

TIEFBAU

AUSZUG
Seiten 1 bis 6

ISSN 0944-8780 6693

Januar 2007

1



in Hennef/Sieg
29.1. bis 2.2.2007
Fachtagung Sanierung
Tunnelbau-Fachtagung



BG BAU
Berufsgenossenschaft
der Bauwirtschaft

Ingenieurbau – Berliner Bogen und Dockland
Organisation – Die Baustellenverordnung
– Bauprozesse in der Arbeitsvorbereitung
– Elektrischer Strom auf Baustellen
Abbruch/Recycling/ Sprengen – Sprengen in Moorgebieten
– Kampfmittelräumung

BERLINER BOGEN UND DOCKLAND

Planungsoptimierung durch enge Zusammenarbeit zwischen entwerfendem Architekt und Tragwerksplaner

Dipl.-Ing. W. Nagel, Hamburg

Es setzt sich immer mehr die Erkenntnis durch, dass erfolgreiches und somit wirtschaftliches Bauen nur im Zusammenwirken aller beteiligten Berufsgruppen möglich ist. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Zusammenarbeit zwischen dem Architekten und dem Tragwerksplaner.

Das Bürogebäude Berliner Bogen

Planungsaufgabe

Im Bürogebäude Berliner Bogen mit einer BGF von ca. 52.000 m² war im 2. UG für die Hamburger Stadtentwässerung (HSE) ein Mischwasserrückhaltebecken mit ca. 22.500 m³ Speichervolumen zu integrieren. Das Haupttragwerk des Gebäudes besteht aus 22 korbboogenförmigen Stahlbögen im Abstand von 12,5 m. Sie liegen außerhalb der wärme gedämmten Gebäudehaut und tragen zusätzlich zu der Belastung aus Wind, Schnee und Eigengewicht der Glasfassade auch Teile der Gebäudelasten. Für die Zuführung des Abwassers wurde ein ca. 550 m langes Anschluss-siel im Vortriebsverfahren mit flüssiggestütztem Hydroschild unter schwierigsten Bedingungen aufgeföhren.

Der Vision eines schwebenden Baukörpers über dem Ende des sog. Hochwasserbassins, einem im letzten Jahrhundert zur Hochwasserregulierung angelegten Seitenarm der Bille, wurde durch die Kombination mit einem bis ca. 11 m unter Gelände reichenden Speicherbecken für die Hamburger Stadtentwässerung auch in wirtschaftlicher Hinsicht ein tragfähiges Fundament gegeben. Aus der Intention des Architekten, das gesamte Gebäude brückenartig über dem Wasser aufzuhängen, wurde gemeinsam eine wirtschaftliche Lösung unter Einbeziehung der komplexen Anforderungen der Hamburger Stadtentwässerung ent-

Abb. 1:
Berliner Bogen,
Nordwestansicht



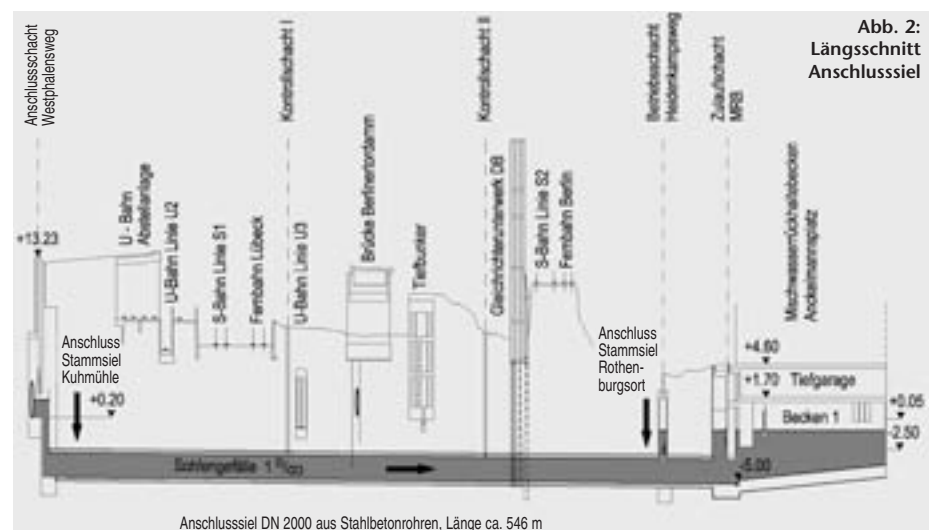
wickelt. Durch die Ausbildung der außerhalb der Gebäudehülle liegenden Stahlkonstruktion als Haupttragerelement wurden maximale Freiheit in der Grundrissdisposition und Transparenz der Büroggeschosse sowie weitestgehend stützenfreie Becken im MRB erreicht. Im Bereich der Außenfassade der Büroräume im Anschluss zu den großzügigen gebäudehohen Atrien waren nur minimale, kaum in Erscheinung tretende Bauteile erforderlich.

