

Charakterisierung der Porenstruktur von ultrahochfestem Beton

Katrin Rübner¹, Peter Klobes², Carsten Prinz², Simone Hempel³

¹Fachgruppe Baustoffe und ²Fachgruppe Strukturanalytik, Polymeranalytik, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

³Institut für Baustoffe, Technische Universität Dresden

Einleitung

Ultrahochfeste Betone (UHPC) sind durch Druckfestigkeiten > 150 MPa und eine besonders hohe Dauerhaftigkeit gekennzeichnet. Ihre Herstellung gelingt durch die Optimierung der Mischungszusammensetzung, des Mischprozesses und der Nachbehandlung. Maßnahmen dazu bestehen in der Verwendung feinstgemahlener Zemente, puzzolanscher und inerte Feinststoffe, dem Einsatz gezielt ausgewählter grober und feiner Gesteinskörnungen, der Reduktion des Wasser/Bindemittel-Wertes bei Zugabe von Fließmitteln auf Polycarboxylat-Basis sowie einer Wärmebehandlung der Betone.

Das Ziel dabei ist es, eine möglichst hohe Packungsdichte in der Bindemittelmatrix bei Ausbildung einer sehr gleichmäßigen und extrem dichten Gefügestruktur mit einem hohen Anteil an Calciumsilicathydrat-Phasen zu erreichen. Deshalb sind Untersuchungen zur Porosität und Porenstruktur ein wichtiger Bestandteil zur Materialcharakterisierung im Rahmen der Mischungsoptimierung. Die Ergebnisse der Mikrostrukturuntersuchungen werden im Vergleich zu denen an einem hochfesten Beton und einem Normalbeton betrachtet.

Betone

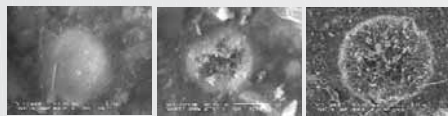
Parameter	Normalbeton	Hochfester Beton	Ultrahochfester Beton
Druckfestigkeit in MPa	37	109	224
Nachbehandlung	Wasserlagerung Klimalagerung (20 °C, 65 % r.F.)	Wasserlagerung Klimalagerung (20 °C, 65 % r.F.)	Wasserlagerung Wärmebehandlung (250 °C)
Zusammensetzung			
Zementart/-gehalt in kg/m ³	CEM I 32,5 R / 310	CEM I 42,5 R / 500	CEM I 52,5 R / 500
Microsilica in kg/m ³	--	50	116
Flugasche in kg/m ³	--	--	123
Quarzmehl in kg/m ³	--	--	82
w/z	0,60	0,24	0,28
w/b	0,60	0,22	0,23
Fließmittel in M.-%	--	4,5	2,8
Gesteinskörnung in mm / kg/m ³	32 / 1827	16 / 1672	2 / 1340

Ergebnisse



Normalbeton Hochfester Beton UHPC

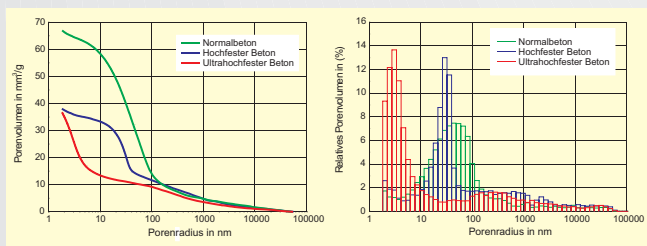
ESEM-Aufnahmen der Bindemittelmatrix von Normalbeton, hochfestem Beton und ultrahochfestem Beton



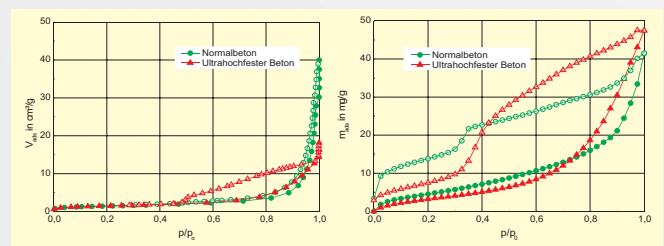
Reagiertes Flugaschepartikel Pore mit CSH

ESEM-Aufnahmen der Bindemittelmatrix von ultrahochfestem Beton

Material	Dichte & Rohdichte		Quecksilberintrusion				N ₂ - Sorption	H ₂ O _{Dampf} - Sorption
	Gesamtporosität in %	Gesamtporenvolumen in mm ³ /g	Kapillarporenvolumen in %	Gelporenvolumen in %	Häufigster Porenradius in nm	Spezifische Oberfläche (BET) in m ² /g	Max. ads. Wassermenge in mg/g	
Normalbeton	16,9	67,0	66,2	32,7	54,1	5,0	41,5	
Hochfester Beton	11,4	38,1	66,7	31,6	29,8	2,9	37,9	
Ultrahochfester Beton	8,8	36,6	29,5	68,9	3,0	5,3	47,5	



Porenvolumenverteilungen aus Quecksilberintrusionsmessungen



Isothermen der Stickstoff- und Wasserdampf-Sorptionsmessungen

Schlussfolgerungen

- Der UHPC zeigt im Vergleich zu einem hochfesten Beton und einem Normalbeton eine Vergleichmäßigung und Verdichtung der Materialstruktur mit deutlich geringerer Porosität.
- Im UHPC sind das Gesamtporenvolumen und der Anteil an Kapillarporen reduziert, der Gelporenanteil erhöht sowie die Porenvolumenverteilung zu kleineren Porenradien verschoben.
- Im wärmebehandelten UHPC ist bereits im frühen Alter eine deutliche Reaktion der Flugaschepartikel zu beobachten. Die dabei freigesetzten Aluminium- und Kalium-Ionen verteilen sich durch Migration im gesamten Gefüge. In großen Luftporen bilden sich bis zu 30 µm lange aluminium- und kaliumreiche Calciumsilicathydrat-Nadeln.
- Die Hysteresen der Stickstoff- und Wasserdampf-Sorptionsisothermen des UHPC haben eine trianguläre Form, die auf das Vorliegen plättchenförmiger CSH-Phasen hinweist.
- Die BET-Oberfläche wird im Allgemeinen mit zunehmender Festigkeit der Betone kleiner. Der UHPC weist aber die größte Oberfläche auf, da alle Poren wasserfrei und zugänglich sind. Außerdem tragen die reagierten Flugaschepartikel und anderen Puzzolane sowie die nadelförmigen Reaktionsprodukte in den Luftporen zur Oberflächenvergrößerung bei.