

Ein Kokon für die Musik

Bauherrschaft

Freie und Hansestadt Hamburg

Architekten

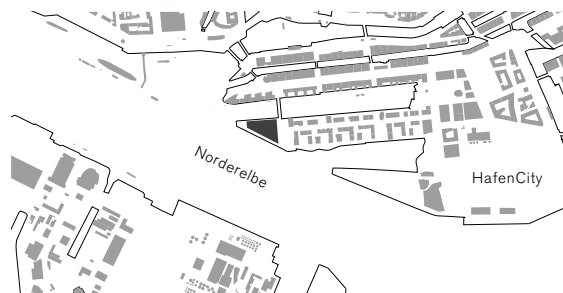
Herzog & de Meuron, Basel

Ingenieure

Schnetzler Puskas International, Basel

Baujahr

2017



Situation, M 1:50 000

Der Entwurf der im Januar 2017 offiziell eröffneten Hamburger Elbphilharmonie der Architekten Herzog & de Meuron ist spektakulär und die Aufstockung auf dem bestehenden Kaispeicher ein Ingenieurbauwerk sondergleichen. Wie ein Kokon in einem harten Kern bettet sich der Grosse Saal in das Bauwerk. Um ihn vom Umgebungslärm akustisch abzukoppeln, besteht der eiförmige Saalkörper aus zwei unabhängigen Schalen – eine aus Beton, die andere aus Stahl.

Eine bestechende Idee: das mächtige Backsteinvolumen des vormaligen Kaispeichers mit einem gläsernen Aufsatz krönen und darin ein Konzertsaal integrieren, der Besuchende von weither an die prominenten Stellen in der HafenCity nach Hamburg lockt. Und die Idee funktioniert. Mit der Elbphilharmonie hat Hamburg nebst einem der spektakulärsten Musiksäle der Welt auch ein ikonisches Bauwerk erhalten, das zum Wahrzeichen der Stadt geworden ist.

Wellenartig kristalliner Aufsatz

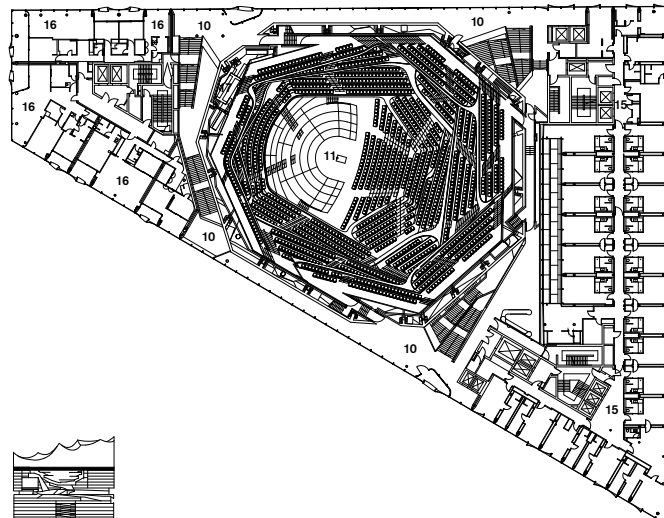
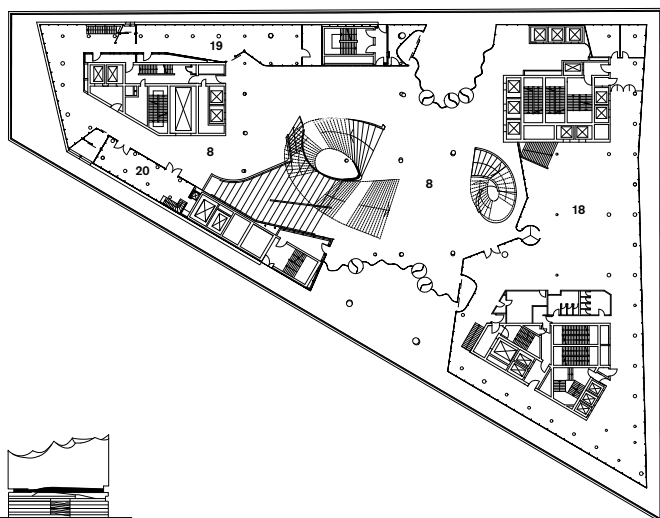
Wie eine gläserne Krone erhebt sich die 19-geschos-sige Aufstockung auf dem Kaispeicher A im Hamburger Hafen (1963, Architektur: Werner Kallmorgen). Sie bildet einen eigenständigen Körper auf dem sieben-geschossigen Backsteinsockel. Unten ein Massivbau; oben eine Mischbauweise als Skelettbau mit

