DESY PETRA III – Stahlfaserbeton für die längste monolithische Bodenplatte der Welt

Von Iris Marquardt, Sehnde-Höver

1 Einleitung

Auf dem Gelände des Deutschen Elektronen-Synchrotrons (DESY) in Hamburg-Bahrenfeld entsteht mit PETRA III die weltweit leistungsstärkste Speicherring-Röntgenstrahlungsquelle der Welt. Ziel der Entwicklung ist die Erzeugung extrem energiereicher Strahlung mit mehr als 100 Kiloelektronvolt Energie und hoher Leuchtstärke. Diese Röntgenquelle öffnet damit ein weites Forschungsspektrum, insbesondere in der Physik, der Medizin und der Materialforschung, um nur einige zu nennen.

Die Inbetriebnahme dieser neuen PETRA III-Experimentierhalle soll 2009 erfolgen. Dazu müssen rd. 300 m des bestehenden, 2,3 km langen Speicherrings umgebaut und die Experimentierhalle neu gebaut werden. In ihrer Form folgt sie einem Kreisbogen. In der Halle sind 14 Messplätze für verschiedene Experimente geplant.

Bauliches Herzstück der PETRA III-Experimentierhalle ist die 1,0 m dicke Bodenplatte mit den Abmessungen 280 m x 24 m. Während ihre untere Schicht aus konstruktivem Stahlbeton besteht, wurde für die obere Schicht zur Rissminimierung ein Stahlfaserbeton mit einem sehr hohen Fasergehalt von 75 kg/m³ ohne konstruktive Bewehrung vorgesehen (**Bild 1**). Der Gesamtbedarf an Beton betrug 6.600 m³.

Nach umfangreichen Grundlagenuntersuchungen erfolgte im Juli 2007 die Auftragserteilung für die Herstellung und Lieferung des Betons. Die Sohlplatte wurde als massiges Bauteil geplant und gemäß DAfStb-Richtlinie „Massige Bauteile aus Beton" ausgeführt [1].

Im Folgenden wird über die Konstruktion der Bodenplatte und die an dieses Bauteil gestellten hohen bautechnischen Anforderungen sowie über die Betontechnologie und die besonderen logistischen Anforderungen beim Betonieren des anspruchsvollen Großprojekts berichtet.

2 Konstruktion

Auf der 1,0 m dicken Sohlplatte der Experimentierhalle DESY PETRA III werden zukünftig hochempfindliche Messplätze installiert. Daher bestehen sehr hohe Anforderungen an die Ebenheit und an das Verformungsverhalten der Platte. So war gefordert, dass die Stahlbetonplatte bei einem Messpunktabstand von zehn Metern nur eine maximale Unebenheit von 4 mm aufweisen durfte. Was das für die Herstellung bedeutete, wird deutlich, wenn man vergleicht, dass für einen flächenfertigen Boden bei erhöhten Anforderungen gemäß DIN 18202 „Toleranzen im Hochbau" bei diesem Messpunktabstand ein Höchstwert von 12 mm zulässig ist [2]. Der Hallenboden musste außerdem weitestgehend rissfrei sein. Um nahezu frei von Erschütterungen zu sein, musste sie konstruktiv von den übrigen Bauteilen der Experimentierhalle völlig entkoppelt sein. Die Verformung unter dynamischer Belastung im Ab-

Bild 1: Bewehrungsführung in der unteren Schicht der Bodenplatte einschließlich der oben liegenden Stahlmatte als geerdete EMV-Abschirmung

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags ist untersagt.

stand von 2 m durfte unter Betrieb den Wert von 1 µm nicht überschreiten. Diese Anforderungen erfüllt nur eine monolithisch hergestellte Bodenplatte.

Bei der Herstellung von massigen Betonbauteilen entstehen durch die Wärmeentwicklung des Zements während der Hydratation Temperaturdifferenzen zwischen Kern und Randzone des Bauteils, die zu inneren Zwangsspannungen führen. Weiter entstehen äußere Zwangsspannungen und ggf. daraus resultierend Risse, wenn die durch die Erwärmung hervorgerufenen Verformungen des Bauteils durch den Baugrund oder angrenzende Bauteile behindert werden [3].

Dementsprechend bedurfte es einer detaillierten, zwischen Tragwerksplaner und Betontechnologen abgestimmten Planung, die insbesondere konstruktive, betontechnologische und ausführungstechnische Maßnahmen berücksichtigen musste. Schließlich wurde folgender Aufbau der Sohlplatte aus den möglichen Varianten gewählt:

Zur Verringerung des Reibungsbeiwerts wurde in Anlehnung an [4] zwischen Baugrund und Sohlplatte eine 3 mm dicke Bitumengleitschicht angeordnet, wodurch die Zwang verursachenden Verformungsbehinderungen gering gehalten werden konnten.

