

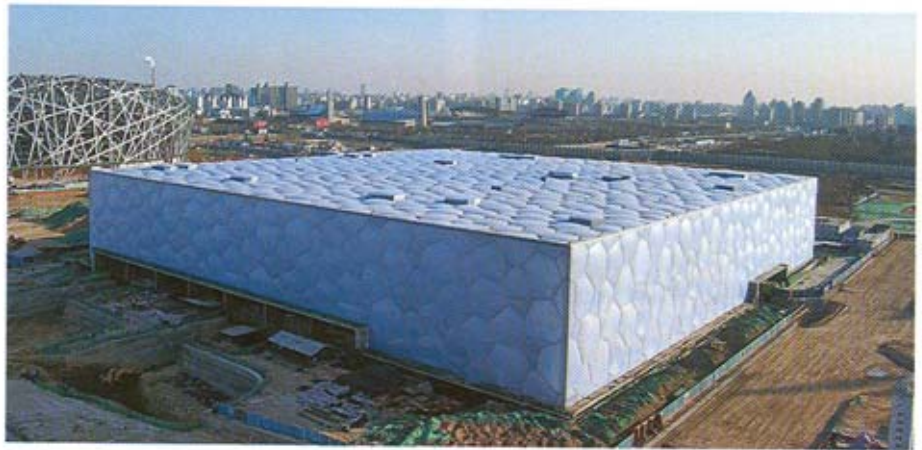
## »Watercube« – Nationales Schwimmzentrum in Peking

### »Watercube« – National Swimming Centre in Beijing

Planungsteam:

PTW Architects, Sydney,  
John Bilton, Mark Butler, Chris Bosse  
CSCEC+design, Peking  
Zhao Xiaojun, Wang Min, Shang Hong  
ARUP

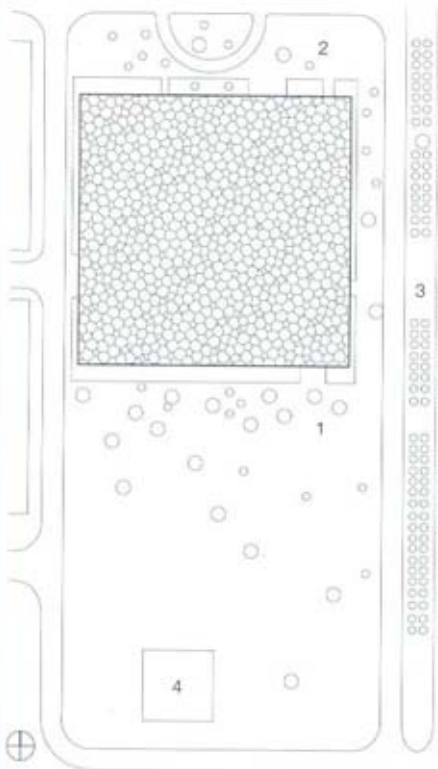
Tristram Carfrae (Projektleiter Engineering)  
weitere Projektbeteiligte S. 1559



*This shimmering blue cube – the venue for the Olympic swimming events in Beijing in 2008 – has a side length of 177 m and a height of 31 m above street level. Linking the leitmotif of water with the square (the traditional and mythological form of the Chinese house), the cube will enter into a dialogue with the red oval National Stadium by Herzog & de Meuron situated opposite. The lightweight construction reflects the geometric structure of water in a foam-like state. Water flows from the plinth into a peripheral moat in which the rear-lighted, bubble-like cube is reflected, doubling its height. The two-layer ETFE construction of the skin is also used to divide the 80,000 m<sup>2</sup> area into three rectangular functional zones.*

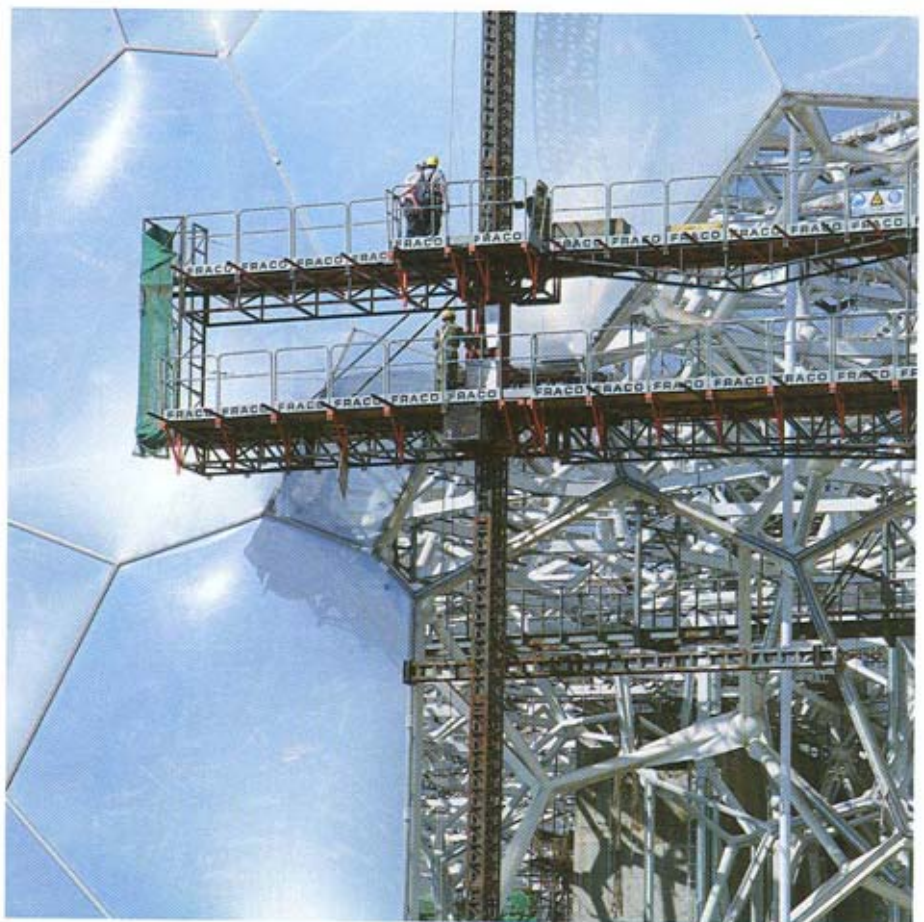
Das nationale Schwimmzentrum, Austragungsort der Schwimmwettkämpfe bei den Olympischen Spielen in Peking 2008, liegt gemeinsam mit anderen Sportstätten am Olympic Boulevard, der die Mittelachse der Verbotenen Stadt verlängert. Nicht nur durch seine prominente Lage gegenüber dem Nationalstadion »Birdnest« von Herzog & de Meuron wird der »Watercube« bezeichnete Baukörper – mit einer Seitenlänge von 177 m und einer Höhe von 31 m über dem Straßenniveau – eine der baulichen Hauptattraktionen Pekings werden. Im Dialog mit dem roten, ovalen Nationalstadion zeigt der bläulich schimmernde Kubus die Polarität und gegenseitige Ergänzung von

