

Oliver Mazanec, M.Sc.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MONCHEN

Centrum Baustoffe und Materialprüfung (cbm) Technische Universität München
Baumbachstr. 7
81245 München

Centrum Baustoffe und Materialprüfung

Tel.: +49 89289 27197

Fax.: +498928927064

E-Mail: mazanec@cbm.bv.tum.de

Mischzeitoptimierung von ultrahochfesten Betonen - Einfluss von Mischtechnik und Betonzusammensetzung

Die seit Anfang der 90er Jahre stetige Weiterentwicklung von ultrahochfesten Betonen (UHPC) mit Festigkeiten über 200 N/mm^2 und verbesserten Dauerhaftigkeitseigenschaften ermöglicht neuartige und filigrane Konstruktionen. Um die Leistungsfähigkeit dieser Betone vollständig ausnutzen zu können, muss neben der Optimierung der Betonzusammensetzung und der Betrachtung spezifischer Verarbeitungs- und Nachbehandlungsmethoden auch der eigentliche Herstellungs- bzw. Mischprozess entsprechend berücksichtigt werden. Aufgrund der im Bezug auf den Mehlkorngelalt geringen Wassergehalte und hohen Zusatzmitteldosierungen wird bei der Herstellung von ultrahochfesten Betonen mehr Energie benötigt, um die Ausgangsstoffe gleichmäßig zu verteilen. Bei den bisher realisierten Bauwerken aus UHPC waren Mischzeiten von über 12 min im Betonwerk keine Seltenheit. Dies begrenzt den Betondurchsatz im Vergleich zu üblichem Rüttelbeton im Werk erheblich und stellt damit einen wesentlichen Kostenfaktor dar. Ziel des Forschungsvorhabens war, UHPC in kurzen Mischzeiten mit verbesserten Werkstoffeigenschaften zielsicher und vor allem reproduzierbar herzustellen. In dem Beitrag wurde der Einfluss von Mischzeit, Werkzeuggeschwindigkeit und Betonzusammensetzung auf den Mischprozess von ultrahochfesten Betonen dargestellt. Neben der Erfassung der Einflussgrößen wurde eine Optimierung des Mischablaufs zur Herstellung ultrahochfester Betone hinsichtlich der Frisch- und Festbetoneigenschaften vorgestellt.

Für die Untersuchungen wurde ein 75l- Intensivmischer mit variabel steuerbarer Werkzeuggeschwindigkeit (1 bis 20 m/s) eingesetzt. Zudem war es möglich, während des Mischvorgangs die elektrische Leistung am Mischwerkzeug zu erfassen und aufzuzeichnen. Um die zur Herstellung der unterschiedlichen Betone aufzuwendende Mischarbeit bzw. die Eigenschaften der Betone während des Mischprozesses erfassen und miteinander objektiv vergleichen zu können wurde eine Stabilisationszeit t_8 anhand der aufgezeichneten Leistungskurve des Mischwerkzeugs berechnet. Die Stabilisationszeit ist als die Zeit definiert, bei der sich die Leistungskurve des Mischwerkzeugs einem Grenzwert annähert. Durch die Berechnung der Stabilisationszeit konnte die minimal mögliche Mischzeit bestimmt werden.

Der Mischprozess von grobkörnigen ultrahochfesten Betonen ($d_{\text{max}} = 8,0 \text{ mm}$) kann in drei Phasen eingeteilt werden. In der ersten Mischphase werden Wasser und Fließmittel gleichmäßig verteilt. Die Fließfähigkeit steigt kontinuierlich an. Dem schließt sich eine Phase mit optimalen Fließeigenschaften an. Durch weiteres Mischen nimmt die Fließfähigkeit wieder ab, was auf eine kontinuierliche Auflösung von Agglomeraten und einer daraus resultierenden Vergrößerung der Oberfläche zurückzuführen ist. Im Gegensatz dazu wurde bei feinkörnigen ultrahochfesten Betonen ($d_{\text{max}} = 0,5 \text{ mm}$) auch bei Mischzeiten über 720 s kein Rückgang der Fließfähigkeit festgestellt. Durch die Erhöhung der Werkzeuggeschwindigkeit von $1,4$ auf $2,9 \text{ m/s}$ konnte die Mischzeit zum Erreichen optimaler Fließ- und Festigkeitseigenschaften inklusive Wasser- und Fließmittelzugabe von 240s auf 120s reduziert werden. Damit liegt die Mischzeit von faserfreien ultrahochfesten Betonen im Bereich üblicher Rüttelbetone. Eine Steigerung der Werkzeuggeschwindigkeit über $2,9 \text{ m/s}$ führte zu keiner weiteren Verkürzung der Mischzeit.

Durch die systematische Variation der Betonzusammensetzung wurde ein Modellparameter zur Berechnung der minimal notwendigen Mischzeit bestimmt. Dieser wird als relative Feststoffkonzentration bezeichnet und berechnet sich aus dem Verhältnis zwischen dem aktuellen Feststoffgehalt Φ im Beton und dem maximal möglichen Feststoffgehalt Φ_{\max} bei maximaler Packungsdichte des Feststoffgemischs. Der Modellansatz ermöglicht es zudem, gezielt einfacher herstellbare ultrahochfeste Betone mit optimalen Frisch- und Festbetoneigenschaften zu entwickeln. Die Mischzeit von UHPC kann danach verringert werden wenn z.B.:

- der Wassergehalt erhöht und der aktuelle Feststoffgehalt Φ verringert wird,
- der maximale Feststoffgehalt Φ_{\max} durch optimale Kornzusammensetzung erhöht wird,
- ein Teil des Zements bzw. Quarzmehls durch feinere Stoffe wie z.B. Silicastaub ersetzt wird (Erhöhung des maximalen Feststoffgehalts).

Nach Kenntnis der Einflussgrößen wurde der Mischablauf optimiert. Die Mischzeit von UHPC konnte bei gleichzeitiger Fließmitteleinsparung weiter verkürzt werden, indem in der Anfangsmischphase bis zum Erreichen der maximalen Antriebsleistung des Mischwerkzeugs mit hoher Werkzeuggeschwindigkeit gemischt wurde um Wasser und Fließmittel schnell zu verteilen. Die abschließende Homogenisierung erfolgte mit niedriger Werkzeuggeschwindigkeit. Durch das Anlegen eines Teilvakuum (50 - 100 mbar) in der letzten Mischphase (rd. 30 s) konnte der Frischbeton fast vollständig entlüftet werden und dadurch sowohl die Fließfähigkeit als auch die Druckfestigkeit signifikant erhöht werden. Mit dem fundierten Wissen über die Einflussgrößen auf das Mischen von UHPC konnte die Mischzeit bei verbesserten Werkstoffeigenschaften erheblich reduziert werden. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für die wirtschaftliche Anwendung ultrahochfester Betone unter baupraktischen Bedingungen.