



Brasilien – zwei Brücken für São Paulo Deutsche Ingenieure in Südamerika

Helmut Wolf
Andreas Gausmann
Peter Kotz
Tomás Mendes Martins
Matthias Stark

Brasilien – zwei Brücken für São Paulo

Deutsche Ingenieure in Südamerika

Seit mehr als zehn Jahren glänzt Brasilien mit starkem Wachstum und enormer Investitionskraft. Der Nachholbedarf gerade an funktionsfähiger Infrastruktur, sei es Straße, Bahn, Hafen oder Flughafen, ist enorm. Gute Chancen für gute Ingenieure. SSF Ingenieure ist seit knapp vier Jahren in Brasilien engagiert und seit rund einem Jahr mit einer eigenen Auslandstochter vor Ort präsent.

Die beiden nachfolgenden Brückenbeispiele, die in den Verkehrsraum einer der Hauptverkehrsadern der Mega-City São Paulo einzubinden waren, zeigen die Aufgaben und Besonderheiten, spezielle, genau an schwierige Randbedingungen angepasste Lösungen in bautechnischer und ästhetischer Hinsicht zu finden:

- Herstellung einer fly-over-Brücke mit einem sehr geringen horizontalen Krümmungsradius, starker Kuppenausrundung und großer Querneigung inmitten einer elfspurigen Stadtautobahn
- Querung dieser Stadtautobahn und zweier parallel verlaufender S-Bahnlinien mit einer Radwegbrücke großer Stützweite bei minimaler Beeinträchtigung des Verkehrs und mit Implementierung einer für Brasilien neuen Bauweise, der VFT®-Bauweise [1].

Die komplexen Geometrien, die komplizierten Verkehrsbeziehungen mit sehr beengten Verhältnissen und der hohe Gestaltungsanspruch erforderten ein hohes Maß an Planungsarbeit, Detaillierung und bautechnischer Arbeitsvorbereitung.

Keywords Spannbetonbauweise; Verbundfertigteilträger-Bauweise; Radwegbrücke; fly-over-Brücke; Tiefgründung; innerstädtisch

1 Prolog

Jenseits von Karneval, sportlichen Großereignissen und Touristen an der Copacabana befindet sich Brasilien in einem wirtschaftlichen Aufstieg, wenn auch derzeit gebremst und nach wie vor mit unübersehbaren Gegensätzen.

Viel ist nachzuholen, vor allem in der Infrastruktur. Das Know-how deutscher Firmen ist da gerne willkommen.

2 Allgemeines

Seit rund einer Dekade verzeichnet Brasilien ein starkes Wirtschaftswachstum. Inzwischen ist das Wachstum zwar abgekühlt und in eine Konsolidierungsphase übergegangen,

Brazil – Two Bridges for São Paulo – German Engineers in South America

For more than ten years Brazil has been shining with strong growth and massive investment power. The need to catch up, especially with functioning infrastructure, whether it is road, railway, port or airport, is still enormous. Good opportunities for good engineers.

SSF Ingenieure has been engaged in Brazil for almost four years and since one year it is present there with its own overseas subsidiary.

The two following examples of bridges that had to be integrated into the infrastructure area of one of the main traffic axes of the mega city São Paulo, demonstrate the tasks and particularities of finding solutions specially and exactly adapted to boundary conditions in view of construction technology and aesthetics:

Construction of a flyover bridge with a very low horizontal curvature radius, strong crest curve and large transversal incline in the middle of an 11-lane city highway, the crossing of this highway and of two parallel metro lines by a bicycle bridge of large span widths with minimum influence on traffic, and implementation of a construction technology, the VFT® method, new for Brazil.

Complex geometries, complicated traffic relations in very confined conditions and the high design demands required comprehensive design work, detailing and preparation of construction works.

Keywords prestressed concrete construction method; prefabricated composite girder method; cycle bridge; fly-over bridge; deep foundation; inner urban

gen, dennoch sind ein solider Beschäftigungszuwachs und ein gleichbleibend hohes Investitionsniveau für die kommenden zehn Jahre, insbesondere auch im Infrastrukturbereich, prognostiziert. Dies und ein nach wie vor beständig hohes Bauvolumen bei entsprechendem Nachholbedarf, ein Mangel an Ingenieuren und nicht zuletzt auch das Wohlgefallen an deutschem Ingenieurgeschick (trotz BBI!) bieten Potenzial auch und gerade für Ingenieurbüros aus Deutschland.

SSF Ingenieure ist seit nunmehr fast zehn Jahren in China mit einer Beteiligungsfirma im Consulting und der Supervision von Hochgeschwindigkeitsstrecken der Bahn engagiert und hat seitdem neben der Mitwirkung an deutschen Strecken viele Hundert Kilometer an HGV-Strecken samt zugehöriger Ingenieurbauwerke in China betreut.



Bild 1 São Paulo, Marginal Pinheiros/Avenida das Nações Unidas. Blick Richtung Süden: links im Bild „Parque do Povo“ und dahinter „Complexo JK“, rechts die 2gl. S-Bahn-Linie der CPTM. Ansicht noch ohne Brücken...

São Paulo, Marginal Pinheiros/Avenida das Nações Unidas. View in direction south: in the image on the left "Parque do Povo" and behind it "Complexo JK", on the right the 2-tracked metro line of CPTM. View without bridges...



Bild 2 3-dimensionale (NX) Darstellung des fly-over: Im Vordergrund Achse 10 – Bereich Av. Kubitschek, im Hintergrund das Rampenbauwerk – Bereich Stadtautobahn. Pfahlkopfplatten der Pfeiler jeweils ausgerichtet auf die Konturen der Fahrbahnbegrenzungen (Darstellung noch mit Pfahl- \varnothing 1,20)

3-dimensional (NX) representation of fly-over. In the foreground axis 10 – area of Av. Kubitschek, in the background the ramp structure within the city highway. Pile caps of piles aligned with the contours of the edge marking (representation still with pile \varnothing 1,20 m)

Expertise genug, um auch Richtung Südamerika, mit Brasilien als zukünftigem Bauherren einer solchen Strecke von Rio de Janeiro nach São Paulo (ca. 580 km), zu schießen. Der „Trem Bala“, die „Pistolenkugel“, wie der Schnellzug in Brasilien genannt wird, ist zwar trotz mehrmaliger Anläufe während der letzten drei Jahre nach wie vor nicht auf den Weg gebracht, das Haus SSF Ingenieure konnte aber im Rahmen dieser Akquisitionstätigkeiten viele Kontakte knüpfen und verfügt nach rund dreieinhalb Jahren Präsenz nicht nur über ein veritables Netzwerk und solide Kooperationspartner in Brasilien, sondern konnte in diesem Umfeld auch Projekte wie die beiden nachfolgend beschriebenen Brücken in São Paulo für sich gewinnen.