In der Vorplanungsphase wurden durch die Erstellung eines mit allen Planungsbeteiligten abgestimmten Anforderungsprofils für das Becken und das Anschluss-siel einschließlich einer detaillierten Kostenschätzung die Grundlagen für einen zivilrechtlichen Vertrag erarbeitet, in dem sowohl die Roh- und Ausbaustandards im Bereich des

Beckens als auch die Nutzungsentgelte frühzeitig festgelegt wurden.

Anschluss-siel und Baugrube

Für die Auslegung des Anschluss-siels und des Rückhaltebeckens mussten umfangreiche hydraulische Berechnungen durchgeführt werden, da das Einzugsgebiet große, im Nordosten der Stadt Hamburg liegende, Bereiche des Kuhmühlenstamm-siels und zusätzlich örtliche Einzugsgebiete kleinerer Siele umfasst. Das Siel mit einer Länge von ca. 546 m und einem minimalen Radius von 300 m verläuft in südöstlicher Richtung in sehr unterschiedlichem Baugrund und quert eine Vielzahl von Bauwerken und Verkehrsanlagen in z.T. sehr geringen Abständen. Insgesamt waren 2 Kontroll- und 4 Betriebsschächte erforderlich.



Vortrag auf der VDI-Fachtagung
„Bürogebäude der Zukunft“,
18./19. September 2006 in Hamburg

Sie tragen die Belastung aus Teilbereichen der Geschossdecken, die über in F90-Qualität verkleidete Stahlzugelemente abgeschlossen werden, und der zweiten Dachhaut mit der Glasfassade auf die außenliegenden Gründungselemente ab. Die Lasten der Geschossdecken in der Mittelspanne des Gebäudes sowie den Innenbereichen der Finger werden über Stützen direkt abgeleitet, wobei die erforderliche Abfangung über den Becken 1 und 3 über die im 1. UG seitlich der Fluchttunnel vorhandenen Wandscheiben organisiert wird. Der Bogenschub wird über Zugbänder in Höhe der Decke 1. UG aufgenommen.

Auf Grund des in der Gründungsebene anstehenden tragfähigen Bodens konnte der tiefliegende Gebäudebereich des 2. UG flachgegründet werden. Die erforderliche Plattengründung mit einer Dicke von 1,0 m war dabei gemäß den Anforderungen der HSE ebenso wie die Außenwände des Beckens zu bemessen für eine Rissbreite von $w_{k,cal} = 0,1$ mm. Die westlich und östlich angrenzenden Bauwerksteile des 1. UG einschließlich der Bogenfundamente wurden mit Teilverdrängungspfählen System Franki tiefgegründet. Eine Beeinflussung des Nebensammlers Kuhmühle war durch die Verwendung eines speziellen Bohrverfahrens und die Festlegung von Mindestabständen ausgeschlossen. Das unterschiedliche Setzungsverhalten zwischen Flach- und Tiefgründung wurde als Zwängungsfall in der Bemessung berücksichtigt.

