

Beton- und Stahlbetonbau



- Einfluss erhöhter Frischbeton- und Umgebungstemperaturen
- Temperaturkriterien zur Kontrolle der Rissgefahr
- Korrosionsschutz des Betonstahls in Verkehrswasserbauwerken
- Bewehrungskorrosion in Trennrissen
- Erhaltungszustand von Garagen und Parkdecks
- FOUR FRANKFURT



Beton- und Inhalt Stahlbetonbau 8/24

Zum Titelbild:

In der Frankfurter City entsteht auf dem ehemaligen Deutsche-Bank-Gelände ein beeindruckendes neues Gebäudeensemble aus vier Hochhäusern zwischen 105 und 233 m. Das neue Quartier wird Arbeiten und Wohnen verbinden und zusätzlich werden Gastronomie, Hotels, kleine Geschäfte und eine Food Hall Einzug in das bis dahin abgeriegelte Areal finden. Mit seinen 215.000 m² Geschossfläche ist FOUR eines der größten Bauprojekte in Europa. Die Büroflächen der obersten Etagen in Turm 1 werden die höchsten Deutschlands sein. Die innerstädtische Lage stellt das Projekt vor besondere Herausforderungen. Beispielsweise wurde die Baugrube in Deckelbauweise hergestellt. Die unterschiedlichen Anforderungen an die Nutzung der Türme führte zu unterschiedlichen Bauweisen der Regelgeschosse: Während der Rohbau der Wohntürme in Ortbeton hergestellt wurde, stellte sich für die Bürotürme die Fertigteilbauweise als wirtschaftlichste Bauweise heraus. Für den Bauherren spielte das Thema Nachhaltigkeit von Beginn an eine entscheidende Rolle. So ist FOUR FRANKFURT nun auch das erste Bauprojekt, bei dem das Nutzungsprofil „Vertical Cities“ der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) angewandt wird. Der Rohbau ist inzwischen weitgehend abgeschlossen, die Fertigstellung ist für 2025 geplant. Der Beitrag auf S. 605–614 stellt das Projekt vor.
(Foto: Bollinger+Grohmann)

119. Jahrgang
August 2024, Heft 8
ISSN 0005-9900 (print)
ISSN 1437-1006 (online)

Peer-reviewed journal

Die Beton- und Stahlbetonbau ist im Journal Citation Report von Clarivate Analytics (vormals Thomson Reuters) sowie in Scopus von Elsevier gelistet.

Impact Factor 2023: 1,0
CiteScore 2023: 2,5

Wiley Online Library

<http://wileyonlinelibrary.com/journal/best>

**Ernst & Sohn**
A Wiley Brand

www.ernst-und-sohn.de/beton-und-stahlbetonbau

EDITORIAL

Martin Claßen

545

Schuldenbremse und marode Brücken: Warum wir jetzt in Forschung und Ausbildung investieren müssen

AUFSÄTZE

Dries Beyer, Julia Neumann, Tobias Schack, Rolf Breitenbücher, Michael Haist

547

Einfluss erhöhter Frischbeton- und Umgebungstemperaturen auf die Betoneigenschaften

Dirk Schlicke, Christina Krenn

559

Kritische Betrachtung von Temperaturkriterien zur Kontrolle der erhärtungsbedingten Rissgefahr

Amir Rahimi, Andreas Westendarp

572

Dauerhafter und nachhaltiger Korrosionsschutz des Betonstahls in Verkehrswasserbauwerken

Toni Pollner, Amir Rahimi, Christoph Dauberschmidt

580

Auslaugungsinduzierte Bewehrungskorrosion in wasserführenden Trennrissen

Karl Deix, Susanna Arazli, Susanne Gmainer, Sara Geißler

591

Analyse von Untersuchungen über den Erhaltungszustand von Garagen und Parkdecks

BERICHT

Alexander Berger, Simon Ruppert, Daniel Torakai

605

FOUR FRANKFURT – Neue Hochhäuser in Frankfurt am Main

615

BETON- UND STAHLBETONBAU aktuell

619

VERANSTALTUNGSKALENDER

Produkte & Projekte

A4

Digitales Planen und Bauen

A10

Schalung und Gerüst

FOUR FRANKFURT – Neue Hochhäuser in Frankfurt am Main

In der Frankfurter City entsteht auf dem ehemaligen Deutsche-Bank-Gelände ein beeindruckendes neues Gebäudeensemble aus vier Hochhäusern und einem gemeinsamen sechsgeschossigen Sockelbau (Podium) mit Tiefgarage. Die Hochhäuser sind 233 m (T1), 178 m (T2), 125 m (T3) und 105 m (T4) hoch. Der Rohbau ist inzwischen weitgehend abgeschlossen, Richtfest war im September 2023. Für die Türme T1 und T4 ist Büronutzung vorgesehen, für T2 und T3 Wohnen und Hotel. Die Büroflächen der obersten Etagen des T1 werden die höchsten Deutschlands sein. Die innerstädtische Lage stellt das Projekt vor besondere Herausforderungen. Beispielsweise wurde die Baugrube in Deckelbauweise hergestellt. Die unterschiedlichen Anforderungen an die Nutzung der Türme führte zu unterschiedlichen Bauweisen der Regelgeschosse: Während der Rohbau der Wohntürme in Ortbeton hergestellt wurde, stellte sich für die Bürotürme die Fertigteilbauweise als wirtschaftlichste Bauweise heraus. Der Bericht ist in drei Teile unterteilt. Der erste Teil enthält die Vorstellung des Projekts und Übersichten zu den Bauteilen. Der zweite Teil behandelt die Aussteifung der Türme einschließlich der Maßnahmen zur Erhöhung der Steifigkeiten. Abschließend werden im dritten Teil besondere Bauweisen beschrieben.

Stichworte Hochhäuser; Fertigteilbauweise; Aussteifung; Outrigger; Beschleunigung; Dämpfung; Bauzustände; kombinierte-Pfahl-Plattengründung; Deckelbauweise; Koppelriegel

1 Einleitung

Inmitten des Frankfurter Bankenviertels, auf dem ehemaligen Areal der Deutschen Bank, befindet sich eine der momentan attraktivsten innerstädtischen Entwicklungsflächen in Deutschland. Der einstige Hauptsitz der Deutschen Bank war zwischen der Großen Gallusstraße, der Junghofstraße und dem Roßmarkt 45 Jahre lang komplett abgeriegelt und für die Öffentlichkeit nicht zugänglich. Nachdem die Deutsche Bank ihr Händlerzentrum verlegt hatte, standen die Gebäude zuletzt leer. Erst nach dem Erwerb des Areals 2015 durch den Projektentwickler Groß & Partner und einem 2017 abgeschlossenen städtebaulichen und architektonischen Wettbewerb, aus dem das Büro UN Studio aus Amsterdam als Sieger hervorging, erfolgte schließlich 2018 der Rückbau der Gebäude. Einzig der denkmalgeschützte Gebäuderiegel an der Junghofstraße wurde erhalten.