Das oben erwähnte positive Umfeld rund ums Planen und Bauen und nicht zuletzt auch der anständige, res-



Bild 3 „Nächtliche Beleuchtung“ – Visualisierung im Zuge der Konzeptentwicklung Viaduto (Architekten LangHuggerRamp, im Hause SSF Ingenieure, München)

„Illumination at night“ – Visualisation in the framework of the viaduct's concept development (architects LangHuggerRamp, in SSF Ingenieure's offices, Munich)

pektvolle und jederzeit konstruktive Umgang miteinander mündete in der Zuversicht, mit der Gründung einer Tochterfirma in 2013 mit individuellen, für deutsche Verhältnisse manchmal auch sehr unkonventionellen Lösungen, die sich von der Standardplanung abheben, dauerhaft auf dem brasilianischen Markt zu bestehen.

Brasilianische und portugiesische Ingenieure, die nicht nur vor Ort in Brasilien, sondern auch im Stammhaus in München sitzen, unterstreichen das mit Nachdruck. Denn auch wenn elektronische Kommunikationsmittel heute den Kontakt mit allen Erdteilen erleichtern, bleibt neben der oft lästigen Zeitverschiebung die Sprachbarriere bestehen.

Mit Englisch kommt man in Brasilien nur recht bedingt weiter, zudem erwarten die Kunden selbstverständlich, dass man auf Portugiesisch mit ihnen kommuniziert.

3 Zwei Brücken für São Paulo

Mit der Sanierung eines jahrelang leer stehenden Bürotowers auf einem verwaisten Gelände und dem Neubau einer der luxuriösesten Shoppingmalls von São Paulo, dem „Complexo JK“, einem Gebäude mit mehr als 150 000 m² BGF-Einkaufsfläche sowie zwei weiteren Bürohochhäusern begann am westlichen Ende von Itaim Bibi, direkt am Rio Pinheiros gelegen, eine signifikante Aufwertung des Areals „Zona Sudoeste“ und des anschließenden Volksparks „Parque do Povo“.

Der Projektentwickler *W Torre Empreendimentos* zeichnet verantwortlich für die Entwicklung des Geländes einschließlich der Sanierung und dem Unterhalt des Parks. Im Rahmen der Grundstücksverhandlungen mit der Stadt übernahm der Projektentwickler und Bauherr die – für deutsche Verhältnisse sicherlich ungewöhnliche – Verpflichtung zum Bau einer Straßenbrücke als fly-over zur Verbesserung der örtlichen Verkehrssituation als auch den Neubau einer Passarela, einer Radwegbrücke, am



Bild 4 Luftbild: Blick Richtung Osten auf das fast fertiggestellte Viaduto und das Hochhausmeer von São Paulo. Bild links: „Parque do Povo“, rechts im Vordergrund „Complexo JK“. In der Bildmitte Av. Kubitschek mit Tunnelabgang/Tunnelgalerie
 Aerial image: View in direction east onto the almost completed viaduto and São Paulo’s sea of skyscrapers. In the picture left the people’s park “Parque do Povo”. In the foreground on the right “Complexo JK”. In the centre of the picture: Av. Kubitschek with tunnel descent/tunnel gallery

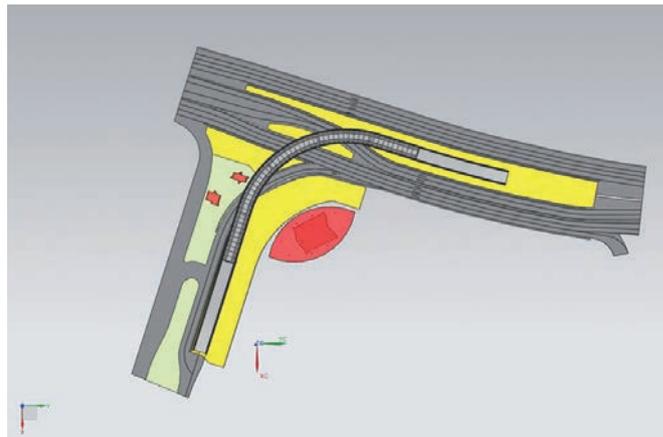


Bild 5 Darstellung aus NX 3D-Bauablauf-Simulation zur Herstellung des Überbaus, erforderlichen Verkehrsführungen und Baufeld
 Representation from the NX 3D simulation of construction sequence for superstructure construction, required traffic guidance and construction site

Park. Beide Brücken gehen nach Fertigstellung in die Unterhaltlast der Stadt São Paulo über.

Die ersten Gespräche bezüglich der geplanten Bauwerke, die letztendlich in einer freien Vergabe an SSF Ingenieure mündeten, wurden im Frühjahr 2011, bereits unmittelbar nach einem ersten Kennenlernen im Rahmen einer Vorstellung des Büros, geführt. Im Sommer stand nach mehreren konzeptionellen Vorschlägen und Abwägungen zu Material, Kosten, Gestaltung und insbesondere zur Herstellbarkeit im hochbelasteten Verkehrsraum zumindest als Konzept – eine Art Ergebnis der Vorplanung – die Typologie der fly-over-Brücke, deren verkehrstechnische Nutzung als Bedingung für die Eröffnung der Shoppingmall festgeschrieben und damit zeitkritisch war, fest.

Äußeres Erscheinungsbild und Detailgestaltung wurden über Visualisierungssequenzen durch die Architekten LangHuggerRampp (im Hause SSF Ingenieure, München) festgelegt und mit dem Bauherren intensiv abgestimmt.

Neben den klassischen Entwurfskriterien war für den Bauherren insbesondere die Gestaltung der Bauwerke von wesentlicher Bedeutung, sollen die beiden Brücken doch das hochrangige Ambiente des „Complexo JK“ widerspiegeln.

Beide Brücken werden, obwohl mit sehr unterschiedlichen Funktionalitäten und Randbedingungen belegt, über anspruchsvolles Design als optisch erkennbare Brückenfamilie definiert und bautechnisch als semi- beziehungsweise voll integrale Bauwerke entworfen. Die Überbauflächen des Viaduto werden großflächig mit Lochblechelementen versehen und über LED-Lichtbänder beleuchtet. Vor den fahrbahnseitigen New-Jersey-Profilen werden

ebenfalls Lochbleche angeordnet, die nahezu identisch sind mit der Geländeraushebung der Passarela.

Die durchgängige Beleuchtung der Radwegbrücke wird im Geländerhandlauf integriert.

Bei der Durchführung der intensiven Abstimmungs- und Planungsarbeiten für beide Brücken, von der Konzeption über den Entwurf bis zur kompletten Ausführungsplanung, war von erheblichem Nutzen, dass SSF Ingenieure bereits auf Ingenieure und Architekten mit portugiesischen Sprachkenntnissen zurückgreifen konnte. Das *Baugeologische Büro Bauer GmbH* als Mitglied der SSF-Gruppe wurde mit der Beurteilung der Baugrund-Aufschlussarbeiten und der Gründungskonzeption betraut. Die landschaftsarchitektonische Neugestaltung des parkseitigen Zugangs zur Passarela erfolgte durch das Büro *Prof. Schaller UmweltConsult GmbH*, ebenfalls Mitglied der SSF-Gruppe.

