

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-A-2/2009

Erstprüfung in Anlehnung an die DAfStb-Richtlinie Herstellung und Verwendung von zementgebundenem Vergussbeton und Vergussmörtel (Ausgabe: Juni 2006) an
VT10 PAGEL-TURBOVERGUSSMÖRTEL

Untersuchung an VT10 PAGEL-TURBOVERGUSSMÖRTEL

Auftraggeber:	PAGEL SPEZIAL-BETON GmbH & Co. KG
Auftraggeber, vertreten durch:	Herrn D. Schempershofe
Auftragsdatum:	18. März 2009
Unsere Auftragsnummer:	BTe-B2128-VT10
Projektleiter:	Dr.-Ing. J. Rickert
Bearbeiter:	Dipl.-Ing. P. Schäffel
Abteilung:	Betontechnik
Ausgestellt am:	2. Juli 2009
Berichtsumfang:	13 Seiten

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	4
2	Ausgangsstoffe, Betonzusammensetzung und Herstellung	4
3	Vorlagerung und Vorbereitung der Proben	4
4	Durchführung der Untersuchungen	5
4.1	Frischmörtelrohichte	5
4.2	Konsistenz	5
4.3	Quellmaß	5
4.4	Sedimentationsstabilität	6
4.5	Biegezugfestigkeit und Druckfestigkeit	7
4.6	Schwinden	8
4.7	Frost-Tausalz-Widerstand mit dem CDF-Verfahren	9
4.7.1	Durchführung der Untersuchungen	9
4.7.2	Ergebnisse	9
5	Literatur	13

1 Allgemeines

Mit E-Mail vom 18. März 2009 wurde das Forschungsinstitut der Zementindustrie (FIZ), Düsseldorf, von der Fa. PAGEL SPEZIAL-BETON GmbH & Co KG, vertreten durch Herrn D. Schempershofe, beauftragt, an Probekörpern aus VT10 PAGEL-TURBOVERGUSSMÖRTEL folgende Untersuchungen durchzuführen:

- Bestimmung der Frischmörtelrohichte in Anlehnung an DIN EN 12350-6:2000-03
- Bestimmung der Konsistenz des Frischmörtels mit der Fließrinne
- Bestimmung des Quellmaßes nach DIN EN 445:1996-07
- Prüfung der Sedimentationsstabilität
- Prüfung der Biegezugfestigkeit und Mörteldruckfestigkeit in Anlehnung an DIN EN 196-1
- Prüfung des Schwindens nach DIN 52450:1985-08
- Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstands mit dem CDF-Prüfverfahren in Anlehnung an DIN CEN/TS 12390-9:2006-08

Sofern nicht anders angegeben, waren die Untersuchungen nach Vergussmörtelrichtlinie [1] durchzuführen.

2 Ausgangsstoffe, Betonzusammensetzung und Herstellung

Der VT10 PAGEL-TURBOVERGUSSMÖRTEL wurde vom Auftraggeber gestellt und durch einen Mitarbeiter der Fa. PAGEL im FIZ hergestellt. Um sämtliche Probekörper herzustellen, wurden mehrere Chargen aus jeweils 10,0 kg Trockenmörtel und 1,6 kg Wasser angemischt. Die Mischzeit betrug jeweils 60 Sekunden.

Der größte Teil der Probekörper wurde am 25.03.2009 hergestellt. Zusätzlich wurde am 30.03.2009 bzw. am 20.04.2009 jeweils eine Herstellung durchgeführt, bei der das Ausbreitmaß mit der Fließrinne bzw. das Quellmaß des VT10 PAGEL-TURBOVERGUSSMÖRTELS bestimmt wurde.

3 Vorlagerung und Vorbereitung der Proben

Die Probekörper verblieben nach der Herstellung für rd. 24 Stunden bzw. bis zum Prüftermin (Prismen zur Prüfung der Biegezug- und Druckfestigkeit nach 0,5; 1, 2 und 4 Stunden) in Stahlformen vor Austrocknung geschützt bei (20 ± 2) °C und > 95 % relativer Luftfeuchte. Die CDF-Probekörper zur Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstands wurden danach ausgeschalt und unter Wasser bei (20 ± 2) °C gelagert. Im Alter von sieben Tagen wurden die CDF-Probekörper aus dem Wasserbad entnommen und bis zum Prüfbeginn in einem Klimaraum bei einer Temperatur von (20 ± 2) °C und einer relativen Luftfeuchte von (65 ± 5) % gelagert. Die Seitenflächen der CDF-Probekörper wurden sieben Tage vor dem Ende der Klimaraumlagerung mit einem Aluminiumklebeband mit Butylkautschuk versiegelt. Im Alter von 28 Tagen begann die CDF-Prüfung jeweils mit dem kapillaren Saugen.

