Bergische Universität Wuppertal
Fachbereich D - Abt. Bauingenieurwesen
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau
Pauluskirchstraße 11
42285 Wuppertal

PRÜFBERICHT A - 05/2015

27. Februar 2015

Untersuchungen an Einpressmörtel mit Portlandzement Rheo-WITT® und Einpresshilfe SF 14, Fa. Portlandzementwerk Wittekind, gem. DIN EN 445:2008-01 und DIN EN 447:2008-01

Auftraggeber:

Portlandzementwerk Wittekind
Hugo Miebach Söhne KG
Hüchtchenweg 1
59597 Erwitte

Der Bericht darf nur ungekürzt veröffentlicht werden. Die gekürzte oder auszugsweise Veröffentlichung bedarf der Genehmigung des Institutes für Konstruktiven Ingenieurbau.

Dieser Bericht umfasst 12 Seiten.

1. Allgemeines

Das Institut für Konstruktiven Ingenieurbau der Bergischen Universität Wuppertal erhielt von der Fa. Portlandzementwerk Wittekind, Hugo Miebach Söhne KG, Hüchtchenweg 1, 59597 Erwitte den Auftrag zu Untersuchungen an Einpressmörtel mit Portlandzement RheoWITT® und Einpresshilfe SF 14, Fa. Wittekind, gem. DIN EN 445:2008 - 01 und DIN EN 447:2008 - 01. Die Anlieferung erfolgte am 20.11.2014. Das Herstellungsdatum beider Produkte war laut Auftraggeber der 05.11.2014.

2. Versuchsdurchführung und Prüfergebnisse

2.1 Herstellung

Die Probekörper sowie die Versuche wurden von Mitarbeitern der Fa. Wittekind, der Fa. DSI und dem IKIB hergestellt bzw. durchgeführt.
Bei den Versuchsreihen betrug die Zugabe 16 l Wasser und 0,615 kg Einpresshilfe SF 14, Fa. Wittekind (siehe Foto 1) auf 50 kg Portlandzementtrockenmasse. Dabei entsprach die Masse der Einpresshilfe 1,23 % der Trockenmasse mit einem W/Z-Wert von 0,32.

Hergestellt wurde der Einpressmörtel nach einer Mischanweisung der Fa. Wittekind, welche an die DIN 4127 „Herstellung und Prüfung der stützenden Flüssigkeit“ angelehnt ist (nachfolgend auszugsweise wiedergegeben).

- die Innenflächen des Mischers *Dissolver Mixer Typ ZZ50* (siehe Foto 2) wurden mit einem feuchten Schwamm ausgewischt und von Verunreinigungen befreit
- die vorgeschriebene Wassermenge wurde in den Mischer gefüllt
- die Drehzahl des Rührers wurde auf 400 U/min eingestellt
- Einpresshilfe und Einpresszement wurden zur Vermeidung von Klumpenbildung gleichmäßig hinzugegeben
- nach Zugabe aller Einzelkomponenten wurde die Drehzahl auf 800 U/min erhöht
- die Durchmischzeit bei dieser Drehzahl betrug in Abhängigkeit von einer Befüllung mit 50 kg Einpressmörtel 5 min
- bei laufendem Mischer wurde der Behälter über den Perfektionshahn entleert
- nach jedem Arbeitsgang wurde der Mischer gereinigt

Es wurden folgende Temperaturen gemessen:

Tabelle 1: Dokumentation der Temperaturen

	Zement	Einpresshilfe	Wasser	Frischmörtel	Umgebung
Temperatur [°C]	20,1	19,8	22	29,2	20,3

Foto 1: Rohmaterialien

Foto 2: Dissolver Mixer ZZ 50

2.2 Absetztest mit Vertikalrohr (Docht-Absetz-Test)

Zur Beurteilung der Wasserabsonderung und der Volumenstabilität des Einpressmörtels (Portlandzement RheoWITT® und Einpresshilfe SF 14, Fa. Wittekind) wurde der Docht-Absetz-Versuch nach DIN EN 445:2008 - 01 durchgeführt. Hierzu wurde ein transparentes Kunststoffrohr (Durchmesser: 80 mm, Länge 1.000 mm) vertikal aufgestellt. Beidseitig wurden die Öffnungen mit einem Deckel verschlossen. Mittig im Rohr war eine 7-drähtige Stahllitze (Durchmesser: 16 mm, Länge: 900 mm) eingesetzt worden (s. Foto 3).

