

Sonderdruck aus

beton

48 (1998) H. 9, S. 538/544



PHILIPP HOLZMANN
Aktiengesellschaft

Peer Albrecht, Düsseldorf

Der neue Zollhof in Düsseldorf

Innovative Schalung für ein außergewöhnliches Bauprojekt



READYMIX
ZEMENT **99**
Tag ESSEN

Innovative Schalung für ein außergewöhnliches Bauprojekt

Der neue Zollhof in Düsseldorf

Peer Albrecht, Düsseldorf

Im Düsseldorfer Hafengebiet entsteht seit einigen Jahren eine neue Medienmeile. Teil dieser Gesamtkonzeption ist das Gebäudeensemble „Der neue Zollhof“. Der für seine skulpturalen Gebäude international bekannte Architekt Frank O. Gehry aus Los Angeles entwarf das dreiteilige Bürohaus-Ensemble (Bild 1), dessen Realisierung die Entwicklung neuer Schalungstechniken erforderlich machte und den Bauherrn und das ausführende Bauunternehmen vor ungewöhnliche Aufgaben stellte. Unter verstärktem Einsatz von CAD-Programmen und mit dem Mut zu innovativen Lösungen kann der im August 1996 begonnene Rohbau in wenigen Wochen abgeschlossen werden. Der Beitrag zeigt die Umsetzung der Idee eines ungewöhnlichen Architekten in ein technisch anspruchsvolles Bauprojekt.

1 Der Entwurf und sein Umfeld

Der Düsseldorfer Hafen erfährt z.Z. eine städtebauliche Neugestaltung. Unter Beteiligung namhafter internationaler Architekten entsteht ein kreatives Arbeits- und Begegnungsfeld für Künstler, Filmgesellschaften, Galerien, Werbeagenturen und Kommunikationsunternehmen sowie für weitere Unternehmen der Medienwelt – die Medienmeile.

Über die neue Rheinuferpromenade sind die Neubauten des Hafens für Fußgänger aus dem Zentrum Düsseldorfs erreichbar.

Der mit dem Entwurf des neuen Zollhofs betraute Frank O. Gehry hat mit seinen an Raumplastiken erinnernden Gebäuden, wie dem Vitra Design Museum in Weil am Rhein, dem „tanzenden“ Gebäude der Nationale Niederlande in Prag und der Ende

1997 in Bilbao eröffneten Guggenheim-Dependance, in den letzten Jahren in Europa große Beachtung gefunden. Kennzeichnend für seine Entwürfe sind ineinander verschobene und gedrehte geometrische Körper, die in ihrer Gesamtkomposition ein Bild erstarrter Bewegung ergeben. Seine Entwürfe entstehen nicht am Zeichentisch, sondern am Modell. Ausgehend von einer Grundidee gestaltet und formt Gehry in vielen Arbeitsschritten Gebäudevolumen und -kompositionen, bis das Ergebnis sein Gefallen findet.

Die Grundidee des Zollhof-Entwurfs war ein Gebäudekomplex aus drei Einzelgebäuden, von denen jedes durch die Verwendung unterschiedlicher Geometrien und Materialien eine eigene Identität aufweisen sollte.

2 Das Projekt

Das gesamte 12 500 m² große Grundstück bildet eine Plaza, auf der die drei Gebäude (Haus A, B und C) miteinander in Dialog treten. Ihre Lage orientiert sich an der vorhandenen Straßenführung, nimmt diese auf und verlängert sie zu Gehwegen zwischen den Gebäuden, so daß der Sichtbezug der landseitigen Bebauung zum Rhein hin sowie die fußläufige Erschließung des Rheins erhalten bleiben (Bild 2). Die Plaza wird als Plattenbelag mit strahlenförmig eingelegten Edelstahlstreifen ausgeführt, deren Zentrum vor Haus B liegt. Unterhalb der Plaza befindet sich eine eingeschossige, als weiße Wanne ausgeführte Tiefgarage mit 462 Stellplätzen.

Plazagegestaltung, Gebäudekomposition und die Ausführung in drei unterschiedlichen Fassadenmaterialien ergeben zusammen eine eigenwillige Gebäudesilhouette. Das weiß verputzte Haus C und das mit rotem Klinker verkleidete Haus A spiegeln sich in der Edelstahlfassade von Haus B. Der gesamte Gebäudekomplex umfaßt rd. 109 000 m³ umbauten Raum.



Bild 1: Computersimulation des Projekts „Der neue Zollhof“

Der Autor:

Peer Albrecht studierte Bauingenieurwesen an der FH Eckernförde/Kiel. Daran schloß er ein Studium der Bauinformatik an der FH Holzminden an. 1993 begann er seine Tätigkeit im Technischen Büro der Philipp Holzmann AG, NL Düsseldorf, worauf Tätigkeiten als Bauleiter auf Baustellen im Tief- und Hochbau folgten. Auf der Baustelle „Der neue Zollhof“ ist er verantwortlicher Bauleiter für den Rohbau.

