



Nationales Schwimmzentrum in Peking

WATERCUBE

- 1_PROJEKTVERFASSER
- 2_ARCHITEKTUR
- 3_FORMERZEUGUNG
- 4_FERTIGUNGSSTRATEGIEN
- 5_GESAMTFORM - EINZELTEILE
- 6_QUELLENANGABE

PTW ARCHITECTS

Um Olympiabauten realisieren zu können, erfordert das komplexe Reglement des Internationalen Olympischen Komitees IOC ein spezielles Fachwissen und umfassende Vorkenntnisse. So können auch die Projektverfassenden des nationalen Schwimmzentrums, die australischen Architekten Peddle, Thorp and Walker (PTW), auf einschlägige Erfahrung mit der Realisierung von Sportstätten zurückblicken. 1994 errichteten sie in Sydney das International Aquatic and Athletic Centre, für die Olympide in Athen 2004 fungierten sie als Berater und entwickelten im Vorfeld Machbarkeitssudien für die Stadien. Das 1989 gegründete Büro hat Niederlassungen an den Standorten Sydney, Peking, Hanoi, Shanghai, Ho Chi Minh und Abu Dhabi und beschäftigt derzeit über 150 Mitarbeitende.

CHRIS BOSSE

Chris Bosse wurde 1971 in Stuttgart geboren und studierte in Köln, Stuttgart und in der Schweiz. Er arbeitete in verschiedenen europäischen Architekturbüros und entwickelte unter anderem den Bubble-Highrise für Berlin. Im Jahr 2003 stiess er zu PTW Architects in Sydney. Er stieg zu jenem Zeitpunkt dort ein, als man mit den Arbeiten für den Wettbewerb des nationalen Schwimmzentrums für die Olym-

piade in Peking begann. Chris Bosse, der sich intensiv mit Frei Ottos Forschungen zu Seifenblasen befasst hatte, war wesentlich an der Entwicklung der Struktur des Watercubes beteiligt.

Im Jahr 2007 gründetet er gemeinsam mit Tobias Wallisser, einem Architekten des renommierten Architekturbüros UN-Studio das Unternehmen LAVA (Laboratory for Visionary Architecture) und hat Gastprofessuren an verschiedenen Universitäten.



Abb. 01: Chris Bosse

ARUP GROUP

Als Partner im Bereich Ingeneering stand dem Team um Chris Bosse die weltweit tätige Arup Group zur Seite. Das 1946 in London gegründete Unternehmen unterhält Niederlassungen in 37 Ländern und beschäftigt rund 10'000 Mitarbeitende. Arup ist somit eines der führenden Unternehmen im Bereich des Ingenieurbaus und war an unzähligen Grossprojekten beteiligt. So beispielsweise bei der Realisierung des Sydney Opera Houses oder dem Swiss Re Tower in London. Als Partner von Herzog & de Meuron konnten sie bereits bei der Allianz-Arena Erfahrungen mit der ETFE-Membran sammeln und unterstützten sie auch bei der Realisierung des Olympiastadions in Peking.

SITUATION

Das nationale Schwimmzentrum befindet sich auf dem Olympic Green im Norden der chinesischen Metropole Peking. Für das Areal erarbeitete das amerikanische Architekturbüro Sasaki im Jahr 2002 einen Masterplan, welcher Bezug nimmt auf die verbotene Stadt von 1420.

ARCHITEKTONISCHES KONZEPT

Der Watercube, welcher sich in unmittelbarer Nachbarschaft zu dem von Herzog & de Meuron entworfenen Nationalstadion befindet, hat die Form eines Kubus mit 177,7 m Seitenlänge und einer Höhe von 31 m. Die Geschossfläche von insgesamt 80'000 m² ist auf zwei Niveaus angeordnet. Der Innenraum ist in drei rechteckige

Funktionsbereiche gegliedert, welche gut aus dem Grundriss ablesbar sind. Das Raumprogramm umfasst ein Wettkampfbecken, eine Sprungturmanlage, ein Aufwärmbecken sowie eine Eislauffläche und ein Freizeitbad inklusive aller notwendiger Nebenräumen und Erschließungsflächen.