Entwurf und Berechnung der Stahlkonstruktion

Auf Grund der für die äußere Wirkung wichtigen Gesamterscheinung wurde auf die Gestaltung der Konstruktion erheblicher Planungsaufwand verwendet. Gemeinsam mit den Architekten wurde eine Tragwerksform mit Ober- und Untergurt aus dickwandigen Hohlprofilen unterschiedlichen Durchmessers entwickelt, die durch 2 schrägverlaufende Wangenbleche verbunden sind. Die geometrische Form ist aus Kreisbögen mit

4 verschiedenen Radien je Bogenhälfte zusammengesetzt, sie liegen mit einem Winkel von 10° bezogen auf den Grundriss schräg über dem Gebäude.

Da sich zusätzlich die Höhe der Binder von Bogenfuß bis Bogenscheitel verändert, ergibt sich eine sehr komplizierte räumliche Geometrie der Stahlkonstruktion. Die Konstruktion wurde aufgelöst durch längliche Aussparungen in den Wangenblechen, deren Länge und Anordnung auf die Lage der Pfetten bzw. der im Fassadenraster von 2,70 m angeordneten Hänger abgestimmt ist. Die Pfetten als 1-teilige Rohre übernehmen zusätzlich zu ihrer Funktion als Unterkonstruktion der das Gebäude komplett einhüllenden Glasfassade aussteifende Aufgaben. Die Stahlbögen sind am Fußpunkt durch massive Gussgelenkknoten und an der Stahlbetonschale durch einbetonierte Stahlbauelemente aufgelagert.

Die Außenhaut des Gebäudes besteht mit Ausnahme der offenen Bereiche über dem Technikgeschoss in der Mittelzone des Gebäudes komplett aus Glas. Die einzelnen Glaselemente bestehen aus VSG aus 2×10 mm TVG mit maximalen Abmessungen von $4,16$ m \times $1,75$ m. Sie sind mit jeweils 8 Befestigungspunkten je Element über Edelstahlspider an den Tragschwingen befestigt, die die unterschiedlichen Abmessungen der Glaseindeckung in der Abwicklung der Außenhaut durch zweiteilige, herausziehbare Gussarme aufnehmen.

Um die komplexe Tragwirkung, bedingt durch die unterschiedlichen Steifigkeiten der einzelnen Tragelemente, richtig abbilden zu können, wurden unter Berücksichtigung der Hängerdehnung, des Lastfalls Kriechen und Schwinden der Stahlbetondecken und unter Ansatz einer Vielzahl von unterschiedlichen Lastfällen aus Temperaturwirkung mehrere Grenzzustände des aus Stahlbögen, Stahlbetonschale mit horizontaler Halterung durch die Geschossdecken und den Hängern mit Teilen der Geschossdecken bestehenden Gesamtsystems untersucht. Weitere Einzelheiten zu Belastung

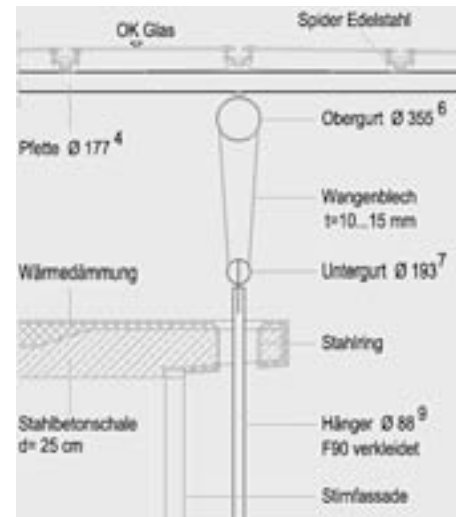


Abb. 6: Schnitt Stahlbogen mit Anschlusspunkt Hänger

und Bemessung der Stahlkonstruktion sind [2 und 3] zu entnehmen.