2.1 Haus A

Der Grundriß von Haus A mit rd. 8 000 m² Mietfläche auf zwölf Etagen ist aus mehreren an Bauklötze erinnernde Elemente zusammengesetzt. Über dem dritten Obergeschoß findet an zwei Elementen eine „Verdrehung“ statt. Gerade Kanten im Grundriß ergeben ebenflächige Wände. Da diese Wände sich jedoch mit Neigungen von $\pm 4^\circ$ bis zu $\pm 6^\circ$ in verschiedene Richtungen verschneiden, entstehen räumliche Knicke.

2.2 Haus B

Haus B mit rd. 4 600 m² Mietfläche auf sieben Etagen setzt sich aus Freiformflächen zusammen. Stark konkav und konvex gebogen und räumlich verformt, erinnert die Edelstahlfassade an einen im Winde wehenden Theatervorhang. Gehry erklärt die Form und die schuppenartige, spiegelnde Gestaltung der Fassade als abstrahierte architektonisch umgesetzte Form eines Karpfens in seiner Bewegung.

2.3 Haus C

Auch Haus C mit rd. 10 500 m² Mietfläche auf 14 Etagen ist aus Freiformflächen zusammengesetzt. Leichte Krümmungen und starke Wandneigungen lassen ein Gebäude entstehen, das fortwährend neue Raumerlebnisse ermöglicht. Wie Haus A ist auch Haus C aus einzelnen geometrischen Körpern zusammengesetzt, die auf verschiedener Höhe mit individuell geneigten Dächern abschließen.

Die Fenster aller drei Gebäude stehen kastenförmig aus der Fassade hervor, woraus sich ein Anblick ergibt, von dem Gehry angeblich während des Entwurfes träumte – ein mit Speck gespickter Rehrücken.

2.4 Der Bauherr

Bauherr dieses Projektes ist die Kunst- und Medienzentrums Rheinhafen GmbH. Als Ausführungsarchitekt beauftragte der Bauherr das Büro BM+P (Beucker, Maschlanka + Partner). Ausführender Generalunternehmer ist die Niederlassung Düsseldorf der Philipp Holzmann AG. Von ihr wurde im Vorfeld des Baubeginns eine Machbarkeitsstudie erstellt, in der untersucht wurde, ob und auf welche Weise der Entwurf technisch realisierbar war.

2.5 Das CAD-Modell

Das fertige Modell des Entwurfs wurde im Büro Gehry eingescannt und mit CATIA bearbeitet. Bei CATIA handelt es sich um eine CAD-Software, die in der Lage ist, Freiformflächen zu erfassen und in räumliche CAD-Modelle umzusetzen. Diese Software ist aus dem Automobil- sowie dem Flugzeugbau bekannt. Das in CATIA erstellte Computermmodell definierte die kompletten Gebäudehüllen. Die immense Ansammlung dreidimensionaler Daten stellte den Entwurf dar. Vom ausführenden Generalunternehmer wurde die Realisierung anhand des digitalen Modells erwartet.

3 Stützen und Decken

Die starken Neigungen der einzelnen Gebäudkörper führten dazu, daß auch die Mehr-

