

# INGENIEURBAUKUNST 2017

MADE IN GERMANY





11



12



13



14



16

eckförmigen Sandwichelementen, bestehend aus einer 2 Millimeter starken GFK-Außenhaut mit einem Kern aus tragendem Schaum umgesetzt.

Die Verkleidung startet an der Spitze (dem Leuchfeuer) mit nur 1 Fuß (30 Zentimeter) Durchmesser, wächst dann bis auf 22 Fuß (6,7 Meter) an und verjüngt sich nach unten wieder. Sie wird alle 40 Fuß an den stählernen Wartungsplattformen oben gehalten und unten nur horizontal gestützt, sodass sie lediglich lokale Lasten an den Mast abgibt. Dazwischen wird die Verkleidung im Abstand von 20 Fuß mit Streben aus GFK-Profilen horizontal abgestützt.

Die Abspaltung des Mastes (Bild 6) besteht aus Kevlar-Seilen mit Aramid-Fasern, einem RF-transparenten Kunststoffmaterial mit hoher Festigkeit. Die Seilvorspannung wurde infolge Kriechens nur zu 10 Prozent der Bruchfestigkeit angesetzt. Die Abspaltung aus vier Doppelseilen mit je 140 Millimetern Durchmesser waren sehr wirksam zur Beschränkung der Antennenverformung im Gebrauchszustand, im Traglastzustand mussten jedoch verschiedene Ausfallszenarien für die Seile berücksichtigt werden.

#### Fertigung und Montage

Eine Montage in über 400 Metern Höhe muss genau vorgeplant werden und bestimmt die Ausbildung, Fer-



15

- 11** Kräne heben die Segmente für die Turmspitze auf das Dach.
- 12** Turm und Spitze im Bau
- 13** Die fertiggestellte Turmspitze
- 14** Das Schlusselement wird eingehoben.
- 15** Der fertiggestellte Turm bietet wieder einen Orientierungspunkt in der Stadt.
- 16** Die Skyline mit dem One World Trade Center

tigung und Stoßausbildung der Konstruktion. Es wurden möglichst große Elemente in der Werkstatt vorgefertigt, deren Abmessungen und Gewicht von der Transportmöglichkeit und der Tragfähigkeit der Kräne (max. 50 bis 55 Tonnen) bestimmt wurden. Mastlängen entsprechend der Segmentlänge von 40 Fuß (12 Meter) wurden angestrebt.

Die schweren unteren Segmente mussten in der Länge halbiert werden, sodass der Mast aus insgesamt 18 vorgefertigten Elementen besteht. Das oberste Segment mit der verglasten Leuchfeuerspitze ist 22 Meter lang und wiegt 22 Tonnen. Die meisten Elemente wurden durch vorgespannte Kopfplattenstöße verbunden, der Rest mit geschraubten Laschenstößen. Die vorgespannte Verbindung wie auch die geometrischen Anforderungen bezüglich Vertikalität des Mastes erforderten die passgenaue mechanische Bearbeitung der gesamten Fläche der Kopfplattenstöße mit einer großen Fräsmaschine (Bild 10).

Alle Elemente wurden im kanadischen Montreal gefertigt und aufgrund der Größe und des Gewichts per Schiff über den Sankt-Lorenz-Strom und dann entlang der Atlantikküste nach Port Elizabeth in New Jersey gebracht. Von dort wurden sie mit einer Barke weiter zum Pier 25 in Manhattan und dann mit einem Spezial-LKW auf dem Landweg zur Baustelle transportiert.

Hans Schober

Zur Montage waren zwei Spezialkräne erforderlich, die in ca. 416 Metern Höhe am Gebäude befestigt waren. Für den Hubvorgang musste ruhiges Wetter abgewartet werden (Bild 11).

Auf die Verkleidung des Mastes wurde letztendlich verzichtet, sodass heute die schlanke Stahlkonstruktion mit den Wartungsplattformen zu sehen ist (Bild 13).

Am Donnerstag, den 2. Mai 2013 wurde das an einem Seil hängende und vom star-spangled banner behängte, 22 Tonnen schwere und 22 Meter hohe Schlusselement unter Anteilnahme zahlreicher Journalisten, Passanten und Arbeiter in einem feierlichen Akt über die 416 Meter gehoben (Bild 14).

Am 10. Mai 2013 wurde dann in 519 Meter Höhe die „Krone“ auf die Turmspitze montiert, wodurch das One World Trade Center seine symbolische Höhe von 1776 Fuß (541 Meter) erreichte.

