



# Das **Ende** der Schwerkraft?

Platte Superlative genügen nicht mehr, um in der weltweit entbrannten Kakophonie immer spektakulärerer Bauten wahrgenommen zu werden. Erfolgsversprechendster Ansatz ist es derzeit, das Unmögliche möglich zu machen. Im Emirat Abu Dhabi sieht derzeit ein Bauwerk seiner Fertigstellung entgegen, das grundlegenden physikalischen Gesetzen zu trotzen scheint: Der Capital Gate Tower. Eine überaus elegante Erscheinung, die sich mit 160 Metern Höhe lässig um haarsträubende 18 Grad nach Westen neigt

Text/ PETER LEUTEN  
Fotos/ ADNEC, DOKA, HYATT, WIKIPEDIA



# ELEGANTER SCHWUNG NACH WESTEN



**M**it einem Eintrag ins Guinness Buch der Rekorde im Juni des letzten Jahres wurde es amtlich: Das mit Abstand „schiefe“ Gebäude der Welt steht in Abu Dhabi am Persischen Golf. Unmittelbar nach dem Erreichen seiner geplanten Höhe durchlief der Capital Gate Tower erfolgreich die strenge Prüfung und erhielt das Zertifikat „World’s furthest leaning man-made tower“.

Vorbei die Zeiten, als Scharen von Touristen den Campanile von Santa Maria Assunta in Pisa bestaunten. Zumindest nicht wegen seiner ungewollten Schlagseite. Was ist schon seine kaum über vier Grad betragende Abweichung von der für normale Bauten erstrebenswerten Lotrechten gegenüber einer sensationellen Neigung von haarsträubenden 18 Grad! Genau! Gar nichts! Beim neuen Rekordhalter indessen sucht selbst der eingefleischte Fachmann vergeblich nach Normalität. Okay, der Turm, der mit seinem von Stockwerk zu Stockwerk variierenden elliptischen Grundriss an eine plattgedrückte Wurst oder eine nicht mehr zur Gänze volle Zahnpasta-Tube erinnert, ist gemessen an seiner reinen Höhe von rund 160 Metern, über die sich 35 Stockwerke verteilen, nichts Besonderes. Schon gar nicht in der Boom-Region am Persischen Golf, wo sich im kaum mehr als 70 Kilometer entfernten Nachbar-Emirat Dubai das bislang höchste Gebäude der Welt gen Himmel reckt.

## Jenseits der Normalität

Genau hier ist jedoch die Messlatte zu suchen: diesem schillernden Konkurrenten mit seinem Aufsehen erregenden Turm Paroli zu bieten, ein weithin sichtbares Zeichen zu setzen. Nicht mittels einer weiteren Runde des Gigantismus wie in Dubai üblich, sondern bitte mit Köpfchen! Eine Aufgabe, mit welcher der Bauherr, die Abu Dhabi National Exhibitions Company (ADNEC), das renommierte, weltweit tätige Architekturbüro RMJM beauftragte. Die Erstellung eines neuen Hauptgebäudes für das bedeutende Congress- und Messeszentrum in Abu Dhabi, das in größerem Umfang Büroflächen bereit stellen und vor allem einen adäquaten Rahmen für ein First Class Hotel einer renommierten Kette bieten würde. Heraus kam ein durch und durch ungewöhnliches Architektur-Highlight, das sich im kühnen Schwung nach Westen neigt und selbst darüber hinaus noch reichlich Stoff für tausendfache Oohhs und Aahhs bietet.

Die nüchternen Fakten offenbaren zunächst ein typisches Hochhaus mit Mischnutzung: 53.100 Quadratmeter Nutzfläche, von denen 20.900 Quadratmeter vom zweiten bis zum 16. Stockwerk für Büros vorgesehen sind und weitere 25.050 Quadratmeter dem zwischen dem 18. bis zum 35. Stockwerk angesiedelten „Hyatt Capital Gate“ Hotel mit 189 Zimmern vorbehalten sind. Um die elegante Erscheinung des Capital Gate Towers mit den angrenzenden Bauten zu verbinden, schwingt sich ein zweiteiliger Baldachin etwa von der halben Höhe des sensationellen Baus abwärts in Richtung Ausstellungsgelände. Dort, wo dieser Baldachin, eine luftige Konstruktion aus Glas und



