

Wirkung von höheren Flugaschegehalten auf den Sulfatwiderstand von Beton

Wissenschaftlicher Kurzbericht Nr. 25 (2011)

Dr.-Ing. Liudvikas Urbonas, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Heinz

Arbeitsgruppe 1: Bindemittel und Zusatzstoffe

Förderer: DAfStb, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton

1 Einleitung

Es ist bekannt, dass die Laborversuche zur Beurteilung des Sulfatwiderstandes die Praxisbedingungen – vor allem in den Punkten Betonzusammensetzung und –dichtigkeit – nicht direkt abbilden. So stellen die bisher realisierten Laborprüfungen wesentlich schärfere Beanspruchungen nach, als sie tatsächlich im Bauwerk bestehen. Dies gilt insbesondere für thaumasitbildenden Sulfatgriff auf flugaschehaltige Betone bei niedrigen Temperaturen.

Ziel der Forschung war es, den Sulfatwiderstand der Betone unterschiedlicher Zusammensetzungen möglichst nah an den Praxisbedingungen zu untersuchen. Im Unterschied zu den bisherigen Untersuchungen werden normgerecht hergestellte Betonprüfkörper geprüft. Dabei wurde die Art des Zementes, der Gehalt von Steinkohlenflugasche nach DIN EN 450 und die Art der Gesteinskörnung variiert. Die Proben wurden in Sulfatlösungen unter praxisnahen Bedingungen gelagert. Die Untersuchungsergebnisse sollten Hinweise über die Richtigkeit der gegenwärtig gültigen Regelungen für Betone mit Portlandkalkstein/Steinkohlenflugasche-Gemischen geben.

2 Untersuchungen

Für die Untersuchungen wurden als Referenzzemente CEM I 32,5 R-HS und CEM III/B 32,5 N-NW/HS verwendet. Der CEM I 32,5 R mit hohem C_3A -Gehalt und der CEM II/A-LL 32,5 R wurden für die Herstellung eines normgerechten Betons mit einem Portlandkalksteinzement/Steinkohlenflugasche-Gemisch eingesetzt. Als Zusatzstoff diente Steinkohlenflugasche (SFA) nach DIN EN 450. Es wurde eine quarzitisches (Q) und kalzitische (K) Gesteinskörnung verwendet.

Die hergestellten Betonproben wurden in Sulfatlösungen mit 1500 mg/l bzw. 3000 mg/l SO_4^{2-} bei 8 °C gelagert. Bei allen Lagerungen betrug das Verhältnis Lösungsvolumen zu Prüfkörperoberfläche 4 cm³/cm². Für die Beurteilung des Sulfatgriffs wurde nach bestimmten Zeitabständen der Zustand der Proben optisch beurteilt und Festigkeiten, Sulfatprofile und mineralogische Zusam-

mensetzungen der Proben ermittelt. Parallel zu den Betonproben wurden Untersuchungen an Mörtelflachprismen durchgeführt.

Die Untersuchungsergebnisse haben gezeigt, dass die Betone mit CEM II/A-LL 32,5 R und 20 M.-% SFA - unter den gewählten Lagerungsbedingungen – die empfindlichsten gegen Sulfatgriff sind. Schon nach 180 d Sulfatlagerung wurden an Kanten und Ecken durch Thaumasitbildung hervorgerufene Schädigungen beobachtet. Das Schädigungsmaß nahm während der weiteren Lagerung bis 2 Jahre zu (Abbildung 1). Auch die Sulfatbindung und die Sulfatanteile im oberflächennahen Bereich lagen auf dem höchsten Niveau der flugaschehaltigen Betone (Abbildungen 2 und 3). Die Festigkeiten dieser Betonproben nahmen während der Sulfatlagerung bis zu einem Jahr zu, während der weiteren Sulfatlagerung bis zu zwei Jahren blieben sie dann konstant (Abbildung 4).