**OBJEKT**  
One World Trade Center

**STANDORT**  
New York City, USA

**BAUZEIT**  
Start Gründungsarbeiten 2006,  
Bauzeit Turm 2009–2014,  
Antenne 15.01.–10.05.2013

**BAUHERR**  
Port Authority of New York  
and New Jersey

**INGENIEURE + ARCHITEKTEN**  
Ingenieure:

schlaich bergermann partner,  
Stuttgart und New York

(Turmspitze);  
Cantor Seinuk Group,  
New York (Turm)

Architekt:  
Skidmore, Owings & Merrill LLP,  
New York

Construction Manager:  
Tishman Construction  
Corporation, New York

**BAUAUSFÜHRUNG**  
Steel Contractor:  
DCM Erectors  
(The Davis Group)

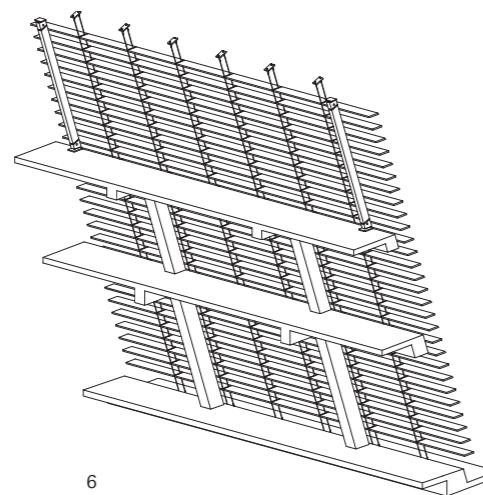
Antenna fabricator:  
Metacor International,  
Valleyfield, Kanada;  
ADF Group, Terrebonne,  
Kanada



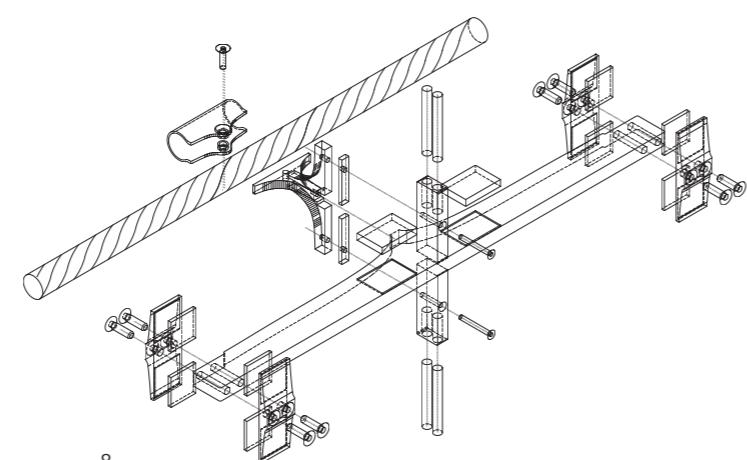
5



7



6

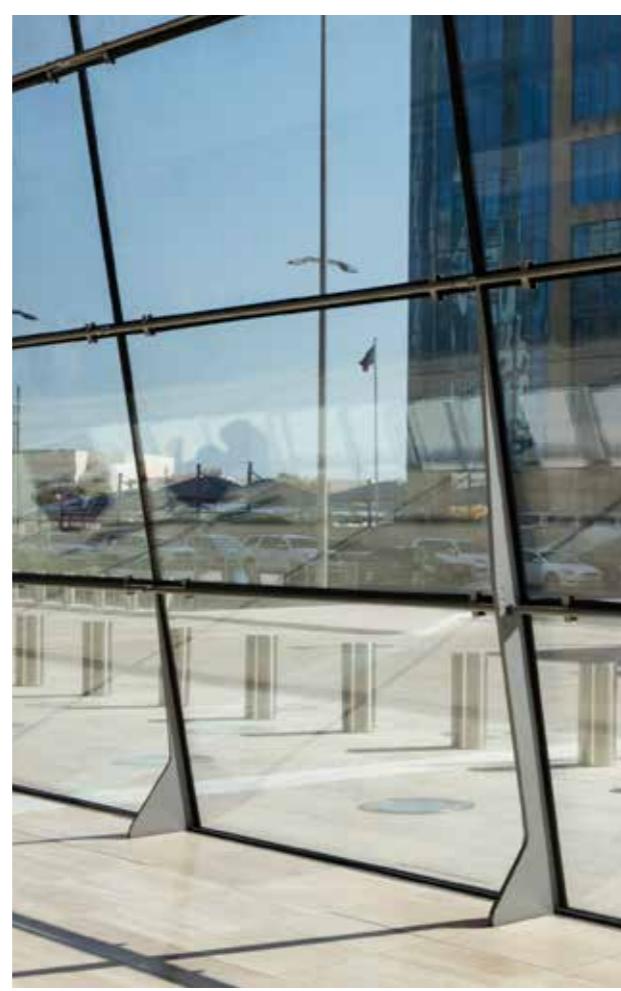


8

**5** Detailansicht der Sonnenschutzlamellen an der Nordfassade  
**6** Isometrie der Nordfassade – Innenansicht



10



9

**7** Detailansicht des Klemmhalters  
**8** Explosionszeichnung eines Klemmhalters  
**9** Stahlschwerter reduzieren lokal auftretende Verwindungen.  
**10** Blick vom Eingangsbereich auf die Skyline von Doha

columns"). Sie stehen im Abstand von max. 18 Metern zueinander und nehmen die Windlasten aus den horizontal verlaufenden Seilen auf.

