

IGF-Vorhaben: 15681 N
 Bewilligungszeitraum: 01.06.2008 - 30.11.2010
 Forschungsthema: **Wirkungsweise von schwindreduzierenden Zusatzmitteln in Beton**

1 Einleitung und Forschungsziel

Ziel dieses Forschungsvorhabens war es zu klären, ob der Einsatz von Schwindreduzierern zu einer anhaltenden Reduzierung des Schwindens von Beton führt, ohne die Dauerhaftigkeit zu beeinträchtigen. Es sollte untersucht werden, ob und wie sich die im Vorläuferprojekt an Zementstein gewonnenen Erkenntnisse zur Wirkung und zu den Wirkungsmechanismen von Schwindreduzieren auf Beton übertragen lassen. Die Ergebnisse beider Forschungsvorhaben sollten dazu beitragen, bislang noch offene Fragen zur Wirkung und den Wirkungsmechanismen von Schwindreduzieren zu beantworten und das Potenzial von Schwindreduzieren in Bezug auf eine umfassende Anwendung in der Betonbauweise abzuschätzen.

Der Einfluss handelsüblicher Schwindreduzierer und darin enthaltener Wirkstoffe auf das unbehinderte (freie) Gesamtschwinden und das autogene Schwinden sowie auf das behinderte Schwinden wurden untersucht. Darüber hinaus wurde der Einfluss handelsüblicher Schwindreduzierer auf die Frischbetoneigenschaften, die mechanischen Eigenschaften (Betondruckfestigkeit, Biegezugfestigkeit, statischer Elastizitätsmodul), die Karbonatisierung, den Widerstand gegenüber eindringenden Chloriden, die Gasdurchlässigkeit und den Frostwiderstand ermittelt. Die Untersuchungen wurden mit drei Zementarten und mit drei Wasserzementwerten durchgeführt. Die Auswahl der Zemente, Schwindreduzierer und Wasserzementwerte erfolgte in Anknüpfung an das Vorläuferprojekt (AiF-Nr. 14011 N).

2 Ausgangsstoffe, Mischungszusammensetzungen und Lagerungsarten

Folgende Zemente wurden in den Untersuchungen verwendet:

Bezeichnung	Zementart	Druckfestigkeitsklasse
CEM I	Portlandzement gemäß DIN EN 197-1	CEM I 42,5 R
CEM II/B-M (S-LL)	Portlandkompositzement	CEM II/B-M (S-LL) 42,5 N
CEM III/A	Hochofenzement	CEM III/A 42,5 N
CEM I (UHPC)	Portlandzement gemäß DIN EN 197-1	CEM I 52,5 R HS/NA
CEM II/B-M (UHPC)	Portlandkompositzement	CEM II/B-M (S-LL) 42,5 N
CEM III/A (UHPC)	Hochofenzement	CEM III/A 42,5 N

Die Herstellung der Hochofenzemente bzw. der Portlandkompositzemente erfolgte durch Mischen des jeweiligen Portlandzements mit getrennt gemahlener Hüttensand bzw. mit getrennt gemahlener Hüttensand und Kalkstein. Der Hüttensandgehalt in den Hochofenzementen betrug 50 M.-%. Der Hüttensandgehalt in den Portlandkompositzementen betrug

15 M.-% und der Kalksteingehalt 20 M.-%. Die Masseangaben der Zementhauptbestandteile Hüttensand und Kalkstein beziehen sich auf die sulfatfreie Zusammensetzung. Die Zemente erfüllten die Anforderungen der DIN EN 197-1.

Es wurden zwei handelsübliche Schwindreduzierer auf Basis von Glykol (SRA1) und Glykol-ether (SRA2) sowie die beiden Wirkstoffe W1 (Dipropylenglykol) und W2 (Dipropylenglykol-tert.-butyl-ether) eingesetzt.

Zur Verbesserung der Verarbeitungseigenschaften der ultrahochfesten Betone mit einem Wasserzementwert von $w/z = 0,25$ wurde ein Fließmittel auf Polycarboxylatether-Basis verwendet. Das Fließmittel entsprach den Anforderungen der DIN EN 934-1 und der DIN EN 934-2.

Als Gesteinskörnung für die Herstellung der normalfesten Betone mit $w/z = 0,42$ und $w/z = 0,50$ kamen Rheinkies und Rheinkies mit der Sieblinie A16/B16 gemäß DIN 1045-2, Anhang U zum Einsatz. Für die Herstellung der ultrahochfesten Betone wurden Quarzmehl und Quarzsand mit einem Größtkorn von 0,5 mm verwendet.