FOUR FRANKFURT – New high-rise buildings in Frankfurt am Main

On the former Deutsche Bank site in Frankfurt's city centre, an impressive new ensemble of four high-rise buildings and a shared six-storey base building with underground car park is being built. The shell of the building is now largely complete and the topping-out ceremony was held in September 2023. The high-rise buildings are 233 metres (T1), 178 metres (T2), 125 metres (T3) and 105 metres (T4) high. Office use is planned for the T1 and T4 towers, and residential use and a hotel are planned for T2 and T3. The office space on the top floors of T1 will be the highest in Germany. The inner-city location poses particular challenges for the project. For example, the excavation pit was constructed using the down method. The different requirements for the use of the towers led to different construction methods for the typical storeys: while the shell of the residential towers was made of in-situ concrete, prefabricated elements proved to be the optimized construction method for the office towers. The report is divided into three parts. The first part presents the project and provides overviews of the components. The second part deals with the bracing system of the towers, including measures to increase stiffness. Finally, the third part describes special construction methods.

Keywords high-rise buildings; precast elements; bracing systems; outrigger; acceleration; damping; building conditions; combined pile-slab foundation; semi-top-down construction method; link beams

Das neue Quartier mit seinen insgesamt vier Hochhäusern zwischen 105 und 233 m wird Arbeiten und Wohnen verbinden (Bild 1). Zusätzlich werden Gastronomie, Hotels, kleine Geschäfte und eine 2300 m² große Food Hall Einzug in das bis dahin abgeriegelte Areal finden. Aufgrund des Planungsumfangs und der dafür vorgesehenen Planungszeit wurde die Leistung der Tragwerksplanung gemeinsam an die Büros Bollinger+Grohmann und Werner Sobek vergeben. Die Arge Tragwerksplanung FOUR (ATW) ist außerdem für die Abbruchstatik, die Verbauplanung sowie die Special Structures verantwortlich. Die Fertigstellung ist für 2025 geplant.



Bild 1 Baustelle FOUR (Quelle: ATW FOUR)
FOUR construction site

2 Das Projekt FOUR

2.1 Baufeld und Übersicht über die vier Türme

Das Projekt FOUR befindet sich in unmittelbarer Nachbarschaft zu anderen bestehenden Hochhäusern wie dem Commerzbank Tower oder dem Omniturm (Bild 2). Diese Hochhäuser sind ebenfalls mit Pfählen tiefgegründet, sodass eine Aussteifung der Baugrube mittels Ankern nicht möglich ist. Die Tab. 1 zeigt eine Übersicht über die vier Türme.

2.2 Sockelbebauung, Untergeschosse, Gründung

In den unteren sechs Obergeschossen sind unterschiedliche Nutzungen vorgesehen, u. a. Verkaufsräume, Fitness, Kindertagesstätte, ein großer Veranstaltungsraum und Gaststätten. Dieser Teil wird auch Podium genannt. Das komplette Baufeld ist mit einer Tiefgarage unterbaut. In den vier Untergeschossen (plus einem Zwischengeschoss) sind Stellplätze für Fahrräder und Kfz, Anlieferungs- und Entsorgungszonen sowie Technikflächen vorgesehen. Die Untergeschosse sind als Weiße Wanne konzipiert. Die Gründung erfolgt über eine kombinierte Pfahl-Plattengründung KPP. Eine Besonderheit ist dabei, dass die Schlitzwände des Verbaus für den Lastabtrag einzelner Stützen herangezogen werden mussten. Daher sind die Schlitzwände ebenfalls Bestandteil der KPP.



Bild 2 Baufeld FOUR (Quelle: Google Maps)
FOUR construction site

3 Aussteifung der Türme

3.1 Ausgangslage

Der Entwurf und die Berechnung der Aussteifung nehmen bei Hochhäusern einen deutlich größeren Stellenwert ein als bei einem üblichen Hochbau geringerer Höhe. Dies hängt vor allem mit der größeren Komplexität aufgrund der mit der Höhe zunehmenden Schlankheit der aussteifenden Bauteile zusammen. Neben den Nachweisen der Stabilität mussten insbesondere Untersuchungen zur Schwingunganfälligkeit durchgeführt werden.

Tab. 1 Übersicht über die vier Türme
Overview of the four towers

	T1	T2	T3	T4
Höhe	233 m	178 m	125 m	105 m
Nutzung	Büro	Wohnen	Wohnen	Büro
Obergeschosse	57	49	32	26
Aussteifung	Kern + Outrigger	Kern + Outrigger	Kern + A-Bock	Kern
Decken	Halbfertigteile	Ortbeton	Ortbeton	Halbfertigteile
Stützen	Fertigteile	Ortbeton	Ortbeton	Fertigteile
Gründung	KPP			

3.2 Aussteifungslasten

3.2.1 Wind

Die Windlasten werden im Rahmen von Windkanalversuchen ermittelt (Bild 3). Dabei werden die Türme einmal alleinstehend und einmal innerhalb des Hochhausensembles stehend betrachtet. Die Windlastermittlung erfolgt getrennt für die Tragwerksplanung (globale Aussteifungslasten) und für die Fassadenplanung (lokale Winddrücke). Die Windtunneltests werden in der Regel zu einem sehr frühen Planungszeitpunkt durchgeführt, sodass im Rahmen der Planung noch reagiert werden kann. Bei FOUR erfolgten die ersten Lastangaben bereits während der Leistungsphase 2 Vorplanung und wurden auf Basis der Ergebnisse der Aussteifungsberechnung in mehreren Iterationsschritten aktualisiert.

