

Wirtschaftliche Grundrisse durch innovative Konstruktionen

Hochfeste Fertigteilstützen für ein Verwaltungsgebäude

Hanns-Christoph Zebe, Kaiserslautern

Die Anwendungsbereiche für hochfeste Betone haben sich in den letzten Jahrzehnten stark ausgeweitet. Druckfestigkeiten von rd. 130 N/mm² sind technisch ohne Problem zu erreichen. Bei einem Verwaltungsgebäude in Frankfurt-Niederrad kamen zur Abfangung einer Flachdecke 149 Betonfertigteilstützen mit Zylinderdruckfestigkeiten bis 118 N/mm² zum Einsatz. Zur Verbesserung der Duktilität wurden dem Beton Stahlfasern und Polypropylenfasern zugegeben.

Nicht nur hochfest

Hochfester Beton kommt in Deutschland seit dem Beginn der 1990er Jahre verstärkt zum Einsatz. Dabei zeichnen sich hochfeste Betone gegenüber normalfesten Sorten vor allem durch ihre höhere Druckfestigkeit, eine größere Abriebfestigkeit sowie ihre besonders gute Dichtigkeit aus. Deshalb wird auch häufig von Hochleistungsbeton gesprochen.

Diese positiven Eigenschaften werden durch eine ausgeklügelte Betonzusammensetzung erreicht. Deutlich wird dies in der vergleichenden Betrachtung der Bruchbilder von normalfestem Beton und hochfestem Beton.

Bei Normalbetonen stellt die Zementsteinmatrix den Schwachpunkt des Betongefüges dar: Ein Bruch verläuft um das Gesteinskorn herum; bei hochfesten Betonen geht ein glatter Trennbruch durch die Gesteinskörnung wie Granit oder Basalt entlang der eingeleiteten Kraftlinie hindurch. Daher

gehört die Angleichung der Bruchmechanik des Zementsteins und der Gesteinskörnung zu den wichtigsten Vorbedingungen für die Herstellung eines hochfesten Betons. Der Zementstein kann durch Verringerung des Wasserzementwerts und durch Zugabe z.B. von Silikastaub optimiert werden. Der äußerst feine Silikastaub verbessert das Korngerüst durch Füllen der Porenräume zwischen den Zementpartikeln und die Haftung zwischen Gesteinskörnung und Zementstein.

In der praktischen Anwendung ermöglichen die höheren Druckfestigkeiten, dass die Bauteilabmessungen von Druckgliedern im Hochbau wesentlich verringert werden bzw. die Stützenabstände vergrößert werden können. Die damit einhergehende Vergrößerung der vermietbaren bzw. nutzbaren Fläche schafft wirtschaftlichere Konstruktionen.

Hochfester Beton – mehr Nutzfläche

„Mehr Nutzfläche bei gleicher Grundfläche“ war auch ein wesentliches Argument für die Entscheidung des Bauherrn, der DEKA Immobilien Investment GmbH, für den Einsatz hochfester Stützen bei dem Neubau eines Verwaltungsgebäudes in Frankfurt-Niederrad. Das Gebäude besteht aus vier Einzelbauwerken mit quadratischem Grundriss mit Büronutzung, die um eine zentrale Halle mit 52,4 m Höhe gruppiert sind. Im Erdgeschoss werden öffentlich zugängliche Läden, Restaurants und Konferenzräume untergebracht. In den beiden Untergeschossen sind Technikzentralen, Archive sowie eine Tiefgarage angeordnet.

Die Gebäude sind als Stahlbetonskelettbauten mit aussteifenden Treppenhaukernen und Flachdecken auf einem Stützraster von 6,5 m x 7,3 m ausgelegt (Bild 1). Im Untergeschoss werden die Stützen auf einer 1 m dicken Bodenplatte aufgestellt. Die hochbelasteten Stützen sind als Pendelstützen mit einer Knicklänge entsprechend der Stockwerkshöhe ausgelegt.