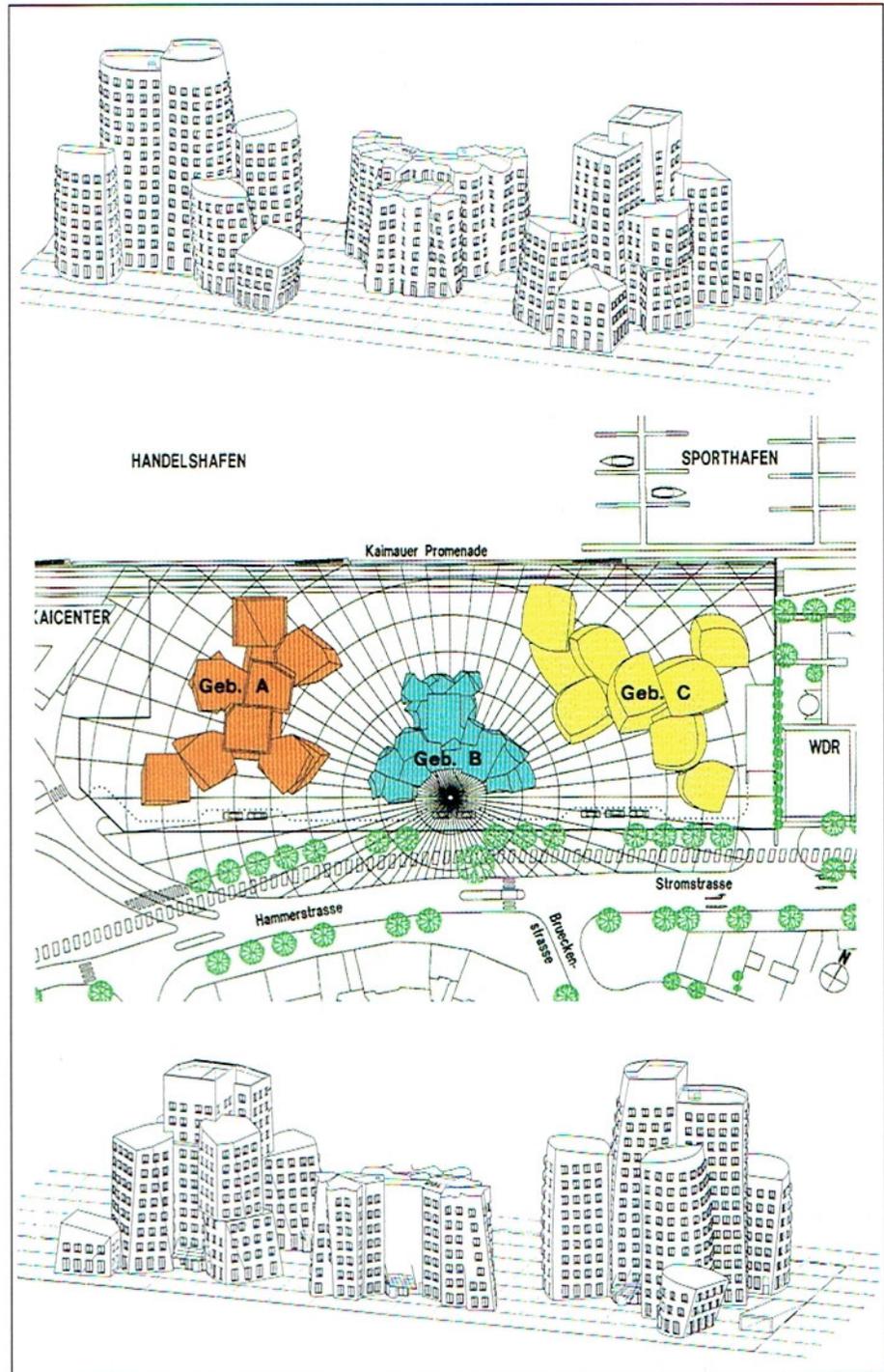


Bild 2: Städtebauliche Einbindung in das Hafengebiet (Mitte) und Ansicht (oben) vom Rhein sowie (unten) landseitige Ansicht

zahl der lastabtragenden Stützen Neigungen aufweist. Bei bis zu 28° Neigung ergeben sich auf Geschoßhöhe für die tragenden Stützen horizontale Abweichungen von bis zu 1,70 m. Unter Verwendung von konventioneller Stützenschalung wurde ein entsprechend geneigter Stützenfuß beigeschalt sowie die Ausschallfristen aufgrund der extremen Neigungen und der damit auf den jungen Beton einwirkenden Biegemomente verlängert.

Zur Herstellung der Decken wurde eine Systemschalung mit Fallkopf verwendet. Die Randschalung mußte entsprechend der gekrümmten Fassadenkontur beigeschalt wer-

den. Die Deckenbewehrung wurde mit mehreren Lagen Listenmatten sowie Stabstahllagen ausgeführt, um für die zu erwartende Beanspruchung durch Biegung und Schub sowie die Scheibenbeanspruchung ausgelegt zu sein. Die um bis zu 23° geneigten Abschlußdecken der einzelnen Elemente der Häuser A und C wurden unter Verwendung von zwei Lagen Schalungsträger auf Schalungstürmen geschalt und abgefangen. Die Decke wurde in zwei Abschnitten mit einem Beton steifer Konsistenz betoniert. Der Anschluß der geneigten Decken an die horizontalen Decken erfolgte durch eine komplizier-

te Koppelstelle. Die Geometrie war für jeden Deckenanschluß unterschiedlich. Der Anschluß erfolgte teilweise höhengleich, z.T. in der Wand sowie in einigen Fällen durch einen höhenvariablen Drempel. Zugbänder aus Bewehrung leiten die anfallenden Zugkräfte über die horizontale Decke in den Kern.

Das Dach von Haus B besteht aus einer Vielzahl geneigter Einzelflächen mit mehreren Deckenknicke und Deckenversprünge. Ausgehend vom CATIA-Modell wurde ein Schalplan erstellt, aus dem Koordinatenpläne und Schalungs- sowie Bewehrungspläne entwickelt wurden. Eine intensive Arbeitsvorbereitung und die Unterstützung von Vermessungsingenieuren ermöglichte es den Zimmerleuten, die vierteilige Deckenfläche vor Ort zu schalen.

4 Fassaden

4.1 Rohbaufassade Haus A

Die ebenflächigen Wände setzen sich aus tragenden, 25 cm dicken Fassadenelementen in Stahlbeton-Fertigteilbauweise zusammen. Aussteifende Wände und Wandscheiben-Fassadenversprünge an zwei Teilkörpern des Gebäudes mußten in Ortbeton erstellt werden. Hierzu wurden mehrere Stahlträger mit bis zu 70 mm dicken Flanschen in die Ortbetonwände einbetoniert, die die Lasten aus der verspringenden Fassade in die tragende Konstruktion weiterleiten.

Die Schalpläne der Fassadenfertigteile wurden ausgehend vom CATIA-Modell dreidimensional im Computer erstellt und die Fertigteile anschließend konventionell im Werk produziert. Hierbei erschwerte die Herstellung der räumlichen Knicke die Schalarbeiten. Die einzelnen Fertigteile waren so bemessen, daß zur baustellenseitigen Montage nur wenige Fertigteile durch einem Autokran plaziert werden mußten. Fast jedes

der bis zu 6 m hohen, 4 m breiten und bis zu 9 t schweren Fertigteile ist ein Unikat.