3.2.2 Dynamische Windlasten

Üblicherweise werden die Windlasten von der Tragwerksplanung als statische Ersatzlasten angesetzt. Aufgrund der Bögigkeit in Windrichtung und gegebenenfalls aufgrund von Wirbelablösungen sind hieraus resultierende dynamische Lasterhöhungen zu berücksichtigen. Diese werden im Rahmen des Windgutachtens auf Basis des Windtunneltests sowie der Angaben der Tragwerksplanung (Massen- und Steifigkeitsverteilung, Eigenfrequenzen und Dämpfung) ermittelt. Die Lastangaben erfolgen als geschossweise Einzellasten, bezogen auf ein vereinbartes Koordinatensystem in x- und y-Richtung sowie als Torsionsmoment um die z-Achse. Aufgrund der dynamischen Lastanteile der Windlasten entstehen Beschleunigungen, die hinsichtlich der Grenzwerte der Behaglichkeit der Nutzer überprüft wurden. Für den Wohnturm T2 liegen die ermittelten Beschleunigungen gerade innerhalb der Grenze der zulässigen Werte. Daher wurde entschieden, zunächst einen Raum für einen Schwingungsdämpfer vorzusehen. Mit Fertigstellung Rohbau und dem Fortschreiten des Ausbaus werden Messungen am

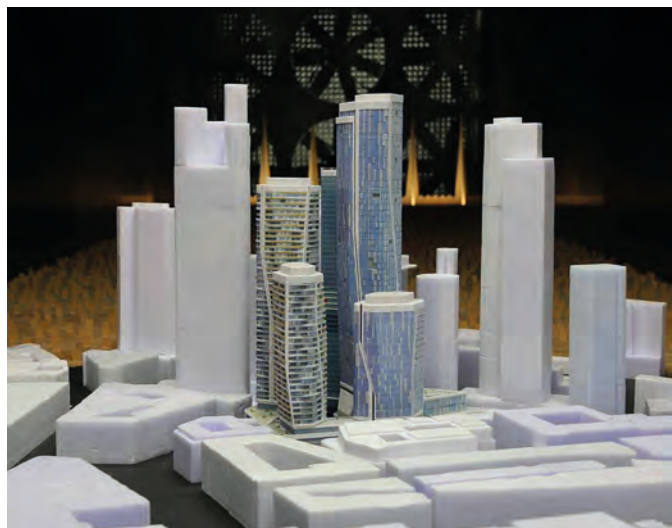


Bild 3 Hochhausensemble FOUR im Windkanal (Quelle: Wacker Ingenieure)
FOUR high-rise ensemble in the wind tunnel

Gebäude durchgeführt, um die am Modell errechneten Gebäudeeigenschaften zu verifizieren und gegebenenfalls noch reagieren zu können.

3.2.3 Imperfektion

Imperfektionslasten sind nach DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1NA, Gleichungen 5.1 anzusetzen:

$$\theta = 1/200 \cdot \alpha_h ; a_n = 2/\sqrt{l}.$$

Für die Türme ergeben sich anzusetzende Imperfektionen von weniger als 1/1000.

3.3 Kerne

Die Aussteifung aller vier Türme erfolgt über die Wände in den Erschließungsbereichen. Die Wände sind schubfest untereinander angeschlossen und bilden eine biege- und torsionssteife Röhre. Im Bereich größerer Öffnungen wie Türen und Zugänge zur Lobby gewährleisteten Koppelunterzüge als schubweiche Verbindungen die Tragwirkung der Kerne als Gesamtquerschnitt (Bilder 4 und 5).

3.4 Theorie II. Ordnung

Nach DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1NA, 5.8.3.3 ist für die aussteifenden Bauteile zu prüfen, ob die Nachweise am Gesamttragwerk nach Theorie II. Ordnung vernachlässigt werden dürfen. Für die Türme T1, T2 und T3 musste aufgrund der großen Schlankheit die Bemessung unter Berücksichtigung der Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung erfolgen.

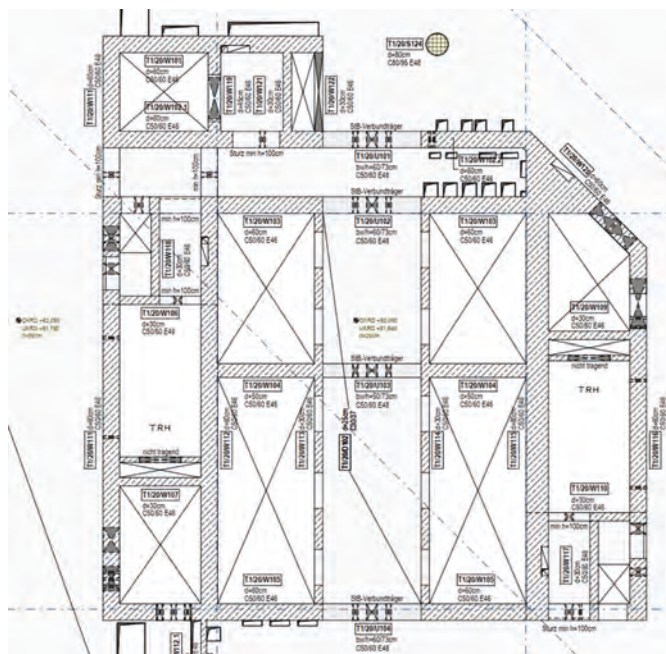


Bild 4 Grundriss Kern Regelgeschoss T1 (Quelle: ATW FOUR)
Floor plan core standard floor T1

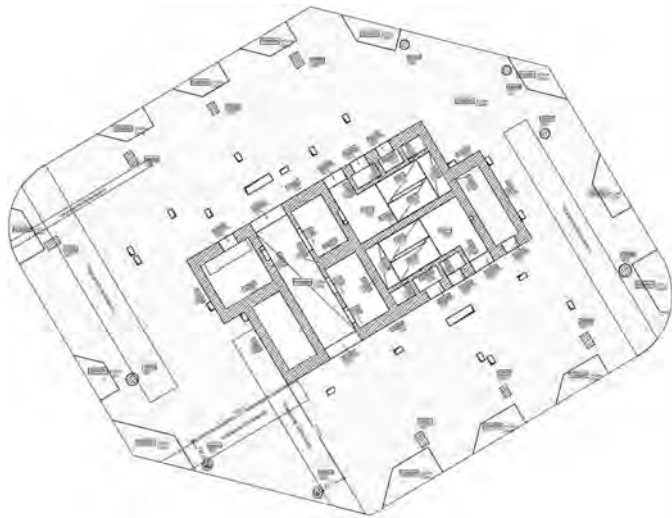


Bild 5 Grundriss Kern Regelgeschoss T2 (Quelle: ATW FOUR)
Floor plan core standard floor T2

3.5 Erhöhung der Steifigkeiten

3.5.1 Prinzip

Um die globale Steifigkeit zu erhöhen, sind in den Türmen 1 und 2 Outrigger-Konstruktionen angeordnet. Durch das Verbinden der Stützen mit dem Kern vergrößert sich der Hebelarm und dadurch erhöhen sich die Steifigkeiten. Die primär auf vertikale Lasten ausgelegten Stützen beteiligen sich dadurch auch am horizontalen Lastabtrag (Bild 6). Ein weiterer günstiger Nebeneffekt hierbei ist die Reduktion des Einspannmoments am Fußpunkt des Turms. Durch die Outrigger werden die Einspannmomente des Kerns um ca. 10 % reduziert (Turm T1).