Ein Baldachin schwingt sich in Richtung des Abu Dhabi National Exhibition-Center: Seinen Ausgang nimmt er am Punkt der stärksten Neigung des Capital Gate Towers. Dort oben planschen die Hyatt Hotel-Gäste bei einem atemberaubenden Blick im Pool

## SONNENSEGEL ZUR KLIMATISIERUNG

Edelstahl, seinen Ausgang nimmt, wartet das Capital Gate gleich mit seiner nächsten Überraschung auf: In etwas mehr als 80 Metern Höhe krägt eine Sonnen-Terrasse aus dem Solitär heraus, die in luftiger Höhe mit allerlei Luxus und sogar mit einem Swimming-Pool aufwarten kann. So können die Hotelgäste in Kürze schwimmend einen traumhaften Panorama-Blick über die Stadt genießen. Auch sonst bietet der Tower eine Fülle höchst ungewöhnlicher Eigenheiten. Aufgrund des fließenden, sich kontinuierlich verändernden Querschnitts des Gebäudes gibt es beispielsweise keinen einzigen Raum, der Gemeinsamkeiten mit einem

anderen aufweisen würde; jeder Raum, jedes Fenster ist einzigartig.

### Der Kampf gegen physikalische Grundsätze

Bemerkenswertestes Detail ist aber zweifellos die enorme Schräglage des Capital Gate. Die Beherrschung der hierdurch entstehenden gigantischen Gravitationskräfte macht den schmucken Bau zum derzeit komplexesten Ingenieurbau weltweit. Diese Kräfte zu bändigen und in gewünschte Bahnen zu lenken erforderte schon bei der Fundamentie-

rung einen enormen Aufwand. Die im November 2007 begonnenen Gründungsarbeiten erstreckten sich über fast ein halbes Jahr. Eine im Vergleich zu der eher bescheidenen Standfläche des Gebäudes enorm hohe Zahl von Bohrungen für die insgesamt 490 Gründungspfähle war bis zu einer Tiefe von dreißig Metern nieder zu bringen. Diese große Zahl von Gründungspfählen galt es schließlich mittels einer bislang kaum vorstellbar dicht gepackten stählernen Bewehrung in einer zwei Meter tiefen Betonplatte zu einem überaus kompakten Fundament zusammen zu fügen.

Um hier maximale Stabilität zu erreichen, musste die Betonierung überdies in einem Guss erfolgen. Berechnungen hatten ergeben, dass zur Betonierung der Fundamentplatte mehr als 6.000 Kubikmeter Hochleistungsbeton nötig waren. Und das bei eng gestecktem zeitlichem Rahmen: Aufgrund der Abbinde-Geschwindigkeit der Betonsorte standen für diesen Arbeitsschritt gerade einmal 30 Stunden zur Verfügung! Eine logistische Meisterleistung. 850 Lkw-Fuhren waren nötig, um diese enorme Betonmenge zu bewältigen. Auf der Großbaustelle angekommen wurde der Beton in pausenlosem Einsatz mittels fünf Hochleistungsbe-