Die berechneten Verformungen der Stahlkonstruktion wurden an den Fassadenplaner zur Abstimmung und Erstellung einer Verformungsanalyse und Ermittlung der Verschränkung der einzelnen Glaselemente übergeben. Für eine wirtschaftliche Bemessung der Glaselemente einschließlich der Fugen war die statische Auslegung der tragenden Stahlkonstruktion auf eine Begrenzung der Durchbiegungsunterschiede auf i.d.R. $1/300$ zwischen den einzelnen Festpunkten der Glaskonstruktion für die jeweils ungünstigste Lastfallkombination ausreichend. Die Gesamttonnage für die Stahlkonstruktion einschließlich der Gussfußpunkte und der Hänger, jedoch ohne Tragschwingen und Spider beträgt ca. 1.200 t bei einer Fassadenfläche von ca. 14.000 m².

Das Bürogebäude Dockland

Das Bürogebäude Dockland wurde in exponierter Lage direkt an bzw. über der Elbe in Hamburg-Altona errichtet. Zur Schaffung des Baugrundes wurde eine vorhandene Kaianlage um ca. 100 m verlängert, dazu wurden ca. 400 m Spundwand eingebaut und ca. 30.000 m³ Erde bewegt. Ein möglicher Schiffsanprall wird durch eine Sonderkonstruktion aus sandgefüllten Dalben verhindert. Zur Realisierung der beeindruckenden ca. 45 m langen Auskragung wurden gebäudehohe Konstruktionselemente in Stahl- bzw. Stahlbetonbauweise ausgebildet, die spektakulär vom Wasser aus montiert wurden.

Kaianlage/Gründung

Die Verlängerung des 1960 erstellten Edgar-Engelhard-Kais zwischen Altonaer Fischereihafen und der Nordelbe als Baufläche für das Gebäude wurde erforderlich, da in Abstimmung mit den politischen Gremien der

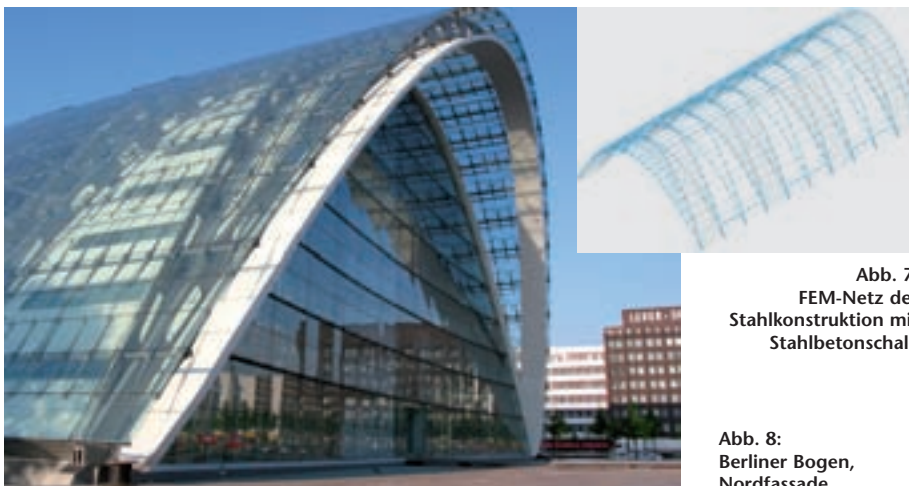


Abb. 7: FEM-Netz der Stahlkonstruktion mit Stahlbetonschale

Abb. 8: Berliner Bogen, Nordfassade



Abb. 9:
Dockland, Ansicht
Südwest elbseitig

Stadt Hamburg der Sichtbezug vom sog. „Altonaer Balkon“ auf die Elbe und das südliche Elbvorland mit der Köhlbrandbrücke sicherzustellen war.

Die Kaianlage wurde als einfach rückverankerte Spundwandkonstruktion als Wellenprofil Arbed DB AZ 50 S 430GP ausgeführt. Die Neigung der vorhandenen Spundwand wurde aufgenommen und fortgesetzt. Für die Bemessung zu berücksichtigen war nach Forderung der genehmigenden Behörde Hamburg Port Authority (HPA) gemäß [4 und 5] eine Berechnungssohle von -10,0 mNN und der Nachweis Lastfall Sunk ablaufendes Hochwasser mit einem inneren Wasserüberdruck von 4,0 m. Die vorhandene Steinschüttung des ehemaligen Leitdamms wurde ausgebaut, während die Abdeckung mit Faschinen aus Holzgeflecht im Baugrund belassen und die Spundwandbohlen durchrüttelt wurden. Auf Grund der hochgradigen Kampfmittelverdachtsfläche wurden sämtliche Arbeiten in enger Abstimmung mit dem Kampfmittelräumdienst durchgeführt. Während der insgesamt ca.