Fugen von Wandfertigteilen werden i.d.R. nach Montage und vor dem Schalen der Decke beidseitig zugeschalt und mit Beton oder Vergußmörtel verfüllt. Für Haus A entwickelte die Rohbauleitung eine neue Lösung. Die Fugen wurden vom ausführenden Personal einseitig mit einem Brett geschlossen gehalten und von der anderen Seite mit einem speziellen Mörtel verfüllt (Bild 3). Durch die Beigabe von Zusatzmitteln und -stoffen erhielt der Mörtel thixotrope Eigenschaften, war pumpfähig und ermöglichte durch einen sehr geringen Schalldruck das Verfüllen bei nur einseitigem Schließen. Der Mörtel entsprach den Anforderungen der DIN 1045 Abschnitt 6.7.1. Mit diesem Verfahren konnten die für das Fugenverfüllen kalkulierten Kosten um ca. 20 % reduziert werden. Ein weiterer Vorteil ergibt sich dadurch, daß das Schließen der Fugen zeitunabhängig von der Betonage der Decke, d.h. auch im Anschluß an diese erfolgen kann. Das Verfahren wurde in Zusammenarbeit mit der Fa. Firetec erfolgreich umgesetzt. Diese Lösung ist zum Schließen von Fertigteilfugen allgemein einsetzbar und kann auf vielen Baustellen neben Kostenersparnissen auch zu einem vereinfachten Arbeitsablauf führen.

4.2 Rohbaufassade Haus B

Die stark gekrümmten Freiformflächen der Fassade von Haus B stellten die größte Herausforderung für das ausführende Unternehmen dar. Im Gegensatz zu bisherigen Gehry-Bauten, die trotz komplexer Geometrien immer durch Radien, Hyperbeln u.ä. Funktionen definiert werden konnten, ist die Geometrie von Haus B durch reine Freiformflächen bestimmt. Bauphysikalische Gründe ließen eine Ausführung der Gebäudefassade als gekrümmte Stahlkonstruktion nicht zu, weshalb nur eine Ausführung in Massivbauweise in Frage kam.

Ein neues, mittlerweile zum Patent angemeldetes Verfahren ermöglichte es, die Fassade in Betonfertigteilen auszuführen. Dazu wurden die umfangreichen Computerdaten des Gebäudekomplexes in geschoßhohe Scheiben zerteilt und anschließend konvertiert, so daß die einzelnen Geschosse mit den Softwareprogrammen acad und mechanical desktop bearbeitbar waren. Jede Geschoßscheibe wurde nach statischen und konstruktiven Gesichtspunkten in 18 cm dicke, nichttragende Fertigteile aufgeteilt (Bild 4). Die einzelnen Fertigteile wurden dann in die CATIA-Software rückgeführt und auf ihre Maßhaltigkeit und Paßgenauigkeit überprüft, bevor sie zur Produktion freigegeben wurden. Für keines der Fassadenfertigteile wurde ein Schalplan erstellt. Sie existierten lediglich als Computerdaten. Die „Schalplanfreigabe“ erfolgte somit ebenfalls auf Basis dieser Daten.

Die Fa. Grunewald KG, Kooperationspartner der Philipp Holzmann AG Düsseldorf für dieses Verfahren, schrieb entsprechend den Computerdaten ein CNC-Programm, das eine Fräsmaschine steuerte. Je nach Geometrie des Fertigteils wurde aus

großdimensionierten Styroporblöcken mit der Fräsmaschine die Schalform für das jeweilige Fertigteil computergesteuert gefräst (Bild 5). Der geeignete Fräskopf, die mögliche Fräsgeschwindigkeit und der akzeptable Frässpuraabstand waren in Vorversuchen ermittelt worden.

An mehreren vom Computer errechneten Kontrollmaßen konnte die fertige Form überprüft werden. Die Gesamtbetonoberfläche wurde automatisch ermittelt. Zwei in die Form gefräste Aussparungen dienten zum späteren Einbau von Vermessungspunkten. Die fertige Form wurde anschließend zu einem Fertigteilwerk transportiert und einem Bewehrungsmusterplan entsprechend bewehrt und mit einem Beton plastischer Konsistenz ausbetoniert (Bild 6). Nach dem Verdichten wurde das Fertigteil durch Abreiben in die genaue Form gebracht. Durch ein geeignetes, den Styropor nicht angreifendes Trennmittel war ein leichtes Ausschalen möglich. Das Fräsgut und die Schalkörper wurden recycelt.

Auf diese Weise entstanden ohne einen Schalplan und mit nur wenigen Bewehrungsplänen 355 unterschiedliche, numerierte, bis zu 6 m hohe, 4 m breite und bis zu 6 t schwere Fertigteile. Mit Hilfe der exakt einbetonierten Vermessungspunkte wurden die Fertigteile bei der Montage auf der Baustelle mit einem Tachymeter über Koordinaten räumlich justiert. Die Kontrolle ergab, daß die Fertigteile mit einer Genauigkeit von ± 1 cm der Vorgabe des Computermodells entsprachen und damit eine höhere Maßgenauigkeit aufwiesen als herkömmliche, gerade Fertigteilwände. Die Montage auf der Baustelle wurde so zu einem Puzzlespiel (Bild 7). Die logistische Koordination der Fräsfirma, der Anlieferung der Schalformen an das Fertigteilwerk und der benötigten Fertigteile für die Baustelle führte zu just-in-time-Lieferungen und beanspruchte damit bei allen Beteiligten nur geringe Lagerkapazitäten.