# BEDACHT AUF'S AUSSTELLUNGSGELÄNDE



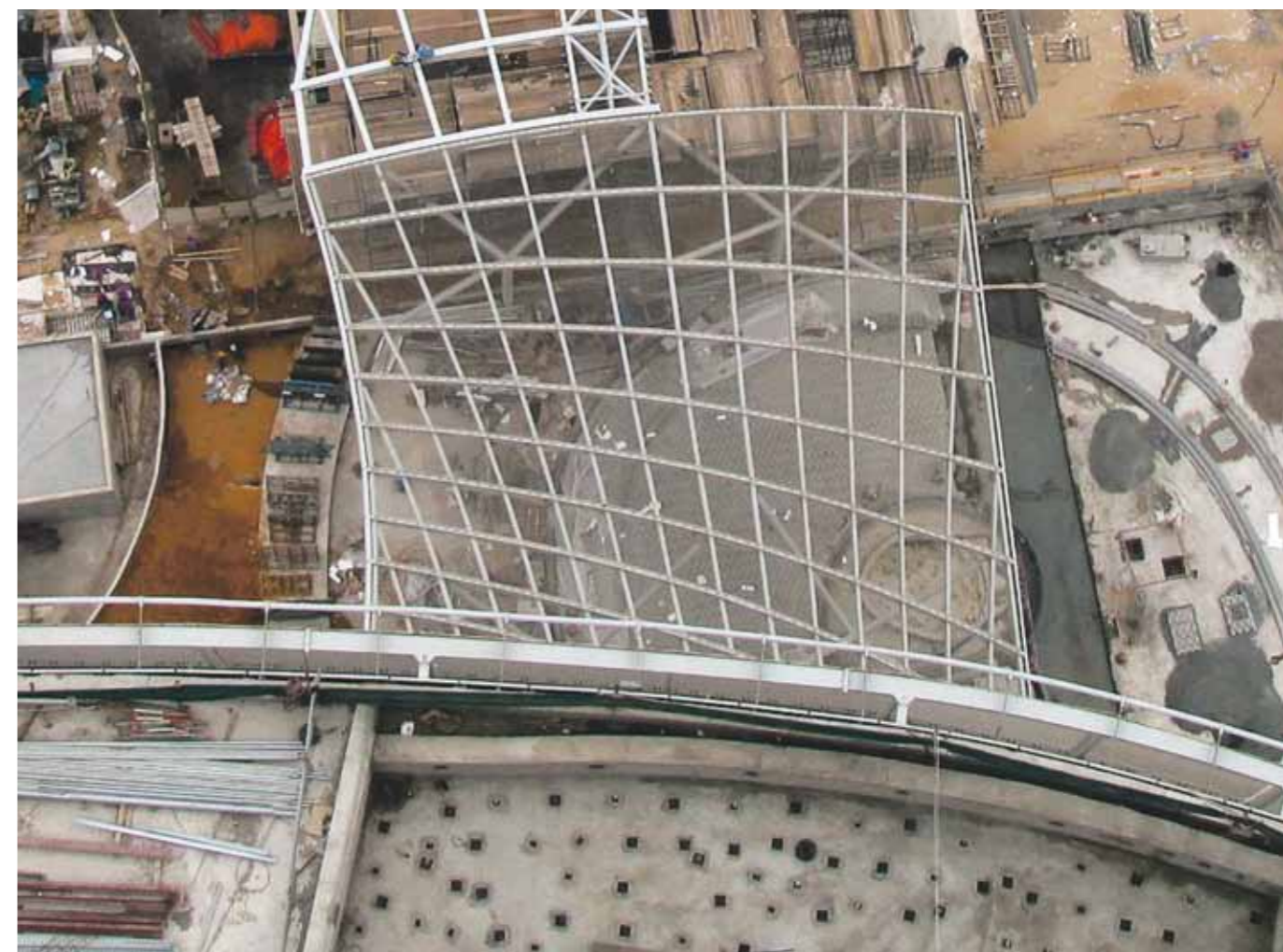
tonpumpen innerhalb des Zeitlimits eingebaut. Die komplexe Statik des Gebäudes verlangte zudem, den zentralen Ortbeton-Gebäudekern wie bei einer Spannbetonbrücke in dieses extrem dichtbewehrte Betonfundament zurück zu spannen. Wegen der hierbei auftretenden überaus hohen dynamischen Lasten fanden für diesen Zweck speziell angefertigte, hoch belastbare SAS Spannstäbe Verwendung, die vom Stahlwerk Annahütte in Hammerau geliefert wurden. Dennoch: Selbst ausgeklügelte Verfahren und hochwertige Spezialstähle allein reichen nicht, um einem derart geneigten Bauwerk ausreichende Standfestigkeit zu verleihen. Eine ganze Reihe konstruktiver Kunstgriffe war nötig, um einen solchen Bau sicher zu errichten. Die freilich wurden erst durch einen in bislang erstmalig erreichter Konsequenz vollzogenen Software-unterstützten Entwurfsprozess beherrschbar.

## Aufbruch in eine neue Dimension

Die Geschichte des Bauens ist reich an Bauten, die erst durch neue Materialien oder Konstruktionsweisen möglich wurden. In diese Reihe ist auch der Capital Gate Tower einzuordnen. So verdankt dieser Turm mit der spektakulären Schiefelage seine Existenz dem erstmals angewandten parametrischen Gebäude-Design. Es verkörpert die allerneueste Spielart der Gebäudedaten-Modellierung, international unter den Oberbegriff Building Information Modeling (BIM) gefasst, einer erst seit wenigen Jahren bei Großbauten praktizierten virtuellen Erstellung des Gesamtbaus am Rechner.

