

# xia

# intelligente architektur

01-03/14

Zeitschrift für Architektur und Technik



**Massimiliano und Doriana Fuksas**  
**Gerber Architekten**  
**Hascher Jehle Architektur**  
**architects collective**  
**Arup**



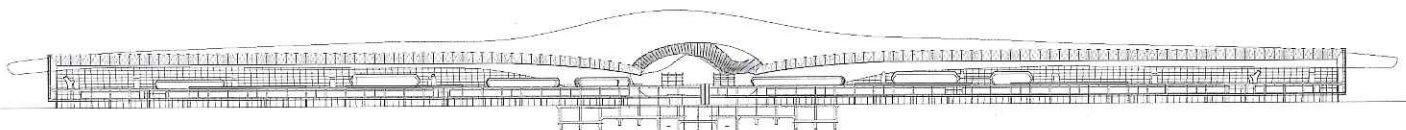
AUSGABE 66  
Januar - März 2014  
D EUR 12,50  
A EUR 13,70  
F EUR 13,80  
CH sfr 24,50



© Archivio Fuksas

# Gelandet

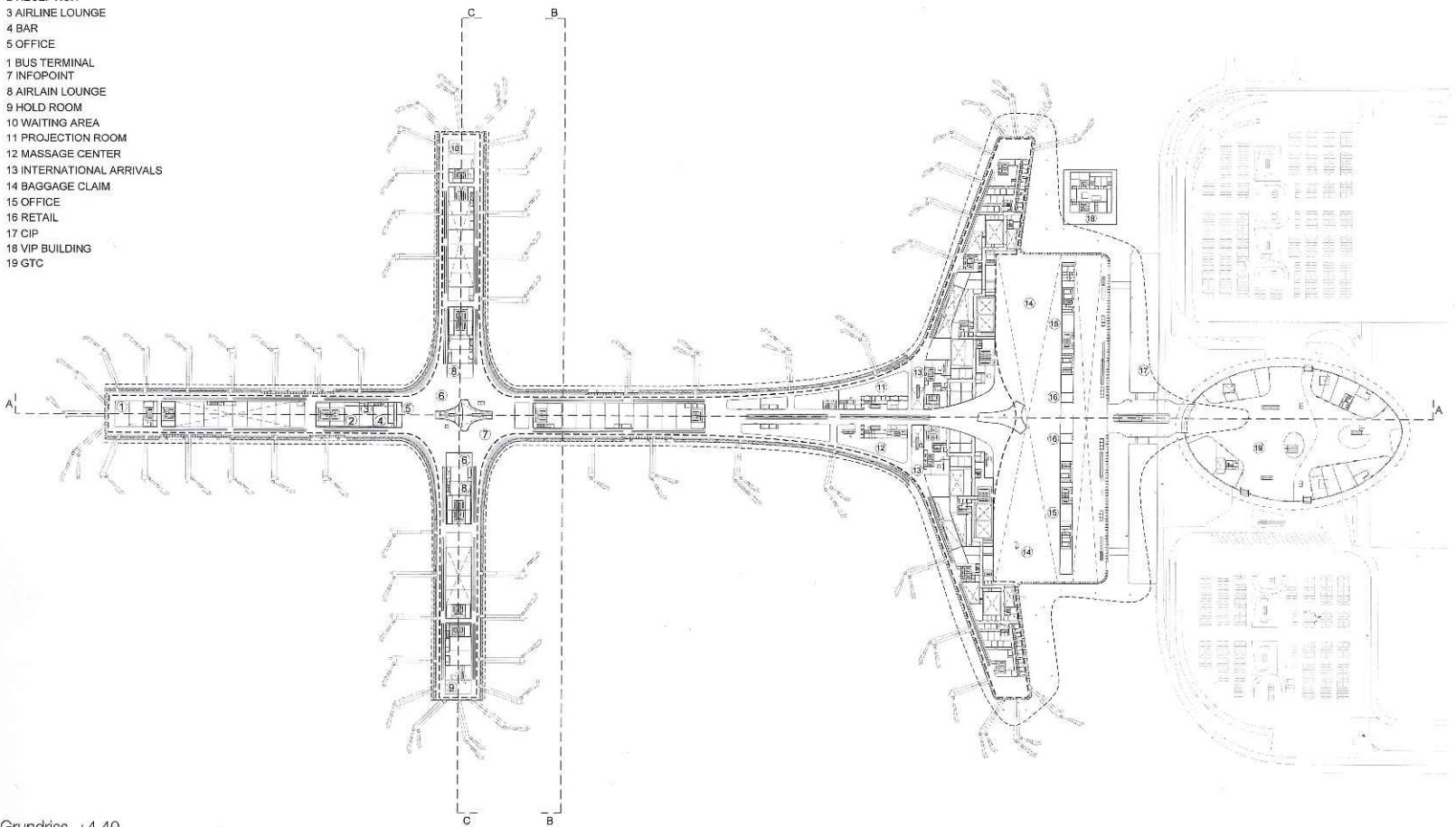
Shenzhen Bao'an International Airport, Terminal 3, China



Querschnitt C-C

## LEGEND

- 1 WAITING AREA
- 2 RECEPTION
- 3 AIRLINE LOUNGE
- 4 BAR
- 5 OFFICE
- 1 BUS TERMINAL
- 7 INFOPOINT
- 8 AIRLAIN LOUNGE
- 9 HOLD ROOM
- 10 WAITING AREA
- 11 PROJECTION ROOM
- 12 MASSAGE CENTER
- 13 INTERNATIONAL ARRIVALS
- 14 BAGGAGE CLAIM
- 15 OFFICE
- 16 RETAIL
- 17 CIP
- 18 VIP BUILDING
- 19 GTC



Grundriss +4,40

© Archivio Fuksas

## SHENZHEN BAO'AN INTERNATIONAL AIRPORT

### Bauherr

Shenzhen Airport (Group) Co. Ltd.

### Projektentwicklung

Shenzhen Planning Bureau;  
Shenzhen Airport (Group) Co. Ltd.

### Architekten

Massimiliano and  
Doriana Fuksas, Rom, Paris,  
Shenzhen

### Interior Design

Fuksas Design: internet-point, check-in "island", security-check, gates, passport-check areas, shop box, baggage-claim "islands", info-point, ventilation trees, signage, commercial desk and washrooms

### Generalunternehmer

China State Construction  
Engineering Corporation,  
Beijing

### Tragwerk – Fassade

– Parametric Design  
Knippers Helbig Advanced  
Engineering, Stuttgart, NY

### Architect of Record

BIAD (Beijing Institute of Archi-  
tectural Design), Beijing

### Lighting Consulting

Speirs & Major Associates,  
Edinburgh, London

Der Manta genannte Rochen ist ein Fisch im Wasser und kann nicht fliegen. Dennoch verkörpert er in seiner Form die Faszination des Fliegens wie kaum ein Vogel. Was auch daran liegen mag, dass ihn der natürliche Widerstand des Wassers zu einer höchst anschaulichen, zeitlupeartigen Bewegung zwingt, die dem Vogelflug erst durch filmtechnische Tricks abgerungen werden muss. Mit seiner Form und Dynamik inspirierte der Fisch die Architekten Doriana und Massimiliano Fuksas bei der Formfindung für den neuen Flughafen in Shenzhen, China.

