



Zwanzig20 – C³B4 – C³Sense | Integration von Sensoren in Bauteile aus Carbonbeton

Zielsetzung

Im Kontext des Zwanzig20-Verbundprojektes *Carbon Concrete Composite C³* sollen im Basisvorhaben B4 „Multifunktionale Bauteile aus Carbonbeton am Beispiel der aktivierten Gebäudehülle“ im Teilvorhaben **C³Sense** am Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik (ITM), dem Institut für Baustoffe (IfB) der TU Dresden und in Kooperation mit dem Projektpartner Prignitz Mikrosystemtechnik GmbH (PMST) Sensorlösungen auf Basis resistiver Garnmaterialien entwickelt und umgesetzt werden. Diese sind entweder als integraler Bestandteil bei der textiltechnologischen Fertigung der C³-Bewehrung oder als additiv eingebrachtes resistives In-Situ-Sensorelement auszulegen, um thermische, mechanische und klimatische Beanspruchungen und daraus resultierende Strukturveränderungen im Inneren von C³-Fassadenelementen adaptiver Gebäudehüllen erfassen zu können. Carbonbeton besitzt neben herausragenden mechanischen auch sehr gute elektrische Eigenschaften, die neben der primären Betonbewehrung für die Realisierung sekundärer sensorischer Zusatzfunktionalitäten genutzt werden können.

Lösungsweg

Im Teilvorhaben C³Sense wurden am ITM dazu Sensorlösungen auf Basis piezoresistiver Garnmaterialien, insbesondere aus den intrinsisch elektrisch leitfähigen Carbonfaser (CF)-Rovings entwickelt, wobei entweder ein Teil der Carbon-Bewehrungsstruktur selbst als Sensor fungiert oder additiv eingebrachte In-Situ-Sensoren aus Carbon Rovings umgesetzt werden. In beiden Fällen ist eine hinreichende elektrische Isolation der Sensorelemente mit dielektrischen Materialien, hier Polyesterfasern bzw. -filamente, erforderlich, um Kurzschlüsse zur Grundstruktur zu vermeiden und damit die auf der Änderung des ohmschen Widerstandes basierende Messfunktion mechanischer Dehnungen zu gewährleisten. Dazu können etablierte textiltechnologische Verfahren genutzt werden, z.B. das Flecht-, Friktionsspinn- oder Foulardierverfahren. Es wurden an die spätere Bauteildimensionen skalierbare Sensorlayouts entwickelt, die kraftschlüssig mit der lastabtragenden textilen Bewehrung gekoppelt und insbesondere für Strukturen mit inhomogenen Dehnungsfeldern und inhärenter Rissverteilung geeignet sind.

Die Integration der mit textilen Fasermantelkonstruktionen ausgerüsteten Carbon-Sensorfäden erfolgt bei der Fertigung von Carbon-Bewehrungsstrukturen auf konventionellen Multiaxial-Kettenwirkmaschinen, wobei ein spezieller Bypass für die schonende Zuführung der Sensorfäden durch die Standardkettfadenschar an die Nähwirkstelle realisiert worden ist. Die neuen funktionalisierten Sensorbewehrungen können bei Erhaltung der Geometrie und Position der Sensorfäden konventionell aufgerollt und je nach Bedarf vorgeformt bzw. in ihren Abmaßen konfektioniert werden. Sie eignen sich hervorragend, um zukünftig mechanisch-thermische Beanspruchungen und daraus resultierende Strukturveränderungen, wie Risse oder Delaminationen, im Inneren von C³-Fassadenelementen kontinuierlich über die projektierte Bauteillebensdauer zu erfassen.

