

Fußballstadion

Leuchtendes Vorbild

▶ Das neue Stadion von Nizza, die „Allianz Riviera“, ist in vielerlei Hinsicht einzigartig. Das darin verbaute Holz brachte ein Plus in Sachen Nachhaltigkeit und ein Minus an Gewicht.



PROJEKT 1

Fußballstadion in Nizza

Es gilt als das Bauwerk mit der größten Holz-Stahl-Gitterkonstruktion, die je in einer solchen Geometrie gebaut wurde.

Stadion: Leuchtendes Vorbild	16
Tragwerk: Die baubare Lösung	20
Steckbrief	22
Montage: Puzzle eines Gesamtkunstwerks	24
Fazit: Meisterleistung Stadion	25



Das neue
Multifunktions-
stadion in
Nizza präsentiert
sich als trans-
parentes Bauwerk



Seit September 2013 hat die Stadt Nizza eine Attraktion mehr: das neue Multifunktionsstadion „Allianz Riviera“. Es liegt rund 10 km vom Stadtzentrum und etwa 5 km vom internationalen Flughafen entfernt. Hauptnutzer ist der Fußballverein OGC Nizza. 2016 wird das Stadion einer der Austragungsorte der Fußball-Europameisterschaft sein. Es gehört zu einer Familie von neun Stadien, die 2016 in Frankreich für die EM gebraucht werden.

Die Arena ist für 35 000 Zuschauer ausgelegt. Sie ist das erste Objekt des Raum- und Stadterschließungsprojekts „Éco-Vallée Plaine du Var“. Das Plusenergie-Stadion gilt als Vorzeigebauwerk in Sachen Nachhaltigkeit. Umweltbelange standen von Anfang an im Mittelpunkt der Planung.

Zwischen Entwurf und baubarer Konstruktion liegt ein Jahr Arbeit

Nach einem eingeladenen Wettbewerb unter drei Generalunternehmen, die jeweils mit einem Architektur- und einem Ingenieurbüro im Team angetreten sind, beauftragte die Stadt Nizza 2009 das Sieger-team Vinci Concessions zusammen mit dem Pariser Architekturbüro

Wilmette & Associés und dem Ingenieurbüro „Iosis et Egis Bâtiment“ mit dem Bau. Hierfür erhielten sie als Entwurfs- und Planungsvorgabe ein Pflichtenheft zu Nachhaltigkeitsaspekten. Das Stadion musste außerdem innerhalb von zwei Jahren fertiggestellt sein.

Die Idee einer organisch geschwungenen Konstruktion, die einerseits das Spielfeld luftig umschließt, andererseits die Hügelketten beidseits vom Var-Tal in seiner Form aufnimmt – die Dachfläche sollte korrespondierende Wölbungen erhalten –, war bald geboren. Doch es dauerte noch fast ein Jahr, bis sie in eine baufähige Konstruktion übersetzt war.

Dank 3D-CAD-Programmen ließ sich die umschließende Konstruktion, bei der die Architekten von Anfang an an eine netzartige Hülle dachten, relativ einfach generieren. Doch die eigentliche Arbeit begann erst nach der Generierung.

In den verschiedenen Schritten der Entwurfsplanung waren die konstruktiven Überlegungen mit den geometrischen Anforderungen nach und nach so in Einklang zu bringen, dass nach mathematischen Grundsätzen eine Reihe gleicher Bauelemente in einer geordneten Gesamtstruktur

▲ Schatten erhalten die Zuschauer von der PVC-Folie auf dem Holz-Stahl-„Gewölbe“, das über die Tribünen auskragt

entwickelt werden konnte. Die enge Zusammenarbeit der Architekten, der Tragwerksplaner und des Bauunternehmens sowie der ständige Austausch untereinander führten Schritt für Schritt zur baubaren Lösung.

Finanziert durch eine öffentlich-private Partnerschaft

Im Oktober 2010 präsentierte Nizzas Bürgermeister Christian Estrosi der Öffentlichkeit erstmals die Pläne für das Stadion. Finanziert von einer öffentlich-privaten Partnerschaft (Private-Public-Partnership, PPP-Modell), kostete die Allianz Riviera die private Investorengruppe Nice Éco Stadium (bestehend aus Vinci Concessions (50 %), ‚Caisse des Dépôts‘ und ‚South Europe Infrastructure Equity Finance‘) sowie Errichter und Betreiber 243,5 Mio. Euro. 69 Mio. Euro stammen von Zuschüssen für die Kommunen.