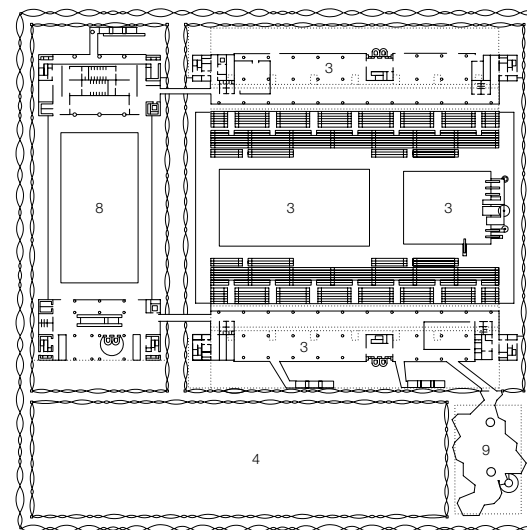


Abb. 03: Grundriss Niveau 1

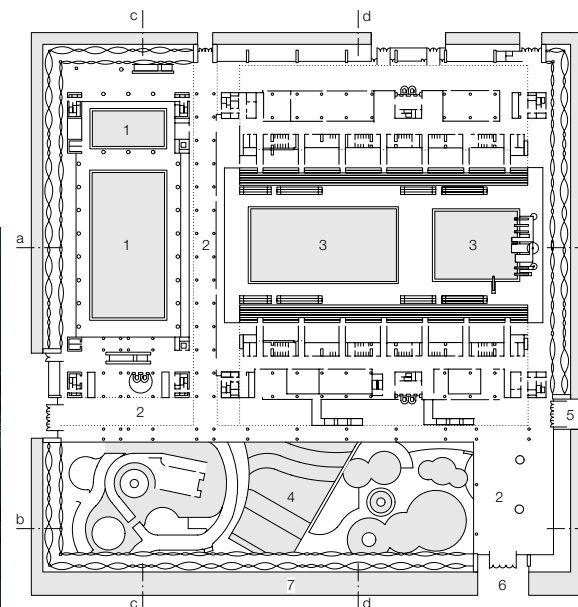


Abb. 04: Grundriss Niveau 0

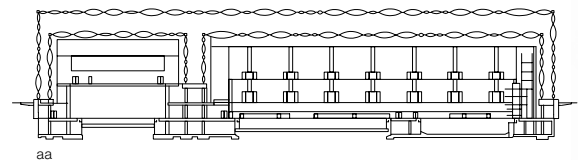
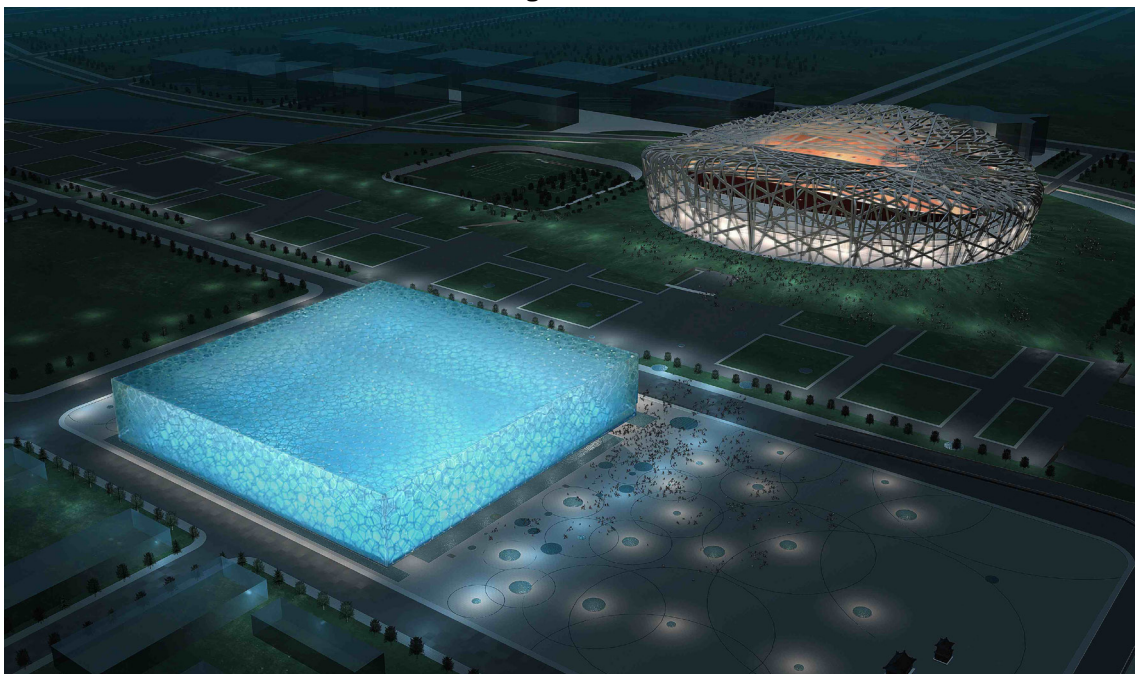


