ein deutlich schlechteres Ermüdungsverhalten im Vergleich zum Betonstahl (B500) zeigten.

Für die Herstellung der Begleit- und Versuchskörper wurde eine Schleuderbetonrezeptur (UHPC) der Fa. Europoles im Hinblick auf eine Rüttelbetonrezeptur (UHPC) angepasst und optimiert, so dass alle beabsichtigten mechanischen Kennwerte eines UHPC erreicht werden konnten. Mit der gewählten UHPC-Rezeptur wurden auch verschiedene Baustoffprüfungen

im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit durchgeführt, wie z. B. Bestimmung der Wassereindringtiefe, Frostwiderstand und Frost-Taumittel-Widerstand. In allen Laborprüfungen zeigte der verwendete UHPC eine sehr geringe Schädigung und erreichte die gewünschte sehr hohe Dauerhaftigkeit.

Das Verbundverhalten der BFRP und GFRP wurde in Pull-Out-Versuchen untersucht. Alle Verbundspannungs-Schlupf-Beziehungen sowie alle maximalen Verbundspannungen der untersuchten faserverstärkten Bewehrungen lagen deutlich niedriger als die Werte der zu Referenzzwecken untersuchten Betonstabstähle. Gleichwohl lagen die Verbundfestigkeitswerte der untersuchten faserverstärkten Bewehrungen höher als die Bemessungswerte nach Eurocode 2 und Model Code 2010.

Das Tragverhalten von UHPC-Bauteilen mit BFRP wurde in verschiedenen Versuchskonfigurationen geprüft. Die Untersuchungen umfassten neben Stützen aus Schleuderbeton zur Erfassung der Traglast und des Nachbruchverhaltens, auch Balken mit Rechteckquerschnitt sowie Vollplatten zur Bestimmung der Biegetragfähigkeit, sowie Balken mit Kreisringquerschnitten bzw. Rohrprofilen für die Prüfung der Biege- und Querkrafttragfähigkeit. Insgesamt lieferten die experimentellen Versuche zufriedenstellende Ergebnisse und eine genügende Übereinstimmung mit den numerischen Vergleichsbetrachtungen.

Zur Vorspannung von BFRP wurden erste Untersuchungen durchgeführt, wobei zunächst eine Verankerung entwickelt wurde. Die BFRP wurden dann auf 45 % und 55 % ihrer Zugfestigkeit vorgespannt. Der Spannkraftverlust lag in einem erwarteten Bereich. Ferner wurden grundsätzliche Aspekte, wie z. B. Herstellung, Handhabung, Verarbeitung und Ausführung, betrachtet.

Zusammenfassend sind bei BFRP weitere Arbeiten notwendig, z. B. hinsichtlich der Materialkomposition (Faser-Harz-System) sowie der Dauerhaftigkeit bei chemischer (Alkali-resistenz) und physikalischer (Ermüdungsfestigkeit) Einwirkung.

## **Fazit**

---

Bei der untersuchten Werkstoffkombination (UHPC mit BFRP) handelt es sich um eine sehr vielversprechende Verknüpfung. Eine umfassende Behandlung der Thematik war im Rahmen des Forschungsvorhabens aber nicht möglich. Hierzu sind zum einen die Fragestellungen zu komplex, und zum anderen ist die Entwicklung der BFRP-Kompositionen noch im Gange. Jedoch konnten wertvolle Ergebnisse zu den verschiedenartigsten Fragestellungen gewonnen werden. Derzeit wäre der Einsatz von UHPC-Bauteilen mit BFRP sowohl im Hoch- als auch im Ingenieurbau möglich, wenn das primäre Augenmerk auf der Dauerhaftigkeit liegt und eine Optimierung in Bezug auf eine maximale Werkstoffausnutzung eine sekundäre Bedeutung hat.

## **Eckdaten**

---

Kurztitel: Neuartige, mit nicht-metallischer Basaltbewehrung (BFRP) bewehrte Bauteile aus Ultra-Hochleistungsbeton (UHPC)

Forscher: Omid Moghaddam, M.Eng., TU Braunschweig, iBMB,  
Marcel Wichert, M.Sc., TU Braunschweig, iBMB

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Martin Empelmann, TU Braunschweig, iBMB

Gesamtkosten: 577.163,74 €

Anteil Bundeszuschuss: 267.265,92 €

Projektlaufzeit: 08.12.2014 – 31.12.2017