Die Stahlbetonsohle sollte fugenlos in zwei Schichten hergestellt werden. Dazu war geplant, die untere, 50 cm dicke Schicht der Sohlplatte aus Stahlbeton C30/37 aufzubauen. Ferner war vorgesehen, die aus Zwangsspannungen resultierende Rissbildung durch eine entsprechende Bewehrung so zu steuern, dass die Rissbreiten auf ein für die Gebrauchstauglichkeit unschädliches Maß begrenzt bleiben. Auf diese untere Schicht aus Normalbeton sollte frisch-in-frisch eine 49 cm dicke Betonschicht aus Stahlfaserbeton ebenfalls der Festigkeitsklasse C30/37 – mit ähnlichen Eigenschaften wie der untere Beton – ohne weitere konstruktive Bewehrung eingebaut werden. Durch die Zugabe von Stahlfasern sollte die Rissbildung verhindert werden. Für den Verformungsbereich I war eine äquivalente Biegezugfestigkeit von 1,6 N/mm² gefordert. (Äquivalente Biegezugfestigkeiten sind Werte, die aus dem jeweiligen maßgebenden Arbeitsvermögen des Stahlfaserbetons berechnet werden. Sie sind Grundwerte, aus denen für die Bemessung im gerissenen Zustand die ideelle Spannungs-Dehnungsbeziehung ermittelt wird [5]).

In die Stahlfaserbetonschicht musste zusätzlich auf Bügeln eine Stahlmatte als geerdete EMV-Abschirmung mit einer Betondeckung von 5 cm eingebaut werden (Bild 1).

Als Nutzschicht ist auf der mit Flügelglättern behandelten Betonoberfläche eine Epoxidharz-Beschichtung vorgesehen.

3 Betontechnologie

3.1 Zement und äquivalenter Wasserzementwert

Zur Minimierung der Hydratationswärmeentwicklung wurde ein Hochofenzement CEM III/A 42,5 N-NA ausgewählt.

Um im jungen und erhärtenden Beton die Zwangsspannungen aus Schwinden gering zu halten, war der äquivalente w/z-Wert auf 0,43 begrenzt. Dabei wurde die zur weiteren Verringerung der Hydratationswärmeentwicklung eingesetzte Flugasche mit einem k-Wert von 0,4 angerechnet.

3.2 Voruntersuchungen

In enger Zusammenarbeit aller Beteiligten wurde ein Plan für die Durchführung von Vorversuchen erarbeitet. Dieser enthielt alle Parameter des Versuchsprogramms und daneben die Angaben zu den Ausgangsstoffen.

Im Rahmen dieses Versuchsprogramms wurden am Frischbeton die Konsistenz, die Rohdichte, der Luftgehalt, der Wassergehalt (Darrversuch) und der Fasergehalt geprüft. Am Festbeton erfolgte die Bestimmung der Druckfestigkeit, der äquivalenten Biegezugfestigkeit sowie der Wasserundurchlässigkeit.

Bei den Vorversuchen waren folgende Einflussgrößen bzw. ihre Bestimmung von zentraler Bedeutung:

- maximal verarbeitbarer Stahlfasergehalt bei geeigneter Stahlfasermischung
- Ermittlung der optimalen Kornzusammensetzung und des Mehlkorngehalts
- Sicherstellung der Pumpfähigkeit des Stahlfaserbetons

Der ausgeschriebene, sehr hohe Stahlfasergehalt von 80 kg/m³ wurde hinsichtlich Verarbeitbarkeit und Pumpfähigkeit des Betons als kritisch angesehen. Bei den bisher in der Praxis eingesetzten Betonzusammensetzungen mit entsprechenden Anforderungen lagen die maximalen Stahlfasergehalte in Abhängigkeit des Größtkorns in der Regel nur zwischen 30 kg/m³ und 50 kg/m³.

Aus der Literatur ist bekannt, dass sich Betone mit gefrästen Fasern deutlich besser pumpen und verarbeiten lassen als Betone mit drahtartigen

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags ist untersagt.

Bild 2: Ausbreitmaß des Stahlfaserbetons mit Konsistenz F4

Bild 3: Ausbreitmaß des Normalbetons mit Konsistenz F3

Fasern. Insbesondere nimmt bei Drahtfasern die Pumpfähigkeit des Betons mit zunehmender Faserschlankheit ab. Gleichzeitig erhöht sich die erforderliche Untermischzeit. Diese verlängert sich auch mit Zunahme des Fasergehalts im Beton und mit der Faseranzahl pro kg Fasern [6,7].

