

TuTech Innovation GmbH  
Harburger Schloßstraße 6-12  
D-21079 Hamburg  
Tel. + 49 40 76629-0  
Fax + 49 40 76629-6119  
E-Mail: schmidt-doehl@tutech.de  
www.tutech.de

**Institut für Baustoffe, Bauphysik  
und Bauchemie**  
Prof. Dr.-Ing. Frank Schmidt-Döhl

## Untersuchungsbericht

**Thema des Auftrages:** Prüfung der Beständigkeit von einem Wasserglas-  
mörtel Bez. SD1 2K bei Schwefelsäureangriff  
von pH 0

**Auftraggeber:** Remmers Baustofftechnik GmbH  
Bernhard-Remmers-Str. 13  
49624 Lönigen

Datum des Dokuments: 9.03.2009 Dokumentennummer: 090304  
Das Dokument umfasst 11 Seiten inklusive Deckblatt und enthält 1 Anlage.

Dieses Dokument darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Kürzungen bedürfen der schriftlichen Genehmigung des Institutsleiters. Dokumente ohne Unterschrift haben keine Gültigkeit.

## 1 Allgemeines

Die TuTech Innovation, Institut für Baustoffe, Bauphysik und Bauchemie wurde von der Firma Remmers Baustofftechnik GmbH durch Herrn Dipl.-Ing. Frank Erdmann beauftragt, die Prüfung des Wasserglasmörtels Bez. SD1 2K in Anlehnung an die "Richtlinie für die Prüfung von Mörteln für den Einsatz im Sielbau, Fassung 2001" auf Schwefelsäurebeständigkeit bei pH 0 durchzuführen. Die bei der Firma Remmers gefertigten Mörtelprismen wurden am 16. Februar 2009 durch Herrn Dipl.-Ing. Frank Erdmann dem Institut überbracht.

## 2 Literatur und verwendete Unterlagen

- [1] Franke, L., Oly, M. und Witt, S.: *Richtlinie für die Prüfung von Mörteln für den Einsatz im Sielbau, Fassung 2001*, Technische Universität Hamburg-Harburg, Lehr- und Forschungsbereich Bauphysik und Werkstoffe im Bauwesen

## 3 Durchführung und Auswertung der Schwefelsäurebeständigkeitsprüfung

Die Mörtelprismen für die Prüfung der Schwefelsäurebeständigkeit wurden am 10. Februar 2009 im Labor der Firma Remmers durch die Firma Remmers hergestellt. Die Prismen lagerten einen Tag in der Styroporform und wurden nach 23,5 Stunden ausgeschalt und halbiert. Innerhalb von 24 Stunden nach der Herstellung wurde ein Nachbehandlungsmittel auf die halbierten Prismen mittels Pinsel aufgetragen (ca. 200 bis 250 g/m<sup>2</sup>). Das Nachbehandlungsmittel wurde vor Beginn der Prüfung nicht entfernt. Die Prismen lagerten die ganze Zeit von der Herstellung bis zur Einlagerung im Normalklima 23 °C und 50 % rel. F.. Am 7. Tag wurden die bereits vermessenen 5 Prismenhälften für die Dauer von 14 Tagen in Schwefelsäure bei einem pH-Wert von 0 eingelagert.

Während der Einlagerungsdauer von 14 Tagen wurde der pH-Wert durch tägliche Nachtitration konstant gehalten. Das Oberflächen/Volumenverhältnis wurde auf 20 m<sup>-1</sup> konstant gehalten und die Lösung durch Rührer ständig bewegt. Die Probe-

körper wurden während der Einlagerungsdauer nicht bewegt und die gebildete Korrosionsschicht nicht entfernt. Das Lösungsvolumen wurde konstant gehalten und während der Versuchsdauer nicht gewechselt.