In den vertikalen Fassadenfugen befinden sich Zugstäbe, die das Eigengewicht der Glasscheiben an das Primärtragwerk weiterleiten. Da die Südfassade um 10 Grad nach innen geneigt ist, wurden die Seile bei der Montage durch Abstandhalter in einem leichten Bogen geführt, ähnlich wie bei der Überhöhung eines Stahlträgers. Hierdurch konnte die Verformung unter Eigengewicht ausgeglichen werden, sodass die Fassade nach dem Einbau der Isolierverglasung eine ebene Fläche bildet.

#

Besonders komplex war die Gestaltung der Südwestecke, da hier die horizontalen Seile der Süd- und der Westfassade an einer einzigen Eckstütze anschließen.

Ein besonderes Merkmal der um 20 Grad nach innen geneigten Nordfassade sind die außenliegenden horizontalen Sonnenschutzlamellen aus Aluminium, die jeweils von zwei vertikalen Seilen gehalten werden (Bild 5). Diese Seile sind – einer parabolischen Geometrie folgend – zueinander gegensinnig gebogen, sodass je nach Windrichtung immer eines der beiden Seile auf Zug beansprucht wird. Die Vorspannkräfte können so sehr klein gehalten werden und das Haupttragwerk wird entlastet. #

Die in Aluminium gefertigten Sonnenschutzlamellen halten die Seile in der gebogenen Form (Bild 6).

Die 3,0 Meter breite und 1,4 Meter hohe Isolierverglasung an der Süd- und Westseite wird durch H-förmige Klemmhalter getragen. Die Klemmen sind ca. 30 Zentimeter von der vertikalen Fugenachse entfernt (Bild 7). Das Eigengewicht der Scheibe wird nahe der Fuge an ein Edelstahlflachprofil weitergeleitet, sodass der Hebelarm in Bezug auf den Zugstab klein gehalten werden konnte. Auch die Seilklemmen selbst konnten minimiert werden, da die Seile horizontal angeordnet sind und Lasten nur über Kontakt eingeleitet werden. Durch eine sorgfältige Detaillierung und die gezielte Lasteinleitung entstand eine minimalistische, elegant geformte Klemme, die Seile und Glaselemente miteinander verbindet (Bild 8).

Ein wichtiges Ziel der Planung der Seilfassaden war es, horizontale Verformungen und daraus resultierende Verwindungen der Glasscheiben in Grenzen zu halten; dies war angesichts der großen Spannweiten eine besondere Herausforderung. Um die gesetzten Verformungsgrenzen bei minimaler Tragstruktur realisieren zu können, wurden an den unteren und oberen Fassadenrändern Stahlschwerter mit unterschiedlichen Höhen und Steifigkeiten eingesetzt. Die Stahlschwerter wirken wie Federn, die lokal auftretende Verwindungen in den Eckglasscheiben reduzieren können (Bild 9).

Weitere für die Planung besonders wichtige Bereiche waren die Türen; an diesen Stellen entstehen nicht nur lokale Glasverwindungen, sondern wird auch die Kontinuität der Tragstruktur unterbrochen. Zudem mussten die Türmechanismen aufgrund der hohen Seilverformungen von der Fassade entkoppelt werden. Aus diesem Grund wurden auch über dem Portal Stahlschwerter eingesetzt.

Das DECC setzt einen neuen Meilenstein im Glasbau. Zum ersten Mal erfolgte die Abtragung von Horizontallasten auf eine Fassade dieser Größenordnung ausschließlich mittels horizontal gespannter Seile. Die Umsetzung dieser innovativen Lösung erforderte eine extrem sorgfältige konstruktive Durcharbeitung. Diese und die hohe Gestaltungsqualität der Konstruktion ermöglichen die atemberaubende Transparenz des Gebäudes und damit ein außergewöhnliches Raum erlebnis.

*Lucio Blandini, Thomas Winterstetter,  
Werner Sobek*

**OBJEKT**  
Doha Exhibition and Convention Center

**STANDORT**

Doha, Katar

**BAUZEIT**

2013–2015

**BAUHERR**

Qatari Diar Real Estate

**INGENIEURE + ARCHITEKTEN**

Architekt:

Helmut Jahn, Chicago

Tragwerksplanung:

Magnusson Klemencic Associates, Seattle

Fassadenplanung:

Werner Sobek, Stuttgart

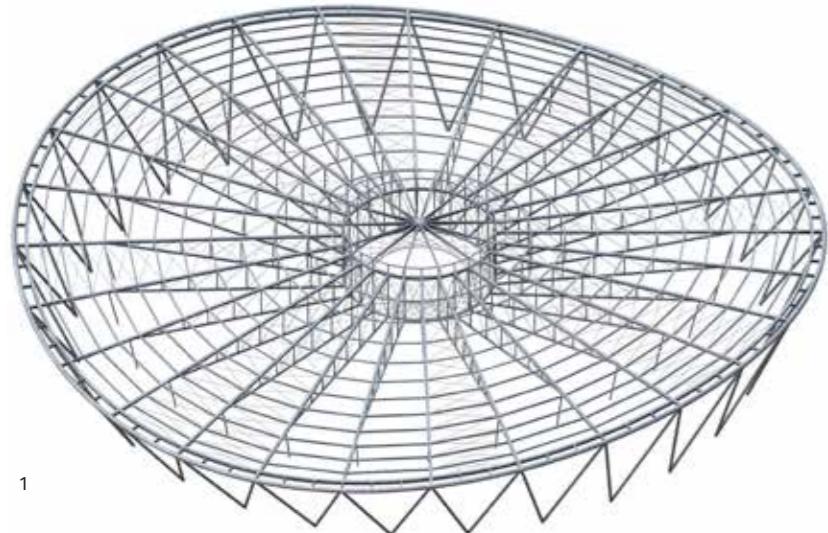
**BAUAUSFÜHRUNG**

Generalunternehmer:

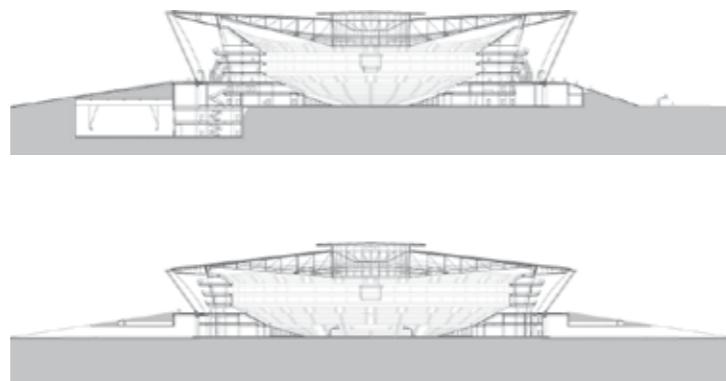
Besix + Midmac Contracting Company

Ausführung Fassade:

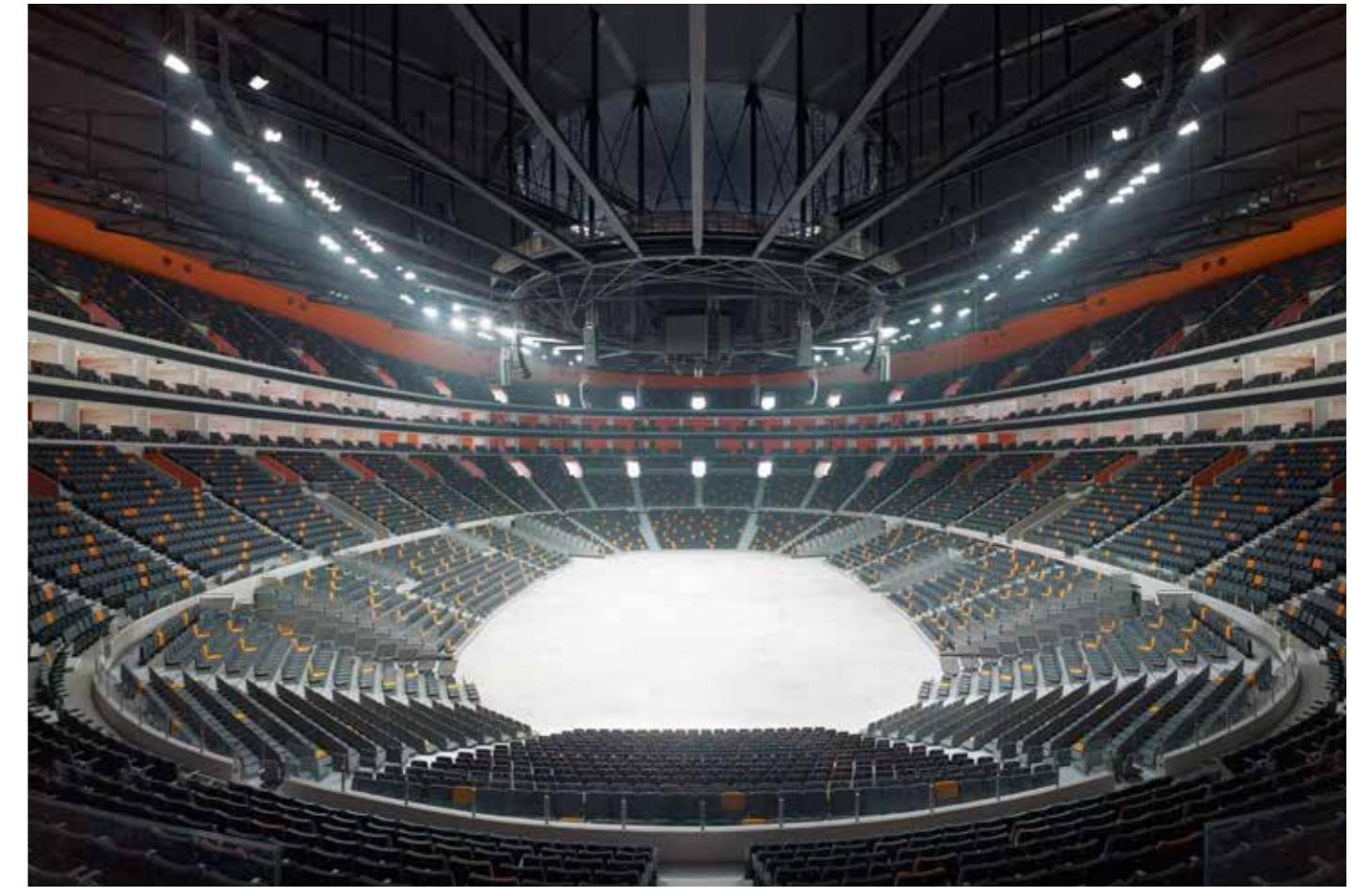
Gartner + Permasteela Middle East



1



2



3

**In Dongguan steht seit 2014 eine der modernsten Basketballhallen Chinas. Vergleichbar mit modernen NBA-Hallen in den USA bietet sie Platz für 15.000 Zuschauer. Das Gebäude orientiert sich architektonisch an der Form eines Basketballkorbs, wobei die Dachstruktur ringförmig ist und die Seilnetzfassade das Korbnetz abbildet. Dieses 500 Meter lange doppelt gekrümmte Seilnetz stellt die derzeit wohl längste Fassade ihrer Art in der Welt dar.**

Durch ihre internationale Ausrichtung und die erfolgreiche Mannschaft „Dongguan Leopards“ genießt die westliche Sportart Basketball in der südchinesischen Stadt einen hohen Stellenwert. Die neue Halle, die sowohl als Heimstadion als auch für große Veranstaltungen der Region genutzt wird, hat amerikanische NBA-Hallen zum Vorbild. Dazu gehören neben der Hallengröße eine mehrgeschossige Tribünenanlage inklusive VIP-Boxen sowie ein Videowürfel mit Werbeanlage. Um den umbauten Raum zu minimieren, bietet sich ein Dachtragwerk mit offener Nabe an, in dem der Videowürfel geparkt werden kann.

Das Bild des Basketballkorbs wurde für die Ausformung des Gebäudes gewählt: Eine Seilnetzfassade umspannt die 16 bis 26 Meter hohe Halle und bildet eine doppelt gekrümmte „Schale“ mit einer Länge von rund 500 Metern.

#### Die Tragstruktur der Halle

Der Durchmesser der Halle beträgt ca. 160 Meter. Den zentralen Baukörper bildet die in Ortbeton ausgeführte Stadionschüssel. Sie sitzt auf dem ebenen Baugelände und hat einen Durchmesser von ca. 126 Metern. Das 6- bis 7-geschossige, also etwa 22 Meter hohe Gebäude, enthält auf der Erdgeschossebene die Spielfläche mit allen Servicefunktionen und Technikflächen. Das Bauwerk präsentiert sich leicht erhöht auf einer kegelförmigen Anschüttung (+9m), die gleichzeitig die Untergeschosse überdeckt.

Das stählerne Tragwerk wird am äußeren Rand von 28 V-Stützen ( $D = 608\text{ mm}$ ), die der ondulierenden Dachform angepasst sind, getragen. Auf ihnen ruht der umlaufende Druckring, der alle Horizontallasten aus der Hängewirkung des Innendaches aufnimmt. Von ihm aus verlaufen radiale „Speichen“ bis zur mittleren Nabe. Auf der Oberkante der Tribüne sind zusätzlich 28 kurze Pendelstützen angeordnet. Von hier aus verlaufen nach unten geneigte Zugelemente zur Nabe. Die Speichen sind hierauf über vertikale Pfosten und zusätzliche Diagonalen aufgesetzt.

#### Die doppelt gekrümmte Seilnetzfassade

Die umlaufende Fassade wird zwischen der 9-m-Ebene und dem Dachtragwerk aufgespannt. Die meisten der

1 Modell des Tragwerkes  
2 Schnitte durch Hochpunkt und Tiefpunkt des Druckrings

von schlaich bergermann partner entwickelten und auch in China gebauten Seilnetzfassaden werden aus einer horizontalen und einer vertikalen Seilschar gebildet. Sie werden größtenteils eben ausgeführt und mit ebenen Verbundsicherheitsgläsern ausgestattet.