Zur Klärung der jeweiligen Einflüsse bzw. zur Erzielung optimaler Verarbeitungseigenschaften wurden Betone mit unterschiedlichen Faserkombinationen untersucht, die bezüglich Fasergehalt, -typ und -schlankheit variierten.

Hohe Stahlfasergehalte erfordern grundsätzlich ein hohes Mörtelvolumen [6, 8]. Versuche ergaben, dass die Zugabe von Stahlfasern zum Ausgangsbeton zu einer Verringerung des Ausbreitmaßes um bis zu 200 mm führen kann. Insofern orientierte man sich beim Entwurf der Zusammensetzung des Betons für die Bodenplatte an der Zusammensetzung von selbstverdichtenden Betonen und wählte für die Vorversuche ein Mörtelvolumen von 700 l/m³ sowie Mehlkorngehalte von rd. 500 kg/m³. Das Größtkorn wurde auf 16 mm begrenzt.

Die Zugabe eines Hochleistungsfließmittels auf der Basis von Polycarboxylatether stellte die geforderten Fließeigenschaften des Betons sicher. Als Einbaukonsistenz für den Stahlfaserbeton legte man Ausbreitmaße zwischen 500 mm und 550 mm fest, also die Konsistenzklasse F4 (**Bild 2**). Eine Nachdosierung des Fließmittels auf der Baustelle bei Ausbreitmaßen unter 500 mm war zugelassen. Der Normalbeton der unteren Schicht sollte bei etwa gleicher Zusammensetzung der Konsistenzklasse F3 entsprechen (**Bild 3**).

3.3 Betonzusammensetzung

Aufgrund der Ergebnisse der Voruntersuchungen fiel die Wahl auf die in **Tafel 1** aufgeführten Zusammensetzungen für den Stahlfaserbeton und für den Normalbeton der unteren Schicht. Der Stahlfasermix setzte sich aus 40 kg/m³ SF 01-32 (gefräste Stahlfaser) und 35 kg/m³ DE 50/0,8 N (gekröpfte Drahtfaser) zusammen (**Bild 4**).

3.4 Pumpversuch

Ein Großversuch – das Betonieren der Bodenplatte der Kühlwasserhalle – diente als fester Bestandteil des Versuchsplans der Überprüfung der Pumpfähigkeit und der Verarbeitbarkeit des Betons. Außerdem konnten hier Erfahrungen zum Verfahrensablauf gesammelt werden. Dazu wurden im September 2007 auf dem

Bild 4: Gefräste Stahlfasern SF 01-32 und gekröpfte Drahtfasern DE 50/0,8 N

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags ist untersagt.

Tafel 1: Betonzusammensetzungen

		Beton obere Schicht		Beton untere Schicht	
Betonfestigkeitsklasse Expositionsklassen Konsistenzklasse		C30/37 XC1, XC2 F4		C30/37 XC1, XC2 F3	
Zementart und Festigkeitsklasse Zementgehalt	 kg/m³	CEM III/A 42,5 N-NA 340		CEM III/A 42,5 N-NA 340	
Wassergehalt $(w/z)_{eq}$ (k = 0,4)	kg/m³	163 0,43		163 0,43	
Gesteinskörnung Korngruppe 0/2 mm Korngruppe 2/8 mm Korngruppe 8/16 mm Korngruppe 16/32 mm Gehalt	 % % % % kg/m³	 45 20 35 - 1.706		 42 14 16 28 1.709	
Zusatzstoff Art Gehalt	 kg/m³	 Steinkohlenflugasche 112		 Steinkohlenflugasche 112	
Zusatzmittel Art Gehalt	 kg/m³	 FM (PCE) 5,10	 VZ –	 FM (PCE) 3,40	 VZ 1,02
Stahlfasern	kg/m³	75		–	

DESY-Gelände ca. 100 m³ Stahlfaserbeton gemischt, geliefert, gepumpt und eingebaut (**Bild 5**).

Die Verarbeitungseigenschaften des Frischbetons wies eine hohe Gleichmäßigkeit auf. **Bild 6** zeigt das gute Zusammenhaltevermögen des Stahlfaserbetons beim Einbau. Die erhärtete Betonplatte zeigte eine ebene, geschlossene und rissfreie Oberfläche (**Bild 7**).

Bild 5: Kühlwasserhalle: Betonieren der 100 m² großen Bodenplatte im Rahmen des Großversuchs (Copyright DESY, Joachim Spengler)

Die bei diesem Großversuch gewonnenen Erfahrungen bezüglich Herstellung und Verarbeitung des Stahlfaserbetons erwiesen sich insbesondere im Hinblick auf die Sicherstellung eines gleich bleibenden und kontinuierlichen Produktionsprozesses als äußerst nützlich.

