

Ecobeton Deutschland GmbH  
z. Hd. Herrn Plewka  
Vor dem Deister 32

**31552 Rodenberg**

Baustoffprüfstelle

Telefon: 02065 / 9945-0  
Telefax: 02065 / 9945-10  
E-Mail: fehs@fehs.de  
Internet: www.fehs.de

10.03.2011

IHRE ZEICHEN

IHRE NACHRICHT VOM

UNSERE NACHRICHT VOM

DURCHWAHL  
- 41

UNSERE ZEICHEN  
Fe

## **Prüfbericht 2011/163**

### **Prüfung des Einflusses von EverCrete auf den Frost-Tausalz-Widerstand von Beton**

Auftraggeber: Ecobeton Deutschland GmbH

vom: 22.06.10

Ansprechpartner: Hr. Plewka

Probenbezeichnung: flüssiges, mineralisches Nachbehandlungsmittel für erhärtete Betone

Probenmenge: ca. 5 l

Proben-Nr.: P2009-05205

Anlieferung: 16.12.2009

Tag der letzten Prüfung: 15.02.2011

## 1 Aufgabenstellung

EverCrete ist ein flüssiges, mineralisches Nachbehandlungsmittel auf Natriumsilikatbasis mit einem speziellen Katalysator, der eine Tiefenwirkung erzielt. EverCrete wird auf den erhärteten Beton appliziert. Nach Angaben des Herstellers reagiert es mit dem Kalziumhydroxid und anderen Bestandteilen des Zementes, wodurch eine „Porenverglasung“ stattfindet. Bei sachgerechter Applikation soll der Beton verdichtet werden und sich dadurch die Dauerhaftigkeit des Betons verbessern.

Das FEhS-Institut für Baustoff-Forschung e.V. wurde von der Fa. Ecobeton beauftragt, den Einfluss von EverCrete auf den Frost-Tausalz-Widerstand von Beton zu untersuchen. Hierzu wurden luftporenhaltige Betone, die den Anforderungen der DIN 1045-2 entsprachen, mit unterschiedlichen Zementen hergestellt. Der Einfluss von EverCrete auf den Frost-Tausalz-Widerstand der Betone wurde vergleichend an behandelten und unbehandelten Probekörpern mit dem CDF-Verfahren nach DIN CEN/TS 12390-9 geprüft.

## 2 Versuchsdurchführung

### 2.1 Ausgangsstoffe

In die Untersuchungen wurden drei handelsübliche hüttensandhaltige Zemente zweier Hersteller einbezogen. Es wurden feine und grobe, nicht gebrochene Gesteinskörnungen vom Niederrhein verwendet. Die groben Gesteinskörnungen erfüllten die Anforderungen der Kategorie MS18 für den Frost-Tausalz-Widerstand nach DIN EN 12620. Die Sieblinie des Gesteinskörnungsgemisches lag in der Mitte des Bereichs A/B 16 nach DIN 1045-2. Der erforderliche Luftgehalt im Frischbeton wurde mit drei verschiedenen handelsüblichen Luftporenbildnern (LP-Mitteln) nach DIN EN 934-2 eingestellt. Zwei LP-Mittel basierten auf synthetischen und ein LP-Mittel auf natürlichen Wirkstoffen. Teilweise wurde den Betonen zusätzlich Fließmittel (FM) nach DIN EN 934-2 zugegeben, um eine weichere Konsistenz einzustellen. Die Verträglichkeit der entsprechenden Kombinationen aus LP und FM wurde von den jeweiligen Herstellern attestiert.

### 2.2 Betonzusammensetzung und -herstellung

Die Untersuchungen wurden an praxisnahen Betonrezepturen (Tabelle 1) durchgeführt und nicht an eher theoretischen "Grenzzusammensetzungen" gemäß DIN 1045-2.

