

# Betonwarenzement zur Reduzierung weißer und brauner Ausblühungen

Von Horst-Michael Ludwig, Karlstadt

## 1 Einleitung

Verfärbungen an Pflastersteinen stellen ein komplexes Problem dar und werden i.d.R. durch das Zusammentreffen ungünstiger klimatischer, fertigungstechnischer und stofflicher Gegebenheiten ausgelöst.

Die stoffliche Basis für weiße Ausblühungen stellt zumeist gelöstes Calciumhydroxid dar, das über das Porensystem des Steins an die Oberfläche transportiert und dort mit dem Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) der Luft zu Calciumkarbonat (CaCO<sub>3</sub>) umgesetzt wird [1, 2]. Gelegentlich sind neben den o.g. flächigen Kalkschleiern auch pelzartige weiße Ausblühungen anzutreffen. Analysen haben ergeben, dass es sich hierbei i.d.R. um Alkalisulfate bzw. -karbonate handelt, wobei der Entstehungsmechanismus dieser Ausblühungen noch nicht vollständig geklärt ist.

Ausgangspunkt für braune Verfärbungen stellen lösliche Eisenverbindungen im Beton dar. Hier ist insbesondere zweiwertiges Eisen zu nennen, welches bei höheren pH-Werten, wie sie in der Porenlösung von Betonen auf Portlandzementbasis anzutreffen sind, eine deutlich höhere Löslichkeit aufweist als dreiwertiges Eisen. Allerdings kann die eher geringe Löslichkeit von dreiwertigem Eisen durch komplexierende Reaktionen mit verflüssigenden Zusatzmitteln ebenfalls stark erhöht werden, so dass entsprechende Eisen-

verbindungen unter bestimmten Randbedingungen auch zu Braunverfärbungen führen können. Nach der Lösung des Eisens gelangt es über das Porensystem an die Betonoberfläche, wo es in Gegenwart von Sauerstoff oxidiert und die braune Verfärbung hervorruft [3, 4].

Generell kann festgestellt werden, dass für eine mögliche Verfärbung äußerst geringe Mengen an farbgebenden Substanzen notwendig sind. Vor diesem Hintergrund ist in nahezu jedem Beton das Potential für eine Verfärbung vorhanden. Ob dieses Potential wirklich zu sichtbaren Verfärbungen an der Betonoberfläche führt, hängt von einer ganzen Reihe von Faktoren ab. So muss zunächst das Verfärbungspotential über Lösevorgänge verfügbar gemacht werden. Nachfolgend müssen Betongefüge (Kapillarporosität) und Umgebungsbedingungen (Feuchtegradienten) Voraussetzungen für einen Transport dieser gelösten Ionen an die Oberfläche bieten.

## 2 Betonwarenzement CEM III/A 52,5 N

### 2.1 Reduzierung der Ausblühneigung mit Betonwarenzement

Um die Gefahr von Ausblühungen zu minimieren und auch in anderen Bereichen (z.B. Frühfestigkeit, Dauerhaftigkeit) den besonderen Anforderungen im Pflastersteinbereich

gerecht zu werden, entwickelte die Schwenk Zement KG einen Hochofenzement CEM III/A 52,5 N speziell für Betonwaren. Folgende Faktoren wurden dabei für den Anwendungsfall Betonwarenherstellung optimiert:

- Klinkerqualität
- Korngrößenverteilung Zement
- Mahlhilfequalität und -zugabemenge

Der Zement CEM III/A 52,5 N ist als Problemlöser für besonders schwierige Randbedingungen (klimatisch, fertigungstechnisch, stofflich) vorgesehen und wird bereits seit mehreren Jahren mit Erfolg eingesetzt. Dies betrifft die Reduzierung bzw. Vermeidung sowohl von braunen als auch von weißen Ausblühungen (**Bild 1**). Neben der Minimierung der Ausblühneigung der Betonwaren ist beim Einsatz des Betonwarenzements generell eine hellere Eigenfarbe der Betonerzeugnisse zu erkennen, was sich insbesondere bei farbigen Erzeugnissen sowohl kostenmäßig (Farbpigmente) als auch ästhetisch vorteilhaft bemerkbar macht (**Bild 2**). Die Ursachen für die erfolgreiche Minimierung von Verfärbungen durch den Betonwarenzement sind einerseits im stofflichen Bereich und andererseits im Bereich der Gefügedichtigkeit angesiedelt.

