

Empa  
Überlandstrasse 129  
CH-8600 Dübendorf  
T +41 44 823 55 11  
F +41 44 823 40 35  
www.empa.ch/abt135



Materials Science & Technology

BASF Construction Chemicals  
Europe AG  
Vulkanstrasse 110  
8048 Zürich

**Kopie**

## Bericht Nr. 455738

**Auftrag:** Frühschwinden  
**Objekt(e):** Frischbeton mit RHEOCURE 100  
**Auftragserteilung:** 04.06.2010 / R. Bolliger  
**Eingang Objekt(e):** 04.06.2010  
**Anzahl Seiten Bericht:** 8  
**Beilage(n):** -

### Inhalt

1. Einführung.....	2
2. Material und Frischbetonwerte.....	2
3. Methoden .....	3
4. Untersuchungen und Resultate .....	5
5. Zusammenfassung.....	8
6. Referenzen.....	8

G:\Andreas\Aufträge\455738\ub455738.doc

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Abteilung Beton & Bauchemie  
Dübendorf, 17. September 2010

Gruppenleiter Betontechnologie: Dr. Andreas Leemann  
Abteilungsleiter Beton/Bauchemie: Dr. Pietro Lura



STS 338

*Andreas Leemann Pietro Lura*

Anmerkung: Die Untersuchungsergebnisse haben nur Gültigkeit für das geprüfte Objekt. Angaben zur Aussagekraft der Verfahren erfolgen auf Anfrage. Berichte und Unterlagen werden 10 Jahre archiviert. Ohne besondere Angaben oder Gegenbericht des Auftraggebers werden intakte Prüfobjekte nach 10 Monaten ab Berichtsdatum entsorgt. Das Verwenden des Berichtes zu Werbezwecken, der blosser Hinweis darauf sowie auszugsweises Veröffentlichen bedürfen der Genehmigung der EMPA.

## 1. Einführung

Frischbeton ist anfällig auf die Bildung von Rissen, die nach dem Einbringen des Betons vor Abbindebeginn eintreten können. Der Grund für die Rissbildung ist der Unterdruck in der Porenflüssigkeit des Betons als Folge der Verdunstung von Wasser an der Betonoberfläche [1]. Dieser Unterdruck verursacht ein rasches Setzen des Betons. Ein kritischer Punkt wird nur wenige Stunden nach dem Einbringen des Betons erreicht, wenn sich der Beton nicht mehr setzt, aber weiter Wasser verdunstet. An diesem Punkt tritt die Rissbildung auf [1]. Das Ausmass der Rissbildung steht in direktem Zusammenhang zu der Menge an verdunstetem Wasser, zum Setzen und der Grösse des Unterdruckes [1].

Zusatzmittel können das Risiko von Frühschwindrissen verringern [1,2]. RHEOCURE 100 ist ein flüssiges Zusatzmittel für die interne Nachbehandlung von Beton, Spritzbeton und Mörtel. Nach dem Datenblatt [3] bildet RHEOCURE 100 eine Membrane, die den Frischbeton durch ein Herabsetzen der Wasserverdunstung schützt und damit die Nachbehandlung verbessert. Es verbessert zudem die Pumpbarkeit und die Stabilität.

Um die Wirkung von RHEOCURE 100 auf den Frischbeton zu untersuchen und seine Wirkungsweise besser verstehen zu lernen, wurden entsprechende Laboruntersuchungen durchgeführt.

## 2. Material und Frischbetonwerte

Beton	Referenz	RHEOCURE 100
Gestein 0/16 mm [kg/m <sup>3</sup> ]	1853	1838
Sand 0/1 [%]	31	31
Sand 0/4 [%]	19	19
Kies 4/8 [%]	20	20
Kies 8/16 [%]	30	30
CEM II/A-LL 42.5 N [kg/m <sup>3</sup> ]	352	352
Wassergehalt [kg/m <sup>3</sup> ]	176	176
PC-Fliessmittel [kg/m <sup>3</sup> ]	0.7	0.7
RHEOCURE 100 [kg/m <sup>3</sup> ]	-	5.3
w/z-Wert	0.50	0.50
Ausbreitmass	39	42
Luftgehalt [%]	4.1	3.9
Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	2382	2323

Tabelle 1: Referenzmischung und Mischung mit RHEOCURE 100.

