



Betonersatz mit erhöhter Säuretoleranz

Ein Ansatz

Lösender Angriff auf Beton



- Problemstellung
- Ausgangssituation
- Entwicklung und Verifizierung

- Umsetzung

Lösender Angriff auf Beton



Lösender Angriff auf Beton kann durch verschiedene Faktoren erfolgen:

- **Säuren**
 - Schwache, meist organische Säuren
 - Starke, meist anorganische Säuren
- **Bestimmte Salze**
 - Magnesiumsalze
 - Ammoniumsalze
- **Komplexbildner**
- **Wasser** mit geringer Ionenstärke

Seite 3

Herkunft der Säuren



Säuren werden durch verschiedene Prozesse gebildet und in Wässer eingetragen.

- Huminsäuren: Genauer Fulvosäuren, entstehen durch den Abbau organischen Materials, vorwiegend aus Cellulose und Lignin.
- Kohlensäure: Aus der Reaktion von Kohlendioxid mit Wasser.
- Schweflige Säure und Schwefelsäure aus der bakteriellen Oxidation von Schwefelwasserstoff.
-

Seite 4

Angriff durch Säuren



Der Angriff durch Säuren erfolgt primär auf den Zementstein:

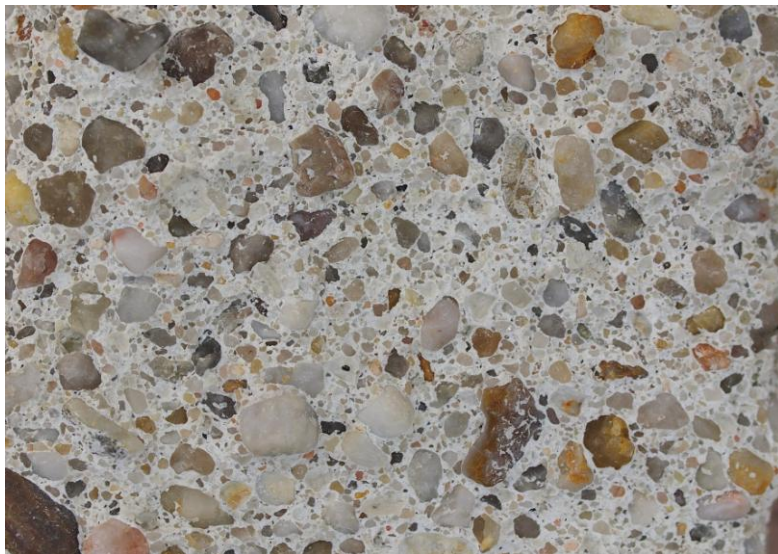
- Schwache Säuren lösen Calciumhydroxid aus dem Zementstein.
- Starke Säuren greifen neben dem Hydroxid auch Calciumsilikatphasen an. Es bilden sich lösliche Calciumsalze und Siliziumdioxid aus den CSH-Phasen.

In beiden Fällen bildet sich eine fortschreitende Zerstörungfront aus.

- Zuerst wird der Zuschlag freigelegt.
- Anschließend wird der Beton vollkommen zerstört.

Seite 5

Beton mit lösendem Angriff



Seite 6

Vorschädigung



Der Abbau erfolgt nicht als Oberflächenreaktion:

- Wasser mit den betonschädigenden Substanzen dringt in den Betonkörper ein.
- Der Angriff auf den Betonstein beginnt innerhalb dieser Eindringzone.
- Die Belastbarkeit des Betons ist schon in der Eindringzone geschwächt.
- Die effektiv geschädigte Zone ist wesentlich größer als der Abtrag alleine und von außen nicht abzuschätzen.