Die Prüfkörper zur Prüfung der Biegezug- und Druckfestigkeit wurden nach dem Ausschalen bis zur Prüfung unter Wasser bei (20 ± 2) °C gelagert.

Die Prüfkörper zur Bestimmung des Schwindens wurden nach dem Ausschalen in einem Klimaraum bei einer Temperatur von (20 ± 2) °C und einer relativen Luftfeuchte von (65 ± 5) % gelagert.

4 Durchführung der Untersuchungen

4.1 Frischmörtelrohddichte

Die Frischmörtelrohddichte wurde in Anlehnung an DIN EN 12350-6 bestimmt. Im Gegensatz zur Norm wurde kein LP-Topf, sondern Stahlwürfel mit einer Kantenlänge von rd. 100 mm verwendet. Die Frischmörtelrohddichte wurde an jeweils zwei Frischmörtelproben direkt nach dem Anmischen bestimmt. Die inneren Abmessungen der Würfel wurden vor der Prüfung mit einer Ablesegenauigkeit von 0,1 mm ermittelt. Das Volumen der Würfel, die Frischmörtelmasse sowie die Einzelwerte und der Mittelwert der Frischmörtelrohddichte sind in **Tabelle 1** angegeben.

Tabelle 1 Frischmörtelrohddichte

Bezeichnung Frischmörtel	Volumen des Würfel [dm ³]	Frischmörtelmasse [kg]	Frischmörtelrohddichte	
			[kg/dm ³]	
			Einzelwerte	Mittelwert
1	1,004	2,224	2,22	2,21
2	1,005	2,215	2,20	

4.2 Konsistenz

Die Konsistenz wurde als Fließmaß mit der Fließrinne nach DAfStb-Richtlinie „Herstellung und Verwendung von zementgebundenem Vergussbeton und Vergussmörtel“, Abschnitt C.2.1 [1] bestimmt. Zwei Mitarbeiter der Fa. PAGEL führten die Versuche am 30.03.2009 im FIZ durch. Hierbei wurde der VT10 PAGEL-TURBOVERGUSSMÖRTEL 50 s angemischt. Das Fließmaß und die Fließmaßklasse gemäß [1] sind in **Tabelle 2** angegeben.

Tabelle 2 Fließmaß

Bezeichnung Frischmörtel	Fließmaß	Fließmaßklasse gemäß [1]
	[mm]	[-]
1	> 850 ¹⁾	f3

1) Die Mischzeit betrug abweichend von den übrigen Herstellungen 50 s

4.3 Quellmaß

Das Quellmaß wurde zunächst nach DIN EN 445:1996-07 bestimmt. Dabei zeigte sich, dass dieses Verfahren für den VT10 PAGEL-TURBOVERGUSSMÖRTEL nicht geeignet ist. Da der Turbovergussmörtel innerhalb von rd. drei Minuten erstarrte bzw. erhärtete, war das Quellen schon abgeschlossen, bevor die Nullmessung erfolgen konnte.

Deshalb wurde das Quellmaß des VT10 PAGEL-TURBOVERGUSSMÖRTELS mit einer Doppelmeßbrücke nach DIN 4227-5 bestimmt. Die Herstellung des Mörtels wurde am 20.04.2009 durchgeführt. Der Mörtel wurde direkt nach der Herstellung in Dosen gemäß DIN 4227-5 gefüllt. Das Quellmaß wurde rd. 20 min nach dem Befüllen der Dosen durch ei-

nen Mitarbeiter der Fa. PAGEL bestimmt. Die Einzelwerte des Quellmaßes und der Mittelwert sind in **Tabelle 3** dargestellt. Das Quellmaß des VT10 PAGEL-TURBOVERGUSS-MÖRTELS betrug im Mittel rd. +0,7 Vol.-%, damit erfüllte der Vergussmörtel die Anforderungen in [1].