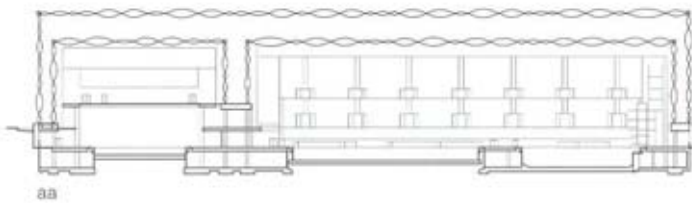
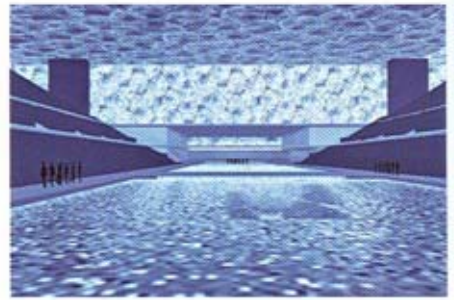
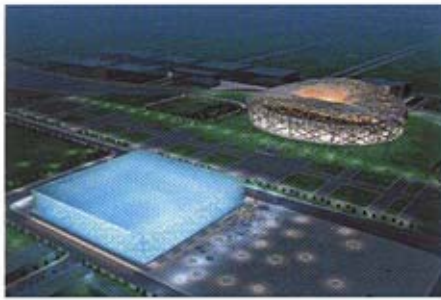
Ying und Yang. Er verbindet Wasser als strukturelles und thematisches Leitmotiv mit dem Quadrat, der Urform des Hauses in der chinesischen Tradition und Mythologie. Seine Leichtbaukonstruktion ist aus der geometrischen Struktur von Wasser im Aggregatzustand Schaum abgeleitet. Ringsum fließt Wasser aus dem Sockel in einen umlaufenden Graben, in dem sich der blau hinterleuchtete Schaumwürfel in doppelter Höhe spiegelt. Die zweischalige ETFE-Hülle wird auch von den Innenräumen aus erlebbar und unterteilt als Trennwand die 80.000 m<sup>2</sup> des Kubus in drei rechteckige Funktionsbereiche. Das Publikum ist über Galerieebenen von den Sportlern getrennt.



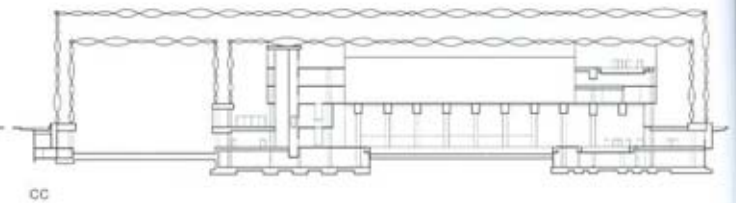
Lageplan  
Mastab 1:5000  
1 Haupteingang  
2 Sportlerzugang  
3 Olympic Boulevard  
4 Tempel (Bestand)

Site plan  
scale 1:5000  
1 Main entrance  
2 Athletes' entrance  
3 Olympic Boulevard  
4 Existing temple

