

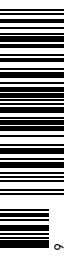
Werk, bauen + wohnen

Elbphilharmonie

Hamburgs neues Wahrzeichen

Leuchtturm und #Selphie an der Elbe
Woher die Kräfte kommen und wo sie hingehen
Symbol und soziale Praxis, ein Spaziergang
und: Frankreich mit Bruther und Parent

6—2017



CHF 27,- / EUR 23,- 4 195552 023006

Schweben als Kraftakt

Zum statischen System der Elbphilharmonie

Das Bild eines schwerelos schwebenden Glaskörpers verzauberte die Hamburger im Handumdrehen. Seine Realisation erwies sich als eine Aufgabe, welche die Grenzen des bautechnisch Möglichen auslotete.

Daniel Kurz

Dieser Text stützt sich auf die Ausführungen von Dr. Heinrich Schnetzer, Teilhaber und Mitglied der Geschäftsleitung von Schnetzer Puskas Ingenieure, an seinem Vortrag vom 17.11.2017 in der Schweizer Baumuster-Centrale Zürich sowie einem anschliessenden persönlichen Gespräch.

Anfangs schienen die Voraussetzungen ideal, geradezu einfach: Das innere Betonskelett des 1966 erbauten Kaispeichers, einst für schwere Lasten von Kaffee und Kakao erbaut, verfügte mit 2 bis 3 Tonnen Tragkraft über enorme statische Reserven. Hinzu kam, dass die über tausend Ramppfähle des Speichers den sandigen Untergrund im Zusammenspiel mit dem Schlickeintrag des Tidenhubs so sehr verdichtet hatten, dass sich die Tragkraft um weitere vierzig Prozent erhöht hatte. Einer Aufstockung im Hochhausformat stand eigentlich nichts im Weg.

Suggestierte Schwerelosigkeit

Die Herausforderungen ergaben sich aus den Randbedingungen des Projekts – und aus den stetig wachsenden Anforderungen des Programms: mit dem grossen und kleinen Konzertsaal, der offenen Plaza, je einem Hochhaus für Hotel und Privatwohnungen, einem Parkhaus und vielen anderen Nutzungen im Speicher. Vom Speicher selbst blieben schliesslich nur die (um einige Meter erhöhten) Aussenwände: In das Innere mussten drei neue, tragende Kerne mit Fluchttreppen und Fahrstühlen eingebaut werden, das Stützenraster war zu eng für die Parkierung, dazu kam die grosse Spirale der Parkhausrampe. Vom ursprünglichen Skelett blieb schliesslich nichts übrig; der Speicher wurde ausgehöhlt und – soweit möglich – ohne Störung der bestehenden Pfähle über einer Verteilplatte neu aufgebaut.

Von Anfang an war die geschosshohe Fuge zwischen dem mit Backstein verkleideten Speicher und seinem gläsernen Aufbau ein Dreh- und Angelpunkt der Architektur – und eine Herausforderung für die Statik: Um den Einschnitt im Bereich der Fassade frei von Stützen zu halten, werden die Lasten über der Plaza abgefangen und über Schrägstützen in das Innere des Gebäudes übertragen; die beiden darunter liegenden Geschosse sind am oberen aufgehängt.

Kiel und Spanten: Der grosse Saal

An der Westspitze, wo der Platz für die Schrägstützen fehlt, sammelt ein umlaufendes Fachwerk die Stützenlasten ein. Die Verformungskräfte im Baufortschritt – immerhin entstanden darüber 15 Geschosse mit Wohnungen – wurden während der Bauzeit mittels hydraulischen Pressen im Fachwerk aufgefangen, welche die Diagonalen stufenweise verkürzten. Sonst wäre die bereits montierte Glasfassade unter dem wachsenden Druck zersprungen.

Und damit sind wir beim Kern der Herausforderung: Wie lässt sich der kolossale und stützenfreie Leere des Saals im Aufbau realisieren? Während die Skelettbauten von Hotel und Wohngeschossen das Stützenraster des Unterbaus problemlos fortsetzen, weist der Saal Spannweiten von bis zu 55 Metern auf – mehr als das Zehnfache des Stützenrasters. Er ist daher als statisch eigenständiger Baukörper konzipiert, der auf nur wenigen Punkten aufliegt: Nur acht scheinbar zufällig verteilte schräge Stützen tragen den Saal – und damit je bis zu 2700 Tonnen Last.