Für die Herstellung der ultrahochfesten Betone mit $w/z = 0,25$ wurden als Zusatzstoff Silikastaub gemäß DIN EN 13263-1 mit der Bezeichnung „Elkem 983“ verwendet.

2.1 Lagerungsarten

Die Prüfkörper wurden innerhalb der ersten 24 Stunden nach der Herstellung mit HD-PE-Folien bzw. Glasplatten abgedeckt in der Schalung im Klima (20 ± 2) °C und > 95 % rel. Luftfeuchte gelagert. Danach wurden folgende Lagerungen unterschieden:

Lagerung L1: Normalklima (20 ± 2) °C und einer relativen Luftfeuchte von (65 ± 5) % (Klima 20/65)

Lagerung L2: Lagerung nach DIN EN 12390:2001-06, Anhang NA

Probekörper für Druckfestigkeits- und Elastizitätsmodulprüfung – sechs Tage auf Rosten in einem Wasserbad mit Leitungswasser von (20 ± 1) °C, danach bei einer Temperatur von (20 ± 2) °C und einer relativen Luftfeuchte von (65 ± 5) %

Probekörper für Biegezugprüfung - bis zur Prüfung im Wasserbad mit Leitungswasser von (20 ± 1) °C

Lagerung L3: konserviert in Edelstahlfolie, HD-PE-Kunststoffrohren oder in der Schalung nahezu luftdicht abgedeckt bei (20 ± 2) °C

Lagerung L4: insgesamt 5 Zyklen bis zu 504 Tagen mit wechselnder Wasser- und Luftlagerung; im Anschluss an diese 5 Zyklen wurden die Proben im Klima 20/65 gelagert; die Zyklen sind in **Tabelle 1** dargestellt

Tabelle 1 Lagerung L4: Wasser-Luft-Wechsel-Lagerung

Probenalter in Tagen bei Beendigung des Lagerungszyklus									
3	56	112	168	224	280	336	392	448	504
Zyklus 1		Zyklus 2		Zyklus 3		Zyklus 4		Zyklus 5	
Kons. 20 °C	Klima 20/65	Wasser 20 °C	Klima 20/65	Wasser 20 °C	Klima 20/65	Wasser 20 °C	Klima 20/65	Wasser 20 °C	Klima 20/65

kons.: konserviert

20/65: (20 ± 2) °C und (65 ± 5) % relative Luftfeuchte

2.2 Zusammensetzung der Betone

Die Zusammensetzung der Betone sowie die durchgeführten Untersuchungen und Lagerungen gehen aus **Tabelle 2** hervor.

Tabelle 2 Zusammensetzung der im Forschungsprojekt verwendeten Betone und daran durchgeführte Untersuchungen und Lagerungen

Zement	w/z	Zement- gehalt	Gesteins- körnung	SRA bzw. W ¹⁾	durchgeführte Untersuchungen	Lagerung
-	-	kg/m ³	-	-	-	-
1	2	3	4	5	6	7
CEM I	0,50	270	Rheinsand/ -kies SL A16/B16	SRA1 SRA2	Gesamtschwinden	L1, L2
		320		SRA1 SRA2	Gesamtschwinden mechanische Eigenschaften Frostwiderstand Chlorideindringwiderstand Gasdurchlässigkeit	L1, L2, L4 L1, L2, L3 L2 L2 (WL) L1, L2, L3
		370		SRA1 SRA2	Gesamtschwinden behindertes Schwinden (Ring-Test)	L1, L2 L1
		420		SRA1 SRA2	Gesamtschwinden	L1, L2
		500		SRA1 SRA2	Karbonatisierung	L2 mit VL7 und VL28
	0,42	320	Rheinsand/ -kies SL A16/B16	SRA2	Gesamtschwinden mechanische Eigenschaften Gasdurchlässigkeit	L1, L2, L4 L1, L2, L3 L1, L2, L3
		370		SRA2	Gesamtschwinden	L1, L2
		420		SRA2	Gesamtschwinden	L1, L2
	CEM I (UHPC)	0,25	785	Quarzsand 0-2mm	SRA2 W1 W2	autogenes Schwinden behindertes Schwinden (Ring-Test)