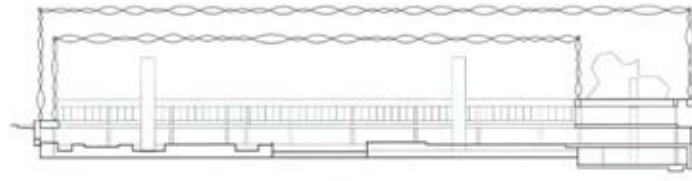




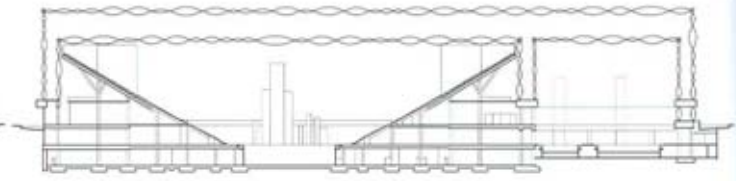
aa



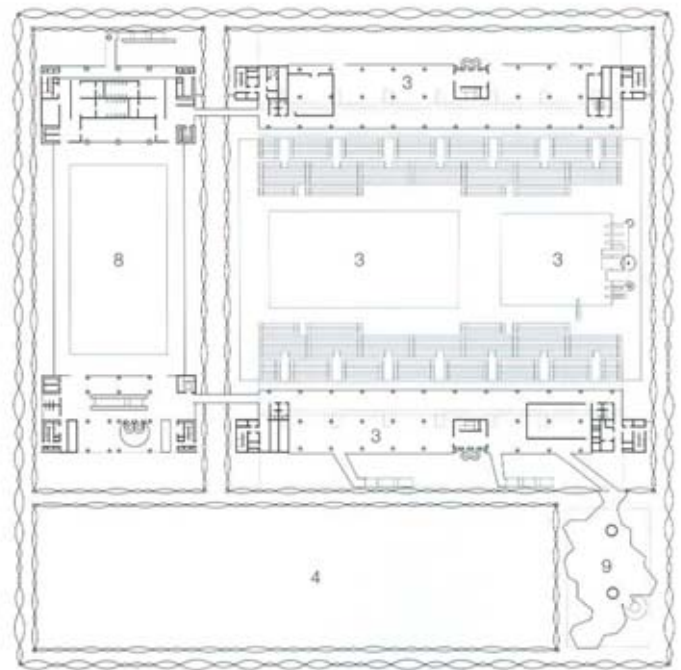
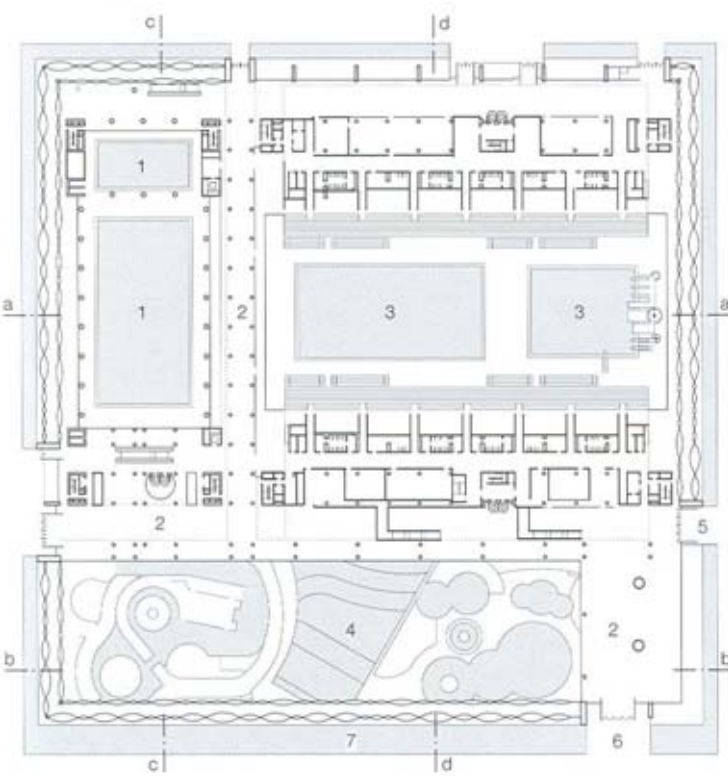
cc



bb



dd



Sch  
Olym  
stad  
W  
bis  
  
Sec  
Olym  
Nati  
Com  
6,00

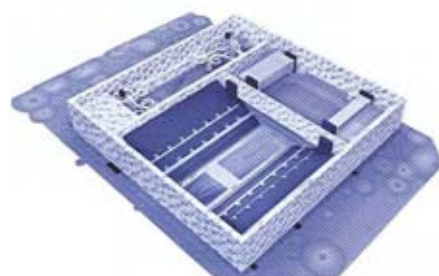
For  
Als  
ein  
Tra  
ein  
une  
kon  
aus  
fer  
tra  
da  
de  
ter  
Be  
op  
ge

 DETAILtopics: Animation + weitere Fotos:  
www.detail.de/0007

Schnitte • Grundrisse Maßstab 1:2000  
Olympic Boulevard mit »Watercube« und National-  
stadion »Birdnest«  
Wettkampfbecken 6000 Zuschauer (Nachnutzung)  
bis 17 000 Zuschauer (Olympiade)

Sections • Layout plans scale 1:2000  
Olympic Boulevard with »Watercube« and »Birds' Nest«  
National Stadium  
Competition pool: up to 17,000 spectators (Olympics);  
6,000 spectators subsequently

- |  |   |
|--|---|
| 1 Luftraum<br>Aufwärmbecken,<br>Wasserpolo | 1 Void over training<br>pool,<br>water polo |
| 2 Galerie Publikum                         | 2 Public concourse                          |
| 3 Luftraum<br>Wettkampfbecken              | 3 Void over Olympic<br>pool                 |
| 4 Luftraum<br>Freizeitbad                  | 4 Void over recreational<br>pool            |
| 5 Eingang Achse zum<br>»Birdnest«          | 5 Entrance axis to<br>»Birds' Nest«         |
| 6 Haupteingang                             | 6 Main entrance                             |
| 7 Wassergraben                             | 7 Moat                                      |
| 8 Eisauffläche                             | 8 Ice-skating rink                          |
| 9 Bar, Restaurant                          | 9 Bar, Restaurant                           |



