



WIN

Wirtschaftsverband
Mineralische Nebenprodukte e.V.

ANWENDUNGSBERICHT

ELBPHILHARMONIE – HOHE BETONQUALITÄT MIT FLUGASCHE



Bild 1: Blick in den Konzertsaal der Elbphilharmonie Hamburg im Bauzustand. Foto: Elbphilharmonie Hamburg / Oliver Heissner

Als am 11. Januar 2017 die Hamburger Elbphilharmonie mit einem grandiosen Konzert eröffnet wurde, dachte kaum jemand an die besonderen Aufgabenstellungen beim Bau des Konzerthauses in der Hamburger HafenCity. Doch ohne die umsichtige Planung des Architekturbüros Herzog & de Meuron, den Einsatz des „unerschütterlichen“ Baustoffs Beton (mit Flugasche) und eine „Weiße Haut“ aus Gipsfaserplatten mit (REA-Gips) wäre dieses „Amphitheater der Tonkunst“, wie es der damalige Bundespräsident Joachim Gauck bezeichnete, nicht realisierbar gewesen [1].

Am Anfang des Projekts stand die Idee eines Hamburger Architekten und Projektentwicklers, den 1966 erbauten Kaispeicher A, ein prägendes Bauwerk auf einem Höft

zwischen Sandtorhafen und Grasbrookhafen, zum Konzerthaus in der HafenCity umzubauen. Der von ihm angeregte Entwurf des renommierten Basler Architekturbüros Herzog & de Meuron überzeugte Politiker und Bürger: Wie ein Hahnenkamm sollte ein Neubau auf den Backsteinsockel des bestehenden Gebäudes aufgesetzt werden.

Dafür musste zunächst der Altbau komplett entkernt und die Gründung durch 620 zusätzliche Stahlbetonpfähle als Teilverdrängungspfähle für das zusätzliche Gewicht ertüchtigt werden. Insgesamt kamen 63.000 m³ Beton zum Einsatz, der mit ca. 4.000 t Steinkohlenflugasche hergestellt wurde. Die Bauteile aus Beton mit ihrer hohen Masse bilden den schwingungstechnisch günstigen Kern des Konzerthauses.

LOGISTISCHE MEISTERLEISTUNG

Die Insellage der Baustelle, enge Zufahrtsstraßen, wenige Brücken und zahlreiche Baustellen in der boomenden HafenCity stellten schon beim Entkernen des Altbaus hohe Anforderungen an die Logistik. Immerhin mussten 18.000 m³ Abraum abtransportiert und 12.000 m³ Beton allein für das Fundament der Elbphilharmonie eingebaut werden [2]. Die Transportbeton-Liefergemeinschaft von Holcim

und HeidelbergCement entschied sich dafür, zwei mobile Transportbetonwerke in der HafenCity aufzustellen und die Baustelle von dort aus über kurze Transportwege zu beliefern. Da auf dieser engen Landspitze kaum Platz für die Transportbetonfahrmaschine zur Verfügung stand, mussten teilweise bis zu 100 m bis zu den Einbaustellen mit Pumpleitungen überbrückt werden.

BETON FÜR DIE MASSIGE FUNDAMENTPLATTE

Bei der sehr massigen, bis zu 3 m dicken Fundamentplatte musste die Hydratationswärmeentwicklung des Betons in einem verträglichen Rahmen gehalten werden. Bei der Hydratation von Zement wird Wärme freigesetzt. Bei dicken Betonbauteilen kann es dabei zu hohen Temperaturunterschieden zwischen dem Kern und der Bauteiloberfläche kommen. Die dabei auftretenden Zwangsspannungen durch behinderte Verformungen können zu Rissen führen, welche die Wasserundurchlässigkeit und/oder die Dauerhaftigkeit des Bauteils gefährden. Die Hydratationswärmeentwicklung muss daher so gering wie möglich gehalten werden, um die Entstehung größerer Risse zu vermeiden. Durch die Verwendung von Flugasche kann die Hydratationswärmeentwicklung bezogen auf das Bindemittel (z + f) gezielt verringert werden (Bild 2) [3].

Die Liefergemeinschaft entwickelte hierfür einen Beton C30/37 mit 240 kg/m³ Hochofenzement CEM III/A 32,5 N-LH/NA und 70 kg/m³ Flugasche, der über die lange Strecke gepumpt werden musste.

Ein pumpfähiger Beton sollte einen ausreichenden Mehlkorngelalt aufweisen, damit der auf den Beton ausgeübte Druck nicht über das Korngerüst der Gesteinskörnung, sondern über den Feinmörtel übertragen wird. Bei der Erhöhung des Mehlkorngelalts über höhere Zementgelalte ist zu berücksichtigen, dass damit im Allgemeinen auch die Hydratationswärmeentwicklung und Schwindneigung des Betons steigen. Wird Flugasche zur Steuerung des Mehlkorngelalts eingesetzt, werden diese negativen Effekte vermieden.