eingeschlossenen Stahlkonstruktionen. Nicht nur die Materialisierung gliedert Alt und Neu, auch die geschosshohe Fuge dazwischen trennt das unterschiedliche Paar optisch in Bestand und Erweiterung.

Dank ihr scheint die Aufstockung über dem historischen Sockel zu schweben. Dennoch haben die beiden Körper einen engen Bezug zueinander. Ihre trapezförmigen Grundrisse stehen exakt übereinander, und hinter der Backsteinfassade ist ebenfalls alles neu. Die gesamte neue Tragkonstruktion erschliesst sich aus der bestehenden; zumindest aus dem, was davon geblieben ist – nämlich der Foundation (sie wurde mit Pfählen ergänzt) und der tragenden Fassade.

Voluminöses Raumprogramm

Die Elbphilharmonie beinhaltet den Grossen und den Kleinen Konzertsaal, einen dritten Saal, das Hotel,



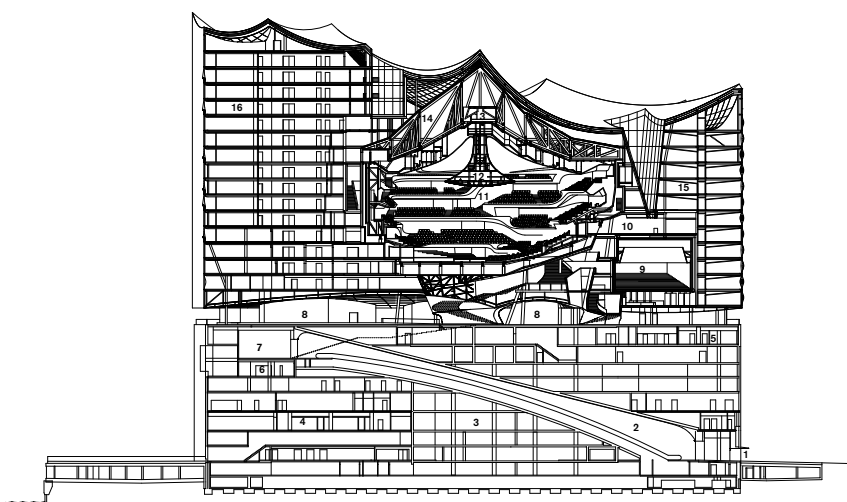


die Wohnungen, die sich teilweise über den Grossen Saal schieben, die Parkplätze, den Backstage- und den Konferenzbereich, die Gastronomie und die Wellnissanlage. Diese verschiedenen Nutzungen setzten eine durchdachte Raum- und Tragstruktur voraus, die sich einerseits gegenseitig bedingen, andererseits voneinander losgelöst sind. So erstreckt sich aus der bestehenden Foundation innerhalb des Sockels ein Stahlbetonskelett mit drei Kernen, das sich bis in die Aufstockung zieht. Lediglich einzelne hoch belastete Tragelemente in diesem Raster sind aus Stahl.