### 3. Methoden

#### 3.1 Betonherstellung



Abbildung 1: Für die Betonherstellung verwendeter Eirichmischer (maximales Fassungsvermögen: 80 Liter).

Es wurden pro Mischung 60 Liter Beton produziert. Gesteinskörnung und Zement wurden für 30 s vorgemischt. Danach wurden etwa 85% des Wasser zugegeben. Der Rest des Wasser wurde zusammen mit den Zusatzmitteln zugegeben. Danach wurde für 60 s gemischt.

#### 3.2 Frischbetoneigenschaften und Bluten

Das Ausbreitmass wurde sofort nach der Mischungsherstellung nach EN 12350-5 gemessen. Die Rohdichte wurde nach EN 12350-6 bestimmt und der Luftgehalt nach EN 12350-7. Zusätzlich wurde das Bluten nach EN 480-4 für 5 h gemessen.

#### 3.3 Frühschwindrisse

Die Frühschwindrisse wurden nach ASTM C1579-06 [4] an zwei Proben pro Mischung bestimmt. Zwei Schalungen ( $355 \times 560 \times 100 \text{ mm}^3$ ) mit Stahleinlagen, die die Aufgabe haben, die Frühschwindrisse zu initiieren (Abbildung 2), wurden mit Beton gefüllt und auf einem Vibriertisch verdichtet. Die Prüfkörper wurden in einer Klimakammer mit einer Temperatur von  $30 \pm 1^\circ\text{C}$  und einer relativen Feuchte von  $45 \pm 5\%$  in einem Windkanal platziert (Windgeschwindigkeit  $7 \pm 0.5 \text{ m/s}$ ). Der Risszeitpunkt wurde durch eine visuelle Überprüfung alle 30 min festgehalten. Die Verteilung der Rissbreiten wurde anhand von Bildanalyse der Betonoberfläche am Ende des Versuchs [5] rund 6 h nach der Betonherstellung bestimmt. Die minimale feststellbare Rissbreite mit diesem Verfahren ist 0.02 mm. Die erhaltenen Rissbreitenverteilung der beiden Proben wurde danach gemittelt.

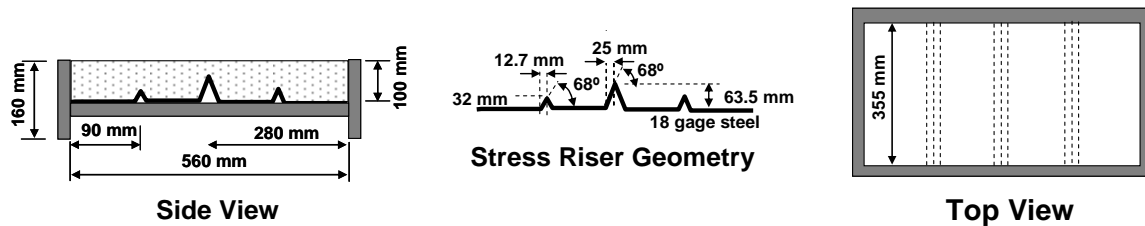


Abbildung 2: Schalungen für die Prüfkörper zur Untersuchung der Frühschwindrisse nach ASTM C1579-06 (von [1]).

### 3.4 Verdunstungsrate, Setzen und Porendruck

Verdunstungsrate, Setzen und Porendruck wurden an denselben Prüfkörpern bestimmt wie die Frühschwindrisse.