Tabelle 3 Quellmaß

Probenbezeichnung	Wassermenge über dem erhärteten Mörtel		Quellmaß mit Doppelmeßbrücke nach DIN 4227-5 ¹⁾	
	[dm ³]		[Vol.-%]	
	Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
1	2	3	4	5
Dose 1	50	49	+ 0,5	+ 0,7
Dose 2	48		+ 0,8	

1) bestimmt nach rd. 20 min

4.4 Sedimentationsstabilität

Die Sedimentationsstabilität wurde am erhärteten VT10 PAGEL-TURBOVERGUSSMÖRTEL einen Tag nach der Herstellung beurteilt. Hierzu wurden die Probekörper verwendet, an denen das Quellmaß ermittelt wurde.

Die Gesteinskörnung war in den Spaltflächen gleichmäßig verteilt, und es waren geringe Lufteinschlüsse vorhanden (s. **Bild 1**). Die Anforderungen an Sedimentationsfreiheit in [1] wurden erfüllt.

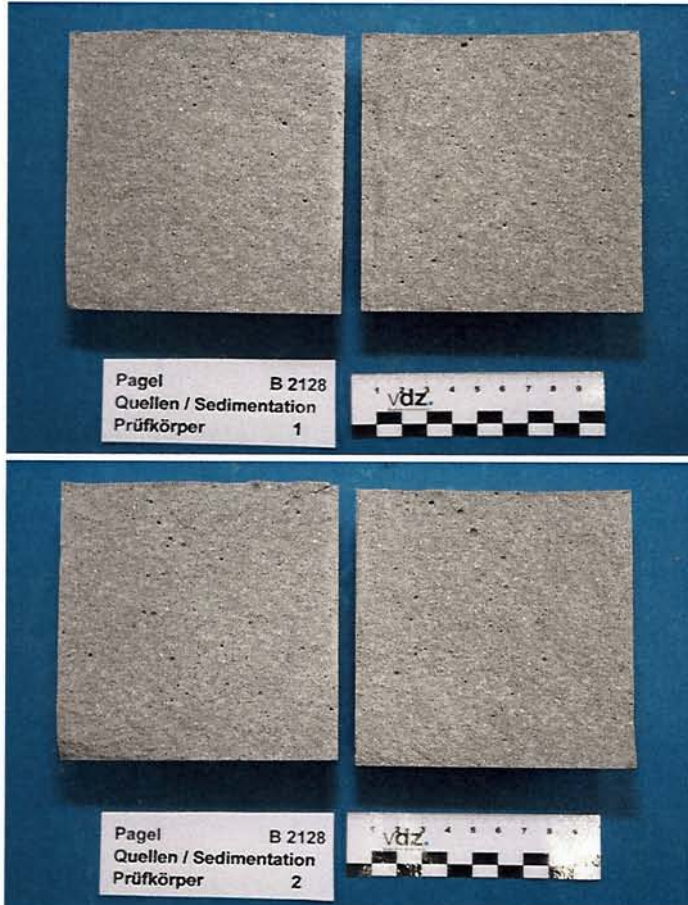


Bild 1 Spaltflächen der Prüfkörper 1 und 2 zur Bestimmung der Sedimentationsstabilität

4.5 Biegezug- und Druckfestigkeit

Die Biegezug- und Druckfestigkeit wurden an Prismen mit den Abmessungen 40 x 40 x 160 mm³ in Anlehnung an DIN EN 196-1 bestimmt. Die charakteristischen Einzel- und Mittelwerte der Biegezug- und Druckfestigkeit des VT10 PAGEL-TURBOVERGUSS-MÖRTELS, sind in **Tabelle 4** angegeben.

Im Alter von 24 Stunden betrug der kleinste charakteristische Einzelwert der Druckfestigkeit $R_c = 68,0 \text{ N/mm}^2$. Die entsprechende charakteristische Druckfestigkeit von Würfeln mit 150 mm Kantenlänge betrug $f_{c,cube} = 0,85 \times R_c = 57,8 \text{ N/mm}^2$. Die Druckfestigkeit des VT10 PAGEL-TURBOVERGUSSMÖRTELS entsprach gemäß [1] der Frühfestigkeitsklasse A. Nach 56 und nach 91 Tagen trat gegenüber der 28-Tage-Druckfestigkeit kein Festigkeitsabfall ein.