Der Grosse Saal: ein Einschluss aus Stahl

Infolge des Grossen Konzertsaals ergeben sich inmitten dieses Aufbaus Spannweiten, die die Dimensionen des Rasters sprengen. Er erstreckt sich, umgeben von den Hotelgeschossen im Osten und den Wohngeschossen im Westen, vom 11. bis hinauf ins 22. Obergeschoss. Sein ovaler Grundriss weist Hauptspannweiten von 50 bzw. 55 m auf und nimmt so teilweise rund ein Drittel einer Geschossfläche auf. Die Basler Ingenieure von Schnetzer Puskas konzipierten den Grossen Saal daher als statisch eigenständigen Bau-

Die Elbphilharmonie besteht aus dem siebenstöckigen Speichergebäude von 1963 und dem darüberliegenden 19-stöckigen, wellenartig-kristallinen Aufsatz von Herzog & de Meuron. Dazwischen, auf Höhe der Fuge zwischen Sockel und Aufbau, liegt die öffentlich zugängliche Plaza.



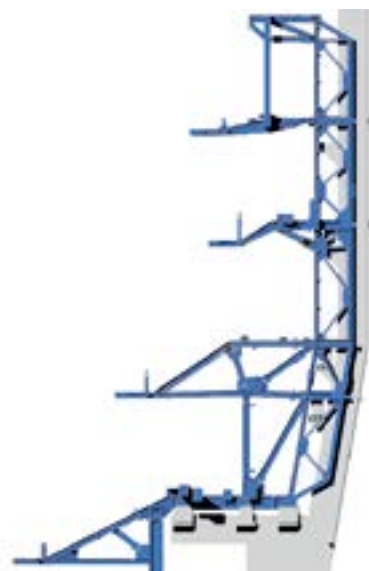
Der Grundriss der Elbphilharmonie bildet ein Trapez, das sich einem Dreieck annähert. Der Eingang für die Besucher befindet sich auf der Ostseite des Kaispeichers. V.l.n.r.: Grundriss 8. OG, Grundriss 16. OG und Schnitt; M 1 : 1250

- 1 Haupteingang
- 2 Rolltreppen
- 3 Parken
- 4 Kaistudios
- 5 Konferenzbereich

- 6 Restaurant
- 7 Aussicht
- 8 Plaza
- 9 Kleiner Saal
- 10 Foyer
- 11 Grosser Saal
- 12 Reflektor
- 13 Ansaugbauwerk
- 14 Konstruktionsraum
- 15 Hotel
- 16 Wohnen
- 17 Orgel
- 18 Lobby Hotel
- 19 Shop
- 20 Café



Baustellenbild der Aussenschale des grossen Saals als riesiger Betonkessel während des Baus 2009. Darin wird die Stahlkonstruktion der Innenschale aufgebaut – inklusive den weinbergartig abgestuften Tribünenpodesten.



Die vertikalen Stahlfachwerkträger bilden die Innenschale des Grossen Saals – hier inkl. der auskragenden Tribünen. Die Träger sitzen jeweils über sieben von insgesamt 342 Federpaketen akustisch entkoppelt auf den einzelnen Betonrippen der Aussenschale (bei jedem Auflagnocken sichtbar).



körper, der nur punktuell auf dem Raster des Haupttragwerks gestützt ist. Acht grosse Stahleinbauteile sammeln die Kräfte und geben sie an Schrägstützen ab. Diese leiten die Lasten geneigt an den Stahlbetonraster weiter. Die relativ wenigen Lagerungen des in sich stabilen Saals ermöglichen es, die Erschliessung und Teile der Plaza unter dem Saal fast stützenfrei auszubilden und das Foyer entlang dieses Körpers kaskadenartig hochzuschrauben. Nur wenige schräge Stützen durchstossen diese terrassenartige Decken- und Treppenlandschaft (Abb. S. 8 unten).

Ein Kokon aus zwei unabhängigen Schalen

Der eiförmige Saalkörper ist nicht nur aus statischen Gründen ein in sich komplexes Tragwerk. Um ihn vom Umgebungslärm der Stadt und des Hafens akustisch abzukoppeln, forderte der japanische Akustiker Yasuhisa Toyota ein Box-in-Box-System – einen Körper aus zwei unabhängigen Schalen.