Leider funktioniert die Freude an der reinen Assoziation auch hier nur so halb, denn der Manta in China bewegt sich nicht und die rund 65 Flugsteigschnorchel wirken von Weitem so, als hätten die Zwerge das arme Tier, wie einst den Riesen, am Boden fest ver-täut. Solche Assoziationen sind problematisch, egal ob zur Formfindung oder bei der nachträglichen Interpretation. Sie bleiben immer eine Frage des Maßstabs und der persönlichen Konditionierung des Betrachters. Jedenfalls beeindruckt die Großform als Ganzes wie in ihren einzelnen Abschnitten, derer man als Flugreisender im Gebrauch, also bei Ankunft oder Abflug, doch eher gewahr wird. So wird der Terminal im Wesentlichen von einem rund eineinhalb Kilometer langen Tunnelsystem gebildet.

Ein Gebäude dieser Ausdehnung verdient es zweifellos, vom Architekten eher wie eine Landschaft behandelt und modelliert zu werden, denn der Begriff „Haus“ greift hier längst nicht mehr und eine überkommene Säulen-, Balken- und Rechteckbauweise müsste dort zwangsläufig in totalitärem Größenwahn enden.

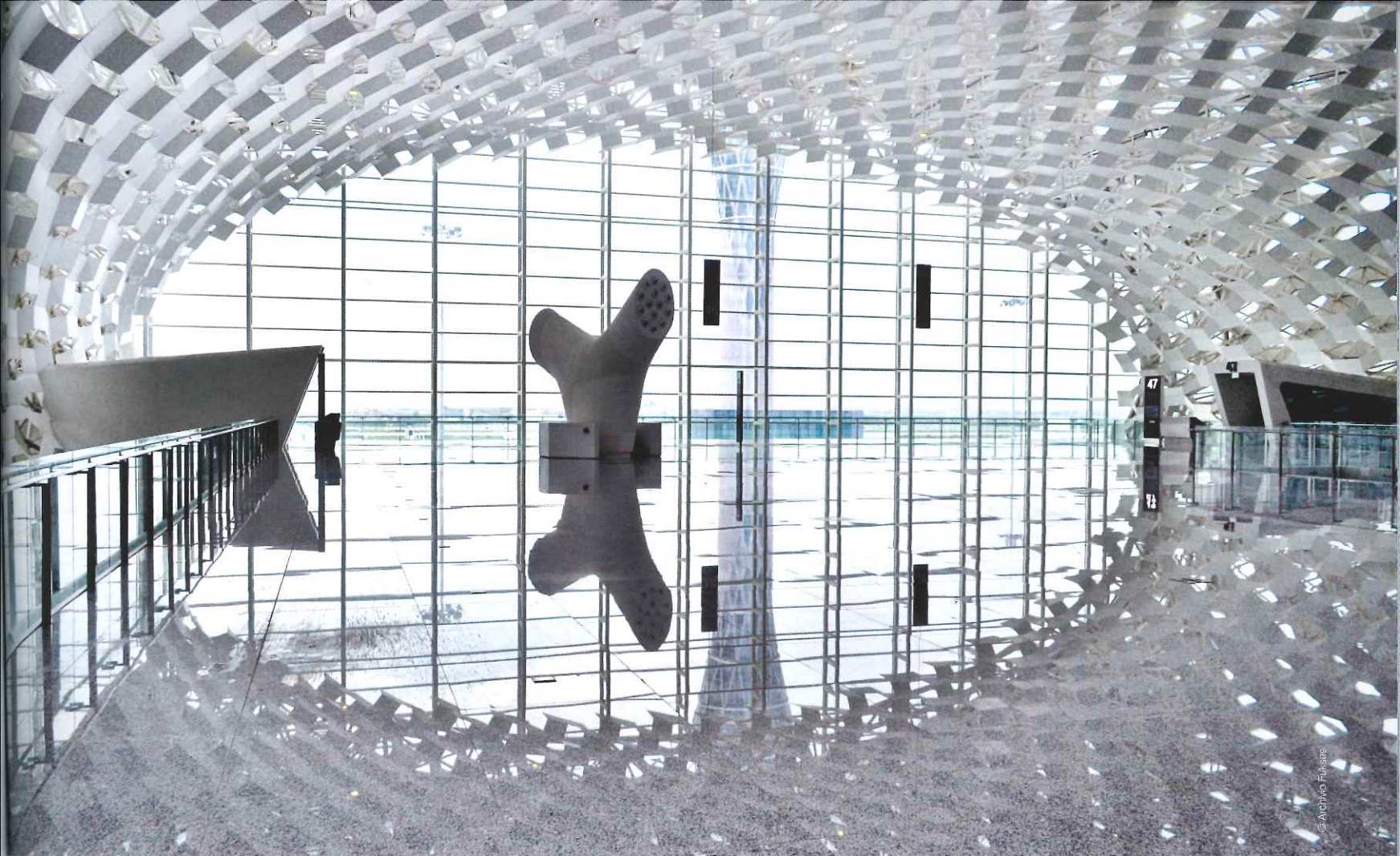
So umschließt Fuksas die kilometerlangen Ausläufer seines Terminals mit einer „wogenden“ Schuppenhaut, dem Fisch entsprechend, der dem Ganzen seine Form gab. Das klingt logisch und ist formal naheliegend, gleichzeitig aber die größte Herausforderung

für die Planung und in der Ausführung. Denn was sich so leicht mit dem 6B-Bleistift und schwungvollen Bewegungen der Hand auf ein Skizzenpapier zaubern lässt, war auch der Anfang eines sechs Jahre langen zähen Kampfes, zuerst mit den Software-Tools in den Büros und letztlich mit Beton, Stahl, Glas und Folien auf der Baustelle.