Seite 7

Vorschädigungszone



Seite 8

Ausgangssituation



- Die Notwendigkeit der Entwicklung von Betonen mit erhöhter Säureresistenz ist seit langer Zeit bekannt.
- Bekannte betontechnologische Verfahren sind:
 - > Einsatz von latent hydraulischen Komponenten im Bindemittel
 - > Zement mit erhöhter Sulfatresistenz
 - > Die Verwendung von säureunlöslichen Zuschlägen
 - > Die Verwendung von säurelöslichen Zuschlägen
 - > Bindemittel die das Porenvolumen bzw. die Kapillarität reduzieren
 - > Maßnahmen die die Wasseraufnahme reduzieren

Betonersatzsysteme



Aufgabe war ein Betonersatzsystem zu entwickeln

- Einsatz als Betoninstandsetzungsmaterial / Beschichtungsmaterial
 - > Trockenspritzverfahren
 - > Nassspritzverfahren
 - > Händische Verarbeitung
- Einsatz als Mörtel für Mauerwerk

Für Bereiche die eine erhöhte Säuretoleranz benötigen.

Besondere Anforderungen



Dünnschichtige Betonersatzmaterialien müssen Anforderungen erfüllen die bei Beton keine Rolle spielen:

- Haftzugfestigkeiten in den verschiedenen Lagerungsarten
- E-Modul muss Grenzwerte erfüllen.
- Die Anforderungen an Quellen und Schwinden sind bei Verbundmaterialien wichtig.

Für die Festlegung der Randbedingungen wurde die DIN EN 1504 / 3 zugrunde gelegt.

Die Säurefestigkeit wird nach verschiedenen Verfahren geprüft.

Lösungsansatz



Für den Mörtel wurde folgender Ansatz gewählt:

- Bindemittel: Zement mit erhöhter Sulfatresistenz
- Latent hydraulische Komponenten: Zwei verschiedene Fraktionen
- Zuschlag: Gemisch aus quarzitischen und karbonatischen Gesteinen
- Modifikation: Hydrophobierendes Dispersionspulver
- Zusatzmittel zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit

Grösstkorn: 2 mm
W/Z-Wert: < 0,45

Die Haftbrücke verfügt über die entsprechende Ausstattung

Mechanische Daten

MPA Hannover, CLZ



Druckfestigkeit:	> 50 Mpa
Biegezugfestigkeit:	> 11 Mpa
Haftzugfestigkeit:	> 3 Mpa
Karbonatisierung:	ca. 72% gegen Referenzbeton
E-Modul (stat):	ca. 20,5 Gpa
Frosttauwechsel (50):	> 2 Mpa
Kapillare Wasseraufn.:	0,055 kg/qm*√h

Seite 13

Bestimmung der Porendurchmesser

Universität Rostock

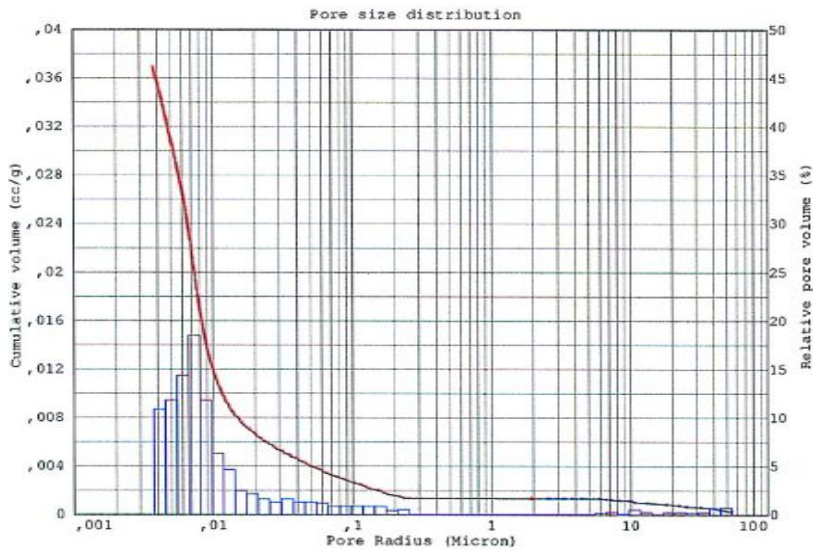


Porenvolumen nach 28 Tagen

Gesamtporenvolumen:	7,5 %	
Saugfähige Poren:	0,7 %	0,03 – 30 µm
Nicht saugfähige Poren:	6,1 %	0,00375 – 0,03 µm

Seite 14

Bestimmung der Porendurchmesser Universität Rostock



Seite 15

Versuch gemäß „Hamburger Sielbaurichtlinie“ TU Hamburg Harburg



Bei diesem Versuch werden Probekörper aus dem betreffenden Material in Säurebäder gelegt um die Auswirkungen der Säure auf den Mörtel zu beobachten.