Die äussere Box ist eine Stahlbetonkonstruktion, die fest mit dem Tragwerk des Gesamtgebäudes verbunden ist. Sie besteht aus einem Betonwandring und einem Boden mit aufgesetzten Rippen. Während die 20 bis 40 cm dicken Wände parallel zu den Fassaden angeordnet sind, verlaufen die 21 innenliegenden Rippen orthogonal dazu zur Saalmitte (Abb. oben). Der trapezförmige Gebäudegrundriss führt zu einer Nahtstelle in der Saalmitte bzw. auf der Winkelhalbierenden des Gebäudegrundrisses. Dort treffen sich

die Rippen und werden – ähnlich wie die Spanten und der Kiel bei einem Schiffsrumpf – mit einer Längsrippe gefasst. In den Querfassaden im Osten und Westen sind die Rippen ausgehend vom Kiel gefächert angeordnet, und wenn sie nicht ausnahmsweise direkt auf Stützen gelagert sind, hängen sie am 6 bis 10 m hohen Wandring der äusseren Betonschale, in dem die Stahleinbauteile eingelassen sind. In die Aussenschale montierte man die Innenschale mit ihrer räumlichen Stahlkonstruktion. Sie ist über 342 Federpakete auf den Betonrippen der äusseren Schale gelagert und an den Untergurten des Saaldachs aufgehängt (vgl. Abb. S. 6 und auf dieser Seite unten). So dringen weder tieffrequente Schiffsgeräusche, die unter Wasser übertragen werden, oder Lärm von der öffentlich zugänglichen Plaza in den Konzertsaal noch Musikklänge vom Konzertsaal nach aussen, etwa in die Schlafräume des Hotelbereichs.

Spitzer Hut mit Krempe

Ab den obersten Tribünen gehen die äussere Schale in das Saaldach über, das sozusagen den Deckel für die äussere Box bildet. Es besteht aus einer räumlichen Stahlfachwerkkonstruktion, die statisch im Verbund mit der darübergelegten Betonschale wirkt. Diese Konstruktion liegt auf dem Wandring auf und krägt von diesem bis zur Fassade aus. An den Auskragungsenden sind wiederum die Deckenränder der Foyergänge hochgehängt. Die 21 Stahlträger der räumlichen Konstruktion sind als ebene Fachwerkträger konzipiert und verlaufen analog zu den 21 Betonrippen der Aussenschale gefächert zum Längsträger in der Saaldachmitte (Abb. S. 8 Mitte). Durch die zuerst nur leicht und dann steiler ansteigende Querschnittsgeometrie ähnelt die Saaldachkonstruktion einem spitzen Hut mit umlaufender Krempe.

Diese Tragwerkskonzeption war anspruchsvoll und hat zu Diskussionen mit Hochtief Solutions als Generalunternehmer und mit namhaften deutschen Professoren geführt, obwohl der Prüfenieur Dr.-Ing. Rainer Grzeschkowitz die Saaldachkonstruktion geprüft und freigegeben hatte. Die Skeptiker fanden die Tragwirkung nicht vollumfänglich in den DIN-Normen abgebildet. Sie lässt sich mit einem Speichenrad vergleichen: Die annähernd radial angeordneten Stahlfachwerke (Speichen) werden durch ein Zugband (Felge) zusammengehalten. Als Zugband dienen das stehende umlaufende Stahlfachwerk und der Betonzugring in Form der Krempe des Huts. Der innere, zur Spitze aufsteigende Hutteil dient wegen seiner facettierten Geometrie einzig der Stabilisierung der auf Druck belasteten Fachwerkobergurte. Die Krempe erhält infolge der radialen Kräfte eine grosse Zugbeanspruchung und wegen des eiförmigen Saal-

grundrisses zusätzlich grosse Biegebeanspruchungen. Damit sie als Zug- und Biegeelement wirken kann, gaben die Ingenieure ihr die geometrische Form eines flachen Kegelstumpfs.