Bei dem im Sommer 2011 begonnenen und im Sommer 2013 fertiggestellten Bauvorhaben waren vier Regionaltöchter von Vinci Construction France und das Holzbauunternehmen Fargeot Lamellé Collé aus Vérosvres am Werk, zudem Regionaltöchter von Vinci Energies France.



ALLIANZ RIVIERA - SERGE DEMAILLY



Photovoltaik, PVC- und ETFE-Folien bieten gezielt Stromerzeugung, Schatten und Durchblick

ALLIANZ RIVIERA - MILENE SERVELLE

Holz für mehr Leichtigkeit und Nachhaltigkeit

Der Vorschlag aus dem Planungsteam, für das Tragwerk auch Holz zu verwenden, erschien den Architekten nicht gleich als die beste Wahl, überzeugte sie schließlich aber doch. Denn der nachwachsende Baustoff bot drei entscheidende Vorteile: seine Nachhaltigkeit, Stichwort „Reduzierung des „CO₂-Fußabdrucks“, die hohe Druckfestigkeit im Verhältnis zum Eigengewicht und die Verringerung des Eigengewichts des Gesamttragwerks, was sich positiv auf die zu berücksichtigende Erdbebensicherheit des Bauwerks auswirkt – denn Nizza liegt in einer Erdbebenzone.

Klarer Aufbau mit Transparenz und Energieerzeugung

Die Planer entwickelten ein Konzept aus Sockelbau, Tribüne und einer netzartigen Dachkonstruktion aus zwei Ebenen – einem Holzgitter und einem räumlichen Stahlfachwerk –, überspannt mit einer Membran.

Im Sockelbau aus Stahlbeton, der auch die Vorplätze mit ausbildet, kommen eine Tiefgarage und Umkleiden unter. Darüber hinaus integriert er

ein Einkaufszentrum und ein Sportmuseum. Damit wollte man das Areal auch außerhalb von Veranstaltungen im Stadion zum Anziehungspunkt machen und für die alltägliche Nutzung attraktiv gestalten.

In den Sockelbau ist die dreirangige Tribüne – ebenfalls aus Stahlbeton – eingebettet und das Ganze mit dem auskragenden Holz-Stahl-„Gewölbe“ überdacht. Als Abdeckung fungiert eine Membran.

Im senkrechten Bereich kam eine transparente ETFE-Folie (Ethylen-Tetrafluorethylen) zum Einsatz, die den Charakter des Dachtragwerks durchscheinen lässt, aber auch den Einfall von (Sonnen-)Licht erlaubt. Im waagrecht auskragenden Dachbereich dagegen wählten die Planer eine weiße PVC-Folie als Außenhaut. Bei Sonne spendet sie den Zuschauern darunter Schatten. Rundum verlegte 8500 m² Photovoltaikpaneele sorgen für einen Teil des benötigten Stroms. Einen anderen Teil liefert die Geothermie: Über Erdwärme wird warme und kalte Luft erzeugt.

Technik und Material des ökologischen Architekturprojekts erfüllen die Anforderungen des Performance-Standards Haute Qualité Environnementale (HQE). ■

Explosionszeichnung der baulichen Ebenen

Membran



Bogenrücken aus Stahl



Innenbogen aus Holz



Tribüne



Sockelbau



WILMOTTE & ASSOCIÉS



Tragwerk

Die baubare Lösung

► Das Stadion gilt als das Bauwerk mit der größten Holz-Stahl-Gitterkonstruktion, die je in einer solchen Geometrie gebaut wurde. Das Dachtragwerk bildet den technisch anspruchsvollsten Teil.

W eil das Stadion in einer Erdbebenzone der Kategorie 4 liegt, zielte der Entwurf auf ein leichtes und weiches Tragwerk ab, das im Erdbebenfall horizontale Kräfte abfangen kann. Heraus kam ein geschwungenes Dach aus 60 gewölbten Halbrahmen mit einem Innenbogen aus gekreuzten BS-Holz-Balken zur Aufnahme von Druckkräften und einem gekrümmten Bogenrücken aus Stahlrundrohr. Kombiniert wurde die Konstruktion mit Stahlrohren, die in ihrer Anordnung Pyramiden umschreiben und den Bogenrücken mit den gekreuzten Holzbalken als räumliches Fachwerk zusammenspannen. In Ebene des Holzgitters bilden je zwei Stahlrohre die Basis der Pyramiden und verbinden die Endpunkte der Kreuze. Die Lücken der auf Abstand nebeneinandergesetzten Halbrahmen werden mit einzelnen BS-Holz-Kreuzen geschlossen, sodass in der Gesamtschau eine Gitterstruktur aus Holz mit aufgeständerter Membran entsteht.

