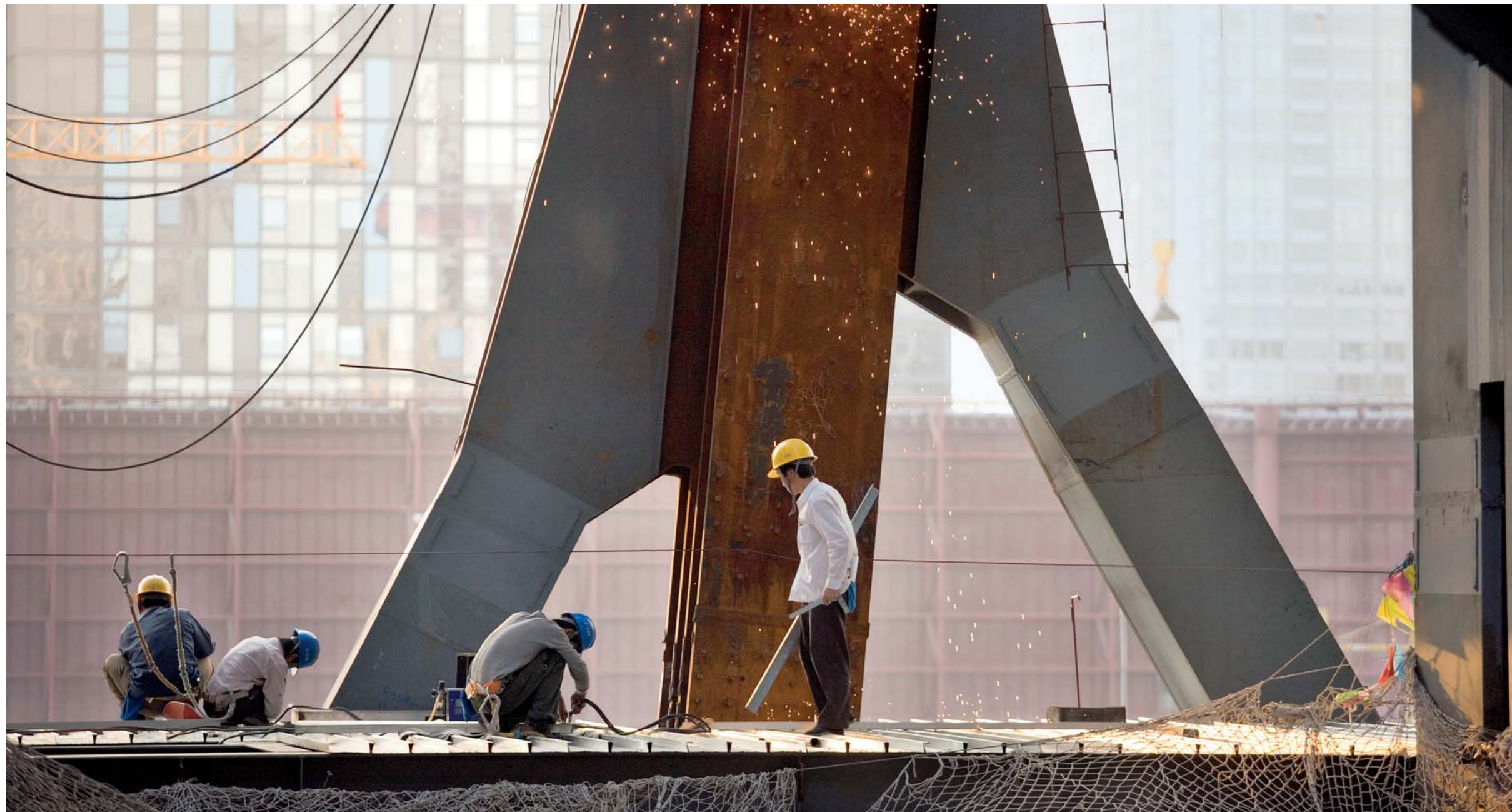


## Die Röhre als Tragwerk

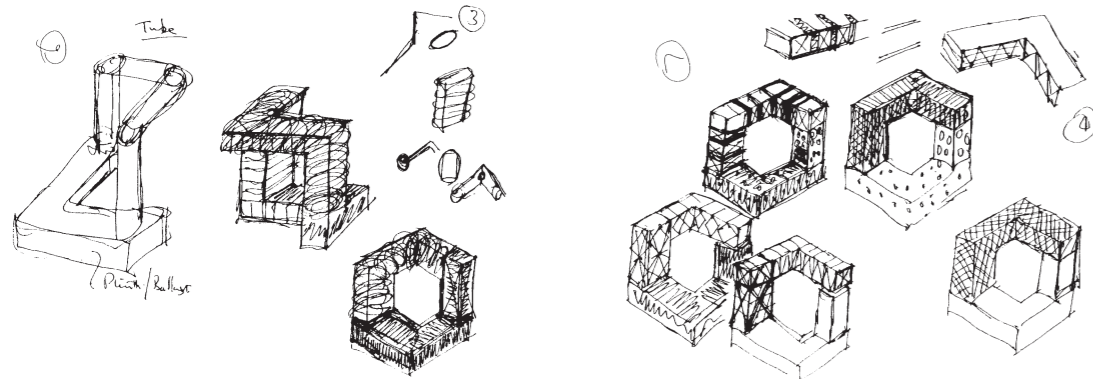
Erläuterung der Konstruktion von Chefindgenieur Rory McGowan  
Fotos: Iwan Baan



Die sechs Bauphasen bis zum Frühjahr 2008.  
Detail des Primärtragwerks, das sich an den Außenwänden des Gebäudes befindet. Es besteht aus vertikalen, horizontalen und diagonalen Stahlträgern, die in ihren Stärken variieren.

Abbildung oben: OMA/Ole Scheeren & Rem Koolhaas, Rotterdam

Das Stahltragwerk des CCTV-Gebäudes wiegt circa 100.000 Tonnen und hat eine beispiellose Gestalt. Die durchgängige rechteckige „tube“, die das Gebäude bildet, müsste eigentlich aufgrund ihres gewaltigen Überhangs und der beiden geneigten Türme umstürzen. Es ist jedoch gerade das Paradox dieser Röhre, das sie mit ihrer Konstruktion ein Umstürzen verhindert. Diese fortlaufende Röhre bildet an den Außenwänden das Primärtragwerk des Gebäudes. Sie bestehen aus einem Gerüst von Dreiecken aus vertikalen, horizontalen und diagonalen Stahlträgern, die in unterschiedlicher Dichte angeordnet sind. Diese Konstruktion verfügt über alle inhärenten Vorzüge in puncto Tragverhalten, Redundanz, Robustheit, Energieabsorption, Biegesteifigkeit und Torsionssteifigkeit. In den Eckpunkten steifen die Außenwände die Röhre nach innen aus, zum Beispiel an der Verbindung der Türme mit dem Untergeschoss. Ebenso fungieren die Decken in jedem zweiten oder dritten Geschoss – wie bei einer Bambusstange – als interne Aussteifungsebene. Alle anderen innen liegenden Kernstützen, -träger und -bodenplatten sind selbsttragend und nehmen keine externen Lasten auf. Die Verteilung der 100.000 Tonnen Konstruktionsstahl innerhalb des Tragwerks reflek-