Die 26 cm dicken Stahlbeton-Flachdecken sind in der Regel für eine Verkehrslast von

5 KN/m² bemessen. Die geforderte Feuerwiderstandsklasse beträgt je nach Gebäude F 120 und F 90. Bei Planung und Entwurf der Stützen wurde den Beteiligten schnell klar, dass zur Gewährleistung einer wirtschaftlichen und leistungsfähigen Konstruktion mit Fertigteilstützen gearbeitet werden musste, die in vielfacher Hinsicht außerhalb der geltenden technischen Baubestimmungen liegen. So wurde zur Steigerung der Tragfähigkeit zunächst ein hochfester Beton mit einer charakteristischen Zylinderdruckfestigkeit von 118 N/mm² vorgesehen, der somit außerhalb des Geltungsbereichs der DIN 1045:1988 sowie der DAfStb-Richtlinie für hochfesten Beton liegt. Zur Steigerung der Duktilität und zur Verbesserung der Tragfähigkeit im Brandfall wurde ein Fasercocktail aus Stahl- und Polypropylenfasern vorgesehen.

Der zum Einsatz kommende hochfeste Beton hat eine hohe Bruchstauchung von



Bild 1: Hochfeste Betonfertigteilstützen beim Neubau eines Verwaltungsgebäudes in Frankfurt-Niederrad

Der Autor:

Nach dem Studium des Bauingenieurwesens an der Universität Kaiserslautern war **Dipl.-Ing. Hanns-Christoph Zebe** von 1989 bis 1999 Leiter des Technischen Informationsdienstes der Braas GmbH, Oberursel, dann von 1999 bis 2001 Leiter Marketing, Presse- und Öffentlichkeitsarbeit der Heilit+Woerner Bau AG, München. Seit 2001 ist Hanns-Christoph Zebe selbstständig mit zebe-pr Ingenieurbüro für Kommunikation im Bauwesen und Geschäftsführer der Fa. Complan, Consulting – Management – Planung GmbH in Kaiserslautern.

2,75 % und kann somit nicht mit herkömmlichem Betonstahl nach DIN 488 als Druckbewehrung versehen werden. Die Fließgrenze des Betonstahls wäre bereits vor Versagen des Betons erreicht. Zum Einsatz kam stattdessen ein hochfester, warmgewalzter Stahl, der sein elastisches Verhalten deutlich oberhalb der Bruchstauchung des Betons verliert und somit zu einer Verbesserung der Duktilität beiträgt (Bild 2). Der Bewehrungsgrad der Stützen wurde gegenüber herkömmlichen Stahlbetonstützen auf maximal 12 % erhöht. Dies trägt zur Optimierung der Tragfähigkeit bei.

Fertigteilstützen mit Zulassung im Einzelfall

Die Fertigteilstützen wurden stockwerkshoch (3,6 m) hergestellt. Dabei laufen die Stützen durch die Decke aus normalfestem Beton B35 mit reduziertem Querschnitt durch. Die Fuge zum umgebenden Deckenbeton wurde verzahnt.

Die Entwicklung der Betonzusammensetzung für die hochfesten Betonstützen wurde federführend von der i.m.b.-Baustofftechnologie der DYWIDAG-Systems International durchgeführt. Für die Qualität der Fertigteilstützen war aber nicht alleine nur die Rezeptur, sondern auch die Produktionstechnik entscheidend. Dies hatte zu Folge, dass die Fertigungsstätte mit der verfügbaren Technologie eine wesentliche Einflussgröße darstellte. Die Wahl fiel auf das Werk Zeithain der Walter Bau vereinigt mit DYWIDAG.

Im Vorfeld der Produktion waren umfangreiche Untersuchungen erforderlich, um eine Zustimmung im Einzelfall nach § 24 Abs. 1 der Hessischen Bauordnung zu erlangen. Der hochfeste Betons „HFB 125-2“ enthält die in Tafel 1 aufgeführten Bestandteile.