1) Schwindreduzierer bzw. Wirkstoff

L1, L2, L3, L4 Lagerungsvarianten L1, L2, L3 und L4 gemäß Abschnitt 2.1

WL Wasserlagerung

VL7 Vorlagerung 7 Tage in Wasser

VL28 Vorlagerung 28 Tage in Wasser

Fortsetzung Tabelle 2

Zement	w/z	Zement- gehalt	Gesteins- körnung	SRA bzw. W ¹⁾	durchgeführte Untersuchungen	Lagerung
-	-	kg/m ³	-	-	-	-
1	2	3	4	5	6	7
CEM II/B-M (S-LL)	0,50	320	Rheinsand/ -kies SL A16/B16	SRA1 SRA2	mechanische Eigenschaften Frostwiderstand Chlorideindringwiderstand Gasdurchlässigkeit	L1, L2, L3 L2 L2 (WL) L1, L2, L3
		370		SRA2	behindertes Schwinden (Ring-Test)	L1
		500	Rheinsand/ -kies SL A8/B8	SRA1 SRA2	Karbonatisierung	L2 mit VL7 und VL28
	0,42	320	Rheinsand/ -kies SL A16/B16	SRA2	Gesamtschwinden	L1, L2, L4
		370		SRA2	Gesamtschwinden	L1, L2, L4
		420		SRA2	Gesamtschwinden	L1, L2, L4
CEM II/B-M (UHPC)	0,25	785	Quarzsand 0-2 mm	SRA2 W1 W2	autogenes Schwinden behindertes Schwinden (Ring-Test)	L3 L3
CEM III/A	0,50	320	Rheinsand/ -kies SL A16/B16	SRA1 SRA2	mechanische Eigenschaften Frostwiderstand Chlorideindringwiderstand Gasdurchlässigkeit	L1, L2, L3 L2 L2 (WL) L1, L2, L3
		370		SRA2	behindertes Schwinden (Ring-Test)	L1
		500	Rheinsand/ -kies SL A8/B8	SRA1 SRA2	Karbonatisierung	L2 mit VL7 und VL28
	0,42	320	Rheinsand/ -kies SL A16/B16	SRA2	Gesamtschwinden	L1, L2, L4
		370		SRA2	Gesamtschwinden	L1, L2, L4
		420		SRA2	Gesamtschwinden	L1, L2, L4
CEM III/A (UHPC)	0,25	785	Quarzsand 0-2 mm	SRA2 W1 W2	autogenes Schwinden behindertes Schwinden (Ring-Test)	L3 L3

- 1) Schwindreduzierer bzw. Wirkstoff
L1, L2, L3, L4 Lagerungsvarianten L1, L2, L3 und L4 gemäß Abschnitt 2.1
VL7 Vorlagerung 7 Tage in Wasser
VL28 Vorlagerung 28 Tage in Wasser

3 Ergebnisse und Bewertung

3.1 Frischbetoneigenschaften

Die verwendeten Schwindreduzierer SRA1 und SRA2 hatten keinen signifikanten Einfluss auf die Konsistenz und den Luftgehalt von Frischbeton mit Portlandzement CEM I, Portlandkompositzement CEM II/B-M (S-LL) und Hochofenzement CEM III/A mit Zementgehalten zwischen 270 kg/m³ bis 420 kg/m³ und Wassermengewerten von w/z = 0,42 und w/z = 0,50.

3.2 Betondruckfestigkeit

Die Betondruckfestigkeit von Beton wurde durch die Schwindreduzierer SRA1 und SRA2 vermindert. Die Verminderung der Druckfestigkeit war von der Lagerungsart weitestgehend unabhängig. Bei den Betonen mit Portlandzement CEM I war der Einfluss von Schwindreduzierer SRA2 größer als der von Schwindreduzierer SRA1. Bei den Betonen mit Portlandkompositzement CEM II/B-M (S-LL) und Hochofenzement CEM III/A war der Einfluss von SRA1 größer als der von SRA2. Bei den Betonen mit Portlandkompositzement CEM II/B-M (S-LL) mit $w/z = 0,42$ und $w/z = 0,50$ sowie mit Hochofenzement CEM III/A und $w/z = 0,42$ verminderten die Schwindreduzierer SRA1 und SRA2 die Betondruckfestigkeit im jungen Alter (2 bis 7 Tage) mit bis zu 30 % in größerem Maße als im Alter von 28 bzw. 91 Tagen. Bei den übrigen Betonen wurde die Druckfestigkeit weitestgehend unabhängig vom Betonalter reduziert. Für den Einsatz von Schwindreduzierern in der Praxis ist auf Basis dieser Ergebnisse mit einer Verminderung der Betondruckfestigkeit um bis zu 20 % zu rechnen.

