

Betonentwicklung für den Naturzugkühlturm des Steinkohlekraftwerks Datteln 4

Von Matthias Meißner, Herten, Werner Schultz, Hemer, Dr. Ditmar Hornung, Wiesbaden, und Martin Büchter, Essen

1 Ausgangssituation

Mit dem Baubeginn Anfang 2007 errichtet das Energieversorgungsunternehmen E.ON als Bauherr am Standort Datteln ein neues Steinkohlekraftwerk. Die dort bestehenden Kraftwerksblöcke 1 bis 3 haben ihr wirtschaftliches und technisches Laufzeitende erreicht und werden deshalb durch ein hocheffizientes Kraftwerk ersetzt. Mit seinem Wirkungsgrad von mehr als 45 % soll der neue Kraftwerksblock Datteln 4 Maßstäbe in Sachen Energieeffizienz und Klimaschutz bei der Kohleverstromung setzen, denn durch den hohen Wirkungsgrad werden natürliche Ressourcen geschont und der Kohlendioxid-Ausstoß deutlich gemindert. Die Umweltbilanz der Emscher-Lippe-Region soll sich dadurch um mehr als 20 % verbessern. Außerdem wird das Kraftwerk Datteln 4 auch Fernwärme für die Region nach dem so genannten Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung erzeugen. Fertigstellung und Inbetriebnahme sind für Anfang 2011 geplant. Die installierte elektrische Leistung (brutto) des Kraftwerks wird dann 1.100 MW betragen.

Die bei der Bereitstellung der elektrischen Energie verfahrensbedingt entstehenden Abgase sollen einer mehrstufigen Behandlung unterzogen werden. Im Einzelnen sind dies:

- Stickoxidminderung durch eine SCR-DeNO_x-Anlage
- Entschwefelung durch Kalkwäsche
- Entstaubung durch eine Elektrofilteranlage
- Abgasableitung durch den Naturzugkühlturm (NZK)

2 Betontechnologische Herausforderungen

Der Naturzugkühlturm (NZK) wird sowohl zur Abkühlung des Wassers als auch zur Abgasableitung genutzt. Die auf der Innenseite des Kühlturms zu erwartenden Kondensatwässer sind chemisch sauer und können sehr niedrige pH-Werte aufweisen. Da der Kühlturm nicht beschichtet werden soll, müssen die Betonoberflächen des Naturzugkühlturms einem pH-Wert bis ca. 3,5 dauerhaft standhalten. Derart widerstandsfähige Betone wurden im Kraftwerksbau erstmals beim Neubau der Naturzugkühltürme in Niederaußem und Neurath gefordert.

Für diese Bauvorhaben wurde eine spezielle Betonzusammensetzung entwickelt und verwendet, die im Bindemittelbereich folgendermaßen zusammengesetzt war:

- 248 kg/m³ CEM I 42,5 R-HS/NA
- 74 kg/m³ Steinkohlenflugasche EFA-Füller
- 28 kg/m³ (Feststoffanteil) Mikro-silica-Slurry

Diese Zusammensetzung wird im Folgenden als „NZK-Niederaußem-Rezeptur“ bezeichnet.

3 Entwicklung der Betonzusammensetzung

Der Bauherr definierte in der Ausschreibung für den Naturzugkühlturm Datteln 4 die maßgebenden Anforderungen und forderte den Nachweis der korrespondierenden Eigenschaften im Rahmen eines Prüfprogramms. Die Anforderungen bezogen sich dabei nicht nur auf unter Laborbedingungen nachzuweisende Betoneigenschaften, sondern auch auf die Betonoberflächen des fertiggestellten Bauwerks. Das Prüfprogramm zum Nachweis der geforderten Betoneigenschaften wurde an der Materialprüfungsanstalt (MPA) Berlin-Brandenburg GmbH, Berlin, durchgeführt. Hierbei wurden mehrere unter Dauerhaftigkeitsaspekten konzipierte Varianten von Betonzusammensetzungen untersucht und in Bezug auf die geforderten Betoneigenschaften bewertet.

Auf Grund langjähriger, anwendungsbezogener Forschung mit feinen Hüttesandmehlen wurde für den Naturzugkühlturm Datteln 4 durch den Zementlieferanten ein CEM II/B-S 52,5 R mit 30 % Feinsthüttesand F für die Herstellung des Betons angeboten. Hüttesand und Portlandzementklinker werden bei diesem Zement getrennt gemahlen, granulometrisch optimiert und anschließend in einem Hochleistungsmischer gemäß Vorgabe direkt in das Silofahrzeug gemischt.