Die oft starken Verformungen werden durch eine Verwindung der rechteckigen Gläser aufgenommen. Da anfangs noch der Wunsch einer Isolierverglasung bestand, die kaum Verwindungen der Scheiben ohne Verlust der Dichtigkeit zulässt, haben wir uns dem „Netzgedanken“ folgend für zwei gegeneinander verschwenkte, vertikale Seilscharen und eine in der Umlangsrichtung verlaufende Seilschar entschieden, die damit Dreiecksscheiben ergeben. Dank dieses Prinzips kann durch Vorspannung der im Umfang geführten Seile das gesamte Tragwerk vorgespannt werden. Die dadurch entstehenden antiklastischen Krümmungen der Seilscharen führen zu einer „Schalentragwirkung“ mit einer verhältnismäßig hohen Steifigkeit.

Alle Seile wurden in der Planung als parallele Seilpaare ausgeführt, sodass der Seilknoten mit einer Zentralschraube zum einfachen Verbinden der einzelnen Elemente ausgeführt werden konnte (siehe Bild 5).

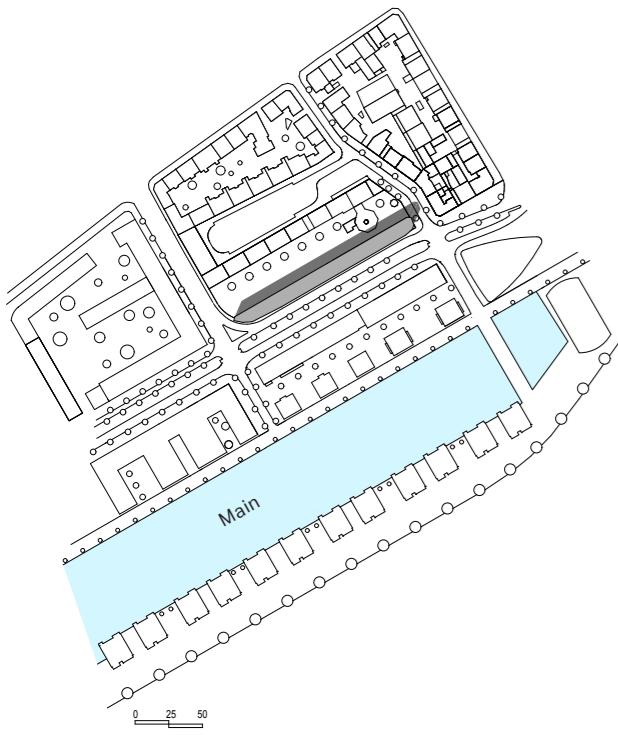
Die vertikalen Doppelseile bestehen aus offenen Sparsäulen (OSS)  $d = 14,1\text{ mm}$ , die Ringseile aus je zwei OSS  $d = 20,1\text{ mm}$ .

Als Seilanschlusspunkt am Dachtragwerk wurde ein zweiter zurückgerückter Ringträger eingeführt, der der Ondulation des äußeren Druckrings folgt. Der vertikale Abstand wird gleichmäßig unterteilt, sodass 12 Glasscheiben entstehen. Aufgrund der Ondulation des Ringträgers ergeben sich unterschiedliche Scheibenabmessungen von 1,2 bis 1,4 Metern Breite und entsprechend der vertikalen Ondulation eine Höhe von 1,7 bis zu 2,4 Metern. Auf der 9-m-Ebene ist das Seilnetz durch im Beton eingelassene Rohrhülsen geführt und mit Radialgelenklagern gegen Einbauteile abgesetzt worden (siehe Bild 6).

Als Grundlage der Formfindung für die Fassade diente das spannungslose Netz eines Kegelstumpfes, wobei durch gleichmäßigen „Unterdruck“ die benötigte Ringvorspannung und die antiklastische Form gefunden wurden.

Aus funktionalen architektonischen Gründen war die Krümmung des Netzes nach innen limitiert: a) aus reinen Gestaltungsgründen, b) weil der verbleibende Luftraum zwischen Fassade und den Treppen zur umlaufenden Empore knapp war und damit auch c) die Verformungen möglichst gering sein mussten. Dem entgegen stand der Wunsch d), die Seilkräfte und auch die Seilquerschnitte zu beschränken, da diese direkten Einfluss auf den umlaufenden Druckring mit den angeschlossenen V-Stützen haben.

3 Offene Nabe mit verfahrenbarem Videowürfel



1



2

**Ein interdisziplinäres Team aus Architekten, Tragwerksplanern und Fachingenieuren entwarf mit dem Aktiv-Stadthaus ein Gebäude, das sich durch maximale Energieeffizienz und hohe architektonische Ansprüche auszeichnet. Durch die Hybridkonstruktion aus tragenden Massivbauteilen und einer vorgehängten Fassade aus Holzrahmenelementen konnte eine hochwärmedämmende Gebäudehülle realisiert werden.**

Unter dem Eindruck der Nuklearkatastrophe im März 2011 in Fukushima beschloss die deutsche Bundesregierung den Ausstieg aus der Atomkraft und leitete damit die Energiewende ein. Bis 2050 soll u.a. der Anteil der Erneuerbaren Energien an der Stromversorgung auf 80 Prozent erhöht werden.