*Formfindung und Geometrie*

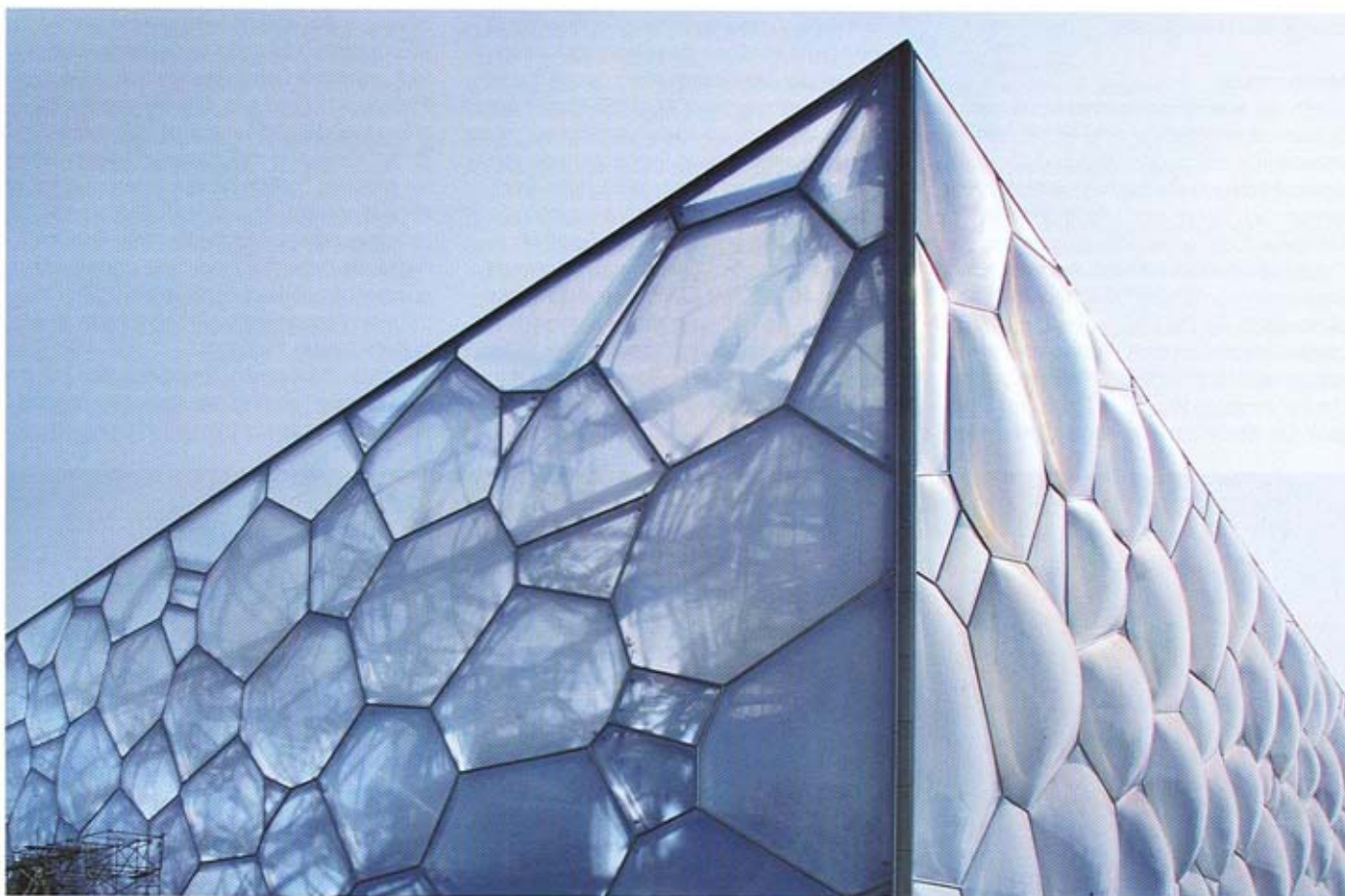
Als allegorische Interpretation der Funktion eines Aquatic Centers soll das Gebäude die Transformation einer natürlichen Struktur in eine kulturelle Struktur vermitteln. Schaum und Korallen sind die Referenzbilder, als konkrete Anregung diente Frei Ottos Idee aus den 60er-Jahren, die Effizienz von Seifenblasenstrukturen auf Tragwerke zu übertragen (Abb. 1a–c). So ist die Seifenblase das eigentliche digitale Detail des Entwurfs, der genetische Algorithmus, der im Computer wächst.