4.3 Rohbaufassade Haus C

Auch die Erstellung der Freiformfassadenflächen von Haus C wurde computertechnisch gesteuert. Da die Wandkrümmungen und -neigungen jedoch geringer sind als an Haus B, wurde ein anderes Verfahren entwickelt. Ausgehend von den Computerdaten des CATIA-Modells wurden jeweils geschoßweise für jedes Fenster links und rechts zwei Stahlschwerter und dazwischenliegende Brüstungs- und Sturzbleche konstruiert. Die Daten wurden einer Stahlbaufirma übergeben, die die Stahlschwerter aus 10 mm dicken Blechen CNC-gesteuert herausbrannte. Diese wurden auf der Baustelle über Koordinaten eingemessen und zwischen den Decken montiert. So ergab sich für jedes Fenster ein Stahlrahmen, der die Krümmung der Fassade vorgab. Mit den Stahlschwertern als Lehre, ohne Schnur und Wasserwaage wurde die aus rd. 1600 verschiedenen vertikalen Stahlschwertern vorgegebene Kontur mit Wandneigungen bis zu 17° aus 17,5 cm dickem, bewehrtem Kalksandstein-Mauerwerk ausgemauert. Die Bewehrung wurde vorgesehen,



Bild 3: Schließen der Fertigteilfugen mit Spezialmörtel in Haus A

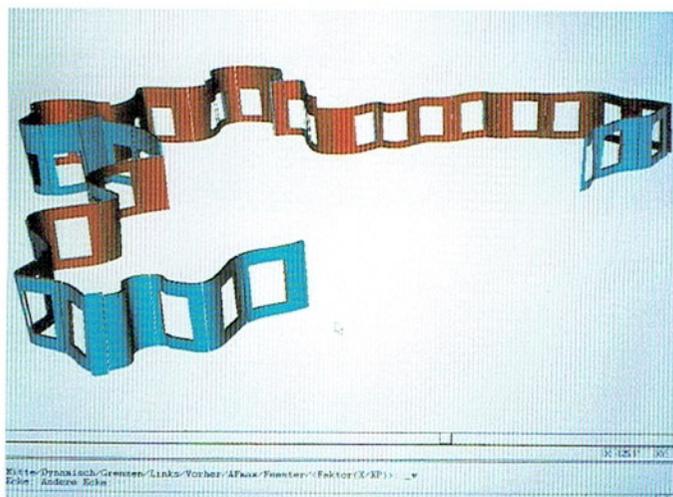


Bild 4: Abwicklung einer Geschoßscheibe (Haus B)

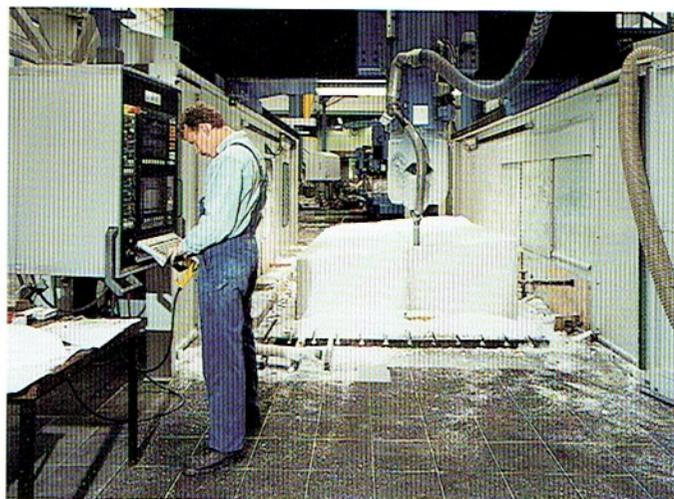


Bild 5: CNC-gesteuertes Fräsen der Styroporform (Haus B)

damit das Mauerwerk über die Stahlschwerter abgehängt werden konnte. Über eine Brandsfallsimulation am Computer wurden die erforderlichen Brandschutzmaßnahmen für den Brandschutz der Stahlschwerter entsprechend der Hochhausverordnung ermittelt.

Im Inneren des Gebäudes räumlich gekrümmte Ortbetonwände wurden nach dem Verfahren der Fertigteile von Haus B erstellt. Dafür wurde eine herkömmliche Wandschalung an den Innenseiten mit Styroporinlets versehen, die dem Formenverlauf der Wand als Negativform entsprachen (Bild 8). Die Styroporkörper wurden im Computer konstruiert, CNC-gesteuert gefräst, auf der Baustelle wie ein Puzzlespiel auf der Wandschalung befestigt und gegen Auftrieb gesichert. Um einen Wärmestau innerhalb der Styroporschalung auszuschließen, wurde ein Hochofenzement verwendet, der eine niedrige Hydratationswärmeentwicklung sicher-

stellt. Mit diesem Verfahren ist es möglich, räumlich gekrümmte Betonbauteile wirtschaftlich auf der Baustelle herzustellen.