Zwei „Stahlgürtel“ als Auflager

In einer Höhe von 30 m über der Rasenfläche kragen die Holz-Stahl-Rahmen 46 m weit über die Tribünen aus. Sie stützen sich lediglich auf zwei Punkten ab: oben auf der Tribünenkrone und unten vor den Tribünenwänden, rund 2,5 m über dem Vorplatzniveau. Als Auflager dienen zwei Stahlträger. Der untere, 800 m lange „Stahlgürtel“ ruht auf V-Stützen, die im Sockelbau verankert sind und die auskragenden Halbrahmen dorthin zurückspannen. Horizontale Stahlträger, die in den Betonwänden verankert sind, halten den Gurt zusätzlich.

Betonbau in 14 Blöcke unterteilt

Damit das Gesamtbauwerk im Falle eines Erdbebens die seismischen Kräfte aufnehmen kann, wurde der Betonsockel mit den Tribünen in 14 Blöcke unterteilt. Die Blöcke schwingen separat und schwächen dadurch die Erdbebenlasten für das Dachtragwerk ab, das am oberen Auflager außerdem auf einem Gleitlager ruht.

Auch diese Maßnahme machte das Bauwerk zu einem Ausnahmeprojekt, denn nun galt es, die vielen Einzelelemente der Betonstruktur mit der umlaufend geschwungenen Dachkonstruktion in Einklang zu bringen. Hierfür mussten in jedem Kurvenbereich zusätzliche statische Berechnungen durchgeführt werden, die aufgrund der Komplexität der Geometrie und der unterschiedlichen Werkstoffeigenschaften der Baustoffe trotz Computer aufwendig zu berechnen waren – „das dauerte regelmäßig ganze Nächte“, erinnert sich der projektverantwortliche Tragwerksplaner Johann Jacquier vom Ingenieurbüro Egis Bâtiment.