Tabelle 1: Zusammensetzungen und Zielgrößen der Betone

		Beton 1	
Zementgehalt		340 kg/m <sup>3</sup>	
w/z		0,48	
Expositionsklasse		XF4	
Sieblinie		A/B 16	
Zusatzmittel		LP	LP + FM
Ziel-			
größen	Konsistenz	F2	F3/4



Die Betone wurden in einem 75 l-Zwangsmischer hergestellt. Zunächst wurde die Gesteinskörnung leicht angefeuchtet. Nach 5 Minuten Ruhezeit wurde die Gesteinskörnung zusammen mit dem Zement kurz durchgemischt. Das Luftporenmittel wurde zusammen mit dem Anmachwasser innerhalb von 15 Sekunden zugegeben. Bei den Rezepturen mit Fließmittel wurde das Fließmittel ca. 1 Minute nach Wasserzugabe zudosiert. Die Standardmischzeit betrug 2 Minuten. 45 Minuten nach Wasserzugabe wurden jeweils fünf CDF-Platten für die Bestimmung des Frost-Tausalz-Widerstands gemäß DIN CEN/TS 12390-9 hergestellt und gelagert. Bis auf die zusätzliche Anforderung an die Verdunstungsrate im Klimaraum von  $45 \pm 15 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{ h})$  entspricht die in dieser Norm vorgeschriebene Lagerung bis zum Prüfbeginn der, die im nationalen Anhang der DIN EN 12390-2 definiert ist.

Im Alter von 21 Tagen wurde jeweils die Prüffläche einer CDF-Platte mit EverCrete behandelt. Um die sachgerechte Applikation mit EverCrete sicherzustellen, wurden die Mitarbeiter des FEhS-Instituts zweimal durch einen Vertreter des Auftraggebers geschult. EverCrete wurde mit einem Pinsel aufgetragen. Das Auftragen wurde regelmäßig unterbrochen, um dem Beton Zeit zu geben, das EverCrete aufzusaugen. Der nächste Arbeitsgang folgte, wenn das EverCrete so weit aufgesaugt war, dass die Oberfläche matt-feucht war. Dadurch erfolgte das Aufpinseln immer im Zustand "frisch in frisch". Das EverCrete war ausreichend aufgetragen, wenn der Beton kein EverCrete sichtbar mehr aufnahm.

### 2.3 Prüfverfahren

Der Frost-Tausalz-Widerstand wurde mit dem CDF-Test nach DIN CEN/TS 12390-9 bestimmt. Bei einer Frost-Tausalz-Beanspruchung erfolgt eine oberflächige Abwitterung des Betons. Diese wird beim CDF-Test über 28 Frost-Tau-Wechsel (FTW) kumuliert. Auch wenn in dem gültigen Normenwerk kein Grenzwert festgelegt ist, wird von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) eine Oberflächenabwitterung von  $1500 \text{ g}/\text{cm}^2$  als maßgebendes Abnahmekriterium definiert [1]. Als zusätzliches Abnahmekriterium ist in [1] ein Abfall des relativen dynamischen E-Moduls (RDM) auf  $\geq 75 \%$  nach 28 FTW festgeschrieben.

Die nach 28 FTW ermittelte Abwitterung ist in der Baupraxis für Beton mit hohem Widerstand gegenüber einem Frost-Tausalz-Angriff zwar weitgehend etabliert worden, jedoch können insbesondere Betone mit hüttensandhaltigen Zementen im Test deutlich höhere Abwitterungen aufweisen, obwohl diese Rezepturen in der Baupraxis einen hohen Frost-Tausalz-Widerstand nachgewiesen haben. Die Ursachen hierfür werden in der Literatur [2, 3] eingehend diskutiert. Insbesondere sind hier die praxisfremden Vorlagerungsbedingungen der Prüfkörper zu nennen.

In Absprache mit dem Auftraggeber wurden abweichend zur Prüfnorm je Beton vier Probekörper mit unbehandelter Prüfoberfläche und ein Probekörper mit einer mit EverCrete behandelten Prüfoberfläche geprüft. Dadurch ist zwar die statistische Aussagekraft der Prüfergebnisse beeinträchtigt, sie ist aber weiterhin ausreichend, um die Ergebnisse untereinander zu vergleichen und den Einfluss der Oberflächenbehandlung mit EverCrete tendenziell zu bestimmen. Jedoch sollte deshalb der Wert der ermittelten Abwitterung nicht mit dem in [1] definierten Abnahmekriterium bewertet werden.