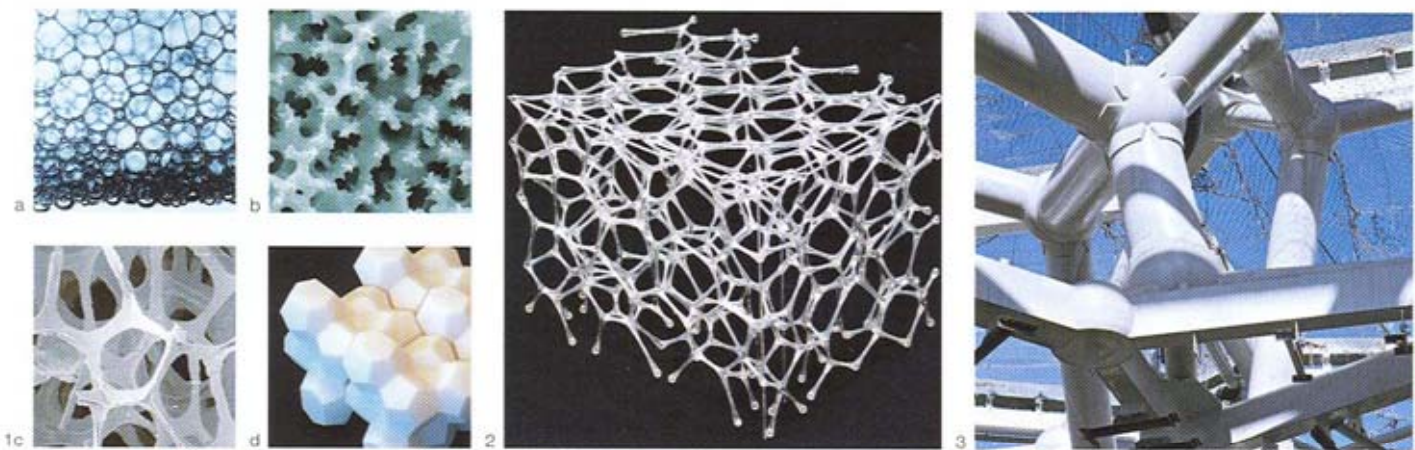
Bereits 1887 erarbeitete Lord Kelvin eine optimale Seifenblasenstruktur aus 14-seitigen Polyedern, bestehend aus sechs Qua-

draten und acht regelmäßigen Sechsecken der gleichen Seitenlänge. Das Prinzip einer Struktur aus Körpern mit einer minimalen Oberfläche ohne Zwischenräume wurde 1993 von den irischen Physikern Dennis Weaire und Robert Phelan nochmals um 0,3% optimiert durch die Verwendung zweier unterschiedlicher fünf- bzw. fünf- und sechseckiger Polyeder (Abb. 1d). Auf der Basis dieser so genannten Weaire-Phelan-Struktur, die in der Natur z.B. bei Kristallen auftritt, entwickelte Arup am Computer durch Rotation und mehrere Schnittoperationen die Struktur für den Watercube (Abb. 7, 8). Das 3-D-Modell war für alle am Bau Beteiligten die verbindliche Vorgabe.

*Stahlbau*

Die dreidimensionale Struktur verbindet Tragwerk, Fassade und Raumbegrenzung zu einem Element. Es entsteht eine sehr effiziente Konstruktion, die auf Erdbeben hin berechnet ist und mit ca. 30% weniger Stahlverbrauch als Konstruktionen mit Stützen und Trägern auskommt. Das orthotrope Tragwerk erreicht Spannweiten von über 100 m, was eine Höhe von 7,20 m für die Dachkonstruktion erforderlich macht. Aufwändige, am Computer optimierte Knotendetails, die exakt dem Kraftverlauf folgen, machen dort Sinn, wo Arbeitskräfte teuer sind. Beim Watercube hätte das zigtausend unterschiedliche Stahlstäbe Knoten





bedeutet, da im Bezug auf Länge und Belastung kaum ein Stab dem anderen gleicht. Die pragmatische Lösung im Billiglöhland China bestand darin, Standardrohre zu verwenden mit dem jeweils statisch erforderlichen Querschnitt und diese von Hand zusammenschweißen bei einer entsprechend großen Anzahl an Schweißern. Die exakte räumliche Lage jedes einzelnen Stahlrohrs wurde vor dem Verschweißen vor Ort mit GPS-Geräten entsprechend dem 3-D-Modell eingemessen. Im Fassadenzwischenraum wurden Rundrohre und kugelförmige Knoten verwendet, an den Kanten Rechteckrohre zur einfacheren Montage der Membranen. Nach sechs Monaten waren die ca. 20000 unterschiedlichen Stahlstäbe und 12000 unterschiedlichen Knoten verschweißt.