Durch den Einsatz von Polypropylenfasern können Abplatzungen des hochfesten Betons im Brandfall vermieden werden. Die eingesetzten Stahlfasern reduzieren ebenfalls das Abplatzen der Betondeckung im Bruchstadium sowie das duktile Verhalten des hochfesten Betons unter Druckbeanspruchung. Voruntersuchungen zeigten, dass wie erwartet ein Basaltsplitt unter Brandbeanspruchungen ein günstiges Brandverhalten aufweist.

Die Druckfestigkeitsprüfungen wurden an Zylindern und Würfeln durchgeführt, die nach DIN 1048-5 gelagert waren. Dabei zeigte sich, dass die Zylinderdruckfestigkeit nach 28 Tagen im Mittel bei 118 N/mm² lag. Als Zeitpunkt für den Übereinstimmungsnachweis der erforderliche Nennfestigkeit wurde eine Festigkeitsprüfung nach 56 Tagen festgelegt. Sie ergab einen Mittelwert von 133 N/mm² und zeigt die nutzbare Nacherhärtung dieses Betons.

Als Bewehrungsstahl kam „St 750/1200“ der DYWIDAG-Systems International (DSI) zum Einsatz. Dieser Stahl weist eine Streckgrenze von 800 N/mm² und eine Zugfestigkeit von rd. 1 200 N/mm² auf. Als nicht genormter Stahl führt die DSI hierfür eine Spannstahlzulassung mit hinterlegten Fertigungsbedingungen bei der Fremdüberwa-

Tafel 1: Zusammensetzung des hochfesten Betons für die Fertigteilstützen

Betonfestigkeitsklasse (nicht genormt)		B125
Konsistenzbereich		KP
Zementart und -festigkeitsklasse		CEM I 52,5 N
Wasser		o.A.
Gesteinskörnung		Basalte
Sand 0/2a (Edel-Brechsand)	kg/dm ³	2,63
Edel-Splitt 2/5	kg/dm ³	3,00
Edel-Splitt 5/8	kg/dm ³	3,00
Edel-Splitt 8/11	kg/dm ³	3,00
Zusatzmittel		
Fließmittel		o.A.
Silika-Suspension		o.A.

chungsstelle sowie dem Institut für Bautechnik. Im Gegensatz zum Einsatz als Spannstahl wurde hier allerdings für den gewünschten Einsatzbereich als Druckbewehrung das so genannte Recken und Anlassen ausgespart. Es kam also ein Stahl zum Einsatz, der noch keine Belastung erfahren hatte und somit im Druck- wie im Zugbereich annähernd gleiches Verhalten zeigt. Zur Beurteilung der mechanischen Eigenschaften wurden Versuche in Zusammenarbeit der Institute für Massivbau und Stahlbau der TU Darmstadt durchgeführt.

Diese Kombination aus hochfestem Faserbeton „B125“ und hochfestem Stahl „St 750/1200“ führte auch zur Bezeichnung „HH-Stützen“.

Konstruktive Ausbildung des Decke-Stützen-Systems

Die Fertigteilstützen für das Objekt in Frankfurt-Niederrad wurden mit einem quadratischen Querschnitt von mind. 40 cm Seitenlänge konzipiert. Dabei liegt der Bewehrungsgrad in der Regel zwischen 10 % und 12 %. Die Betondeckung beträgt 4 cm. Die Längsbewehrung mit einem Durchmesser von 36 mm aus St 750/1200 ist gleichmäßig über den Querschnitt verteilt und besitzt einen Randabstand von mindestens 66 mm.

Am Fuß- und Kopfende wurde die Stütze mit einer 3 cm dicken Stahlplatte aus S 355 J2G3 versehen. Die Druckbewehrung

wird über Kontaktstoß an die Platten angegeschlossen, da Schweißungen im Bereich der hochfesten Bewehrungsstähe unzulässig sind. An die Platten geschweißte Dübel verhindern ein Herausfallen bei Transport und Montage.

Mit einer Bügelbewehrung aus BSt 500 S wird das Zusammenwirken von Beton und Längsbewehrung sichergestellt. Dabei wird jeder Längsstab durch mindestens einen Bügel gehalten.