Das parametrische Gebäudemodell basiert auf einer Integration aller relevanten Gebäudeparameter in den Entwurfsprozess. Dazu gehören etwa Daten über Materialei-

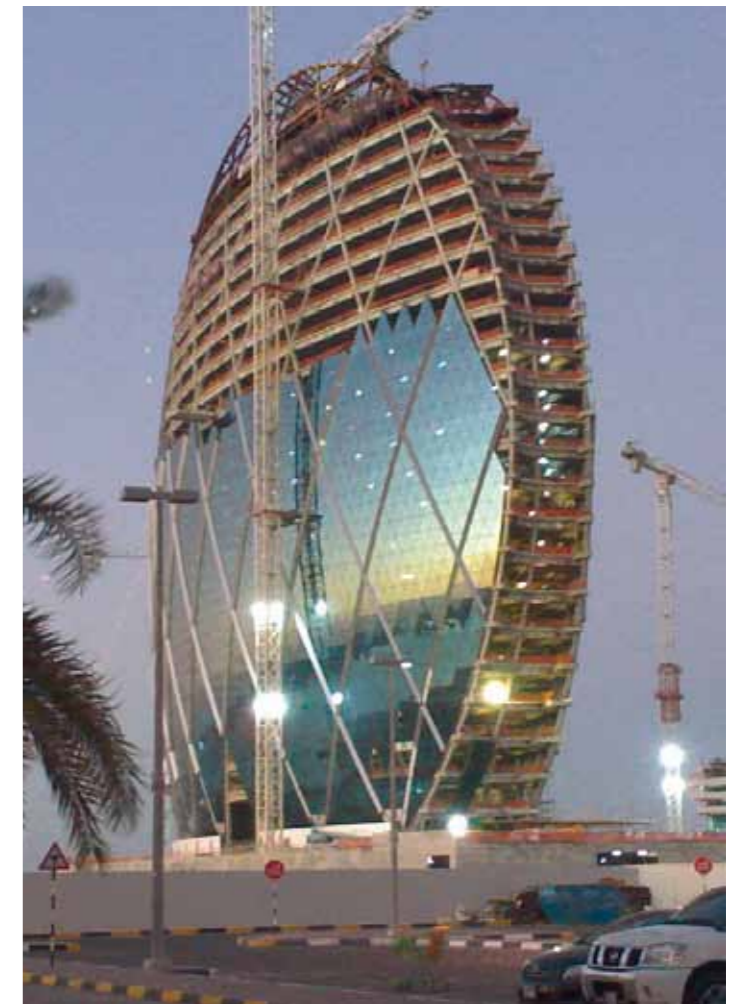
Spektakuläres Vergnügen: Sonnenterrasse und Pool in rund 80 Metern Höhe







# DIE HAUPTLAST TRÄGT DER BETONKERN



Betonierte Turmkerne und letztendliche Form des Aldar Headquarters in Abu Dhabi

genschaften, Lastpfade, Beschaffenheit des Baugrunds bis hin zu so genannten Environmental Keys wie Klima-Einfluss, Bewirtschaftungsfragen oder der Frequentierung durch die Nutzer eines Gebäudes. Erst die Gesamtheit aller dieser Daten kombiniert und miteinander vernetzt bestimmt letztlich die Gestalt des resultierenden virtuellen Gebäudemodells im Rechner.

## Form follows Function

Was sprachlich abstrakt zwischen unstrittigen Allgemeinplätzen hindurch laviert (wer würde zum Beispiel bestreiten, dass das zu erwartende Nutzungsverhalten in die Planung eines Gebäudes einfließen muss?), beschreibt bei näherer Betrachtung indes einen fundamental neuen Entwurfsprozess. Die bislang explizite Erstellung eines Entwurfs, der alle geforderten Merkmale enthält, weicht einer aufwändigen, klärenden Konkretisierung der vom Bauherren und vom Architekten vorgegebenen Eigenschaften, die in ihrer Gesamtheit die daraus resultierende Gestalt des Gebäudes gewissermaßen vorgeben. Die Form ergibt sich hierbei in letzter Konsequenz lediglich aus einem Konglomerat spezifischer „Regeln“, in diesem Falle etwa der vorgegebenen Gebäude-Höhe, der gewünschten Neigung und der angestrebten stockwerkweise variierenden Grundrissform, zu denen sich auch andere Regeln, wie Ausrichtung zur Sonne, die etwaige Bezugnahme auf Nachbargebäude oder der Verzicht auf jegliche Stützen innerhalb des Bauwerks gesellen. Modernste Software-Lösungen haben damit einen Paradigmenwechsel beim Gebäude-Entwurf eingeleitet.