Abb. 05: Schnitt A-A

Abb. 02: Visualisierung
Watercube mit Nationalstadion



METHODEN ZUR FORMERZEUGUNG

Schon früh haben sich Wissenschaftler mit der Entschlüsselung und Rekonstruktion der Schaumstruktur befasst. Diese eher zufällig scheinende Struktur trifft man in der Natur oft an, so beispielsweise bei Korallen und in Zellen. Chemisch lässt sich Schaum gut nachvollziehen: Tenside sind Stoffe, welche bei der Vermengung von H_2O und O_2 entstehen. Sie werden auf der einen Seite vom Wasser angezogen, gleichzeitig aber auch abgestossen und bilden die Wände des Schaums.

Bereits um 1887 hat Lord Kelvin versucht, die optimale Seifenblasenstruktur zu imitieren. Dies gelang ihm mit einem aus 14 Seiten bestehenden abgestumpften Oktaeder, mit sechs Quadraten und acht regelmässigen Sechsecken.

Dieses Prinzip einer Struktur, die aus Körpern mit demselben Volumen und einer minimalen Oberfläche ohne Zwischenräume besteht, hat die beiden irischen Physiker Dennis Weaire und Robert Phelan so lange beschäftigt, bis sie im Jahr 1993 eine Optimierung des Modells von Lord Kelvin um 0.3% erreichen konnten. Dies erreichten sie, indem der abgestumpfte Oktaeder durch zwei Zellen ersetzt wurde: zwei Polyeder gleichen Volumens. Die Weaire-Phelan-Struktur setzt sich aus einem unregelmässigen Dodekaeder, welcher aus unregelmässigen Fünfecken

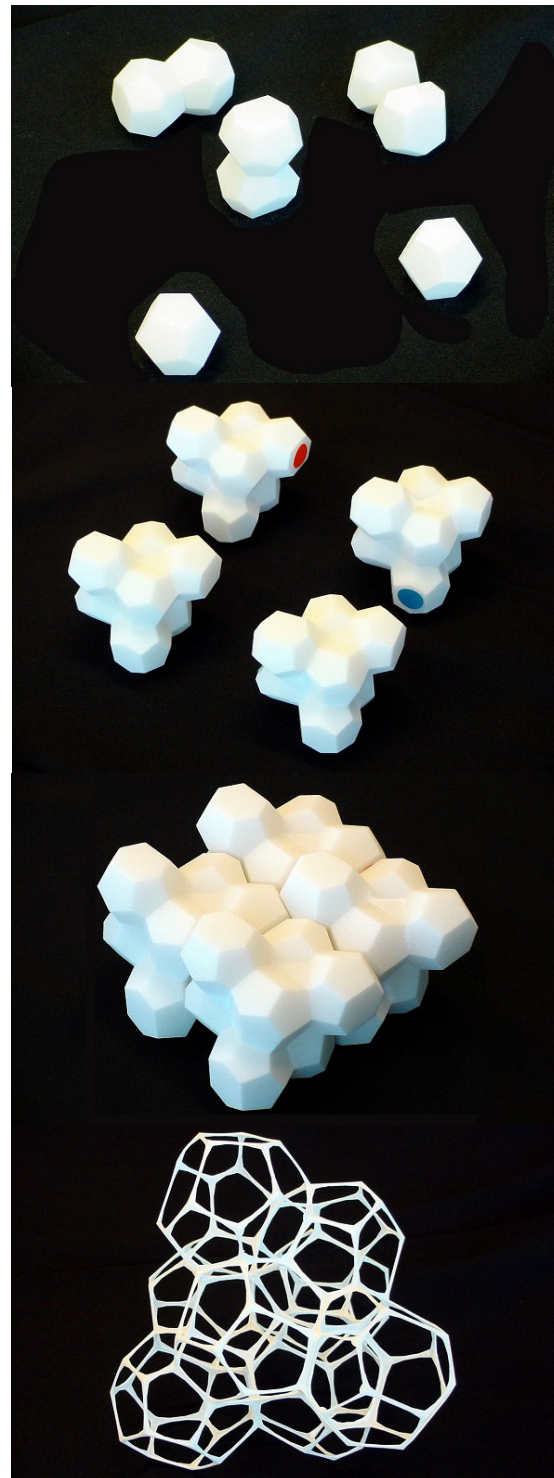


Abb. 06: Modelle der Weaire-Phelan-Struktur

und einem Tetraikadekaeder (zwei Sechsecke und zwölf Fünfecke) besteht, zusammen.