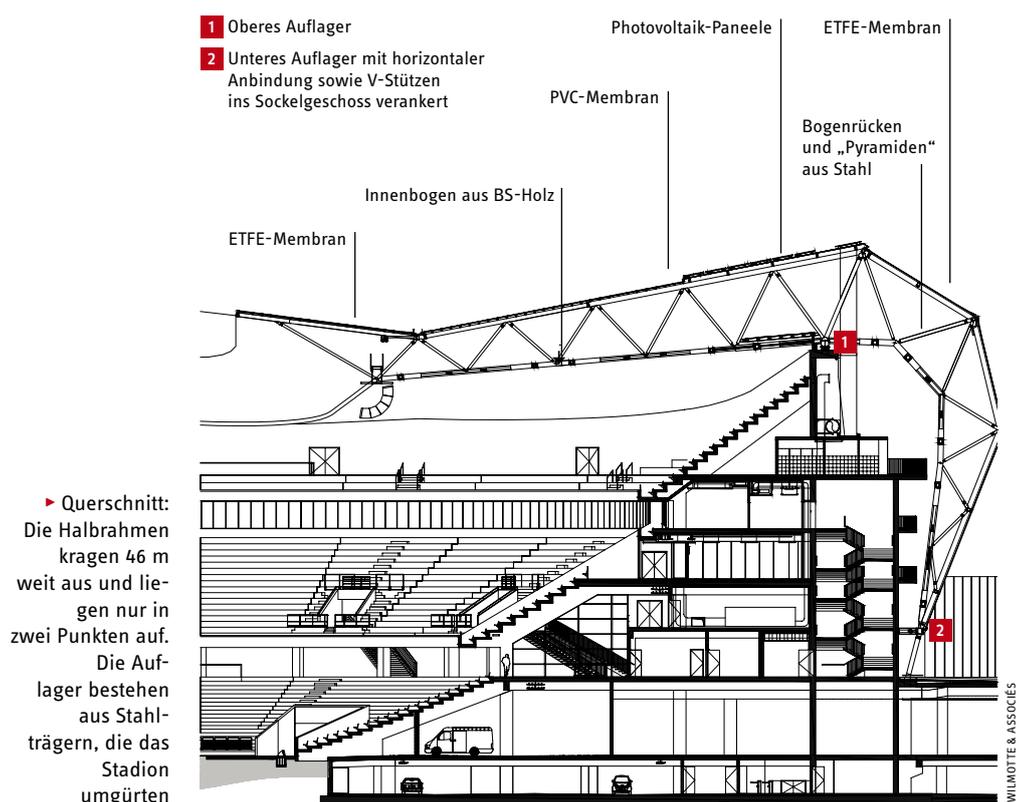
Äußere Einflüsse einberechnet

In die Berechnungen flossen außer der Geometrie und den anzusetzenden Lasten auch Werkstoffparameter wie Festigkeit und Steifigkeit ein, aber auch äußere Einflüsse wie Feuchtigkeit und Temperatur, unter denen sich Holz, Stahl und Beton (Kriechen und Schwinden) jeweils anders verhalten.

Um überhaupt zu einem berechenbaren statischen Modell zu kommen, haben Tragwerksplaner, Architekten und (Holz-)Bauunternehmen vom Entwurf an kontinuierlich zusammengearbeitet, wie Projektleiter Ralf Levedag vom Architekturbüro Wilmotte & Associés ebenso betont wie Johann Jacquier.

Entwurf mit Software umgesetzt

„Wir waren damit beauftragt, die Konstruktion und Geometrie des innen liegenden Gewölbobogens aus Holz bzw. des äußeren Gewölberückens aus Stahl zu konzipieren. Sobald uns die Architekten einen Entwurf lieferten – und derer gab es viele bis zur Lösung –, übersetzten wir ihn sofort mithilfe von speziellen Software-Programmen in ein geometrisch realisierbares Modell. So haben wir uns nach und nach an das architektonische Endergebnis herangearbeitet“, erzählt Jacquier. Anschließend konnten die Tragwerksplaner auch das statische Modell generieren, in das die zuvor genannten Parameter Eingang fanden.



Bauvorhaben:

Multifunktionsstadion Allianz Riviera in Nizza, Frankreich
www.allianz-riviera.fr

Bauweise:

Ingenieur-Holz-/Stahlbau

Bauzeit:

Juli 2011 bis September 2013

Baukosten:

243,5 Mio. Euro

Bauherr/Auftraggeber:

Stadt Nizza
F-06364 Nizza
www.nice.fr

Finanzierung:

Private-Public-Partnership-Modell (PPP)

Entwickler:

ADIM Côte-d'Azur
F-06202 Nizza
www.adim.fr

Generalunternehmer:

VINCI Concessions Rhône Alpes
www.vinci.com

Architektur:

Wilmotte & Associés
F-75012 Paris
www.wilmotte.fr

Tragwerksplanung:

ISOSIS et EGIS Bâtiment
F-78286 Guyancourt Cedex
www.egis.fr

Holzbau:

Fargeot Lamellé Collé
F-71220 Vérosvres
www.arbonis.com

Stahlbau:

SMB Construction Metallique
F-22440 Ploufragan
www.smb-cm.fr

Montage:

G.M.G. General Montaggi
Genovesi S.r.l.
I-16128 Genua
www.generalmontaggi.genovesi.it



ALLIANZ RIVIERA - MILENE SERVELLE

▲ An einem Verbindungs-knoten schließen immer Balken des-selben Typs an

Das Dachtragwerk als digitales Neuronennetz simulieren

Für die genaue Untersuchung und Verifizierung des Tragwerksmodells haben die Ingenieure drei Programme benutzt: eines zur Berechnung der Kräfte an den Auflagern und Knotenpunkten bzw. der Beanspruchung der Querschnitte und Bauteile, eines zur 3D-Modellierung für die Visualisierungen sowie das Programm, in das alle Parameter der Tragstruktur eingegeben werden konnten.

Mit der parametrischen Software ließ sich das Tragwerk als ein zusammenwirkendes Ganzes simulieren, ähnlich einem neuronalen Netz.