Zusätzlich wurden fünf Prismenhälften unter Wasser gelagert. Das Wasser wurde am ersten Tag mindestens stündlich über 8 Stunden gewechselt und die weiteren 13 Tage 2-mal täglich ausgetauscht. Deren Druckfestigkeit nach 14 Tagen wird jeweils als Bezugsfestigkeit bei der Berechnung der relativen Festigkeitsänderung und der Dicke der evtl. korrodierten Randzone der säuregelagerten Prüfkörper herangezogen.

Die Probekörper wurden nach der Einlagerung mit einer Drahtbürste von losen Bestandteilen befreit und zur Dokumentation der äußerlichen Veränderungen fotografiert.

Die im Verlauf der Säureeinwirkung hervorgerufenen Korrosionstiefen sind ein Maß zur Beurteilung des Verhaltens der geprüften Mörtel.

An den abgebürsteten Probekörpern wurde die **Abtragstiefe  $X_A$**  über die Veränderung der Außenabmessungen bestimmt. Danach wurden Probekörper aus der Mitte der korrodierten Mörtelprismen so herausgesägt, dass sie eine Höhe von ca. 40 mm, entsprechend einer Schlankheit von 1, bezogen auf die Querschnitte vor der Einlagerung, aufwiesen. Die Körper wurden planparallel geschliffen, fotografiert und nach 2-tägiger Lagerung bei 23 °C und 50 % rel. F. die Druckbruchlast ermittelt.

Die beiden, bei der Präparation jedes Probekörpers anfallenden Abschnitte wurden zur Bestimmung der **visuell am Anschnitt erkennbaren Korrosionstiefe  $X_V$**  herangezogen. Die Korrosionstiefe  $X_V$  gibt an, wie tief die eindiffundierende Säure das Materialgefüge offensichtlich verändert hat, wobei die Abwitterungstiefe zum besseren Vergleich hinzu addiert wird.

Inwieweit bzw. wie tief das Gefüge des Materials aus der Sicht der Tragfähigkeit in Mitleidenschaft gezogen wurde, liefern die speziellen Druckversuche an den Prüfkörpern nach Säurebeanspruchung, aus denen die **Korrosionstiefe  $X_{f,D}$**  ermittelt wird.

Für die Druckprüfung werden an den aus der Mitte der korrodierten Mörtelproben präparierten Körper die Druckbruchlasten über die planparallel geschliffenen Säge-

flächen ermittelt. Mit den wassergelagerten Referenzkörpern wird entsprechend verfahren.

Die Widerstandsfähigkeit gegen den korrosiven Angriff wird über mehrere Kenngrößen beurteilt, die nachfolgend kurz erläutert werden.

Restdruckfestigkeit: Die Restdruckfestigkeit wird ermittelt, indem die Bruchlasten  $F_{D,Säure}$  der korrodierten Körper auf deren jeweiligen Ausgangsquerschnitt  $d_0$  bezogen werden.

Relative Restdruckfestigkeit: Die relative Restdruckfestigkeit wird ermittelt, indem die mittleren Restdruckfestigkeiten der korrodierten Körper auf die der wassergelagerten Körper gleicher Zusammensetzung bezogen werden.

Korrosionstiefe  $X_{f,D}$  aus dem Restdruckfestigkeitsverhältnis: Die **Korrosionstiefe  $X_{f,D}$**  wird wie folgt bestimmt: Ausgangsquerschnitt des Prüfkörpers minus Korrosionsrand der Dicke  $X_{f,D}$  ergibt die hinsichtlich der Festigkeit unbeeinflussten Kernabmessungen, wobei die Festigkeit eines gleich alten, aber säurefrei gelagerten Prüfkörpers als Festigkeitsreferenz herangezogen wird.

Die Korrosionstiefe  $X_{f,D}$  aus dem Restdruckfestigkeitsverhältnis errechnet sich nach dem folgenden formalen Zusammenhang:

$$X_{f,D} = 0,5 \cdot \left[ d_0 - \left( \sqrt{\frac{F_{D,Säure}}{F_{D,Wasser}}} \cdot d_0 \right) \right] = 0,5 \cdot d_0 \left[ 1 - \sqrt{\frac{F_{D,Säure}}{F_{D,Wasser}}} \right]$$

mit:  $d_0$  = mittlerer Ausgangsquerschnitt  
 $F_{D,Säure}$  = Prüfkraft des korrodierten Kerns nach Säurelagerung  
 $F_{D,Wasser}$  = Prüfkraft des wassergelagerten Ausgangsquerschnitts

Die Untersuchungsergebnisse werden nachfolgend dargestellt.