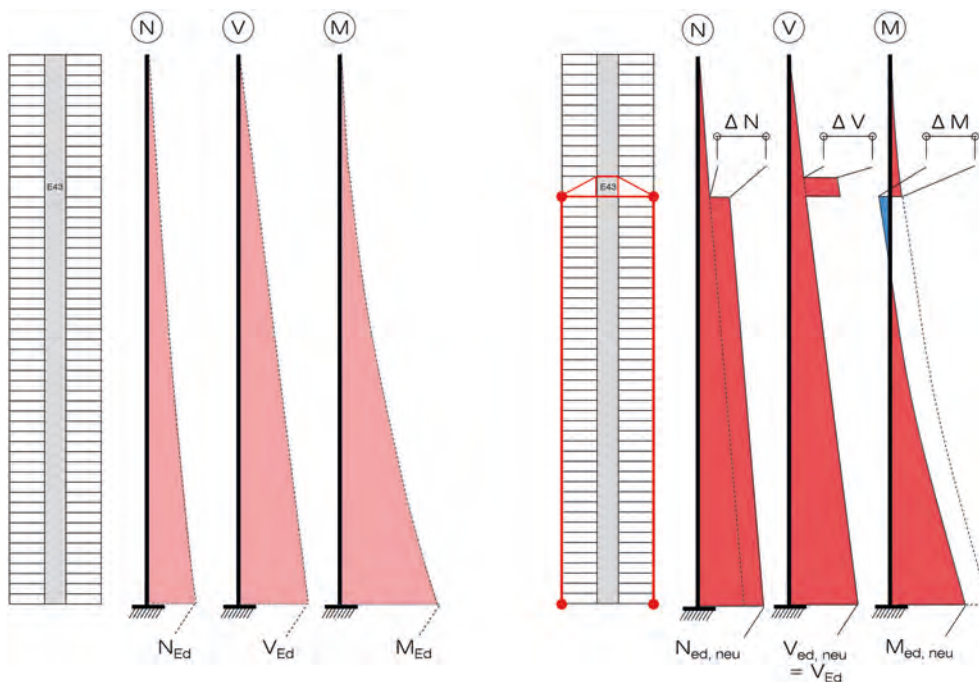


Bild 6 Prinzipskizze Outriggerkonstruktionen: links ohne, rechts mit Outrigger (Quelle: ATW FOUR)
Principle sketch of outrigger constructions: left without, right with Outrigger

3.5.2 Outrigger T1

Der Outrigger des T1 ist ein wesentlicher Bestandteil der Aussteifung dieses Turms. Er befindet sich in der Technikebene des doppelgeschossigen 43. Obergeschosses. Da die Kernachsen nicht mit den Stützenachsen übereinstimmen, werden die Stahlfachwerke in einer Fassadenebene mittels V-Stützen an die massive Konstruktion gekoppelt (Bild 7). Neben der Steifigkeit aus dem Stahltragwerk wurden zusätzlich die Deckenscheiben oberhalb und unterhalb der Outrigger-Ebene aktiviert. Dies führte zu besonderen Herausforderungen bei der Modellierung, aber auch bei der Detailausbildung und letztendlich bei der Montage und dem Einbau. Da die volle Wirkung der Outrigger erst dann aktiviert werden soll, wenn der Rohbau abgeschlossen ist, wurden alle Anschlüsse als geschraubte Verbindung konzipiert (Bild 8).

3.5.3 Outrigger T2

Der Outrigger des T2 ist in den Geschossen 29–31 angeordnet. Die Verbindung des Kerns mit den Stützen erfolgt über ein Mischsystem aus Stahlfachwerk innerhalb der Wohnungstrennwände und einem Virendeelträger zur Verbindung mit den Kernwänden (Bild 9). Der Outrigger reduziert das Biegemoment des Kerns um etwa 15 %. Die Lage der Achsen der Wohnungstrennwände, in denen die Outrigger angeordnet sind, weichen von den Hauptschubwänden des Kerns ab. Somit mussten die horizontalen Schubkräfte über die Deckenscheiben in die Hauptschubwände geleitet werden. Der Lasttransfer erfolgte über Stahlfachwerke innerhalb der Deckenscheiben (Bild 10).