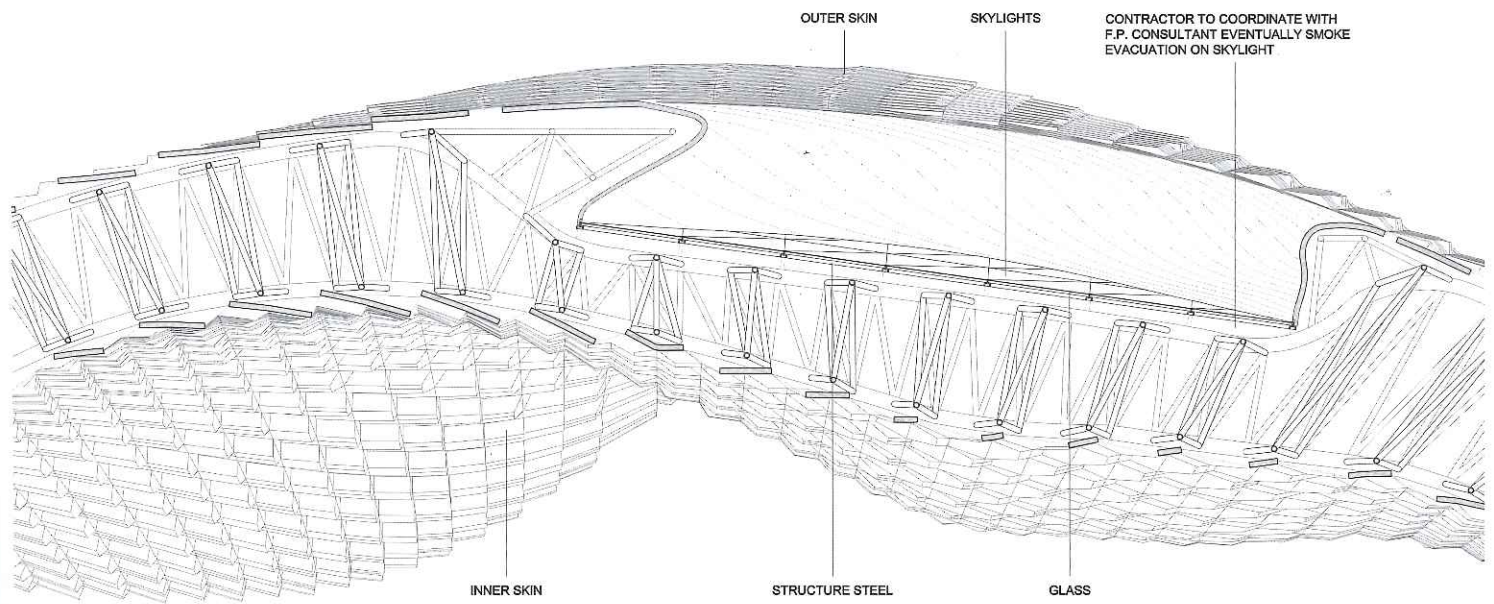
Was da auf den ersten Blick wirkt wie ein riesiges, luftig und locker übergeworfenes Kleid aus zartem Streckmetall, ist in Wirklichkeit eine äußerst komplex verformte, mehrschalige Dach-Wand-Fassade, zum Teil überhängend, die planerisch und konstruktiv alles andere als locker übergeworfen daherkommt. Denn auch hier gibt es Wasser, das abfließen können muss ohne Seen zu bilden, es gibt Scheiben aus Glas, die plan sein müssen, es gibt Fugen, Bewegungs- und statische Kräfte, die sauber aufgenommen und abgeleitet werden wollen – und das alles in einem Land, in dem am Bau die schiere händische Arbeitsleistung noch immer weitaus verfügbarer ist als technologisches Know-how.

All das hat den Ingenieuren so manchen Seufzer abgerungen, wenn sie die Baustelle besucht haben, und es hat letztendlich zu Lösungen und Lösungsfindungsprozessen geführt, die vorher so nicht abzusehen waren.

Andererseits ist der Airport in weniger als sechs Jahren geplant und gebaut worden – und er funktioniert – und die Kosten blieben wohl im Rahmen. Wer da an den Hauptstadtflughafen in Berlin denken mag, kann dies tun, sollte sich aber voreiliger Schlüsse enthalten. Gerade der BER-Architekt Meinhard von Gerkan hat schon so manchen Airport auf dieser Welt gebaut und zahlreiche Großprojekte in China – der kann das also. Auch möchten wir wohl kaum die politische Belegschaft in Berlin gegen die aus Peking eintauschen. Die Lösung muss irgendwo dazwischen liegen. FD

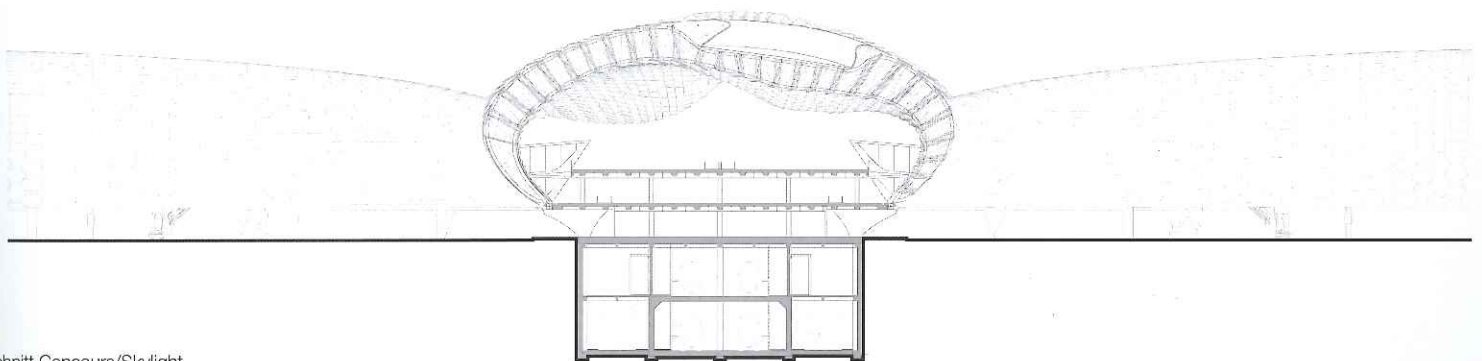


Kopfende/Abschnitt Haupt-Concourse



Detailschnitt Skylight

© Archvio Fuksas



Querschnitt Concours/Skylight

© Archvio Fuksas





Wie ein perforierter Überwurf umhüllt die Konstruktion der Außenhaut die Funktionsbereiche des Terminals, hier die weiträumige Abfertigungshalle.

### Über die integrierte parametrische Planung der frei geformten Gebäudehülle

Der Neubau des Terminal 3 des Shenzhen Bao'an International Airport ist das Ergebnis des erfolgreichen Wettbewerbsbeitrags von Massimiliano Fuksas Architects, Rom, unterstützt von den Ingenieuren von Knippers Helbig, Stuttgart, aus dem Jahr 2007.

Basierend auf einer vorgegebenen Gebäudeorganisation und Grundrissstruktur wurde eine frei geformte Terminalform entwickelt, die durch eine zweilagige, perforierte Dachstruktur einen differenziert gesteuerten Tageslichteinfall ermöglicht. Direkt angebunden an das Terminalgebäude befindet sich das Ground Traffic Center mit Anschluss an das Bahn- und Busnetz.

Die Gesamtfläche des Projekts beträgt circa 400.000 Quadratmeter. Der Flughafen hat eine Kapazität von 24 Millionen Passagieren pro Jahr. In weiteren Ausbaustufen soll die Kapazität auf 36 und 40 Millionen Passagiere in den Jahren 2025 beziehungsweise 2035 ausgebaut werden.