Die Säurekonzentrationen sind so hoch gewählt dass immer ein Abtrag des zementären Mörtels zu erwarten ist.

Ausgewertet werden nach Ablauf der vorgegebenen Einlagerungszeit die Restdruckfestigkeit und die verbleibende Menge des Probeguts.

Bedingungen: Einlagerung in Säure mit pH 1 für 70 Tage, bei pH 0 für 14 Tage.

Die Lösungen werden mindestens täglich durch frische Säure ergänzt und die Lösung ständig mit dem Magnetrührer bewegt. Anschließend wird die Korrosionsschicht entfernt und die Probe ausgewertet.

Zu Vergleich: PCC-Mörtel



Versuch gemäß „Hamburger Siebaurichtlinie“



Die Ergebnisse nach dieser Richtlinie lauten:

Restdruckfestigkeit im Vergleich zur Wasserlagerung nach pH 0 beträgt
67,7 % (Grenzwert min. 55%)

Restdruckfestigkeit im Vergleich zur Wasserlagerung nach pH 1 beträgt
84,4 % (Grenzwert min. 75%)

Berechnete Korrosionstiefe nach pH 0 beträgt
3,4 mm (Grenzwert max 5,2 mm)

Berechnete Korrosionstiefe nach pH 1 beträgt
1,7 mm (Grenzwert max. 2,7 mm)

Beobachtet und gemessen beträgt die Abtragstiefe nach pH 0 2,4 mm
und nach pH 1 - 0,2 mm

Bestimmung der Beständigkeit bis pH 3



Protonenverbrauchsverfahren:

- Probekörper aus dem zu untersuchenden Material werden in die Säure eingelagert. Durch den Angriff auf das Bindemittel wird Säure verbraucht, der pH-Wert steigt.
- Durch eine ständige pH Kontrolle wird die Säure auf den gewünschten pH-Wert ergänzt und der Verbrauch an frischer Säure aufgezeichnet.
- Es handelt sich praktisch um eine pH-Stat Titration.
- Anschließend wird der Protonenverbrauch bis zur völligen Auflösung an einer neuen Probe bestimmt.
- Daraus wird die Schädigungstiefe errechnet.