Erstmals wird mit diesem Tool das bisweilen plakativ vereinnahmte Postulat „Form follows Function“ wirklich eingelöst. Das parametrische Gebäudemodell geht insofern weit über das bislang bekannte Building

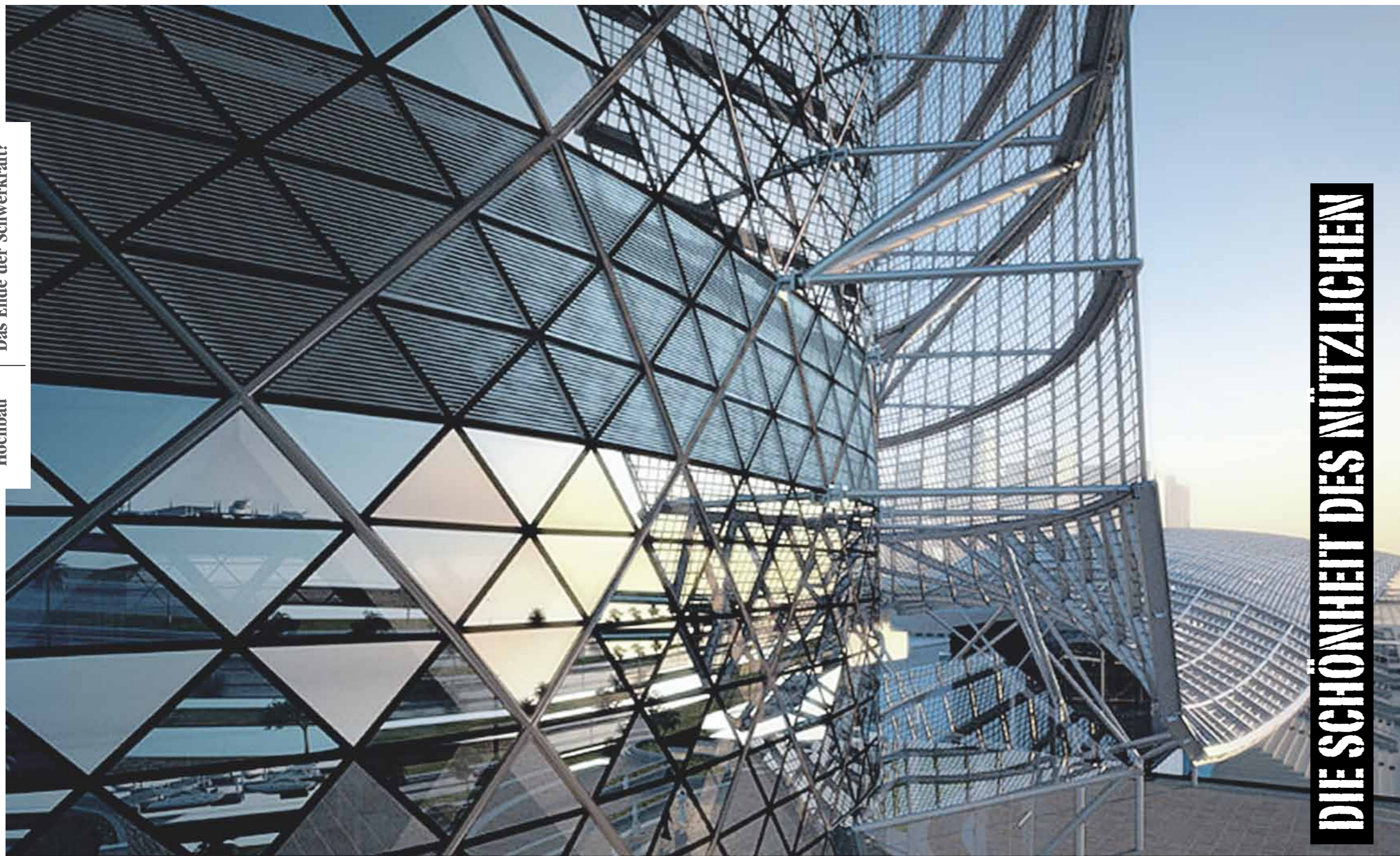
Information Modeling hinaus, das an sich bereits eine enorme Vereinfachung beim Bau darstellte, lieferte es doch basierend auf dem einmal erstellten virtuellen Modell automatisch genaue Pläne für alle benötigten Bauteile. Jetzt jedoch ist es möglich, selbst konstruktive Details analog geänderter Werkstoffeigenschaften unter Einbeziehung aller sonstigen Forderungen zu modellieren; eine Überprüfung zum Beispiel der statischen Belastbarkeit im Nachhinein erübrigt sich, denn das System erlaubt nur Ausformungen innerhalb der durch die Gesamtheit der Daten vorgegebenen Grenzen.