700 Meter weit spannt sich das Terminaldach über den Check-in-Bereich in bis zu 25 Meter Höhe und wird von schlanken Stützen im Raster von 36 Metern getragen. Von dort führt der Weg vorbei an Restaurants in den Main Concourse. Dabei erhält man einen Überblick über den ungefähr 1000 Meter langen Gebäudeteil, der durch eine stark modellierte Deckenform und die in Gruppen angeordneten, teilweise zweistöckigen Shops zu einem räumlichen Erlebnis wird.

Die Concourses sind stützenfrei, biegen bogenförmig bis zu 65 Meter aus und weisen eine Regelspannweite von 45 Meter zwischen den Lagern an den Fußpunkten auf. Am Kreuzungspunkt zu den quer abzweigenden Cross-Concourses öffnet sich eine circa 80 Meter weite Piazza. Die wabenförmige Fassade, bestehend aus der äußeren, dichten und der inneren, offenen Ebene, umfasst das Gebäude und lässt durch seine 25.000 Öffnungen teils diffuses, teils direktes Licht in das Innere. Ein Großteil der technischen Funktionen, wie Beleuchtung und Belüftung, sind im Fassadenzwischenraum untergebracht. Abschnittsweise horizontale Fensterstreifen mit einer Höhe von sechs Metern erlauben einen ungehinderten Blick auf das Vorfeld.

#### Von der architektonischen Idee zur diskreten Geometrie

Der sehr ambitionierte Zeitplan – in nur sechs Jahren vom Planungsstart bis zur Eröffnung des Flughafens – führte zunächst zu einer intensiven Auseinandersetzung über die Wahl geeigneter Planungstools. So wurde von Beginn an auf parametrisch kontrollierte Programmierung gesetzt. Während der Startphase des Projekts 2008 standen jedoch noch keine entsprechend konfektionierbaren Standardlösungen mit ausreichender Datenkapazität zur Verfügung, daher wurden eigene Lösungen entwickelt und programmiert.

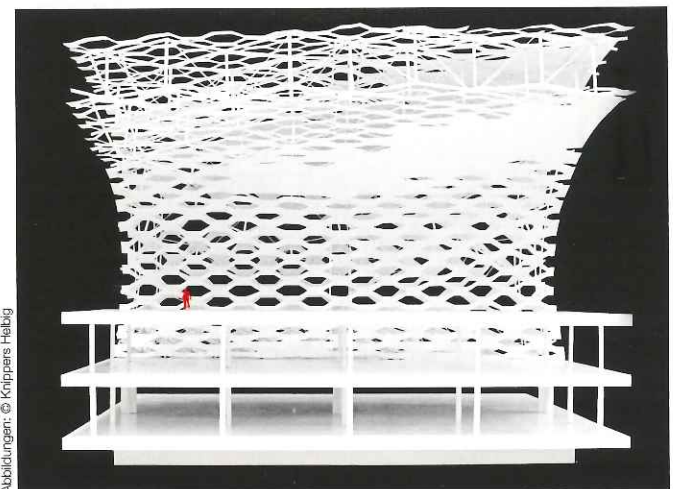
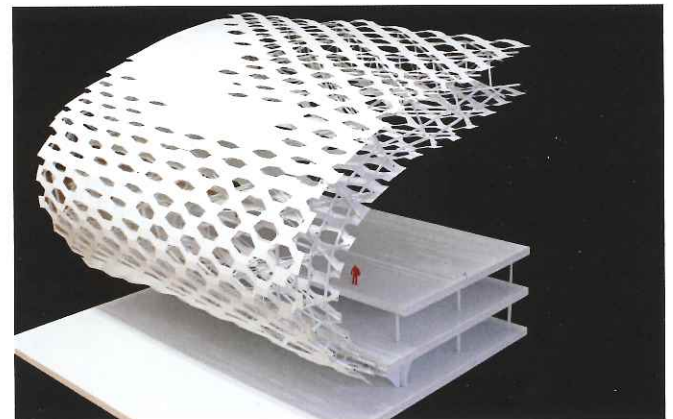
Die architektonischen Vorgaben von Massimiliano Fuksas, dargestellt in Zeichnungen, Ausschnitts- und Gesamtmodellen in unterschiedlichen Maßstäben, wurden auf den vom Architekten entwickelten, frei geformten Oberflächenmodellen der äußeren und inneren Hülle durch ein eigens programmiertes Softwaretool diskretisiert. So wurden zum Beispiel der Öffnungsgrad und der Neigungswinkel der Glasscheiben aufeinander abgestimmt und auf diese Weise der Tageslicht- und Energieeintrag lokal justiert.

Die Geometrieentwicklung umfasste darüber hinaus die Definition des Stabwerks der Stahlkonstruktion sowie die Koordinaten aller Fassadenbauteile der äußeren und inneren Fassadenhülle.

Die Programmierung erlaubte die iterative Optimierung der Fassade unter geometrischen und energetischen Gesichtspunkten in zeitlich sehr kurzen Intervallen, so dass die Entwurfsplanung für Fassade und Tragwerk innerhalb nur eines Jahres mit der Übergabe der Ausführungsgeometrie, der Statik und aller Regeldetails des Tragwerks und der Fassade abgeschlossen werden konnte. Die Planung wurde dann vom lokalen Design Institut BIAD, Peking übernommen.

#### Fassade und Tragwerk als integrierte Gebäudehülle

Das architektonische Konzept für das Terminal 3 sieht eine schlanke, gefaltete Struktur vor, die sich wie eine Haut mit einer Fläche von 300.000 Quadratmetern über das Tragwerk spannt. Die wabenförmige Grundgeometrie ist dabei, einer mathematisch präzisen Logik folgend, auf die zugrunde liegende Freiformfläche durch diskrete Punkte beschrieben. Den Raum zwischen den beiden Fassadenebenen nimmt das Stahltragwerk ein. Aufgrund der direkten Abhängigkeit beider Bauteile voneinander wurden die Geometrien der äußeren und inneren Fassadenebene und des eingeschlossenen Raumtragwerks in einem konsistenten Modell entworfen und über weitere Iterationsschritte verfeinert. Zwei wesentliche Entscheidungen stellen dabei sicher, dass die Nutzer den vom Bauherren gewünschten ungehinderten Ausbeziehungsweise Durchblick durch die Wabenstruktur auf das Flugfeld an allen Stellen des Concourse erleben können. So muss die Struktur der Stahlkonstruktion der diagonalen Anordnung der wabenförmigen Fassadenteile folgen. Ansonsten würden vertikale und horizontale Stäbe die Öffnungen durchkreuzen.