tiert die dominante Funktion der Röhre; 55 Prozent des Stahls entfallen auf die Röhre, 20 Prozent auf die Böden und Decken, 16 Prozent auf die Kerne und innen liegenden Stützen und 7 Prozent auf die Transferträger.

Die beiden Türme stehen jeweils auf einer eigenen 100 x 100 x 7,5 Meter messenden hohlkastenförmigen Stahlbeton-Bodenplatte, die wiederum im 5-Meter-Raster auf 52,5 Meter langen Pfählen mit 1,2 Meter Durchmesser ruht. Die Bodenplatten haben an der Basis der Türme Ausläufer, die wie „Wurzeln“ fungieren, um ein Umstürzen zu verhindern und die Lasten gleichmäßig in den Boden zu leiten. Ein Auftrieb wie beim Turm von Pisa ist ausgeschlossen.

#### Das externe und interne Tragwerk

Das interne Tragwerk besteht im Regelfall aus einem durchgängigen rechtwinkligen Raster von Tragbalken mittlerer Spannweiten sowie vertikalen Stützen, um den Anforderungen der Nutzung als auch der Technischen Gebäudeausrüstung optimal gerecht zu werden. Das externe Tragwerk gewährleistet die allgemeine Standfestigkeit und die Abtragung der vertikal wirkenden Eigengewichts- und Verkehrslasten. Es ist in allen Außenwänden und Fassaden, die sich um 6 Grad neigen, als verstrebt Röhre ausgebildet. Die Ausfachungen durchziehen das gesamte Gebäude, um die Ecken auszusteifen und die kontinuierliche Offenheit der Röhre zu ermöglichen.