Ein weiterer, kleinerer Pumpversuch Anfang November 2007, kurz vor Betonierbeginn für die Bodenplatte der Experimentierhalle, diente der Absicherung der bis dahin gesammelten Erfahrungen. Auch hierbei wurden eine ausreichende Verarbeitbarkeit und Pumpfähigkeit des Betons erzielt.

3.5 Betonierkonzept

Das bauausführende Unternehmen erarbeitete das nach [1] bzw. [3] erforderliche Betonierkonzept in Zusammenarbeit mit der Eigenüberwachungsstelle.

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags ist untersagt.

Bild 6: Stahlfaserbeton mit gutem Zusammenhaltevermögen (Copyright DESY, Joachim Spengler)

Bild 7: Fertige Bodenplatte der Kühlwasserhalle mit ebener und geschlossener Oberfläche (Copyright DESY, Joachim Spengler)

Um eine kontinuierliche Belieferung der Baustelle sicherzustellen, wurde der Betoniertermin auf ein Wochenende ohne Großveranstaltungen in den betreffenden Hamburger Stadtteilen gelegt. Der Plan sah für den Einbau des Betons ca. 52 Stunden und den Einsatz von vier Betonpumpen sowie eine Reservepumpe vor.

Das Einbringen des Betons in die zum Zeitpunkt des Betoniervorgangs bereits durch Wände und Dach geschlossene Halle stellte hohe logistische Anforderungen. Für den Betoneinbau wurden daher auf einer Hallenseite alle 20 m Wandfelder geöffnet (**Bild 8**). Von dort erfolgte die Beschickung nach einem ausgeklügelten Pumpenaufstellungs- und Betonierphasenplan für die untere und die obere Betonschicht.

Bild 8: Geöffnete Wandfelder entlang der Hallenseite im Abstand von 20 m für den Betoneinbau

Das Betonierkonzept regelte darüber hinaus alle Verantwortlichkeiten bei der Betonherstellung, dem Betoneinbau und der Nachbehandlung. Gemäß den Bestimmungen der DIN 1045-3 für Beton der Überwachungsklasse 2 erstellten die Verantwortlichen Qualitätssicherungs- bzw. Prüfpläne für die Transportbetonwerke und die Baustelle.

4 Betonherstellung im Transportbetonwerk und werkseigene Produktionskontrolle

Vertragsgemäß war eine Belieferung der Baustelle mit 160 m^3 Beton je Stunde zu gewährleisten. Bei einem Einsatz von vier Pumpen war demzufolge eine Versorgung von 40 m^3 Beton je Pumpe und Stunde aufrecht zu erhalten. Die Belieferung der Baustelle erfolgte aus insgesamt vier Werken. In zwei Werken wurde

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags ist untersagt.

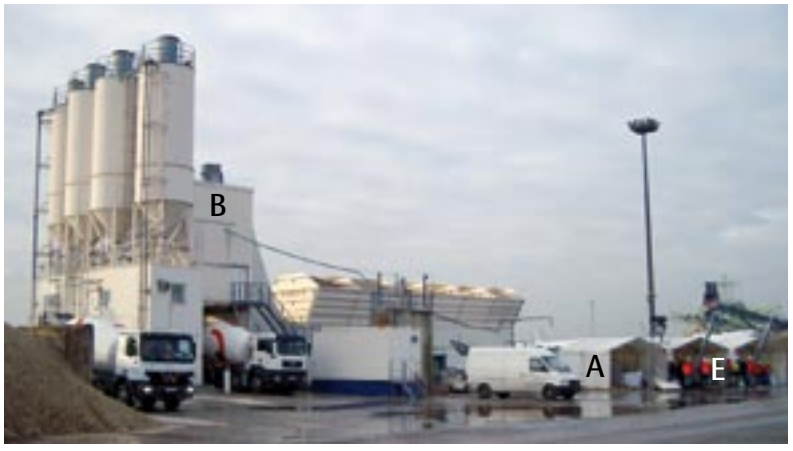

Bild 9: Transportbetonwerk für den Stahlfaserbeton mit Betonmischanlage (B), Aufzug für die gefrästen Stahlfasern (A) und Einblasgeräte für die gekröpften Drahtfasern (E)

Bild 10: Einblasen der Drahtfasern

der Normalbeton und in zwei Werken der Stahlfaserbeton produziert. Ein weiteres, fünftes Werk stand als Reserve zur Verfügung.

Der Qualitätssicherungsplan enthielt alle Anforderungen an den Beton, an die Prozesse bei der Produktion, an die Überwachung, an den Transport und an das Umweltmanagement.

