

# Neubau eines Zementsilos in Gleitschalungsbauweise mit Hochofenzement

Von Joachim Heuschild, Sehnde-Höver

Einbau von Innenzylindern in die vorhandenen Silos. Genau diese Innenzylinder hatten sich 2002 vom alten Silo gelöst und waren um zwei Meter abgesackt (Bilder 2 bis 4).

Sowohl 1996 als auch 2002 durchgeführte Untersuchungen ergaben, dass der Beton an sich qualitativ kei-

## 1 Bestandsaufnahme

Im Jahr 2002 wurden im Werk Höver der Holcim (Deutschland) AG massive Schädigungen an den Zementsilos 7 und 8 festgestellt, die eine weitere Nutzung ausschlossen. Bereits 1996 wurden die 1991 errichteten Silos durch Betonabplatzungen stark geschädigt. Bei der seinerzeit vorgenommene Instandsetzung erfolgte zum einen den Ausgleich der Abplatzungen an der Außenwand mit Spritzbeton (Bild 1) und zum anderen (aus statischen Gründen) der



*Bild 2: Absacken des Innenzylinders 2002 um 2 m ...*



*Bild 3: ... und Zerstörung des Betonrings am Silofuß - von oben ...*



*Bild 1: Instandsetzungsarbeiten 1996 an Silo 7: Innenzylinder und Spritzbetonauftrag außen (dunkel gefärbt)*



*Bild 4: ...und von vorne!*

ne Mängel aufwies. Die Schadensursache war somit unklar. Weitere Untersuchungen ergaben, dass die Massenströme in den Silos beim Abzug wesentlich größer waren, als die, die nach dem damals gültigen Vorschriftenwerk für die Bemessung zugrunde gelegt worden waren. Dadurch ergaben sich auch deutlich größere Beanspruchungen. Die dadurch hervorgerufenen nicht abgedeckten Biegemomente führten zu einer „Auflösung“ des inneren Zylinders durch schalenförmige Abplatzungen der Betonüberdeckung an der Kontaktfläche zum Außenzylinder in einer Silohöhe zwischen 20 m und 25 m (Bild 5).

Der Schadensfall in Höver und vergleichbare Schäden in anderen Unternehmen waren u.a. Anlass, die Norm für die Lastannahmen zur Bemessung großer Silos zu überarbeiten. Dieser Teil 6 der Bemessungsnorm [1] trat im März 2005 in Kraft.

## 2 Abriss von Silo 7

Die 2002 festgestellten Schäden an den Zementsilos 7 und 8 im Werk Höver waren so gravierend, dass nur einen Abriss der schlaff bewehrten Bauwerke in Frage kam. Zum Jahreswechsel 2004/2005 wurde mit dem Abriss von Silo 7 begonnen.

Aus Platz- und Sicherheitsgründen und da der Betrieb des Zementwerks ungestört weiterlaufen musste, wurde das Silo „scheibchenweise“ abgetragen. Dazu wurde die Behälterwand mit einer Diamantsäge horizontal in 2 m hohe Streifen (Bild 6) und vertikal in Blöcke mit 6 m Länge zersägt und mit einem Kran abgehoben (Bild 7).

Da das neue Zementsilo auf den vorhandenen Siloboden aufbetoniert werden sollte, wurde der letz-



*Bild 5: Schalenförmige Abplatzung der Betonüberdeckung am Innenzylinder*

te Schnitt etwa einen halben Meter über dem Boden angesetzt, um die noch vorhandene Rest-Wandbewehrung als Anschlussbewehrung für die neue Silowand nutzen zu können. Der Abtrag des Betons und das Freilegen der Bewehrung erfolgte mit einem Hochdruckwasserstrahl mit 2.000 bar, mit dem der Beton „weg-

geschossen“ wurde. Entsprechend sicher musste auch der gesamte Bereich gegen weggeschleuderte Betonbrocken abgedeckt werden (Bilder 8 bis 10).