Eine der beiden Schalungen wurde auf eine Waage mit automatischer Datenaufzeichnung gestellt. Die Verdunstungsrate wurde mit einer Division des Massenverlustes durch die Oberfläche des Prüfkörpers berechnet. Das Setzen wurde mit kontaktlosen Lasern [1] in Zeitabständen von 30 s bestimmt (Abbildung 3, links). Messbeginn war etwa 15 min nach Betonherstellung. Die kontaktlosen Laser strahlen mit einer kleinen Abweichung von der Vertikalen nach unten. Die vertikale Distanz von der Laserquelle zur Betonoberfläche wird durch die Länge der horizontalen Versetzung des reflektierten Strahls berechnet. Auf einem Prüfkörper befanden sich zwei Messstellen, auf einem Prüfkörper eine weitere Messstelle. Die Messstellen befanden sich mehrere Zentimeter vom Rand und den Rippen der Stahleinlagen entfernt, damit diese die Messung nicht beeinflussen konnten.

Die Messungen des Porendruckes wurden mit Tensiometern durchgeführt [6]. Sie bestehen aus einem Drucksensor, der über einen Gummischlauch mit einem Metallröhrchen verbunden ist. Sensor und Metallröhrchen wurden behutsam mit entgastem Wasser gefüllt, um das Entstehen von Luftblasen zu verhindern. Die Metallröhrchen wurden über Bohrungen in der Schalung in den Beton eingeführt (Abbildung 3, rechts). Nach ihrer Installation übermittelte das Wasser im Metallröhrchen den Porendruck zum Drucksensor.

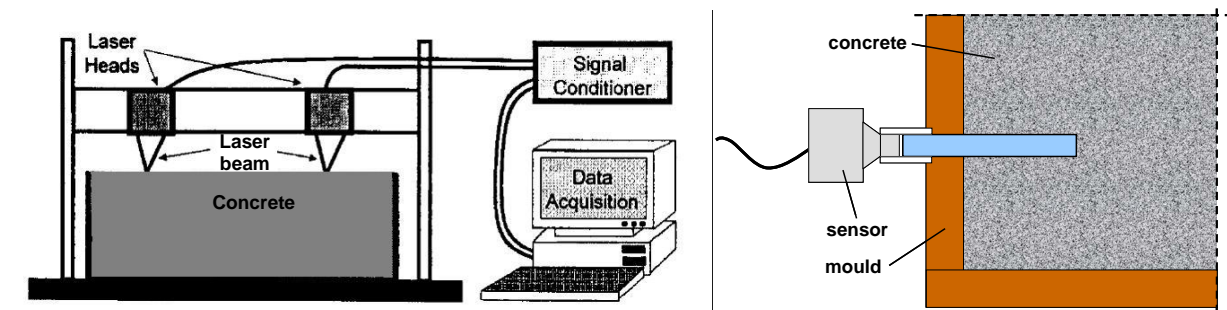


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Messeinrichtung zur Bestimmung des Setzens mit den kontaktlosen Lasern (links) und der Porendruckmessungen mit den Tensiometern (rechts).

## 4. Untersuchungen und Resultate

### 4.1 Frühschwindrisse

Die Verwendung von RHEOCURE 100 hat eine deutliche Reduktion der Rissbreiten zur Folge (Abbildungen 4 und 5). In der Mischung mit RHEOCURE 100 sind die Risse kaum sichtbar. Die Risse sind in der Referenzmischung nach 2 Stunden entstanden, in der Mischung mit RHEOCURE 100 nach 3 Stunden.

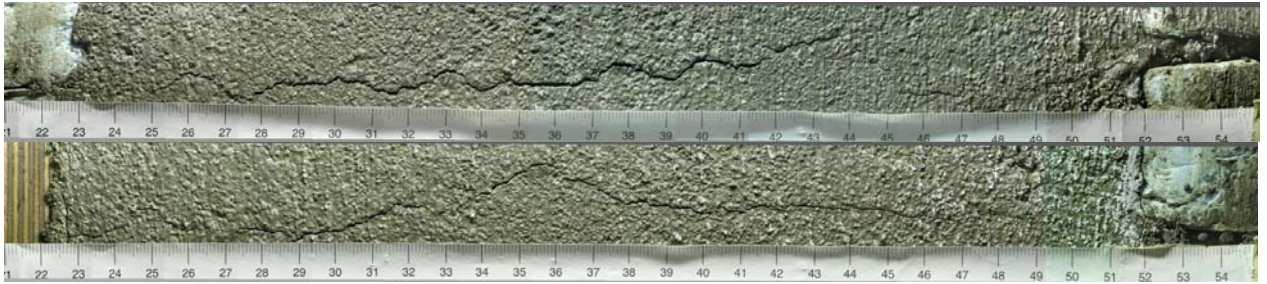


Abbildung 4: Frühschwindrisse im Referenzbeton.

