

**Forschungsinstitut der Zementindustrie**

**Betontechnik**

Verein Deutscher  
Zementwerke e.V.

Tannenstraße 2  
40476 Düsseldorf

Telefon: (0211) 45 78-1  
Telefax: (0211) 45 78-219

info@vdz-online.de  
www.vdz-online.de

**Technischer Bericht**

**TB-BTe B2128-5-A/2008**

Bestimmung des Gesamtporenvolumens von Probekörpern aus VB10 PAGEL-Blitzvergussmörtel durch Quecksilberintrusion

Untersuchung des Frost-Tausalz-Widerstands von Probekörpern aus VB10 PAGEL-Blitzvergussmörtel mit dem CDF-Verfahren

## **Bestimmung des Gesamtporenvolumens von Probekörpern aus VB10 PAGEL-Blitzvergussmörtel durch Quecksilberintrusion**

## **Untersuchung des Frost-Tausalz-Widerstands von Probekörpern aus VB10 PAGEL-Blitzvergussmörtel mit dem CDF-Verfahren**

Auftraggeber:	PAGEL Spezial-Beton GmbH & Co KG
Auftraggeber, vertreten durch:	Herrn Dipl.-Ing. B. Gehrke
Auftragsdatum:	23. Juni 2008
Bestell-Nr. des Auftraggebers:	-
Zeichen des Auftraggebers:	Gehrke/Se
Unsere Auftragsnummer:	BTe-B2128-5
Projektleiter:	Dr.-Ing. J. Rickert
Abteilung:	Betontechnik
Ausgestellt am:	18.02.2009
Berichtsumfang:	10 Seiten

Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Allgemeines</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Herstellung und Kenndaten der Probekörper</b>	<b>4</b>
2.1	Probekörper für das CDF-Prüfverfahren	4
2.2	Probekörper für die Quecksilberintrusion	4
<b>3</b>	<b>Vorlagerung und Vorbereitung der Proben</b>	<b>5</b>
3.1	Probekörper für das CDF-Prüfverfahren	5
3.2	Probekörper für die Quecksilberintrusion	5
<b>4</b>	<b>Durchführung der Untersuchungen</b>	<b>5</b>
4.1	Bestimmung des Frost-Tausalz-Widerstands mit dem CDF-Prüfverfahren	5
4.2	Bestimmung des Gesamtporenvolumens mit Quecksilberintrusion	5
<b>5</b>	<b>Ergebnisse der Untersuchungen</b>	<b>6</b>
5.1	CDF-Prüfverfahren	6
5.2	Quecksilberintrusionsmessungen	10
<b>6</b>	<b>Literatur</b>	<b>10</b>

## 1 Allgemeines

Mit Schreiben vom 23. Juni 2008 wurde das Forschungsinstitut der Zementindustrie (FIZ), Düsseldorf, von der Fa. PAGEL Spezial-Beton GmbH & Co KG, vertreten durch Herrn Dipl.-Ing. B. Gehrke, beauftragt, an Probekörpern aus VB10 PAGEL-Blitzvergussmörtel das Gesamtporenvolumen durch Quecksilberintrusion in Anlehnung an DIN 66133 zu bestimmen. Der Auftrag umfasste weiterhin die Untersuchung des Frost-Tausalz-Widerstands von Probekörpern aus VB10 PAGEL-Blitzvergussmörtel mit dem CDF-Prüfverfahren in Anlehnung an DIN CEN/TS 12390-9.

## 2 Herstellung und Kenndaten der Probekörper

### 2.1 Probekörper für das CDF-Prüfverfahren

Am 23. Juni 2008 wurden vom Auftraggeber im FIZ mit VB10 PAGEL-Blitzvergussmörtel insgesamt fünf CDF-Probekörper mit den Abmaßen von rd. 150 x 110 x 70 mm<sup>3</sup> hergestellt.

Die CDF-Würfelformen mit mittig angeordneter PTFE-Platte wurden vom FIZ bereitgestellt.

Die Kenndaten der CDF-Probekörper sind in **Tabelle 1** zusammengestellt.

**Tabelle 1** Kenndaten der CDF-Probekörper

Bezeichnung	Masse	Abmessungen	Herstelldatum
	g	mm	
1	2	3	4
CDF-Probekörper (Alter: 21 d, vor Versiegelung)			
VB10 – 1	2668	150 / 110 / 70	23.06.2008
VB10 – 2	2661	150 / 110 / 70	23.06.2008
VB10 – 3	2672	150 / 110 / 70	23.06.2008
VB10 – 4	2654	150 / 110 / 70	23.06.2008
VB10 – 5	2646	150 / 110 / 70	23.06.2008

### 2.2 Probekörper für die Quecksilberintrusion

Am 23. Juni 2008 wurden vom Auftraggeber im FIZ mit VB10 PAGEL-Blitzvergussmörtel drei Prismen mit den Abmaßen von rd. 40 x 40 x 160 mm<sup>3</sup> hergestellt.

Die Prismenformen wurden vom FIZ bereitgestellt.