Zum Zeitpunkt der Katastrophe war Frankfurt bereits auf dem Weg zur „Passivhaus-Hauptstadt“ Deutschlands. Seit dem Beschluss der Stadtverordnetenversammlung vom Herbst 2007 ist beim Neubau und der Sanierung stadteigener und städtisch genutzter Gebäude der Passivhausstandard einzuhalten bzw. anzustreben.

Die ABG FRANKFURT HOLDING, der Wohnungs- und Immobilienkonzern der Stadt mit einem Wohnraumangebot für fast ein Viertel der Frankfurter Bevölkerung, versteht sich mit dem Bau von über 2.500 Geschoss-

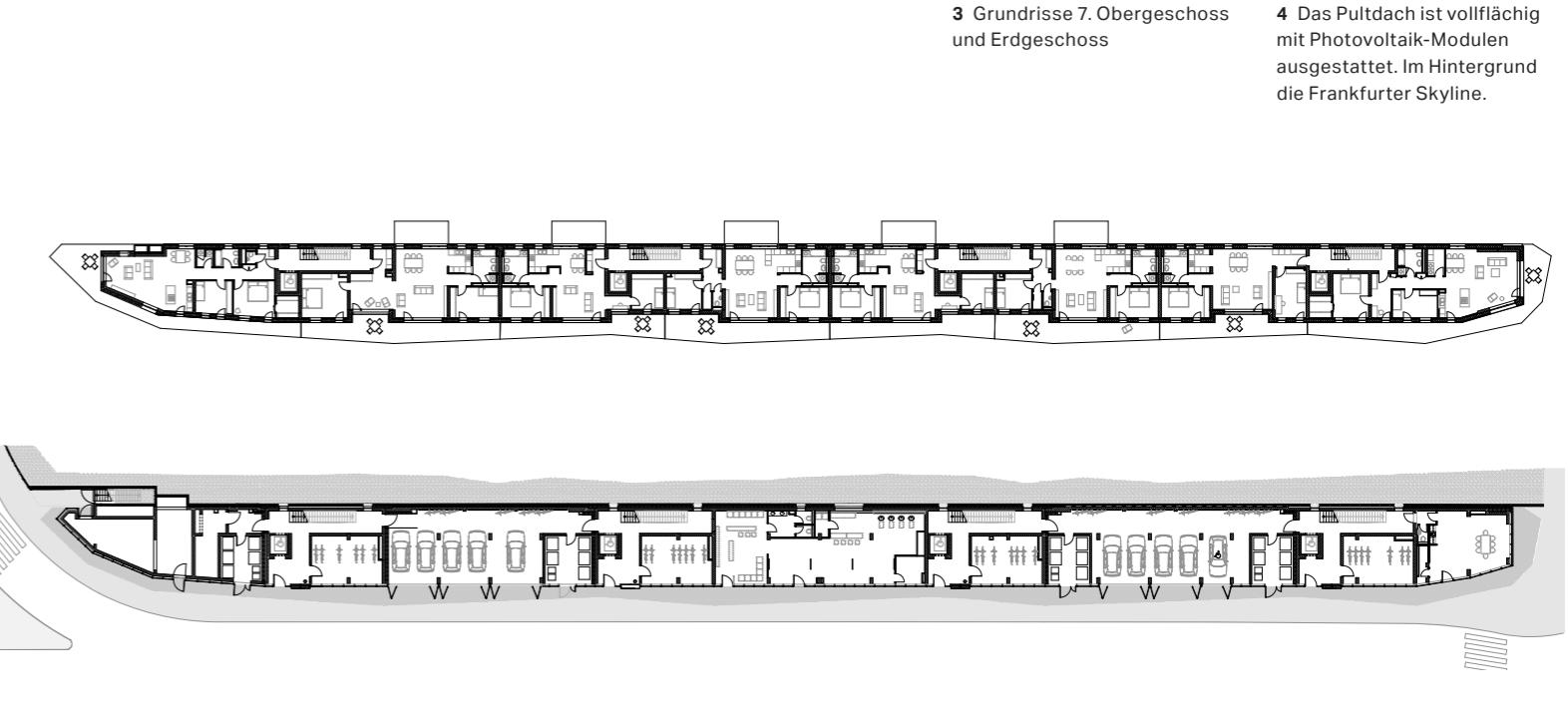
wohnungen im Passivhausstandard und dem Bau des Aktiv-Stadthauses in Frankfurt, dem bislang größten Plusenergie Wohnhaus in Europa, als Schrittmacher der Energiewende.