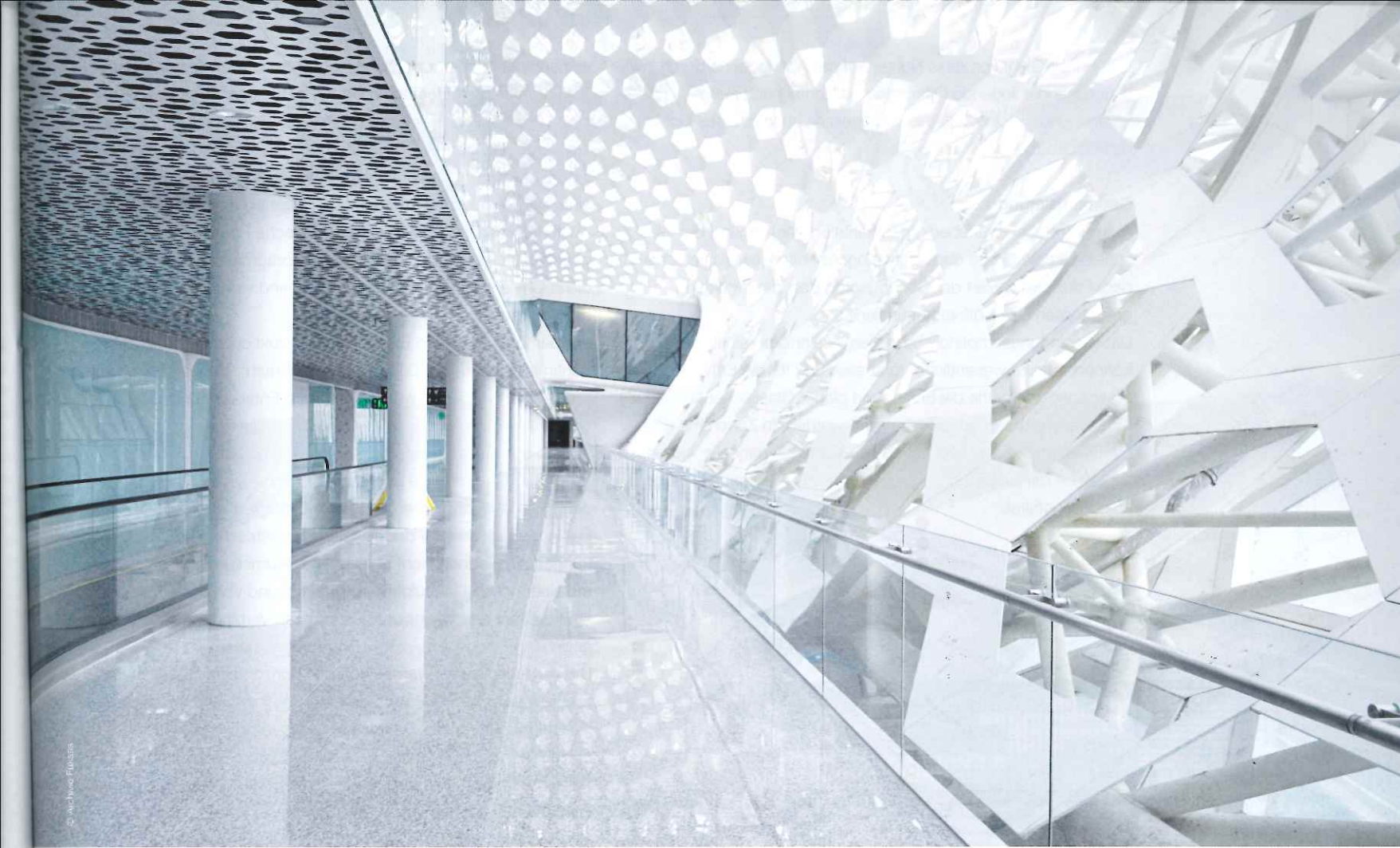


Abbildungen: © Knippers Helbig

#### Überlagerung von Fassade und Tragwerk im Modell

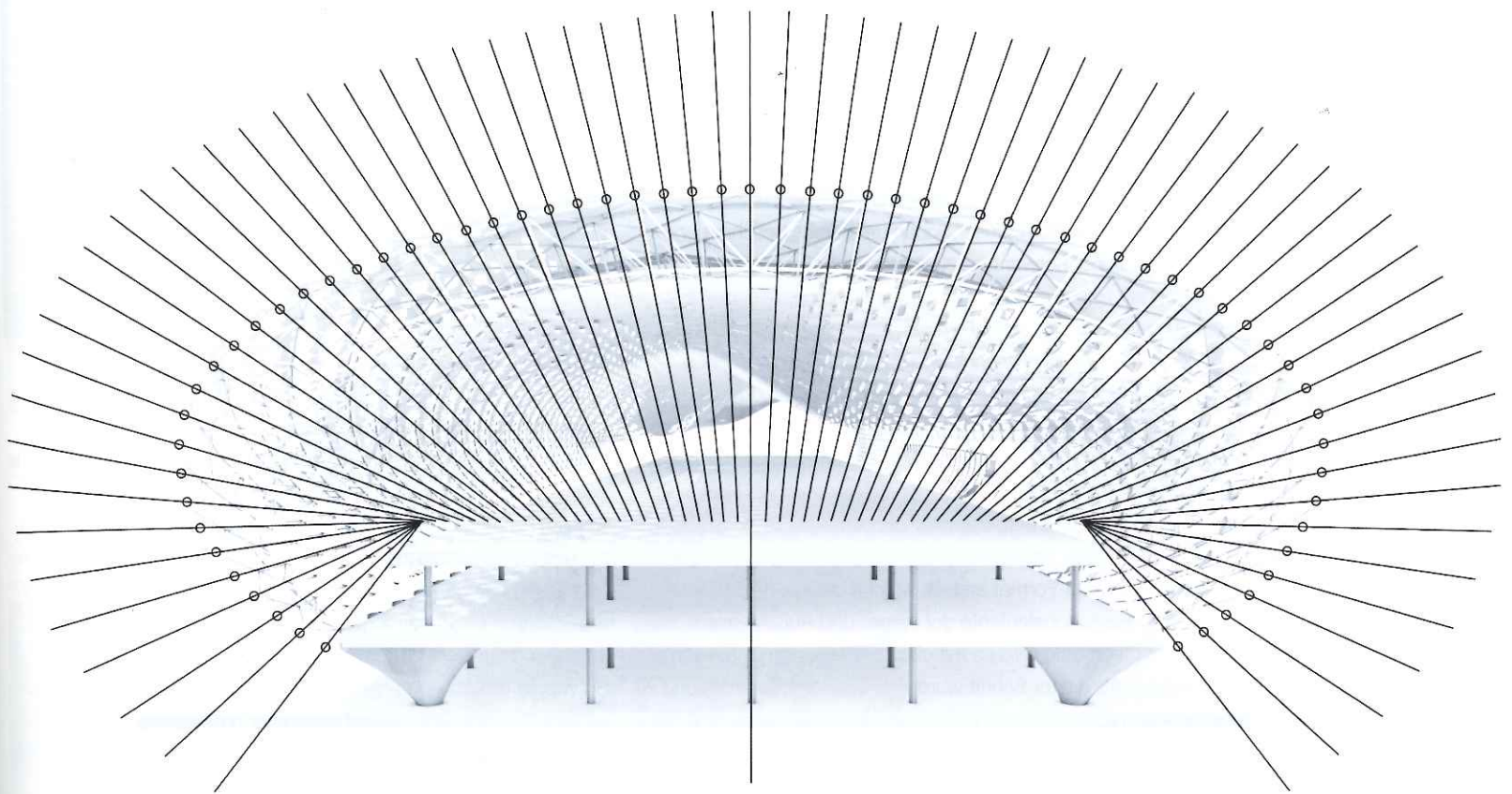
Mit der strahlenförmigen Ausrichtung und Synchronisation von Fassade und Tragwerk ist das Bildungsprinzip auch konsequent auf die Konfiguration der mehrlagigen Gebäudehülle angewendet.