3.3 Biegezugfestigkeit

Die Biegezugfestigkeit von Beton mit Portlandzement CEM I und $w/z = 0,50$ wurde bei Lagerung L1 (Trockenlagerung) durch die Schwindreduzierer SRA1 bzw. SRA2 im Alter von 2 Tagen zunächst um rd. 10 % bzw. rd. 20 % erhöht. Mit zunehmendem Alter bzw. Lagerungsdauer verminderten beide Schwindreduzierer die Biegezugfestigkeit bei Lagerung L1 um bis zu rd. 17 % (SRA2, 28 Tage). Schwindreduzierer SRA2 verminderte die Biegezugfestigkeit stärker als Schwindreduzierer SRA1. Die anfängliche Erhöhung der Biegezugfestigkeit im Alter von 2 Tagen durch den Schwindreduzierer SRA2 wurde bei Beton mit $w/z = 0,42$ nicht festgestellt. Hier wurde die Biegezugfestigkeit durch den Schwindreduzierer SRA2 um bis zu rd. 20 % reduziert, insbesondere im Alter von 28 Tagen und bei Beton mit Portlandzement CEM I. Der Einfluss von SRA2 auf die Biegezugfestigkeit der Betone mit Portlandkompositzement CEM II/B-M (S-LL) und Hochofenzement CEM III/A war geringer und betrug bis rd. 10 %.

Bei Lagerung L2 (Wasserlagerung) war der Einfluss der Schwindreduzierer SRA1 und SRA2 auf Beton mit Portlandzement CEM I und $w/z = 0,50$ bzw. von Schwindreduzierer SRA2 auf Betone mit CEM II/B-M (S-LL), CEM III/A und $w/z = 0,42$ in seiner Charakteristik etwa vergleichbar. Die Biegezugfestigkeit wurde im Alter von 2 und 7 Tagen um bis rd. 10 % bis 20 % vermindert. Diese Minderung der Biegezugfestigkeit wurde mit zunehmendem Alter bzw. Lagerungsdauer geringer. Im Alter von 91 und 182 Tagen wurde die Biegezugfestigkeit um rd. 5 % bis 10 % reduziert. Bei Beton mit Hochofenzement CEM III/A war die Biegezugfestigkeit mit SRA2 ab einem Alter von 28 Tagen etwas genau so groß wie bei der Referenz ohne Schwindreduzierer. Die Biegezugfestigkeit von Beton mit Portlandzement CEM I und $w/z = 0,42$ wurde im Gegensatz dazu durch den Schwindreduzierer SRA2 weitestgehend unabhängig von der Lagerungsdauer um rd. 10 % bis 15 % reduziert.

3.4 Statischer Elastizitätsmodul

Der statische Elastizitätsmodul wurde im Vergleich zur Betondruckfestigkeit bzw. Biegezugfestigkeit durch die Schwindreduzierer SRA1 und SRA2 nur in geringem Maße beeinflusst. Die maximale Abminderung des statischen Elastizitätsmoduls betrug im Alter von 28 Tagen rd. 4 %.

3.5 Schwinden von Beton

Die Untersuchungen zum unbehinderten (freien) Gesamtschwinden von Beton mit Portlandzement CEM I, Portlandkompositzement CEM II/B-M (S-LL) und Hochofenzement CEM III/A mit Zementgehalten zwischen 270 kg/m^3 bis 420 kg/m^3 und Wasserzementwerten von $w/z = 0,42$ und $w/z = 0,50$ bei unterschiedlichen Lagerungs-/Trocknungsbedingungen zeigten, dass die schwindreduzierende Wirkung der handelsüblichen Schwindreduzierer SRA1 und SRA2 in Bezug auf Betone ohne Schwindreduzierer unabhängig vom Schwindreduzierer, der Zementart, dem Zementgehalt und dem Wasserzementwert mit zunehmendem Alter abnahm. Beispielhaft für Schwindreduzierer SRA2 in Beton mit Portlandzement und einem Wasserzementwert von $w/z = 0,50$ geht der Verlauf der schwindreduzierenden Wirkung über die Dauer von bis zu drei Jahren in Abhängigkeit vom Zementgehalt aus **Bild 1** hervor. Die schwindreduzierende Wirkung von SRA2 nach einem bis drei Jahren war weitestgehend unabhängig vom Zementgehalt.