Zeltartiges Gebäudedach

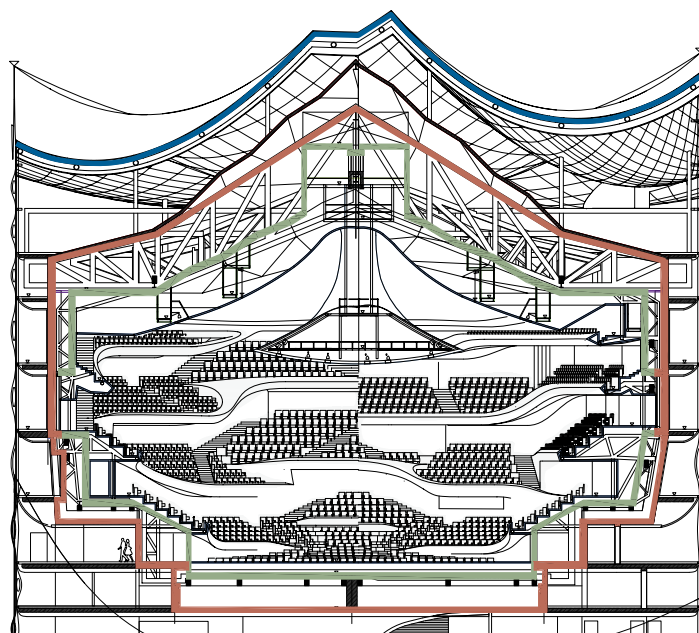
Das Saaldach steigt bis unter das zeltartig geformte Gebäudedach auf, wo es als Auflager für ebendieses funktioniert. Das Gebäudedach ist statisch weniger anspruchsvoll, geometrisch aber umso mehr. Seine Geometrie entsteht aus acht wellenförmig angeordneten Kugelteilflächen, wobei sich die Hochpunkte – bis auf die Spitze des Grossen Saals inmitten der Dachfläche – ausschliesslich an den Fassaden befinden.

Das Dachtragwerk setzt sich aus 1000 ungleichen und gekrümmten Stahlträgern mit einem aufgeschossenen Trapezblech zusammen. Die horizontalen Lasten werden über drei Erschliessungskerne abgetragen, die vertikalen Lasten zusätzlich über unregelmässig verteilte Innenstützen und regelmässig im Abstand von 4,30 bis 5,00 m angeordnete Randstützen in der Fassadenebene.

Spalt – zurückgesetzte Fassade und Stützen

Die gesamte Tragkonstruktion, die das charakteristische Bauwerk erst ermöglicht, ist heute nicht mehr sichtbar. Die Fassaden und die raumbegrenzenden Oberflächen verdecken sie. Ausgerechnet dort, wo sich die Fassade wie ein Spalt zwischen Alt und Neu öffnet und sich das Tragwerk hätte zeigen können, weicht es zurück. Dort werden die Kräfte drei Geschosse über der Plaza mittels Schrägstützen auf die zweite Stützenreihe geführt. Die darunterliegenden

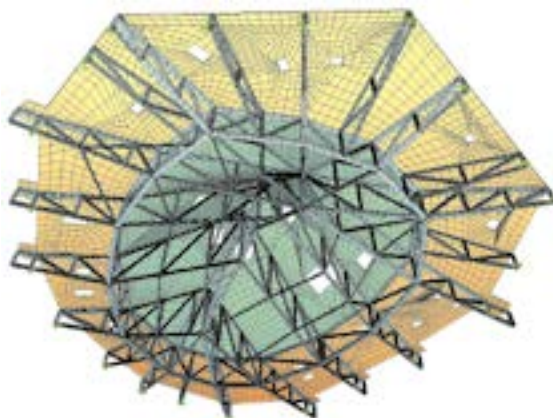
Der grosse Konzertsaal unmittelbar unter dem Gebäudedach (blau) besteht aus einem Box-in-Box-System aus zwei unabhängigen Schalen: einer Aussenschale aus einem Betonwandring mit Rippen plus einem Saaldach aus einem Stahlfachwerk (rot) und einer Innenschale aus einer seitlichen Stahlfachwerkkonstruktion plus einer über Federlager am Saaldach abgehängten Betondecke (grün).