Basis für Bemessung und Nachweis der Brücken waren die Brasilianischen Normen NBR [2] der ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), wobei der Eurocode teilweise vergleichend oder ergänzend hinzugezogen wurde. Da der Aufbau der neueren brasilianischen Normen dem Eurocode ähnelt (Sicherheitskonzept mit Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerten), war die Umstellung „relativ einfach“.

Sämtliche Statik-, Plan- und sonstige Konstruktions- und Qualitätssicherungsunterlagen wurden in portugiesischer Sprache ausgefertigt.

Die Planungsprozesse unterscheiden sich grundlegend von der deutschen, strukturierten Art, sind oftmals ineinanderfließend und bedürfen teilweise, trotz intensiver Abstimmungsrunden, wiederholter Anpassungen.

So mussten beim Viaduto, teilweise baubegleitend, die bereits viele Wochen vor Beginn der Ausführungsplanung



Bild 6 Blick vom Überbau (Betonierabschnitt 2/Achse 30-40; Zentralbereich des over fly) in Richtung Norden/Avenida das Nações Unidas
View from the superstructure (concreting section 2/axis 30-40; central area of flyover) in direction north/Avenida das Nações Unidas

abgestimmten und festgelegten Abmessungen für die Bohrpfähle \varnothing 1,20 m, durchwegs üblich in Brasilien, auf wesentlich kleinere Durchmesser (\varnothing 0,50 m) umgestellt werden. Zum avisierten Beginn der Pfahlarbeiten waren weder Bohrgeräte für die Herstellung des geplanten noch des nächst kleineren Durchmessers \varnothing 0,90 m auf dem Markt verfügbar. Aus ursprünglich 67 vorgesehenen Großbohrpfählen wurden dann 187 Kleinbohrpfähle samt den damit verbundenen Überprüfungen am Gesamtsystem (Semiintegralität) und den statisch-konstruktiven Anpassungen und Änderungen (Pfahlkopfplatten etc.). Ein nicht unerheblicher Aufwand, der in kürzester Zeit zu bewältigen war.

Hier war die Wahl, beide Bauwerke bereits zu Beginn der detaillierteren Entwurfsarbeiten dreidimensional in dem Programm NX abzubilden, mehr als hilfreich. Relativ zügig konnten so beispielsweise die Anforderungen an die Pfahlkopfplatten für die Pfeiler (ursprünglich vier Pfähle, nunmehr zwölf Pfähle) und Rampen-/Widerlagerbauwerke im engen Baufeld zwischen den Fahrspurbegrenzungen der Verkehrsführungsphasen und den finalen Verkehrsräumen sowie Tunnelbegrenzungen und vorhandenen Leitungen kollisionsfrei angepasst werden.

Bei der bereits laufenden konstruktiv-detaillierten Durchplanung der unmittelbar nördlich vom Viaduto vorgesehenen Radwegbrücke, die nach Vorgabe der Kommune São Paulo U-förmig an die Hauptbrücke anschließende Rampenbauwerke erhalten sollte, wurde das Planungsteam ebenfalls von „unerwarteten“ Änderungswünschen überrascht. Es musste ebenfalls fast baubegleitend das voll integrale Tragwerk zuerst für einen verschobenen Standort (ein nördliches Abrücken vom Viaduto) und dann wiederholt für eine nicht nur nochmals verschobene Lage der Brücke, sondern auch für eine neue parkseitige Rampenanordnung neu durchgerechnet und konstruiert



Bild 7 Pfeilerherstellung Achse 50 in beengter Insellage vor der Skyline des „Complexo JK“. Im Hintergrund Betonierabschnitt 1 mit einer Länge von 61,15 m über knapp 2 Felder
Pile construction axis 50 in confined "island position" in front of the skyline of "Complexo JK". Visible in the background superstructure concreting section 1 with a length of 61.15 m over almost 2 spans

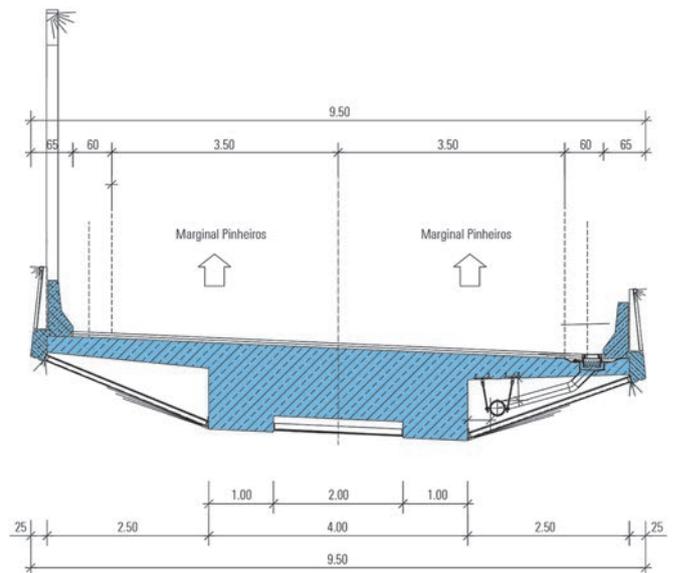


Bild 8 Regelquerschnitt Viaduto
Regular cross section Viaduto

werden. Ganze Plansätze waren so in aller Kürze an die neuen Gegebenheiten anzupassen. Auch hier war die 3D-Planung von exzellentem Vorteil.

3.1 Viaduto

Die Neugestaltung der unmittelbaren Zufahrtssituation der Avenida Presidente Juscelino Kubitschek, einer bedeutenden innerstädtischen Sammelstraße, die auch für die Zu-/Abfahrt des Kaufhauses von Bedeutung ist, in die übergeordneten Fahrspuren der Avenida das Nações Unidas – eine der Hauptverkehrsadern von São Paulo – erfolgt mit dem Neubau eines fly-over-Bauwerks, dem Viaduto *Marcelo F. Portugal Gouvea*.



Bild 9 Auszug aus ersten Visualisierungen im Zuge der Konzeption des Viaduto (Architekten LangHuggerRampp). Dynamische Widerlagerausbildung, die die Formensprache der Überbauansicht aufnimmt
Extract of the first visualisation in the framework of the viaduto's design (architects LangHuggerRampp). Dynamic abutment formation taking up the forms of the superstructure's front view

Die Marginal Pinheiros, die im Fortlauf den Namen wechselt in Avenida das Nações Unidas, ist eine der bedeutendsten Stadtautobahnen in São Paulo in Süd-Nord-Richtung. Die Richtungsfahrbahnen verlaufen getrennt parallel zu beiden Flussufern des Rio Pinheiros. Zu Spitzenzeiten, und dazu gehören in der Regel sechs Tage in der Woche, wird die Autobahn von bis zu 400 000 Autos pro Tag frequentiert, verteilt auf 6 bis 11 (!) Fahrspuren je Richtungsfahrbahn und Ein-/Ausfahrtsituationen.