Die HH-Stütze wird zur Entschärfung des Problems einer hohen Teilflächenpressung im Deckenbeton durch die Decke des zugehörigen Geschosses geführt. Somit liegt die abschließende Kopfplatte aus Stahl im Bereich der Oberkante Decke. Die Querkraftabtragung aus der Decke erfolgt über eine umlaufende Aussparung der Stütze im Deckenbereich. Hier wird auch die untere Biegebewehrung eingebracht.

Mit einer Zentrier Einrichtung wird der Stoß von Kopf- und Fußplatte konstruktiv geschlossen. Dadurch waren unplanmäßige Lageabweichungen ausgeschlossen. Eventuelle Winkelabweichungen wurden mit einem hochfesten Vergussmörtel ausgeglichen. Die vorgegebene Druckfestigkeit des Vergussmörtels von mindestens 100 N/mm² war durch gesonderte Probekörper nachzuweisen. Diese konstruktive Ausbildung wird auch als DYWIDAG-Kompaktknoten bezeichnet (Bild 3).



Bild 2: Hochfeste Stähle in den Stützen aus hochfestem Beton eröffnen neue bautechnische Perspektiven.



Bild 3: Der DYWIDAG-Kompaktknoten kurz nach dem Entschalen im Werk



Bild 4: Im Vorfeld der Bauausführung wurden umfangreiche Untersuchungen zur Brandsicherheit und Druckfestigkeit der gewählten Rezeptur durchgeführt.

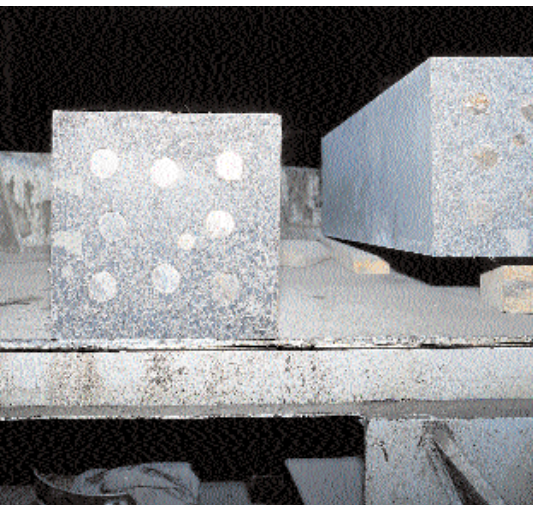


Bild 5: Auch während der Produktion wurden umfangreiche Qualitätsprüfungen vorgenommen.



Bild 6: Sorgfältiges Abreiben und Glätten bei der Produktion der Stützen

Die offene Stahlfußplatte des Kontaktstoßes wird aus Brandschutzgründen mit einer 20 mm dicken Calciumsilikat-Brandschutzplatte geschützt. So bleibt die Kaltbemessung der Knotenbereiche auch für den Brandfall erhalten.

Im System von Decke und Stütze wird auch die Tragfähigkeit eines innenliegenden Deckenknotens entsprechend festgelegt: Der Deckenbeton muss mindestens einem Beton B35 entsprechen, wobei für die obere Deckenbewehrung einen Bewehrungsgrad von 1,2 % und die untere einen Bewehrungsgrad von 0,8 % aufweist. Beide Bewehrungen werden in einem Abstand vom dreifachen Stützenquerschnitt (hinter die Stütze) geführt und dort verankert.

Die Lasteinleitung in das Fundament findet über die Stützenaufstandsfläche als teilflächige Belastung über die 1 m dicke Bodenplatte statt. Teilweise leiten Bohrpfähle unter den Stützen die Lasten weiter in den Baugrund ein.

Brandschutzprüfungen

Bei den umfangreichen Untersuchungen am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig wurde neben dem Tragverhalten auch das Brandverhalten der Stützen geprüft (Bild 4). Im Gegensatz zum bekannten Brandverhalten des Betons und dem Verhalten von Stahl unter Zugbeanspruchung ist das Brandverhalten des Stahls unter Druckbeanspruchung noch weitgehend unerforscht. Für den verwendeten Stahl St 750/1200 wurde im Rahmen der Untersuchungen der Festigkeitsabfall infolge Temperaturbeanspruchung untersucht.