Foto 3: Rohr mit Litze und Befestigung am oberen Deckel

Das Rohr wurde soweit mit Einpressmörtel befüllt, bis zwischen Mörtelspiegel und Litzenende eine Überdeckung von 10 mm vorhanden war (s. Foto 4).

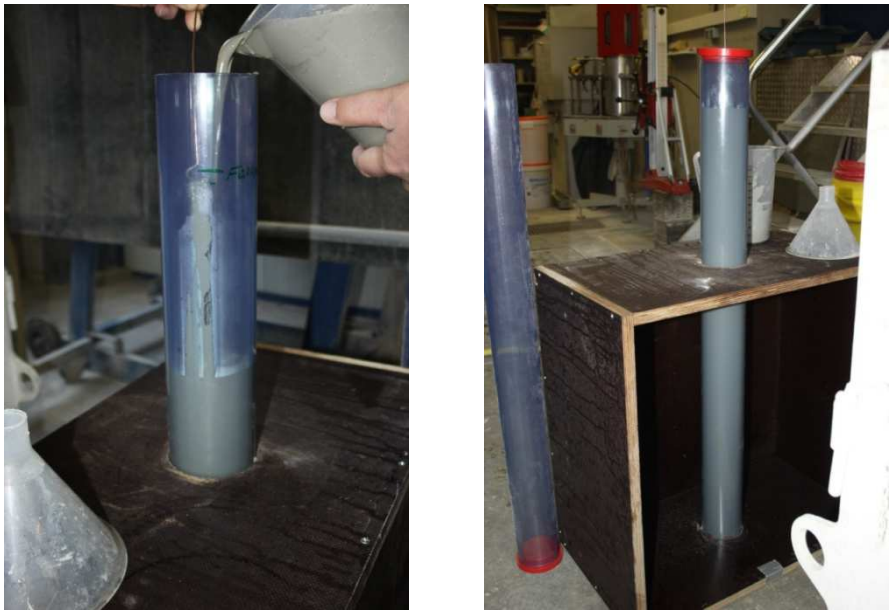

Foto 4: Befüllen des Rohres mit Einpressmörtel

Die Messwerte wurden während der ersten Stunde in Intervallen von 15 min und anschließend nach 2 h, 3 h und 24 h aufgezeichnet. Der Mörtel- und Wasserspiegel wurde, von außen ausgehend, an vier Punkten (90°-Versatz) vom oberen Rand des Plexiglasrohres aus gemessen (s. Foto 5). Die Ergebnisse für die Wasserabsonderungen und die Volumenänderungen sind in den Tabellen 2 bis 4 enthalten.

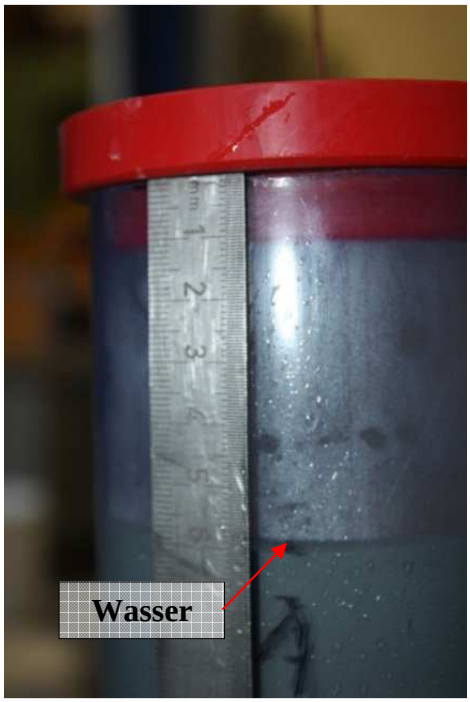

Foto 5: Zylinder mit Einpressmörtel und abgesondertem Wasser

Tabelle 2: Messergebnisse Vertikalrohr mit Litze: Wasserabsonderung, Volumenänderung