Der Mehlkorngelalt des hier eingesetzten Betons war relativ gering, so dass ein weiterer Vorteil zum Tragen kam: Mit dem Einsatz von Flugasche in einer gegebenen Betonmischung verringert sich der Wasseranspruch zur Erzielung eines bestimmten Ausbreitmaßes, das als Maßstab für die Verarbeitbarkeit eines Frischbetons dient (Bild 5) [3].

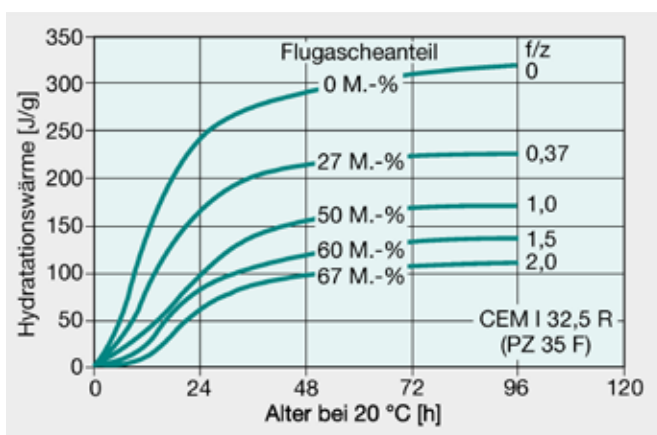


Bild 2: Hydratationswärmeentwicklung von Mörteln im Thermosflaschenversuch bei unterschiedlichen Flugaschegehalten [1]



Bild 3: Ausbreitmaß. Foto: VDZ

BETONTECHNISCHE KONZEPTE FÜR WÄNDE UND DECKEN

Diese Vorteile bei der Pumpfähigkeit von Beton führten auch bei den neu zu erstellenden Wänden und Decken der Elbphilharmonie dazu, dass Betonzusammensetzungen mit Flugasche zum Einsatz kamen.

Da die 30 m hohen Außenwände des Altbaus erhalten werden sollten, musste der Beton auch für die in geringer Höhe über dem Gelände liegenden Bauteile mit Betonpumpen gefördert werden. Dabei wurden Förderhöhen bis zu 100 m erreicht. Aufgrund der besonderen Baustellensituation kam eine spezielle Autobetonpumpe zum Einsatz, bei der über eine Schnellverbindung der Verteilermast am Mastbock abmontiert werden kann. Dieser kann dann an anderer Stelle auf Rohrsäulen gesetzt werden und deckte die gesamte Betonierfläche ab (s. Bild 4). Die Verbindung wird zwischen Betonpumpe und Verteilermast wird über Rohrleitungen und die Rohrsäulen hergestellt. Um alle Bauteile mit dem 24 m langen Ausleger des Verteilermasts erreichen zu können, mussten drei Rohrsäulen installiert werden. Der Verteilermast wurde je nach Betonierfeld in nur zwei Stunden Umbauzeit per Kran immer auf eine der drei Rohrsäulen gesetzt, so dass ein Pumpsystem mit einer Reichweite von bis zu 180 m zur Verfügung stand [4] [5].

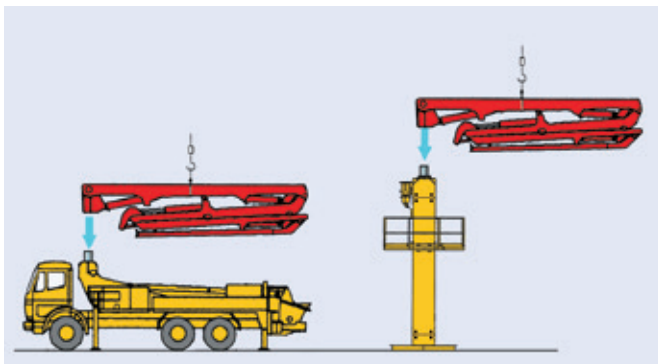


Bild 4: „Multimastsystem“ bestehend aus einer Autobetonpumpe M 28-4 mit einer Reichhöhe von 28m (24 m Mast + 4 m Fahrzeughöhe) [5]. Foto: Putzmeister

Dabei kam ein auf das Pumpsystem abgestimmter Standardbeton C30 / 37 mit Flugasche zum Einsatz. Besonders bei den schrägen und filigranen Wänden war die Fließfähigkeit bei langer Pumpstrecke und die geringe Verdichtungsarbeit beim Betonieren mit den Konsistenzklasse F5 bzw. F6 von großer Bedeutung. Um eine helle Tönung der Sichtbetonflächen zu erreichen, wurde bei den 41.000 m³ Beton für Bauteile in Sichtbetonqualität ein Hochofenzement verwendet [6].