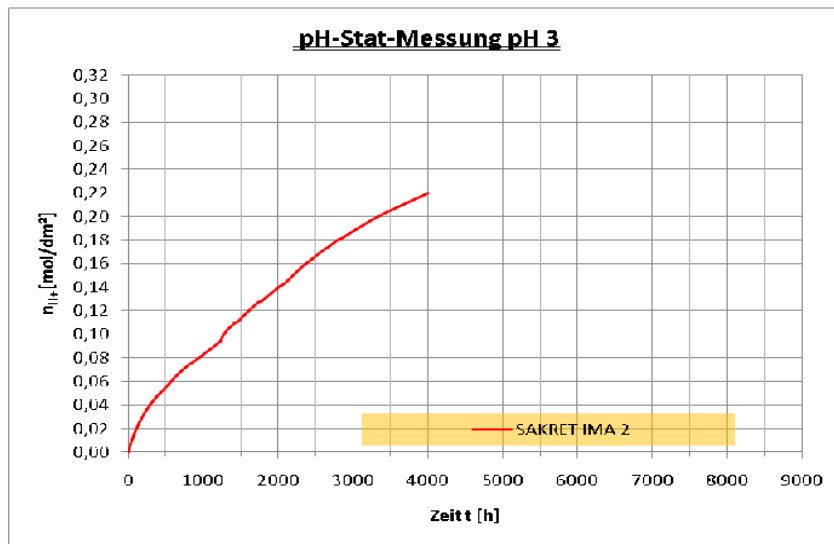
Messeinrichtung



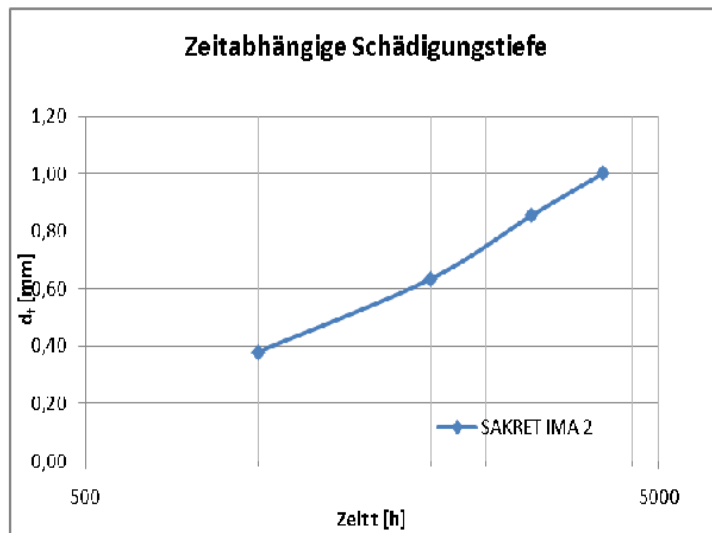
Messzelle



Protonenverbrauch



Schädigungstiefe



Ergebnis



Das bedeutet also daß nach 4000 Stunden – das entspricht 170 Tagen - bei pH 3 eine Schädigungstiefe von ca. einem Millimeter erreicht ist.

Der weitere Fortschritt der Schädigung verlangsamt sich dann.

Zum Vergleich kann man die Kurven eines Referenzbetons verwenden:

Protonenverbrauch Referenzmörtel

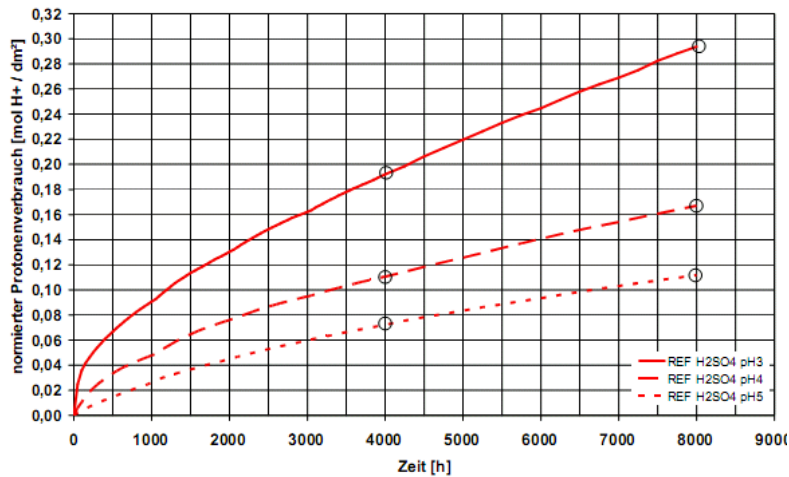


Abbildung 1: Protonen-Verbrauchskurven des Referenzmörtels in H2SO4

Seite 25

Referenzmörtel



Die als Referenz verwendete Rezeptur erfüllt bis auf das Größtkorn die Anforderungen der Betonnorm an einen XA 3 Beton:

- W/Z max. 0,45
- Min. 320 kg Zement pro Kubikmeter
- Festigkeitsklasse C 35/45
- Es muss HS-Zement verwendet werden.