Zeit	Messpunkte												gesamt
	1			2			3			4			
[min]	Messwerte [mm]												
	Mörtel	Wasser	Diff.	Mörtel	Wasser	Diff.	Mörtel	Wasser	Diff.	Mörtel	Wasser	Diff.	∅ Diff.
0	66	66	0,0	70	70	0,0	68	68	0,0	68	68	0,0	0,00
15	55	55	0,0	59	59	0,0	57	57	0,0	56	56	0,0	0,00
30	50	49	1,0	53	53	0,0	51,5	50,5	1,0	51	50	1,0	0,75
45	50	48,5	1,5	52	52	0,0	51,5	49,5	2,0	51	49,5	1,5	1,25
60	50	48	2,0	54	52	2,0	52	50	2,0	51,5	49	2,5	2,13
120	52	49	3,0	56	53	3,0	54	51	3,0	53	51	2,0	2,75
180	51	50,5	0,5	56	53	3,0	55,5	52,5	3,0	53,5	51,5	2,0	2,13
1440	54	54	0,0	58	58	0,0	56	56	0,0	55	55	0,0	0,00

Tabelle 3: Ergebnis der Wasserabsonderung nach 3 h

Messpunkte	1	2	3	4
Absonderung [%]	0,05	0,33	0,33	0,22
Mittelwert [%]	0,2			

Tabelle 4: Ergebnis der Volumenänderung nach 24 h

Messpunkte	1	2	3	4
Volumenänderung [%]	1,31	1,31	1,31	1,42
Mittelwert [%]	1,3			

2.2.1 Prüfung des Fließvermögens nach dem Trichterverfahren

Das Fließvermögen des Frischmörtels wurde vor dem Befüllen der Vertikalrohre nach dem Trichterverfahren gem. DIN EN 445:2008 - 01 bestimmt. Der Stahltrichter entsprach den Anforderungen der DIN EN 445:2008 - 01. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 dokumentiert.

Tabelle 5: Fließvermögen nach dem Trichterverfahren

Zeitpunkt	Mörteltemperatur	Ausfließzeit		Mittelwert	Klumpenbildung auf dem Sieb
		Messung 1	Messung 2		
	[°C]	[s]	[s]	[s]	
t_0 = 0 min	29,2	22,5	23,0	22,75	nein
t_{30} = 30 min	28,4	22,0	22,0	22,0	nein

2.2.2 Prüfung des Fließvermögens nach dem Eintauchverfahren

Parallel zum Trichterverfahren wurde das Fließvermögen nach dem Eintauchverfahren gem. DIN EN 445:1996 - 07 gemessen (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Tauchzeiten

Zeitpunkt	Tauchzeit			Mittelwert aus 2 und 3
	Messung 1	Messung 2	Messung 3	
	[s]	[s]	[s]	[s]
t_0 = 0 min	47	41	35	38,0
t_{30} = 30 min	47	45	50	47,5

2.2.4 Frischmörtel-Rohdichte

Zur Bestimmung der Rohdichte wurden kalibrierte Geräte zur Messung von Gewicht und Volumen gem. DIN EN 445:2008 - 01 verwendet. DieFrischmörtelrohdichte betrug 2,077 kg/dm³.

2.3 Absetztest mit Schrägrohr

Um das Wasserabsonderungsvermögen und die Volumenstabilität im Maßstab 1:1 beurteilen zu können, wurde gem. DIN EN 445:2008 - 01 die Absetzuntersuchung an zwei Schrägrohren durchgeführt.
Die beiden 5050 mm langen Kunststoffrohre wurden, durch ein Gerüst unterstützt, unter einem Winkel von 30° aufgestellt (siehe Foto 6). In den Kunststoffrohren waren je 12 Litzen mit einer Länge von 5000 mm und einem Durchmesser von 16 mm eingelegt worden. Die Rohrenden waren mit Deckeln verschlossen, die jeweils mit einem Kugelhahn versehen waren. Über den unteren Kugelhahn wurde der Einpressmörtel mittels einer Pumpe der Fa. DSI mit einem Überdruck von 3,5 bar nacheinander in Schrägrohr 1 und Schrägrohr 2 eingepresst. Entsprechend der Vorgaben der DIN EN 445:2008 - 01 wurde der Einpressmörtel solange in die Schrägrohre gepresst bis am oberen Ablauf der Mörtel herausquoll. Um die Konsistenz des Einpressmörtels nachweisen zu können, sind die Fließzeiten vor dem Einpressen und vom Ausfluss aus Schrägrohr 1 gemessen und verglichen worden. Nachdem die gleiche Konsistenz nachgewiesen werden konnte, sind die Einpressleitung und der obere Kugelhahn geschlossen worden. Im nächsten Schritt ist die gleiche Prozedur an Schrägrohr 2 durchgeführt worden. Nach 30 min ist der Kugelhahn von Schrägrohr 2 wieder geöffnet worden, um den Einpressmörtel nachzuverpressen. Nachdem die geforderte Konsistenz erreicht wurde, sind die Einpressleitung und der Kugelhahn wieder geschlossen worden. Nach den Vorgaben der DIN EN 445:2008 - 01 wurden in definierten Zeitabständen das abgesonderte Wasser und die Luft, die sich im höchsten Punkt der Rohre nach dem Einpressvorgang sammelte, bestimmt. Beim zweiten Schrägrohr wurden erst nach dem zweiten Einpressvorgang das erneute Absondern von Wasser und Luft gemessen.