5 Beton

Die Decke der Tiefgarage sowie die Geschoßdecken der Hochbauten wurden über eine FEM-Berechnung bemessen. Die entwerfsbedingte unterschiedliche Lastabtragung durch die Stützen hätte bei Verwendung eines Betons einer einzigen Festigkeitsklasse zu stark variierenden Stützendurchmessern geführt oder einen so großen Bewehrungsanteil erfordert, daß ein ordnungsgemäßes Betonieren und ein sorgfältiges Verdichten nicht hätte gewährleistet werden können. Da der Stützenquerschnitt aus gestalterischen Gründen jedoch durchgehend gleich dimensioniert war, wurde es notwendig, einige stark belastete Stützen in hochfestem Beton auszuführen.

In der Tiefgarage wurden aufgrund des unterschiedlichen Lasteintrags drei Stützen innerhalb des Achsrasters unter Verwendung von Mikrosilica in Beton der Festigkeitsklasse B 85 (Tafel 1) ausgeführt. In den Hochbauten kam für 74 Stützen ein Beton der Festigkeitsklasse B 65 zum Einsatz. Dabei wurden nicht nur die einzelnen Stützen, sondern auch die Decken im Anschlußbereich der Stützenköpfe in B 65 ausgeführt (Bild 9 und Tafel 2). Durch den hierfür verwendeten Zement kam es zu einer starken Dunkelfärbung des Betons.

5.1 Polypropylen-Faser

Aus brandschutztechnischen Gründen wurden dem hochfesten Beton Polypropylen-Fasern mit einer Länge von 12 mm zugemischt. Im Brandfall entsteht durch die Entwässerung des Zementsteins ein sehr hoher Wasserdampfdruck. Hochfester Beton zeichnet sich durch



Bild 6: Bewehren der Styroporform im Fertigteilwerk (Haus B)



Bild 7: Montage der Fertigteile im Erdgeschoß (Haus B)

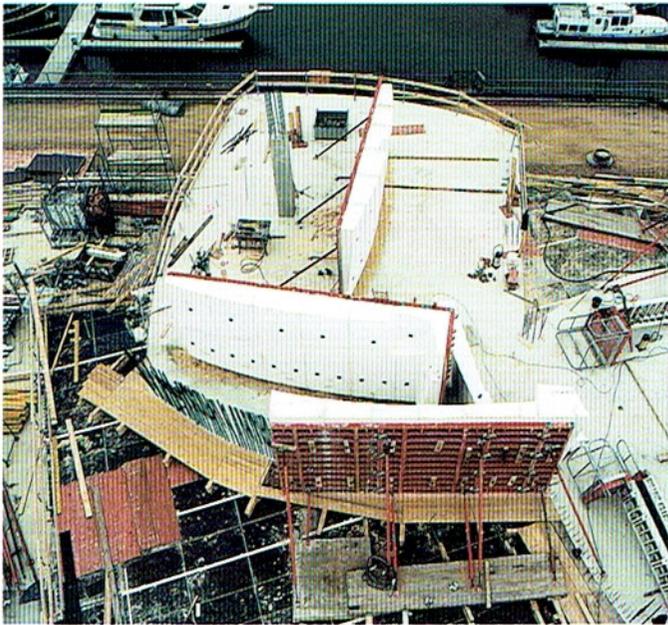


Bild 8: Styporschalungsinlets für die freigeformten Innenwände aus Ort beton (Haus C)



Bild 9: Stütze und Deckenanschluß in B 65

einen geringen Porenanteil aus, weshalb es bei einem Brand nicht zu einem Entweichen des sich anstauenden Wasserdampfdruckes kommen kann. Die daraus resultierende Zugbeanspruchung des Betons würde zu Abplatzungen so großen Ausmaßes führen, daß die lastabtragende Funktion des Bauteils nicht mehr gewährleistet wäre. Die beigemischten Polypropylen-Fasern würden in einem Brandfall bei ca. 160 °C schmelzen und dabei feine Kapillarporen bilden, auf die sich der Wasserdampfdruck verteilen und somit abbauen würde.

Versuche an Probewürfeln mit und ohne Faserbeimischung im Trockenschrank bei rd. 400 °C führten zu massiven Abplatzungen an Würfeln ohne Fasern, während die Probewürfel unter Zugabe der Polypropylenfasern nur geringe Abplatzungen im oberflächennahen Bereich aufwiesen.

5.2 B 65

Bei der Verwendung des Betons der Festigkeitsklasse B 65 mußte aufgrund des sehr niedrigen w/z-Wertes die erforderliche Konsistenz durch Zugabe eines hochwirksamen Fließmittels eingestellt werden. Bei der Ver-

arbeitung des jeweils nur in sehr kleinen Chargen gelieferten B 65 ergaben sich in bezug auf die Verarbeitbarkeit (Konsistenz) erhebliche Streuungen, wobei jede Charge die erforderliche Nennfestigkeit erreichte (Bild 10 und Tafel 3). Die Streuung der 28-Tage-Festigkeit betrug 4,6 N/mm².