Die Kerne konnten nicht zur Aussteifung genutzt werden, da sie besonders schlank sind, viele Öffnungen aufweisen und darüber hinaus noch versetzt angeordnet sind. Zudem werden die größten Lasten durch den Überhang erzeugt. Dort, wo die innen liegenden, vertikalen Stützen nahe der Fassade angeordnet sind, werden Transfer-Tragwerke benötigt. Sie spannen zwischen den Verstrebungen der Röhre und dem innen liegenden Stahlskelett, das durchgehend in jedem der Türme wie auch im Überhang vorhanden ist.

Die fachwerkartige Röhre verfügt über eine reguläre Anordnung von außen liegenden Stahlelementen bzw. mit Stahl bewehrten Stahlbetonstützen sowie Diagonalverstrebungen. Diese Anordnung wird je nach Bedarf verstärkt oder gemindert, indem man Verstrebungen weglässt oder verdoppelt. So wird in den unterschiedlichen Bereichen des Gebäudes die optimale Kombination von Stärke und Steifigkeit je nach Lastfall und Biegesteifigkeit mit sehr geringen Toleranzen erreicht. In der Regel bilden die Diagonalverstrebungen mit den Stützen und den Deckenplatten alle zwei Geschosse ein Dreieck. Damit ist es möglich, dass doppelt hohe Studios oder Empfangsbereiche zwischen den Haupt-Aussteifungsebenen liegen. Zwischendecken werden über die zentralen Kerne ausgesteift, die in eine Richtung verstrebt sind und andererseits einen biegesteifen Rahmen ausbilden.

Das hohe Maß an Robustheit und Redundanz der Röhre eröffnet Möglichkeiten einer alternativen Lastabtragung, falls in einer extremen Situation tragende Strukturen ausfallen sollten. Diese absoluten Ausnahmesituationen wurden einge-

hend untersucht. Das Hochhaus ist daher besonders sicher. Die Röhrenkonstruktion erleichtert in jeder Hinsicht den Bau des Gebäudes. Zum einen bietet ihre besondere Konstruktion die geforderte Steifigkeit für die beiden geneigten Türme, was zurzeit ihre eigenständige Errichtung ermöglicht, bevor sie in wenigen Monaten oben verbunden werden. Zum anderen ist die Röhre ideal für den Überhang, der während der Bauphase stark auskragen wird. Die Konstruktion des Sockels wird hauptsächlich in Stahlbauweise ausgeführt. Gewaltige Träger überspannen die Fernsehstudios und leiten die Lasten der darüber liegenden Geschosse um. Dabei wurden modernste Methoden für die Technik und die Lastableitungen genutzt, die den Anforderungen gerecht werden.

Die Neigung der Türme und der große Überhang auf den letzten 13 Geschossen birgt eine Gefahr des Umkippens, weil die Axialkräfte auf die Innenseiten der Türme konzentriert sind. Die Kräfte können während eines der häufigeren Beben bis zu 140 MN (Meganewton) erreichen. Die Stützen sind als massive, mit Stahlkernen bewehrte Betonstützen (SRC) ausgebildet. Die größten Stützenquerschnitte liegen bei 1,90 x 1,25 Meter, in den oberen Bereichen der Türme, wo geringere Kräfte auftreten, reduzieren sie sich auf 1,10 x 1,25 Meter. Am höchsten Punkt der Türme, wo die Kräfte am geringsten sind, stehen die 0,6 x 0,9 Meter Stahlstützen ohne Betonmantel. In einigen der größeren Stützen ist der Anteil von Stahl so hoch, dass der Betonmantel während eines der häufigeren kleineren Beben keine zusätzlichen Kapazitäten aufweist. Jedoch verbessert er die Leistungsfähigkeit in einem stärkeren Beben.