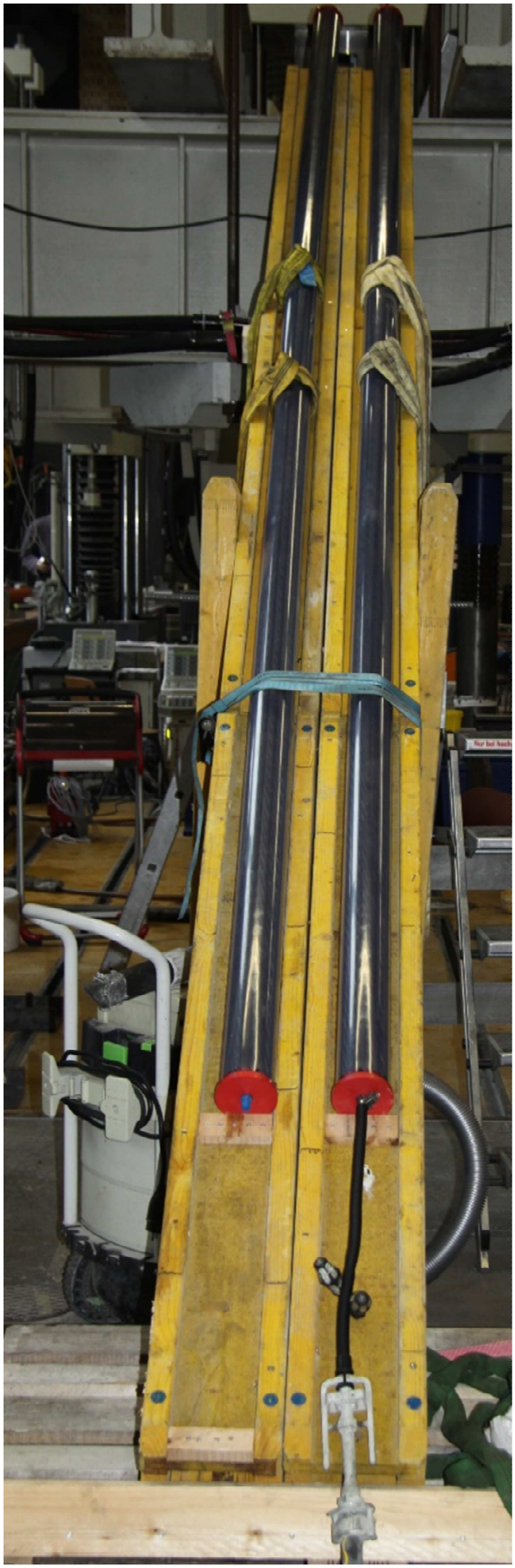

Foto 6: Schrägrohrversuch, Versuchsaufbau

2.3.1 Bestimmung der Volumenstabilität und Wasserabsonderung in Schrägrohr 1

Die Volumenänderung sowie die Wasserabsonderung von Schrägrohr 1 sind in den Tabellen 7 - 8 festgehalten.

Tabelle 7: Messergebnisse Schrägrohr 1

Zeit	Mörtel		Restflüssigkeit		Volumen Wasser-absonderung
t	s	h	s	h	ΔV_{Wasser}
[min]	Messwerte [mm]				[mm³]
0	28	24,2	0	0	31835,1
15	90	45	62	31	79008,2
30	92	46	63	31,5	83832,8
60	92	46	65	32,5	79308,2
120	112	56	65	32,5	158657,7
180	113	56,5	66	33	160698,2
1440	114	57	0	0	231251,5

s= Messtrecke entlang der Rohrachse (Scheitel) Messpunkt 1

h= Mörtelspiegelhöhe (Schwerkraftrichtung)

Tabelle 8: Ergebnisse der Wasseränderung nach 3 h und der Volumenänderung nach 24 h

Wasserabsonderung 3 h	[%]	0,6 s.u.
Volumenänderung 24 h	[%]	0,8

Da bei der Messung der Höhe des Wassers der Meniskus mitgemessen wurde, ist der o.g. Wert von 0,6 % zu hoch. Ausgehend von einem Meniskus von > 50% der tatsächlichen Wasserhöhe, die aus einem Wasserfilm bestand, liegt der Wert vorbehaltlich unterhalb der von der in DIN EN 447:2008 - 01 festgelegten Vorgabe von 0,3%.

