

Widerstand von Betonen auf Basis alkalisch-aktivierter Bindemittel gegenüber organischen Säuren

A. König, Leipzig/D; A. Herrmann; S. Overmann; F. Dehn

Dr. Andreas König, Universität Leipzig, Scharnhorststraße 20, Leipzig/D

1 Motivation

Säuren wirken auf zahlreiche Betonbauwerke (wie z.B. in der Landwirtschaft, in Abwasser- oder Industrieanlagen oder in erdberührten Bauteilen) ein und können in Abhängigkeit u.a. von ihrer Art und Konzentrationen schnell zu deutlichen Schäden führen /1/.

Wurde in der Vergangenheit der Säurewiderstand über die Senkung der Permeabilität (durch z.B. optimierte Sieblinien) und des leicht löslichen $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Anteils (Reduktion des Klinkeranteils und durch den Einsatz von puzzolanischen Zusatzstoffen) verbessert /2-3/, so stehen aktuell vermehrt alternative Bindemittel, wie alkalisch-aktivierte Bindemittel (AAB) bzw. die sogen. Geopolymere (GP), im Fokus der Forschung und Entwicklung säurewiderstandsfähiger Mörtel und Betone /4-5/.

2 Material, Methoden und Vorgehensweise

Der Säurewiderstand von Mörteln und Betonen auf Basis eines alkalisch-aktivierten Hüttensandes (AAS), einer alkalisch-aktivierten Flugasche (AAFA), eines Mischsystems aus alkalisch-aktiviertem Hüttensand und Flugasche (50-50) sowie zwei Referenzsystemen auf Grundlage von Portlandzementen (CEM I, CEM I+FA) wurde untersucht (Tabelle 1). Dabei kam als saures Prüfmedium eine Mischung aus Essig-, Propion- und Milchsäure mit einem konstanten pH-Wert von 3 zum Einsatz. Die Proben wurden im Alter von 28 Tagen nach /3/ zeitraffend für maximal 18 Wochen beansprucht. Der Materialwiderstand wurde auf Grundlage der Schädigungstiefe, der Restdruckfestigkeit und der Massenänderung nach 6, 12 und 18 Wochen quantifiziert. Zusätzlich wurden bildgebende Verfahren, wie die Auflichtmikroskopie (ALM) und die Mikro-Röntgencomputertomographie (μXCT), sowie die Röntgenpulverdiffraktometrie (XRD) zur Klärung der ablaufenden Prozesse im Gefüge miteinbezogen.

Tabelle 1: Zusammensetzung in kg/m³ für Beton und in g für Mörtel

Werkstoff		Bestandteile	CEM I	CEM I +FA	AAS	50-50	AAFA
Betone	Mörtel	CEM I 32.5 R	450	-	-	-	-
		CEM I 52.5 R		347	-	-	-
		Flugasche	-	104	-	225	450
		Hüttensand	-	-	450	225	-
		NaOH 50 %	-	-	33	67	90
		Wasserglas	-	-	67	129	45
		Wasser	180	175	129	84	55
		Fließmittel	1,25	2,25	13,5	13,5	-
		Normsand	1350	1350	1350	1350	1350
Betone		Sand 0-2 mm	678	675	644	633	675
		Kies 2-8 mm	507	504	481	473	504
		Kies 8-16 mm	509	506	483	475	506

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Säurewiderstandsprüfung

Die Mörtel und Betone auf Basis von AAB wiesen im Vergleich zu den Portlandzementen eine geringere Schädigungstiefe, einen geringeren Masseverlust und eine höhere Restdruckfestigkeit auf. Mit Ausnahme des flugaschebasierten Geopolymers (AAFA) nahm die Restdruckfestigkeit mit zunehmender Beanspruchungsdauer ab. Alle Ergebnisse verdeutlichen, dass der Säurewiderstand mit dem Ca-Gehalt des Bindemittels korreliert und die Reaktionsprodukte von AAB einen höheren Säurewiderstand aufweisen als die der beiden Portlandzemente.

