



Betone mit hohem Säurewiderstand - Betonrezepturen

Nachdem die Leistungsfähigkeit des Prüfverfahrens nachgewiesen wurde, stand im Vordergrund der weiteren Untersuchungen die Entwicklung von Betonrezepturen, die einen erhöhten chemischen Widerstand aufweisen. Dabei wurden die grundsätzlichen betontechnologischen Möglichkeiten für eine Erhöhung des chemischen Widerstands durch Ausrichtung der Betone auf eine erhöhte Festigkeit und vor allem Dichtigkeit näher untersucht. Insbesondere der Einsatz von puzzolanisch reagierenden Feinstoffen, wie Microsilica und Steinkohlenflugasche, wurde vor dem Hintergrund der im [Merkblatt ATV-M 168](#) gestellten Anforderungen beleuchtet.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden Rezepturen ([Tabelle 1](#)) ausgewählt, die im wesentlichen die Eckpunkte der technisch möglichen und sinnvollen Anwendungsgrenzen der Betonzusatzstoffe abprüfen. Untersucht wurden der Einsatz von Microsilica und Steinkohlenflugasche. Die Betone wurden unter Bezug auf die Praxis zum überwiegenden Teil mit CEM I 42,5 R hergestellt. Des weiteren wurde Hochofenzement CEM III/B 42,5 NW/HS/NA mit einem Hüttensandanteil von 72 M.-% verwendet. Die Gehalte an Zement plus Betonzusatzstoff wurden zu 300, 450 und 600 kg/m³ gewählt. Der äquivalente Wasserzementwert wurde einheitlich mit 0,35 eingestellt, wobei Microsilica und Flugasche mit $k=1,0$ angesetzt wurden. Lediglich bei der Rezeptur S8/B600 ([s. Tabelle 1](#)) betrug der äquivalente Wasserzementwert 0,25.

Neben den üblichen Frischbetonprüfungen gemäß [DIN 1048](#), wie Ausbreit- oder Verdichtungsmaß, Luftporengehalt und Frischbetonrohichte wurden verschiedene Festbetoneigenschaften (Druck- und Biegezugfestigkeit, Wassereindringtiefe, spezifischer Permeabilitätskoeffizient bei 250 bar Wasserdruck und bei Sauerstoff, Quecksilberdruckporosität), insbesondere natürlich der [Säurewiderstand](#), der untersuchten Betone ermittelt.

Prüfung des Säurewiderstands

Der Säurewiderstand wurde mit Hilfe des zuvor festgelegten Prüfverfahrens untersucht. Als Prüfmedien wurden Salpetersäure und Essigsäure (gepuffert mit Ammoniumacetat) eingesetzt. Als Messgrößen wurden während des Versuchs der zeitliche Masseverlust bzw. die Calcium-Auslaugung erfasst, nach Abschluß der Untersuchungen wurde mit Hilfe der Indikatorlösung der Durchmesser des ungeschädigten Betons ermittelt.

Exemplarisch zeigt [Bild 5](#) das Ergebnis der Untersuchungen zum Säurewiderstand der in [Tabelle 1](#) aufgelisteten Betonrezepturen. Als Prüfmedium wurde 1-molare Essigsäure verwendet, die mit Ammoniumacetat auf einen pH-Wert von 3,5 gepuffert wurde. Die ausgewählten Betonrezepturen wiesen gegenüber dem Referenzbeton einen deutlich verbesserten Säurewiderstand auf. Der Säurewiderstand konnte bei den gegebenen Umgebungsbedingungen um einen Faktor zwischen etwa 2,5 und 4,5 erhöht werden. Wie aus der Darstellung in [Bild 5](#) hervorgeht, liegen die untersuchten Betone mit erhöhtem Säurewiderstand in einem relativ engen Bereich. Der zeit- und flächenbezogene Masseverlust liegt zwischen etwa 0,04 und 0,07 kg/(m²xt). Unter Berücksichtigung der Streuungen des angewandten Messverfahrens ist eine weitere Differenzierung der untersuchten Betone in diesem Bereich nicht sinnvoll. Dies ist insofern positiv zu beurteilen, dass der Betonhersteller die für sich wirtschaftlichste Variante auswählen kann, um Betone mit hohem Säurewiderstand herzustellen.

Neben dem Masseverlust, der kontinuierlich während des Versuchablaufs ermittelt wurde, wurde nach Abschluß der Untersuchungen der Durchmesser des ungeschädigten Restbetons bestimmt. Korrespondierend zu der Abhängigkeit zwischen pH-Wert und Masseverlust ergab sich mit abnehmendem pH-Wert ein kleinerer Durchmesser des ungeschädigten Restbetons, das heißt die Eindringtiefe der Säurefront nahm mit abnehmendem pH-Wert zu. Die Abhängigkeit des Durchmessers des ungeschädigten Betons vom Masseverlust konnte durch einen potentiellen Zusammenhang beschrieben werden.