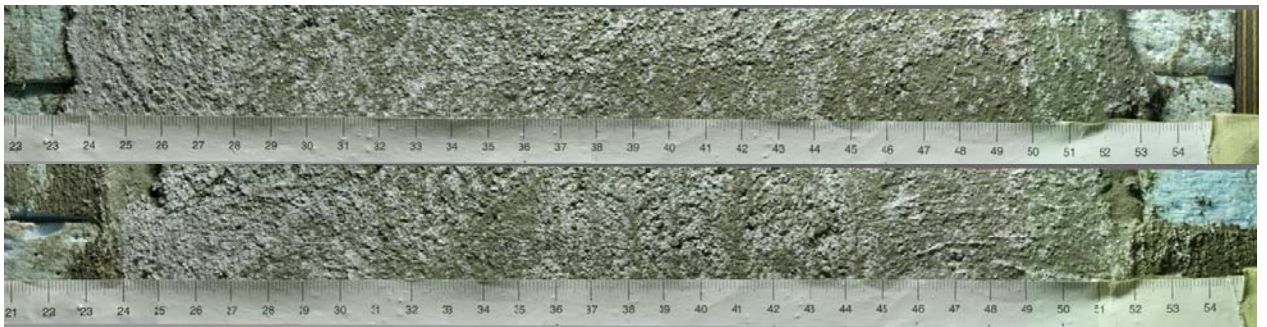


Abbildung 5: Frühschwindrisse im Beton mit RHEOCURE 100.

Die mit Bildanalyse bestimmte kumulative Rissbreitenverteilung der beiden Mischungen ist in Abbildung 6 dargestellt. Die Verwendung von RHEOCURE 100 verringert sowohl die maximale Rissbreite als auch die sichtbare Risslänge auf der Oberfläche.

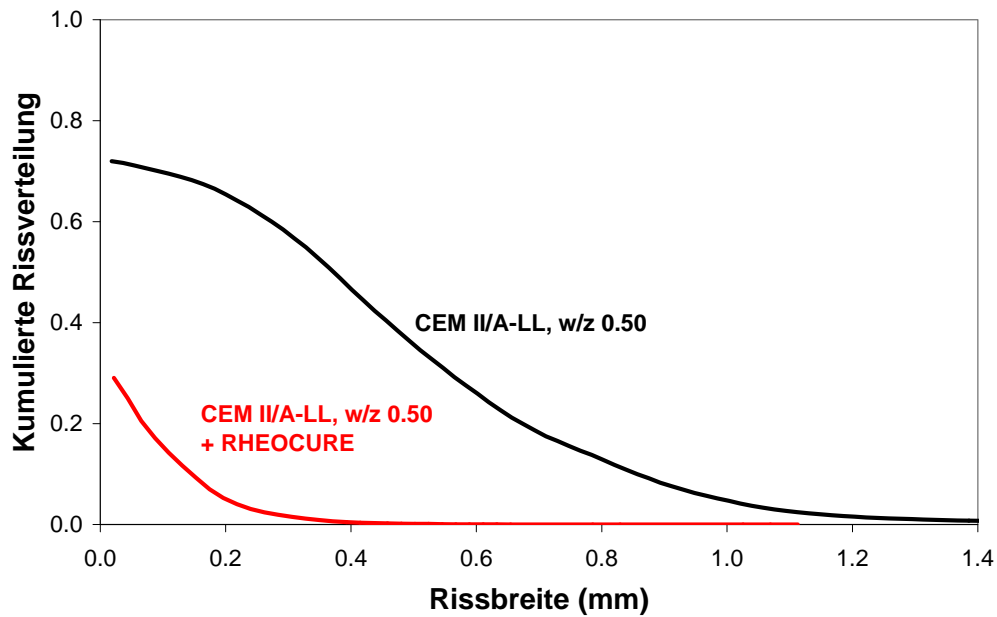


Abbildung 6: Kumulierte Rissverteilung für die Referenzmischung und für die Mischung mit RHEOCURE 100.