Für den Sichtbeton der tragenden Wände der Treppenhäuser und Fahrstuhlschächte wurde ein Beton der Druckfestigkeitsklasse C50 / 60 eingebaut. Die hochbelasteten Stützen, welche die Lasten des Konzertsaals abtragen, waren

gleichfalls in hoher Sichtbetonqualität auszuführen. Etwa 1.000 m³ Hochfester Beton C80 / 95 wurde eingesetzt. Hochfester Beton erreichen die geforderten Druckfestigkeiten in erster Linie durch ein dichtes Gefüge. Um eine lückenlose Kontaktübertragung der Kräfte sicherzustellen, ist das Korngerüst so aufzubauen, dass alle Räume zwischen den Gesteinskörnungen gefüllt sind.

Gefordert war auch eine gute Entmischungsstabilität der Betone bei fließfähiger bis sehr fließfähiger Konsistenz [6]. Betontechnologisch stellt dies hohe Anforderungen, da Hochfester Betone mit Wasserzementwerten zwischen 0,20 und 0,35 hergestellt werden. Die geforderte Konsistenz von F3 oder weicher kann dann nur durch Einsatz verflüssigender Betonzusatzmittel sichergestellt werden. Ergänzend kann die Steuerung der Verarbeitbarkeit des Frischbetons über den Gehalt an „Leim“ im Frischbeton erfolgen, der aus Mehlkorn und Wasser besteht. Der Einsatz von Flugasche ist bei derartigen Anwendungen in mehrfacher Hinsicht vorteilhaft. Bei einer gegebenen Betonmischung mit Flugasche verringert sich der Wasseranspruch zur Erzielung eines bestimmten Ausbreitmaßes. Der Frischbeton kann so besser verarbeitet werden.

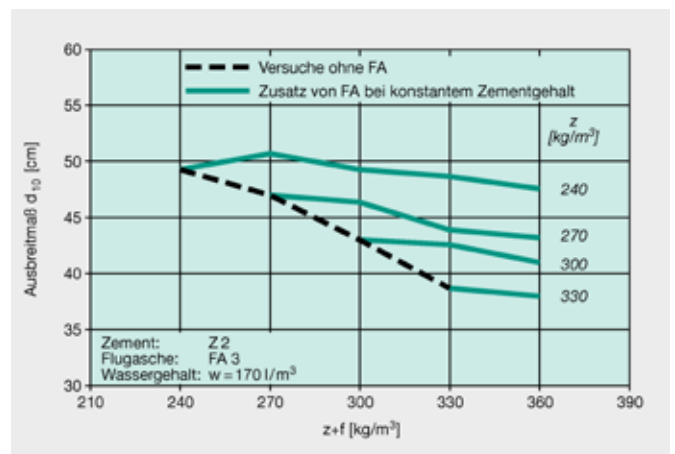


Bild 5: Einfluss von Flugasche auf das Ausbreitmaß von Betonen mit konstantem Wassergehalt $w = 170 \text{ l/m}^3$ [1]

Versuche haben auch ergeben, dass die Viskosität des Bindemittels durch Flugasche erhöht wird. Dies verringert das Wasserabsondern und verbessert die Entmischungsstabilität des Frischbetons [3]. Diese Gründe führten auch beim Hochfesten Beton für die Elbphilharmonie dazu, eine Betonzusammensetzung mit ca. 80 kg / m³ Flugasche zu verwenden. Für den Hochfesten Beton gab es spezielle Qualitätssicherungs- bzw. Prüfpläne für das herstellende Transportbetonwerk Eidelstedt und die Baustelle [6]. In diesem Werk wurde bei Bedarf ausschließlich dieser Spezialbeton produziert.

LITERATURHINWEISE

- [1] Norbert Fiebig: Architektur – Die Elbphilharmonie.
In TB-iNFO 67, Juni 2017, S. 11f
- [2] Holcim (Deutschland) GmbH: Elbphilharmonie
Hamburg: Baustoffe von Holcim liefern starkes
Fundament für gute Töne. Pressemitteilung vom
9. Januar 2017
- [3] Lutze, Dietmar; Berg, Wolfgang vom: Handbuch Fluga-
sche im Beton. Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf
2009
- [4] HeidelbergCement AG: Elbphilharmonie, Deutschland.
<https://www.heidelbergcement.com/de/elbphilharmonie>
- [5] Putzmeister Concrete Pumps GmbH: MXR Multimast –
Verwandlungskünstler auf der Baustelle
- [6] Elbphilharmonie November 2017: Blick zurück mit Stolz
(Interview mit Dimitri Prudovski und Wolfgang Henze).
<https://perspektiven.holcim.de/projekte/blick-zurueck-mit-stolz/>
Holcim (Deutschland) GmbH



WIN
Wirtschaftsverband
Mineralische Nebenprodukte e.V.

Anschrift Tannenstraße 2, 40476 Düsseldorf
Telefon 0211 4578341
E-Mail service@win-ev.org
Webseite www.win-ev.org

Hinweis: Diese Informationen sind mit großer Sorgfalt und nach bestem Wissen zusammengestellt, eine Haftung kann jedoch nicht übernommen werden.