[1] Merkblatt: Frostprüfung von Beton (BAW-Merkblatt "Frostprüfung"). Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe, Hamburg, Ilmenau, Dezember 2004

[2] Lang, E.: Einfluss unterschiedlicher Karbonatphasen auf den Frost-Tausalzwiderstand – Labor und Praxisverhalten, Beton-Informationen 43 (2003), Nr. 3, S. 39-59

[3] Ludwig, M.: Zur Rolle der Phasenumwandlungen bei der Frost- und Frost-Tausalz-Belastung von Beton: Dissertation, Weimar, 1996



### 3 Untersuchungsergebnisse

Obwohl die Bestimmung der Frisch- und Festbetonkennwerte der Betone nicht Gegenstand des Prüfauftrags waren, wurden sowohl das Ausbreitmaß nach 10 und 45 Minuten sowie die Druckfestigkeit im Alter von 28 Tagen bestimmt. **Alle Betone erreichten eine ausreichend hohe Druckfestigkeit, um die Anforderungen der DIN 1045-2 an die Festigkeitsklasse für Beton der Expositionsklasse XF4 zu erfüllen.** Auch wurden die in Tabelle 1 genannten Zielvorgaben an die Betonrezeptur zielsicher erreicht.

Die mit dem CDF-Verfahren nach DIN CEN/TS 12390-9 ermittelten Abwitterungen enthält Tabelle 2. In Bild 1 sind die Ergebnisse vergleichend gegenübergestellt. Die gestrichelten Linien veranschaulichen die zweifache Standardabweichung basierend auf den in DIN CEN/TS 12390-9 angegebenen Präzisionsdaten. Die rote Linie markiert das in [1] definierte Abnahmekriterium und dient aus den in Abschnitt 2.3 genannten Gründen lediglich als Orientierung.

Tabelle 2: Untersuchungsergebnisse

Zement	2 CEM II/A-S 42,5 N				1 CEM III/A 42,5 N				2 CEM III/A 42,5 N	
	1 (natürlich)		2 (synthetisch)		2 (synthetisch)		2 (synthetisch)		3 (synthetisch)	
LP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EverCrete	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne
FTW [-]	Abwitterungen von der Prüfoberfläche in [kg/m <sup>2</sup> ]									
4	0,032	0,038	0,024	0,057	0,061	0,074	0,108	0,525	0,061	0,305
8	0,063	0,100	0,050	0,093	0,076	0,100	0,161	0,803	0,111	0,447
12	0,109	0,208	0,092	0,217	0,086	0,117	0,428	1,485	0,124	0,698
20	0,210	0,433	0,116	0,281	0,099	0,153	0,580	1,763	0,146	0,742
28	0,307	0,616	0,120	0,301	0,264	0,339	0,820	2,010	0,314	0,994

Betone gemäß Expositionsklasse XF4 nach DIN 1045-2 geprüft  
mit dem CDF-Verfahren nach CEN TS 12390-9