Ergebnisse

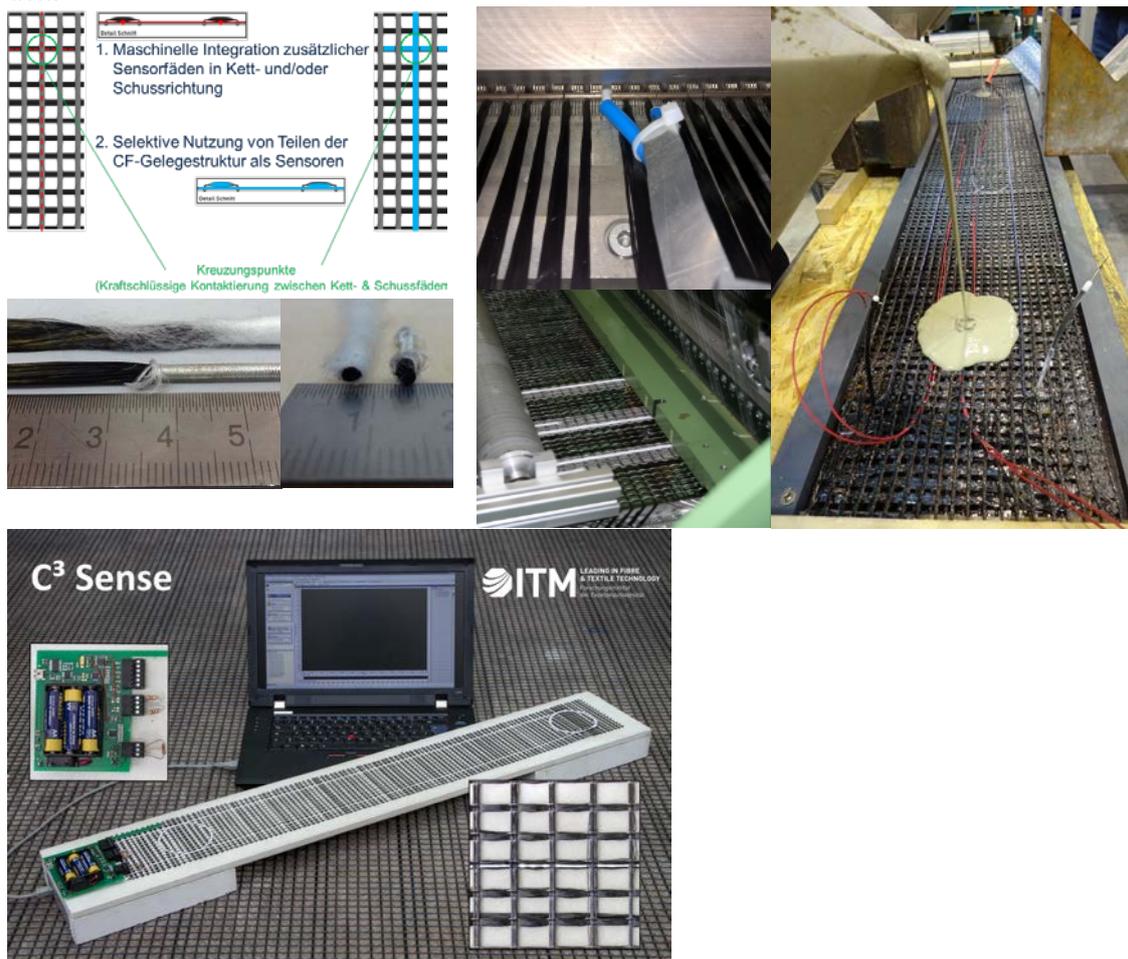
Auf Seiten resistiver Fasersensorik werden zwei als Sensorelement fungierende Garnmaterialien herangezogen: exPAN-basierte Rovings aus Carbonfasern in den Aufmachungen mit 1.000 (Toho Tenax HTA40H15) und 50.000 Filamenten (SGL Carbon SIGRAFIL C T50 4.0/240-E1). Letzteres Garnmaterial kommt auch in Kettrichtung des Zulassungstextils (TUDALIT-BZT1-TUDATEX BAZ-Nr. Z-31.10-182) als textile Bewehrungsstruktur im späteren C³-Verbund zur Anwendung. Für die elektrische Isolation der Sensormaterialien wurden das DREF-Friktionsspinnen und das Umflechten untersucht. Als dielektrische Isolationsmaterialien werden PES-basierte Garnerzeugnisse verwendet: ein Streckband mit 2x4,0 ktex für ersteres und ein Multifilamentgarn mit 167 dtex für letzteres Verfahren, die additiv auf das jeweilige als Sensor fungierenden CF-Roving aufgebracht wurden. Als durchschlagfestes und Sensormaterialschonendes Verfahren wurde das Umflechten identifiziert, wobei 1k-CF-Flechtstrukturen mit 220 tex (Isolationswiderstand 620 M Ω ; Basiswiderstand: 447 Ω /m \pm 0,7 %) sowie 50k-CF-Flechtstrukturen mit 3,72 ktex Gesamteinheit (Isolationswiderstand 410 M Ω ; Basiswiderstand: 8,7 Ω /m \pm 0,4 %) erfolgreich hergestellt werden konnten.