### 3.1 Festmörteleigenschaften

#### 3.1.1 Druckfestigkeit

Die Ermittlung der Druckfestigkeit erfolgte nach DIN EN 196. Die am 6. Tag nach der Herstellung angelieferten Prismen lagerten bis zur Prüfung im Klimaraum bei 23 °C und 50 % Luftfeuchtigkeit. Aus einem Mörtelprisma wurde 1 Würfel herausgesägt und die Schnittflächen planparallel abgeschliffen. Der präparierte Würfel hatte die Abmessung von 40 x 40 x 40 mm. Das Alter des Würfels betrug zum Zeitpunkt der Prüfung 7 Tage. Der Messwert ist in Tabelle 1 aufgeführt.

**Tabelle 1:** Druckfestigkeit nach 7 Tagen

		Anforderungen		
Druckfestigkeit nach 7 Tagen $f_{D,7d}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Bez. SD1 2K	Mauermörtel	Fugemörtel	Reparaturmörtel
Probekörper 1	31,9	20...70		

#### 3.1.2 Festmörtelrohddichte $\rho_{Tr}$

Die Festmörtelrohddichte  $\rho_{Tr}$  wurde nach DIN 18555 ermittelt und an dem Würfel für die Prüfung der Druckfestigkeit im Alter von 7 Tagen ermittelt. Der Messwert ist in Tabelle 2 aufgeführt.

**Tabelle 2:** Festmörtelrohddichte

		Anforderungen		
Festmörtelrohddichte $\rho_{Tr}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Bez. SD1 2K	Mauermörtel	Fugemörtel	Reparaturmörtel
Probekörper 1	2,04	zu bestimmen		

## 3.2 Schwefelsäurebeständigkeit

### 3.2.1 Abtragtiefe $X_A$

Zur Bestimmung der Abtragtiefe wurden die äußeren Querschnitte der Probekörper nach dem Abbürsten bestimmt. Als Ausgangsabmessungen wurden die Abmessungen der jeweiligen Probekörper vor der Einlagerung herangezogen. Dabei wurden die in Tabelle 3 dargestellten Werte ermittelt. In Bild 1 und 2 (s. Bildanhang) sind die Veränderungen der äußeren Abmessungen der Mörtel nach 14 Tagen in Schwefelsäure pH 0 dokumentiert.

**Tabelle 3:** Abtragtiefe  $X_A$  des Mörtels nach 14 Tagen Einlagerung in Schwefelsäure pH 0 aus den Veränderungen der **Außen**abmessungen bezogen auf die Ausgangsabmessungen der jeweiligen Prüfkörper.

14 Tage pH 0	
Prüfkörper	Bez. SD1 2K
	[mm]
1	0,2
2	0,2
3	0,2
4	0,2
5	0,2
<b>Mittelwert <math>X_A</math></b>	<b>0,2</b>
Standardabweichung	0,0

### 3.2.2 Visuell am Anschnitt ermittelte Korrosionstiefe $X_V$

Die beiden, bei der Präparation jedes Probekörpers zur Druckfestigkeitsprüfung anfallenden Abschnitte, wurden zur Bestimmung der visuell ermittelten Eindringtiefe herangezogen. Dabei wurde der offensichtlich unbeeinflusste Restquerschnitt an je-

dem Anschnitt 4 mal bestimmt, so dass für jede Probenserie 40 Einzelwerte zur Verfügung standen.

In Tabelle 4 sind die ermittelten Werte dargestellt. Die am Anschnitt erkennbaren Veränderungen nach Lagerung pH 0 sind im Bildanhang in Bild 1 und 2 erkennbar.