Tabelle 4 Biegezug- und Druckfestigkeit

Prüfalter	Biegezugfestigkeit		charakteristische Prismendruckfestigkeit R_c und Druckfestigkeit $f_{c,cube}$ in Klammern		
	Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert		Mittelwert
N/mm ²					
1	2	3	4	5	6
0,5 h	2,92	2,96	11,6 (9,86)	12,0 (10,2)	12,0 (10,2)
	3,05		11,8 (10,0)	12,2 (10,4)	
	2,91		12,1 (10,3)	12,0 (10,2)	
1 h	2,95	2,83	12,3 (10,5)	12,1 (10,3)	11,9 (10,1)
	2,75		11,9 (10,1)	11,2 (9,52)	
	2,79		12,1 (10,3)	11,9 (10,1)	
2 h	3,11	3,02	13,6 (11,6)	13,8 (11,7)	13,8 (11,7)
	2,98		13,7 (11,7)	13,8 (11,7)	
	2,98		14,0 (11,9)	13,9 (11,8)	
4 h	3,72	3,68	16,5 (14,0)	16,2 (13,8)	16,3 (13,9)
	3,81		16,4 (13,9)	16,4 (13,9)	
	3,49		16,1 (13,7)	16,2 (13,8)	
1 d	11,3	11,6	69,8 (59,3)	68,5 (58,2)	69,0 (58,7)
	11,5		70,6 (60,0)	69,3 (58,9)	
	11,8		68,0 (57,8)	68,1 (57,9)	
7 d	14,0	13,4	93,5 (79,5)	94,6 (80,4)	93,8 (79,7)
	13,1		94,5 (80,3)	92,1 (78,3)	
	13,1		93,6 (79,6)	94,3 (80,2)	
28 d	16,9	17,2	105,6 (89,8)	91,3 (77,6)	102,6 (87,2)
	17,7		103,7 (88,2)	102,3 (87,0)	
	17,1		105,5 (89,7)	107,5 (91,4)	
56 d	16,7	17,5	109,4 (93,0)	104,1 (88,5)	105,4 (89,6)
	18,1		107,3 (91,2)	108,4 (92,1)	
	17,6		98,1 (83,4)	105,3 (89,5)	
91 d	17,3	17,4	103,0 (87,6)	110,7 (94,1)	104,7 (89,0)
	17,4		101,5 (86,3)	103,6 (88,1)	
	n. b.		n. b.	n. b.	

n. b. nicht bestimmbar

4.6 Schwinden

Das Schwinden wurde nach DIN 52450 im Alter von 7, 28, 56 und 91 Tagen bestimmt. Die Messung begann im Alter von rd. 24 Stunden. Die Schwindmaße der einzelnen Prüfkörper und der Mittelwert im Alter von 7, 28, 56 und 91 Tagen sind in **Tabelle 5** angegeben sowie in **Bild 2** dargestellt.

Der größte Einzelwert $\epsilon_{s,i,91}$ nach 91 Tagen betrug 0,978 mm/m und der Mittelwert $\epsilon_{s,m,91}$ betrug 0,954 mm/m. Somit entsprach der VT10 PAGEL-TURBOVERGUSSMÖRTEL gemäß [1] der Schwindmaßklasse SKVM II ($\epsilon_{s,i,91} \leq 1,4$ mm/m, $\epsilon_{s,m,91} \leq 1,2$ mm/m).

Tabelle 5 Schwindmaße der Prismen 1 bis 3 und mittleres Schwindmaß

Alter d	Längenänderung der Prüfkörper			
	[mm/m]			
	Prisma 1	Prisma 2	Prisma 3	Mittelwert VT10
1	2	3	4	5
7	-0,525	-0,512	-0,550	-0,529
28	-0,775	-0,753	-0,794	-0,774
56	-0,878	-0,866	-0,903	-0,882
91	-0,950	-0,934	-0,978	-0,954