Abb. 11:
Baustelle März 2003

5-monatigen Bauzeit der Kaianlage war die Funktion und Zugänglichkeit der auf dem Leitdamm vorhandenen, zur Sicherung des Schiffsverkehrs im Hamburger Hafen unverzichtbaren Radaranlage jederzeit sicherzustellen.

Die Leistung zur Erstellung der Pfahlgründung wurde zusammen mit den Arbeiten für die Verlängerung Kaianlage und Herstel-

lung Dalben vorgezogen ausgeschrieben und vergeben. Die Pfahlgründung wurde ausgeführt als Ramppfahl System Franki mit max. Tragfähigkeiten von 2.500 kN. Zur Reduzierung der prognostizierten Pfahlsetzung von 20 mm in Folge der konzentrierten Lasteinleitung der am Fußpunkt der Auskrägung anfallenden ca. 20 % der gesamten Gebäudelast wurden die Pfähle mehr als üblich gespreizt und tiefer abgesetzt. Die tatsächlich gemessene Pfahlsetzung betrug ca. 15 mm.

Anprallschutz

Die in Hamburg geltenden Vorschriften und Regelungen zur Berücksichtigung von Schiffsanprall an Gebäuden gaben für das vorliegende Bauvorhaben mit der über den Leitdamm weit auskragenden Spitze keine Handhabe. Während im östlichen Gebäudeteil der Abstand größer 10 m hinter der Kaikante als ausreichende Sicherung gegen Schiffsanprall gilt und nur die üblichen Nachweise für Wellenschlag und Treibgutstoß zu führen waren, musste zur Sicherung der Auskrägung eine Vielzahl von Anprallszenarien durch Schiffshavarien untersucht werden. Hierfür wurde ein spezielles, eng mit den zuständigen Genehmigungsbehörden Prüfstelle für Baustatik und HPA abgestimmtes Sicherungskonzept entwickelt.

Die Bemessung der Dalben wurde mit einem im Büro Dr. Binnewies entwickeltem erdstatischen Programm [1] durchgeführt. Dabei wurde unter Ansatz einer max. Geschwindigkeit von 2,5 m/sec und unter Annahme einer 20 %igen Energievernichtung für das maßgebliche Schiff mit einer Wasserverdrängung von 30.000 t ein erforderliches Arbeitsvermögen von 75.000 kNm zugrundegelegt. Dies entspricht einer Horizontalverformung der massiven Dalben von ca. 3,5 m. Größere Schiffe, z.B. ein Containerschiff der 5. Generation mit einer Wasserverdrängung von ca. 80.000 t, erreichen auf Grund ihres großen Tiefgangs die Kaianlage bzw. den Leitdamm und damit das Gebäude nicht. Die Dalben selbst bestehen aus kreisrund eingebrachten vorgeformten Spundwandprofilen mit Sandfüllung, einer