#### 2.1.1 Stoffpotential

Das stoffliche Potential für weiße Ausblühungen wird dadurch reduziert, dass der Hüttensandanteil im Betonwarenzement (rd. 40 %) während seiner Hydratation kein eigenes Calciumhydroxid bildet und zusätzlich Calciumhydroxid, das bei der Hydratation des Klinkeranteils entsteht, durch Hydratationsprodukte des Hüttensands gebunden wird. Hierdurch wird der Calciumhydroxidgehalt und damit das Stoffpotential für weiße Ausblühungen im Ver-



*Bild 1: Vergleich des Ausblühverhaltens von Pflastersteinen gleicher Betonzusammensetzung bei gleichen Lagerungsbedingungen: 14 Tage im abgedeckten Stapel bei Zugluft, durchschnittliche Lufttemperatur + 5 °C, durchschnittliche Luftfeuchte 73 %; links Betonwarenzement CEM III/A 52,5 N; rechts CEM I 42,5 R*



*Bild 2: Vergleich der Farbbrillanz von Pflastersteinen gleicher Betonzusammensetzung: die vier vorderen Stapel rechts: Betonwarenzement CEM III/A 52,5 N; hinterer Stapel links: CEM I 42,5 R*

gleich zu Portlandzement um etwa zwei Drittel gesenkt.

Auch im Bereich der braunen Verfärbungen wird durch den Einsatz des Betonwarenzements das Stoffpotential für eine mögliche Verfärbung minimiert. Zum einen wird durch Verringerung des Klinkeranteils der Gehalt an zweiwertigem Eisen im Zement reduziert. Zum anderen verringert sich die Löslichkeit dieses Eisenanteils durch den im Vergleich zu Portlandzement niedrigeren pH-Wert der Porenlösung. Bei Messung des Eisengehalts wurden in Zementstein aus Portlandzement teilweise bis zu viermal höhere Konzentrationen gefunden als in Zementstein aus dem Hochofenzement CEM III/A 52,5 N für Betonwaren.

### 2.1.2 Gefügeausbildung

Neben den stofflichen Faktoren trägt auch die größere Gefügedichtigkeit von Betonen auf der Basis des Betonwarenzements CEM III/A 52,5 N zur Minimierung der Verfärbungen bei. Ausschlag-

gebend hierfür ist der geringere Anteil an Kapillarporen, die im Wesentlichen die Transportwege für gelöste Stoffe aus dem Betoninneren an die Oberfläche darstellen. Abhängig von der Zusammensetzung konnte bei Verwendung des Betonwarenzements im Vergleich zu Portlandzement der Kapillarporenanteil im Beton von 13 Vol.-% bis 17 Vol.-% auf 8 Vol.-% bis 10 Vol.-% reduziert werden.

### 2.2 Kennwerte von Pflastersteinbeton mit CEM III/A 52,5 N

Dem Einsatz von Zementen mit mittleren bis hohen Hüttensandgehalten, deren Vorteile bezüglich der Verringerung der Ausblühneigung seit längerer Zeit bekannt sind, standen bislang teilweise unzureichende Frühfestigkeiten bzw. auch ein reduzierter Frost-Tausalz widerstand entgegen. Ein wesentlicher Aspekt bei der Entwicklung des Betonwarenzements bestand somit darin, auch unter ungünstigen Erhärtungsbedingungen Festigkeitsentwicklungen und Dauerhaftigkeitskenngrößen zu

erreichen, die denen von vergleichbaren Betonwaren mit Portlandzement entsprachen. In **Tafel 1** sind die wesentlichen Kenngrößen von Pflastersteinen mit dem Betonwarenzement CEM III/A 52,5 N und mit Portlandzement CEM I 42,5 R bei unterschiedlichen Frischbetontemperaturen gegenübergestellt.

Erkennbar ist, dass bei tieferen Frischbetontemperaturen Betone mit dem Portlandzement und mit dem Hochofenzement ähnliche Druck- und Spaltzugfestigkeiten aufweisen. Bei den 20 °C-Versuchen zeigte der Betonwarenzement sogar deutliche Vorteile in der Festigkeitsentwicklung. Ebenfalls positiv zu bewerten ist der sehr hohe Frost-Tausalz widerstand des Betons mit dem Betonwarenzement.