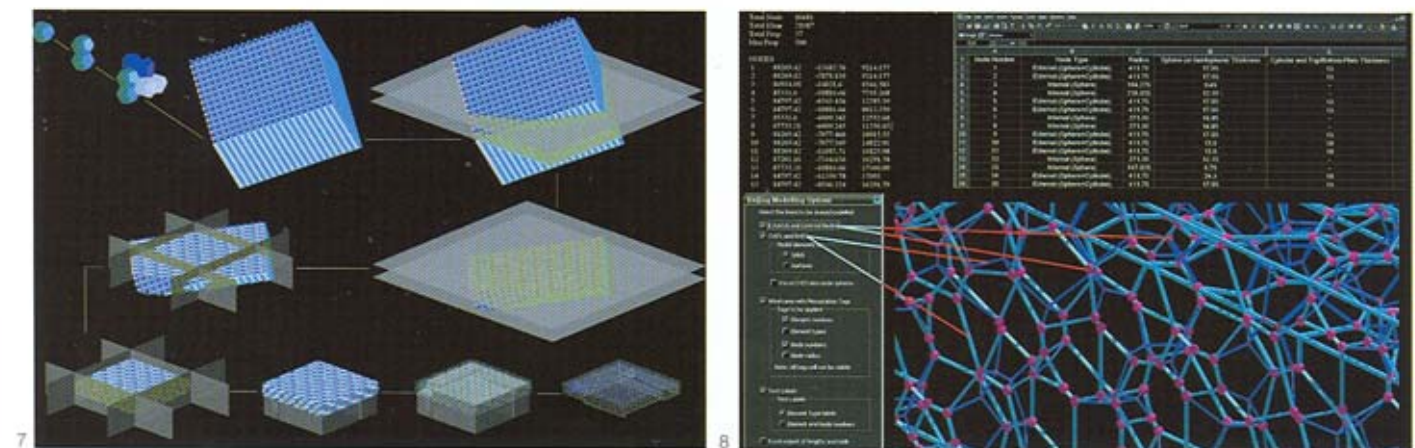
**Membranhülle**

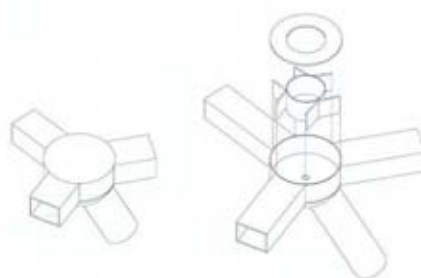
Durch das warmfeuchte Innenklima der Schwimmbereiche war eine Gebäudehülle erforderlich, die die Konstruktion vor Korrosion schützt und als thermische Pufferzone wirksam ist. Daher sind Wand und Dach als Membran-Doppelfassade ausgebildet. Das Gebäude ist vollklimatisiert, auf Wunsch der Bauherren wurde eine Querlüftung im Sockelbereich als Option vorgesehen. Prinzipiell unterscheidet sich die Membranhülle in horizontal und in vertikal gelagerte Pneus. Die horizontalen Pneus an Dach und Decke sind, um den Wärmedurchgang zu minimie-

ren, aus vier Membranlagen aufgebaut, mit drei Luftkammern dazwischen. Die Kissen der äußeren und inneren vertikalen Fassade sind aus drei Folien mit zwei Kammern konzipiert. In jeder dieser Kammern kann der Innendruck über einen eigenen Luftschlauch individuell gesteuert werden. Um dem Gebäude auch an trüben Tagen den bläulichen Schimmer von Wasser zu verleihen, ist die äußerste Membran der vertikalen Fassade transluzent blau eingefärbt. Alle übrigen Folien sind neutral transparent. Die zum Fassadenzwischenraum orientierten Folien sind mit einem silbernen Punktraster bedruckt, das von außen und von den Publikumsbereichen der Innenräume aus kaum sichtbar ist. Der Bedruckungsgrad variiert je nach erforderlichem Sonnenschutz von 10 bis 65 %. An den Gebäudekanten scheint die Stahlkonstruktion deutlich durch. Nahezu alle der ca. 3000 ETFE-Kissen sind unterschiedlich. Sie variieren nicht nur in der Größe zwischen 2 und 9 m, sondern auch in der Wölbung und Anzahl der Ecken. Der Einsatz unterschiedlicher Materialstärken von 80 bis 250 µm richtet sich nach der jeweiligen statischen Erfordernis. Insgesamt wurden 100000 m² ETFE-Folie verarbeitet. Durch die Optimierung der Ansichtsbreite der Fugen von ursprünglich 30 cm auf 11 cm durch die ausführende Firma entsteht angesichts des großen Maßstabs eine äußerst filigrane Hülle.

Chris Bosse

*As an allegorical interpretation of the function of an aquatic centre, the building is meant to communicate the transformation of a natural structure into a cultural one. While foam and corals were the main images used here, Frei Otto's idea (dating from the 1960s) of exploiting the efficiency of soap-bubble structures provided a more concrete point of reference (ill. 1a-c). The bubble thus becomes the main digital feature of the design: the genetic algorithm that is developed in the computer. As early as 1887, Lord Kelvin elaborated the concept of an optimum soap-bubble structure consisting of 14-sided polyhedra, comprising six squares and eight equilateral hexagons. In 1993, the principle of a structure made up of three-dimensional forms with a minimum surface area and with no intermediate spaces was optimized by a further 0.3 per cent by the Irish physicists Dennis Weaire and Robert Phelan, who used two different pentagonal, or pentagonal and hexagonal, polyhedra (ill. 1d). Based on this so-called "Weaire-Phelan structure", which occurs in nature in the form of crystals, Arup developed the constructional system for the Watercube in the computer through a process of rotation and a number of cutting operations (ills. 7, 8). The 3D model became the binding form for everyone involved in the project. The three-dimensional structure unites the load-bearing function, the facade and spatial enclosure in a single element, creating an*