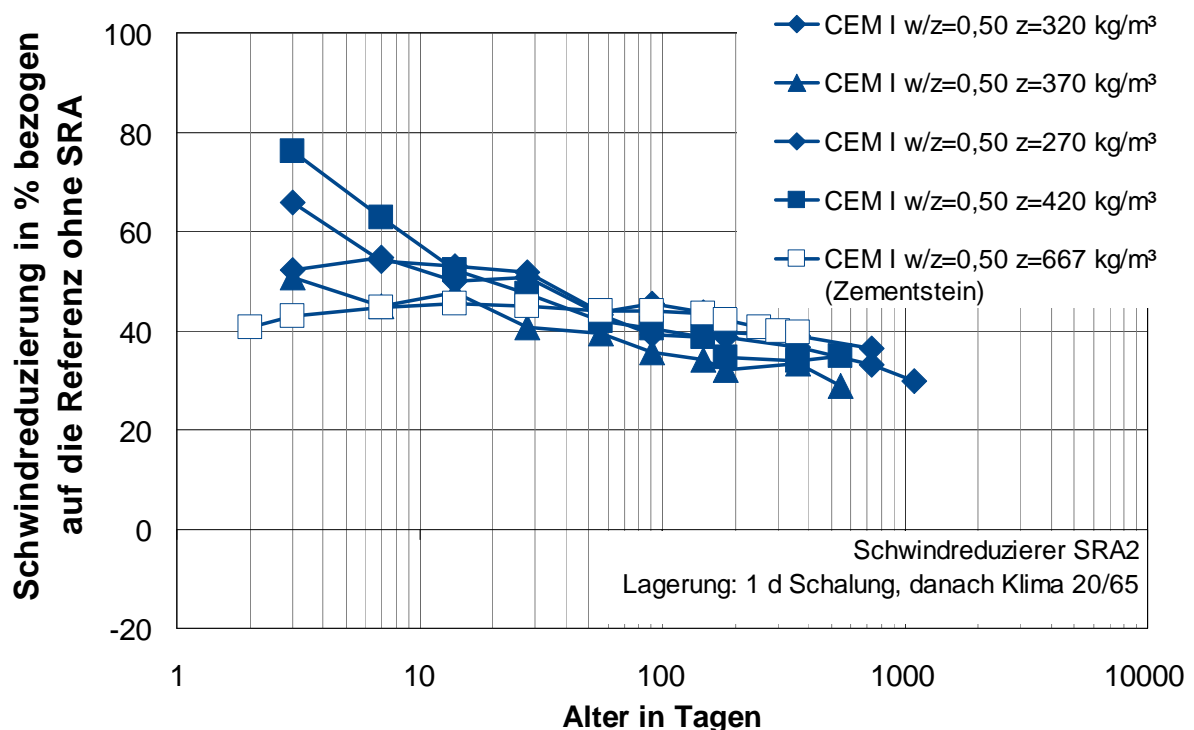


Bild 1 Reduzierung des Gesamtschwindens bezogen auf die jeweilige Referenz ohne SRA von Betonen mit 270, 320, 370, 420 und 667 (Zementstein) kg/m^3 Portlandzement CEM I mit $w/z=0,50$ und Schwindreduzierer SRA2, Lagerung L1

Die schwindreduzierende Wirkung von Schwindreduzierer SRA2 war in allen Fällen größer als die von Schwindreduzierer SRA1. Schwindreduzierer SRA1 reduzierte das Schwinden von Beton mit Portlandzement CEM I bei den Lagerungen L1 und L2 im Alter von einem Jahr um rd. 11 % bis rd. 21 %. Bei den Betonen, bei denen die Untersuchungen über einen Zeitraum von drei Jahren durchgeführt wurden, nahm die Wirkung des Schwindreduzierers im Klima 20/65 weiter ab. Bei einem Zementgehalt von 320 kg/m^3 und Lagerung L2 war die Wirkung von Schwindreduzierer SRA1 nach einer Lagerungsdauer von drei Jahren im Klima 20/65 aufgehoben. Schwindreduzierer SRA2 reduzierte das freie Gesamtschwinden im Alter von einem Jahr um rd. 24 % (CEM III/A, $z = 370 \text{ kg/m}^3$, L2) bis zu rd. 39 % (CEM I,

$z = 270 \text{ kg/m}^3$, L1). Die Wirkung war jeweils weitestgehend unabhängig von der Zementart, dem Zementgehalt, dem Wasserzementwert und der Lagerungsart.

Bei der Wasser-Luft-Wechsel-Lagerung L4 betrug die schwindreduzierende Wirkung von Schwindreduzierer SRA1 bei Beton mit Portlandzement CEM I und einem Wasserzementwert von $w/z = 0,50$ rd. 28 %. Schwindreduzierer SRA2 reduzierte das Schwinden von Beton mit den Zementen CEM I, CEM II/B-M (S-LL) und CEM III/A bei Wasserzementwerten von 0,42 und 0,50 bei einer Wasser-Luft-Wechsel-Lagerung zwischen 28 % und 40 %. Die Wirkung beider Schwindreduzierer nahm nach Abschluss der Wasser-Luft-Wechsel-Lagerung jeweils mit zunehmender Trocknungsdauer im Klima 20/65 ab.