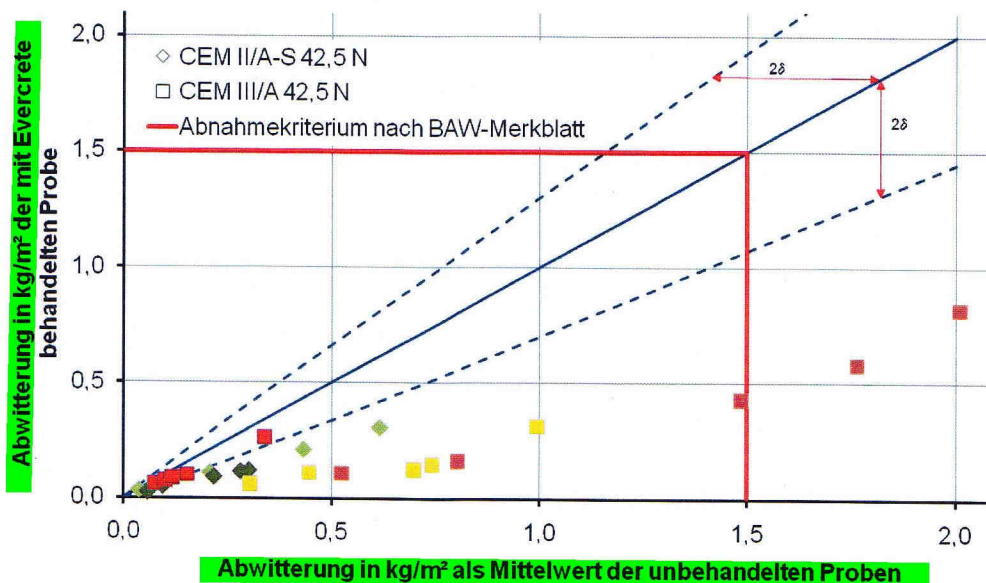


Bild 1: Vergleich der Abwitterungen von Beton, deren Prüfflächen unbehandelt und mit EverCrete vorbehandelt waren

Durch die Behandlung der Prüfoberflächen mit EverCrete sieben Tage vor Beginn des CDF-Tests waren zum jeweils gleichen Prüfzeitpunkt die Abwitterungen von der Oberfläche dieser Probekörper signifikant niedriger als die von der Oberfläche der unbehandelten Probekörper. Der RDM aller Probekörper blieb während der 28 FTW annähernd unverändert bei 100 %.

In einer zweiten Prüferserie wurde untersucht, inwieweit die Güte, mit der EverCrete auf die Prüfoberfläche aufgebracht wurde, einen Einfluss auf den Frost-Tausalz-Widerstand ausübt. Eine unzureichende Nachbehandlung mit EverCrete wurde dadurch erreicht, dass die Nachbehandlung nach zwei Arbeitsschritten vorzeitig abgebrochen wurde (siehe Abschnitt 2.2). Die Abwitterungen während der Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstands sind in Tabelle 3 und in Bild 2 zusammengestellt. Wie auch schon für Bild 1 erläutert, repräsentieren die gestrichelten Linien in Bild 2 die zweifache Standardabweichung basierend auf den Präzisionsdaten des Prüfverfahrens, während die rote Linie orientierend das in [1] definierte Abnahmekriterium symbolisiert.

Tabelle 3: Untersuchungsergebnisse zum Einfluss der Güte der Applikation von EverCrete

Zement LP FM EverCrete FTW [-]	gut mit EverCrete behandelt				unzureichend mit EverCrete behandelt					
	1 CEM III/A 42,5 N				1 CEM III/A 42,5 N				2 CEM III/A 42,5 N	
	2 (synthetisch)		2 (synthetisch)		1 (natürlich)		2 (synthetisch)		1 (natürlich)	
	2		2a							
	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne
	Abwitterungen von der Prüfoberfläche in [kg/m <sup>2</sup> ]									
4	0,108	0,525	0,257	0,648	0,082	0,094	0,463	0,322	0,023	0,028
8	0,161	0,803	0,433	0,838	0,111	0,134	0,645	0,430	0,034	0,067
12	0,428	1,485	0,868	1,289	0,160	0,171	0,987	0,661	0,109	0,167
20	0,580	1,763	1,137	1,512	0,256	0,252	1,083	0,738	0,207	0,262
28	0,820	2,010	1,476	1,788	0,779	0,779	1,282	0,894	0,512	0,469