Schon die Ergebnisse der vorangegangenen Forschungsarbeiten überzeugten immer wieder mit Beton, die ein extrem dichtes, kompaktes, fast keramisches Zementsteingefüge

aufwiesen, wie **Bild 1** zeigt. Dies ließ auch positive Auswirkungen auf die geforderten Beständigkeiten erwarten.

Gegenüber den Ausgangsüberlegungen wurde anstelle von Mikro-silica eine durch Sichtung aus einer normalen Flugasche der Feinheits-kategorie N gewonnene Feinstflug-asche präferiert. Diese Flugasche weist ein Größtkorn von 10 µm auf (**Bild 2**) und übertrifft somit deutlich die Anforderungen der DIN EN 450-1 an eine Flugasche der Feinheitskategorie S. Sie wurde insbesondere zur Herstellung von Hochleistungsbetonen entwickelt, um in zementgebundenen Systemen nicht nur eine signifikante Steige-rung sämtlicher Dauerhaftigkeits-eigenschaften und der Festigkeit zu ermöglichen, sondern auch die Ein-stellung praxisüblicher Verarbei-tungseigenschaften. In Verbindung mit dem hier gewählten Zement sowie der Flugasche, die sich bereits beim Bau der Naturzugkühltürme in Niederaußem und Neurath bewährt hatte, war somit eine den hohen Anforderungen gerecht werdende Bindemittelkombination zu erwar-ten.

Die Betone für den Naturzugkühl-turm Datteln 4 wurden in einem umfangreichen Prüfprogramm ge-meinsam mit den bauausführenden Unternehmen optimiert. Insgesamt wurden für die notwendig erachte-ten Prüfungen ca. 1.000 Probekörper hergestellt.

Das durchgeführte Prüfprogramm umfasste folgende Parameter:

1. Betonausgangsstoffe

- Zement
 - Normdruckfestigkeit
 - Lasergranulometrie
 - Hydratationswärme
 - Rheologie

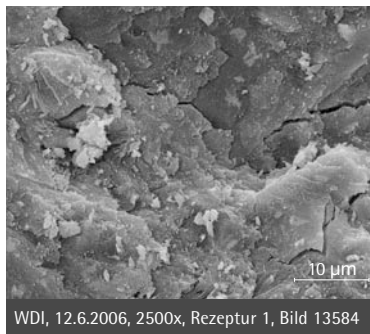


Bild 1: Rasterelektronenmikrosko-pische Aufnahme eines Zementmörtel-prismas mit sehr dichtem Zement-steingefüge, hergestellt mit einem CEM II B-S 52,5 R

- Flugasche und Feinstflugasche
 - Lasergranulometrie
 - Röntgenfluoreszenzanalysen
 - Rheologie
 - Rasterelektronenmikroskopie

- Gesteinskörnungen
 - Sieblinie
 - Anteile ≤ 63 µm
 - organische Bestandteile

2. Frischbeton

- Rohdichte
- LP-Gehalt
- Konsistenz bis 120 Min.

3. Festbeton

- Druckfestigkeiten 1 bis 182 Tage
- Spaltzugfestigkeiten 1 bis 182 Tage
- E-Modul 1 bis 182 Tage
- Schwinden
- Wasserundurchlässigkeit
- Dünnschliffuntersuchungen
- REM-Untersuchungen
- Quecksilberdruckporosimetrie

Zusätzlich wurden noch folgende Prüfungen durchgeführt:

- Frost- Tausalzprüfungen (CDF-Verfahren) einschließlich Mikro-rissprüfungen
- Porosität

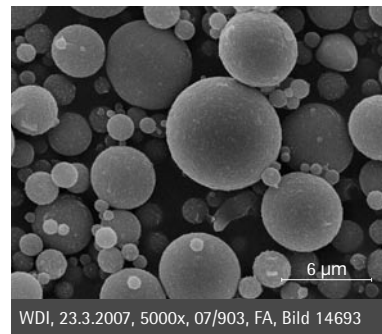


Bild 2: Rasterelektronenmikrosko-pische Aufnahme der verwendeten Steinkohlenflugasche mit einem Größtkorn von 10 µm

- Chloridmigrationskoeffizient
- Restalkalität
- Säurebeständigkeit (Schwefel-säure pH 3,5)

Neben den Betonvarianten, die für die Ausführung vorgesehen waren, wurde auch ein Referenzbeton nach den zuvor genannten Kriterien ge-prüft, der gemäß der „NZK-Nieder-außem-Rezeptur“ zusammengesetzt war. Die gemessenen Eigenschaften des Referenzbetons waren dabei die Maßstäbe, an denen die anderen Betone gemessen wurden.