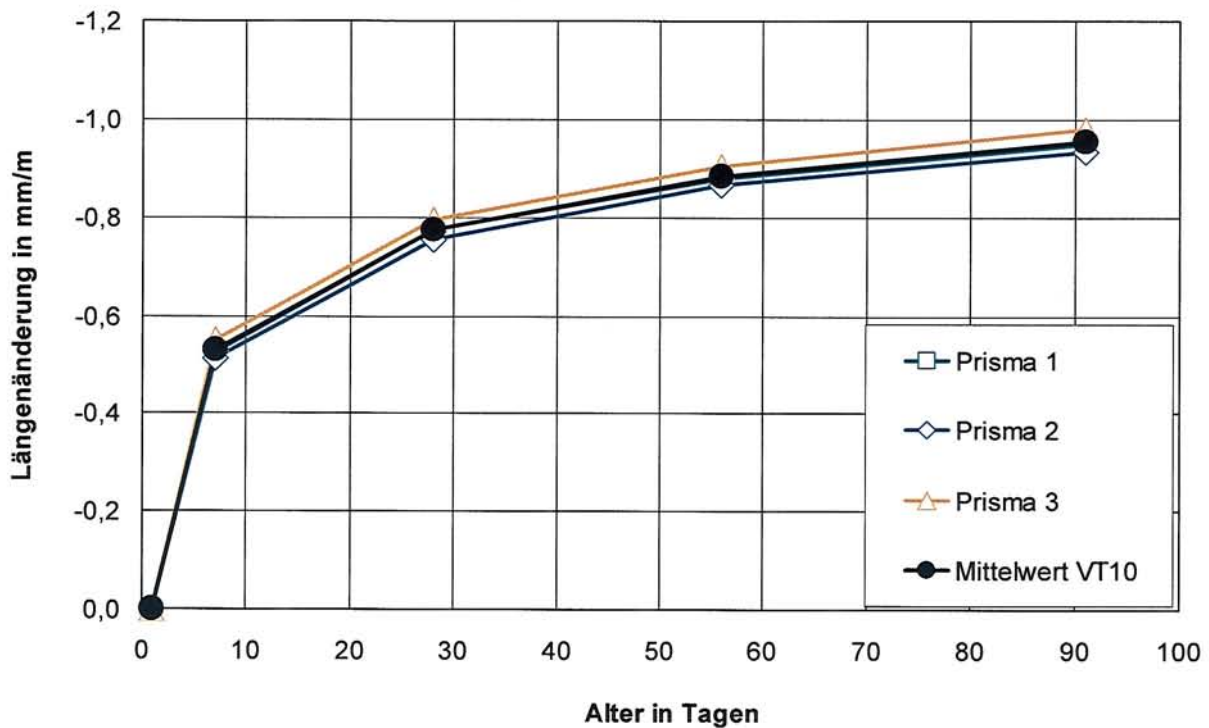


Bild 2 Zeitlicher Verlauf des Schwindens

4.7 Frost-Tausalz-Widerstand mit dem CDF-Verfahren

4.7.1 Durchführung der Untersuchungen

Der Frost-Tausalz-Widerstand der Probekörper wurde mit dem CDF-Verfahren in Anlehnung an DIN CEN/TS 12390-9 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. Ergänzend wurde mittels Ultraschallmessung der relative dynamische E-Modul bestimmt.

4.7.2 Ergebnisse

Die insgesamt fünf Probekörper mit den Abmessungen von rd. 150 mm x 110 mm x 70 mm wurden vom Auftraggeber im FIZ am 25.03. 2009 hergestellt. Die CDF-Prüfkörperformen mit mittig angeordneter PTFE-Platte wurden vom FIZ bereitgestellt.

Ein Grenzwert bzw. ein Abnahmekriterium beim CDF-Test 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 [2] wird ein maximal zulässiger Wert von 1,500 kg/m² angegeben. Die Einzelwerte, der Mittelwert und die Standardabweichung für die Abwitterung zu dem jeweiligen Prüftermin sind in **Tabelle 6** enthalten. Der zeitliche Verlauf der Abwitterungen ist in **Bild 3** grafisch dargestellt.

Tabelle 6 Einzelwerte, Mittelwert und Standardabweichung für die Abwitterung

Anzahl FTW	Abwitterung der Prüfkörper						Standardabweichung
	VT10-1	VT10-2	VT10-3	VT10-4	VT10-5	Mittelwert	
kg/m ²							
1	2	3	4	5	6	7	8
10	0,012	0,010	0,009	0,013	0,012	0,011	0,00
14	0,017	0,012	0,012	0,017	0,017	0,015	0,00
18	0,022	0,015	0,015	0,020	0,025	0,019	0,00
28	0,033	0,026	0,020	0,028	0,040	0,029	0,01