Die Gegenüberstellung der Gesamtschwindverformung der Betone ohne und mit SRA im Alter von 364 Tagen und dem jeweiligen Zementleim/-steingehalt zeigte, dass die Betone mit SRA im Vergleich zur Referenzprobe bei gleichem Zementleimgehalt deutlich geringere Schwindmaße aufwiesen. Unter Anwendung der in **Bild 2** (beispielhaft für Beton mit Portlandzement und $w/z = 0,50$) dargestellten Korrelationsgeraden wurde überprüft, wie groß der Zementleim/-steingehalt bei den Betonen mit SRA1 bzw. SRA2 sein kann, um eine vergleichbare Gesamtschwindverformung aufzuweisen wie die Referenz. Dabei zeigte sich, dass unter Verwendung einer linearen Extrapolation, der Zementleimgehalt in Bezug auf Beton ohne SRA bis zu einem Faktor von rd. 1,7 (SRA2, CEM I, $w/z = 0,50$, L2) erhöht werden könnte. Vor diesem Hintergrund kann davon ausgegangen werden, dass Betone mit SRA mit deutlich höherem Zementleim/-steingehalt das gleiche Schwindmaß aufweisen wie zementleimärmere Betone ohne SRA, deren Verarbeitbarkeit auf Grund des geringeren Zementleimgehalts deutlich schlechter ist.

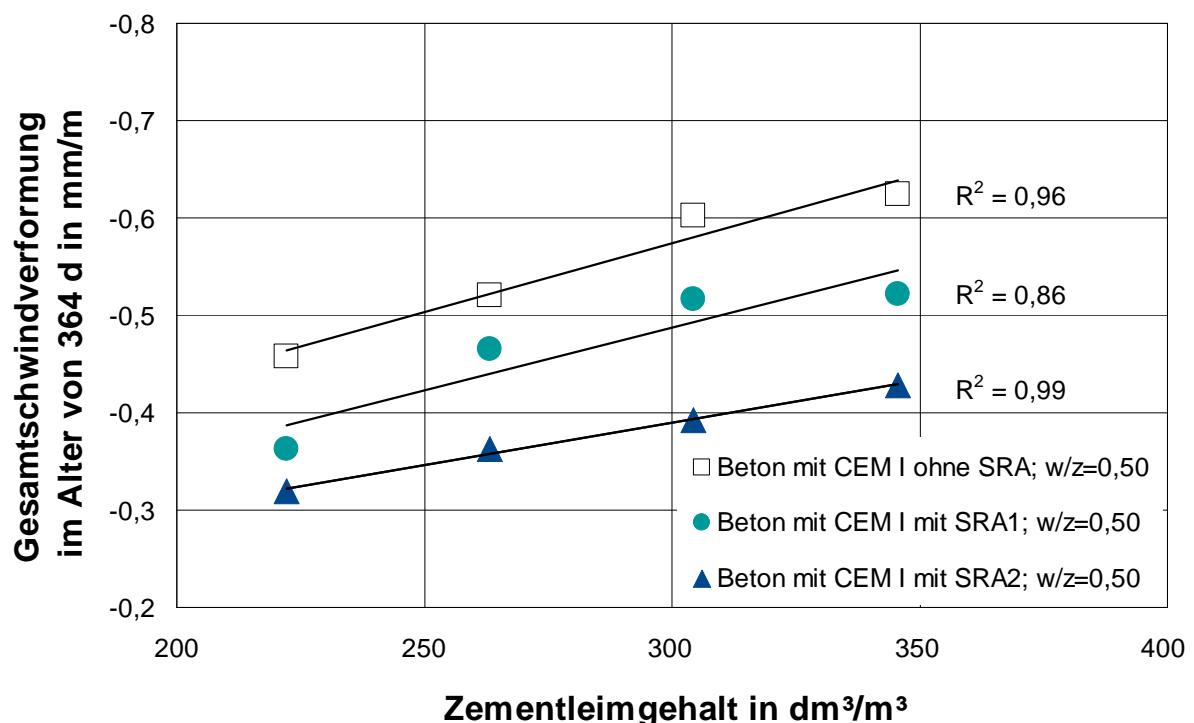


Bild 2 Gesamtschwindverformung im Alter von 364 Tagen von Beton mit $w/z=0,50$ und mit Portlandzement CEM I in Abhängigkeit des Zementleimgehalts; Referenz ohne SRA und Schwindreduzierern SRA1 und SRA2; Lagerung L2

Das autogene Schwinden von Betonen mit $w/z = 0,25$ mit Portlandzement CEM I (UHPC), Portlandkompositzement CEM II/B-M (UHPC) und Hochofenzement CEM III/A (UHPC) wurde durch den eingesetzten handelsüblichen Schwindreduzierer SRA2 und die darin enthaltenen Wirkstoffe W1 und W2 reduziert. Die schwindreduzierende Wirkung nahm unabhängig vom Schwindreduzierer, der Zementart innerhalb der ersten Stunden deutlich ab und veränderte sich ab einem Alter von 24 bis 30 Stunden nicht mehr. Bei dem Beton mit Portlandzement CEM I (UHPC) war die Wirkung von Schwindreduzierer SRA2 bzw. Wirkstoff W2 mit rd. 50 % bzw. 48 % vergleichbar. Der Wirkstoff W1 reduzierte das autogene Schwinden von Beton mit Portlandzement CEM I (UHPC) um rd. 10 %. Bei den Betonen mit Portlandkompositzement CEM II/B-M (UHPC) und Hochofenzement CEM III/A (UHPC) war die Wirkung von SRA2, W1 und W2 mit rd. 28 % bis 37 % jeweils etwa vergleichbar.