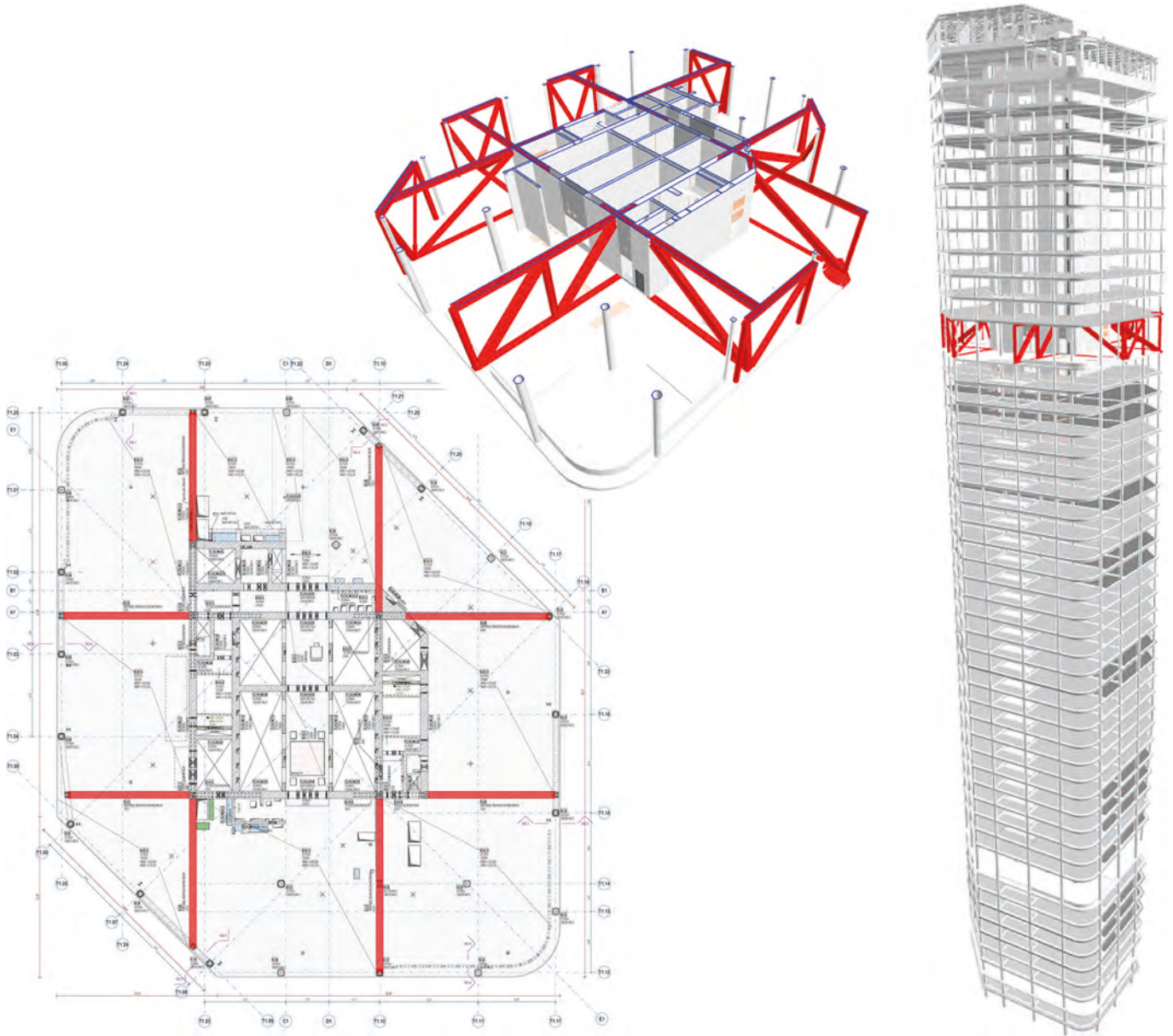


Bild 7 Outrigger T1 in Grundriss und Isometrie (Quelle: ATW FOUR)
 Outrigger T1 in plan and isometric view

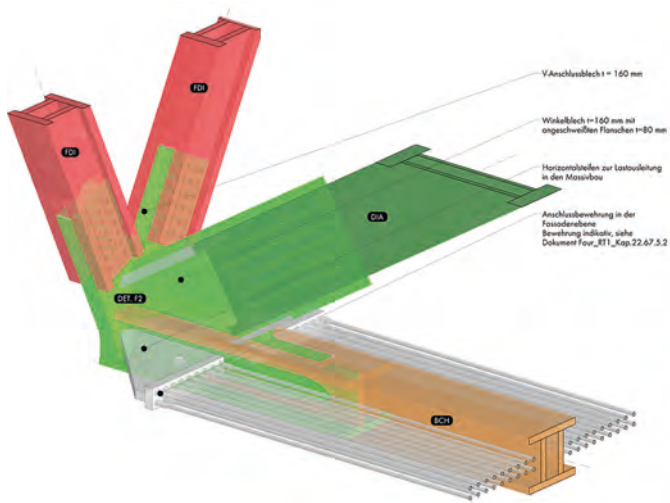


Bild 8 Outrigger T1: Detaillierung Knotenverbindungen (Quelle: ATW FOUR)
 Outrigger T1: detailing node connections



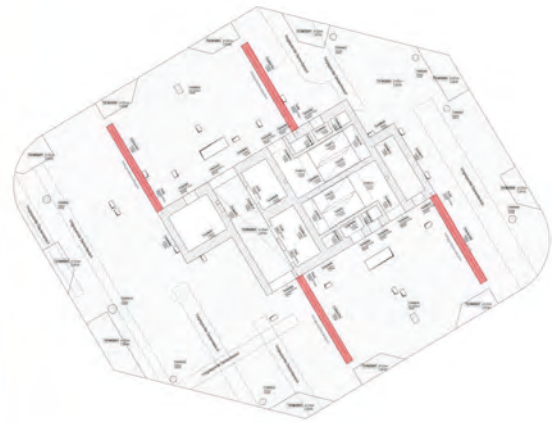
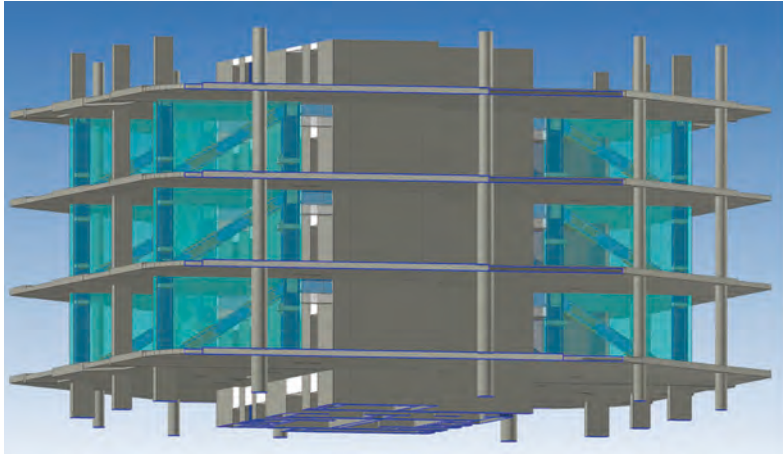


Bild 9 Isometrie und Grundriss der Outrigger T2 (Quelle: ATW FOUR)
Isometry and floor plan of the Outrigger T2

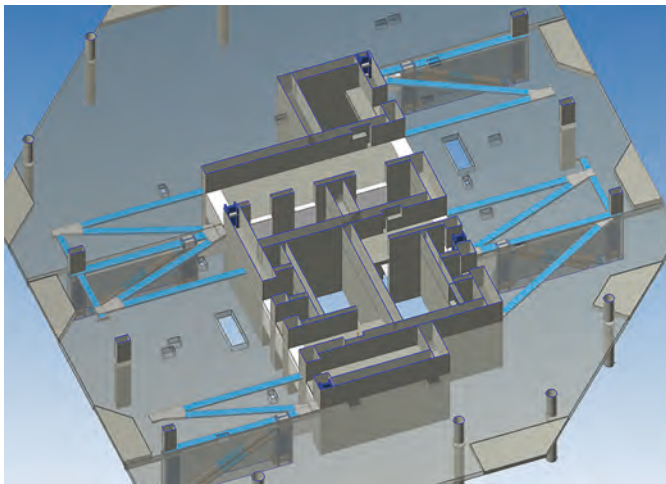


Bild 10 Stahlfachwerk der Decke Outriggergeschoss (Quelle: ATW FOUR)
Steel framework of the outrigger floor ceiling

3.5.4 A-Bock Turm T3

Der zweite Wohnturm T3 stützt sich im Sockel elastisch gegen einen A-Bock ab. Der A-Bock wurde notwendig, um eine stützenfreie Durchfahrt unter den Stützen zu ermöglichen. Aufgrund der Anbindung an den Kern über die Decken bildet sich ein einseitiges Outriggersystem aus, die schrägen Stützen werden für Aussteifungslasten aktiviert (Bild 11). Somit kann bei T3 trotz der großen Schlankheit des Kerns von 1:13 auf zusätzliche Verstärkungsmaßnahmen verzichtet werden. Wie beim T2 mussten beim A-Bock die Schubkräfte über ein horizontales Fachwerk innerhalb der Decken weitergeleitet werden.