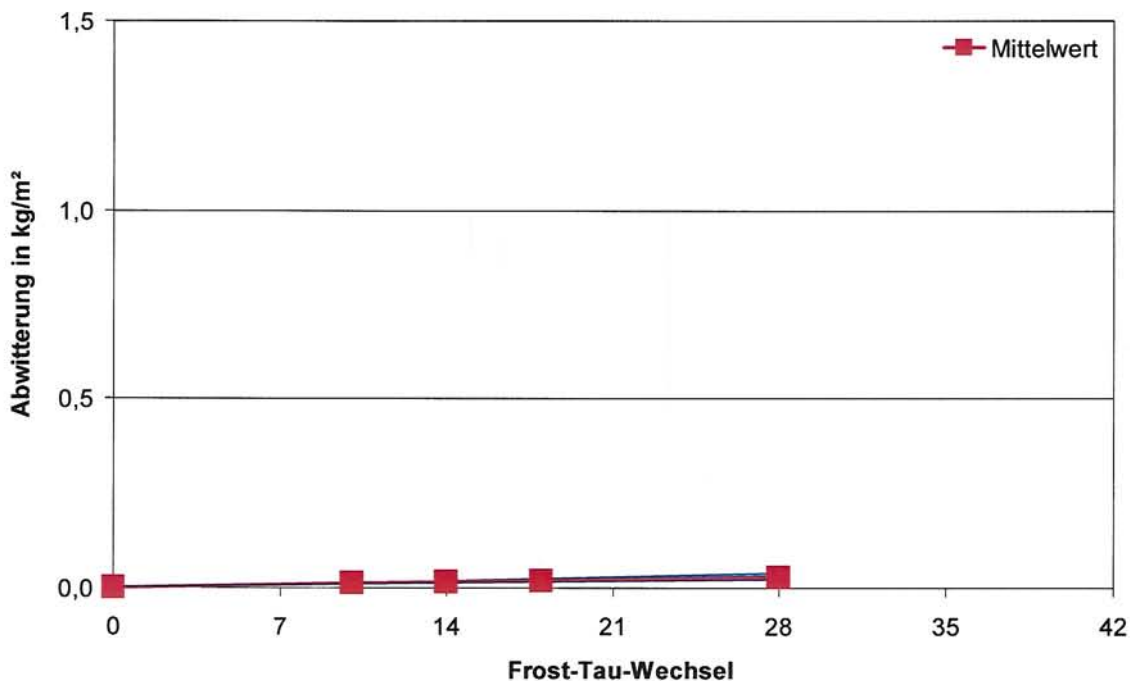


Bild 3 Zeitlicher Verlauf der Abwitterungen im CDF-Test

Die Abwitterungen nach 28 Frost-Tau-Wechseln betragen zwischen 0,020 kg/m² und 0,040 kg/m². Der Mittelwert betrug 0,029 kg/m². Die Abwitterungen waren somit kleiner als der in [2] angegebene maximal zulässige Wert von 1,500 kg/m².

Die Einzelwerte, der Mittelwert und die Standardabweichung der Prüflüssigkeitsaufnahme während des kapillaren Saugens (0 bis 7 Tage) und der anschließenden 28 Frost-Tau-Wechsel (0 bis 28 FTW) sind in **Tabelle 7** zusammengestellt.

Tabelle 7 Einzelwerte, Mittelwert und Standardabweichung für die kapillare Aufnahme der Prüflüssigkeit

Anzahl Tage bzw. FTW	kapillare Aufnahme der Prüflüssigkeit						Standardabweichung
	VT10-1	VT10-2	VT10-3	VT10-4	VT10-5	Mittelwert	
	M.-%						
1	2	3	4	5	6	7	8
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,08	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,01
4	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,13	0,01
7	0,15	0,15	0,15	0,14	0,13	0,14	0,01
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,07	0,05	0,09	0,07	0,08	0,07	0,01
14	0,10	0,08	0,13	0,10	0,11	0,10	0,02
18	0,11	0,10	0,14	0,11	0,13	0,12	0,02
28	0,12	0,13	0,16	0,13	0,15	0,14	0,02

Die Einzelwerte, der Mittelwert und die Standardabweichung des relativen dynamischen E-Moduls gehen aus **Tabelle 8** hervor. Eine signifikante Abnahme des dynamischen E-Moduls trat nicht auf. Der zeitliche Verlauf des relativen dynamischen E-Moduls ist in **Bild 4** dargestellt.

Die Probekörper nach 28 Frost-Tau-Wechseln sind in **Bild 5** bis **Bild 9** dargestellt.