Entsprechend dem Qualitätssicherungsplan wurde jede Anlieferung von Ausgangstoffen in den Werken einer Eingangsprüfung unterzogen. Die Herstellung der beiden Betonsorten erfolgte auf der Grundlage von Mischanweisungen mit detaillierten Angaben über Art und Menge der Ausgangsstoffe und der Mischzeit. Der Wassergehalt der groben und feinen Gesteinskörnungen wurde zu Beginn des Betonierens bestimmt und danach stündlich.

Die Werke in Eidelstedt und Hafencity produzierten den Stahlfaserbeton. In beiden Werken standen jeweils ein Aufzug und zwei Einblasgeräte für die Faserzugabe (**Bild 9**).

Bild 11: Gekröpfte Drahtfasern im Einblasgerät

Bild 12: Aufgabe der Drahtfasern in das Einblasgerät

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags ist untersagt.

Der Stahlfaserbeton wurde folgendermaßen hergestellt:

Der Aufzug transportierte die gefrästen Stahlfasern (**Bild 9 (A)**) richtig dosiert in das leere Mischfahrzeug. Da sich im Zuge der Voruntersuchungen gezeigt hatte, dass der Stahlfaserbeton sehr sensibel auf Schwankungen des Wassergehalts reagiert, erhielten die Fahrer der Mischfahrzeuge die Anweisung, stets mit nach links drehender Trommel (Entleerung!) an die Aufzugstation heranzufahren. Auf diese Weise wurde verbleibendes Restwasser im Fahrmischer ausgeschlossen.

Danach erfolgte an der Mischanlage das Befüllen der Fahrzeuge mit Beton. Abschließend fuhren die Wagen an das Einblasgerät (**Bild 10**), wo die Drahtfasern (**Bild 11**) dem Beton in feinster Verteilung zudosiert wurden (**Bild 12**). Insgesamt standen für einen solchen Befüll- und Mischzyklus maximal zwölf Minuten zur Verfügung.

Sowohl der Stahlfaser- als auch der Normalbeton wurden im Zuge der werkseigenen Produktionskontrolle (WPK) hinsichtlich ihrer Frisch- und Festbetoneigenschaften laufend untersucht. Art und Häufigkeit der Prüfungen sind in **Tafel 2** zusammengestellt.

Bei der Beladung mit Stahlfaserbeton erhielten die Fahrer erst den Lieferschein, wenn im Ausbreitversuch ein Maß zwischen 500 mm und 550 mm bestätigt worden war.

Die mit Stahlfaserbeton beladenen Fahrzeuge waren mit grünen Schildern gekennzeichnet, die auf der Baustelle die Zuordnung zu den entsprechenden Pumpen erleichterten.

5 Qualitätssicherung auf der Baustelle

In den Transportbetonwerken wurden alle Ausgangsstoffe überprüft und alle maßgeblichen Frischbetoneigenschaften untersucht. Auf der Baustelle waren ständig Werksangehörige als Baustellenkoordinatoren anwesend, die den Kontakt zu den Werken für ggf. erforderliche kurzfristige Abstimmungen hielten.

Bei der Ankunft der Fahrmischer auf dem DESY-Gelände kontrollierten Mitarbeiter der Eigenüberwachungsstelle des bauausführenden Unternehmens alle Lieferscheine und prüften die Frischbetoneigenschaften wie Frischbetontemperatur, Konsistenz, Stahlfasergehalt (durch Auszählen einer dem Fahrzeug entnommenen Probe) und Wassergehalt (Darren) gemäß Prüfplan. Die Prüfung der ersten zehn Lieferungen des Stahlfaserbetons war dabei hinsichtlich der vereinbarten Eigenschaften sehr genau, um ggf. in der Produktionsanlaufphase auftretende Qualitätsschwankungen rechtzeitig erkennen und beseitigen zu können. Nach der Anlaufphase wurden die Prüfungen routinemäßig etwa alle 100 m³ durchgeführt bzw. die Bestimmung des Wassergehalts alle 200 m³. Eine augenscheinliche Prüfung des Betons im Fahrmischer erfolgte bei jeder Lieferung.