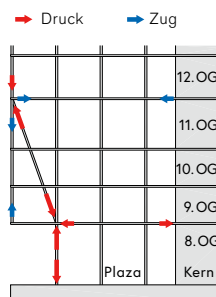
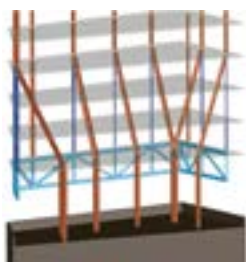


Oben: Bei den ondulierenden Glasscheiben zwischen Plaza und Terrasse bedingen sich Ästhetik und Statik: Die Wölbungen geben den Scheiben die notwendige Stabilität gegen Winddruck. Bemessungswindlasten charakteristisch:
Südfassade: $\pm 1,22 \text{ kN/m}^2$
Ostfassade: $\pm 1,54 \text{ kN/m}^2$
Nordfassade: $\pm 1,75 \text{ kN/m}^2$

Mitte: Ansicht des Saaldachs von unten – ein Hut mit umlaufender Krempe in Form eines Kegelstumpfs. Die Stahlverbundkonstruktion geht über in die geometrische Form des Gebäudedachs. Die Spitze dient diesem als zentrales Auflager.



Unten: Das Tragwerk weicht bei der Plaza zurück: Geometrie und Kraftverlauf in den Längsfassaden- und Schrägstützen (links); Geometrie des Fassadenfachwerks mit verkürzten bzw. vorgespannten Diagonalen im Abfangträger an der Westspitze (rechts).



beiden Stockwerke sind über Zugstützen aufgehängt (Abb. S. 8). An der schmalen Westseite ist diese Konzeption geometrisch nicht möglich. Daher sammelt ein über der Plaza liegendes und über die beiden Gebäudedecken umlaufendes Fachwerk die hier anfallenden Stützenlasten. Die indirekte Lagerung führt bei diesem 110 m hohen Gebäude zu grösseren lastabhängigen Verformungen. Hinzu kommen die Lasten der Fassadenelemente, die möglichst früh angeschlagen werden mussten, um bereits während des Rohbaus in den darunterliegenden Geschossen mit dem Innenausbau beginnen zu können. Die spezielle Glasfassade wurden für den Endzustand mit kleinen Deckenverformungen konzipiert. Unter den Rohbauverformungen wären die Gläser gebrochen.

Diese komplexen und limitierten Verformungen regulierten die Ingenieure während des Rohbaus: Massgebende Diagonalen des Fachwerks wurden dem Baufortschritt folgend mithilfe von hydraulischen Pressen schrittweise auf ihre definitive Länge angepasst und im Endzustand fest verschweisst. Dadurch wurden das Fachwerk schrittweise vorgespannt und die Verformungen sukzessive ausgeglichen.



Die Ansicht der Stahlkonstruktion des Grossen Saals von unten – die 21 innenliegenden Rippen verlaufen orthogonal zur Saalmitte. Diese werden von der untersten, mittig liegenden Längsrippe gefasst.