Möglich wird diese geradezu filigrane, scheinbar schwebende Abstützung des Saalvolumens durch eine Rippenkonstruktion, die – ähnlich wie die Spanten eines Bootes – von einem liegenden Kiel ausgehend die Aussenwände bildet. Diese Betonrippen münden in ihrem oberen Teil in einen massiven Wandring von sechs bis zehn Metern Höhe, der das ganze Volumen zusammenhält. Rippen und Wandring bilden die äussere Schale, den äusseren «Topf», wie der Statiker sagt. Nur einzelne Rippen müssen abgestützt werden, die übrigen sind am Ring aufgehängt – so wird das Schweben des Saals möglich, und so kann man neben dem Saal durch die Foyers zu den Eingängen emporsteigen.

Hut und Krempe: das Saaldach

Schon früh war mit Yasuhisa Toyota ein weltweit führender Akustiker für die Elbphilharmonie verpflichtet worden. Er verlangte für den Konzertsaal eine doppelte Raumhülle mit akustischer Trennung: So wird sichergestellt, dass die niederfrequenten Vibrationen der Schiffsdiesel des Hafens im Saal unhörbar bleiben. Deshalb liegt der innere «Topf», ein ausbetoniertes Stahlfachwerk, das auch die auskragenden Zuschauertribünen trägt, mittels 342 vorgespannter Federpakete auf der äusseren Schale auf. Eine besondere Herausforderung lag darin, die Federpakete im Werk auf die erwartete Traglast und die angestrebte Schwingungsfrequenz von 4.5 Hertz vorzudrücken, sodass sie im Belastungszustand ihre Funktion genau wahrnehmen. Gleichzeitig galt es zu vermeiden, dass die Bewegung der Konzertbesucher auf den Saaltribünen etwa bei *Standing Ovation*s eine Eigenschwingung auslöst, die zu Schwindelgefühlen führen könnte.

Am Wandring des äusseren Topfs hängen nicht nur die Rippen, die den Saal tragen, auf ihm ruht auch das weit auskragende Saaldach, das von aussen unsichtbar unter dem äusseren Dach des Gebäudes

verborgen bleibt. Das Saaldach gleicht einem breitkrepigen Strohhut. Es besteht aus einer Stahlfachwerkkonstruktion, die im Verbund mit der darübergelegten Betonschale wirkt. Die Fachwerkträger treffen wie die Speichen eines Rads in der Spitze des Saaldachs zusammen; ihre Geometrie entspricht genau jener der Beton- und Stahlrippen der inneren und äusseren Saalwand. Die Träger des Dachs kragen jedoch weit über den Saal aus. Die breite Hutkrempe aus Beton hält zusammen mit dem stehenden Fachwerk darunter als Zugring das Ganze zusammen: Hut und Krempe wirken miteinander wie Speichen und Felge eines Rades. Dank ihrer Form eines flachen Kegelstumpfs hält die Krempe den starken Zug- und Biegebeanspruchungen Stand.

Als wäre die ganze Konstruktion nicht schon anspruchsvoll genug, hat das Dach auch die gesamte Gebäudetechnik des Saals zu stemmen: In der Visualisierung erinnern die grossformatigen Lüftungskanäle an die Innereien eines grossen Tieres. Da auch hier höchste akustische Anforderungen zum Tragen kommen, sind diese Kanäle zwecks Schalldämmung mit Blei ummantelt – ihr Gewicht ist enorm. Dass die Technik auf dem Dach angeordnet wurde, befreit Plaza und Konzertfoyers von grösseren Kanälen; zudem war auch im voll genutzten Speicher kaum mehr Raum für diese Anlagen zu finden. So trägt das Saaldach die Last der Technik mit, zudem den auf Federn gelagerten inneren Saaldeckel, den grossen Reflektor, mit seiner Spitze die äussere Dachhaut und mit seinen auskragenden Rändern die darunter liegenden Decken der Konzertfoyers.

Absenkung ohne Erfolgsgarantie

Es liessen sich kaum anspruchsvollere Anforderungen denken, zumal sich diese auch auf die statische Beanspruchung des Saalbaues selbst unmittelbar auswirken. Ganz am Rand sei angefügt, dass sich die komplexe Geometrie dieses Dachhutes nur mit grösstem Aufwand und ebensolcher Findigkeit überhaupt berechnen lässt. Die rechnerische Auflösung in ein Netz von finiten Elementen öffnete den Weg zur nicht-linearen Berechnung des Ganzen, wobei rein rechnerisch der Stahl in Fliesszustand gerät und im Beton Risse auftreten, die zu berücksichtigen waren.