Im Bereich der geplanten Brücke in Fahrtrichtung Norden stehen linksseitig fünf Fahrspuren mit Fernziel-/Zubringercharakter an (Via Expressa – Außenring Rodovias Bandeirantes/Dutra/Ayrton Senna). Es folgen ein Grünstreifen in der Breite von knapp einer Fahrspurbreite und danach rechtsseitig zwei Fahrspuren für Metropolverkehr (Via Central) in den nördlich gelegenen Stadtteil Pinheiros (Av. Rebouças, Cidade Universitária), eine Verteilerfahrbahn sowie zwei Rechtsabbiegespuren (Via Local) Richtung Innenstadt/Jardins (Av. 9 de Julho) bzw. in den Stadtteil Morumbi, der jenseits des Flusses liegt. In diesem schwierigen verkehrlichen und räumlich sehr beengten Umfeld ist der fly-over von der orthogonal einbindenden Av. Kubitschek mit zwei Fahrspuren in den vorhandenen Grünstreifen zwischen den beidseits anschließenden Fahrspurbereichen als Direktrampe mit Anbindung an die linksseitigen Zubringer- und die rechtsseitigen Metropolspuren zu platzieren. Die angrenzenden Fahrspurbereiche sind dabei aus Platzgründen seitlich zu verziehen. Nicht schon schwierig genug, befindet sich genau im Grünstreifen der Avenida das Nações Unidas ein Wasserrohr \varnothing 1,0 m, welches nicht umverlegt werden kann und am Standort des geplanten Rampenbauwerks im schleifenden Schnitt den Gründungsbereich „durchschneidet“.

Der Standort des zweiten Rampenbauwerks in der Av. Kubitschek befindet sich in einer ähnlich beengten und prekären Lage, da aus ursprünglich zwei Fahrspuren, die in die Abbiegespuren der Avenida das Nações Unidas



Bild 10 Überbau mit nahezu vollständiger Lochblechverkleidung; LED-Installation noch nicht vorhanden
Superstructure with almost completed perforated plate sheeting; LED installation not yet arranged

mündeten, nun mit dem fly-over drei Spuren benötigt werden (eine Spur wird unter dem Viaduto in die Abbiegespur der Stadtautobahn geführt) und zudem unmittelbar daran angrenzend, parallel zum Rampenbauwerk des Viaduto, der Tunnel der Av. Kubitschek liegt, der je Fahrtrichtung zwei Fahrspuren unter dem Rio Pinheiros in Richtung Morumbi hindurchführt.

Erste Entwürfe sahen zur Minimierung der Bauzeit und der – neben dem täglich immer wieder auftretenden Verkehrschaos – zusätzlich zu erwartenden bauzeitlichen Verkehrsbeeinträchtigungen vor, die Überbauherstellung durch einen möglichst hohen Vorfertigungsgrad effektiv zu gestalten. Spannbeton-Fertigteilträger, eine in Brasilien überaus weitverbreitete Bauweise, schied u. a. infolge der engen Kurvenführung und der komplizierten räumlichen Geometrie aus. Das Konzept dichtgeschweißter, torsionssteifer und an die räumliche Kurve angenäherter Kleinhohlkästen in Verbundbauweise, eine bautechnisch und wirtschaftlich sehr effiziente Bauweise, schied ebenfalls aus, da der Stahlpreis zum damaligen Status – abgekoppelt vom Weltmarktniveau – ca. dem Doppelten entsprach und so einer Massivbauweise in Beton wirtschaftlich deutlich unterlegen war. Zudem ist Brasilien im Brückenbau geprägt von einer sehr entwickelten Betonbautradition. Stahlbaubetriebe mit Brückenbauerfahrung sind selten, wengleich es doch große Unternehmen gibt, die aber vornehmlich im Industriebau und Off-shore-Bereich tätig sind.

Die im Grundriss als enge Kurve ($R = 64$ m) ausgebildete und im Aufriss als Kuppe stark gekrümmte (Rampenneigung max. 8 %) Spannbetonbrücke über fünf Felder



Bild 11 Samstag, 21. März 2014: Blick Richtung Norden. Beleuchtung der fast fertigen Viaduto. Fahrspuren der untenliegenden Via Central als auch des Viaduto bereits gesperrt für Aufbau Mobilkran (nächtliches Einheben der VFT-Träger der Passarela in Gesamtsperre) Saturday, March 21, 2014: View in direction north. Lighting of the almost completed viaduto. Lanes of underneath lying Via Central as well as the viaduto already closed off for mobile crane assembly (nightly mounting of VFT® girders of the passarela during complete road closure)

nimmt insgesamt $2 \times 3,50$ m breite Fahrstreifen auf. Zusammen mit den jeweils 0,60 m breiten Randstreifen und den daran anschließenden New-Jersey-Profilen und 25 cm breiten Vorsprüngen zur Aufnahme der Lochblechverkleidung weist der Überbau eine Gesamtbreite von 9,50 m auf. Die Stützweiten sind angepasst an die Situation beim Überqueren der Av. Kubitschek und dem Einschleifen der Kurve in den Verkehrsraum der Stadtautobahn und betragen ab Achse 10 am WDL – Av. Kubitschek 29,45 m/35,00 m/34,00 m/32,00 m/30,45 m. Zusammen mit den ca. 55 bis 60 m langen Rampenbauwerken beträgt die Gesamtlänge des Viaduto rund 275 m.

Das Rampenbauwerk vor dem Widerlager in Achse 10 besteht aus zwei grundsätzlich unterschiedlichen Bauwerken. Der Anfängerbereich mit 19 m Länge und Blocklängen von 9,50 m besteht aus flachgegründeten Winkelstützwandelementen. Der daran anschließende, ca. 28 m lange, in Blockfugen getrennte Rampenbereich ist ein auf dem Kopf stehendes U-förmiges Bauwerk, bei dem die 0,80 m dicke nördliche Seitenwand direkt ohne Pfahlkopfplatten in rd. 15 m lange Kleinbohrpfähle $\varnothing 0,50$ m zur Tiefgründung einbindet und oben rahmenartig von der durchgehenden Fahrbahnplatte gefasst wird. Eine Besonderheit stellt dabei der erwähnte Umstand der unmittelbaren Nähe des Rampenbauwerks zum parallel dazu südlich verlaufenden Tunnel dar. Zur Vermeidung einer Belastung der nächstliegenden Tunnelwand durch das Rampenbauwerk bzw. durch die Tiefgründung wurde anstatt der zweiten (südlichen) Seitenwand eine um ca. 2 m zur Fahrbahnmitte hin verschobene Gründungsebene mit Pfahlkopfplatten-Streifen, Rundstützen $\varnothing 1,20$ m zur Abstützung der nun auskragenden Fahrbahnplatte sowie Kleinbohrpfählen zur Gründung vorgesehen. Um dies in der Außenwirkung nicht sichtbar werden zu lassen, wird eine dünne Betonwand als Art Vorsatzschale, die sich in