In einem aufwändigen mathematischen Optimierungsprozess auf Grundlage dieser Weaire-Phelan-Struktur, entwickelten die Ingenieure von Arup durch Rotationen, Spiegelungen und Schnittoperationen die Struktur für den Watercube. Es scheint, als ob diese Struktur endlos vervielfacht, und der Kubus aus ihr ausgestanzt wurde. Aus diesem Grund lässt sich am unregelmässigen Fassadenbild kaum eine repetitive Struktur vermuten, im Innern bleibt diese durch das Raumfachwerk aber sichtbar. Das Wasser im Aggregatzustand Schaum ist das Leitmotiv der Schwimmhalle. Ihre quadratische Form leitet sich von der chinesische Tradition und Mythologie ab, in der das Quadrat die Urform des Hauses darstellt.

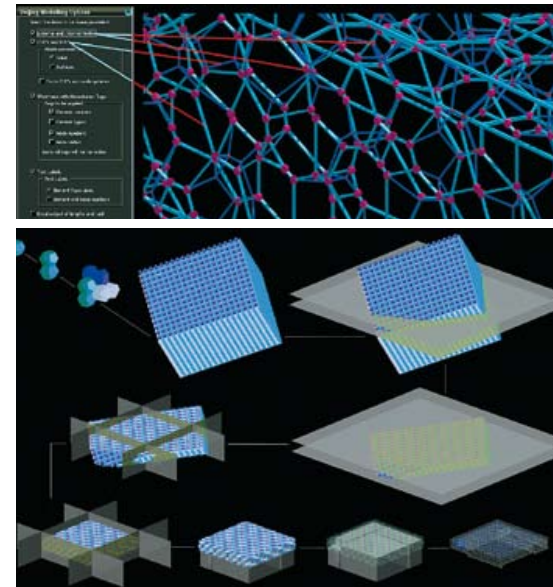


Abb. 07 + 08: digitale 3D-Modelle

STAHLBAU

Das dreidimensionale Raumfachwerk beinhaltet Tragwerk, Fassade und Raumbegrenzung. Die Fassade hat eine Tiefe von 3.6 m und das Fachwerk auf dem Dach misst 7.2 m, dies ermöglicht eine Spannweite der Dachkonstruktion von über 100 m. Es ist den Ingenieuren gelungen, mit der Weire-Phelan-Struktur eine effiziente Konstruktion zu entwickeln, welche erdbebensicher ist und rund 30% weniger Stahl benötigt, als eine konventionelle Konstruktion mit Stützen und Trägern. Die Konsequenz dieser Ersparnis waren circa 20'000 unterschiedliche Stahlstäbe und 12'000 individuelle Knoten-Verbindungen. Wäre der Bau in Europa oder den USA gebaut worden, hätten die Knotendetails und die genauen Dimensionen und Formen der Stahlstäbe wohl detailliert berechnet



Abb. 10: Raumfachwerk im Bau

werden müssen. Eine Vereinfachung der Struktur zugunsten einer seriellen Produktion des Stahls wäre die logische Folge gewesen. Im Billiglohnland China aber, entschied man sich für die Verwendung von Standardrohren mit dem jeweils statisch erforderlichen Querschnitt, welche vor Ort geschweisst und mit Hilfe von GPS -Geräten, entsprechend dem 3D-Modell, eingemessen wurden. An der Fassade wurden Rechteckrohre verwendet, was die Montage der Folien vereinfachte, im Zwischenraum wurden Rundrohre mit kugelförmigen Knoten verbaut.