Lastszenarien Wind

Als äußere Last war vor allem Wind maßgebend. Insgesamt haben die Ingenieure dazu 18 Mio. Lastfälle am Computer durchgerechnet und davon 232 der pessimistischsten Windszenarien ausgewählt, um die Extremfälle durchzuspielen. Hinzu kam eine weitere Schwierigkeit, die die Berechnungen verkomplizierte: Die Verbindungsknoten des Holzgitters sind nicht starr, sie lassen Spiel zu.

Holzbalken senken Knotenzahl

Zur Aufnahme der Axialkräfte wählte das Holzbauunternehmen blockverklebte BS-Holz-Balken unterschiedlicher Dicke, die sich durchkreuzen. Dabei erhielt der höhere Querschnitt eine „Aussparung“ in Balkenmitte, durch die der andere Querschnitt „gefädelt“ werden konnte. Ein Bolzen

verbindet sie im Kreuzungspunkt. Die einzelnen Balken mit einer variablen Länge zwischen 7 m und 10 m stabilisieren sich gegenseitig und halbieren so ihre Knicklänge.

Bereits durch den Auflagerdruck der Holzkreuze ergeben sich Druckkräfte auf die Balken und damit Scherkräfte zwischen den äußeren und inneren Bereichen. Sie ließen sich manuell, empirisch oder mit der Finite-Elemente-Methode (FEM) berechnen. Entscheidend war hier vor allem, die Scherkräfte richtig zu dosieren, indem man die Balkenquerschnitte entsprechend dimensionierte. So sind die 58 cm breiten „Durchfädel-Balken“ zwischen 16 cm und 23 cm dick. Die Abmessungen der dazugehörigen Balken mit Aussparung variieren bei gleicher Breite in der Dicke zwischen 34 cm und 50 cm.

Tribünenkrone folgt geschwungener Linie

Die Tribünen wurden an allen vier Stadienseiten überhöht ausgeführt, damit hier möglichst viele Sitzplätze untergebracht werden können. In den Eckbereichen, wo man weniger gut sieht und weniger gerne sitzt, wurde die Tribünenhöhe zurückgenommen.

Das führt zu einer geschwungenen Linie der Tribünenkrone, die mit der des Daches korrespondiert. Diese veränderliche Höhe verläuft zwar in den gegenüberliegenden Stadienhälften der beiden Hauptachsen ebenfalls symmetrisch, schlug sich aber auch in der Geometrie jedes Dachrahmens nieder.

▼ Ausschnitt des 3D-Modells mit Betonstruktur und gewölbtem Halbrahmen als auskragende Überdachung



WILMOTTE & ASSOCIÉS



VINCI - F. VIGOUROUX

◀ Die Halbrahmen werden auf „Lücke“ montiert, weitere Holzkreuze ohne Stahlüberbau schließen sie

▶ Das Dachtragwerk nimmt die Wellenbewegung der Tribüne auf



VINCI - F. VIGOUROUX

Spezielle Stahlschlussknoten verbinden sechs Bauteile

Das Holzbauunternehmen hat für die Netzstruktur zur Verbindung der Stahl- und Holzbauteile ein schmetterlingsförmiges Stahlschlussblech in Kombination mit der Stahlrohr-„Pfette“ entwickelt. Daran können je vier Holzbalken über eingeschlitzte

Bleche sowie die Stahlpyramiden in einem Knotenpunkt verbunden werden. Um die einzelnen Teile der Dachkonstruktion industriell herstellbar zu machen und in Serie fertigen zu können, musste eine Geometrie gefunden werden, die bis zu einem gewissen Grad eine Wiederholung ermöglicht. Vor allem aber galt es, eine präzise Geometrie für das Holzgitter

zu entwickeln, da es die Geometrie der kompletten Überdachung vorgibt. So haben die Ingenieure das Stadion in vier Viertel und diese Viertel wiederum in drei Teile geteilt, wobei jedes dieser Teile eine eigene Drehachse hat. Die sich daraus ergebenden Radien und Achsen dienen dann zur Positionierung und Ausrichtung der Holzbalken und Verbindungen. ■



BESUCHEN SIE UNS AUF DER DACH+HOLZ:
18. – 21. FEBRUAR 2014
IN HALLE 6, STAND 6.119

DESIGN

ERLUS^e

Ergoldsbacher Linea® – Glatt, pur, konsequent.