Tabelle 8 Einzelwerte, Mittelwert und Standardabweichung für den relativen dynamischen E-Modul

Anzahl FTW	relativer dynamischer E-Modul						Standardabweichung
	VT10-1	VT10-2	VT10-3	VT10-4	VT10-5	Mittelwert	
	%						
1	2	3	4	5	6	7	8
10	99,9	100,0	100,3	99,9	100,0	100,0	0,16
14	100,3	100,7	100,3	100,6	100,4	100,4	0,18
18	100,7	100,8	100,6	101,0	100,4	100,7	0,22
28	100,7	101,1	100,3	100,3	100,1	100,5	0,39

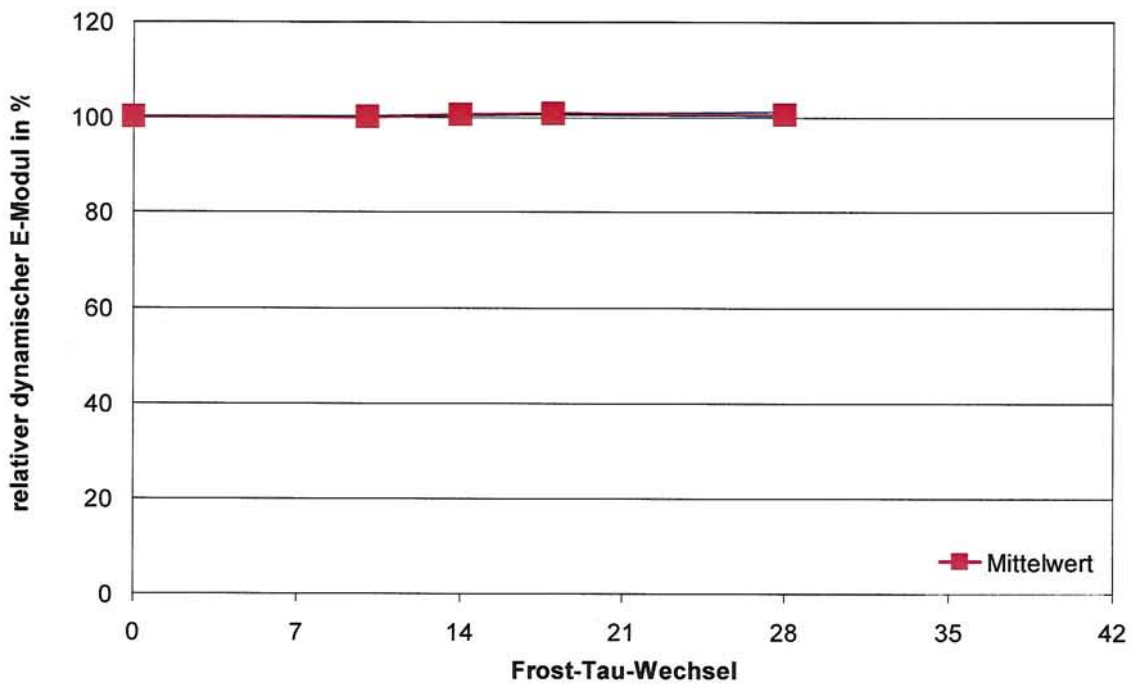


Bild 4 Zeitlicher Verlauf des relativen dynamischen E-Moduls im CDF-Test



Bild 5 Probekörper VT10 - 1 nach 28 Frost-Tau-Wechseln

Bild 6 Probekörper VT10 - 2 nach 28 Frost-Tau-Wechseln

Bild 7 Probekörper VT10 - 3 nach 28 Frost-Tau-Wechseln



Bild 8 Probekörper VT10 - 4 nach
28 Frost-Tau-Wechseln

Bild 9 Probekörper VT10 - 5 nach
28 Frost-Tau-Wechseln


5 Literatur

- [1] Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, DAfStb (Hrsg): Herstellung und Verwendung von zementgebundenem Vergussbeton und Vergussmörtel : Ausgabe Juni 2006. Berlin: Beuth, 2006 (DAfStb-Richtlinie)
- [2] 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


Dr.-Ing. Christoph Müller


i. A. Dipl.-Ing. Patrick Schäffel

Weitere Informationen z. B. zu Messgeräten, Messverfahren, Messunsicherheiten und sonstigen Verfahrenskenndaten können auf Anfrage mitgeteilt werden.
Wir werden, wenn vom Auftraggeber nicht anders gewünscht, die Proben vier Wochen nach Berichterstellung entsorgen.