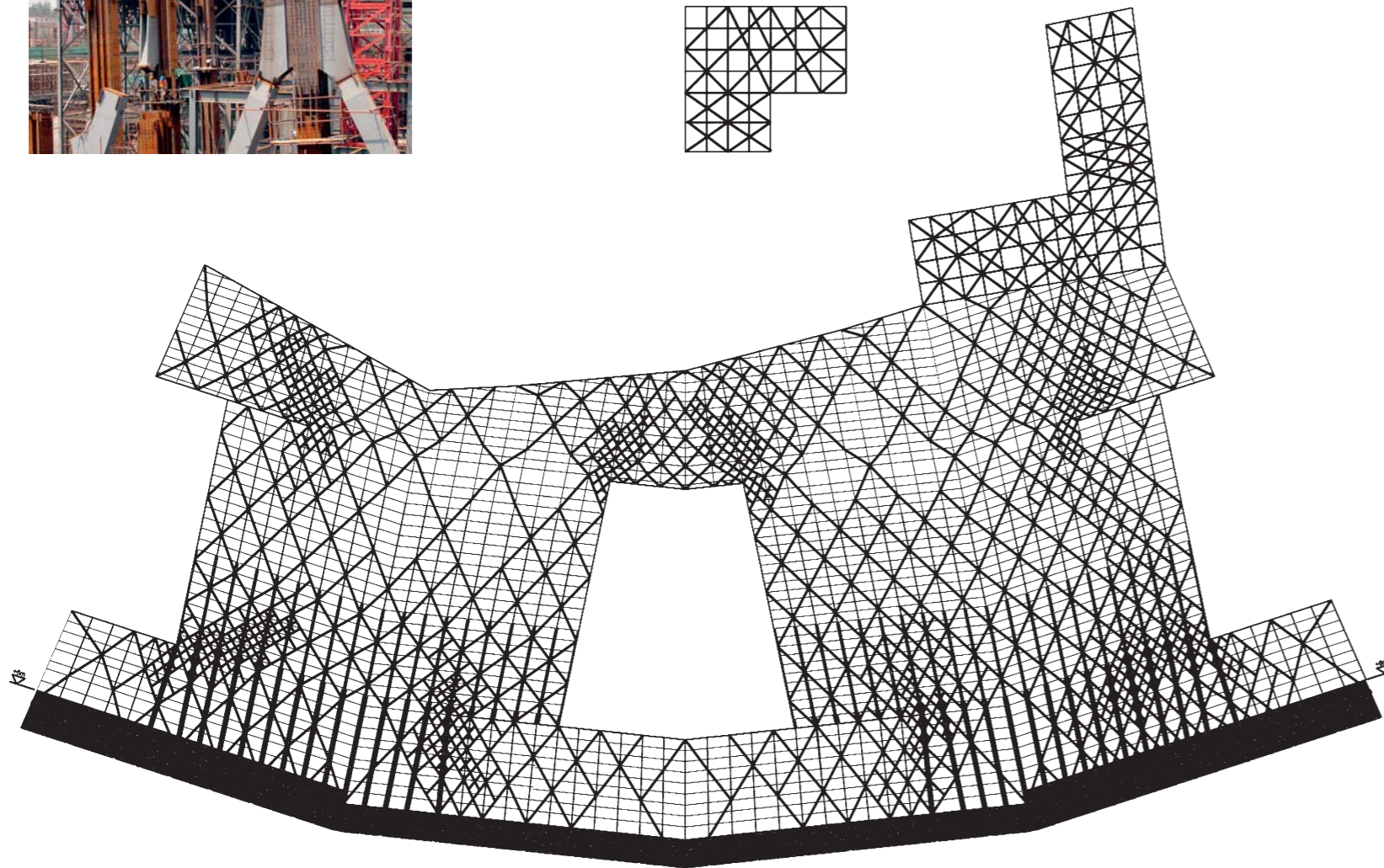
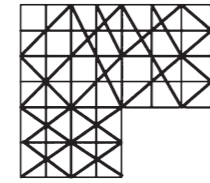
#### Tube Mesh Structure

Bei der Konstruktion der Röhre aus den drei wesentlichen Teilen – Diagonale, Vertikale und Horizontale – besteht eine klare Hierarchie. In einem Hochhaus mit Stützen, Trägern und Diagonalverstrebungen sind Letztere unter normalen Lastbedingungen nur geringen oder auch gar keinen Kräften ausgesetzt. Nur im Fall von Windlasten und Erdbeben werden die Diagonalverstrebungen benötigt. Die diagonal verstrebt Röhre des CCTV hat jedoch eine primäre Funktion, indem sie die abtreibenden Kräfte als eine Dauerlast aufnimmt. Daher sind die Lasten in den Verstrebungen wesentlich bedeutender als während eines Erdbebens. Sie sind essentielle Komponenten, die die enormen abtreibenden Kräfte aufnehmen, welche durch den Überhang, die Neigung der Türme sowie bei Wind und Erdbeben auftreten. In der Regel sind es Segmente, die aus geschweißten Stahlplatten in einer Stärke von 3,5 bis 10 Zentimeter hergestellt werden.