Der Abriss von Silo 7 bis auf das Niveau des Silobodens war im Mai 2005 abgeschlossen.



*Bild 6: Horizontaler Schnitt in die Behälterwand ...*



Bild 7: ...und Abbau mit einem Kran.



Bild 8: Freilegung der Anschlussbewehrung ...



Bild 9: ... durch Abtrag des Betons mit Hochdruckwasserstrahl ...



Bild 10: ... mit entsprechender Einhausung.

### 3 Planung des Neubaus

Der Neubau der Silos sollte im Gleitschalungsverfahren erfolgen. Abweichend von den alten Silos handelt sich bei dem Neubau von Silo 7 – wie auch bei dem danach erstellten Silo 8 – um eine vorgespannte Konstruktion. Die Vorspannkabel wurden in vier um jeweils 90° versetzten Lisenen verankert (Bild 11). Die Lisenen sind Bestandteil des Silokörpers

und wurden während des Gleitens mit hochgezogen (Bild 12).

Mit der Planung, mit der Bemessung, der Ausschreibung und auch mit der Bauüberwachung waren zwei schweizerische Ingenieurbüros beauftragt worden. Von den beiden Ingenieurbüros waren einige Anforderungen und Prüfverfahren für die Bauausführung und den Beton definiert worden, die nicht Be-

standteil des europäischen Normenwerks sind und somit in Deutschland nicht bekannt und auch nicht gültig waren. Gemeinsam mit dem Bereich Technical Marketing der Holcim (Deutschland) AG wurden die entsprechenden Passagen in den Planungsunterlagen überarbeitet und den deutschen Vorschriften angepasst. Dies alles geschah in enger Abstimmung mit dem Bereich Anlagenplanung des Zementwerks in Höver.



*Bild 11: Gleiten des vorgespannten Silos 7*

#### 4 Anforderungen an den Beton

Für den Beton des Silokörpers wurden die Festigkeitsklasse C35/45 und die Expositionsklassen XC4 und XF1 festgelegt. Die Festigkeitsklasse ergab sich ausschließlich aus statischen Erfordernissen. Das Besondere an diesem Beton war, dass er den Anforderungen des Gleitschalungsbau gerecht werden musste (Bild 13), also nach etwa 4 bis 5 Stunden eine Grünstandsfestigkeit erreicht sein musste, die eine nachträgliche Verformung des jungen Betons ausschloss. Gleichzeitig musste die Oberfläche aber noch so weit bearbeitbar sein, dass der Beton noch abgerieben werden konnte (Bild 14).

Mit dem Bau der Silos wurde ein Bauunternehmen aus Burgdorf beauftragt. Der Transportbeton wur-



*Bild 12: Die Lisenen gleiten mit.*



*Bild 13: Ausreichende Festigkeit nach 5 Stunden*



*Bild 14: Trotzdem ist der Beton noch abreibbar.*

Tafel 1: Betonzusammensetzung des Gleitbetons für Silo 7

Betonfestigkeitsklasse Expositionsclassen Konsistenzbereich		C35/45 XC4, XF1 F 3
Zementart und Festigkeitsklasse Zementgehalt z	kg/m <sup>3</sup>	CEM III/A 42,5 N 380
Wassergehalt (w/z) <sub>eq</sub>	kg/m <sup>3</sup>	182 0,46
Gesteinskörnung		
Sand 0/2mm	kg/m <sup>3</sup>	601
Kiessand 2/8mm	kg/m <sup>3</sup>	258
Kies 8/16mm	kg/m <sup>3</sup>	412
Kies 16/32mm	kg/m <sup>3</sup>	446
Gesamtgehalt	kg/m <sup>3</sup>	1.717
Zusatzstoff		
Art		Steinkohlenflugasche
Gehalt	kg/m <sup>3</sup>	40
Zusatzmittel		
Art		BV
Gehalt	% von z	0,45
Betondruckfestigkeit nach		
28 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	46
56 Tagen	N/mm <sup>2</sup>	54