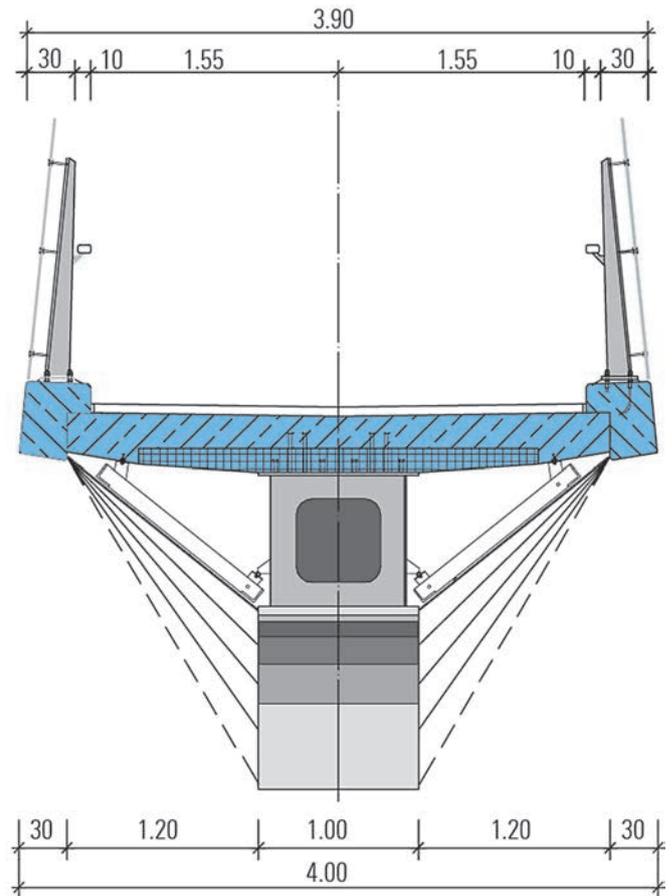


Bild 12 Regelquerschnitt Passarela – Hauptbrücke in VFT-Bauweise mit dichtgeschweißtem Hohlkasten
Regular cross section Passarela – main bridge in VFT® construction method with tightly welded hollow boxes

die Fahrbahnplatte monolithisch einhängt und fußseitig flach in den Baugrund einbindet, entworfen.

An das Rampenbauwerk schließt abgefugt der ca. 12 m lange Widerlagerbereich an, dessen Frontpartie in Analogie zur Überbaugestaltung dynamisch ausgeformt und mit Lochblechverkleidung versehen wird. 34 Kleinbohrpfähle nehmen die Belastungen des fugenlosen, an den Widerlagern eingespannten Überbaus aus äußeren Einwirkungen, Zwang und Torsion auf.

Für das Rampenbauwerk hinter Achse 60 im Grünstreifen der Avenida das Nações Unidas wurde von Seiten der Leitungsverwaltung in mehreren Abstimmungsrunden und unter Vorlage einer Vielzahl an Varianten definiert, dass der den Gründungsstandort durchschneidende Rohrstrang lediglich im Anfangsbereich der Rampe über eine Länge von rund 27 m durch die tiefgegründeten und abgefugten Stützwände (und ohne Fahrbahnplatte) eingeschlossen werden darf. Im Havariefall kann der Defekt über ein fuhrbahnseitiges „Aufgraben“ erschlossen werden. Bei dem daran anschließenden, ca. 18 m langen U-förmigen Rampenbauwerk mit oben liegender Fahrbahnplatte durfte die geplante Bohrpfahlgründung die Leitung nicht einschließen. Der Gründungsstandort musste an dieser Stelle nach innen hinter die Rohrleitung verlegt

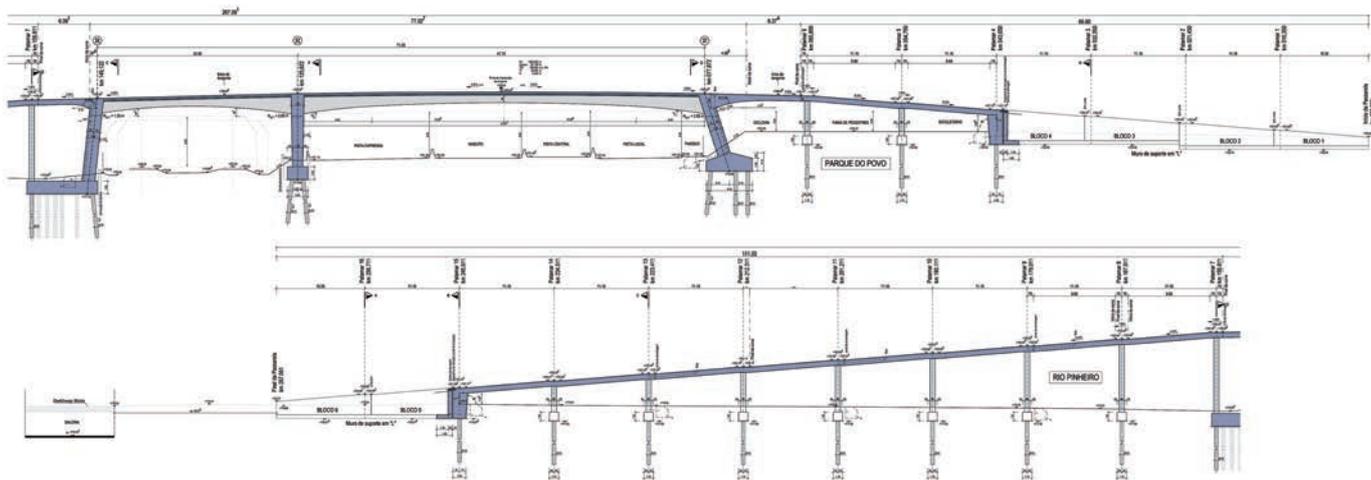


Bild 13 Passarela – Längsschnitt Hauptbrücke als Abwicklung
Passarela – partial longitudinal section of main bridge as developed view

werden – analog der Rampe der Av. Kubitschek, was ebenfalls zu einem Auskragen der Fahrbahnplatte führt und in der Ansicht des Rampenbauwerks durch eine dünne Betonvorsatzwand kompensiert werden musste. Das ca. 11 m lange Widerlager in Achse 60 wird analog Achse 10 ausgebildet und mit 30 Bohrpfähle \varnothing 0,50 m vertikal bzw. mit Neigung 10:1 ca. 15 m in den überwiegend tonig, sandig-schluffigen Baugrund eingebunden.