Die unterschiedliche Konsistenz ist auf verschiedene Zielkonsistenzen sowie auf die unverhältnismäßig kleinen Liefermengen in Verbindung mit einem schnell anstehenden Beton zurückzuführen. Der Beton für die Stützen war mit einem Ausbreitmaß von 46 cm konzipiert, um sicherzustellen, daß eine ausreichende Verdichtung der stark bewehrten Stützen gewährleistet werden konnte. Im Deckenbereich der Stützenköpfe war ein Ausbreitmaß von 38 cm vorgegeben. Die insgesamt extremen Min.-Max.-Werte zwischen 31 cm und 58 cm sowie Fließmittelzugaben, die zwischen 8 l/m³ und 19 l/m³ schwankten, waren auf die sehr geringen Liefermengen von 1,0 m³ bis 4,0 m³ und die schwierige Fließmittelzugabe zurückzuführen. Bei Lieferung von häufig nur 1,0 m³ B 65 für eine Stütze

zeigte sich, daß allein die Ermittlung des Ausbreitmaßes im Werk und auf der Baustelle vor und nach jeder Fließmittelzugabe so viel Zeit beanspruchte, daß sich zu Beginn der Betonage die Wirkung des Fließmittels schon abgeschwächt hatte. Während des Betonierens ist ein weiteres Ansteifen ebenfalls nicht zu verhindern. Werkseitig wurden dem Beton jeweils 4,2 l/m³ an Fließmittel zugegeben. Auf der Baustelle war es gelegentlich notwendig, ein- bis zweimal nachzudosieren, so daß insgesamt eine Fließmitteldosierung von 4,2 l/m³ bis 15 l/m³ erreicht wurde. Zudem erwies sich die Fließmittelzugabe bei der Lieferung von kleinen Mengen B 65 von 1 m³ als problematisch, da die Ausgangskonsistenz im Bereich KS lag und die Mischtrommelgrößen zwischen 6 m³ und 9 m³ liegen. Aus vorgenannten Gründen kam es in einzelnen Fällen zu einer Überdosierung. Die hieraus hergestellten Stützen wiesen eine schuppenartige Oberfläche auf. Die Druckfestigkeit wurde nicht beeinflusst. Als Fazit läßt sich feststellen, daß bei kleinen Liefermengen die exakte Dosierung des Fließmittels ebenso notwendig wie

Tafel 1: Betonzusammensetzung B 85

Betonfestigkeitsklasse		B 85
Konsistenzbereich		KF
Zementart und Festigkeitsklasse		CEMI 42,5 R-HS
Zementgehalt z	kg/m ³	450
Wassergehalt w	kg/m ³	153
w/z		0,34
Zuschlaggehalt	kg/m ³	1816
Sand 0/2a	%	34
Kiessand 2/8	%	21
Kies 8/16	%	45
Mikrosilica	kg/m ³	60
PP-Fasern	kg/m ³	2
Zusatzmittel: FM	kg/m ³	14,3
VZ	kg/m ³	1,6

Tafel 2: Betonzusammensetzung B 65

Betonfestigkeitsklasse		B 65
Konsistenzbereich		KF
Zementart und Festigkeitsklasse		CEMI 42,5 R-HS
Zementgehalt z	kg/m ³	420
Steinkohleflugasche f	kg/m ³	30
Wassergehalt w	kg/m ³	152
w/(z + 0,4 · f)		0,35
Zuschlaggehalt	kg/m ³	1881
Sand 0/2a	%	35
Kiessand 2/8	%	20
Kies 8/16	%	45
PP-Fasern	kg/m ³	1,8
Zusatzmittel: FM	kg/m ³	14,2

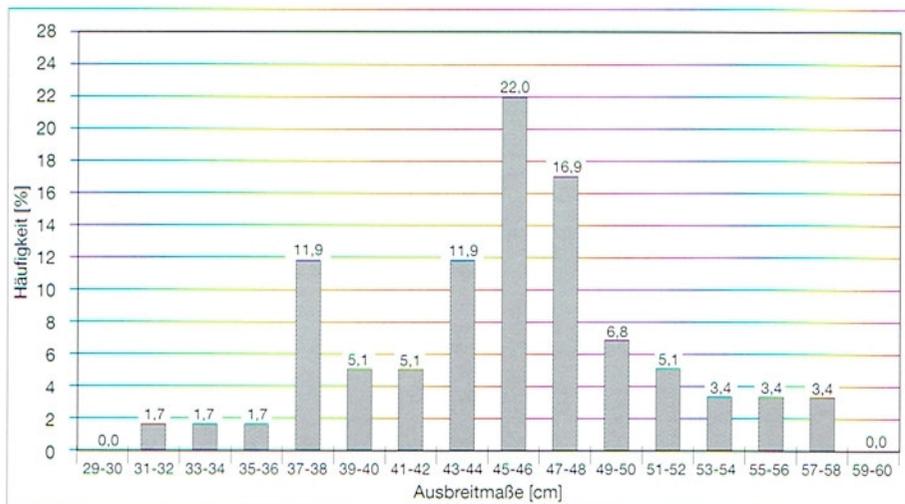


Bild 10: Streuung der Konsistenz des B 65

schwierig ist und über die Praktikabilität des Einsatzes von hochfestem Beton entscheidet. Das vorrangige Problem liegt dabei nicht im Erreichen der Zielfestigkeit, sondern in der Beherrschbarkeit der Konsistenz.