Die Fahrzeuge durften die Eingangskontrolle erst nach Überprüfung des korrekt ausgefüllten Lieferscheins und nach bestandenen Frischbetonprüfungen passieren. Sie fuhren dann weiter zur Experimentierhalle

Tafel 2: Art und Umfang der Betonprüfungen im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle (WPK)

zu prüfende Eigenschaft	Häufigkeit der Prüfung	
	Normalbeton	Stahlfaserbeton
Konsistenz: - Augenscheinprüfung - Ausbreitversuch	jede Lieferung die ersten fünf Lieferungen, danach mindestens jede zweite Lieferung	jede Lieferung jede Lieferung
Frischbetonrohdichte	die ersten fünf Lieferungen	die ersten fünf Lieferungen, danach je 200 m³
Frischbetontemperatur	die ersten fünf Lieferungen, danach mindestens jede zweite Lieferung	jede Lieferung
Wassergehalt des Frischbetons (Darrversuch)	-	die ersten fünf Lieferungen, danach je 200 m³
Druckfestigkeit, Festbetonrohdichte	1 Probekörper je 100 m³	1 Probekörper je 100 m³

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags ist untersagt.

Bild 13: Blick auf den Pumpenrost bei Förderung des Stahlfaserbetons

und wurden von Polieren in Empfang genommen. Diese prüften wiederum den Lieferschein hinsichtlich des Kontrollvermerks der Eigenüberwachungsstelle und wiesen die Fahrmischer an die jeweilige Pumpe ein. An der Pumpe erfolgte nochmals eine Konsistenzkontrolle per Augenschein (**Bild 13**).

Für die Druckfestigkeitsprüfung nach 56 Tagen wurde von jeder Betonsorte je 100 m³ ebenfalls ein Probekörper hergestellt.

Zur Messung der Hydratationswärmeentwicklung und zur Messung der Verkürzung der Sohlplatte dienten in den Beton der Bodenplatte eingebaute Temperaturfühler und Dehnungsmessstellen (**Bild 14**). Die Messdaten wurden über einen Zeitraum von vier Wochen aufgezeichnet.

6 Betonieren der Sohlplatte

Nachdem die Bewehrung der Bodenplatte und alle Messstellen eingebaut sowie die Einfüllöffnungen für den Beton zur Steuerung der Pumpenschläuche gekennzeichnet waren (**Bild 15**), begann am 14. Dezember 2007 die Betonage. Gegen 5 Uhr morgens erreichte der erste Fahrmischer mit Normalbeton für die untere Sohlplattenschicht die Experimentierhalle. Der Betoneinbau begann über zwei Pumpen, die in Wandöffnungen in der Nähe der Hallenmitte positioniert waren. Die beiden anderen Pumpen in den nächsten Wandöffnungen übernahmen nach Fertigstellung des ersten Abschnitts die weitere Förderung des Betons für die untere Schicht. Über die beiden erstgenannten Pumpen wurde danach bereits der Stahlfaserbeton in der zweiten Lage eingebaut (**Bilder 16** und **17**). Nach deren Fertigstellung erfolgte das Umsetzen dieser Pumpen in die nächsten Wandöffnungen. Auf diese Weise

Bild 14: Messfühler für die Ermittlung der Wärmeentwicklung und der Dehnung

Bild 15: Bewehrung der Bodenplatte mit Kennzeichnung der Betoneinfüllöffnungen

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags ist untersagt.

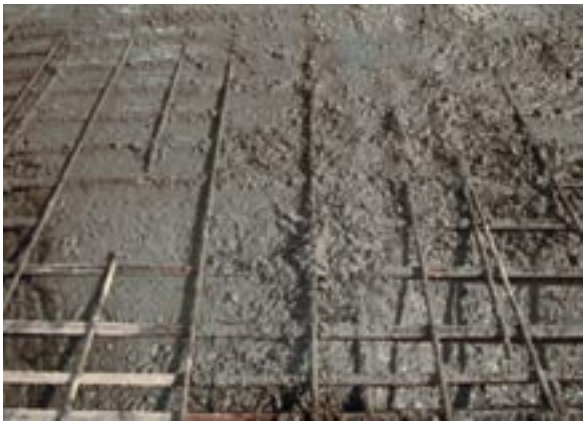

Foto: BetonMarketing Nord

Bild 16: Einbau des Stahlfaserbetons

Bild 17: Gutes Zusammenhaltevermögen des Stahlfaserbetons auch beim Einbau

konnte die Sohlplatte Stück für Stück bei vorlaufender unterer und nachlaufender oberer Schicht von der Mitte aus zu den Hallenenden hin betoniert werden (**Bild 18**).

Insgesamt gab es zwölf Pumpenstandorte, an die die Pumpen umzusetzen waren. Am Sonntag, den 16. Dezember 2007, um 16.45 Uhr, war der Betoniervorgang nach rd. 60 Stunden beendet. Insgesamt dauerte der Einbau acht Stunden länger als geplant. Dies ist bei einem Projekt dieser Größenordnung und dieses Schwierigkeitsgrads jedoch als nahezu unbedeutend anzusehen.