## Konstruieren wie in der Natur

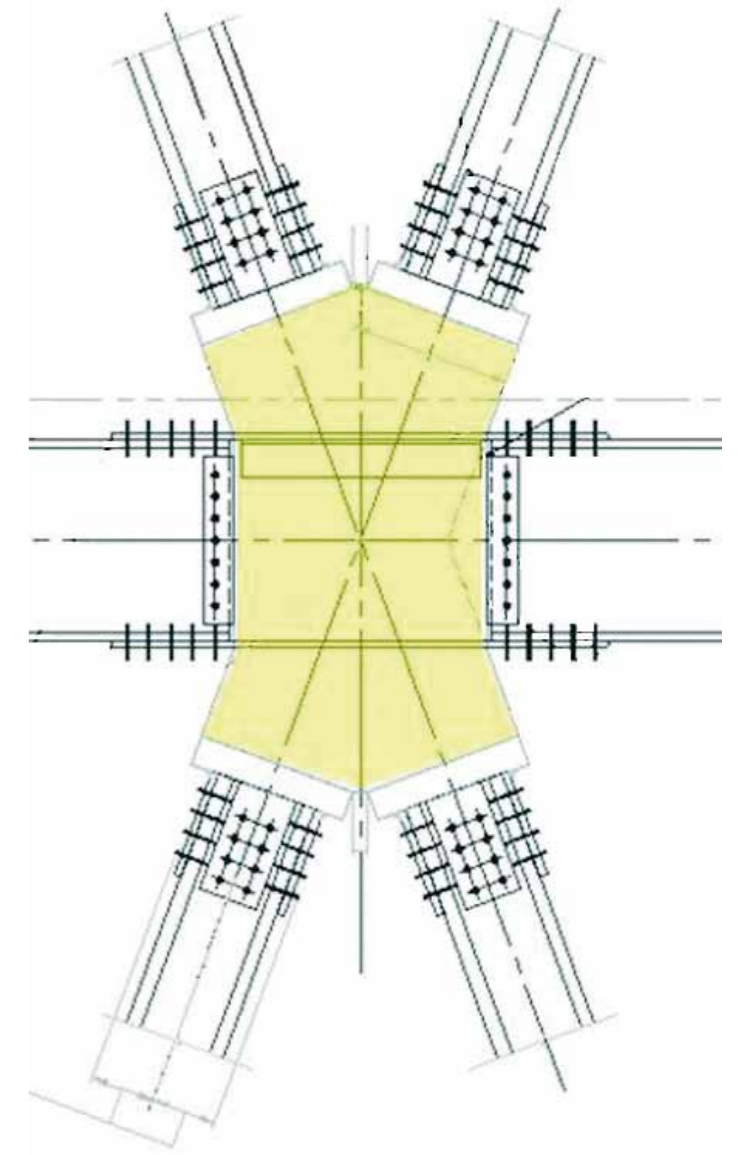
Die Modellierung eines Bauteils erfolgt somit im realen Verbund aller anderen Bauwerksteile und einschließlich aller zugleich auf sie einwirkenden Kräfte. Was das bedeutet, wird klar, wenn man sich einen der beiden wesentlichen konstruktiven Kunstgriffe vergegenwärtigt, denen der Capital Gate Tower seinen festen Stand verdankt. Aufnahmen aus der Rohbauphase zeigen zunächst, dass die einzelnen Stockwerkebenen zu beiden Seiten eines zentralen Betonkerns positioniert sind. In den unteren Geschossen sind sie östlich des Kerns angeordnet; in den oberen Geschossen ragen sie hingegen in westlicher Richtung von diesem Betonkern weg.