Das innovative Geschosswohngebäude ist unweit des Frankfurter Hauptbahnhofs auf einem ungewöhnlich langen und schmalen Grundstück (150 × 9 Meter) entstanden. Das gut 27 Meter hohe, achtgeschossige Gebäude mit 74 Mieteinheiten in Größen von 60 bis 120 Quadratmetern benötigt über das Jahr bilanziert keine Energie von außen bzw. kann sogar einen Überschuss erzeugen.

Das Objekt ist Bestandteil der Effizienzhaus-Plus-Initiative der Regierung und dient dem Bundesministerium für Umwelt, Bau, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMUB) wie auch der ABG FRANKFURT HOLDING als Forschungs- und Präsentationsobjekt für nachhaltiges Bauen unter den Rahmenbedingungen des Klimawandels und der Energiewende.

Bislang galten Selbstversorger-Bauten solcher Größe und Kompaktheit als nicht realisierbar, da die hohe Dichte an Bewohnern und damit einhergehend der hohe Energieverbrauch im Verhältnis zu den kleinen zur Verfügung stehenden solaren Gewinnflächen äußerst ungünstig ist.

1 Lageplan  
2 Das unbebaute Grundstück wurde bis dato als Parkfläche genutzt.



3

Ein interdisziplinäres Planer- und Forscherteam startete 2011 mit einer Machbarkeitsstudie zur Entwicklung von städtischen Mehrfamilienhäusern in Plus-Energie-Bauweise nach EU 2020, welche durch die TU Darmstadt und das Steinbeis-Transferzentrum (Energie-, Gebäude- und Solartechnik) aus Stuttgart begleitet wurde.

In enger Zusammenarbeit mit dem zukünftigen Bauherrn entstand ein Gebäudeenergiekonzept mit Betrachtung von Lebenszyklusanalysen, Energiemanagementstrategien und Vorgaben für die integrale Planung des anschließenden Bauvorhabens. Dieses startete unter der Leitung der HHS Planer + Architekten aus Kassel, die gemeinsam mit den Energieplanern EGS-plan aus Stuttgart und den Tragwerksplanern Bollinger + Grohmann das Projekt von 2012 bis 2015 schließlich umsetzen konnten. Die Bauleitung oblag den Architekten von schneider+schumacher aus Frankfurt.

Die Ingenieure von Bollinger + Grohmann hatten zu diesem Zeitpunkt bereits mehrere Wohnungsbauprojekte mit der ABG FRANKFURT HOLDING umgesetzt, u.a. auch das Bauvorhaben in Kalbach-Süd mit den Architekten Scheffler + Partner. Auch bei diesem Bauvorhaben wurde erfolgreich Pionierarbeit geleistet, indem hier erstmals ein mehrgeschossiger Wohnungsbaukomplex in monolithischer Bauweise erstellt wurde. Diese Bauart war bis dato ebenfalls lediglich bei der Realisierung von Einfamilienhäusern erprobt.



4

3 Grundriss 7. Obergeschoss und Erdgeschoss  
4 Das Pultdach ist vollflächig mit Photovoltaik-Modulen ausgestattet. Im Hintergrund die Frankfurter Skyline.

## BESTELLSCHEIN

Stück	Bestell-Nr.:	Titel	Preis* €
	978-3-433-03167-4	Ingenieurbaukunst 2017	39,- <sup>90</sup>
	909538	Gesamtverzeichnis Ernst & Sohn 2016/2017	kostenlos
Monatlicher E-Mail-Newsletter: Anmeldung unter <a href="http://www.ernst-und-sohn.de/newsletter">www.ernst-und-sohn.de/newsletter</a>			

Liefer- und Rechnungsanschrift:  privat  geschäftlich

Firma			
Ansprechpartner	Telefon		
UST-ID Nr. / VAT-ID No.	Fax		
Straße//Nr.	E-Mail		
Land	-	PLZ	Ort

**Vertrauensgarantie:** Dieser Auftrag kann innerhalb von zwei Wochen beim Verlag Ernst & Sohn, Wiley-VCH, Boschstr. 12, D-69469 Weinheim, schriftlich widerrufen werden.

Wilhelm Ernst & Sohn  
Verlag für Architektur und  
technische Wissenschaften  
GmbH & Co. KG  
Rotherstraße 21, 10245 Berlin  
Deutschland  
[www.ernst-und-sohn.de](http://www.ernst-und-sohn.de)

Datum / Unterschrift

\*€ Preise gelten ausschließlich in Deutschland. Alle Preise enthalten die gesetzliche Mehrwertsteuer. Die Lieferung erfolgt zuzüglich Versandkosten. Es gelten die Lieferungs- und Zahlungsbedingungen des Verlages. Irrtum und Änderungen vorbehalten.  
Stand: Mai 2017 (homepage\_Probekapitel)