Nach 24 h war kein Flüssigkeitsfilm auf dem Mörtelspiegel vorhanden. Die Innenseite der Schrägrohre war mit Kondenswasser benetzt.

2.3.2 Beurteilung des Fließvermögens nach dem Trichterverfahren zu verschiedenen Versuchsphasen

Die Fließzeiten sind vor den ersten Verpressvorgängen an Schrägrohr 1 und 2, sowie vor dem Nachverfüllen von Schrägrohr 2, an den Abläufen gemessen worden (Tabelle 9).

Tabelle 9: Fließvermögen nach dem Trichterverfahren (Schrägrohrversuch)

Versuchsphase	Fließzeit	Klumpenbildung auf dem Sieb
	[s]	
Vor Einpressvorgang Schrägrohr 1	23,0	nein
Ausfluß Schrägrohr 1	20,0	nein
Vor Einpressvorgang Schrägrohr 2	24,0	nein
Ausfluß Schrägrohr 2	23,0	nein

2.3.3 Beurteilung des Fließvermögens nach dem Eintauchverfahren

Das Fließvermögen des Einpressmörtels wurde nach dem Mischen gem. DIN EN 445:1996 - 07 bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Fließvermögen nach dem Eintauchversuch

Zeitpunkt	Tauchzeit			Mittelwert aus 2 und 3
	Messung 1	Messung 2	Messung 3	
	[s]	[s]	[s]	[s]
t_0 = 0 min	36,0	39,0	-	39,0
t_{30} = 30 min	-	41,0	43,0	42,0

2.3.4 Erstarrungszeit

Das Ermitteln der Erstarrungszeit wurde in Anlehnung an die DIN EN 196 - 3:2009 durchgeführt. Eine Anlehnung an die entsprechende Norm fand auf Wunsch des Auftraggebers statt.
Ein Erstarrungsbeginn (Versuchsbeginn 10:25 Uhr) wurde nach 8 Stunden und 10 Minuten nicht erreicht. Am nächsten Morgen nach 23 Stunden und 15 Minuten konnte das Erstarrungsende festgestellt werden.

2.3.5 Prüfung auf vollständiges Befüllen der Rohre

Nach drei Wochen wurden die Schrägrohre in mehre Stücke zersägt. Die Schnittflächen lagen orthogonal zur Rohrlängsachse. Es wurden keine Hohlräume gefunden. Foto 7 zeigt exemplarisch einen Sägeschnitt durch Schrägrohr 1.

Foto 7: Sägeschnitt durch Rohr 1

2.4 Untersuchungen an Festmörtel

2.4.1 Druckfestigkeit an Prismen

Die Bestimmung der Druckfestigkeit nach 28 Tagen Wasserlagerung erfolgte gem. DIN EN 445:2008 - 01 nach der Biegezugprüfung an den Prismenreststücken. Die Ergebnisse der Prüfungen finden sich in Tabelle 11.

Tabelle 11: Druckfestigkeit an Prismen

Probekörpertyp			Prismen											
Prüfdatum			18.12.14											
Probenalter	Tage		28											
Lagerung			Wasserlagerung											
Probenbezeichnung			1		2		3		4		5		6	
Gewicht (naturfeucht)		kg	0,54		0,54		0,53		0,53		0,54		0,54	
Abmessungen	Seite	b mm	40,40		39,80		39,20		39,50		39,00		40,30	
	Prüfhöhe	h mm	40,20		40,00		40,10		39,90		40,30		39,90	
	Länge	l mm	160,60		160,60		160,50		160,30		160,20		160,00	
Rohdichte	einzeln	kg/dm³	2,07		2,09		2,10		2,11		2,13		2,10	
	Mittelw.	kg/dm³	2,10											
Bruchlast BZ		kN	3,86		3,92		3,03		3,83		4,00		3,68	
Biegezugfestigkeit	einzeln	N/mm²	8,87		9,23		7,22		9,12		9,47		8,61	
	Mittelw.	N/mm²	8,75											
Bruchlast		kN	158,77	149,29	166,42	133,43	151,28	136,90	149,30	167,80	138,90	150,50	149,80	149,10
Druckfestigkeit	einzeln	N/mm²	99,23	93,30	104,54	83,81	96,48	87,31	94,73	106,47	89,04	96,47	93,86	93,42
	Mittelw.	N/mm²	94,9											