© Architekturbüro

Randzone Concourse mit Einblick in die Tiefe der Konstruktion



Strahlenlogik der Concourse

© Knippers Helbig

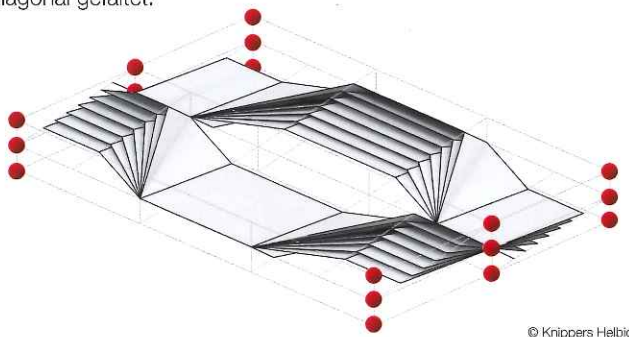
Das Prinzip sieht vor, dass Nutzer auf der Abflugebene durch zwei hintereinander liegende Öffnungen horizontal nach außen schauen können und gleichzeitig zu jeder Tageszeit auch direktes Licht in das Gebäude fällt.

### Geometrisierung

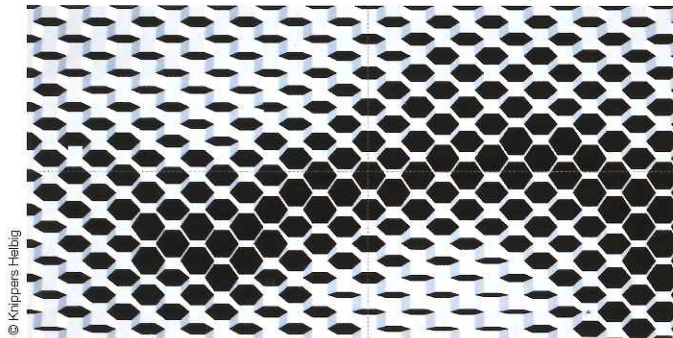
Aufgrund der entwurfsbedingten Variation der Neigung der Glasscheibe ist die Größe der Verglasungseinheiten jeweils verschieden. Prinzipiell variiert der Öffnungsgrad der Öffnungen von geschlossen bis geöffnet kontinuierlich.

Um verwindungsempfindliche Isolierglaseinheiten einsetzen zu können, ist eine wesentliche Voraussetzung für die Entwicklung der Glaspaneelgeometrie die Erzeugung planer Glasflächen, die über die jeweils sechs Eckpunkte definiert werden. In Zonen mit einfacher Krümmung sind alle – auch die Aluminiumpaneele – eben, in Bereichen mit zweiachsiger Krümmung sind die opaken Flächen diagonal gefaltet.

Paneeltypen mit unterschiedlichem Öffnungsgrad



Anordnung offener und geschlossener Öffnungen



In einem iterativen Planungsprozess wurden zahlreiche weitere numerische Randbedingungen eingebracht. So wurde das zugrunde liegende Software-Tool schrittweise um weitere Funktionen ergänzt. Dazu gehörten im Wesentlichen die bereits beschriebene Planaritätsprüfung, notwendige Kollisionskontrollen zwischen benachbarten Bauteilen, die Prüfung der sicherzustellenden Entwässerungsrichtung und des Gefälles, sowie der Tageslicht- und Energieeintrag. In einem nachgelagerten Selektionsprozess wurden schließlich Paneele mit ähnlichen Abmessungen durch entsprechende Toleranzgruppenorganisation in Einheiten identischer Maße sortiert, um die Anzahl unterschiedlicher Paneele zu minimieren. Dazu wurde die Fugenbreite über ein entsprechend hergeleitetes Toleranzfeld als Steuerparameter benutzt.

Die auf Rhino-Script basierende Software hat im Ergebnis Koordinatenlisten im Excel-Format erstellt, welche die xyz-Koordinaten aller 60.000 Fassadenelemente der Innen- und Außenfassade enthielten. Die Geometrie wird so mit circa 1,4 Millionen Datenwerten beschrieben. Als letzter Schritt wurde zur visuellen Kontrolle und zu Animationszwecken aus den Koordinatenlisten erneut ein vollständiges 3-D-Modell generiert, mit Bezeichnung aller Bleche und Nummerierung der Eckpunkte.

### Fassadenkonzeption und -ausführung

Für die konstruktive Ausbildung der Fassade wurden im Vorent-

wurfsstadium unterschiedliche Konzepte entwickelt; von vollständig vorgefertigten Elementen bis hin zu weniger komplexen Konstruktionen aus vorgefertigten Rahmenprofilen und auf der Baustelle aufzubringender Dämmung und Deckblechen. Im Ergebnis wurde in Abstimmung auf die lokalen Gegebenheiten eine relativ einfache Folienlösung favorisiert. Vor dem Hintergrund, dass für die Ausführung ausschließlich auf einheimische Ressourcen zurückgegriffen werden sollte, stellt dies eine pragmatische Lösung dar, die in China erprobt und von entsprechend vielen Firmen umgesetzt werden kann.

Auf der formgebenden Blechunterkonstruktion wurde eine zehn Zentimeter starke PU-Dämmung aufgebracht, die abschließend mit Polyurethan versiegelt wurde. Als obere Entwässerungsebene wurde eine EPDM-Folie eingesetzt, die an die Fensterprofile angeschlossen wurde – vergleichbar einer Flachdachausbildung. Die äußere und innere Hülle aus vorgefertigten Aluminiumblechen wurden passgenau zwischen den Rahmenprofilen eingehängt.

Die Innenfassade folgt der gleichen geometrischen Logik, die Öffnungen sind jedoch nicht verglast. Die Aluminiumbleche wurden mit einer hohen Genauigkeit vorgefertigt und von der Stahlkonstruktion mit dreidimensional justierbaren Verbindungselementen abgehängt.

Die Vertikalfassaden werden von den horizontalen Glasformaten und den vertikalen Vierendeelträgern dominiert. Die Träger sind an den Fußpunkten gelenkig und am Dach vertikal und lateral verschieblich gelagert. Jeweils zwei benachbarte Träger sind über die Riegel zu biegesteifen Leitern verschweißt, um Längskräfte in der Fassade aufnehmen und in die Bodenplatte ableiten zu können.

Die Fassaden sind teilweise um bis zu 30° auswärts geneigt und sind somit als Überkopfverglasung konzipiert. Sie sind mit horizontalen Pressleisten zweiseitig gelagert. An den Terminalecken wurde warm gebogenes Glas verwendet.