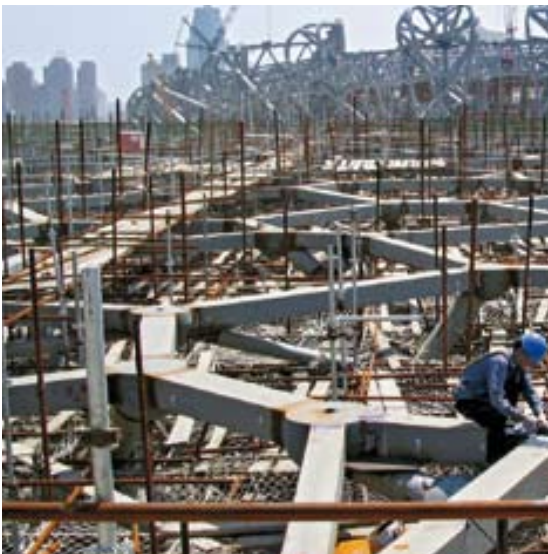


Abb. 09: Dachkonstruktion im Bau

MEMBRANHÜLLE

Die Fassade und das Dach des Watercubes bestehen aus pneumatisch vorge-spannten ETFE-Folienkissen. Das Prinzip der Folie ist dasselbe wie bei der Allianz Arena in München. Die Innovation bei der Schwimmhalle ist, dass durch Überlagerung und Mehrschichtigkeit der Folien eine räumliche Wirkung von innen und aussen erreicht wurde, so dass man den Eindruck erhält, sich in diesem Schaum zu befinden.

Durch das feuchte und warme Klima in der Halle muss die Stahlkonstruktion vor Korrosion geschützt werden. Die Folien umschliessen die Konstruktion mit ihrer 3.6 m resp. 7.2 m dicken Doppelfassade. Im Zwischenraum des Raumfachwerks ist die Effektbeleuchtung, die Durchluftzuleitung für die Kissen und die Haustechnik



Abb. 11: Elemente der Doppelfassade

untergebracht, zudem ist der Zwischenraum der Doppelfassade auch eine thermische Pufferzone. Die Membran ist an Wänden und Dach unterschiedlich aufgebaut. Die horizontalen Pneus an Decken und Dach bestehen aus vier Folienlagen mit drei Luftschichten, um den Wärmedruchgang zu minimieren. Die Sonnenwärme wird an dem Ort gespeichert, an dem sie am effektivsten genutzt werden kann: im Bereich des Pools. Der Beton und das Wasser nehmen die Energie tagsüber auf und geben sie in der Nacht wieder ab. Die Kissen der inneren und äusseren Fassade bestehen aus drei Folien mit zwei Luftschichten. In jeder Kammer kann der Luftdruck beliebig eingestellt werden, durch die Veränderung des Drucks innerhalb der drei- und vierlagigen Folienkissen können der Licht und Wärmehaushalt gesteuert, die Lichtqualität und -menge



Abb. 12: Montage der Fassadenelemente

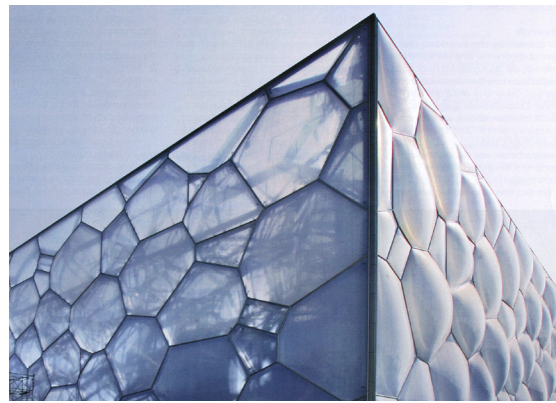


Abb. 13: Fassade

angepasst werden.

Die äusseren ETFE-Folien der Fassade sind transluzent blau eingefärbt, die innen liegenden Folien sind neutral transparent, Die innen liegenden Folien an der Decke weisen ein Punktraster auf, welches dem Sonnenschutz dient. Die Vielzahl an unterschiedlichen ETFE-Kissen ist enorm, insgesamt wurden rund 3'000 Kissen verbaut, welche in ihrer Grösse, in ihrer Wölbung und in der Anzahl Ecken variieren. Materialstärken zwischen 80 und 200 μm richten sich je nach statischer Belastung. Sämtliche Fugen an der Fassade sind 11cm breit, wofür extra ein neues Montagesystem entwickelt wurde, da die Hersteller eine Fugenbreite von 30 cm vorsehen. Durch diese relativ schmalen Fugen wirkt die Fassade denn auch sehr filigran.

BESONDERE HERAUSFORDERUNGEN

Wir sind der Meinung, dass die genaue Platzierung der vor Ort geschweissten Stahlstäbe die grösste Herausforderung darstellte, da man diese mit einem GPS-Gerät entsprechend dem 3D-Modell platzieren musste. Nicht Pläne sondern das 3D-Modell war für sämtliche am Bau beteiligten Arbeiter die verbindliche Vorgabe. Eine weitere Schwierigkeit war bestimmt auch die enorme Anzahl unterschiedlicher Stahlstäbe, welche einzeln angepasst und verbaut werden musste. Zudem mussten die rund 12'000 verschiedenen Knotenverbindungen der Stahlstäbe individuell auf ihre statische Funktion angepasst werden.