Die resistiven Sensoren wurden mit der Multiaxialkettenwirktechnik (MALIMO 14024) bei der Fertigung von C³-Zulassungstextil TUDALIT-BZT1-TUDATEX lokal in Kettrichtung integriert, wobei sie durch den Wirkfaden entweder auf (resistive 1k-CF-Sensoren) oder substituierend anstelle des 50k-Kettfadens der Grundstruktur (50k-CF-Sensoren) gegen den Schussfaden mittels einer gegenlegiger Trikot-Bindung kraftschlüssig fixiert werden. Nach elektrischer Kontaktierung bzw. Aufspleißen optischer Verbindungselemente, werden die funktionalisierten Verstärkungshalbzeuge durch das lfb betoniert und nach 6-tägiger Konsolidierung reproduzierbaren zyklischen Belastungsszenarien bei einer Dehnrage von 0,4 mm/min bis 0,375 % Dehnung und abschließender quasistatischer Beanspruchung bis zum Bruch ausgesetzt und die messbaren Sensorsignale analytisch ausgewertet.

Als Vorzugsvariante resistiver CF-Sensoren wurden Sensoren mit 50k CF-Roving und geflochtenem PES-Isolationsmantel identifiziert, die den in Kettrichtung verlaufenden Standardkettfaden mit sonst gleicher Konstitution substituieren. Diese weisen eine Empfindlichkeit $k = (0,54 \pm 0,02)$, eine Linearitätsabweichung $A_{Lin} = (5,51 \pm 1,9) \%$ sowie eine mittlere Hysterese $A_{Hys} = (2,47 \pm 0,2) \%$ über fünf Beanspruchungszyklen auf.

Gemeinsam mit dem Projektpartner PMST GmbH konnte ein 8-Kanal-Mess-Modul mit integriertem Datenspeicher und autonomer Energieversorgung für die resistive Sensorik realisiert werden, dass neben der zweikanaligen Temperaturerfassung mit konventionellen Temperatursensoren PT100/PT1000, zur kontinuierlichen Erfassung und Datenspeicherung der resistiven In-Situ-Sensoren genutzt wird.

Aufbauend auf den gefundenen Sensor-Vorzugslösungen ist gemeinsam mit lfb ein endanwendungsnaher Demonstrator in Form einer C³-Tragwerkstruktur mit funktionalisierter Carbon-Bewehrung realisiert worden. Der als Biegebalkenstruktur ausgelegte C³-Demonstrator ($[L \times B \times H] = 800 \times 150 \times 50 \text{ mm}^3$) enthält in die textile CF-Bewehrungsstruktur implementierte resistive Sensoren. Bei einer Durchbiegung des Betonbalkens infolge äußerer Normalkrafteinwirkungen wird ein messbares und mit der Beanspruchungsamplitude korrelierendes Signal als ohmsche Widerstandsänderung generiert. Das im Bereich der Lagersockel implementierte mit autonomer Energieversorgung ausgestattete, miniaturisierte Messmodul der Fa. PMST GmbH, zeichnet die beanspruchungsbedingte Änderungen des Widerstandes der Sensoren kontinuierlich auf, und kann bei Bedarf über etablierte Datenschnittstellen, z.B. USB, ausgelesen oder parametrisiert werden.



Lösungsansätze elektrischer isolierter Carbonfaser-Rovings (o. l.) zur textiltechnologischen Integration als In-Situ-Dehnungssensoren in CF-Bewehrungsstrukturen für Carbonbeton-Anwendungen (o. m., o. r., u.)

Danksagung

Das Teilvorhaben *C³Sense – Integration von Sensoren* im Kontext des Verbundforschungsprojektes „Carbon Concrete Composite C³ – Basisvorhaben B4 – Multifunktionale Bauteile aus Carbonbeton am Beispiel der aktivierten Gebäudehülle“ wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 03ZZ0305P gefördert. Wir danken der genannten Institution für die Bereitstellung der finanziellen Mittel.

