

# Ursachen der Gefügeschädigung silikastaubhaltiger hochfester Betone bei einem Frostangriff

Dr. Volkert Feldrappe, Lafarge CTEC GmbH, Mannersdorf

Betonbauwerke müssen während ihrer Nutzungsdauer einen ausreichenden Widerstand gegenüber Umwelteinwirkungen aufweisen. Je nach Exposition, der das Bauwerk oder Bauteil ausgesetzt ist, gehört hierzu ein adäquater Frostwiderstand. Die in den gültigen Regelwerken getroffenen Anforderungen beruhen auf langjährige Erfahrungen mit normalfestem Beton. Mit hochfestem Beton, der wiederholten Frost-Tau-Wechseln ausgesetzt ist, liegen deutlich weniger praktische Erfahrungen vor. Jedoch wird auf Grund der Zusammensetzung ein den normalfestem Beton vergleichbares, auf keinen Fall schlechteres Verhalten vorausgesetzt.

Teilweise widersprüchliche Ergebnisse neuerer Laboruntersuchungen zum Frostwiderstand von hochfestem Beton ohne künstlich eingeführte Luftporen bildeten den Anlass für die durchgeführten Untersuchungen. Insbesondere traten Gefügeschäden bei der Laborprüfung aber auch im baupraktischen Verhalten hochfester Betone mit Silikastaub und einem äquivalenten Wasserzementwert  $\geq 0,35$  auf.

Ziel der Arbeit war es daher, die Auswirkungen und Zusammenhänge einer Frostschädigung differenziert und zielsicher beschreiben zu können. Dabei wurden insbesondere Korrelationen zwischen der in den Frostversuchen bestimmten Änderung des relativen dynamischen E-Moduls (RDM) und anderer Betoneigenschaften wie Festigkeits- und Verformungskennwerte, Porosität oder Porensättigung durchgeführt. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit lag darauf, den Einfluss des Silikastaubs auf den Frostwiderstand dichter hochfester Betone zu klären. Insbesondere wurde die chemische Reaktion und der Stoffumsatzes des Silikastaubs bei der Erhärtung des Betons untersucht.

Silikastaubhaltige Betone mit  $(w/z)_{eq} < 0,35$  und alle Betone ohne Silikastaub wiesen selbst nach 100 Frost-Tau-Wechseln bei der CIF-Prüfung nur geringe Änderungen des RDM's auf. Dagegen fiel der RDM der silikastaubhaltigen Betone mit  $(w/z)_{eq} \geq 0,35$  zum Teil schon nach wenigen Frost-Tau-Wechseln deutlich ab. Teilweise war das Gefüge vollständig zerstört (Bild). Eine Abnahme des RDM's auf ca. 80 % des Ausgangswertes stellte den Beginn einer inneren Gefügeschädigung dar.

Bei Eintritt der Gefügeschädigung betrug der relative Porenfüllungsgrad (RPF) in jedem Fall rd. 90 %. Somit führte eine (zumindest lokale) Überschreitung der von Fagerlund definierten „kritischen Sättigung“ zu den beobachteten Gefügeschäden. Der RPF zu Beginn der Frost-Tau-Wechsel der geschädigten silikastaubhaltigen Betone, der mit Hilfe der Wasseraufnahme bei 15 MPa berechnet wurde, war im Vergleich zu dem der übrigen Betone deutlich höher (Grafik). Als Ursache für den höheren RPF der geschädigten Betone wurde ihr höherer Gehalt an physikalisch gebundenem Wasser identifiziert, da sowohl die kapillare Wasseraufnahme als auch die Wasseraufnahme während der Frost-Tau-Wechsel bis zum Beginn des E-Modulabfalls für alle Betone annähernd gleich war.

Es konnte gezeigt werden, dass trotz der hohen puzzolanischen Reaktivität des Silikastaubs beträchtliche Anteile auch nach 28tägiger Lagerung nicht reagiert hatten. Über den Verbrauch an Calciumhydroxid wurde das C/S-Verhältnis der Reaktionsprodukte des Silikastaubs auf 0,5 bis 0,6 abgeschätzt. Da CSH-Phasen jedoch erst ab einem C/S-Verhältnis von ca. 0,9 thermodynamisch stabil sind, ist davon auszugehen, dass sich neben stabilen CSH-Phasen auch hygroskopisch wirkende Alkalisilikate bildeten. Diese Reaktion zwischen den Alkalien der Porenlösung und dem Silikastaub ist aus der Forschung zur Vermeidung einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion bekannt. Der physikalisch an den Alkalisilikaten gebundene Wasseranteil stieg mit zunehmendem äquivalenten Wasserzementwert auf Grund des höheren zur Verfügung stehenden Wassergehalts. Der Wasseranteil in den Alkalisilikaten ist potentiell gefrierbar und beeinflusste den Frostwiderstand dieser silikastaubhaltigen Betone maßgeblich.



Bild: Silikatstaubhaltiger Probekörper mit  $(w/z)_{eq} = 0,35$  nach 28 Frost-Tau-Wechseln