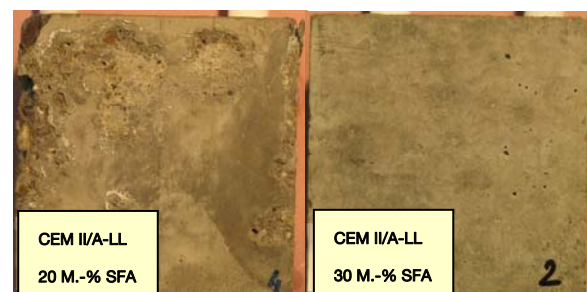


Abbildung 1: Betonwürfel mit CEM II/A-LL 32,5 R und 20 M.-% SFA bzw. 30 M.-% SFA nach 2 Jahren Lagerung in Sulfatlösung bei 8 °C

Die Mörtelproben mit CEM II/A-LL 32,5 R und 20 M.-% Flugasche zeigten nach zwei Jahren Sulfatlagerung die höchste Dehnungsdifferenz von 0,8 mm/mm und Schäden an Kanten und Ecken und damit verbunden eine Gewichtsabnahme. Die Proben mit anderen Bindemitteln waren einwandfrei, die Dehnungsdifferenzen lagen unter 0,5 mm/m.

Die Betone mit CEM I 42,5 R HS zeigten nach zwei Jahren Sulfatlagerung die höchste Sulfatbindung und die höchsten Sulfatanteile im oberflächennahen Betonbereich (Abbildung 4). Die Betonproben waren reichlich mit Thaumasit bedeckt, allerdings

zeigten sie geringere Abplatzungen an Kanten und Ecken als die Proben mit CEM II/A-LL 32,5 R und 20 M.-% SFA. Die Festigkeiten der Proben nahmen während der Sulfatlagerung bis zu einem Jahr zu, stagnierten dann bei weiterer Lagerung bis zu zwei Jahren (Abbildung 4).

Die Betone mit CEM I 32,5 R und 20 M.-% SFA mit Kalksteinkörnung und die mit quarzitischer Gesteinskörnung zeigten nach 180 d Lagerungsdauer geringe Thaumasisablagerungen an den Betonoberflächen, jedoch kaum Schäden an Kanten und Ecken. Innerhalb weiterer Lagerung bis zu zwei Jahren nahm die Menge des an den Betonoberflächen gebildeten Thaumasis zu, die Schäden an den Ecken und Kanten waren deutlicher. Die Festigkeiten der Proben nahmen während der Sulfatlagerung bis zu zwei Jahren zu (Abbildung 4).

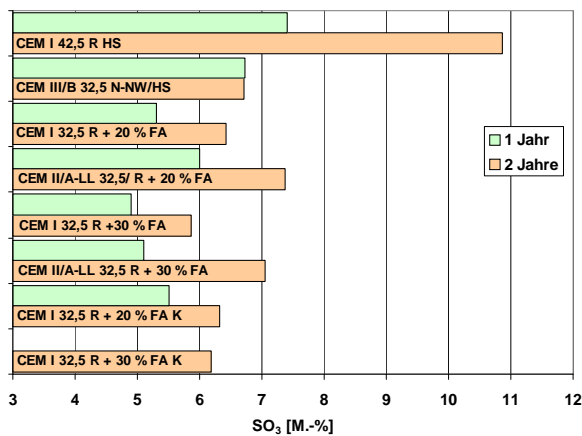


Abbildung 2: Mittlere Sulfatkonzentration, berechnet aus REM/EDX-Untersuchungen, in den äußeren 5 mm des Zementsteins nach einem, bzw. zwei Jahren Lagerung in Sulfatlösung