Zäsur im Meisterstück

Dieser konstruktiv ingenieure Umgang mit den Kräften zeigt, welche aussergewöhnliche Leistung die Ingenieure hier vollbracht haben. Dass die Aufstockung jetzt so selbstverständlich auf dem historischen Sockel aus Backstein steht und die Stadt mit einer unvergleichbaren Ausstrahlung überragt, ist ein planerisches und kreatives Meisterstück. Obwohl für Aussenstehende heute kaum mehr erschliessbar, lässt sich das Tragwerk im Grossen Konzertsaal immerhin noch erahnen – im Kokon und Herzstück der Aufstockung. Während der grosszügige Raum vom zentralen Podium her mit Klängen der Musizierenden gefüllt wird, vermutet wohl die eine oder der andere, welche Kräfte hier wirken müssen, welche tragende Rolle unter anderem der unmittelbar unter den Sitzen montierte Stahlbau spielt. Denn trotz der immensen Dimension und Respekt einflössenden Belastungen macht die Stahlkonstruktion die Aufstockung schliesslich doch zum Leichtbau – eine grundsätzliche Voraussetzung, um die Mehrlasten auf diesen Bestand zu bringen.

Ort Hamburg (D)

Bauherrschaft Freie und Hansestadt Hamburg (D)

Generalplanung ARGE Generalplaner Elbphilharmonie (Herzog & de Meuron, Basel; Höhler + Partner Architekten und Ingenieure, Aachen)

Architektur ARGE Planung Elbphilharmonie (Herzog & de Meuron, Basel; H + P Planungsgesellschaft, Aachen; Hochtief Solutions, Essen)

Tragwerkskonzept Schnetzer Puskas International, Basel

Genehmigungsplanung Tragwerk Schnetzer Puskas International, Basel; Subplaner: Rohwer Ingenieure, Handewitt

Ausführungsplanung Tragwerk Hochtief Solutions, Essen; Subplaner: Spannverbund, Berlin (Unternehmervorschlag Gebäudedach, Ausführungsplanung Stahlbau Saaldach, Stahlbau Innensaal und Reflektor)

Prüfingenieur WK Consult, Dr.-Ing. Rainer Grzeschkowitz, Hamburg

Tragwerksplanung Backsteinfassade Jäger Ingenieure, Radebeul

Elektroplanung ARGE Generalplaner Elbphilharmonie (Winter Ingenieure, Hamburg; General Contractor Adamanta – Hochtief Solutions); Hochtief Solutions, Essen

HLKKS-Planung Knott & Partner Ingenieure, Berlin; Müller + Partner, Braunschweig; C.A.T.S. Computer and Technology Service, Darmstadt; ARGE Generalplaner Elbphilharmonie (Winter Ingenieure, Hamburg; General Contractor Adamanta – Hochtief Solutions); Hochtief Solutions, Essen

Signaletik Herzog & de Meuron, Basel, mit Integral Ruedi Baur, Zürich; Hochtief Solutions, Essen

Bauphysik MF Dr. Flohrer Beratende Ingenieure, Berlin; Taubert und Ruhe, Halstenbek; Jäger Ingenieure, Radebeul; TU Dresden, Dresden; GWT, Dresden; ARGE Generalplaner Elbphilharmonie, Hamburg; General Contractor Adamanta – Hochtief Consult, Essen; Hochtief Solutions, Essen

Akustik Nagata Acoustics, Yasuhisa Toyota, Los Angeles und Tokio

Akustikpaneele, Planung One to One, Benjamin Koren, Frankfurt und New York

Akustikpaneele, Fertigung Peuckert, Mehring

Stahlbau-Unternehmung Spannverbund Gesellschaft für Verbundträger mbH, Berlin; Haslinger Stahlbau GmbH, Feldkirchen (A)

Konstruktionsart Hochbau (Stahl und Beton), im Speziellen: Grosser Saal Innenschale: Stahlfachwerkkonstruktion

Stahlsorten S235J0/S355J2

BGF 125 512 m²

Abmessungen Länge: 125 m, Breite: 85 m, Höhe 110 m

Volumen 475 873 m³

Nutzung Konzerthallen, Öffentlicher Raum, Parking, Restaurants, Hotel, Wohnungen

Bauzeit 2007–2017

Fertigstellung Januar 2017