So ist der Bau schliesslich trotz Einsatz modernster digitaler Technologien ein nicht in der selben Weise reproduzierbares Unikat.



Abb. 14: Modell

FERTIGUNGSSTRATEGIE IM ENTWURF

Wir gehen davon aus, dass die Fertigungsstrategie bereits im Entwurf unterschwellig angedacht war. Es erscheint uns nicht zufällig, dass solch komplexe Strukturen in Europa oder den USA äusserst selten anzutreffen sind, in Peking mit dem Watercube und dem Nationalstadion aber gleich zwei solcher Bauten realisiert wurden. Da liegt der Verdacht nahe, dass sich die Projektverfasser bald schon darüber im Klaren waren, dass sich in Peking ein Bau realisieren lässt, der an vielen anderen Orten schlicht zu kostspielig wäre.

ZUSAMMENHANG ZWISCHEN GESAMTFORM UND EINZELTEIL

Die Gesamtform wird durch Vervielfältigung der einzelnen Polyedern der Weaire-Phelan-Struktur gebildet. So wird die natürliche Schaumbildung nachgestellt. Aus dieser unendlich erweiterbaren Struktur wurde die kubische Aussenform des Baus ausgestanzt, was die unregelmässige Erscheinung des Fassadenbildes durch die geschnittenen Polyeder erklärt. Dasselbe Prinzip wurde für die rechteckigen Innenräume angewandt, auch sie wurden nach dem Subtraktionsprinzip aus der Gesamtform entnommen. So mag es durchaus überraschen, dass die scheinbar zufällige Form auf nur zwei geometrische Formen zurückzuführen ist.

REGELN

Als Regel zur Erzeugung der Gesamtform lässt sich folgendes feststellen: Als einzige Elemente werden die beiden bereits erläuterten Polyeder verwendet. Diese werden durch Rotation und Spiegelung vervielfacht und generieren die komplexe Schaumstruktur, welche keine Zwischenräume aufweist und über eine minimale Oberfläche verfügt.

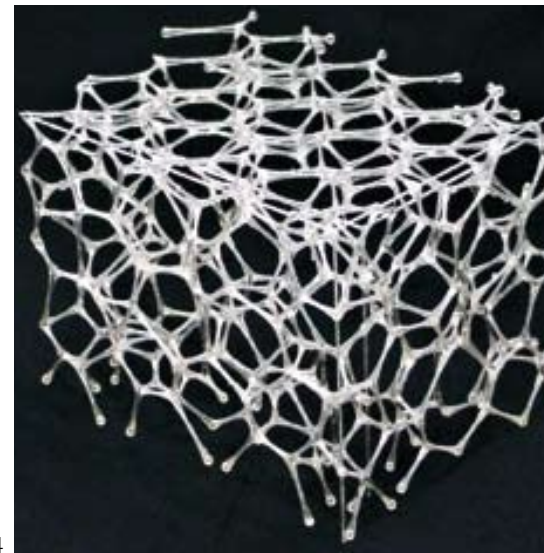
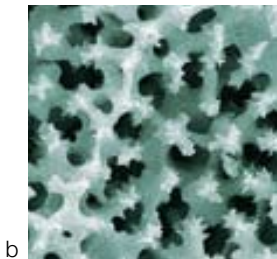
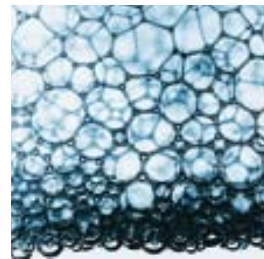


Abb. 15: Strukturmodelle

LITERATUR

- Zeitschrift Werk, Bau + Wohnen, Heft 07-08, 2008, Seiten 15 - 21
- Zeitschrift Detail, Heft 12, 2007, Seiten 1469 - 1475
- Zeitschrift archithese, Heft 4, 2008, Seiten 32 - 37
- Watercube The Book, Ethel Baraona Pohl, 2008

INTERNET

- <http://www.water-cube.com>, 04.10.2010
- <http://www.ptw>, 18.10.2010
- <http://www.arup>, 18.10.2010
- <http://www.chrisbosse.de>, 16.10.2010
- <http://www.water-cube.com>, 04.10.2010