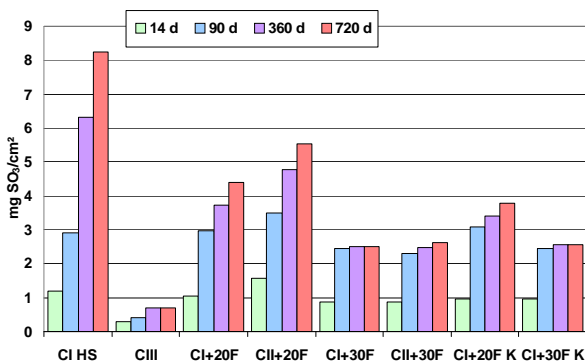


Abbildung 3: Sulfatbindung während der Sulfatlagerung in Abhängigkeit von der Betonrezeptur

Die Betone mit 30 M.-% Flugasche, unabhängig von Zementart (CEM I oder CEM II/A-LL) und Gesteinskörnung (kalzitisch oder quarzitisches), zeigten einen sehr hohen Sulfatwiderstand. Diese Betone

banden im Vergleich mit anderen, 20 M.-% SFA-haltigen Betonen, geringere Sulfatmengen und zeigten ein dichtes Zementsteinmikrogefüge im oberflächennahen Bereich. Sie wiesen keine sichtbaren Schäden nach zwei Jahren Sulfatlagerung auf (Abbildung 1). Die Festigkeiten dieser Betone nahmen auch während des zweiten Lagerungsjahres deutlich zu (Abbildung 4).

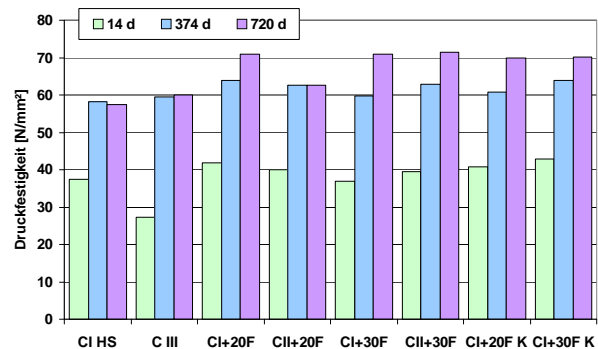


Abbildung 4: Druckfestigkeiten der Betonproben nach 14 d Vorlagerung und nach einem und zwei Jahren Lagerung in Sulfatlösung bei 8 °C

Die Betone mit Hochofenzement CEM III/B 32,5 N-NW/HS zeigten innerhalb von zwei Jahren Sulfatlagerung keine sichtbaren Schäden und nur eine geringe Sulfatbindung. Die Festigkeiten der Betonproben nahmen bis zu einem Jahr Sulfatlagerung zu, stagnierten dann aber während der weiteren Lagerung bis zu zwei Jahren.

3 Zusammenfassung

Die Untersuchungsergebnisse haben gezeigt, dass die Betonproben mit 30 M.-% Flugasche einen sehr hohen Widerstand gegen Sulfatangriff in der Sulfatlösung mit 3000 mg SO₄/l bei 8 °C aufweisen. Die Proben mit einem geringeren Zementaustausch durch Flugasche von 20 M.-% und die Proben mit HS-Zement zeigten bei den gewählten Lagerungsbedingungen eine höhere Sulfatbindung, zum Teil auch Schäden an Kanten und Ecken, aber keinen Festigkeitsabfall nach zwei Jahren Lagerungsdauer. Die kalzitische Gesteinskörnung zeigte keinen negativen Einfluss auf die Eigenschaften von Betonproben während der Sulfatlagerung. Die Betone mit der Bindemittelkombination von 80 M.-% CEM II/A-LL und 20 M.-% Flugasche zeigten den geringsten Widerstand gegen den thaumasitbildenden Sulfatangriff.

Um den Einfluss der Flugasche auf die Dauerhaftigkeit der Betone besser beurteilen zu können, werden die Beton- und Mörtelproben während weiterer Lagerung in Sulfatlösung bei 8 °C bis zu mindestens fünf Jahren untersucht.