

Untersuchungsbericht

Thema des Auftrages: Prüfung der Beständigkeit von einem Wasserglas-
mörtel Bez. SD1 2K bei Natronlaugeangriff
von pH 14

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

Datum des Dokuments: 9.03.2009

Dokumentennummer: 090303

Das Dokument umfasst 12 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 der Firma Remmers Baustofftechnik GmbH durch Herrn Dipl.-Ing. Franke 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 Natronlaugebeständigkeit bei pH 14 durchzuführen. Die bei der Firma Remmers hergestellten Mörtelprismen wurden am 17. November 2008 durch Herrn Dipl.-Ing. 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, Lehr- und Forschungsbereich Bauphysik und Werkstoffe im Bauwesen

3 Durchführung und Auswertung der Natronlaugebeständigkeit

Die Mörtelprismen für die Prüfung der Natronlaugebeständigkeit wurden am 17. November 2008 im Labor der Firma Remmers durch die Firma Remmers herstellt. Die Prismen lagerten einen Tag in der Styroporform und wurden nach 24 Stunden ausgeschalt und halbiert. Innerhalb von 24 Stunden nach der Herstellung wurde das Nachbehandlungsmittel auf die halbierten Prismen mittels Pinsel aufgetragen (200 bis 250 g/m²). Das Nachbehandlungsmittel wurde vor Prüfbeginn nicht abgetrocknet. Die Prismen lagerten die ganze Zeit von der Herstellung bis zur Einlagerung im Klimaklima 23 °C und 50 % rel. F.. Am 7. Tag wurden die bereits vermessenen Prismenhälften für die Dauer von 14 Tagen in Natronlauge bei einem pH-Wert von 14 eingelagert.

Zusätzlich wurden 12 Prismen des Referenzmörtels im Labor des Instituts für Baustoffe, Bauphysik und Bauchemie entsprechend der Sielbaurichtlinie hergestellt. Die Hälfte der Prismen lagerte 28 Tage entsprechend der Sielbaurichtlinie. Am 17. November 2008 wurden die Referenzmörtelprismen dem Institut überbracht.

wurden die bereits vermessenen 5 Prismenhälften für die Dauer von 14 Tagen in Natronlauge bei einem pH-Wert von 14 eingelagert.

Zusätzlich lagerten die anderen Prismen nur 7 Tage unter Wasser bei 23 °C. Nach 7 Tagen wurden auch die bereits vermessenen 5 Prismenhälften für die Dauer von 14 Tagen in Natronlauge bei einem pH-Wert von 14 eingelagert.

Während der Einlagerungsdauer von 14 Tagen wurde der pH-Wert durch tägliche Nachtitration konstant gehalten. Das Oberflächen/Volumenverhältnis wurde auf 20 m^{-1} konstant gehalten und die Lösung durch Rührer ständig bewegt. Die Probekörper 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 zehn (Wasserglasmörtel) bzw. jeweils fünf (Referenzmörtel) Prismenhälften unter Wasser gelagert. Deren Druckfestigkeit nach 14 Tagen wird jeweils als Bezugsfestigkeit bei der Berechnung der relativen Festigkeitsänderung und der Dicke der evtl. korrodierten Randzone der laugegelagerten 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 Natronlaugeeinwirkung 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** heran-

gezogen. Die Korrosionstiefe X_V gibt an, wie tief die eindiffundierende Lauge 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 Laugenbeanspruchung, 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 Sägeflächen 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 $F_{D,Laug}$ 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 in Wasser gelagerten Prüfkörpers als Festigkeitsreferenz herangezogen wird.

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

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

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

Die Untersuchungsergebnisse werden nachfolgend dargestellt.