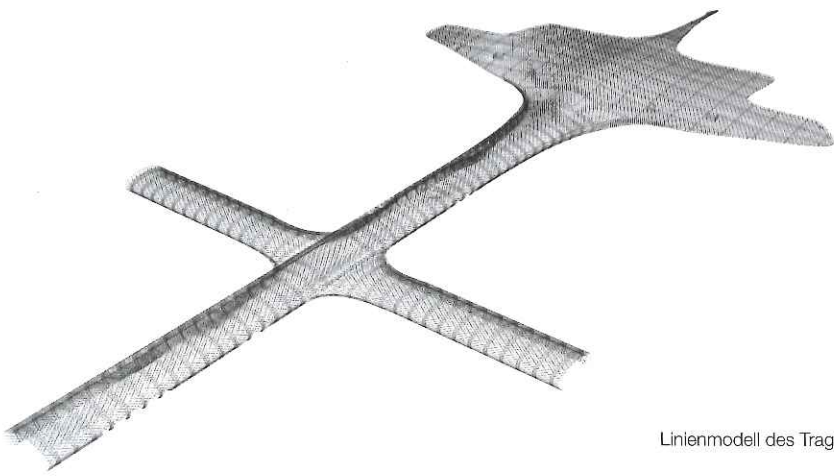
Terminaleingangsfassade

### Tragwerkskonzept und -dimensionierung

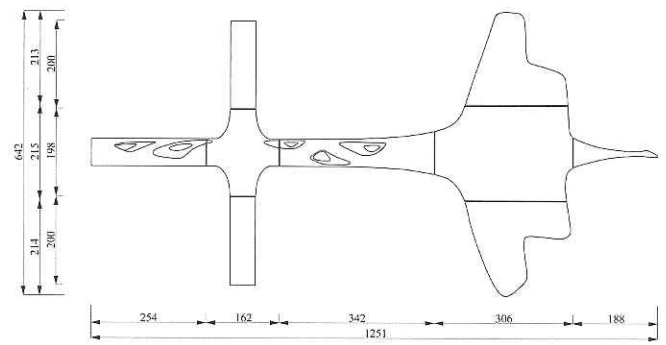
Aufgrund der engen geometrischen Abhängigkeit von der Fassade wurde das Linienmodell des Tragwerks simultan erzeugt. Hierzu wurden Referenzpunkte mit einem geeigneten Offset auf den Hüllflächen der äußeren und inneren Fassadenebene erstellt. Die Konfigurierung der Gurte und Pfosten erfolgte mit einem automatisierten Algorithmus. Zusätzliche lokale Aussteifungen wurden entsprechend statischer Erfordernis nachträglich eingefügt.

So war es möglich in enger zeitlicher Folge die Auswirkung unterschiedlicher Abstände zwischen innerer und äußerer Hülle zu untersuchen. Mittels eigens programmierter Tools wurde eine direkte Übernahme der Geometriedaten in die FEM-Software und die unmittelbare Analyse der Kräfte, Spannungen und Verformungen möglich. Hierdurch konnten letztlich signifikante Einsparungen in der Stahltonnage erzielt werden.



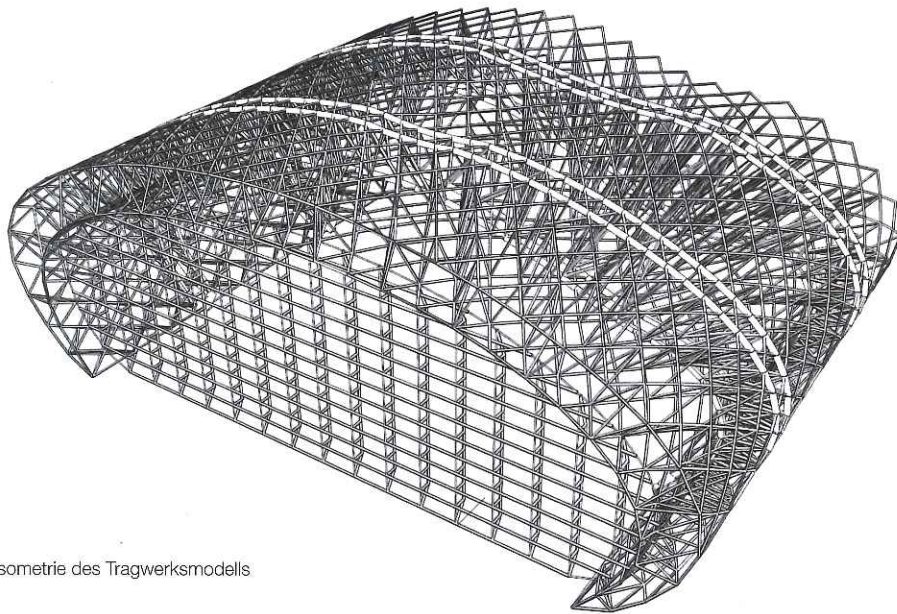


Linienmodell des Tragwerks



Segmentierung der Struktur

© Knippers Helbig



Isometrie des Tragwerksmodells



Bauzustand der Zwillingsträger

Das Terminaldach ist als zweiachsig spannender Trägerrost konzipiert mit Spannweiten von 36 Metern und Trägerhöhen von 3.0 bis 4.5 Metern. Die Stützen sind an ihren Fußpunkten gelenkig gelagert und in die Dachstruktur eingespannt. Das tischartige Tragsystem ist hinsichtlich der Steifigkeit der Bauteile und der Verbindungen so kalibriert, dass Ausdehnungen des Daches infolge von Temperaturschwankungen ohne große Zwangskräfte möglich sind, jedoch auch eine ausreichende Steifigkeit gegen horizontale Beanspruchungen wie z. B. Erdbeben gegeben ist. Darüber hinaus ist in die Stützen das Entwässerungssystem der circa 50.000 Quadratmeter großen Dachfläche vollständig integriert.

Eine besondere Herausforderung stellte die Segmentierung der circa 1.300m langen Stahlstruktur dar. Dabei waren zwei gegenläufige Optimierungsstrategien zu koordinieren: Eine unbehinderte, zwängungsarme thermische Ausdehnung der Stahlstruktur erforderte eine längsverschiebliche Lagerung, ausgehend von einem zentralen Festpunkt, während die hohen Horizontalbeschleunigungen durch Erdbeben auf möglichst viele Anbindungspunkte verteilt werden sollten, um hohe lokale Lastspitzen zu vermeiden. Es wurden daher an den Auflagerpunkten in Concourse-Längsrichtung gefederte Lager vorgesehen, wodurch auftretende Erdbebenlängskräfte auf alle Fußpunkte nahezu gleichmäßig verteilt werden. Dagegen rufen Temperaturendehnungen nur minimale Zwangskräfte - entsprechend der degressiv eingestellten Federkennlinien - hervor. Die Verwendung von Tellerfedern beiderseits des Lagerpunktes erlaubte eine platzsparende Anpassung an die lokalen Randbedingungen.

