

Bild 1: REM-Aufnahme von a) unbehandelten und b) behandelten Polypropylenfasern. Lichtmikroskopaufnahmen von c) unbehandelten und d) behandelten Carbonfasern in Gips

FunktionalFaser

Problemstellung

Die Zugfestigkeiten zementgebundener Werkstoffe sind üblicherweise deutlich geringer als die Druckfestigkeiten. Dies führt infolge von Zugspannungen in der Anwendung häufig zur Rissbildung. Das soll durch den Einsatz von Stahl-, Glas- oder auch Polymerfasern vermieden werden. Die Oberflächen von Polymerfasern sind i. A. unpolar und hydrophob. Daraus resultieren bei der Einarbeitung in zementgebundene Werkstoffe Probleme wie „Igelbildung“ und „Aufschwimmen“. Auch weisen sie meist einen geringen Haftverbund auf. Zur Vermeidung dieser unerwünschten Phänomene bei der Anwendung müssen die Faseroberflächen modifiziert werden.

Lösungsansatz

Ein Weg zur Modifikation besteht in einer Umhüllung der Faser durch ein Polymer, das zum einen mit der Faseroberfläche in Wechselwirkung treten, zum anderen zusätzlich eine Anbindung in die Zementsteinmatrix erlauben muss und die ursprünglich hydrophobe Oberfläche in eine hydrophile umwandelt [1].

Es wird also ein Polymer benötigt, das wasserlöslich ist und Gruppen trägt, die später in die Zementsteinmatrix einbinden können. Ein sog. Polyionenkomplex, PK erfüllt diese Anforderungen. Für Fasern, bei denen keine gleichmäßige Verteilung des Polymers auf der Oberfläche erreicht wird, können Tenside als Hilfsstoffe eingesetzt werden [2].

Die Behandlung der Fasern soll die Vereinzelung in einer mineralischen Matrix erleichtern und eine Anbindung ermöglichen. Der Polyionenkomplex fungiert als „Netz“ mit „Ankern“, das Tensid als „Brücke“ [Bild 2].

Ergebnisse

Die Umhüllung kann bspw. mit einem Rasterelektronenmikroskop gezeigt werden. Die Aufnahmen zeigen unbehandelte und mit PK-behandelte Polypropylenfasern [Bild 1 a), b)].

Der Vereinzelungseffekt wird im Lichtmikroskop an Gipsproben mit unbehandelten und mit PK/TC40-behandelten Carbonfasern sichtbar [Bild 1 c), d)].

Eine Möglichkeit, die Eigenschaften von Faseroberflächen visuell zu testen, basiert auf Reaktionen mit Farbstoffen. Für einen Test auf die Veränderung von Oberflächeneigenschaften, bzw. die Hydrophilie der Oberflächen das sog. „Patentblau“, eine wasserlösliche, zwitterionische Verbindung. Nach der Vorkonditionierung der Fasern mit PK und versch. PK/Tensid-Mischungen, werden die Fasern in einer Patentblaulösung angefärbt und danach gründlich mit Wasser gewaschen [Bild 3].

Fazit

- Die Behandlung mit PK erleichtert die Faservereinzelung bei der Verarbeitung
- Fasern, die an der Oberfläche Ladungsdomänen aufweisen (z.B. Polyacrylnitril) können ohne Tensidzugabe umhüllt werden, Fasern ohne Ladungsdomänen benötigen (z.B. Carbonfasern) häufig Tensideinsatz
- Die Kombination PK/Tensid muss auf die Faseroberfläche abgestimmt werden

Literatur

- [1] Patent DE 43 16 666 C1 (13.5.1993) "Hydrophilierungsmittel"
 [2] J. Peschel, H. Seibt, D. Ballschuh, R. Ohme: „Sulfobetaine; Teil 5: Anwendung von Sulfobetainen als neue Zusatzstoffe für Chemiefaserpräparationen“, in: Tenside Surf. Det. 30 (1993) 321