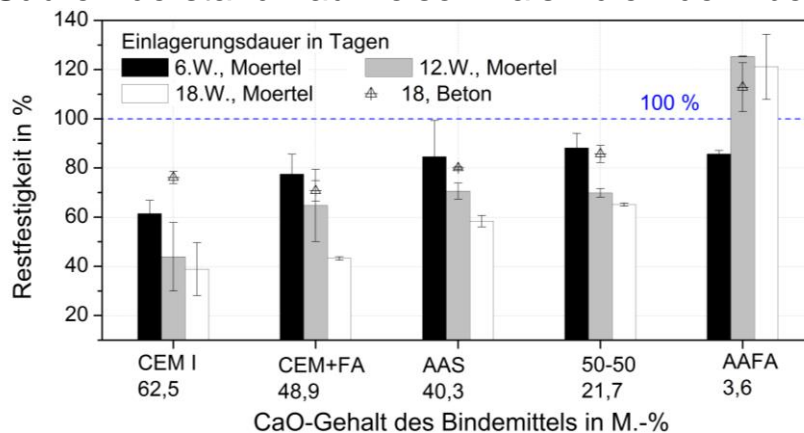


Abbildung 1: Restdruckfestigkeit der Mörtel/Betone

3.2 Weiterführende Ergebnisse

Die orts aufgelöste Porositätsanalyse mittels Mikro-Röntgencomputertomographie (μ XCT) zeigte, dass im Unterschied zu AAFA bei allen Proben die Porosität in der vorgeschädigten Zone durch den Lösungsprozess ansteigt und die Dichte abnimmt. In AAFA-Proben führte die eindringende saure Prüflösung zur Bildung eines Feststoffes, der das Gefüge verdichtete (Abbildung 2). Dieser Prozess hatte eine Reduktion der Porosität und eine erhöhte Restfestigkeit zur Folge.

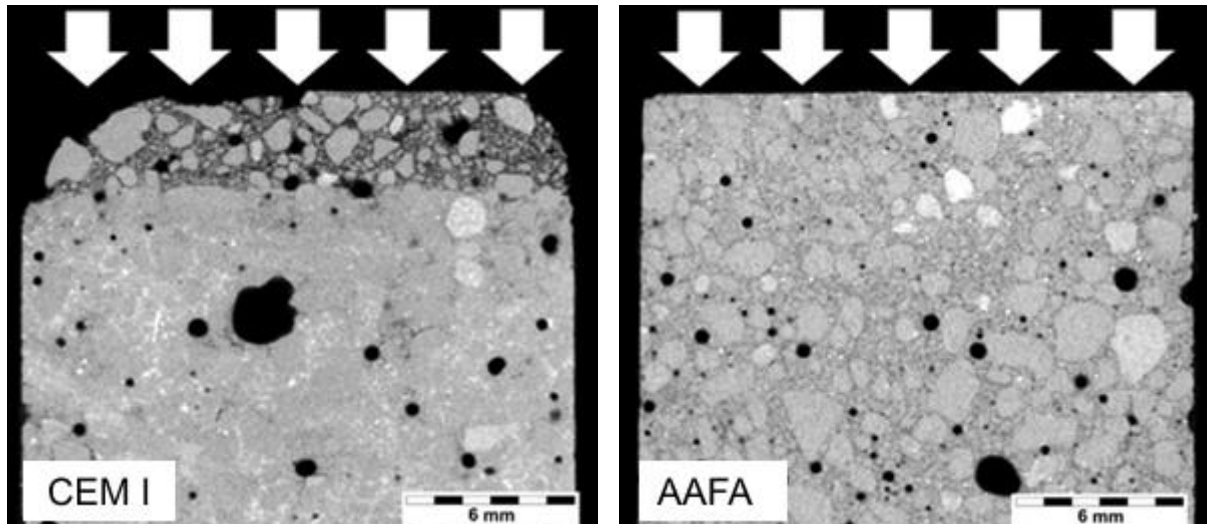


Abbildung 2: μ XCT - Schnittbilder von Mörtelproben nach 6-wöchiger Säurebeanspruchung (beanspruchte Seite durch Pfeile dargestellt)

In den Referenzsystemen (CEM I, CEM I+FA) konnte mittels XRD ein Auflösen des Portlandits (P) und Ettringits (E) nachgewiesen werden. Der Austausch von Portlandzement durch Flugasche hatte eine geringe Senkung des Portlandit-Anteils zur Folge. Aus dem Normsand wurde Muskovit (MS) sowie Chamosit (C) herausgelöst und gleichzeitig reicherte sich Quarz (Q) an. Sowohl in den Referenzproben (CEM I, CEM I+FA) als auch in den alkalisch-aktivierten Hüttensand-Proben (AAS, 50-50) bildeten sich in der vorgeschädigten Zone röntgenamorphe Reaktionsprodukte. Ausschließlich in AAFA konnte ein kristallines Reaktionsprodukt mit einem Hauptsignal bei $27.7\ 2\theta$ nachgewiesen werden, dessen Beugungssignal dem Mineral Anorthit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) zugeordnet werden könnte (Abbildung 3).