Zur Gründung der Pfeilerachsen 20 bis 50 wurden in letzter Ausführungsvariante jeweils zwölf Bohrpfähle \varnothing 0,50 m unter Pfahlkopfplatten mit 9 m Länge und 2 m Breite zweireihig und gegenseitig mit Neigung 10:1 gespreizt eingebaut. Die Pfahllängen betragen im Schnitt 18 m. Sämtliche Pfeiler werden als massive Rundstützen mit \varnothing 1,50 m ausgebildet.

Mit Blick auf die aus der Krümmung des engen Horizontalradius resultierenden Torsionsbeanspruchungen wurde der Überbau des Viaduto in semiintegraler Bauweise an beiden Widerlagern eingespannt und auf den Pfeilern freigelagert. Die Variante mit Einspannungen an den Pfeilern und geführter Lagerung an den Widerlagern brachte nicht das gewünschte Resultat.

Der Regelquerschnitt sieht einen einteiligen Plattenbalkenquerschnitt mit 4 m Plattenbreite, beidseits 2,75 m langen Kragarmen und einer sehr schlanken ($K_h/Stw_{ges} = 1/26$), über die Gesamtlänge von 160,90 m konstanten Bauhöhe von 1,35 m vor. An der Plattenunterseite wird zur Installation des Lochblechs eine 2 m breite und 25 cm tiefe Aussparung vorgesehen. Der spezifische Wert für den Überbaubeton-Bedarf beläuft sich auf $0,7 \text{ m}^3/\text{m}^2$ Überbaufläche. Zur Vorspannung des Überbaus wurden Litzenspannglieder mit 150 mm^2 Querschnittsfläche und einer Stahlgüte St 1570/1770 verwendet. Drei Spannstränge werden als gekoppelte Kontinuitätsspannglieder an die insgesamt drei definierten Betonageabschnitte angepasst, alle anderen sind komplett durchlaufend über alle fünf Felder. Insgesamt wurden rund 64 t Spannstahl



Bild 14 Visualisierung Passarela (Architekten LangHuggerRampp)
Visualisation of Passarela (architects LangHuggerRampp)

benötigt, was rd. $44 \text{ kg Spannstahl}/\text{m}^2$ Überbaufläche entspricht.

Für den Überbau wurde ein Beton der Güte C35/45 verwendet. Als Betonstahl kam die Güte GG50, die dem BSt 500 entspricht, zum Einsatz.

Sowohl Plattenunterseite im Bereich der Aussparung als auch die seitlich einsehbaren Überbauansichten zwischen Kragarmenden und Unterkanten des Plattenbalkens werden aus gestalterischen Gründen mit 3,5 mm dicken Lochblechen (Loch- \varnothing 15,5 mm/Lochabstand 19 mm) aus Aluminiumlegierung und Unterkonstruktion aus verzinkten L-Profilen versehen. Um die Brücke als wahrnehmbares Landmark vor der Shoppingmall „Complexo JK“ wahrzunehmen, wird der Überbau, ein Novum für São Paulo, mit LED-Leuchten, die jeweils oberhalb der Plattenunterkante und vor den Lochblechen sitzen, beleuchtet.

Der enge Trassierungsradius für den fly-over von gerade mal 64 m – für deutsche Verhältnisse sicherlich schon auf-



Bild 15 Blick vom Complexo JK Richtung Norden auf Baustellenbereich der Stadtautobahn Avenida das Nações Unidas. Vorbereitungsarbeiten (Kraufbau) für Trägermontage während nächtlicher Wochenendsperrpause 21./22. März 2014

View from Complexo JK in direction north onto construction site area of city highway Avenida das Nações Unidas. Preparatory works (crane assembly) for girder mounting during nightly close-off on the weekend March 21/22, 2014

grund fehlender Haltesichtweiten ungewöhnlich und im Grunde Resultat der mehr als restriktiven Platzverhältnisse für die Einbindung der Av. Kubitschek in die Stadtautobahn zwischen dem nördlich angrenzenden Parque do Povo und der südlich situierten Tunnelanlage der Av. Kubitschek mit den sichtbaren Lüftungsbauwerken – führt zusammen mit der ausgeprägten Kuppenausbildung (Tangentenlängsneigung 8 %) und der fahrdynamisch maximal erforderlichen Fahrbahnquerneigung von 7 % zu einer insgesamt komplexen räumlichen Kurve, die es galt, nicht nur für Schal- und Spannpläne exakt zu erfassen, sondern auch und insbesondere in der Abbildung sämtlicher Lochblechelemente und dazugehöriger Unterkonstruktionen. Wichtig dabei war auch die Einbeziehung ausreichender konstruktiver Möglichkeiten zum gleichmäßigen Anpassen der Elementfugen im Rahmen einer definierten Toleranzbandbreite und im Ergebnis der Ist-Vermessungswerte zum Soll.

Beachtenswert: Das Viaduto Marcelo F. Portugal Gouvea wurde unter schwierigsten räumlichen und baugologischen Umständen innerhalb von sieben Monaten errichtet (teilweise mit „Bauen rund um die Uhr“) und Anfang Dezember 2012 dem Verkehr übergeben, pünktlich zur behördlichen Vorgabe und zum finalen Weihnachtsgeschäft des „Complexo JK“.

3.2 Radwegbrücke – Passarela

Der gegenüber der Shoppingmall gelegene Park „Parque do Povo“ wird mit dem entlang des Rio Pinheiros verlaufenden Radweg durch eine schlanke, wohlproportionierte Fußgänger- und Radwegbrücke (Passarela) verbunden.

Sie führt nahezu im rechten Winkel als zweifeldrige Rahmenbrücke über die elfspurige Stadtautobahn Marginhal



Bild 16 VFT-Träger – Transport. VFT-Träger für Achse 20-30; Transportlänge 22,20 m, Gewicht 32 t
VFT® girder transport. VFT® girder for axis 20-30; transport length 22.20 m, weight 32 t

Pinheiros/Avenida das Nações Unidas und zwei elektrifizierte S-Bahngleise der CPTM, dem S-Bahn-Betreiber der Stadt. Zur Anbindung der Hauptbrücke schließen beidseits wegen der zu querenden Oberleitung der S-Bahn bis zu 8 m hohe und zwischen 73 m (Seite Ost – Parque do Povo) und 117 m lange (Seite West – Rio Pinheiros) Rampenbrücken, die jeweils mit Zwischenpodesten ausgebildet sind, an. Die Gesamtlänge der Passarela beträgt rund 267 m.

Die Nutzbreite der Passarela beträgt 3,10 m zwischen den Handläufen, die Gesamtbreite beläuft sich mit den beidseitigen jeweils 30 cm breiten Kappen und anliegenden Lochblechgeländern (in Analogie zur Verkleidung der New-Jersey-Profilen am Viaduto) 4,00 m.