**Tabelle 4:** Korrosionstiefe  $X_V$  der Mörtel nach 14 Tagen Einlagerung in Schwefelsäure pH 0 bestimmt aus den Veränderungen der **visuell** erkennbaren Schädigung am Anschnitt bezogen auf die Ausgangsabmessungen der jeweiligen Prüfkörper.

14 Tage pH 0	
Prüfkörper	Bez. SD1 2K
	[mm]
1	1,6
2	1,5
3	1,7
4	1,5
5	1,7
<b>Mittelwert <math>X_V</math></b>	<b>1,6</b>
Standardabweichung	0,1

### 3.2.3 Druckprüfung nach Auslagerung in Schwefelsäure

Zur Bestimmung der Restdruckfestigkeit wurden die Festigkeiten der abgeglichenen korrodierten Probekörperwürfel auf die Festigkeiten der Probekörper gleicher Herstellung nach Wasserlagerung bezogen. Diese Bezugsfestigkeiten wurden ebenfalls an Würfeln bestimmt. Die Festigkeiten wurden auf die Ausgangsquerschnittflächen der jeweiligen Probekörper vor der Auslagerung bezogen. Die Einzel- und Mittelwerte

der Druck- und Restdruckfestigkeiten und den daraus abgeleiteten Größen relative Restdruckfestigkeit in Prozent und berechnete Korrosionstiefe  $X_{f,D}$  für pH 0 sind in Tabelle 5 dargestellt.

**Tabelle 5:** Ergebnisse der Druckprüfungen und der daraus abgeleiteten Größen nach 14 Tagen Einlagerung in Schwefelsäure pH 0

	Bez. SD1 2K	
	Bruchlast F	Druckfest. $f_D$
	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Prüfkörper	<b>vor Einlagerung (7 Tage-Wert)</b>	
1	51	31,9
Prüfkörper	<b>14 Tage Wasserreferenzlagerung</b>	
1	68	42,5
2	66	41,3
3	67	41,9
4	62	38,8
5	65	40,6
<b>Mittelwert</b>	<b>66</b>	<b>41,0</b>
Standardabweichung	-	1,4
Prüfkörper	<b>14 Tage Schwefelsäure pH 0 (Restdruckfestigkeit)</b>	
1	60	37,5
2	62	38,8
3	57	35,6
4	63	39,4
5	61	38,1
<b>Mittelwert</b>	<b>61</b>	<b>37,9</b>
Standardabweichung	-	1,5
<b>relative Restdruckfestigkeit in Prozent [%]</b>	-	<b>92,4</b>
<b>Korrosionstiefe <math>X_{f,D}</math> aus dem Restdruckfestigkeitsverh. [mm]</b>	-	<b>0,8 ± 0,4</b>

#### 4 Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse

Der Wasserglasmörtel Bez. SD1 2K der Firma Remmers Baustofftechnik GmbH inklusive Nachbehandlungsmittel wurde nach der "Richtlinie für die Prüfung von Mörteln für den Einsatz im Sielbau, Fassung 2001" auf Schwefelsäurebeständigkeit bei pH 0 geprüft.

Die Prüfergebnisse der Schwefelsäureeinlagerung bei pH 0 sind in Tabelle 6 im Überblick zusammenfassend dargestellt.

**Tabelle 6:** Zusammenstellung der Prüfergebnisse nach 14 Tagen Auslagerung in Schwefelsäure bei pH 0

	<b>14 Tage pH 0</b>
<b>bei Einlagerung</b>	
Druckfestigkeit, 7 Tage-Wert [N/mm <sup>2</sup> ]	31,9
<b>Wasserreferenzlagerung</b>	
Druckfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	41,0
<b>Säurelagerung</b>	
Restdruckfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	37,9
visuell bestimmte Korrosionstiefe $X_v$ [mm]	1,6
relative Restdruckfestigkeit in Prozent [%]	<b>92,4</b>
Korrosionstiefe $X_{f,D}$ aus dem Restdruckfestigkeitsverhältnis [mm]	0,8
<b>Der Mörtel erfüllt die Anforderungen der Klasse</b>	<b>Klasse I</b>
<b>Anforderungen (Mauer-, Fugen- und Reparaturmörtel)</b>	
relative Restdruckfestigkeit in Prozent [%]	Klasse II: > 55 Klasse I: > 90
Korrosionstiefe $X_{f,D}$ aus dem Restdruckfestigkeitsverhältnis [mm]	Klasse II: < 5,2 Klasse I: < 1,0