Geplant war eine Einbauleistung von 40 m³/h. Insbesondere zu Anfang lag die Einbauleistung bei dem Stahlfaserbeton deutlich niedriger, teilweise nur bei ca. 32 m³/h. Ursächlich hierfür war eine unzureichend genaue Einschätzung der Pumpenleistung für den Beton mit derart hohem Fasergehalt. Als Konsequenz wurde zeitweise auch die fünfte, als Reserve vorgehaltene Pumpe eingesetzt.

Die Verdichtung des Betons erfolgte durch Innenrüttler. Dabei war das „Vernadeln" der einzelnen Betonlagen durch das Eintauchen der Rüttler in die untere Schicht sicherzustellen. Die obere Stahlfaserbetonschicht wurde mit einer Rüttelbohle abgezogen und zu einem späteren Zeitpunkt mit einer Doppelglättma-

Foto: BetonMarketing Nord

Bild 18: Einbau des Betons von der Hallenmitte zu beiden Enden hin

Bild 19: Glätten der Oberfläche mit einer Doppelglättmaschine

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags ist untersagt.

Bodenplatte der Experimentierhalle DESY PETRA III: Bewehrung (Copyright DESY, Markus Faesing)

schine abgescheibt und flügelgeglättet (**Bild 19**).

Unmittelbar nach dem Glätten der Betonoberfläche wurde diese vollflächig mit sich an den Stößen ausreichend überlappenden Folien und Wärmedämmmatten abgedeckt. Das Schließen der offenen Wandfelder erfolgte nach Fertigstellung der betreffenden Sohlplattenbereiche.

Neben der Messung der Temperaturentwicklung im Beton mit den eingebauten Temperaturfühlern verfolgte die TU Berlin auch die Entwicklung der Oberflächentemperatur mit einer Infrarot-Kamera bis zum Abdecken des Betons (**Bild 20**).

Seitens des Bauherrs wurde außerdem die Schrumpfung der Bodenplatte beim Abkühlen mit Laservibrometern (**Bild 21**) „online" verfolgt. Es war entscheidend, dass die Bewegung möglichst gleichmäßig - ohne Pausen und Sprünge – erfolgte, da so die Rissgefahr minimal war. Dies machte im Übrigen auch die Wirksamkeit der Gleitschicht „sichtbar". **Bild 22** zeigt die Verkürzung der Bodenplatte gegenüber einer Stütze der angrenzenden Bestandshalle. In der Messdauer von 800 s bewegte sich die Platte etwa 30 µm. Das entspricht einer Geschwindigkeit von 0,00000014 km/h. In vielen solcher Einzelmessungen wurde immer wieder die gleiche Geschwindigkeit gemessen [9].

7 Zusammenfassung

In die Bodenplatte der Experimentierhalle DESY PETRA III wurden frisch-in-frisch 3.500 m³ Normalbeton und 3.100 m³ Stahlfaserbeton

Bild 20: Messung der Oberflächentemperatur der Bodenplatte mit einer Infrarot-Kamera

Bild 21: Laservibrometer zur Messung der Verformung der Bodenplatte beim Abkühlen (Copyright DESY, Dirk Samberg)

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags ist untersagt.

Bodenplatte der Experimentierhalle DESY PETRA III: Betonieren (Copyright DESY, Markus Faesing)

mit einem extrem hohen Fasergehalt von 75 kg/m³ eingebaut.

Für den Betonlieferanten bedeutete die reibungslose Herstellung und Lieferung von 6.600 m³ Beton einen hohen personellen und logistischen Aufwand. So waren an dem betreffenden Wochenende insgesamt 120 Personen im Einsatz: Mischerfahrer, Anlagenfahrer, Disponenten, Betontechnologen und Baustoffprüfer. Allein das Personal für die Faserzugabe umfasste 24 Personen. Gearbeitet wurde jeweils in zwei Schichten zu je zwölf Stunden, d. h., dass stets 60 Personen gleichzeitig tätig waren. Für die Auslieferung der Betone wurden insgesamt 56 Fahrzeuge eingesetzt: Pro Schicht pendelten 28 Fahrzeuge zwischen den Betonwerken und der Baustelle. Zwei weitere Fahrzeuge standen pro Werk als Reserve für Not- oder Ausfälle bereit. Durchschnittlich suchte jedes Fahrzeug die Baustelle 15mal auf.