Seite 26

Auswertung



Als Anforderungen für die Einstufung nach XA 3 wurden in den Entwürfen für die Norm 19753 aufgenommen:

- Maximale Schädigungstiefe für pH 4: 1,05 mm nach 4000 Stunden
- Der Referenzmörtel zeigt hier eine Schädigungstiefe von 1,57 mm
IMA 2 zeigt unter diesen Bedingungen eine Schädigungstiefe von 0,48 mm
- **Die Anforderung für pH 4 wird selbst bei pH 3 erreicht!**

Mauerwerk, Grenz pH



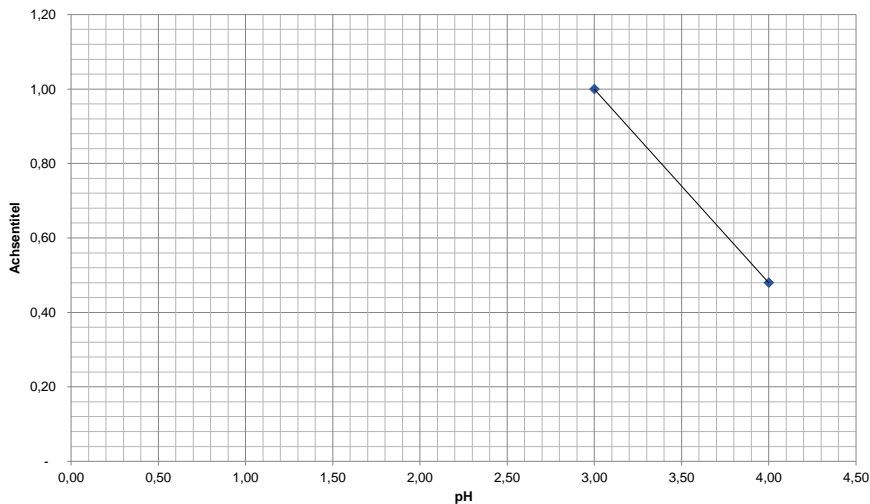
Als Grenzwert für die Schädigungstiefe wird angenommen dass 0,9 mm pro 4000 Stunden schadfrei bleibt.

Die wurde daraus geschlossen dass bis pH 4,5 konventionelle Mauermörtel mit hohem Bindemittelgehalt und HS-Zement stabil bleiben und sich bewährt haben.

Aus der Messung der Schädigungstiefe bei pH 4 und pH 3 kann man berechnen bei welchen Bedingungen der untersuchte Mörtel stabil bleibt.

Die zeichnerische Ermittlung des pH_{grenz} ergibt einen Wert von 3,08.

Grenz pH -Wert



Seite 29

Chloridmigration MFPA Leipzig



Die charakteristische Porenstruktur des Mörtels führt dazu dass die Chloridmigration außerordentlich langsam verläuft.

Der Chloridmigrationskoeffizient wurde gemäß dem entsprechenden BAW Merkblatt, Ausgabe 2012 bestimmt.

Als Anforderung für die Expositionsklassen XS 3, XD 3 wurde formuliert:

- Durchschnittswert: $5,0 \cdot 10^{-12}$ m/s
- Grösster Einzelwert: $7,0 \cdot 10^{-12}$ m/s

Der hier erreichte Wert liegt bei ca. $1 \cdot 10^{-12}$ m/s (MFPA Leipzig)

Seite 30

Chloridmigration



Tabelle 1: Chloridmigrationskoeffizienten

Probe	Probenhöhe	Masse nach Wasserlagerung	Rohdichte wasser-gesättigt	mittlere Eindringtiefe	Migrationskoeffizient	mittlerer Migrationskoeffizient
	h in mm	m in g	ρ in kg/m^3	x_d in mm	$D_{Cl} \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	$D_{Cl} \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
1i	51,6	890	2240	7,6	0,8	0,9
2i	51,2	885	2240	10,2	1,1	
3i	51,7	896	2250	8,9	0,9	
4	51,0	888	2260	10,7	1,1	1,0
5	51,3	889	2250	8,7	0,9	
6	50,6	876	2250	9,1	0,9	

Seite 31



Umsetzung in die
Praxis

Applikation:



Seite 33



Seite 34



Seite 35



SAKRET GmbH
Osterhagener Str. 2
37431 Bad Lauterberg

Tel.: +49 (0) 3631 929-3
Fax: +49 (0) 3631 929-403
www.sakret.de
www.sakret-gmbh.de
info@sakret-ndh.de