### **3 Vorlagerung und Vorbereitung der Proben**

#### **3.1 Probekörper für das CDF-Prüfverfahren**

Die CDF-Probekörper mit VB10 PAGEL-Blitzvergussmörtel wurden bis zum Ausschalen im Alter von rd. 1 Stunde in der Form bei  $(20 \pm 2)$  °C vor Verdunstung geschützt bei über 95 % r.F. gelagert. Nach dem Ausschalen wurden alle Probekörper unter Wasser bei  $(20 \pm 2)$  °C gelagert. Im Alter von sieben Tagen wurden die Probekörper dem Wasserbad entnommen und bis zum Prüfbeginn (21.07.2008) in einem Klimaraum bei einer Temperatur von  $(20 \pm 2)$  °C und einer relativen Luftfeuchte von  $(65 \pm 5)$  % gelagert. Die mittlere Verdunstungsrate im Klimaraum betrug  $(45 \pm 15)$  g/(m<sup>2</sup> · h). Die Seitenflächen der Probekörper wurden sieben Tage vor dem Ende der Klimaraumlagerung mit einem Aluminiumklebeband mit Butylkautschuk versiegelt. Im Alter von 28 Tagen begann die Prüfung jeweils mit dem kapillaren Saugen.

Alle Probekörper wurden während der Lagerung in regelmäßigen Abständen visuell auf Risse untersucht.

#### **3.2 Probekörper für die Quecksilberintrusion**

Die Prismen mit VB10 PAGEL-Blitzvergussmörtel wurden bis zum Ausschalen im Alter von rd. 1 Stunde in der Form bei  $(20 \pm 2)$  °C vor Verdunstung geschützt bei über 95 % r. F. gelagert. Nach dem Ausschalen wurden alle Prismen bis zum Prüfbeginn (aus prüftechnischen Gründen hier im Alter von 25 Tagen anstelle von 28 Tagen) unter Wasser bei  $(20 \pm 2)$  °C gelagert.

### **4 Durchführung der Untersuchungen**

#### **4.1 Bestimmung des Frost-Tausalz-Widerstands mit dem CDF-Prüfverfahren**

Der Frost-Tausalz-Widerstand der Probekörper wurde mit dem CDF-Verfahren in Anlehnung an DIN CEN/TS 12390-9:2006-08 bestimmt. Zusätzlich wurde für jeden Probekörper die Prüfflüssigkeitsaufnahme (3 M.-%ige NaCl-Lösung) sowohl während des kapillaren Saugens als auch während der 28 Frost-Tau-Wechsel aus der zum jeweiligen Prüftermin bestimmten Masse der Probekörper und unter Berücksichtigung der Abwitterung berechnet. Der auf die Masse der Probekörper unmittelbar vor Beginn des kapillaren Saugens (ohne Versiegelung der seitlichen Flächen) bezogene Wert wurde auf 0,01 M.-% angegeben (s. **Tabelle 3**). Ergänzend wurde mittels Ultraschallmessung der relative dynamische E-Modul bestimmt (s. **Tabelle 4**).

#### **4.2 Bestimmung des Gesamtporenvolumens mit Quecksilberintrusion**

Aus prüftechnischen Gründen wurde bereits im Alter von 25 Tagen (sonst 28 Tage) aus der Mitte eines Mörtelprismas aus VB10 PAGEL-Blitzvergussmörtel eine Teilprobe entnommen und die Porenvolumenverteilung durch Quecksilberintrusion in Anlehnung an DIN 66133 bestimmt. Vor der Quecksilberintrusionsmessung wurden die Teilproben 24 Stunden vakuumgetrocknet. Bei dem Quecksilberdruckporosimeter handelt es sich um ein Gerät mit der Bezeichnung „Porosimeter Pascal 240 Widesize in Kombination mit dem Porosimeter Pascal 140 (Macropore Unit)“ der Fa. Thermo Finnigan, Mailand (Italien). Die Porosimeter sind zerti-

fiziert nach „European Directive for Pressure Equipment, PED CE 97/23“. Zur Berechnung der Porositäten wurden der Randwinkel, den das Quecksilber mit thermisch unbeanspruchtem Zementstein bildet, mit  $141,3^\circ$  und die Oberflächenspannung des Quecksilbers mit  $0,48 \text{ N/m}$  angesetzt. Die Prüftemperatur betrug  $20^\circ\text{C}$ . Der Enddruck der Messung betrug rd.  $2000 \text{ bar}$ . Die Auswertung erfolgte automatisch über ein an das Quecksilberdruckporosimeter angeschlossenes Rechnersystem unter Verwendung des zylindrischen Porenmodells.

## 5 Ergebnisse der Untersuchungen

### 5.1 CDF-Prüfverfahren

Ein Grenzwert bzw. ein Abnahmekriterium beim CDF-Prüfverfahren für die maximal zulässige Abwitterung von Betonen nach 28 Frost-Tau-Wechseln existiert weder in einer deutschen noch in einer europäischen Norm. In der Literatur [1] wird ein maximal zulässiger Wert von  $1,5 \text{ kg/m}^2$  angegeben. Die Einzelwerte für die Abwitterung zu dem jeweiligen Prüftermin sind in **Tabelle 2** enthalten.