3.1 Festmörtel Eigenschaften

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 wurden 3 Würfel herausgesägt und die Schnittflächen planparallel abgeschliffen. Die präparierten Würfel hatten die Abmessungen von 40 x 40 x 40 mm. Das Alter der Würfel betrug zum Zeitpunkt der Prüfung 7 Tage. Die Messwerte sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Druckfestigkeiten nach 7 Tagen

Druckfestigkeit nach 7 Tagen $f_{D,7d}$ [N/mm ²]	Bez. SD1 2K	Anforderungen		
		Mauer- mörtel	Fugen- mörtel	Repara- turmörtel
Probekörper 1	30,0			
Probekörper 2	30,6			
Probekörper 3	30,0			
Mittelwert	30,2			

3.1.2 Festmörtelrohddichte ρ_{Tr}

Die Festmörtelrohddichten ρ_{Tr} wurden nach DIN 18555 ermittelt und an den Würfeln für die Prüfung der Druckfestigkeit im Alter von 7 Tagen ermittelt. Die Messwerte sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Festmörtelrohddichten

Festmörtelrohddichte ρ_{Tr} [g/cm ³]	Bez. SD1 2K	Anforderungen		
		Mauer- mörtel	Fugen- mörtel	Repara- turmörtel
Probekörper 1	2,02	zu bestimmen		
Probekörper 2	2,02			
Probekörper 3	2,05			
Mittelwert	2,03			

3.2 Natronlaugenbeständigkeit

3.2.1 Abtragstiefe X_A

Zur Bestimmung der Abtragstiefe 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 des Wasserglasmörtels Bez. SD1 2K nach 14 Tagen in Natronlauge pH 14 dokumentiert.

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

14 Tage pH 14		
Prüfkörper	Ref (7d/28d)	Bez. SD1 2K
	[mm]	[mm]
1	0 / -0,1	0,1
2	0 / 0	0,1
3	0 / -0,1	0
4	0 / 0	0,1
5	0 / 0	0,1
Mittelwert X_A	0 / 0	0,1
Standardabweichung	0 / 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 jedem 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 des Wasserglasmörtels Bez. SD1 2K nach Lagerung pH 14 sind im Bildanhang in Bild 1 und 2 erkennbar.

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

14 Tage pH 14		
Prüfkörper	Ref (7d/28d)	Bez. SD1 2K
	[mm]	[mm]
1	0 / -0,1	0,1
2	0 / 0	0,1
3	0 / -0,1	0
4	0 / 0	0,1
5	0 / 0	0,1
Mittelwert X_V	0 / 0	0,1
Standardabweichung	0 / 0	0

3.2.3 Druckprüfung nach Auslagerung in Natronlauge

Zur Bestimmung der Restdruckfestigkeit wurden die Festigkeiten der abgeglichenen korrodierten Probekörperwürfel auf die Festigkeiten der Probekörper gleicher Herstellung nach Wasserlagerung bezogen. Für die Wasserlagerung des Wasserglas-
mörtels wurden 10 Probekörper verwendet. 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 14 sind in Tabelle 5 für den Referenzmörtel und in Tabelle 6 für den Wasserglas-
mörtel dargestellt.

Tabelle 5: Ergebnisse der Druckprüfungen und der daraus abgeleiteten Größen nach 14 Tagen Einlagerung des Referenzmörtels in Natronlauge pH 14

	Referenzmörtel	
	Bruchlast F	Druckfest. f_D
	[kN]	[N/mm ²]
Prüfkörper	vor Einlagerung (7 Tage-Wert / 28 Tage-Wert)	
1	86 / 110	53,8 / 68,8
2	88 / 109	55 / 68,1
3	87 / 108	54,4 / 67,5
Mittelwert	87 / 109	54,4 / 68,1
Standardabweichung	-	0,6 / 0,7
Prüfkörper	Vorlagerung (7 Tage / 28 Tage) 14 Tage Wasserreferenzlagerung	
1	112 / 122	70,0 / 76,3
2	110 / 116	68,8 / 72,5
3	114 / 115	71,3 / 71,9
4	110 / 115	68,8 / 71,9
5	112 / 119	70,0 / 74,4
Mittelwert	112 / 117	69,8 / 73,4
Standardabweichung	-	1,0 / 1,9
Prüfkörper	Vorlagerung (7 Tage / 28 Tage) 14 Tage Natronlauge pH 14 (Restdruckfestigkeit)	
1	111 / 117	69,4 / 73,1
2	111 / 114	69,4 / 71,3
3	109 / 118	68,1 / 73,8
4	107 / 117	66,9 / 73,1
5	109 / 116	68,1 / 72,5
Mittelwert	109 / 116	68,4 / 72,8
Standardabweichung	-	1,1 / 0,9
relative Restdruckfestigkeit in Prozent [%]	-	98 / 99,2
Korrosionstiefe $X_{f,D}$ aus dem Restdruckfestigkeits- verhältnis [mm]	-	0,2 ± 0,2 / 0,1 ± 0,1