Die in die Untersuchungen einbezo-genen Prüfkörper basierten auf ins-gesamt acht verschiedenen Beton-zusammensetzungen sowie der Re-ferenzzusammensetzung. Die Dauer der Untersuchungen zur Festlegung der endgültigen Betonzusammen-setzung betrug insgesamt etwa neun Monate.

Nach Auswertung der Untersu-chungsergebnisse kristallisierte sich die durch folgende Bindemittelkom-bination beschriebene Betonzusam-mensetzung heraus:

- CEM II/B-S 52,5 R
- EFA-Füller
- Feinstflugasche

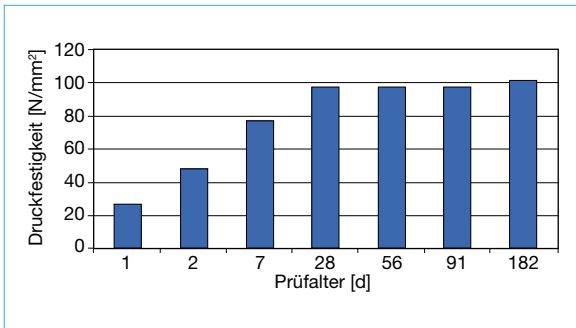


Bild 3: Betondruckfestigkeiten zu verschiedenen Prüfzeitpunkten (Ergebnisse der Erstprüfung)

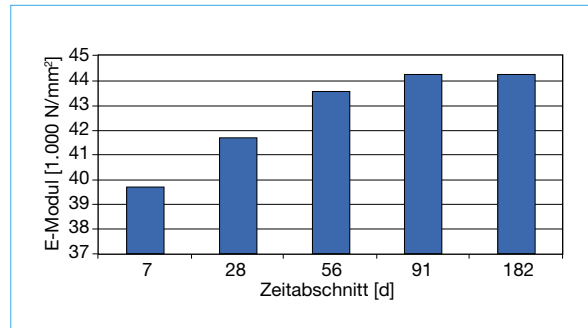


Bild 4: Statischer Elastizitätsmodul zu verschiedenen Prüfzeitpunkten (Ergebnisse der Erstprüfung)

Diese Bindemittelkombination, die auch zur Ausführung gelangte, zeigte in Bezug auf Beständigkeit und auch Verarbeitbarkeit die besten Ergebnisse.

4 Eigenschaften der entwickelten Beton-zusammensetzung

Aus dem großen Umfang der im Rahmen der Erstprüfung ermittelten Prüfergebnisse sind nachfolgend die wichtigsten Daten zusammengestellt.

4.1 Betondruckfestigkeit

Wie die Ergebnisse zeigen (Bild 3), liegt die Enddruckfestigkeit des

Betons bei ca. 100 N/mm². Dabei ist der Festigkeitszuwachs über ein Betonalter von 28 Tagen hinaus bis zum Prüfalter von 182 Tagen gering. Anzumerken ist, dass die korrespondierende Druckfestigkeitsklasse C70/85 nicht ausdrücklich gefordert wurde. Sie ergibt sich jedoch aus der hohen Dichtigkeit der Bindemittelmatrix, die Voraussetzung für die hohe Dauerhaftigkeit ist. Die Druckfestigkeit des Referenzbetons liegt in vergleichbarer Größenordnung.

4.2 Statischer Elastizitätsmodul

Der statische Elastizitätsmodul lag bis zum Prüfalter von 182 Tagen in dem Bereich, der für Beton dieser Art zu erwarten war (Bild 4).

4.3 Dauerhaftigkeit

Entscheidend für die Dauerhaftigkeit dieser neuen Generation von Naturzugkühlern mit Abgaseinleitung ist die Dauerhaftigkeit des Betons bei einem pH-Wert von $\geq 3,5$.

Eine Gefügeuntersuchung dieses Betons mit dem Rasterelektronenmikroskop (Bild 5) zeigt seine erwartete dichte, kompakte Gefügestruktur und bestätigt die bisherigen REM-Untersuchungen aus den Forschungsarbeiten (Bild 1).

