



**Energie**

Nationale Forschungsprogramme 70 und 71

# Projekt

## Kohlefaser-vorgespannter Beton



## Spannbeton mit Karbonfasern und wenig Zement: eine umweltfreundliche Variante

Spannbeton ist normalerweise mit Stahleinlagen versehen, was ihn besonders belastungsfähig macht. Doch Karbonfasern könnten den Stahl bald verdrängen – und der Beton umweltfreundlicher werden.



Spannbeton wird vorgespannt, damit er zugfester ist. *Quelle:* Wikicommons/Michael Schmahl





## Auf einen Blick

- Spannbetonelemente können mit Kohlenstoff statt Stahl verstärkt werden, ohne dass es zu Einbussen bei den mechanischen Eigenschaften kommt.
- Hochfester Beton mit wenig Zement könnte gängigen Beton zudem ersetzen.
- Diese beiden Innovationen machen Spannbeton massiv energieeffizienter und umweltschonend.

Der Bau eines Gebäudes ist energieintensiv: Sowohl der eingesetzte Beton als auch der Stahl brauchen in ihrer Herstellung viel Energie und verursachen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Deshalb könnten energieärmerer Beton und Konstruktionen ohne Stahl einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung der Energiestrategie 2050 leisten. In diesem Projekt haben Forschende der Empa und der ETH nach umweltfreundlichen Varianten für klassischem Spannbeton gesucht.

Beton verfügt über hohe Druckfestigkeit, Zug hingegen hält er nur schlecht aus. Spannbeton ist wie herkömmlicher Beton mit Stahlelementen verstärkt. Um ihn aber noch zugfester zu machen, sind die Stahldrähte im Inneren gespannt. Das macht die Betonkonstruktion belastungsfähiger.

## Spannbeton mit Kohlenstoff statt Stahl

Eine bereits existierende Variante zu Stahldrähten sind Vorspanndrähte aus mit Kohlenstofffasern verstärkten Kunststoffen. Die Forschenden haben die Tragfestigkeit und die Steifigkeit solcher Drähte untersucht und verbessert. Hierfür entscheidend ist die Art und Weise, wie sich die Drähte mit dem Beton verbinden. Deshalb untersuchten die Wissenschaftler hochsteife, sandbeschichtete Vorspanndrähte aus Kunststoffen, die mit Kohlenstofffaser verstärkt sind (UHM-CFRP).

Sie testeten mit Berechnungen und Experimenten das Auszugverhalten der Drähte mit verschiedenen Sandbeschichtungen. Um zu bestimmen, wann die Drähte versagen, haben die Forscher Röntgen-Computertomographie und Rasterelektronenmikroskopie verwendet. Es zeigte sich, dass das Auszugsverhalten der Drähte von der Längssteifigkeit des UHM-CFRP Spanndrahtes abhängt. Im Gegensatz dazu war die maximale Verbundfestigkeit zwischen dem sandbeschichteten Spanndraht und dem Beton nur von der gewählten Sandbeschichtung abhängig, nicht aber davon, wie steif der Spanndraht war.

## Hochfester Beton mit weniger Zement

Die Forschenden untersuchten aber nicht nur neue Varianten der Spannelemente, sondern auch den Beton selbst. Das energieintensivste Material im Beton ist der Zement. Auch ist er umweltbelastend: Beim Brennen entsteht pro Tonne Zement mehr als eine halbe Tonne CO<sub>2</sub>. Die Forscher haben deshalb einen hochfesten, energiearmen Beton entwickelt, indem sie bis zu 70 Prozent des Zements durch andere Materialien wie Kalkstein, Metakaolin und Silikastaub ersetzen.

Hierbei haben die Forscher drei neue Rezepturen entwickelt, die eine Zementreduktion von 54, 58 und 70 Prozent aufweisen. Die gemessene Druckfestigkeit der drei Mischungen lag zwischen 77 und 88 Megapascal, was sie als «hochfest» klassifiziert. Zudem zeigen diese Mischungen auf Grund des stark reduzierten Zementanteils ein deutlich verbessertes Schwind- und Kriechverhalten – was bei Spannbeton ein enormer Vorteil ist.

## Test an vorgespannten Biegebalken

Die beiden neuen Materialien, also die sandbeschichteten Karbondrähte und der zementarme Beton, wurden anschliessend in einer Konstruktion getestet: die Forschenden entwickelten dafür drei Meter lange, vorgespannte Tragbalken. In den Spanndrähten waren faseroptische Sensoren integriert, um damit die Vorspannungsverluste experimentell zu bestimmen. Wie erwartet zeigten die Karbondrähte einen Vorspannungsverlust. Dieser konnten aber durch die neuen Betonmischungen – zumindest teilweise – kompensiert werden.

Insgesamt kommen die Forscher zu dem Schluss, dass die Tragbalken aus den neuen Materialien im Endeffekt den Tragbalken aus herkömmlichem Beton und bisher genutzten Kohlenstoffdrähten überlegen sind.



## Massiv energiesparend

Die Forscher haben auch die Ökobilanz des neuen Spannbetons errechnet. Im Vergleich zu einer Stahlbetonkonstruktion könnten mit den neuen Spannbetonelementen bis zu 80 Prozent der grauen Energie und 90 Prozent der CO<sub>2</sub>-Emissionen eingespart werden. Zudem sind die neuen Materialien leichter, was zu weniger Transportkosten führt und in Fundamenten weniger Stahl und Beton nötig macht.

Der mit Kohlenstoffdrähten verstärkte Spannbeton kann ohne grosse Anpassungen in die Praxis übernommen werden. Das würde erheblich dazu beitragen, die CO<sub>2</sub>-Bilanz zukünftiger Bauten zu optimieren. Eine ungeklärte Frage ist allerdings die Beständigkeit der neuen Materialien. Diese wird nun in einem mehrjährigen Projekt von der Empa getestet.



## Produkte aus diesem Projekt

- Bond Performance of Sand Coated UHM CFRP Tendons in High Performance Concrete  
Publikationsdatum: 30.12.16
- Low clinker high performance concretes and their potential in CFRP-prestressed structural elements  
Publikationsdatum: 30.10.19
- Transient Thermal Tensile Behaviour of Novel Pitch-Based Ultra-High Modulus CFRP Tendons  
Publikationsdatum: 24.10.16
- Development of novel low-clinker high-performance concrete elements prestressed with high modulus carbon fibre reinforced polymers  
Publikationsdatum: 30.10.19
- Verbundprojekt "Energiearmer Beton"  
Publikationsdatum: 20.12.16



## Team & Kontakt

Prof. Dr. Pietro Lura  
Concrete and Construction Chemistry  
Empa  
Überlandstrasse 129  
8600 Dübendorf  
  
+41 58 765 41 35  
[pietro.lura@empa.ch](mailto:pietro.lura@empa.ch)



Tobias Lämmlein



Pietro Lura  
Projektleiter

Alle Aussagen diesen Seiten bilden den Stand des Wissens per  
17.12.2018 ab.