#### 4.2 Verdunstung

Die Zugabe von RHEOCURE 100 reduziert die Menge an Wasser, die in den ersten Stunden von der Oberfläche verdunstet, substantiell (Abbildung 7). Dies stimmt mit den Informationen im RHEOCURE 100 Datenblatt überein [3].

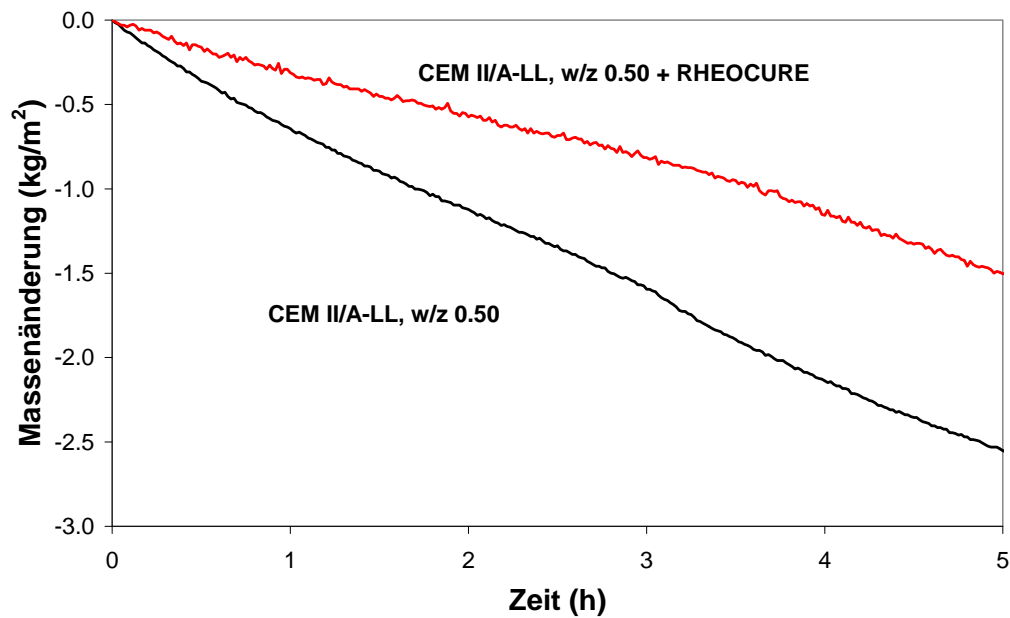


Abbildung 7: Massenänderung der Referenzmischung und der Mischung mit RHEOCURE 100 als Funktion der Zeit.

### 4.3 Druck in der Porenflüssigkeit

Die Zugabe von RHEOCURE 100 hat keinen erkennbaren Einfluss auf die Entwicklung des Unterdruckes (Abbildung 8).