Funktionale Abhängigkeiten zwischen den Materialparametern zur Beschreibung des Säurewiderstands (Masseverlust, Durchmesser des ungeschädigten Beton, Calcium-Auslaugung) und den bestimmten mechanischen Kenngrößen (Druckfestigkeit, Biegezugfestigkeit) oder den ermittelten Strukturparametern (Sauerstoffpermeabilitäts- und Wasserdurchflußkoeffizient, Quecksilberdruckporosität) konnten nicht nachgewiesen werden.

Bei den Betonrezepturen mit erhöhtem Säurewiderstand wurde in den mikroskopischen Untersuchungen in

der Regel eine scharfe Grenze zwischen Säure- bzw. Reaktionsfront und ungeschädigtem Beton bzw. ungeschädigter Zementsteinmatrix vorgefunden. Eine Umwanderung der Zuschlagkörner durch die eindringende Säure innerhalb der Kontaktzone konnte offensichtlich nicht stattfinden. Das bedeutet, dass durch die gewählten Betonrezepturen sowohl die Matrixdichtigkeit als auch die Porosität der Kontaktzone deutlich verbessert wurde. Selbst poröse Gesteinskörnungen wiesen keine Schädigungen an ihren „Rückseiten“ auf. Säureresistente Gesteinskörnungen in Betonsystemen mit Kontaktzonen, in denen der Stofftransport langsamer abläuft als in der übrigen Zementsteinmatrix, erfüllen damit eine abschirmende Funktion gegenüber dem angreifenden Medium und reduzieren auf diese Weise die schädigende Reaktionsfront.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die wesentliche Ursache für den erhöhten Säurewiderstand der untersuchten Betone auf die Ausbildung einer sehr dichten Zementsteinmatrix mit Kontaktzonen zur Gesteinskörnung, die sehr niedrige Porositäten aufweisen, zurückzuführen ist.

Tabelle 1: Betonrezepturen

Bezeichnung der Betonrezeptur	Zementart	Zementgehalt	Wassergehalt	$(w/z)_{eq}^{6)}$	Betonzusatzstoff	
		kg/m ³	kg/m ³		Microsilica	Flugasche
1	2	3	4	5	M.-% v. z	
					6	7
R ¹⁾ B ²⁾ 350	CEM I 42,5	350	175,0	0,50	-	-
S ³⁾ 8/B600	CEM I 42,5	556	150,0	0,25	8	-
S8/B450	CEM I 42,5	417	157,5	0,35	8	-
S8/B300	CEM I 42,5	278	105,0	0,35	8	-
S8/F ⁴⁾ 20/B450	CEM I 42,5	352	157,5	0,35	8	20
S25/F60/B450	CEM I 42,5	243	157,5	0,35	25	60
HB450	CEM III/B 42,5 NW/HS/NA ⁵⁾	450	157,5	0,35	-	-

- 1) R = Referenzbeton
- 2) B = Gesamtmenge an Zement plus ggf. Betonzusatzstoff in kg/m³
- 3) S = Microsilica (M.-% bezogen auf Zementgehalt) (Silicasuspension, Feststoffgehalt 50,8 M.-%)
- 4) F = Steinkohlenflugasche (M.-% bezogen auf Zementgehalt)
- 5) 72 M.-% Hüttensandanteil
- 6) k = 1, 0 für Flugasche und Microsilica

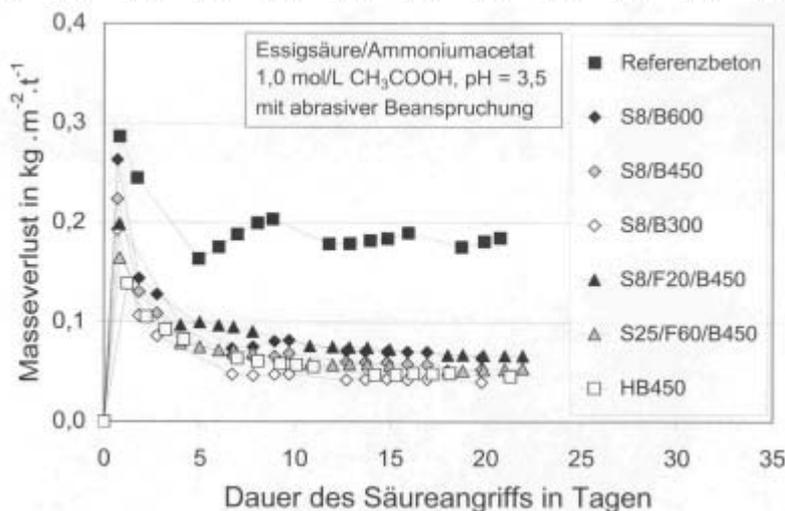


Bild 5: Referenzbeton im Vergleich zu den untersuchten Betonen mit erhöhtem Säurewiderstand