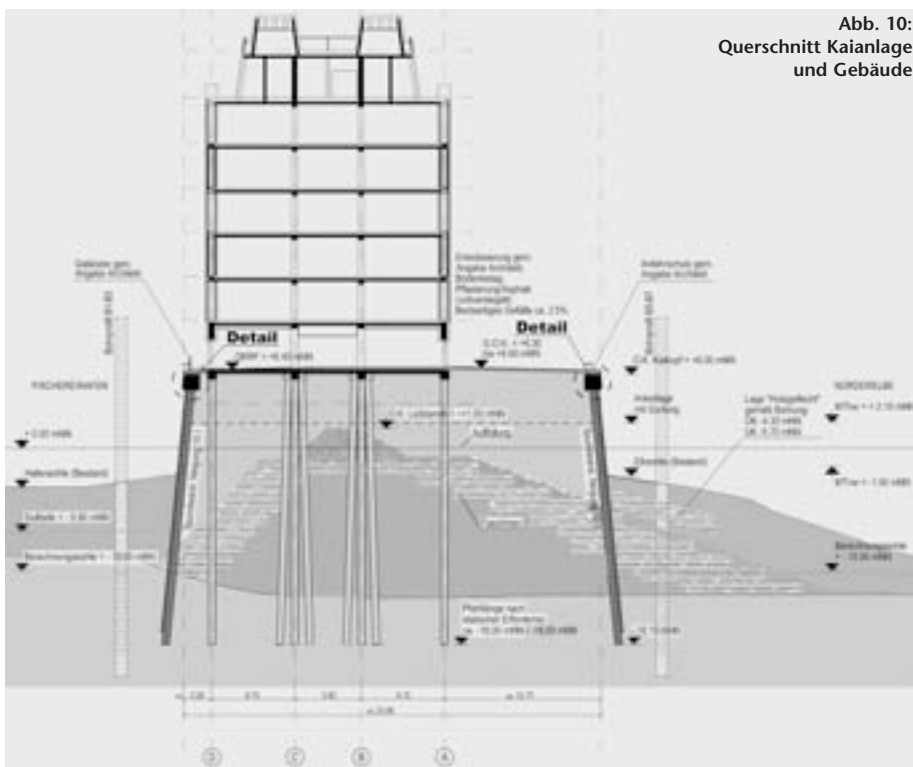


Abb. 10:
Querschnitt Kaianlage
und Gebäude

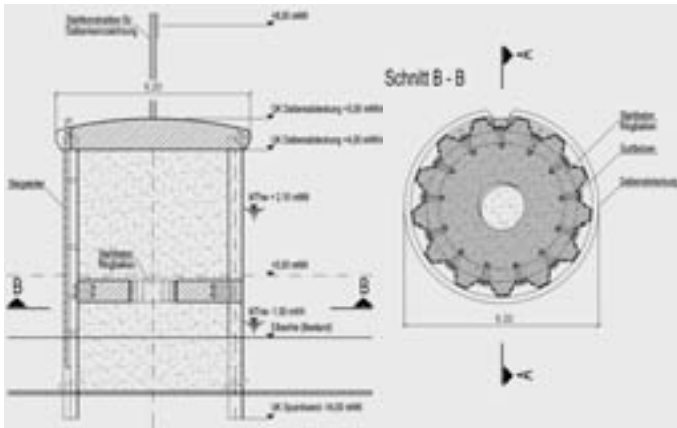


Abb. 12:
Dalbe elbseitig,
Schnitt und Grundriss

Aussteifungslage und einem oberen Abschluss als Stahlbetondecke. Auf der Fischeienseite wurden lediglich 4 kleinere Stahldalben angeordnet.

Tragstruktur Gebäude und Optimierung

In den ersten Voruntersuchungen im Rahmen einer Machbarkeitsstudie wurde ein reines Stahltragwerk untersucht. Die hierfür benötigte Stahltonnage ermittelte sich auf über 1.000 t. Im Zuge der Planung wurden die vom Architekten vorgegebenen massiven Elemente der beiden Schrägaufzüge und der im westlichen Bereich erforderlichen innenliegenden Fluchttreppe in Stahlbetonbauweise in das Gesamttragwerk einbezogen, dadurch wurde eine erhebliche Reduzierung der Stahltonnage auf ca. 350 t realisiert.

Ein großer Teil der Lasten werden somit über die Stahlbetonbauteile (Geschossdecken, Unterzüge und schräge Wandscheiben) abgeleitet. Insgesamt wurden ca. 1.650 t Baustahl eingebaut. Insbesondere für die Rand- und Mittelunterzüge sowie die Schrägaufzugswände ergaben sich, bedingt auch durch die architektonischen Anforderungen nach minimierten Querschnittsabmessungen und zusätzlichen Aussparungen teilweise sehr hohe Bewehrungsgehalte zur Aufnahme der Zugkräfte. Für die hochbewehrten Schrägaufzugswände mit den geforderten beidseitigen Sichtbetonoberflächen mussten die Betonrezeptur mit Größtkorn 08 gefahren und zur Verdichtung Außenrüttler verwendet werden.