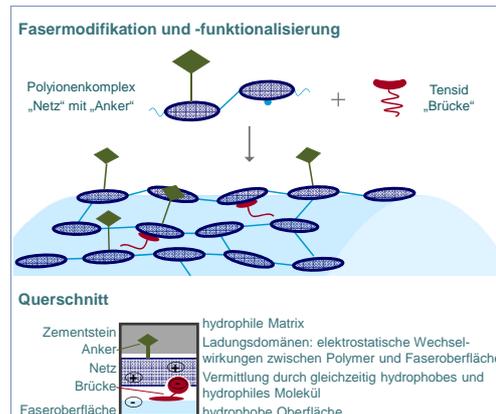


Bild 2: Schematische Darstellung der Faserpräparation

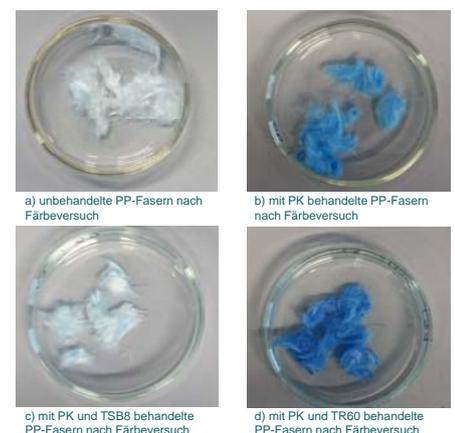
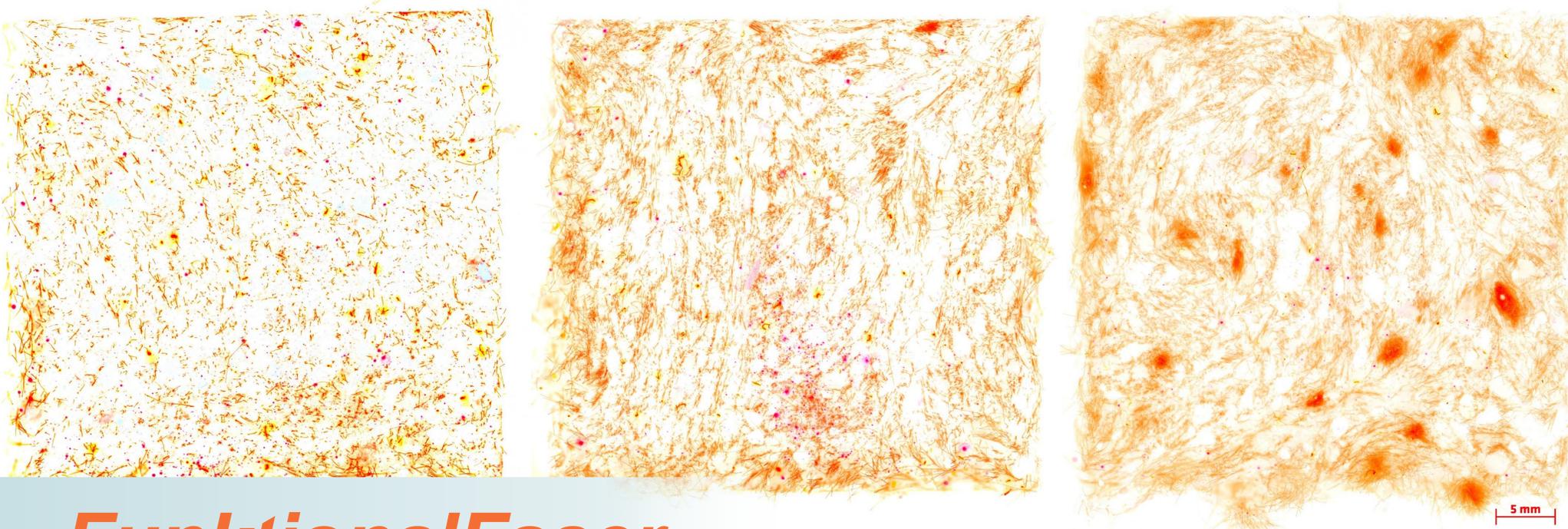


Bild 3: unterschiedlich vorkonditionierte Polypropylen-, PP-Fasern nach dem Färbever such



FunktionalFaser

Bild 1: Lichtmikroskopische Aufnahmen mit Fluoreszenzanregung der PAN-Fasern im Zementmörtel, zugegebene Fasermenge von links nach rechts: 0.1 Vol.-%, 0.5 Vol.-%, 1.0 Vol.-%.

Ziel- und Aufgabenstellung der BAM

Zielstellung des mit der IONYS AG bearbeiteten Forschungsprojektes ist die Verbesserung des Verbundverhaltens von Polymerfasern in zementgebundenen Baustoffen durch eine Funktionalisierung der Faseroberfläche.

Aufgabe der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) ist es, die von IONYS modifizierten Fasern in einem Mörtelsystem hinsichtlich ihrer Verarbeitungseigenschaften und mechanischen Wirksamkeit zu bewerten. Im Vordergrund steht dabei die Verbesserung des Nachrissbiegezugverhaltens und die Reduktion der Schwindrissbildung.

Ergebnisse

Zunächst wurde ein geeigneter Zementmörtel entwickelt, der eine Bewertung der Faserwirkung erlaubt. So wurde gewährleistet, dass bei gleichbleibend guter Verarbeitung eine homogene Faserverteilung erreicht werden kann. Aufgrund der fluoreszierenden Eigenschaft der PAN-Fasern kann die Verteilung der Fasern im Mörtel mittels Lichtmikroskopie gut beurteilt werden (Bild 1). Erkenntnisse über die räumliche Verteilung und Orientierung der Fasern lassen sich mit Hilfe der 3D-Computertomographie gewinnen (Bild 3).

In 3-Punkt-Biegezugversuchen konnte eine signifikante Verbesserung des Nachrissverhaltens durch Faserzugabe nachgewiesen werden. In Abhängigkeit von Faserwerkstoff und -länge wurde weiterhin der für die maximale Erhöhung des Arbeitsvermögens erforderliche Fasergehalt ermittelt. Ein positiver Einfluss der Funktionalisierung auf das Kraft-Verformungsverhalten ist nur vereinzelt und dann in sehr geringem Maße nachweisbar.