Die Anforderungen der Einlagerung in Schwefelsäure 14 Tage bei pH 0 wird von dem Wasserglasmörtel Bez. SD1 2K in Klasse I erfüllt.

---

Daher hat der Wasserglasmörtel Bez. SD1 2K die Prüfung der Schwefelsäurebeständigkeit bei pH 0 in Anlehnung an die "Richtlinie für die Prüfung von Mörteln für den Einsatz im Sielbau, Fassung 2001" bestanden.

Hamburg, 9.03.2009

Der Institutsleiter



Prof. Dr.-Ing. Frank Schmidt-Döhl

Die Sachbearbeiterin

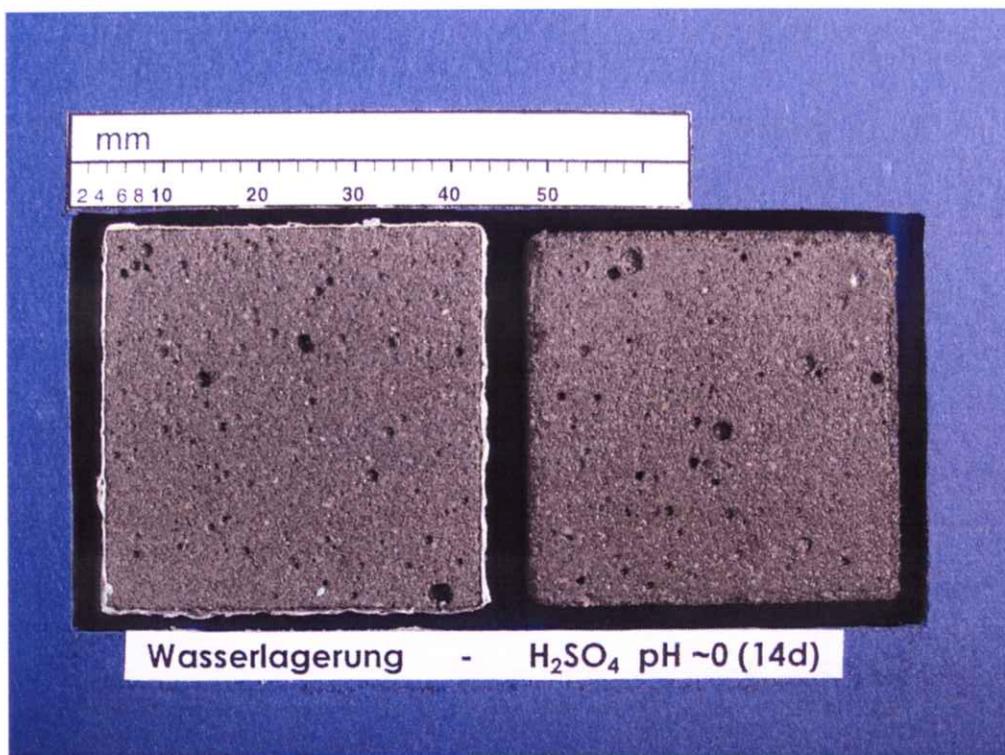


i.A. Sabine Opeldus

**Anlage:** Fotodokumentation



**Abb. 1:** Mörtelprismen nach Beendigung der Einlagerung Bez. SD1 2K nach 14 Tagen Einlagerung in Schwefelsäure bei pH 0



**Abb. 2:** Abschnitte von Bez. SD1 2K nach 14 Tagen Einlagerung in Schwefelsäure bei pH 0