Bedingt durch das hochgradig statisch unbestimmte System war ein komplexes

Rechenmodell unter Ansatz verschiedener Steifigkeiten notwendig, um das Tragverhalten, die Verteilung der Schnittgrößen und insbesondere die Verformung der Auskrängung realistisch abbilden zu können.

Montage

Mit den Rohbauarbeiten wurde im Frühjahr 2004 begonnen. Dabei wurde der Gebäudeteil bis einschließlich Achse 20 in herkömmlicher Stahlbetonbauweise errichtet. Parallel begann im Sommer 2004 die Vormontage der gesamten westlichen Gebäudeauskrängung im Werk der durch den GU beauftragten Stahlbaufirma. Die gesamte Gebäudespitze mit einem Gewicht von ca. 330 t wurde durch einen 900-t-Schwimmkran auf einen Ponton verladen und Ende November 2004 nach Hamburg verbracht. In einer spektakulären Aktion wurde das „halbfertige“ Gebäude innerhalb von nur 4 Stunden mit seiner Spitze komplettiert.

In den darauffolgenden Wochen wurden nach einem genau abgestimmten Ablauf die einzelnen Deckenfelder beginnend mit der Decke über 1.OG betoniert und das System sukzessive in seinen auch statischen Endzustand gebracht. Die in der statischen Berechnung für den Endzustand und für die verschiedenen Zwischenzustände ermittelten Verformungen der Gebäudespitze wurden durch umfangreiche begleitende Ver-

messungen überprüft und im Wesentlichen bestätigt. Nach ca. 13 Monaten war der Rohbau des Gebäudes mit Fertigstellung der letzten Deckenflächen in der Gebäudespitze und der Dachdecke des Staffelgeschosses abgeschlossen.

Schlussbemerkung

Bei den vorgestellten Bürogebäuden Berliner Bogen und Dockland wurde eine Vielzahl von innovativen Lösungsansätzen im Bereich der Konstruktion für Hoch- und Tiefbau realisiert. Dabei war bedingt durch die jeweils komplexen Randbedingungen und Anforderungen der Nutzer bzw. der Bauherrn die Optimierung der Entwurfsplanung und des Tragwerksentwurfes ein entscheidender, den Erfolg und auch insbesondere die Wirtschaftlichkeit maßgeblich beeinflussender Bestandteil der Planungsaufgabe. Entstanden sind attraktive Bauwerke, im Fall des Dockland auch durch einen eigenen Fähranleger leicht zu erreichen, die auf Grund ihrer exponierten Lage, ihrer Architektur und der Tragwerksgestaltung beitragen, die Hamburger Architektur auch überregional bekannt zu machen.

Literatur

- [1] Binnewies, W.; Fabricius, K. und Kaufmann, H.: BINGEO, Programm für nichtlineare Baugrundberechnungen
- [2] Binnewies, W. und Nagel, W.: Das Bürogebäude Berliner Bogen in Hamburg mit integriertem Mischwasserrückhaltebecken. Bautechnik 79, (2002) S. 1–10
- [3] Nagel, W.: Berliner Bogen und Dockland – eine Herausforderung für den Tragwerksplaner. VDI-Berichte Nr. 1936 (2006), S. 13–28
- [4] Technische Rahmenbedingungen für die Fördermaßnahme „Projekt Privater Hochwasserschutz“
- [5] Berechnungsgrundsätze für private Hochwasserschutzwände und Uferwände im Bereich der Freien und Hansestadt Hamburg

Autor:
Ingenieurgesellschaft Dr. Binnewies

Abb. 14:
Stahlbaumontage
November 2004



Abb. 13:
Gebäudelängsschnitt
mit Haupttragstruktur