Den Gewinner des iF design awards erkennt man an der optisch ruhigen Fläche durch eine konsequente Linienführung. Das spezielle Sinterbrandverfahren bei ca. 1.200 °C verleiht ihm zudem besondere Eigenschaften gegen aggressive Umwelteinflüsse.

www.erlus.com/ModelleDesign/Linea



NEU
Ergoldsbacher Linea®
Sinterbraun engobiert

Montage

Puzzle eines Gesamtkunstwerks

▶ Das Dachtragwerk besteht aus Tausenden verschiedenen Bauteilen und Anschlussknoten. Eine minutiöse Arbeitsvorbereitung ermöglichte die richtige Zuordnung. Am Ende schloss sich das Puzzle zum Gesamtkunstwerk.



VINCI - F. VIGOUROUX

◀ Die Holzbalken der Füllkreuze sind im Kreuzungspunkt bis zu einem gewissen Grad drehbar. Die Anschlussbleche werden bei der Montage durch ein „Aufklappen“ der Schenkel in die der Halbrahmen gedreht

Mit der Montage hat der Generalunternehmer Vinci das in solchen Großprojekten erfahrene italienische Unternehmen General Montaggi beauftragt. Für die Vormontage standen 3 ha Baustellenfläche zur Verfügung, denn die zu montierenden Bauteile wurden alle vor Ort gelagert.

Zur Vormontage haben die Planer die Halbrahmen in drei Teile geordnet: den vertikalen Teil, den oben aufliegenden Teil – quasi das Dach – und den Überstand. Die Montage der drei räumlichen Fachwerke erfolgte am Boden. Per Lkw zur Einbaustelle gefahren, hob sie ein 800-t-Kran an die richtige Stelle und platzierte sie mithilfe eines Positionierungsgeräts. Dies war zum einen notwendig, um die ersten Rahmenteile vorläufig in Stellung zu halten, bis die anderen Elemente angeschlossen waren. Zum anderen auch zur exakten geometrischen Justierung der Elemente, von denen jedes auch in einem anderen Neigungswinkel anzuordnen war.

Halbrahmen auf Abstand montiert und mit Kreuzen gefüllt

Aufgrund der Symmetrie des Bauwerks über die beiden Hauptachsen kommen alle Holz- und Stahlbauteile des Dachtragwerks vier Mal vor. Ein minutiöser Bauablauf und detaillierte Positionspläne halfen, alles perfekt einzubauen. Nach der Montage der Teile 1 und 2 wurden diese vom Vermesser überprüft und Maßtoleranzen durch Feinjustierung millimetergenau ausgeglichen.

Danach schlossen die Monteure die Lücken mit den Verbindungskreuzen ohne „Stahlüberbau“. Die

Holzkreuze lassen sich aufgrund des Spiels im Kreuzungspunkt bis zu einem gewissen Grad wie ein Fächer um diesen Drehpunkt „zusammenklappen“.

Das hatte den Vorteil, dass die Füllkreuze problemlos zwischen den Halbrahmen platziert werden konnten und sich die Anschlussbleche durch „Aufklappen“ der Schenkel einfach in die der Rahmen hineindrehen und verbinden ließen.

Möglichst unsichtbare Verbindungen

Die Planer wünschten sich eine Verbindung, bei der man die Anschlussbleche möglichst nicht sieht. Hierfür wurden die Decklamellen der BS-Holz-Balken einseitig verlängert und die Enden unter einem Winkel abgelenkt. Im Anschlusspunkt fügen sich diese Brettverlängerungen dann wie Puzzleteile zusammen und verdecken in der Untersicht die Verbindungsknoten. Zur Lösungsfindung hatten die Planer zuvor ein 1:1-Modell gefertigt. Nicht nur gibt es (60 : 4 =) 15 verschiedene Halbrahmen mit einer

► Teil 2 der Halbrahmen – quasi das Dach – liegt auf der Tribünenkronen auf. Teil 3, die Auskrängung, kann folgen



VINCI - F. VIGOUROUX

Vielzahl unterschiedlicher Bauteile, die alle nur an einer bestimmten Stelle passen, sondern auch die Stahlteile mit ihren Anschlussblechen sind immer verschieden. Grund dafür ist: die Winkel der anzuschließenden Bauteile, egal ob Holzkreuz oder die Stahlrohre der Pyramiden, ändern sich kontinuierlich. Das wiederum hat zur Folge, dass sich damit