**Tabelle 2** Einzelwerte für die Abwitterung der Probekörper VB10 -1 bis -5

Anzahl	Abwitterung der Probekörper VB10 in $\text{kg/m}^2$						Standardabweichung
	2	3	4	5	6	7	
1	2	3	4	5	6	7	8
FTW	-1	-2	-3	-4	-5	Mittelwert	
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
4	0,020	0,013	0,009	0,014	0,007	0,013	0,01
14	0,111	0,079	0,057	0,090	0,060	0,080	0,02
18	0,176	0,134	0,104	0,154	0,109	0,135	0,03
28	0,346	0,273	0,265	0,325	0,275	0,297	0,04

Die Abwitterungen nach 28 Frost-Tau-Wechseln lagen bei den Proben VB10 -1 bis -5 zwischen  $0,265 \text{ kg/m}^2$  und  $0,346 \text{ kg/m}^2$ . Der Mittelwert betrug  $0,297 \text{ kg/m}^2$ . Somit lagen die Abwitterungen unter dem in [1] angegebenen maximal zulässigen Wert von  $1,5 \text{ kg/m}^2$ .

Die Einzelwerte der Prüfflüssigkeitsaufnahme während des kapillaren Saugens und der anschließenden 28 Frost-Tau-Wechsel sind in **Tabelle 3** zusammengestellt. Die Einzelwerte des relativen dynamischen E-Moduls gehen aus **Tabelle 4** hervor. Eine signifikante Abnahme des dynamischen E-Moduls wurde nicht beobachtet.

Die Probekörper nach 28 Frost-Tau-Wechseln zeigen die Aufnahmen in **Bild 1** bis **Bild 5**.

**Tabelle 3** Einzelwerte der Wasseraufnahme der Probekörper VB10 -1 bis -5

Anzahl	Wasseraufnahme der Probekörper VB10 in M.-%						Standard- abweichung
1	2	3	4	5	6	7	8
Tage	-1	-2	-3	-4	-5	Mittelwert	
	kapillares Saugen						
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,23	0,21	0,24	0,24	0,25	0,23	0,01
3	0,28	0,27	0,28	0,28	0,30	0,28	0,01
7	0,34	0,33	0,34	0,35	0,36	0,34	0,01
FTW	Frost-Tau-Wechsel						
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,16	0,15	0,16	0,17	0,17	0,17	0,01
14	0,48	0,43	0,45	0,46	0,50	0,46	0,03
18	0,54	0,50	0,52	0,51	0,57	0,53	0,03
28	0,70	0,68	0,68	0,67	0,74	0,69	0,03

**Tabelle 4** Einzelwerte des relativen dynamischen E-Moduls der Probekörper VB10 -1 bis -5

Anzahl	rel. dyn. E-Modul der Probekörper VB10 in %						Standard- abweichung
1	2	3	4	5	6	7	8
FTW	-1	-2	-3	-4	-5	Mittelwert	
0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0
4	100,4	100,4	100,3	100,0	100,0	100,2	0,2
14	98,0	99,6	99,3	98,6	98,7	98,8	0,6
18	96,9	98,8	99,0	97,9	97,6	98,0	0,9
28	96,7	97,6	96,8	97,2	97,6	97,2	0,4



**Bild 1** Probekörper VB10 - 1  
nach 28 Frost-Tau-  
Wechseln

**Bild 2** Probekörper VB10 - 2  
nach 28 Frost-Tau-  
Wechseln

**Bild 3** Probekörper VB10 - 3  
nach 28 Frost-Tau-  
Wechseln



**Bild 4** Probekörper VB10 – 4  
nach 28 Frost-Tau-  
Wechseln

**Bild 5** Probekörper VB10 – 5  
nach 28 Frost-Tau-  
Wechseln

## 5.2 Quecksilberintrusionsmessungen

Die Ergebnisse der Quecksilberintrusionsmessungen gehen aus **Tabelle 5** hervor.

**Tabelle 5** Ergebnisse der Quecksilberintrusionsmessungen

Bezeichnung	Prüfdatum	Spezifische Oberfläche	Porosität inkl. Makroporen	Anteil der Makroporen	Rohdichte	korr. Dichte
		m <sup>2</sup> /g	%	%	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7
VB10	18.07.2008	7,57	8,72	0,62	2,15	2,35

## 6 Literatur

- [1] Setzer, M. J.: Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstands von Betonwaren. Forschungsberichte aus dem Fachbereich Bauwesen Heft 49, Herausgeber: Dekan des Fachbereichs 10 der Universität – Gesamthochschule – Essen, Heft 49, Essen, 1990

Forschungsinstitut der Zementindustrie

Abteilung Betontechnik

  
i. V. Dr.-Ing. Jörg Rickert

  
i. A. Dipl.-Ing. Maik Seidel