Dieses Konzept ist in einem wesentlichen Punkte an ein anderes spektakuläres Bauwerk angelehnt, welches in direkter Nachbarschaft zum Capital Gate Tower kurz zuvor in Abu Dhabi entstanden ist: das Aldar Headquarter. Das Gebäude in Form einer in der Mitte aufgewölbten runden Scheibe wurde über zwei Betontürmen mit quadratischem Grundriss errichtet. Diese Betonkerne leiten den größten Teil der senkrechten Lasten der die Form bestimmenden Stahlkonstruktion ab. Die





**DIE SCHÖNHHEIT DES NÜTZLICHEN**



außen sichtbare Form ergibt sich quasi erst durch die Fassaden-Verblendung. Kann das Aldar Headquarter somit als Modell für die zugrunde liegende Konstruktion des Capital Gate herangezogen werden, geht diese jedoch um einiges über die Vorlage hinaus.

Selbst in der Bauphase am nackten Rohbau kaum auszumachen ist doch der zentrale Gebäudekern des Capital Gate schon für sich genommen in „Schieflage“ betonierte. Nur dass der Kern statt wie das fertige Gebäude in westlicher Richtung seinerseits in östlicher Richtung von der Lotrechten abweicht. Entscheidende Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang freilich der Einschränkung „für sich genommen“ zu: Denn die exakte Form des Kerns wurde, wie oben beschrieben, im realen Kräfteverbund aller Bauwerksteile per Software festgelegt – und so ergibt sich im Zusammenspiel mit den Lasten der sukzessive mit dem emporwachsenden Betonkern erstellten, nach Westen auskragenden Stockwerke eine genau senkrechte Position.

Ein erstmals gewagtes, geradezu unglaublich anmutendes Konstruktionsprinzip: Das Gewicht der auskragenden Stockwerke „biegt“ das bewusst geneigt konstruierte, tragende Betonelement gerade!

### Neues Konstruktionsprinzip

Ein Teil genau so zu berechnen, dass es erst im realen Kräfteverbund seine angestrebte Form erhält, das ist in dieser Radikalität ein bislang einmaliger Vorgang, dessen Komplexität erst mittels massiver Rechnerunterstützung möglich wurde. In dieser Hinsicht hat der Capital Gate Tower denn auch einen Vorgänger, dessen Statik ebenfalls von Hand nicht mehr beherrschbar gewesen wäre: Das CCTV-Gebäude in Peking. Der weltweit beachtete Bau des Chinesischen Staatssenders weist am Ende seiner beiden ebenfalls geneigt in die Höhe ragenden Türme einen bis zu 75 Meter frei auskragenden Überhang auf, der beide Türme miteinander verbindet. Dieses Bauwerk verdankt seine Existenz jedoch nicht allein einer ausgeklügelten, mit umfangreicher Softwareunterstützung berechneten Statik, sondern auch einem relativ neuen, hoch intelligenten Konstruktionsprinzip.

Zunächst in aller Regel als Schmuckelement identifiziert, ist das Netz diagonal kreuzender Linien, welches den Bau an seiner ansonsten verglasten Außenhaut weithin sichtbar überzieht, dennoch ein entscheidender Teil

des Tragwerks. Im Grunde geht das von Norman Foster, dem ersten Architekten mit weltweitem Renommee, der extensiven Gebrauch von diesem Prinzip machte und der dafür den aus dem englischen Sprachgebrauch abgeleiteten Begriff Diagrid prägte, (diagonal+girder=Träger) auf das klassische Stahlfachwerk zurück. Abertausende von Brücken und Ingenieurbauten wurden nach diesem Prinzip errichtet.

### Im Netz des Diagrid

Die Diagrid-Bauweise unterscheidet sich trotz unverkennbarer Verwandtschaft dennoch deutlich von dem überlieferten Prinzip: So beruht das konventionelle Stahlfachwerk einerseits noch auf der jahrhundertalten Denkweise von tragenden Vertikalen und Last verteilenden Horizontalen. Diagonalen Elementen ist im herkömmlichen Stahlfachwerkverbund lediglich eine aussteifende Funktion zugeordnet. Unabhängig an dieses Grundkonzept gebunden ist andererseits auch die kräftemäßige Durchdringung der ganzen Konstruktion. Ein Stockwerk trägt die Last darüber liegender Stockwerke.