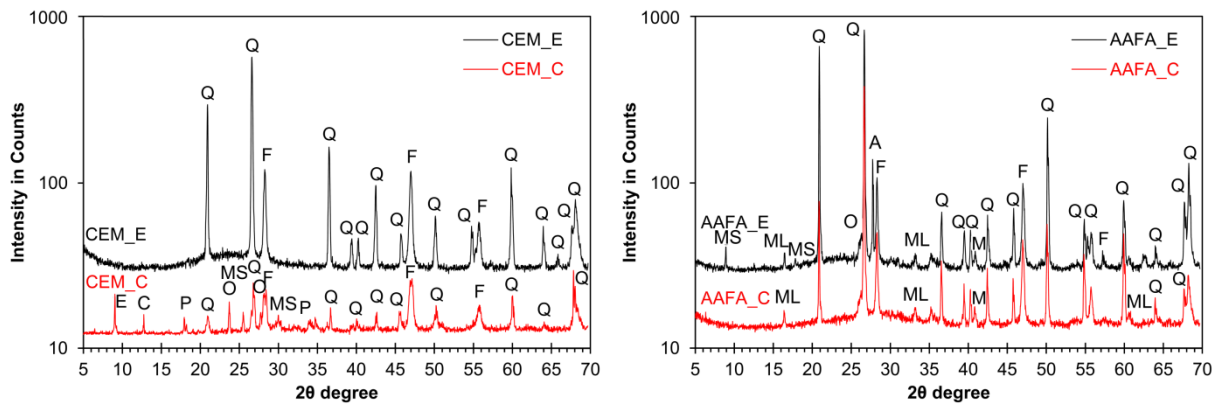


Abbildung 3: Diffraktogramm der Proben CEM I (links) und AAFA (rechts) vor (grau, Abk. „C“) und nach Säurebeanspruchung (schwarz, Abk. „E“)

4. Zusammenfassung

Der durch organische Säuren verursachte Schädigungsgrad in Mörteln sowie Betonen korreliert mit dem Ca-Anteil des eingesetzten Bindemittels. Der Austausch von Portlandzement durch Flugasche hatte eine Absenkung des Portlandit-Anteils und eine reduzierte Schädigungstiefe sowie einen geringeren Festigkeitsverlust zur Folge. Mit alkalisch-aktiviertem Hüttensand sowie mit einem Mischsystem aus Hüttensand und Flugasche konnte der Säurewiderstand zusätzlich erhöht werden. Der höchste Säurewiderstand konnte mit einem sogenannten Geopolymer auf Basis einer Ca-armen Flugasche nachgewiesen werden, wobei im Randbereich der Geopolymerproben eine Erhöhung der Dichte sowie Restfestigkeit durch die Neubildung einer kristallinen Phase (vermutlich Anorthit) erkennbar war /6/.

Quellen

- /1/ Koenig, A.; Dehn, F.: "Biogenic acid attack on concretes in biogas plants" Biosyst. Eng. (2016) 147, 226-237
- /2/ Hüttl, R.; Hillemeier, B. „High performance concrete – An example of acid resistance“ Conr Plant Precast (2000) 66, 52-60
- /3/ König, A.; Rasch, S.; Neumann, T.; Dehn, F. „Betone für biogenen Säureangriff im Landwirtschaftsbau“ BuSt (2010) 105, 714-724
- /4/ Herrmann, A.; König, A.; Dehn, F. „Vorschlag zur Klassifizierung von alkalisch-aktivierten Bindemitteln und Geopolymer-Bindemittel“ Beton (2015) 64, 390-395
- /5/ Tänzer, R.; Ehrenberg, A.; Stephan, D.: "Concrete based on alkali-activated granulated blast-furnace slag" Conr Plant Precast (2012) 78, 25-33
- /6/ Koenig, A.; Herrmann, A.; Overmann, S.; Dehn, F.: "Resistance of alkali-activated binders to organic acid attack: Assessment of Evaluation criteria and damage mechanisms" Constr. Build Mater (2017) 151, 405-413