An zweiter Stelle in der Hierarchie stehen die Vertikalen, die einen großen Einfluss auf das Gewicht des Tragwerks und die Flexibilität haben. Sie garantieren eine effiziente und direkte Lastabtragung der Zug- und Druckkräfte, die mit dem Überhang, den geneigten Türmen, Erdbeben und Windkräften und mit den regulären Eigengewichts- und Verkehrslasten aus den Geschosdecken in Zusammenhang stehen. Die Verhältnisse sind ungleich komplexer als in einem normalen ver-

Die ersten Skizzen von Cecil Balmond zur Tragkonstruktion des CCTV-Gebäudes mit dem Konzept einer fortlaufenden, in allen Teilen biegesteifen Fachwerk-Röhre.

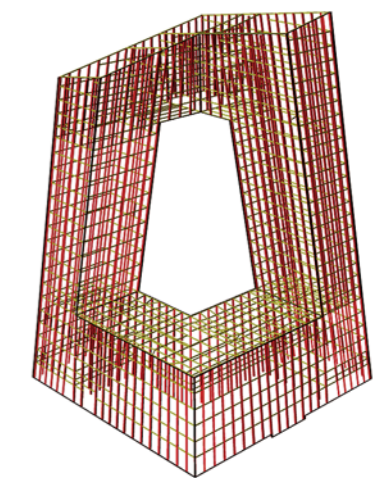
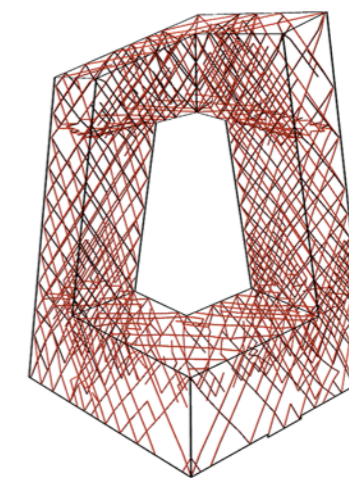
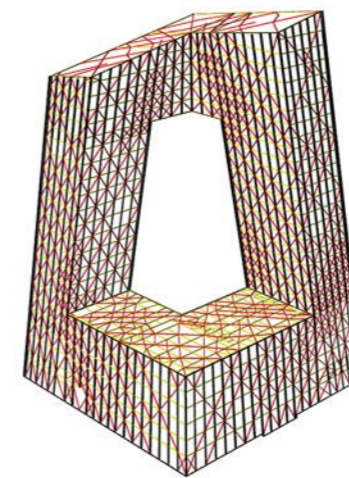
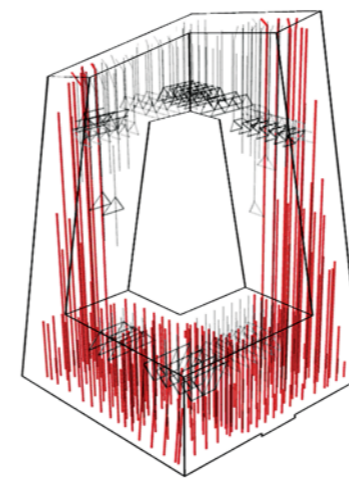
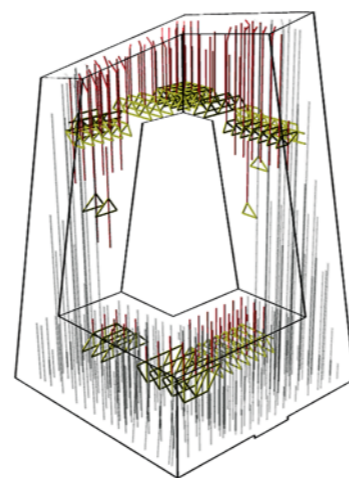
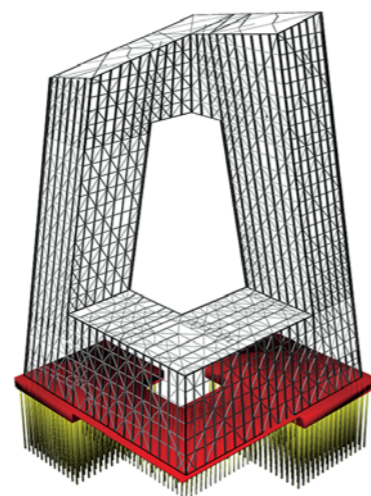
Skizzen: Arup, London