Stadtautobahn und S-Bahn werden durch feldweise gevoutete Verbundfertigteil-(VFT-)Träger mit Stützweiten von 23,50 m und 47,75 m elegant überbrückt. Zwischen den Achsen 10 und 20, der Hauptöffnung über der Autobahn, wird der Träger zur Minimierung der Transportlänge halbiert, sodass beide Trägerteile eine Transportlänge von jeweils 23,60 m und ein Montagegewicht von 39 t aufweisen. Im kleineren Feld zur Querung der S-Bahn ist dies bei einer Trägerlänge von 22,20 m nicht erforderlich. Im Querschnitt ist jeweils ein VFT-Träger ausreichend. Der stählerne Hohlkasten ist 1,00 m breit und in Feldmitte jeweils 0,90 m hoch. Der bereits im Fertigteilwerk aufgebraachte Betonflansch ist insgesamt 2,50 m breit und mittig 0,15 m dick, sodass eine Konstruktionshöhe im Verlegezustand von minimal 1,05 m entsteht. Nach dem Verlegen und Fixieren der Trägerenden wird eine 20 cm dicke Ortbetonergänzung aufgebracht, sodass sich für die Feldmitte des Hauptfeldes eine Schlankheit zu $K_{H1}/Stw_{ges} = 1,25/47,75 = 1/38$ ergibt.

Mit der Ortbetonergänzung werden im Querschnitt je Kragarmseite 45 cm über die bereits direkt nach dem Trägereinbau montierten Schalelemente anbetoniert.



Bild 17 Nächliche Montage VFT-Träger über 2gleisige CPTM-Metrolinie mit Oberleitung. Blick Richtung Westen auf Widerlagerbastion am Rio Pinheiros. Links Stütze der parallel zum flusseitigen Radweg verlaufenden Rampe
Nightly assembly of 2-tracked CPTM metro line with overhead lines. View in direction west on abutment at Rio Pinheiros. On the left support of the ramp running parallel to the bicycle lane at the side of the river

Die Begrenzung der Breite der Betonfertigteilmflansche auf das Maß von 2,50 m war eine Maßgabe der Genehmigungsbehörde bei diesem ersten Einsatz der VFT-Bauweise in Brasilien.

Die Trägerhälften des Hauptfeldes werden bei der örtlichen Montage auf einem Hilfsgerüst aufgelagert und anschließend verschweißt. Nach Ergänzung des oberen Betonflansches im Stoßbereich der Trägerhälften kann die temporäre Unterstützung entfernt werden.

Die Trägerenden der VFT-Träger binden monolithisch in die aus gestalterischen Gründen unterschiedlich schräg stehenden, mit einer Dicke von 1,50 m sehr schlank gehaltenen Widerlagerbastionen der Achsen 10 und 30 bzw. in die sich von 1,50 m auf 1,10 m Dicke verjüngende Zwischenstütze in Achse 20 zwischen Stadtautobahn und S-Bahnlinie ein. Die unterschiedliche Schrägstellung der Widerlager, 73° in Achse 10 und 84° in Achse 30, ist das Ergebnis einer Gestaltungsstudie im Kontext mit den Stützweitenverhältnissen von 2:1 der Hauptquerung.

Das parallel zum Radweg entlang des Rio Pinheiros verlaufende Rampenbauwerk schließt mit einem Winkel von ca. 110 gon an die Achse 30 an. Der Ausrundungsradius beträgt dabei minimal 3,5 m im Anbindebereich. Auf Seite des Parks schließt die Rampe ohne nennenswerten Richtungswechsel nahezu in der Flucht des Hauptbauwerks an.

Der Überbau der Rampenbauwerke ist als schlanke, 0,60 m dicke Vollplatte ausgebildet, die sich über die Gesamtplattenbreite von 3,40 m jeweils zu beiden Seiten auf einer Länge von 1,20 m auf eine Dicke 0,25 m verjüngt. Die Stützweiten betragen einheitlich für beide Rampenäste jeweils 11,10 m. Gestützt werden die Rampenüberbauten von filigranen, rechteckförmigen, 1,0 m breiten und in



Bild 18 Blick Richtung Norden Avenida das Nações Unidas auf verlegten Überbau. Trägerhälften der Autobahnquerung mittig auf Hilfsgerüst abgestapelt. Vorbereitungsarbeiten für den Abbau des Mobilkrans am Ende der nächtlichen Sperrung – 21./22. März; Sonntag morgen 6.30 Uhr: Via Local bereits für Verkehr wieder geöffnet
View in direction north onto Avenida das Nações Unidas onto placed superstructure. Girder halves of highway crossing stacked onto temporary scaffolding. Preparatory phase for demounting of mobile crane at the end of the nightly close-off – March 21/22; Sunday morning 6.30am: Via Local already reopened to traffic

der Ansicht 0,60 m dicken Stützen, die fugenlos in den Überbau einbinden.

Sowohl die Widerlager und die Zwischenunterstützung der Hauptquerung als auch die Stützen und Kleinwiderlager der Rampen sind mit Kleinbohrpfählen \varnothing 0,41 m tief gegründet, die ursprünglich analog dem Viaduto mit \varnothing 0,90 m großen Großbohrpfählen vorgesehen waren. Insgesamt werden für die Passarela 54 Pfähle mit Längen zwischen 15 und 20 m verbaut.

Die Brücke einschließlich der Rampen ist komplett fugen- und lagerlos als voll integrales Bauwerk konzipiert. Im Bereich der auf Seite des Rio Pinheiros situierten Achse 30, mit der signifikanten Richtungsänderung der Brücke und der im Grundriss starken Überbaukrümmung im Übergangsbereich zwischen Rampe und der eigentlichen Überführung, war eine umfangreiche Variantenuntersuchung erforderlich. Ursprünglich war zur Rampe hin eine Übergangskonstruktion geplant. Eine gelagerte Konstruktion hätte allerdings das Torsionsmoment aus der Krümmung nicht aufnehmen können, sodass das Bauwerk voll integral wurde. Trotz der relativ hohen und durchwegs schlanken Widerlagerbastionen und Rampenstützen wird zur Aufnahme der Zwangsschnittgrößen aus Temperatur, ungleichmäßigen Setzungen etc. eine durchgehende Pfahlkopfplatte zwischen Widerlager Achse 30 und der ersten Stütze der Rampe benötigt.