Tabelle 6: Ergebnisse der Druckprüfungen und der daraus abgeleiteten Größen nach 14 Tagen Einlagerung des Wasserglasmörtels in Natronlauge pH 14

	Bez. SD1 2K	
	Bruchlast F	Druckfest. f_D
	[kN]	[N/mm ²]
Prüfkörper	vor Einlagerung (7 Tage-Werte)	
1	48	30,0
2	49	30,6
3	48	30,0
Mittelwert	48	30,2
Standardabweichung	-	0,4
Prüfkörper	14 Tage Wasserreferenzlagerung	
1	61	38,1
2	57	35,6
3	57	35,6
4	58	36,3
5	60	37,5
6	63	39,4
7	57	35,6
8	62	38,8
9	60	37,5
10	61	38,1
Mittelwert	59	37,3
Standardabweichung	-	1,4
Prüfkörper	14 Tage Natronlauge pH 14 (Restdruckfestigkeit)	
1	58	36,3
2	57	35,6
3	57	35,6
4	57	35,6
5	58	36,3
Mittelwert	57	35,9
Standardabweichung	-	
relative Restdruckfestigkeit in Prozent [%]	-	96,2
Korrosionstiefe $X_{f,D}$ aus dem Restdruckfestigkeitsverhältnis [mm]	-	0,54 ± 0,1

4 Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse

Der Wasserglasmörtel Bez. SD1 2K der Firma Remmers Baustofftechnik GmbH inklusive Nachbehandlungsmittel wurde in Anlehnung nach der "Richtlinie für die Prüfung von Mörteln für den Einsatz im Sielbau, Fassung 2001" auf Natronlaugebeständigkeit bei pH 14 geprüft.

Die Prüfergebnisse des Wasserglasmörtels Bez. SD1 2K der Natronlaugeeinlagerung bei pH 14 sind in Tabelle 7 im Überblick zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 7: Zusammenstellung der Prüfergebnisse nach 14 Tagen Auslagerung in Natronlauge bei pH 14

	14 Tage pH 14
bei Einlagerung	
Druckfestigkeit, 7 Tage-Werte [N/mm ²]	30,2
Wasserreferenzlagerung	
Druckfestigkeit [N/mm ²]	37,3
Laugenlagerung	
Restdruckfestigkeit [N/mm ²]	35,9
visuell bestimmte Korrosionstiefe X_v [mm]	0,1
relative Restdruckfestigkeit in Prozent [%]	96,2
Korrosionstiefe $X_{r,D}$ aus dem Restdruckfestigkeitsverhältnis [mm]	0,54