Die Untersuchungen zum behinderten Gesamtschwinden von Beton mit einem Wasserzementwert von $w/z = 0,50$ und einem Zementgehalt von 370 kg/m^3 zeigten, dass die im Ring auftretenden Dehnungen durch Schwindreduzierer SRA2 um rd. 28 % bei Beton mit Portlandzement CEM I bzw. um rd. 21 % bei Beton mit Portlandkompositzement CEM II/B-M (S-LL) verringert wurden. Die Reduzierung der Ringdehnung ist mit der Reduzierung des unbehinderten (freien) Schwindens von Beton mit $w/z = 0,50$ bzw. $w/z = 0,42$ vergleichbar. Die Untersuchungen zum behinderten autogenen Schwinden von Beton mit einem Wasserzementwert von $w/z = 0,25$ zeigten, dass durch den Schwindreduzierer SRA2 und die Wirkstoffe W1 und W2 die aufgetretenen Stauchungen bis zu einem Alter von 48 Stunden nahezu vollständig zurückgingen. Dieser Rückgang der Stauchungen kann auf Relaxationsvorgänge im Beton zurückgeführt werden.

3.6 Karbonatisierung von Beton

Die Untersuchungen zum Karbonatisierungswiderstand von Beton zeigten, dass nach einem Jahr Lagerung im Klima 20/65 die Karbonatisierungstiefe von Feinbetonen mit Schwindreduzierer unabhängig von der Zementart und der Vorlagerungsdauer geringfügig größer war als die der entsprechenden Referenzproben ohne Schwindreduzierer (s. **Bild 3**). Für die Praxis wären dadurch kaum Konsequenzen zu erwarten.

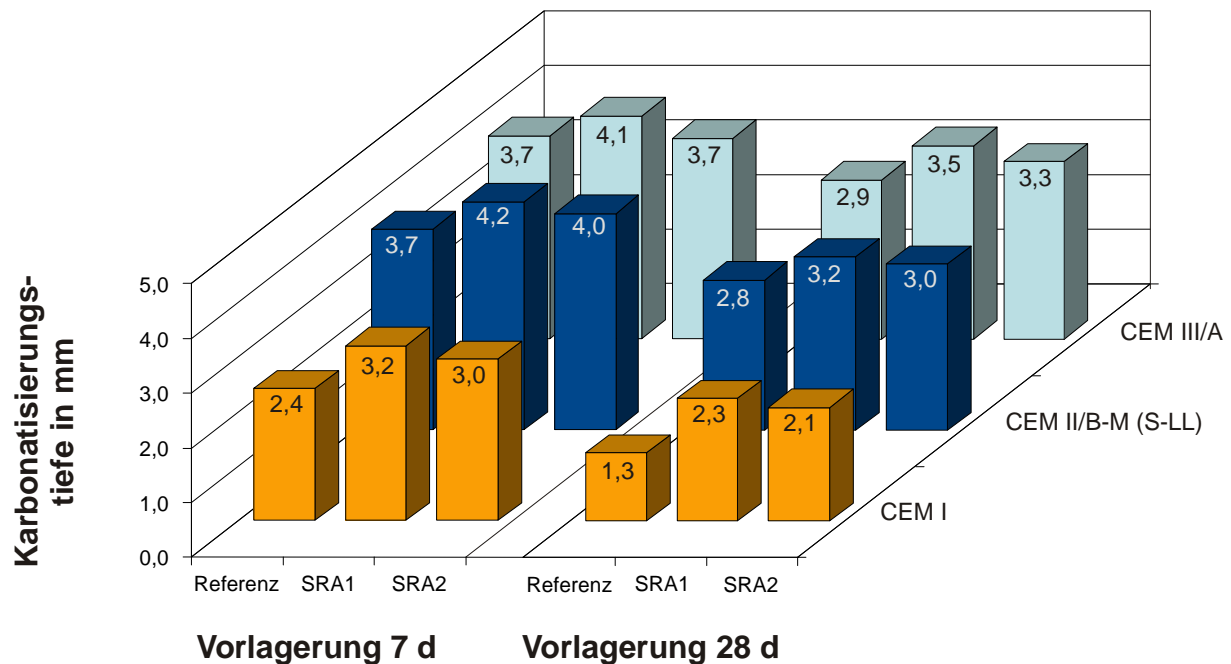


Bild 3 Karbonatisierungstiefe von Feinbeton mit $w/z = 0,50$ nach 364 Tagen Lagerung im Klima 20/65, Vorlagerung 7 und 28 Tage