Aufgrund der umfassenden technologischen, technischen und logistischen Vorbereitungen durch alle Beteiligten konnte der Bau der Bodenplatte in der Experimentierhalle und dabei insbesondere die Betonage ohne Störungen nahezu in der vorgesehenen Zeit abgeschlossen werden. Das Resultat ist nach bisherigen Erkenntnissen aus technischer Sicht als sehr gut zu bezeichnen. Etwa einen Monat nach dem Betoneinbau wurde die Sohlplatte auf Risse untersucht. Dabei wurde auf der gesamten Fläche nur ein einziger Riss festgestellt. Der Riss wird verpresst und ist dann als bedeutungslos zu betrachten.

Neben den oben beschriebenen Erfahrungen dürften sich für zukünftige Bauvorhaben interessante Erkenntnisse aus der Auswertung der Hydratationswärme- und Dehnungsmessdaten ergeben.

Ein solches Bauvorhaben ist aufgrund des technischen Anspruchs nur mit hoch motivierten, gut geschulten und für den Baustoff Beton sensibilisierten Mitarbeitern in den Transportwerken und auf der Baustelle erfolgreich durchzuführen.

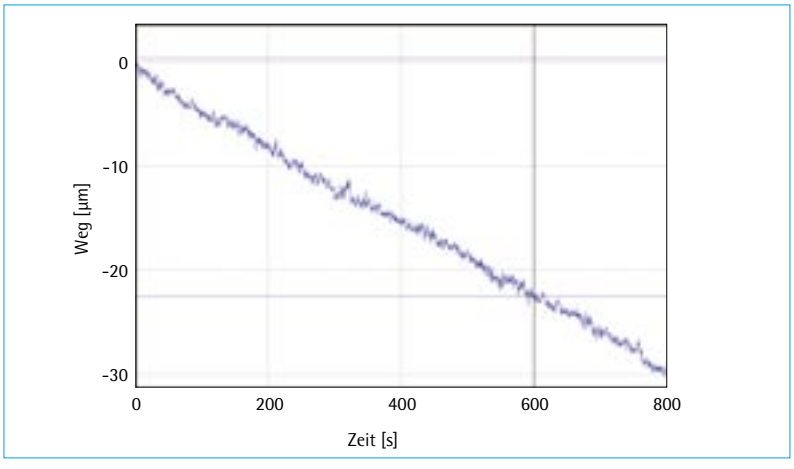

Bild 22: Aufzeichnung der Bewegungskurve des Hallenbodens über 800 s Messdauer (Copyright DESY, Dirk Samberg)

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags ist untersagt.

Bodenplatte der Experimentierhalle DESY PETRA III: Nachbehandeln (Copyright DESY, Markus Faesing)

8 Literatur

[1] Richtlinie „Massige Bauteile aus Beton“, März 2005. Hrsg.: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb).

[2] DIN 18202 „Toleranzen im Hochbau – Bauwerke“, Ausgabe Oktober 2005, Tabelle 3.

[3] Merkblatt „Beton für massige Bauteile“, Fassung Oktober 1996. Hrsg.: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V.

[4] Richtlinie „Beton im Umgang mit wassergefährdenden Stoffen. Teil 1: Grundlagen, Bemessung und Konstruktion unbeschichteter Betonbauteile“, Oktober 2004. Hrsg.: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb).

[5] Merkblatt „Stahlfaserbeton“, Fassung Oktober 2001. Hrsg.: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V.

[6] Dahms, J.: Herstellung und Eigenschaften von Faserbeton. Beton 29 (1979) H. 4, S. 139-143.

[7] Diederichs, U.: Bending Tensile Strength of Steel Fibre Concrete under High Thermal Loads. Proceedings of the 13th IABSE Congress, pp. 483-488, Helsinki, June 6-10, 1988.

[8] Hartwich, K.: Zum Riss- und Verformungsverhalten von stahlfaserverstärkten Stahlbetonstäben unter Längszug. Dissertation TU Braunschweig. Heft 72 der Schriftenreihe Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, 1986.

[9] http://petra3.desy.de/gebaeude/fotogalerie/dezember_2007/19_dezember/index_ger.html.

Bauschild

Bauherr	Deutsches Elektronen Synchroton (DESY), Hamburg
Planung	GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH, Berlin
Generalunternehmer	Ed. Züblin AG, Hamburg
Eigenüberwachung	TPA – Gesellschaft für Qualitätssicherung und Innovation GmbH, Hamburg und Jena
Technische Beratung	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Hillemeier, Technische Universiät Berlin, Institut für Bauingenieurwesen, Fachgebiet Baustoffe und Baustoffprüfung
Transportbeton	Holcim Beton und Zuschlagstoffe GmbH Lieferwerke: Appen und Harburg (Normalbeton) Hafencity und Eidelstedt (Stahlfaserbeton)

Copyright by Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf (www.verlagbt.de)
Veröffentlichung und Verbreitung ohne Genehmigung des Verlags ist untersagt.