Die Montage der „Butterfly-Plates“ im CCTV-Gebäude (auch Seite 16). Die Auffaltung der Fassaden verdeutlicht den unterschiedlichen Aufbau der Stahlkonstruktion entsprechend der anfallenden Lasten. Die Reihe rechts zeigt die verschiedenen Tragsysteme. Die Türme stehen auf Stahlbeton-Bodenplatten, die auf 52,5 m langen Pfählen ru-

hen. Das äußere Tragwerk der Röhre und das interne Tragwerk sind getrennt zu betrachten. Dort, wo Stützen nahe der Fassade sind, werden Transferträger angeordnet. Die dekorativ wirkenden Verstrebungen außen werden je nach Bedarf weggelassen oder verstärkt.

Foto und Zeichnungen:  
Arup London



tikalen Hochhaus. Auf einem Regelgeschoss im CCTV gibt es viele unterschiedlich auftretende Lastfälle, und daher unterscheiden sich auch die Stützen. An Extrempositionen wie den Ecken kann eine Stütze eine vergleichbare Last von 200 Geschossen tragen und in der diagonal entgegengesetzten Ecke nur eine von 30 Geschossen. Um für die unterschiedlichsten Lastfälle eine Lösung zu finden, gibt es sechs Ausführungen von Stützen. Sie reichen von einem Doppel-T-Profil bis zu einer SRC-Stütze, ebenfalls bestehend aus einem Doppel-T-Profil, aber mit besonderer Stärke und Betonummantelung. Die Doppel-T-Profile bestehen aus geschweißten Stahlplatten in unterschiedlicher Stärke.

Die dritte Komponente des Tragsystems sind die horizontalen Randbalken. Sie tragen im Prinzip die Deckenlasten, die auf den Rand wirken, sie sind aber auch beteiligt an der Triangulation der Röhre, insbesondere im Bereich des Überhangs. Im Allgemeinen sind sie die am geringsten dimensionierten Bestandteile der tragenden Netzstruktur der Röhre und bestehen aus handelsüblichen gewalzten Doppel-T-Profilen.

Die Lasten des Gebäudes nehmen mehrere Wege über die Netzstruktur der Röhre in das Fundament und in die Schlüsselemente wie die Eckstützen im Erdgeschoss. Diese könnten ohne Einsturzgefahr entfernt werden, was für die Robustheit des Tragkonzepts spricht. Die Sicherheit des Gebäudes in einem Katastrophenfall zu garantieren, war die größte Anforderung an das Expertengremium. Mit hochentwickelten Berechnungsverfahren gelang es uns, detailliert herauszufinden, was passiert, wenn Elemente entfernt werden, wie das Resttragwerk die Lasten aufnimmt und welche möglichen Verformungen zu erwarten sind.

Aus dem Englischen von Christian Breusing

**Wettbewerb**  
Juni 2002

**Beauftragung**  
Dezember 2002

**Entwurf**  
August 2003

**Grundsteinlegung**  
September 2004

**Fertigstellung**  
Sommer 2008, zu den Olympischen Spielen in Peking

**Höhe**  
CCTV, Turm 1: 234 m,  
Turm 2: 210 m, TVCC: 159 m,  
Servicegebäude: 16 m

**Grundstück**  
187.000 m<sup>2</sup>

**Fläche**  
CCTV (inkl. Parkhaus):  
450.000 m<sup>2</sup>,  
TVCC: 115.000 m<sup>2</sup>,  
Servicegebäude: 10.000 m<sup>2</sup>

**Fundament**  
CCTV, Turm 1: 100.000 t  
(42.000 m<sup>3</sup>) Beton, Turm 2:  
70.000 t (30.000 m<sup>3</sup>)

**Gründung**  
CCTV: 513 Pfähle 52,5 m lang  
(Durchmesser 1,20 m);  
890 Pfähle 25 m lang (Durch-  
messer 0,60 m)

**Stahl**  
CCTV, äußere Struktur:  
54.000 t, Overhang trusses:  
2300 t, Tragwerk innen:  
43.900 t

**Gesamtlänge**  
CCTV, alle äußeren Stahl-  
träger: 61 km

**Aushub**  
CCTV: 870.000 m<sup>3</sup>, in 190  
Tagen

**Größte Stütze**  
im CCTV: Ihre Lastabtragung  
von 17.700 t entspricht dem  
Gewicht von 44 vollbelade-  
nen Boeing 747 oder dem Ge-  
wicht der gesamten Bevöl-  
kerung von Nottingham