de von einem Transportbetonwerk in unmittelbarer Nachbarschaft des Zementwerks in Höver geliefert, so dass die Anlieferung sowohl logistisch als auch zeitlich problemlos war. Die Prüfstelle des Transportbetonherstellers erarbeitete gemeinsam mit dem Technical Marketing des Bauherrn eine geeignete Betonzusammensetzung. Kernpunkt war die Auswahl eines geeigneten Zements. Für die zielsichere Herstellung eines Betons der Festigkeitsklasse C35/45 kam nur ein Zement der Festigkeitsklasse 42,5 in Frage. Da im Betonierzeitraum von Ende Mai bis Mitte Juni mit sommerlichen Temperaturen gerechnet werden musste, schien

die Verwendung von Portlandzement CEM I 42,5 R nicht zweckmäßig zu sein. Besser abstimmbare auf die zu erwartenden hohen Temperaturen war ein Beton mit hüttensandhaltigem Zement. Daher wurde der seit Anfang des Jahres in Höver hergestellte Hochofenzement CEM III/A 42,5 N vorgeschlagen.

Die Eignungsversuche im Labor und auch die Herstellung von größerformatigen Probelöcken vor Ort zeigten, dass der mit dem CEM III/A 42,5 N hergestellte Beton den Anforderungen sowohl hinsichtlich der Verarbeitbarkeit des Frischbetons als auch hinsichtlich der

Druckfestigkeit des Festbetons gerecht wurde. Die Zusammensetzung des Gleitbetons zeigt Tafel 1.

## 5 Betonage des Silos

Am 30. Mai 2005 begann das Betonieren des Silos und damit auch ein Problem! Entgegen der erwarteten hochsommerlichen Temperaturen wurden nachts zum Teil deutlich weniger als 10 °C gemessen. Durch eine Warmwasserzugabe und eine damit verbundene Erhöhung der Frischbetontemperatur konnte die erforderliche Leistungsfähigkeit des Betons mit dem Hochofenzement CEM III/A 42,5 N trotzdem sichergestellt werden.

Der Beton wurde mit Kübeln eingebaut (Bild 15) und mit einem Schlauch in die Schalung eingefüllt (Bilder 16 und 17).

Nach zehn Tagen ununterbrochenen Betonierens und Gleitens waren die Betonarbeiten für den Silokörper abgeschlossen, Tafel 2. Der gesamte Betoneinbau verlief ohne Zwischenfälle. Dies war sicher auch ein Ergebnis der guten Vorbereitung, bei der alle Partner – vom Bauherrn und Planer über Bauunternehmer und Überwacher bis hin zum Betonlieferanten und Bindemittelhersteller – an einem Tisch saßen. Der Begriff „Bauteam“ war bei der Durchführung dieses Bauvorhabens mit Sicherheit zutreffend.

Der Ablauf zeigt aber auch, was Hochofenzement zu leisten vermag (Bild 18).

## 6 Literatur

- [1] DIN 1055-6:2005-03 Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 6: Einwirkungen auf Silos und Flüssigkeitsbehälter.



Bild 15: Einbau des Betons mit Kübel ... Bild 16: ... und Schlauch ...



Bild 17: ... in die Schalung



Bild 18: Beton – wohin man sieht

### Tafel 2: Projektdaten

Außendurchmesser	18,6 m
Höhe über Gelände	63,5 m
Höhe des neuen Silokörpers	48,26 m
Silowanddicke	0,38 m
Betonmenge für den Gleitbau	rd. 1.150 m

### Bauschild

Bauherr	Holcim (Deutschland) AG
Tragwerksplanung	TSW – Trachsel, Schibli, Waldner + Partner AG, Olten (CH) Urs Hauser AG, Ingenieurbüro für Hoch- und Tiefbau, Kleindöttingen
Bauunternehmung	Wassmann & Söhne GmbH, Burgdorf
Transportbeton	TBS – Transportbeton Sehnde GmbH & Co KG, Werk Höver