3.7 Chlorideindringwiderstand

Der Widerstand gegenüber eindringenden Chloriden von Beton mit Portlandzement CEM I wurde die Schwindreduzierer SRA1 und SRA2 um bis zu 20 % erhöht. Bei den Betonen mit Portlandkompositzement CEM II/B-M (S-LL) und Hochofenzement CEM III/A war der Einfluss etwas geringer als beim Portlandzement und betrug max. rd. 15 %. Der erhöhte Widerstand gegenüber eindringenden Chloriden kann auf ein verfeinertes Porensystem der Betone mit Schwindreduzierer zurückgeführt werden, was durch Porositätsmessungen an Zementsteinproben bestätigt werden konnte.

3.8 Frostwiderstand

Die Untersuchungen zum Einfluss von Schwindreduzieren auf den Frostwiderstand von Beton zeigten, dass die Schwindreduzierer SRA1 und SRA2 den relativen dynamischen E-Modul (RDM) von Beton mit Portlandzement CEM I und Hochofenzement CEM III/A nach 28 Frost-Tau-Wechseln in geringem Maße beeinflussten. Lediglich bei Beton mit Portlandkompositzement CEM II/B-M (S-LL) wurde die innere Schädigung durch den Schwindreduzierer SRA2 nach 28 Frost-Tau-Wechseln deutlich verstärkt. Die Abwitterungsmengen waren insgesamt vernachlässigbar. Die Betone mit CEM I und CEM III/A und den verwendeten Schwindreduzieren hielten das von der Bundesanstalt für Wasserbau aufgestellte Kriterium zur Beurteilung des Frostwiderstands von Beton ein. Der Beton mit CEM II/B-M (S-LL) und Schwindreduzierer SRA2 hielt das Kriterium nicht ein. Dies zeigt, dass das Ausmaß der inneren Schädigung (relativer dynamischer E-Modul) von der Kombination von Zement und Schwindreduzierer abhängt. Nach wie vor ungeklärt ist jedoch, inwieweit die in der Laborprüfung gemessene Abnahme des relativen dynamischen E-Moduls als Maßstab für die in der Praxis zu erwartende Schädigung in der Expositionsklasse XF3 – auch bei Verwendung schwindreduzierender Zusatzmittel – herangezogen werden können. Die Untersuchungen

zum Sättigungszustand der Betone zeigten, dass die Betone mit Schwindreduzierer vor der Frost-Tau-Beanspruchung jeweils weniger Prüflüssigkeit kapillar aufnahmen als die entsprechenden Referenzbetone. Dagegen war der Anteil, der während der ersten 28 Frost-Tau-Wechsel aufgenommen wurde, bei den Betonen mit SRA größer als bei der entsprechenden Referenz. Der theoretische kritische Sättigungsgrad nach Fagerlund von 91 % wurde teilweise überschritten, ohne dass dies mit einer signifikanten inneren Schädigung einherging.

4 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens zeigen, dass Schwindreduzierer das autogene Schwinden und das Gesamtschwinden sowie das Schwinden unter wechselnden Lagerungsbedingungen von Beton reduzieren. Diese Eigenschaft kann genutzt werden, um die verbesserten Verarbeitbarkeitseigenschaften zementleimreicher Betone mit gleichzeitig geringeren lastunabhängigen hygri-schen Verformungseigenschaften zu kombinieren. Zur Reduzierung des autogenen Schwindens, dass für die Rissneigung wasserarmer Betone von großer Bedeutung sein kann, scheinen Schwindreduzierer besonders geeignet zu sein. Da die untersuchten SRA einige dauerhaftigkeitsrelevante Parameter, wie z. B. den relativen dynamischen E-Modul im CIF-Test oder die Karbonatisierungstiefe negativ beeinflussten, ist zu empfehlen, vor Verwendung für Betonbauteile in den relevanten Expositionsklassen entsprechende Eignungsprüfungen durchzuführen. Die druckfestigkeitsabmindernde Wirkung von SRA sollte bei der Festlegung der Druckfestigkeitsklasse berücksichtigt werden.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 15681 N der Forschungsvereinigung Verein Deutscher Zementwerke e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.