6 Besonderheiten des Projekts

Die Baustelle „Der neue Zollhof“ ist vielleicht Deutschlands einzige Hochbau-Baustelle, auf der nicht eine Achse abgesteckt wurde. Statt dessen wurden rd. 22 000 Koordinatenpunkte auf dem Baugrundstück eingemessen, damit Deckenränder, Stützen und Wände geschalt oder Fertigteile positioniert werden konnten. Bedingt durch die verdrehte Geometrie der vertikalen Bauteile war je Decke ein doppelter Satz von Schalplänen zu erstellen; je Geschoß jeweils ein Schnitt auf OK Decke sowie auf UK Decke.

Die Tiefgaragendecke oberhalb der mit einem symmetrischen Stützenraster versehenen Garage nimmt die Lasten der unsymmetrischen Hochbebauung auf und fungiert als Abfangplatte. Die bis zu 1,50 m dicke Decke wurde mit der Finite Elemente Methode aus rd. 9 000 Elementen errechnet. Beim Bau der Tiefgarage wurden rd. 23 000 m³ Beton und rd. 3 000 t an Bewehrungsstahl eingebracht. Für die gesamte Hochbebauung wurden weitere rd. 12 500 m³ Beton und rd. 2 000 t an Bewehrung benötigt. Aufgrund der verwundenen Geometrie wurde für das Haus C eine räumliche FEM-Berechnung durchgeführt, aus der die Verformung unter allen Lastfällen sowie Kriechen und Schwinden ermittelt wurden. Eine Windkanaluntersuchung ergab die Windbeanspruchung des Baukörpers.

Auch das Gerüstbauunternehmen wurde bedingt durch die komplexe Geometrie des Projekts vor große Herausforderungen gestellt. Zum Einsatz kam ein flexibles Modulgerüst, dessen Aufstellung genaue CAD-Planungen vorausgingen. So konnten die Startpunkte des Gerüstes über Koordinaten definiert und sichergestellt werden, daß die sich nach oben verändernde Geometrie bei wachsendem Baufortschritt einrüstbar blieb. Die verspringenden Elemente im Haus A, die engen Radien am Haus B sowie die starken

Wandneigungen von Haus C machten auch das Gewerk Gerüstbau außergewöhnlich anspruchsvoll.

7 Baufortschritt

Zur Zeit werden die aufwendigen Fassaden der Gebäude erstellt. Das Problem, die geforderte Form genau einzuhalten, ergibt sich vor allem bei der gemauerten und verputzten Fassade des Hauses C. Ein Ausgleichsputz stellt die geforderten Krümmungen des Ausfachungsmauerwerks sicher. Die Edelstahlfassade von Haus B ist mit viel manueller Maßarbeit herzustellen. Die einzelnen 0,40 mm dicken Bleche in den Abmessungen von 50 cm x 100 cm müssen gemäß Aufmaß am Gebäude als unsymmetrisches Viereck so ausgeschnitten werden, daß sich bei der Montage der Bleche an die engen Radien des Gebäudes horizontale und vertikale Fugen ergeben. Die Klinker von Haus A müssen an Fensterlaibungen, Ecken und Knicken paßgeschnitten werden. Die verklinkerten Dächer



Bild 11: Herstellung einer Verzugstrecke im Kanalbau mit CNC-gefräster Styroporschalung

Fotos und Graphiken: Holzmann

Tafel 3: Festigkeitsentwicklung B 65

N/mm ²	3 Tage	28 Tage	56 Tage
max. Wert	73	86	89
min. Wert	48	66	66
Mittelwert	60	75	78

Die Würfel mit Prüfalter von drei Tagen wurden in der Klimakiste bei 35 °C gelagert.

und der attikalose Übergang von Klinkerwand zu Klinkerdach stellen weitere ungewöhnliche Anforderungen. Die Fenster aller Häuser werden als in die Fassade geschobene Boxen ausgeführt. Die rd. 80 verschiedenen Fensterboxtypen haben verschiedene Abmessungen und jede der rd. 1 600 Boxen ist speziell justiert, d.h. sie steht in einem exakt definierten Maß aus der Fassade hervor und weist zudem Achsverschiebungen nach links oder rechts auf. Damit wird die Montage jeder einzelnen Fensterbox zum Einbau eines Unikats.

8 Schlußbetrachtung

Der neue Zollhof stellt in der Hochbaulandschaft Deutschlands ein Ausnahmeprojekt dar. Die Wirtschaftlichkeit der mit hohem Aufwand hergestellten Skulpturen zeigt sich mit der erfolgreichen Vermarktung der Gebäude sowie in der weiteren Verwendung der an dieser Baustelle entwickelten Innovationen für den Bauablauf. Das neue Verfahren für die Herstellung freigeformter Flächen ist wirtschaftlich und zeitsparend und eröffnet Perspektiven für die Herstellung räumlich gekrümmter Betonbauteile. So wurde beim Bau eines Bauwerkes des Hauptsammlers Mitte Los 6 in Düsseldorf mit Einverständnis des Kanal- und Wasserbauamtes eine Verzugstrecke von rechteckigen auf runden Querschnitt mit Hilfe einer CNC-gefrästen Styroporform hergestellt (Bild 11).