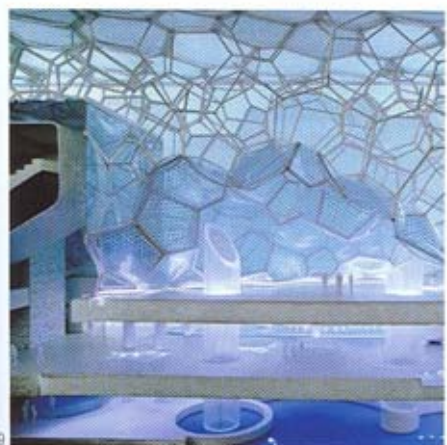




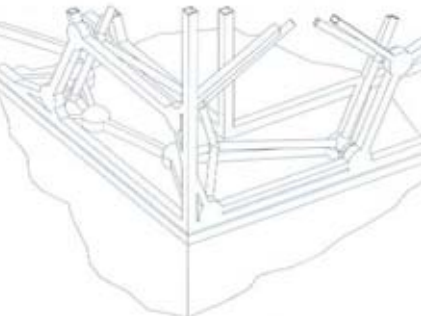
extremely efficient form of construction that can withstand earthquakes and that requires roughly 30 per cent less steel than a column-and-beam system. The orthotropic load-bearing structure can span a distance of more than 100 m, which requires a height of 7.20 m for the roof construction. In a land of cheap labour like China, a computer optimization of all the node details for the many different loading situations in the Watercube was not necessary. The pragmatic solution was to use standard steel tubes with the requisite cross-sections and to weld these together by hand. The precise spatial alignment of each tube was determined on site prior to welding, using GPS equipment in accordance with the 3D model. In the cavity between the facade layers, tubes and spherical nodes were used, while at the edges, rectangular hollow sections allowed a simpler assembly of the membranes. After six months, the welding of the roughly 20,000 different steel members and 12,000 different nodes was complete. The humid indoor climate in the swimming areas required a building skin that would protect the structure from corrosion and that would act as a thermal buffer. The walls and the roof were, therefore, both designed with a double-skin construction. The building is fully air conditioned, with optional cross-ventilation foreseen in the plinth zone. The membrane skin consists of distinct horizontal and vertical pneumatic elements. To minimize thermal

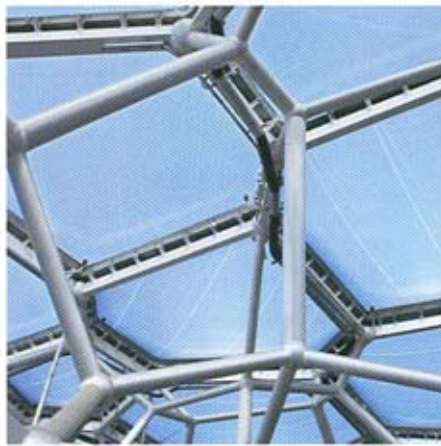
transmission, the horizontal roof and soffit elements consist of four membrane layers with three intermediate air spaces. The cushions that form the external and internal facade consist of three layers with two intermediate layers of air. The air pressure in each of these spaces can be regulated by means of individual air tubes. To lend the building the bluish shimmer of water even on dull days, the outermost facade layer was given a translucent coloration. All other areas of the membrane are neutrally transparent. The skins facing on to the facade intermediate space bear a printed grid of silver dots that is scarcely visible from the outside or from the internal public spaces. The intensity of the grid varies from 10 to 65 per cent, depending on the degree of solar screening required. At the corners of the building, the steel structure is clearly visible within. There are roughly 3,000 ETFE cushions, and nearly all of them are different, not only in their size (between two and nine metres), but in their degree of curvature and the number of angles. The use of material of different thicknesses (80–250 µm) also reflects specific load-bearing needs. In all, some 100,000 m<sup>2</sup> of ETFE sheeting were used. In view of the large scale of the building, the optimization of the visible width of the joints by the company executing the work (from 30 cm originally to 11 cm) helped to create a finely articulated outer skin.

- 1 a Schaum aus Wasser  
b Korallen  
c Polymerschaum  
d Weaire-Phelan-Struktur
- 2 Modell generiert aus 3-D-Datenmodell  
Stereolithographie mit Nylonpulver
- 3 Untersicht Dachkonstruktion:  
Rechteckprofile am oberen und unteren Rand,  
Rundrohre und Kugelnknoten im Zwischenraum
- 4 Aufsicht Dachkonstruktion  
vor Montage der Entwässerungsrinnen
- 5 Mock-Up-Doppelfassade Maßstab 1:2
- 6 Explosionszeichnung Dachknoten
- 7 Generierung der Gebäudestruktur aufbauend auf  
Polyedern nach Weaire-Phelan
- 8 Tragwerksstruktur Fassade:  
hellblau: Rechteckrohre am Rand  
dunkelblau: Rundrohre im Zwischenraum
- 9 Modellfoto, Bar
- 10 Schwimmhalle mit Publikumsгалerien (Baustelle)
- 11 Axonometrie Sockel Gebäudeecke

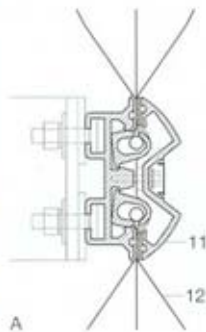


- 1 a Water foam  
b Corals  
c Polymer foam  
d Weaire-Phelan structure
- 2 Model generated from 3D data model:  
stereolithography with nylon powder
- 3 View of roof structure from below:  
RHSs at top and bottom edge;  
tubular members and spherical nodes in facade  
intermediate space
- 4 View of roof structure from above prior to assembly  
of drainage gutters
- 5 Mock-up of two-layer facade scale 1:2
- 6 Exploded drawing of roof node
- 7 Generating the building structure based on  
polyhedra in accordance with Weaire-Phelan
- 8 Load-bearing facade structure: RHS edge beams  
(pale blue); tubular sections (dark blue)
- 9 Model of bar scale 1:100
- 10 Swimming hall with spectators' stands
- 11 Axonometric of plinth at corner of building