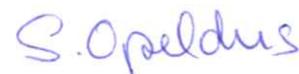
Hamburg, 9.03.2009

Der Institutsleiter



Prof. Dr.-Ing. Frank Schmidt-Döhl

Die Sachbearbeiterin



i.A. Sabine Opeldus

Anlage: Fotodokumentation

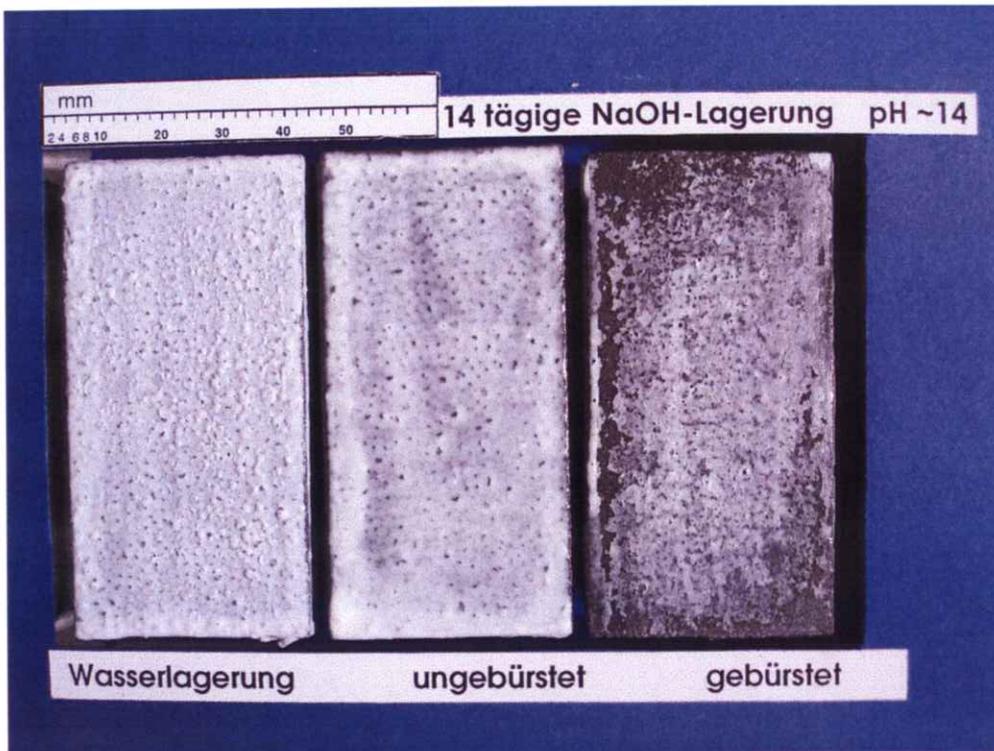


Abb. 1: Mörtelprismen nach Beendigung der Einlagerung Bez. SD1 2K nach 14 Tagen Einlagerung in Natronlauge bei pH 14

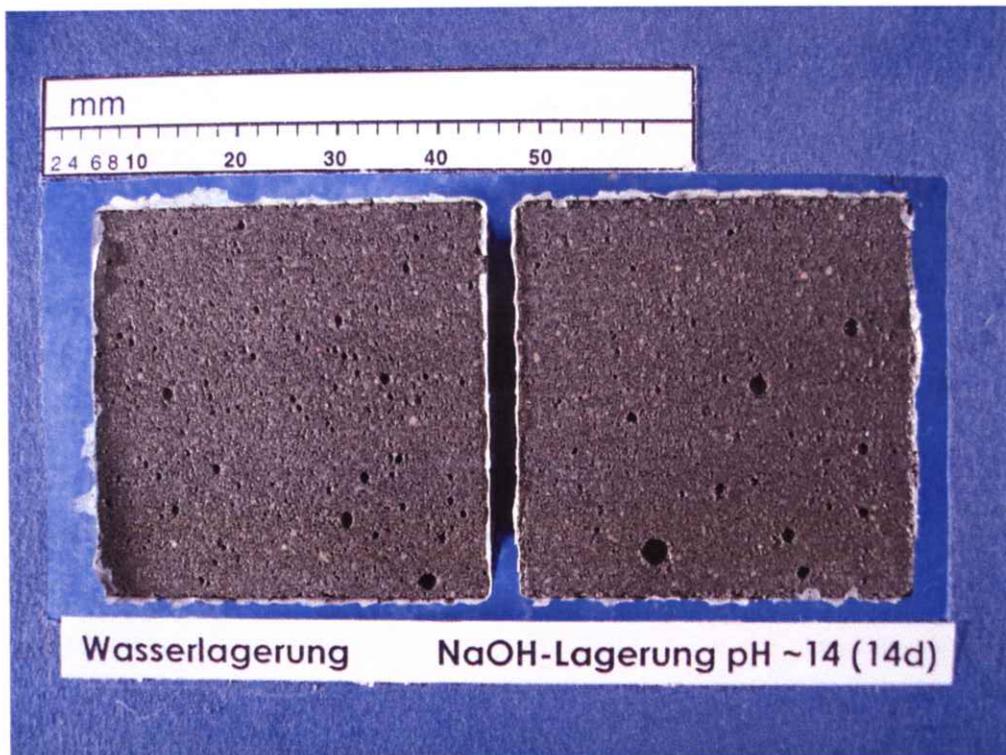


Abb. 2: Abschnitte von Bez. SD1 2K nach 14 Tagen Einlagerung in Natronlauge bei pH 14