4 Bauweisen

4.1 Deckelbauweise

Aufgrund der innerstädtischen Lage des Baufelds in Zusammenhang mit der Tiefe der Baugrube von bis zu ca. 20m wurde eine innen ausgesteifte Baugrube notwendig. Für die Innenaussteifung wurden die Untergeschossdecken U02 und U04 des Endzustands als Scheiben ausgebildet, die die horizontalen Erddrucklasten kurzschlie-

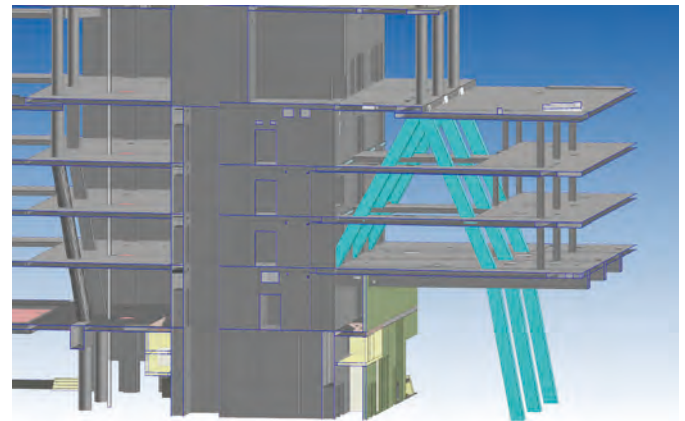


Bild 11 A-Bock T3 (Quelle: ATW FOUR)
A-bock T3; source

ßen. Alle Bestandteile des Deckels sind auch im Endzustand nach Fertigstellung des Kellerkastens Bestandteile des Tragwerks. Daher waren diese auch für unterschiedliche Belastungen und Systeme zu bemessen. Die Deckelbauweise erfolgte wie in Bild 12 dargestellt.

- 1) Für das BV FOUR wurde erstmals innerhalb der Frankfurter Innenstadt eine Schlitzwand statt einer Bohrpfehlwand (Sondervorschlag der Fa. TREVI) realisiert.

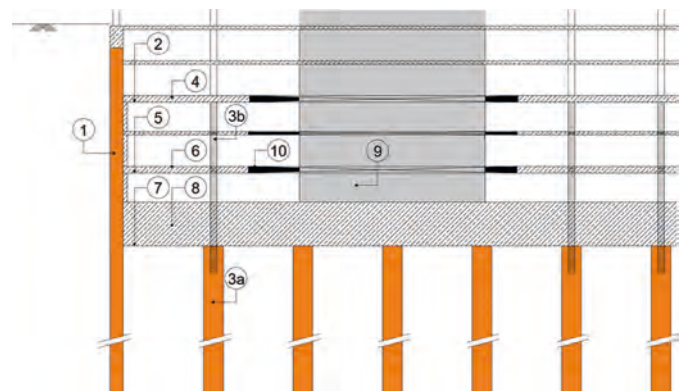


Bild 12 Deckelbauweise (Quelle: ATW FOUR)
Semi-top-down construction method

- 2) Aushub bis UK 1. Deckel: Die Tiefe des ersten Aushubabschnitts lag knapp unterhalb des Grundwasserstands.
- 3) Herstellung der Pfähle (3a) und Einbringen der Fertigteilstützen in die frisch betonierten Pfähle (3b): Die Herstellung der Pfähle erfolgte mit hoher Präzision. Innerhalb des Bewehrungskorbs mussten die Fertigteilstützen eingeschoben und ausgerichtet werden können. Hierfür wurden die Pfähle mittels eingemessener Führung der Verrohrung gebohrt. Nach dem Einbringen des Bewehrungskorbs wurde die einzubetonierende Fertigteilstütze mittels Schablone ausgerichtet, über einen Köcher geführt eingeschoben und justiert. Anschließend wurde der Pfahl betoniert und die Stützen fixiert. Die Stützen sind in Höhe der Decken und der Bodenplatte mit Verzahnung sowie mit Schraubanschlüssen für die späteren Anschlüsse versehen.
- 4) Herstellung des ersten Aussteifungsdeckels mit Öffnungen für den weiteren Aushub: Der erste Deckel musste mehrere Funktionen erfüllen. Zunächst erfolgte die Aussteifung des Verbaus im Bauzustand über diesen Deckel. Für den späteren Aushub wurden große Öffnungen vorgesehen, an deren Rändern die maximalen Spannungen aufgrund der Scheibenbeanspruchung wirken. Die während der Bauzeit auftretenden Nutzlasten waren zu definieren. Zusätzlich mussten alle im Endzustand durch den Deckel abzutragenden Lasten und Aussparungen bei der Bemessung berücksichtigt werden. Eingeprägte Spannungen aus dem statischen System des Bauzustands wurden nach dem Wechsel ins statische System des Endzustands übertragen.
- 5) Aushub bis UK 2. Deckel
- 6) Herstellung des zweiten Aussteifungsdeckels mit Öffnungen für den weiteren Aushub: Hier gilt grundsätzlich die gleiche Beschreibung wie unter 4). Die Scheibenkräfte sind mit zunehmender Tiefe jedoch deutlich größer.
- 7) Aushub bis UK Bodenplatte: Mit dem Zeitpunkt des Erreichens der Baugrubensohle erfolgte die maximale Beanspruchung für den Verbau und den unteren Deckel.
- 8) Herstellung der Bodenplatte: Die Bodenplatte wurde konventionell hergestellt. Aufgrund der Mitwirkung der Schlitzwände für die kombinierte Pfahl-Plattengründung erfolgte eine schubfeste Anbindung zwischen Bodenplatte und Verbau.
- 9) Herstellung der Kernwände: Die Herstellung der Kernwände im Kellerkasten erfolgte noch konventionell.
- 10) Schließen der Deckelöffnungen und Weiterbau nach oben.

Die Herstellung und die statischen Berechnungen von Baugruben in Deckelbauweise weichen somit deutlich von der üblichen Vorgehensweise ab. Es sind in Abhängigkeit von der Bauzeit unterschiedliche Bauzustände mit unterschiedlichen Lasten und unterschiedlichen statischen Systemen, teilweise mit eingepprägten Spannungs-

zuständen, zu berücksichtigen (Construction Stage Analyse). Entscheidend für das Gelingen der Planung sind unter anderem die frühzeitige Festlegung des Rohbaus (Einfrieren des Planungsstands) und ein darauf basierender abgeschlossener Lastabtrag.

4.2 Fertigteilbauweise

Da das Baufeld begrenzte Logistikflächen bereithält, mussten besondere Überlegungen zur Bauausführung angedacht werden. So wurde beispielsweise die Grundfläche des T2 lange Zeit als Zwischenlager für die verbleibenden Türme genutzt, ehe die Errichtung des T2 erfolgen konnte. Ein entscheidender Parameter zur Einhaltung der ambitionierten Zeitschiene war der Umstieg von Ortbeton auf (Halb-)Fertigteile in den Türmen 1 und 4. Die Regelgeschosse konnten innerhalb von nur vier Tagen errichtet werden und somit die logistischen Engpässe auf der Baustelle entlasten.