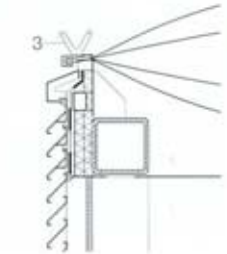




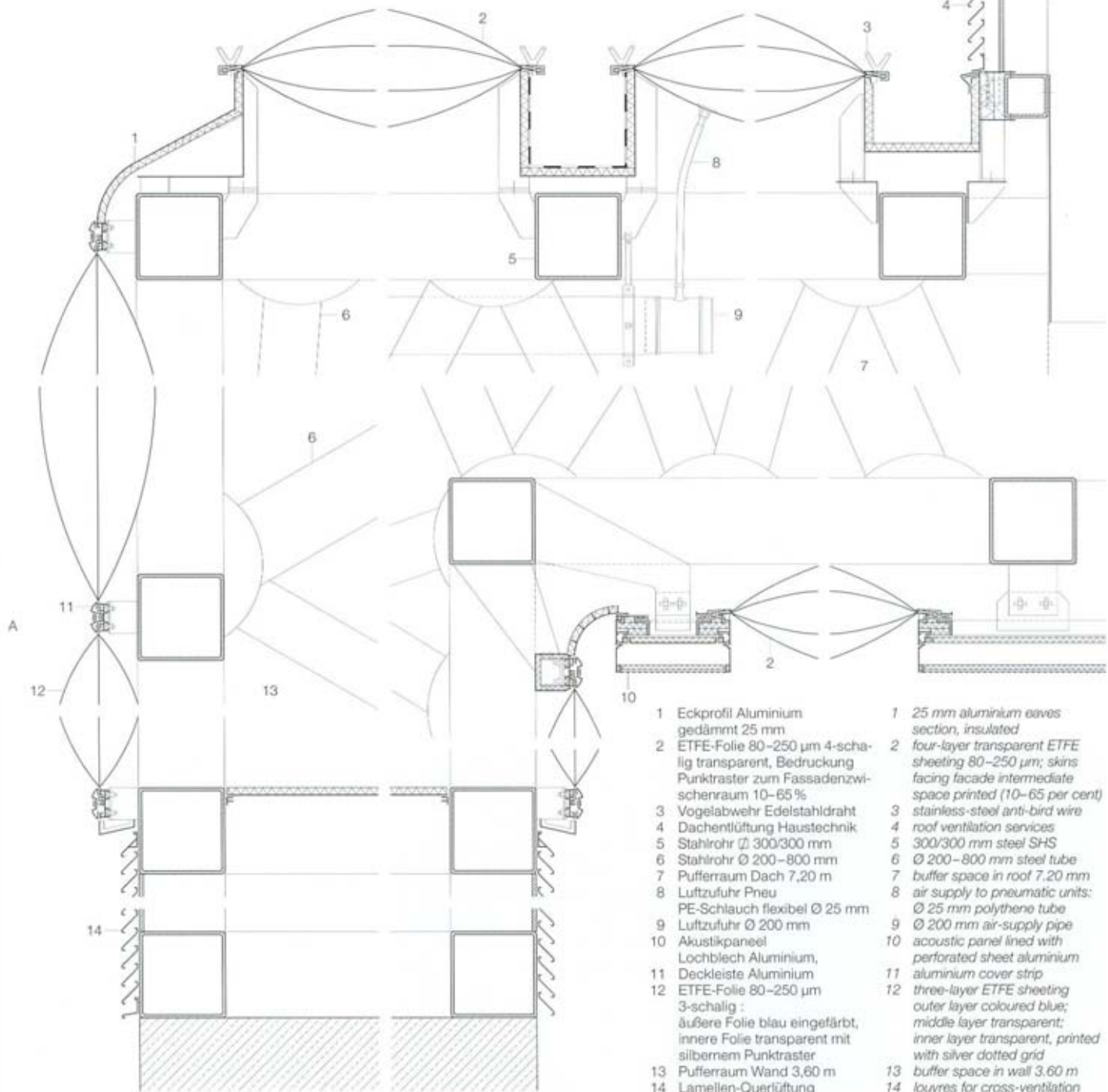
Schnitt Maßstab 1:20  
Detail Maßstab 1:5  
Section scale 1:20  
Details scale 1:5



A



4



- |  |  |
|--|--|
| 1 Eckprofil Aluminium gedämmt 25 mm  | 1 25 mm aluminium eaves section, insulated   |
| 2 ETFE-Folie 80–250 µm 4-schichtig transparent, Bedruckung Punktraster zum Fassadenzwischenraum 10–65%                 | 2 four-layer transparent ETFE sheeting 80–250 µm; skins facing facade intermediate space printed (10–65 per cent)                          |
| 3 Vogelabwehr Edelstahl draht  | 3 stainless-steel anti-bird wire   |
| 4 Dachentlüftung Haustechnik   | 4 roof ventilation services  |
| 5 Stahlrohr Ø 300/300 mm   | 5 300/300 mm steel SHS   |
| 6 Stahlrohr Ø 200–800 mm   | 6 Ø 200–800 mm steel tube  |
| 7 Pufferraum Dach 7,20 m   | 7 buffer space in roof 7.20 m  |
| 8 Luftzufuhr Pneu PE-Schlauch flexibel Ø 25 mm   | 8 air supply to pneumatic units: Ø 25 mm polythene tube  |
| 9 Luftzufuhr Ø 200 mm  | 9 Ø 200 mm air-supply pipe   |
| 10 Akustikpaneel Lochblech Aluminium   | 10 acoustic panel lined with perforated sheet aluminium  |
| 11 Deckleiste Aluminium  | 11 aluminium cover strip   |
| 12 ETFE-Folie 80–250 µm 3-schichtig : äußere Folie blau eingefärbt, innere Folie transparent mit silbernem Punktraster | 12 three-layer ETFE sheeting outer layer coloured blue; middle layer transparent; inner layer transparent, printed with silver dotted grid |
| 13 Pufferraum Wand 3,60 m  | 13 buffer space in wall 3.60 m   |
| 14 Lamellen-Querlüftung  | 14 louvres for cross-ventilation   |