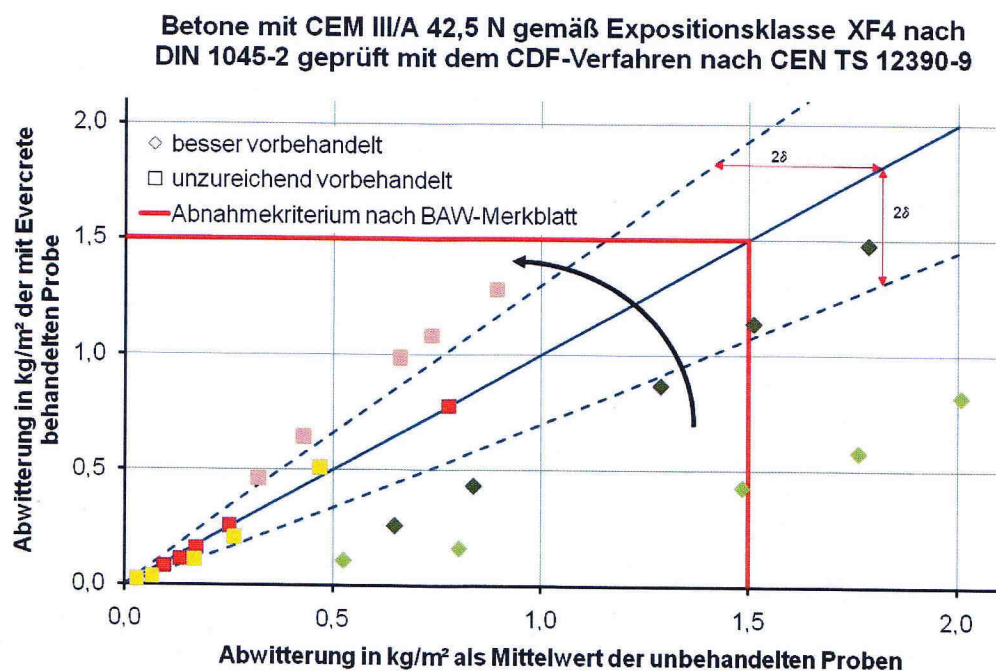


Bild 2: Einfluss der Güte der EverCrete-Applikation auf die Abwitterung, geprüft mit dem CDF-Verfahren nach DIN CEN/TS 12390-9



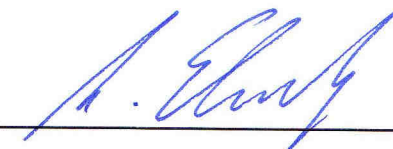
Wurde EverCrete nur unzureichend auf die Prüfoberfläche aufgebracht, waren die Abwitterungen an den Prüfoberflächen bei diesen Probekörpern annähernd gleich oder sogar höher als die an den Prüfoberflächen der unbehandelten Probekörper. Aber auch bei diesen Betonen änderte sich der RDM während der gesamten Prüfung nicht signifikant.

#### 4 Beurteilung

Es muss vorangestellt werden, dass auf Grund ihrer Zusammensetzung die Betone in der Praxis generell einen hohen Frost-Tausalz-Widerstand aufweisen sollten. Da die Abwitterungen, bestimmt mit dem CDF-Verfahren, bei der überwiegenden Anzahl an Versuchen mit Werten deutlich unterhalb von  $1,5 \text{ kg/m}^2$  sehr gering waren, lassen die Ergebnisse zum Frost-Tausalz-Widerstand der Betone auch nichts anderes vermuten. Die Ursachen der hohen Abwitterungen ( $> 1,5 \text{ kg/m}^2$ ) der beiden nicht mit EverCrete behandelten Betone ist in [4] beschrieben worden.

Es lässt sich festhalten, dass bei sachgerechter Applikation von EverCrete auf die Betonoberfläche die im CDF-Test zum gleichen Prüftermin bestimmten Abwitterungen, unabhängig von dem verwendeten Zement und den verwendeten Zusatzmitteln, kleiner waren als die, die an den unbehandelten Probekörpern bestimmt wurden. Ferner zeigten die Versuche, dass bei einer unzureichend ausgeführten Behandlung der Betonoberfläche mit EverCrete die Abwitterungen gleich oder sogar höher waren als die der unbehandelten Probekörper.

Die Ergebnisse zeigen, dass Abwitterungen bei gemäß CDF-Test unzureichend Frost-Tausalz-widerstandsfähigen Betonen durch den Einsatz von EverCrete während der Laborprüfung erheblich reduziert werden können. Dadurch sollte sich auch in der Praxis der Widerstand dieser Betone gegenüber einem Frost-Tausalz-Angriff erhöhen und sich die schadensfreie Nutzungsdauer daraus hergestellter Bauwerke verlängern lassen. Dieser positive Einfluss ist aber maßgeblich von einer sachgerechten Applikation abhängig.



Dr.-Ing. Andreas Ehrenberg  
(Abteilungsleiter Baustoffe)



Dr.-Ing. Volkert Feldrappe  
(Zementlaborleiter)

[4] Feldrappe, V.; Ehrenberg, A.: Luftporenbeton mit hüttensandhaltigen Zementen. FEhS-Report 17 (2010), Nr. 2, S. 13 – 18