Um Schallschutzanforderungen und den großen Spannweiten Rechnung zu tragen, sind alle Türme mit Stahlbetondecken ausgeführt. Die Stützen wurden mit hochfester Bewehrung im Werk hochpräzise ausgeführt und anschließend mit dem Lkw direkt auf die Baustelle transportiert. Dort erfolgte der Einhub unmittelbar vom Transportfahrzeug in die korrekte Position, um die Logistikflächen zusätzlich zu entlasten. Rand- und Innenträger wurden anschließend in die korrekte Position gehoben und bildeten das Grundgerüst für die vorgefertigten, teils vorgespannten Elementplatten.

Lediglich die Ortbetonerfüllung der Decken sowie die Elementwände und die Kernwände des T1 erfolgten in situ. Um auf teure Sonderlösungen im Bereich der Anschlusspunkte zu verzichten, wurden Vergusstaschen konzipiert, in denen zuvor die Bewehrungen kraftschlüssig miteinander verbunden wurden. Ferner wurden die Fertigteilstützen mittels Stützenstumpfstoß konzipiert (Bild 13).



Bild 13 T1: Blick auf die Deckenkonstruktion in Halfertigteilbauweise (Quelle: ATW FOUR)

T1: view of the semi-fabricated ceiling construction

4.3 Ortbetonbauweise (T2 und T3)

Die Stützen und Decken der Türme T2 und T3 wurden in Ortbeton hergestellt. Deckenbereiche mit großen Spannweiten wurden zur Verformungsbeschränkung vorgespannt (nachträgliche Vorspannung ohne Verbund). In die Flachdecken sind Haustechnik-Einlegearbeiten integriert. Der Kern des zweithöchsten Turms T2 lief in Kletterschalung vor, sodass Bauzeiten von fünf Tagen je Geschoss erreicht werden konnten. Bei T3 betrug die Bauzeit sechs Tage je Geschoss. Der direkte Vergleich zum Turm T1 ist jedoch nicht zulässig, da die Geschossflächen je Decke bei T2 und T3 deutlich kleiner sind.

4.4 Koppelriegel

Abhängig vom gewählten Aussteifungssystem können Hochhäuser als Kragarm idealisiert werden, wobei der Stabquerschnitt dem Grundriss des Kerns entspricht. Im vorliegenden Fall besteht der Kern aus zwei Kernhälften, die durch eine Flurzone räumlich voneinander getrennt sind. Koppelt man diese beiden Kernhälften mit stabförmigen Elementen in Form von Türstürzen, erhöht sich die Steifigkeit des idealisierten Kragarms. Bei den Türmen 1 und 4 gab es drei verschiedene Arten von Koppelriegeln: die klassisch bewehrten, dennoch teils vorge-

spannten Träger; die Stahlträger und die Riegel mit gekreuzter Bewehrung.

Bei den Stahlträgern musste aufgrund der begrenzten Transport- und Hubgewichte auf eine sinnvolle Unterteilung geachtet werden. Da die Träger aufgrund der hohen Beanspruchung aus mehreren Einzelblechen zusammengeschweißt wurden, lag ein besonderer Schwerpunkt auf den Schweißreihenfolgen der Einzelelemente (Bilder 14 und 15).

Die dritte Kategorie der Koppelriegel ist neben den Stahlträgern ebenfalls eine Sonderkonstruktion. In klassischen FE-Programmen werden Bewehrungsmengen als obere und untere Bewehrung angezeigt. Da die Beanspruchung eines Koppelträgers allerdings durch eine Rotation am Einspannpunkt zum Kern induziert wird, ist die klassische computergestützte Bewehrungsführung bei den Koppelträgern nicht anzuwenden. Es wurde ein besonderes Bemessungskonzept entwickelt, um eine Bewehrungsführung entsprechend dem linearen Momentenverlauf zu generieren und das Stabwerk idealisiert abzubilden (Bild 16).