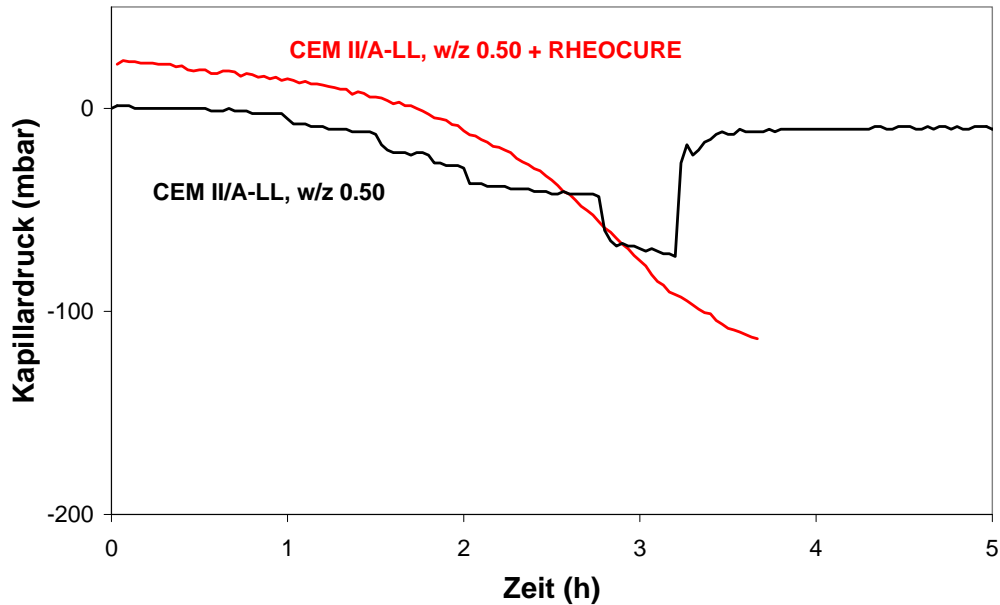


Abbildung 8: Unterdruck in der Porenflüssigkeit der Referenzmischung und der Mischung mit RHEOCURE 100 als Funktion der Zeit.

### 4.4 Setzen

Das Setzen des Betons wurde mit Lasern an drei Punkten auf der Betonoberfläche der Prüfkörper bestimmt. In Abbildung 9 wird das Mittel dieser drei Messungen für beide Mischungen gezeigt. Das Setzen wird durch die Verwendung von RHEOCURE 100 verringert. Das verringerte Setzen kann direkt mit der ebenfalls verringerten Verdunstungsmenge in Zusammenhang gebracht werden (Abbildung 7).

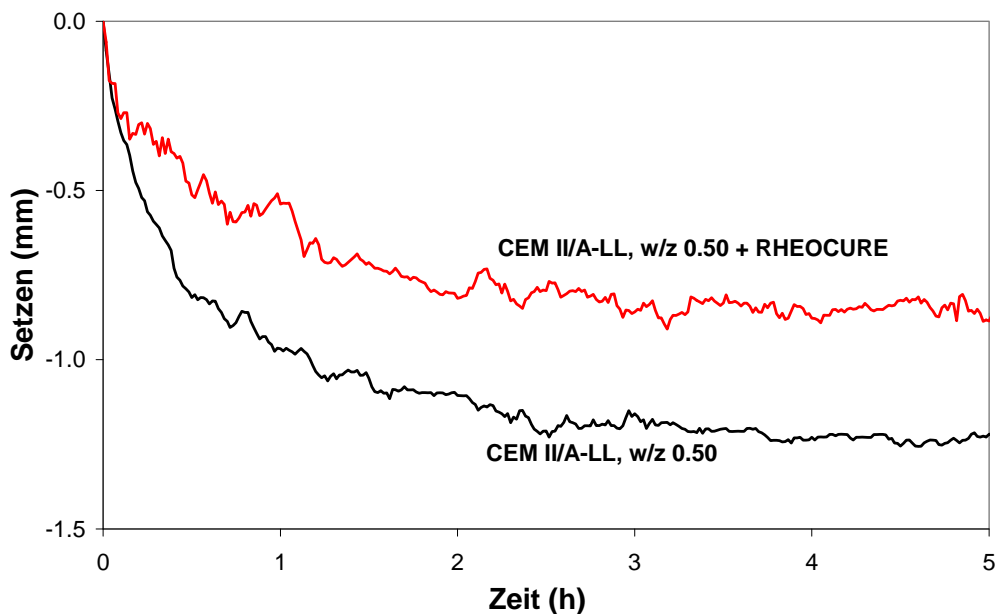


Abbildung 9: Setzen der Referenzmischung und der Mischung mit RHEOCURE 100 als Funktion der Zeit.