Auch mit Hilfe eines Einzelfaserzugversuchs (Bild 2) konnte eine Verbesserung des Haftverbundes zwischen den Fasern und der Zementsteinmatrix bislang nicht zweifelsfrei nachgewiesen werden. Möglicherweise wird dies durch die hohe Elastizität und die damit verbundene Querkontraktion der Polymerfasern bei Zugbeanspruchung verhindert. Zur Klärung des Verbundverhaltens in Abhängigkeit des E-Moduls der Fasern werden aktuell zusätzliche Versuche mit funktionalisierten Carbonfasern durchgeführt.

Die Beurteilung der Rissbildung in Folge von Fröhschwinden erfolgt in Anlehnung an den "Prüfplan für die Zulassungsprüfung von Polymerfasern zur Verwendung in Beton" des Deutschen Instituts für Bautechnik. Mit Zementmörtel verputzte Betonplatten werden unmittelbar nach Herstellung einer übermäßigen Austrocknung im Windkanal unterworfen und so eine Bildung von Schwindrissen begünstigt. Bisherige Versuche zeigen, dass eine Faserzugabe zu einer deutlichen Reduktion der Rissanzahl und -fläche führt und dieser Effekt tendenziell durch die Funktionalisierung der Fasern weiter verstärkt wird.

Ausblick

Im letzten Jahr der Projektlaufzeit soll die erarbeitete Untersuchungsmethodik auf handelsübliche mit funktionalisierten Fasern bewehrte Putze übertragen werden. Durch das Verputzen von unterschiedlichen Untergründen und Bestimmung der Haftzugfestigkeit soll die Gebrauchstauglichkeit der Putze für verschiedene Anwendungsfälle geprüft werden. Weiterhin sind Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit der faserbewehrten Mörtel bei klimatischer Wechselbeanspruchung geplant.

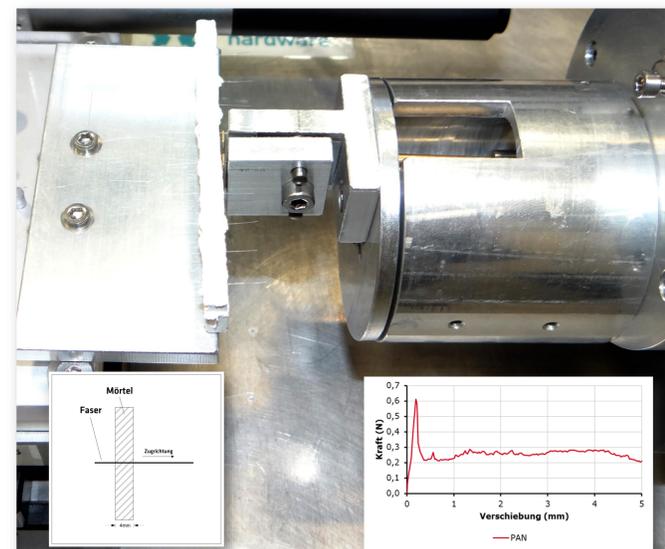


Bild 2: Detailaufnahme Faserdurchzugsversuch an einem Mörtelprisma mit einzeln eingebetteten PAN-Fasern, Systemskizze und Ergebnisauswertung.

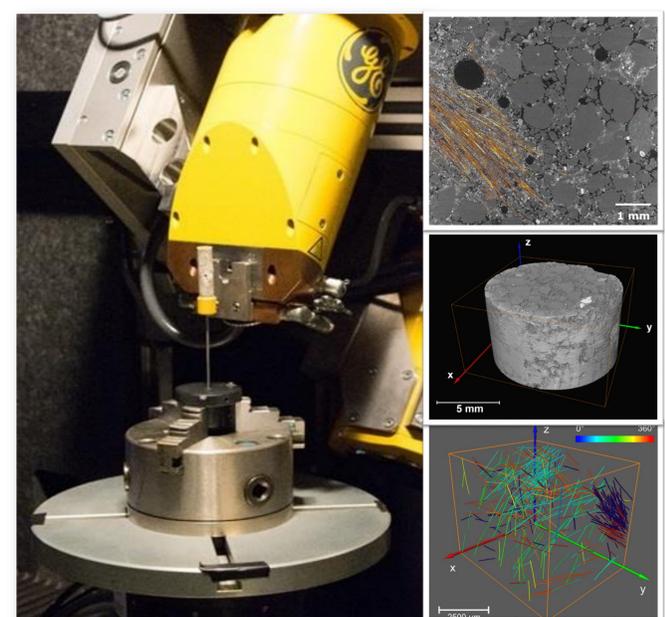
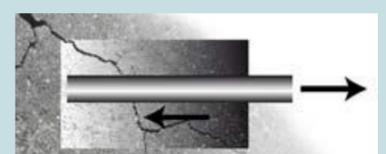


Bild 3: Messaufbau 3D-Computertomographie (links) und aus den Einzelmessungen berechnete räumliche Verteilung der PAN-Fasern (rechts).



Teilvorhaben FaserPerformance



FKZ: 13N13306