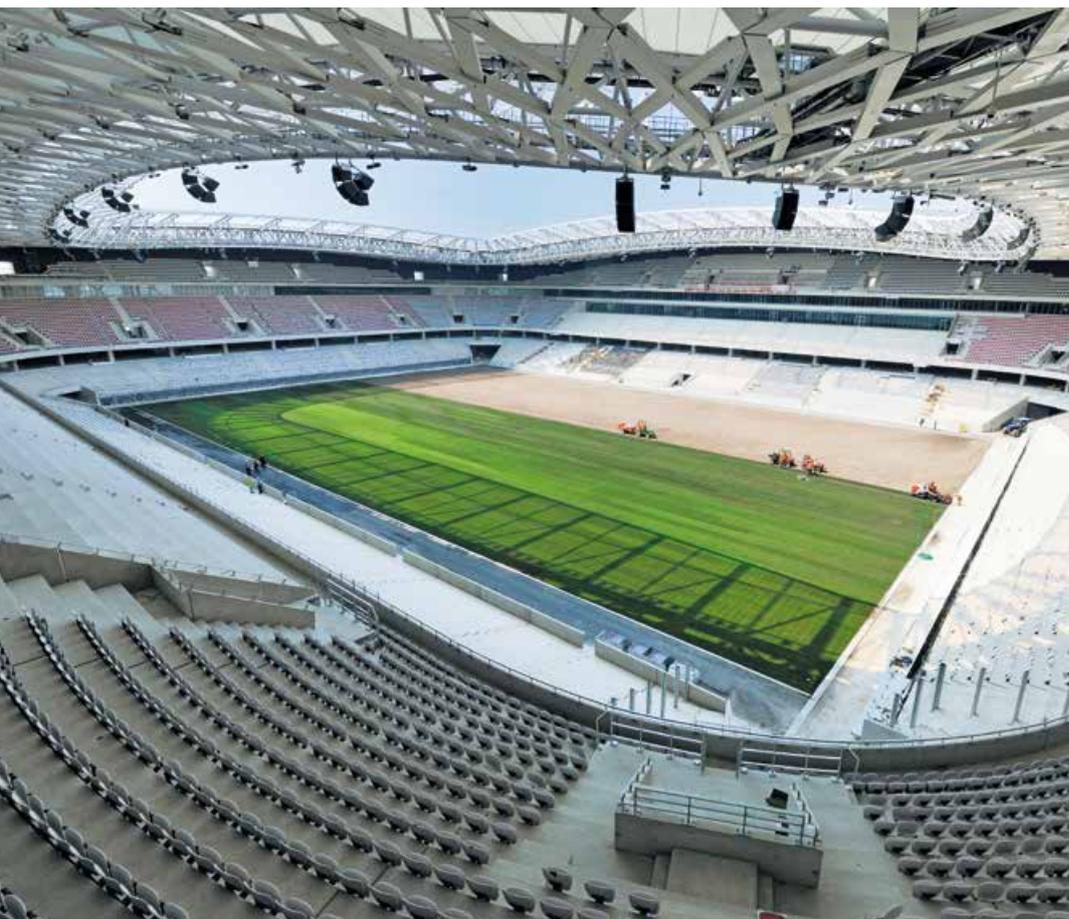
auch die Winkel der Anschlussbleche verändern.

Linktipps

Kurzfilme zum Bauablauf:

- www.tinyurl.com/ka43epo
- www.tinyurl.com/ml4jf4f

Dipl.-Ing. (FH) Susanne Jacob-Freitag,
Karlsruhe ■



ALLIANZ RIVIERA - VIGOUROUX

PROJEKT 1

Fazit

Meisterleistung Stadion

Dass es überhaupt möglich ist, eine derart komplexe Geometrie dieser Größenordnung mit so vielen Bauteilen und Anschlussknoten zu errichten, kann als Meisterleistung bezeichnet werden. Sie ist das Ergebnis optimaler Zusammenarbeit zwischen allen Planungsbeteiligten, in Kombination mit modernsten Software-Programmen und dem Ingenieursverstand, der sie sowohl richtig einzusetzen weiß als auch die jeweiligen Ergebnisse des iterativen Annäherungsprozesses zu deuten versteht. Das Ziel, ein leichtes und weiches Tragwerk zu schaffen, haben die Planer dank Holz und den Tausenden von Gelenkverbindungen erreicht.