Anders dagegen das Diagrid. Tragende Funktion kommt hier den Diagonalgliedern zu, die nun weitaus massiver ausgeführt werden; hingegen wird auf vertikale Glieder völlig verzichtet. Zugleich ermöglicht dieses System, ein Bauwerk als variable „Füllung“ einer für sich standfesten Hülle zu betrachten. Das Diagrid ist damit ein Außenskelett, in das Stockwerke lediglich eingehängt sind und deren Verbindung mit der äußeren Hülle ausschließlich von solchen Kräften bestimmt wird, die aus ihrem jeweiligen Eigengewicht resultieren. Durch die Entlastung der einzelnen Stockwerks-Ebenen von jedweden tragenden Funktionen ergibt sich im Vergleich zur konventionellen Bauweise überdies eine Material- und damit Gewichts-Ersparnis von rund 20 Prozent.

Auch für die komplexe Statik des Capital Gate Towers ist dieses moderne Konstruktionsprinzip unverzichtbar. So sind die im unteren Bereich des Gebäudes zunächst nach Osten orientierten Geschosse mit Hilfe dieses Systems übereinander gestapelt und ruhen, da von dem Bau verlangt wurde, dass er ohne Stützen oder Pfeiler zwischen den Stockwerken auskommen sollte, ausschließlich auf diesem Tragwerk aus Diagonal-Stützen. Ungefähr ab der Mitte des Capital Gate Towers teilt sich



# WIE EIN FISCH IM SONNENLICHT



dann die Lastabführung der sich mit zunehmender Höhe immer weiter gen Westen aus dem Bau heraus schiebenden Stockwerke zwischen dem Gebäudekern und der als Diagrid-Tragwerk ausgeformten äußeren Gebäude-Hülle auf.

### Erleuchtung von oben

Das Diagrid-Außenskelett und der dennoch bestehende Zwang zur Gewichtseinsparung bei den oberen westwärts gerichteten Stockwerken ermöglichten in diesem oberen, als Hotel genutzten Gebäudeteil überdies die Realisation eines weiteren bemerkenswerten Details des Towers: Vom Dach bis zum 19. Stock senkt sich ein nach unten verjüngendes Atrium, das somit eine Höhe von über 60 Metern erreicht. Dass dem Diagrid trotz des Betonkerns und der durch das tief eingegrabene Atrium erzielten Gewichtseinsparung dennoch eine fundamentale tragende Funktion zukommt, verdeutlicht indes schon der enorme Anteil an der gesamten Masse des beim Capital Gate verbauten Baustahls: 7.000 Tonnen von insgesamt 21.500 Tonnen Stahl gehen allein auf das Konto des dennoch zierlich anmutenden Außenskeletts. Mehr als 8.500 Stahlträger ergeben ein Korsett aus 722 rautenförmigen Feldern, die sich wie ein Netz um die Außenhaut des Towers legen.

### Ökologisches Bauen – ein Emirat, das Maßstäbe setzt

Die enorme Masse des Tragwerks erklärt sich im übrigen nicht zuletzt durch seine doppelten Ausführung: Um eine innere Hülle legt sich im Abstand von kaum mehr als einem Meter eine zweite, äußere Hülle. Der zweischaligen Außenhaut kommt eine wichtige Funktion bei der Klimatisierung des Bauwerks zu: Die entstehende Abluft des Baus wird zunächst gekühlt und dann zwischen innerer und äußerer Haut hindurch geleitet, bevor sie das Gebäude verlässt. Dieses grüne Konzept umschließt weitere Maßnahmen, die eine aufwändige aktive Klimatisierung des Capital Gate Towers überflüssig machen sollen. Je nach Lage zur Haupteinstrahlungs-Richtung des Sonnenlichts verfügen die jeweils achtzehn Glaspaneele jedes Diagrid-Feldes über unterschiedliche Absorbtionseigenschaften und verringern so wirkungsvoll den Wärmeeintrag. Dort, wo sich aufgrund der Gebäudeneigung eine erhöhte Angriffsfläche für das Sonnenlicht bietet, übernimmt zu dem der locker um den Turm geschwungene „Splash“ genannte Baldachin zusätzliche Filterfunktionen. ■



Bislang nur virtuell mögliche Tour durch das Hyatt-Hotel im Capital