Brandversuche an belasteten und unbelasteten Stützenabschnitten wurden zur Prüfung der Betoneigenschaften und der Gesteinskörnungen durchgeführt. Dabei zeigte der Beton mit Basaltzuschlag und dem Fasercocktail im Brandfall keine nennenswerten Abplatzungen.



Bild 7: DYWIDAG-Kompaktknoten einer eingebauten Fertigteilstütze

Fotos: DSI DYWIDAG Systems International

Produktion der hochfesten Stützen

Für Stützen aus hochfestem Beton ist eine sachgerechte Herstellung, Verarbeitung und Nachbehandlung im Rahmen eines umfassenden Qualitätssicherungsprogramms erforderlich. In diesem Falle wurde ein über die Mindestanforderungen der DAfStb-Richtlinie für hochfesten Beton erweitertes Qualitätssicherungssystem mit entsprechenden Kontrollen eingeführt (Bild 5). Die engen Grenzen für mögliche Abweichungen – z.B. von der geforderten Konsistenz – erforderte eine umfangreiche Schulung des beteiligten Personals.

Für die Erstanwendung der HH-Stützen war die einwandfreie Herstellung der Fertigteile aufgrund des hohen Bewehrungsgrads gesondert zu überprüfen. Im Rahmen einer zerstörungsfreien Prüfung nach dem Impact-Echo-Verfahren waren Fehlstellen nachzuweisen. Rechtzeitig vor dem Einbau der Stützen musste hinsichtlich der Betonfestigkeit und der Qualität der Stützen ein Übereinstimmungsnachweis geführt werden. Hierfür wurde im Qualitätssicherungsprogramm ein Schwellenwert für die Vorabprüfung nach sieben Tagen festgelegt. Bei Einhaltung von mindestens 105 N/mm² bestanden keine Bedenken gegen den Einbau der Stützen. Weitere Festigkeitsprüfungen nach 28 und 56 Tagen ergänzten den Prüfraum.

Entsprechend dieses Qualitätssicherungsplans wurde die Produktion der 149 Stützen im Werk Zeithain vorgenommen. Die Produktion der Stützen erfolgte liegend auf Rütteltischen. Von großer Bedeutung war die Überprüfung des Einbaus der Bewehrung. Die hochfesten Stäbe mussten genau an die Kopf- und Fußplatten stoßen, der Druckkontakt war sicherzustellen. Eine parallele Lage der Längsstäbe zur Schalung war sicherzustellen. Danach wurde der Beton lagenweise mit einer maximalen Lagendicke von 20 cm eingebracht. Innenrüttler mit kleinem Durchmesser unterstützten die Verdichtung des sehr zähen Betons. Der hohe Bewehrungsgrad erschwerte zusätzlich das Einbringen des Betons. Besonderes Augenmerk galt der Vermeidung von Hohlstellen bei der Kopfausbildung. Nach dem Abreiben und Glätten der freien Oberfläche (Bild 6) wurde eine Folie zum Schutz gegen Feuchteentzug auf die Betonfläche gelegt. Auch während der anschließenden Lagerung blieben die Stützen in Folie eingewickelt.

Schlussbetrachtung

Mit der Kombination von hochfestem Stahl und hochfestem Beton lassen sich so genannte „HH-Stütze“ auch über die Festlegungen bestehender Normen und Regelwerke hinaus herstellen. Dabei zeigt sich, dass sowohl die Rezeptur als auch die verwendeten Bestandteile nur durch einen abgestimmten Qualitätssicherungsplan sicher zusammengeführt werden können. Mit umfangreichen Untersuchungen wurde die Zulassung im Einzelfall durch die zuständige Behörde erteilt. Die für eine wirtschaftliche Verwertung des Gebäudes sinnvolle Querschnitt-Reduzierung der Stützen wurde erfolgreich geplant und durchgeführt.