Aus dem Blickwinkel der Verringerung des Verfärbungspotentials könnte sicher der Hüttensandgehalt des CEM III/A 52,5 N noch höher eingestellt werden. Allerdings würde dies zu einer erheblichen Verringerung des Festigkeitsniveaus bei

Tafel 1: Vergleich wesentlicher Festbetoneigenschaften von Pflastersteinen bei unterschiedlichen Frischbetontemperaturen

Zement			CEM I 42,5 R			CEM III/A 52,5 N		
Temperatur	°C		5	10	20	5	10	20
Druckfestigkeit nach								
	12 Stunden	N/mm <sup>2</sup>	3,2	4,6	9,1	3,4	4,8	20
	2 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	33	43	53	32	47	61
	28 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	62	64	75	63	67	79
Spaltzugfestigkeit	28 Tage	N/mm <sup>2</sup>	3,8	4,2	4,5	4,1	4,4	5,9
CDF-Abwitterung	28 FTW	g/m <sup>2</sup>	742	896	870	498	568	590

tiefen Temperaturen und zu einer deutlichen Verschlechterung des Frost- und Tausalzwidehrstands führen [5]. Der eingestellte Hütten-sandgehalt von etwa 40 % ist somit eine sinnvolle Obergrenze für Betonwarenzemente, die einerseits die Ausblühneigung von Betonwaren reduzieren sollen, andererseits aber ein mit Portlandzement vergleichbares Festigkeits- und Dauerhaftigkeitsniveau im Beton sicherzustellen haben.

### 2.3 Herstellung des Betonwarenzements

Um die vorteilhaften Eigenschaften dieses Hochofenzements CEM III/A 52,5 N für Betonwaren in hoher Gleichmäßigkeit sicherstellen zu können, wird bei der Produktion eine erweiterte Qualitätssicherung bezüglich der über die Zementnorm hinausgehenden qualitätsrelevanten Kenngrößen durchgeführt.

So werden von den für die Herstellung dieses Zements ausgewählten Klinkerchargen kontinuierlich der Phasenbestand nach Rietveld und der FeO-Gehalt bestimmt. Darüber hinaus wird in regelmäßigen Abständen auch das Verfärbungspotential des Zements am Mörtel nach dem HTC-Verfahren [4] erfasst. In weite-

ren Versuchen werden außerdem an den Betonzusammensetzungen regelmäßig die Verarbeitbarkeit und das Verhalten des Betonwarenzements im Beton bei tiefen Temperaturen bestimmt.

### 3 Zusammenfassung

Die Verfärbung von Betonwaren stellt ein komplexes Problem dar, das nur gelöst werden kann, wenn sowohl die fertigungstechnischen als auch die stofflichen Parameter optimal eingestellt werden. Auf der stofflichen Seite kann das Verfärbungspotential von Betonwaren – außer von der Gesteinskörnung und den Betonzusatzstoffen – auch durch Zement beeinflusst werden.

Mit der Entwicklung des Betonwarenzements CEM III/A 52,5 N konnte das stoffliche Verfärbungspotential durch den Zement auf ein Minimum reduziert werden. Die positiven Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass beim Einsatz dieses Zements auch schwierige fertigungstechnische und klimatische Randbedingungen zu meistern sind und das Entstehen sowohl von weißen Ausblühungen als auch von braunen Verfärbungen deutlich verringert werden konnte.

### 4 Literatur

- [1] Kresse, P.: Ausblühungen – Entstehungsmechanismus und Möglichkeiten ihrer Verhinderung. Betonwerk + Fertigteil-Technik 53 (1987) H. 3, S. 160-168.
- [2] Nicolay, J.: Ausblühungen und Kalkausscheidungen bei Beton. Beton-Fertigteile 10 (1982) H. 4, S. 7-11.
- [3] Manns, W.; Öttl, Ch.: Zur Braunverfärbung von Betonwaren. Betonwerk + Fertigteil-Technik 68 (2002) H. 11, S. 32-47.
- [4] Härdtl, R.; Bolte, G.; Tax, M.; Dienemann, W.: Verringerung des Braunverfärbungsrisikos von Betonwaren. Betonwerk + Fertigteil-Technik 69 (2003) H. 11, S. 34-46.
- [5] Ludwig, H.-M.; Stark, J.: Frost-Tausalz-Widerstand von HOZ-Betonen. Beton 47 (1997) H. 11, S. 646-656.