Im Herbst 2011 stoppte die Totalunternehmerin Hochtief den Bau wegen «Gefahr für Leib und Leben» und drohte mit Vertragsauflösung: In dem langdauernden Streit, der die Fertigstellung des

Werks infrage stellte, ging es um die Konstruktion des Saaldachs, genauer um die spektakuläre Art, dessen Lasten durch Absenkung umzuverteilen. Die Pfahlgründung des Kaispeichers weist an beiden Längsseiten Unregelmässigkeiten und damit Schwächen auf. Dies hatte zur Folge, dass die Last des Saalbaus von den Längs- auf die Schmalseiten des Gebäudes umzulenken waren. Um dies zu erreichen, schlugen die Ingenieure von Schnetzer Puskas vor, die Auflagerpunkte der Stahlfachwerke entlang der Längsseiten in erhöhter Lage zu bauen. Nach der Fertigstellung der Stahlkonstruktion und der Betonschale konnte das Dach mittels hydraulischer Pressen in die Endlage abgesenkt werden – die dabei entstehenden Zugkräfte lenken die Lasten auf die schmalen Stirnseiten um.

An den Grenzen des Machbaren

Hochtief und zahlreiche Gutachter sahen in diesem Vorgehen, das an die Grenzen des Kalkulierbaren rührt und von keiner DIN-Norm mehr gestützt wird, ein nicht zu verantwortendes Risiko. Nur dank dem Gutachten des verantwortlichen Prüfingenieurs und dem Vertrauen der Bauherrschaft konnte schliesslich so verfahren werden.

Die Absenkung hat funktioniert, und auch die vielen hundert Federpakete erfüllen präzise ihre Funktion, ebenso wie die zahllosen, komplex geformten Stahlteile von teilweise enormen Ausmassen, die in scheinbarem Wirrwarr Dach und Hülle des Konzertsaaes tragen. Die Bilder von der Baustelle vermitteln eine Ahnung von der Komplexität eines Tragwerks, dessen Planung bei Schnetzer Puskas ein eigenes Hamburger Büro mit 15 Mitarbeitenden über Jahre beschäftigt hat. Es ist wie im Zirkus: was leicht und mühelos wirkt, ist oftmals die Frucht jahrelanger Übung, äusserster Präzision und schweisstreibender Arbeit. Wer heute die organischen Raumsequenzen der Elbphilharmonie durchwandert, bekommt nichts mit von den enormen Kräften, die sich an diesem Bau gegenseitig in Balance halten und von den gewaltigen Bauteilen aus Stahl und Beton, die diese Kräfte umlenken und kontrollieren. Noch weniger aber von der gedanklichen und rechnerischen Arbeit auf höchstem Niveau, die hier an den Grenzen des Machbaren gefordert war. —

Résumé

L'apesanteur comme tour de force

Sur le système statique de la Philharmonie de l'Elbe

Par son vaste programme d'utilisation et ses exigences architecturales, la surélévation de l'ancien entrepôt du quai avec sa salle de concert constitue un projet qui repousse les limites de l'art des ingénieurs. Il a fallu complètement excaver l'entrepôt et le renforcer avec trois noyaux porteurs. La jointure libre de tout pilier et haute d'un étage au-dessus de l'entrepôt, qui donne cette image flottante à la structure en verre, a nécessité de dévier les forces vers l'intérieur du bâtiment. La salle de concert, conçue avec deux enveloppes pour des raisons acoustiques, plane sur peu de piliers. La construction en nervures de l'enveloppe externe, retenue par un haut anneau de parois, s'appuie sur ces piliers et porte le treillis d'acier de l'enveloppe interne. 342 jeux de ressorts garantissent l'isolation phonique. Le toit de la salle en vaste saillie, qui doit porter des charges élevées, n'était pas seulement difficile à calculer du fait de sa géométrie, mais, en occasionnant une redistribution des charges, son abaissement parut tellement risqué à l'entreprise générale que celle-ci décida de suspendre provisoirement la construction en 2011.

Summary

Lightness as a Feat of Strength

On the structural system of the Elbphilharmonie

The wide range of different functions to be accommodated and the demands of the architecture made placing a new concert hall on top of the Kaispeicher warehouse — a project that explored the limits of the art of engineering. The warehouse had to be fully gutted and then strengthened by adding three load-bearing circulation cores. The column-free (seen from outside), storey-high “joint” made directly above the old warehouse, which makes the glass building above appear to hover, required that the forces be directed into the interior of the building. The concert hall, which for acoustic reasons consists of two shells, floats on just a few columns. The ribbed construction of the outer shell, which is held together by a tall ring wall, sits on these columns and carries the steel frame of the inner shell. Acoustic insulation is provided by 342 spring assemblies. The widely projecting roof to the hall, which must carry heavy loads, was difficult to calculate, not just on account of its geometry.