Der Nachweis der Schwingungen der Hauptbrücke erfolgte nach der brasilianischen Norm NBR 6118 [3], dabei sollen die Eigenfrequenzen größer als 1,2-mal der kritischen Frequenz von 1,6–4,5 Hz sein. Für den Überbau der schlanken Hauptbrücke hätte das bedeutet, eine erste Eigenfrequenz von mindestens 5,4 Hz zu erreichen;

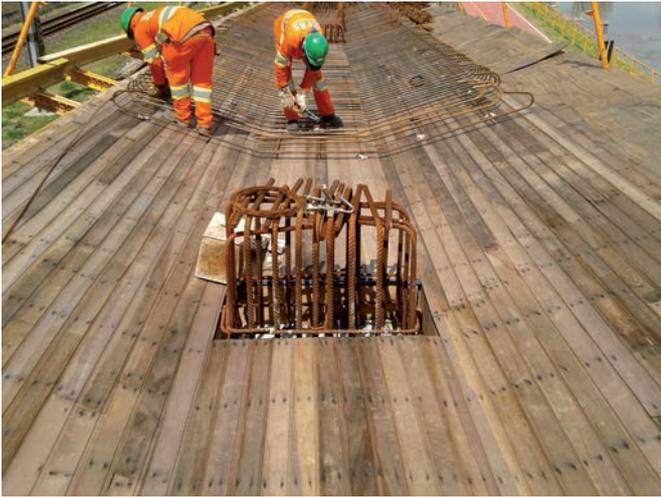


Bild 19 Herstellung Rampenbauwerk entlang Radweg vor dem Rio Pinheiros
Construction of ramp structure along the bicycle lane in front of Rio Pinheiros

ein Wert, der mit einer filigranen Brücke nicht erreichbar ist. Allerdings lässt die Norm die Möglichkeit offen, eine genauere dynamische Untersuchung durchzuführen, wenn die Eigenfrequenz im kritischen Bereich liegt.

Anhand eines Forschungsberichts [4], der in Zusammenarbeit zwischen u. a. der Universität Aachen und der Universidade do Porto entstand, wurde eine dynamische Analyse mittels Antwortspektrumverfahren durchgeführt. Im Ergebnis, welches von einem unabhängigen brasilianischen Büro geprüft und bestätigt wurde, waren keine zusätzlichen Dämpfungsmaßnahmen erforderlich.

Hauptplanungszeitraum für die Passarela war von Oktober 2011 bis Juli 2012, insgesamt 10 Monate, die sowohl die zweimalige nachträgliche Standortverschiebung als auch die veränderte Lage und Ausbildung der parkseitigen Rampe beinhalten. Darüber hinaus waren im Rahmen der Bauausführung – trotz mehrfacher Abstimmung – Planungsänderungen aufgrund von Pfahlbohrdefiziten oder unvorhersehbaren Leitungsbeständen durchzuführen. Prognostizierte Fertigstellung der Passarela ist Anfang Juli 2014.

Die VFT-Träger wurden in Ribeirão Pires (eine Stadt im brasilianischen Bundesstaat São Paulo) gefertigt und am 21. März über eine ca. 55 km lange Strecke transportiert. Die Montage der VFT-Träger einschließlich Auf- und Abbau des Mobilkrans sowie dem temporären Aufbau der Montageunterstützung für die Lagerung der beiden Trägerhälften des Hauptfeldes erfolgte am 21./22. März 2014 in der Nacht von Samstag auf Sonntag. Für die eigentliche Trägermontage wurden jeweils rund 45 Minuten benötigt.

Fertigung, Transport und Montage der ersten VFT-Träger überhaupt in Brasilien gingen dank detaillierter Arbeitsvorbereitung und intensiver Qualitäts- und Messkontrollen sehr gut von der Hand; ein Erfolg interdisziplinärer



Bild 20 Blick vom Parque do Povo Richtung Westen auf die Widerlagerbasistion Achse 10. Überbau in VFT-Bauweise bereits verlegt
View from Parque do Povo in direction west onto abutment axis 10. Superstructure in VFT® construction method already placed



Bild 21 Blick Richtung Osten auf Frontseite Widerlager in Achse 10 – Av. Kubitschek; teilweise fertiggestellte Lochblechverkleidung
View in direction east onto front side of abutment in axis 10 – Av. Kubitschek; partially completed perforated plate sheeting

Zusammenarbeit über Kontinente hinweg und Ergebnis eines engagierten, interkulturellen Dialogs.

4 Zusammenfassung

Jedes Auslandsprojekt stellt eine neue Herausforderung dar, welche nicht nur durch profunde Expertise und dem

Einsatz multipler Ingenieurdisziplinen, sondern auch durch intensive Teamarbeit im Dialog zwischen Back-office und Einsatz vor Ort als auch persönlichem Reise- und interkulturellem Engagement erfolgreich gemeistert werden kann.

Planungsleistungen müssen fortwährend hinterfragt und Planungsprozesse im Zweifel mehrfach angepasst werden, idealerweise bereits in dafür geeigneten Software-3D-Umgebungen. Es bedarf oftmals intensiver Abstimmungsrunden in einer für deutsche Planer zunächst fremden Kultur. Planung, Prüfung und Genehmigung weichen dabei bisweilen gravierend von den bekannten und üblichen Vorgehensweisen ab.

Besonderes Augenmerk muss daher auf die landesüblichen Bauweisen und den lokalen Qualitätsanspruch ge-

legt werden, die zum Teil restriktiv auf die für uns üblichen Planungsansätze wirken können. Die sorgfältige konstruktive und gestalterische Durchbildung baulicher Einzelheiten, ein Merkmal guter Planung, ist dabei immer auch auf die lokalen Möglichkeiten und Produkte abzustimmen.

SSF Ingenieure AG ist zusammen mit den Ingenieuren der SSF Gruppe im Ausland insbesondere bei Projekten für innerstädtische Verkehrstunnel und Metrostationen, bei Anlagen der Eisenbahninfrastruktur oder im hochspezialisierten Brückenbau beteiligt. Industriebauplanungen oder die Konzeption von Event-Stadien und Ausstellungsgebäuden ergänzen das Auslands-Portfolio.

Literatur

- [1] VFT®-Bauweise = eingetragener Markenname SSF Ingenieure AG
- [2] NBR – Norma Brasileira; Nationale brasilianische Norm: z.B. Norm für Stahl- und Spannbeton für Brücken: NBR 7187-2003 Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido
- [3] Brasilianische Norm für Beton: NBR 6118-2003 Projeto de estruturas de concreto
- [4] HiVoSS – Human induced vibrations of Steel Structures, Leitfaden für die Bemessung von Fußgängerbrücken, finanziert durch Research Fund for Coal & Steel, (RFS2-CT-2007-00033)

Autoren

Dipl.-Ing. Helmut Wolf
hwolf@ssf-ing.de

Dipl.-Ing. Andreas Gausmann
agausmann@ssf-ing.de

Dipl.-Ing. Peter Kotz
pkotz@ssf-ing.de

Dipl.-Ing. Tomás Mendes Martins
tmartins@ssf-ing.de

Dipl.-Ing. Matthias Stark
mstark@ssf-ing.de

SSF Ingenieure AG
Domagkstr. 1a
80807 München
www.ssf-ing.com, www.ssf-group.com

SSF do Brasil, Consultores e Projetistas em Engenharia Ltda.
Rua das Olimpíadas 205
CEP 04551-000
São Paulo, SP
www.ssf-eng.com.br

Baugeologische Büro Bauer GmbH
Domagkstr. 1a
80807 München
www.baugeologie.de

Prof. Schaller UmweltConsult PSU GmbH
Domagkstr. 1a
80807 München
www.psu-schaller.de