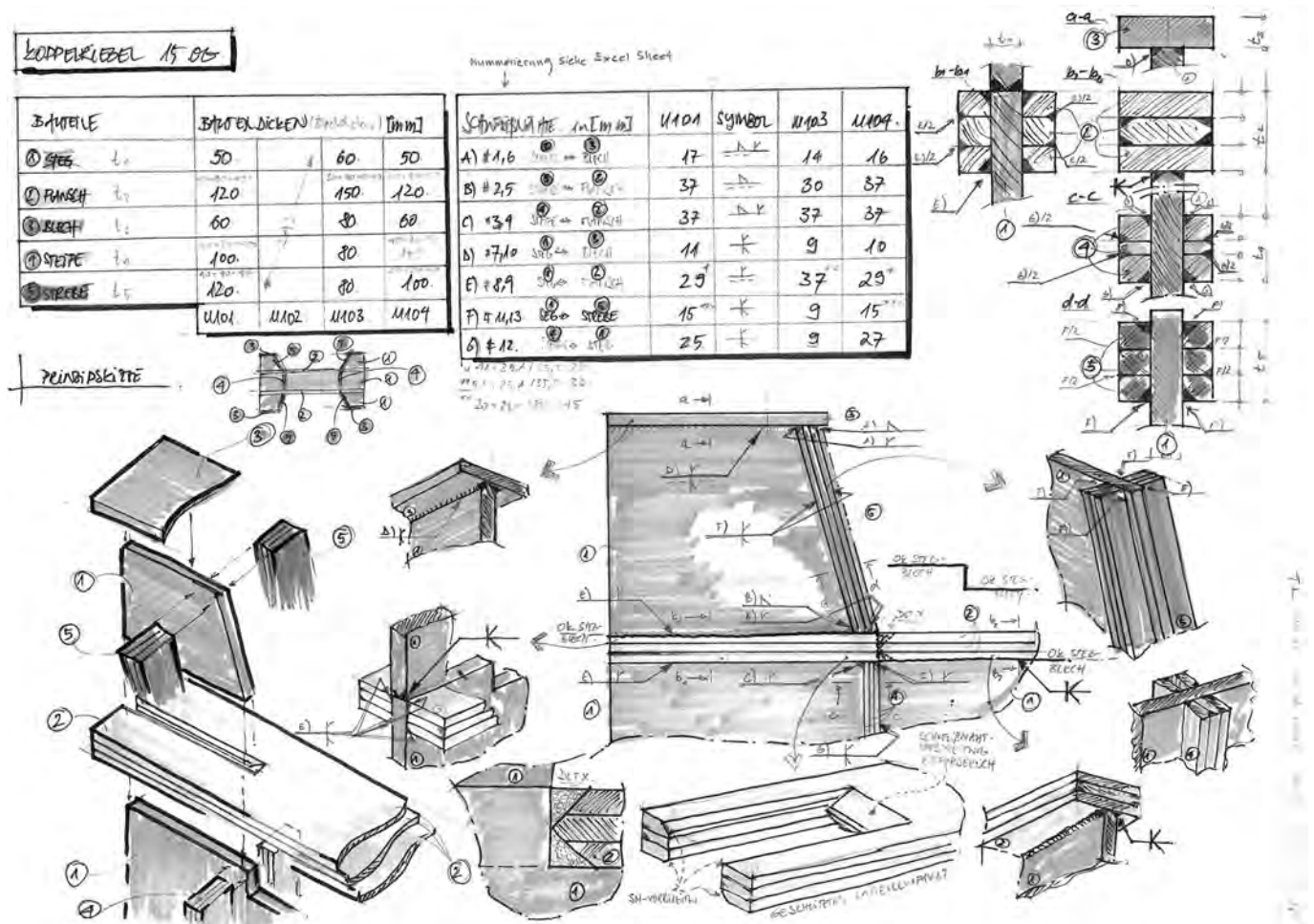


Bild 14 T1: Koppelriegel – Stahl – Schweißnahtkonzeption (Quelle: ATW FOUR)
T1: Linked beams – steel – weld seam concept



Bild 15 T1: Koppelriegel – eingebauter Zustand (Quelle: ATW FOUR)
T1: Linked beams – installed condition

5 Fazit

Mit seinen 215.000 m² Geschossfläche ist FOUR eines der größten Bauprojekte in Europa. Der T1 wird sich mit 228m Höhe auf Platz 3 in der Liste der höchsten Hochhäuser in Deutschland platzieren. Für den Bauherren spielte das Thema Nachhaltigkeit von Beginn an eine entscheidende Rolle. So ist FOUR Frankfurt nun auch das erste Bauprojekt, bei dem das Nutzungsprofil „Vertical Cities“ der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) angewandt wird. Dieses trägt dem besonderen Charakter eines verdichteten Hochhausensembles Rechnung. Erstmals werden dabei Kriterien sowohl aus der Quartiers- als auch aus der Gebäudezertifizierung betrachtet.



Bild 17 Die FOUR Baustelle inmitten der Skyline (Ende Mai, 2024) (Quelle: FOUR Frankfurt, webcam)
The FOUR construction site in the middle of the skyline (end of May, 2024)

Das Turmquartett wird nach seiner Fertigstellung nicht nur die Skyline der Mainmetropole deutlich verändern (Bild 17). Die Handels- und Bankenstadt erfindet sich mitten im alten Zentrum der Stadt noch einmal neu. Die funktionsvermischte Verdichtung des Bauvorhabens lässt ein vitales Quartier entstehen und knüpft damit an die lange Zeit unterbrochene Geschichte eines Viertels an, das bis zum Zweiten Weltkrieg zu den pulsierendsten Stadtteilen Frankfurts zählte. Für die Projektbeteiligten stellt das Projekt höchste Anforderungen an Planung und Ausführung. Umso zufriedener blicken diese auf die Zusammenarbeit in der Arge, mit dem Bauherren Groß & Partner, den Architekturteams von UNStudio und HPP, aber auch mit allen ausführenden Unternehmen, um dieses komplexe Gesamtprojekt schlussendlich erfolgreich umsetzen zu können.

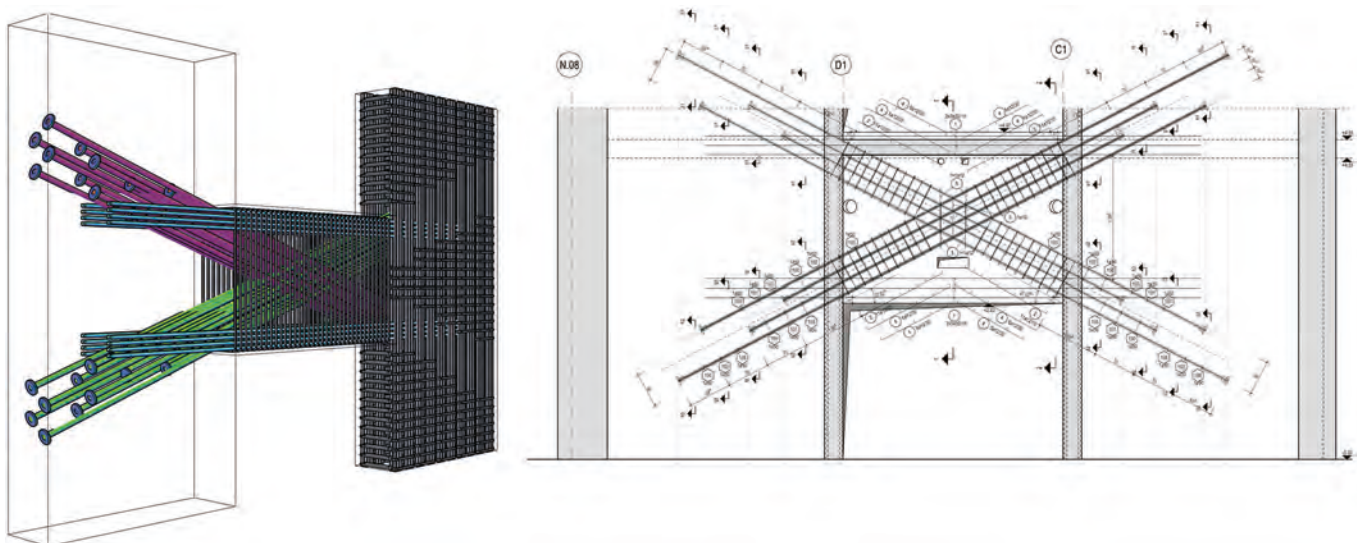


Bild 16 T1: Koppelriegel – gekreuzte Bewehrung (Quelle: ATW FOUR)
T1: Link beams – crossed reinforcement

Autoren



Dipl.-Ing. Alexander Berger (Korrespondenzautor)
aberger@bollinger-grohmann.de
Bollinger + Grohmann
Westhafenplatz 1
60327 Frankfurt



Dipl.-Ing. Daniel Torakai
daniel.torakai@wernersobek.com
Werner Sobek Frankfurt
Darmstädter Landstraße 125
60598 Frankfurt



Dipl.-Ing. Simon Ruppert
sruppert@bollinger-grohmann.de
Bollinger + Grohmann
Westhafenplatz 1
60327 Frankfurt

Zitieren Sie diesen Beitrag

Berger, A.; Ruppert, S.; Torakai, D. (2024) *FOUR FRANKFURT – Neue Hochhäuser in Frankfurt am Main*. Beton- und Stahlbetonbau 119, H. 8, S. 605–614.

<https://doi.org/10.1002/best.202400038>