Die Fußpunkte sind in einem Abstand von 18 Meter angeordnet, ebenso wie die Querträger, die den Concourse zusätzlich gegen

die hohen, anzusetzenden Typhon-Windlasten aussteifen. Die diagonale Ausrichtung des Tragwerks stellt für sich allein keine hoch-effiziente Lösung dar, weil sie keine direkten Lastpfade bietet. Diese Funktion übernehmen die Querträger, die als „Zwillingsträger“ ausgebildet sind. Dadurch wird die visuelle Beeinträchtigung bei der Fassadendurchsicht minimiert. Die Querträger bestehen aus Rechteckhohlprofilen, deren Wandstärken anhand der lokalen Beanspruchung optimiert wurden, ebenso wie die Wandstärken der diagonalen Rundrohre. Am Auflagerpunkt werden diese zu einem großformatigen Gussteil zusammengeführt. Zum Zeitpunkt ihrer Herstellung gehörten diese zu den größten bis dahin in China gefertigten Gussteilen, deren große Wiederholzahl sie zu einer wirtschaftlichen Lösung machten.

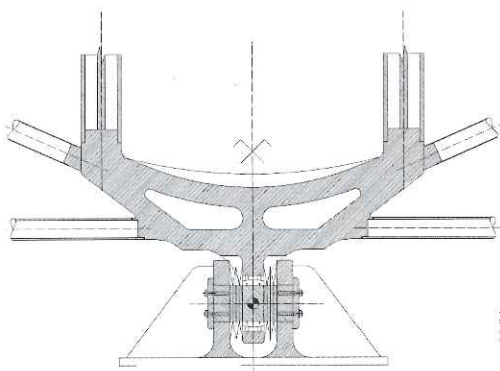
#### Über das Planen und Bauen in China

Eine Besonderheit des Planungsprozesses stellt der Umgang der chinesischen Genehmigungsbehörden mit Sonderkonstruktionen dar. Während Planer bei Projekten in Deutschland bei Lösungen außerhalb genormter Vorgaben aufwendige Genehmigungsverfahren, ausführliche Prüfungen und detaillierte Gutachten zu durchlaufen haben, wird in China in solchen Fällen oft eine Expertenkommission eingerichtet, die im Interesse des Bauherren die Umsetzbarkeit des vorgeschlagenen Entwurfs zu beurteilen hat. Die Expertenrunde setzte sich in erster Linie aus führenden chinesischen Ingenieuren, Professoren und Praktikern zusammen. Sie befassten sich mit großer Offenheit und Fachkompetenz mit den von uns vorgeschlagenen Lösungen und trugen so wesentlich dazu bei, dass unser in vielen Teilaspekten mit keiner Norm abdeckbares Projekt in so kurzer Zeit umgesetzt werden konnte. Uns europäischen Planern wurde stets großes Vertrauen entgegen gebracht, wengleich der Zeitdruck stets immens war. Die Übergabe der Planung erfolgte schrittweise über einen Zeitraum von circa acht Monaten. Nach und nach wurden Linienmodelle des Tragwerks übergeben, gefolgt von ausführlichen Tragwerksberichten, Konstruktionszeichnungen und Darstellungen der Konstruktion der Innenarchitektur. In einem letzten Schritt wurde die Ausführungsgeometrie der Fassadenstruktur in Form von Koordinatenlisten, Linien- und Flächenmodellen übergeben. Die Planung des Tragwerks sowie die Gesamtgeometrie wurden praktisch vollständig entsprechend der architektonischen und technischen Vorgaben übernommen, während die Fassade vereinfacht umgesetzt wurde. Die Entwurfsentwicklung ist das Ergebnis einer intensiven Zusammenarbeit des italienischen Architektenteams von Massimiliano Fuksas - unterstützt von uns deutschen Ingenieuren - mit den chinesischen Planern während der Ausführungsphase. Vor allem ist es aber der Unterstützung eines ambitionierten Bauherrn zu verdanken, dass die technisch und qualitativ adäquate Umsetzung dieses architektonisch außergewöhnlichen Entwurfs in extrem kurzer Zeit möglich war.



© Archivio Fuksas

Halle mit Blickrichtung zu den Eingängen



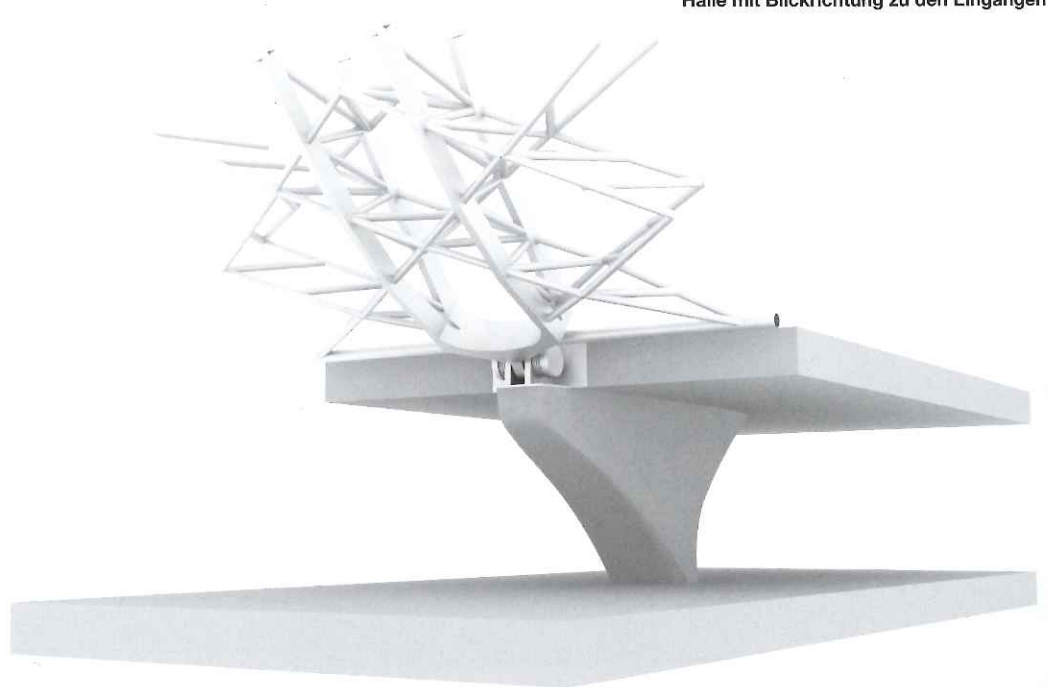
Lagerpunkt mit Tellerfedern

© Knippers Helbig



© Archivio Fuksas

Gussteil des Fußpunktes vor dem Einbau



Lage der Fußpunkte auf auskragenden Betonstützen

online

[www.fuksas.it](http://www.fuksas.it)  
[www.knippershelbig.com](http://www.knippershelbig.com)

© Knippers Helbig