5 Qualitätssicherung

Die hohen Anforderungen erforderten auf der Baustelle umfangreiche

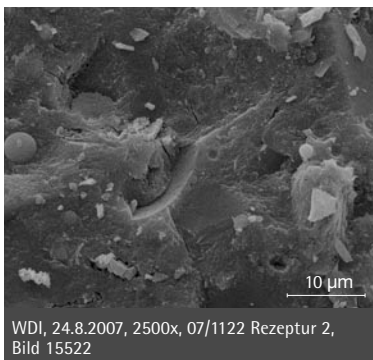


Bild 5: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme des äußerst dichten Zementsteins; Beton aus CEM II 52,5 B-S, EFA-Füller und Feinstflugasche

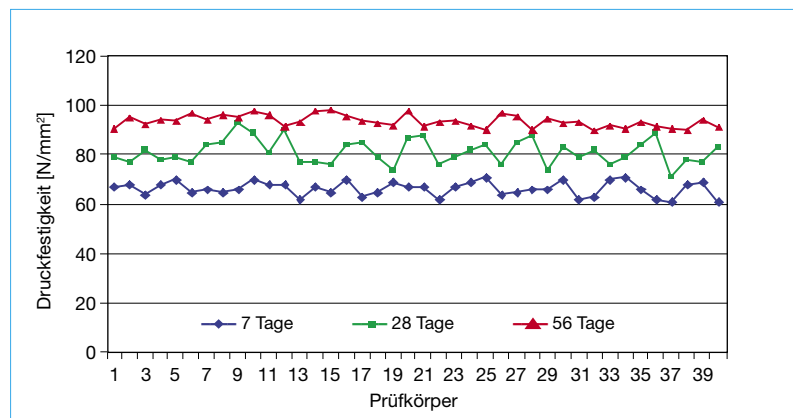


Bild 6: Ergebnisse der Konformitätsprüfung für die Betondruckfestigkeit nach 7, 28 und 56 Tagen

Kontrollen der Frisch- und Festbetoneigenschaften.

So verließ der Beton erst nach Einstellung und Prüfung vor Ort durch die Prüfstelle die auf dem Baustellen-gelände errichtete Mischanlage. Bei Ankunft des Fahrbetonmischers an der Naturzugkühlturm-Einbaustelle überprüfte die Bau-Arge die Konsistenz des angelieferten Hochleistungs-betons ein zweites Mal. Voraussetzung für die Freigabe zum Einbau war ein Ausbreitmaß des Frischbetons von $600 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm}$, das überwiegend sicher eingehalten wurde.

Im Auftrag von E.ON wurden diese Prüfungen durch die Prüfstelle einer konzerneigenen Tochtergesellschaft ein drittes Mal stichprobenartig kontrolliert. Dabei wurden über die Anforderungen der DIN 1045-3 hinaus ebenfalls stichprobenartig Betonwürfel hergestellt, an denen zusätzliche Druckfestigkeits- und Wassereindringprüfungen durchgeführt wurden. Die Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen nach 7, 28 und 56 Tagen aus der Konformitätsprüfung zeigt Bild 6.

Zum Nachweis der geforderten Eigenschaften an die Betonoberfläche wurde auf der Baustelle vor Beginn des Betonierens zunächst eine Erprobungswand hergestellt. An dieser konnten Parameter wie z.B. die vertraglich festgelegte zulässige Größe und Tiefe von Luftporen oder Lunkern begutachtet werden und so der Beton im Hinblick auf Außentemperaturen und Fließmittel sowie die Schalung im Hinblick auf Trennmittel, Schalnhaut, Schalungshöhe etc. weiter optimiert werden. Weiterhin bot sich die Gelegenheit, eventuell in Frage kommende Instandsetzungsbaustoffe zu erproben. Bei jedem Betonierabschnitt wurden unmittelbar nach dem Umsetzen der Kletterschalung die neu-



Bild 7: Der Naturzugkühlturm in Datteln während der Betonierarbeiten (Stand 10.06.2009)

en Oberflächen des Naturzugkühlturms kontrolliert.

6 Zusammenfassung

Wie im Beitrag gezeigt wurde, können heute durch den Einsatz moderner Bindemittel mit Hüttensanden

und Feinstflugasche zielsicher Betone hergestellt werden, die dauerhaften Säureeinwirkungen mit pH-Werten von bis zu 3,5 widerstehen. Somit können zum Beispiel Naturzugkühltürme von Kohlekraftwerken besonders wirtschaftlich ausgeführt werden, da auf eine Beschichtung verzichtet werden kann.

Bauschild

Bauherr	E.ON
Bauausführung	Arbeitsgemeinschaft Wayss & Freytag Ingenieurbau AG Schäfer-Bauten GmbH, Ibbenbüren Gebr. Neumann GmbH & Co. KG, Emden
Transportbeton	Dyckerhoff Beton GmbH & Co. KG, NL Rhein-Ruhr, Essen
Betontechnologische Entwicklung	Wilhelm-Dyckerhoff-Institut, Wiesbaden MPA Berlin-Brandenburg