2.4.2 Druckfestigkeit an zylindrischen Proben

Gemäß DIN EN 445:1996 - 07 wurde die Druckfestigkeit des Einpressmörtels an zylindrischen Proben (Blechdosenverfahren) durchgeführt (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12: Druckfestigkeit an zylindrischen Proben

Probekörpertyp		Zylinder			
Prüfdatum		18.12.14			
Probenalter	Tage	28			
Lagerung		Wasserlagerung			
Probenbezeichnung		1	2	3	
Gewicht (naturfeucht)	kg	1,47	1,43	1,47	
Abmessungen	Durchmesser d mm	98,4	98,5	98,3	
	Höhe h mm	91,9	90	92,9	
Rohdichte	einzeln kg/dm³	2,10	2,09	2,08	
	Mittelw. kg/dm³	2,09			
Bruchlast	kN	735	837	829	
Druckfestigkeit	einzeln N/mm²	96,7	109,8	109,2	
	Mittelw. N/mm²	105,2			

3. Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse

Alle Untersuchungen wurden an einer Einpressmörtelmischung aus 16 l Wasser, 50 kg RheoWITT® und 0,615 kg Einpresshilfe SF 14, Fa. Wittekind, die 1,23 % der Trockenmasse entspricht, durchgeführt.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse mit Bezug auf DIN EN 447:2008 - 01 ist Tabelle 13 zu entnehmen.

Tabelle 13: Ergebnisse und Bewertung der Untersuchungen

	Prüfung	Anforderung	Ergebnis	Bewertung
1	Fließvermögen Trichterverfahren	$t_0 \leq 25$ s $1{,}2\ t_0 \geq t_{30} \geq 0{,}8\ t_0$ und $t_{30} \leq 25$ s	$t_0 = 22{,}75$ s $t_{30} = 22{,}0$ s	erfüllt erfüllt
2	Fließvermögen Tauchversuch	$t_0 \geq 30$ s $t_{30} < 80$ s	t_0 (Mittelwert) = 38,0 s t_{30} (Mittelwert) = 47,5 s	erfüllt erfüllt
3	Vertikalrohr Wasserabsonderung	3h: W ≤ 0,3 %	0,2 %	erfüllt
4	Vertikalrohr Volumenänderung	24h: -1 % ≤ V ≤ 5 %	1,3 %	erfüllt
5	Schrägrohr 1 Wasserabsonderung	3h: W ≤ 0,3 %	0,6 % [< 0,3 %]	*
6	Schrägrohr 1 Volumenänderung	24h: -1 % ≤ V ≤ 5 %	0,8 %	erfüllt
7	Fließvermögen Trichterverfahren; Vor Einpressvorgang Rohr 1	$t_0 \leq 25$ s	$t_0 = 21{,}5$ s	erfüllt
8	Fließvermögen Trichterverfahren; Vor Einpressvorgang Rohr 2	$t_0 \leq 25$ s	$t_0 = 23{,}5$ s	erfüllt
9	Fließvermögen Tauchversuch	$t_0 \geq 30$ s $t_{30} < 80$ s	t_0 (Mittelwert) = 39,0 s t_{30} (Mittelwert) = 42,0 s	erfüllt erfüllt
10	Erstarrungszeit	Erstarrungsbeginn ≥ 3h Erstarrungsende ≤ 24h	≥ 8h 10 min ≤ 23h 15 min	erfüllt erfüllt
11	Druckfestigkeit Prismen	Druckfestigkeit (28 Tage) ≥ 30 N/mm²	94,9 N/mm²	erfüllt
12	Druckfestigkeit an zylindrischen Proben	Druckfestigkeit (28 Tage) ≥ 30 N/mm²	105,2 N/mm²	erfüllt

*: siehe Kapitel 2.3.1

Dipl.-Ing. W. Hammer

Dipl.-Ing. B. Schnerch