#### 4.5 Bluten

Das Bluten der beiden Mischungen ist in Abbildung 10 dargestellt. Die Verwendung von RHEOCURE 100 führt sowohl zu einer Reduktion des anfänglichen Blutens wie auch der Gesamtmenge an Blutwasser. Diese Beobachtung deckt sich mit der Menge an verdunstetem Wasser (Abbildung 7).

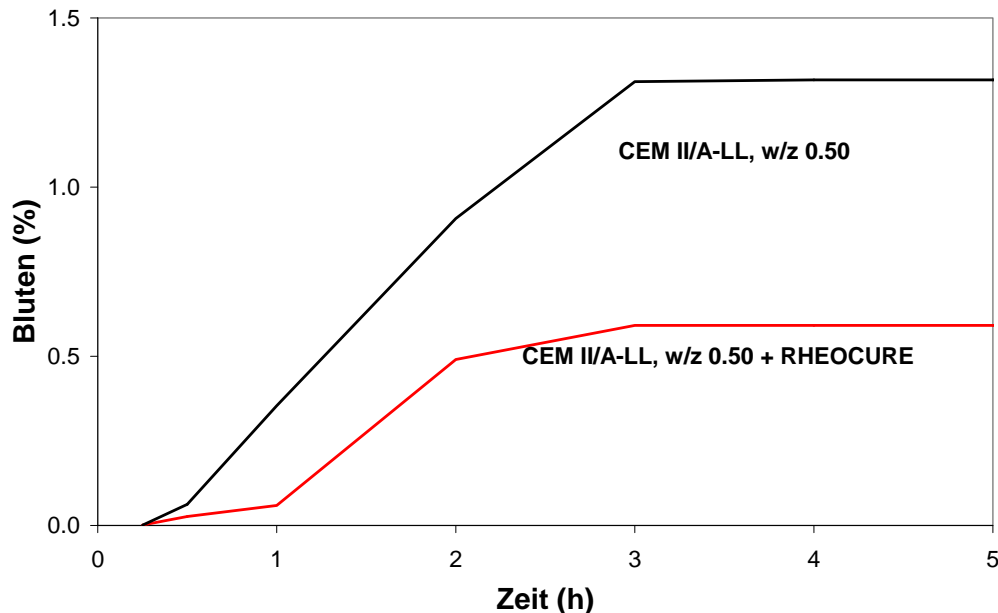


Abbildung 10: Bluten der Referenzmischung und der Mischung mit RHEOCURE 100 als Funktion der Zeit.

### 5. Zusammenfassung

Die Verwendung von RHEOCURE 100 in Beton verringert das Ausmass der Frühschwindrissbildung; sowohl die maximale Rissbreite als auch Gesamtrisslänge werden deutlich verringert. Obwohl keine wesentlichen Unterschiede im Porendruck festgestellt wurden, verringert RHEOCURE 100 die Menge an verdunstetem Wasser. Dadurch werden das Setzen als auch das Risiko für die Rissbildung reduziert.

### 6. Referenzen

- [1] P. Lura, B.J. Pease, G. Mazzotta, F. Rajabipour, W.J. Weiss. Influence of shrinkage reducing admixtures on the development of plastic shrinkage cracks. *ACI Materials Journal* 104 (2) (2007) 187-194.
- [2] S.-T. Lin, R. Huang. Effect of Viscosity Modifying Agent on Plastic Shrinkage Cracking of Cementitious Composites. *Materials and Structures* (2010), in press.
- [3] RHEOCURE 100 factsheet, BASF, 2 pp.
- [4] ASTM C 1579. Standard Test Method for Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete (Using a Steel Form Insert). ASTM International, West Conshohocken, Pa., 2006, 7 pp.
- [5] C. Qi, J. Weiss, J. Olek. Characterization of plastic shrinkage cracking in fiber reinforced concrete using image analysis and a modified Weibull function. *Materials and Structures* 36 (260) (2003) 386-395.
- [6] A. Radocea. A model of plastic shrinkage. *Magazine of Concrete Research* 46 (167) (1994) 125-132.