

Zweite Orinoco-Querung in Venezuela

Planung und Bau

Karl Humpf
Reiner Saul

1. Allgemeines

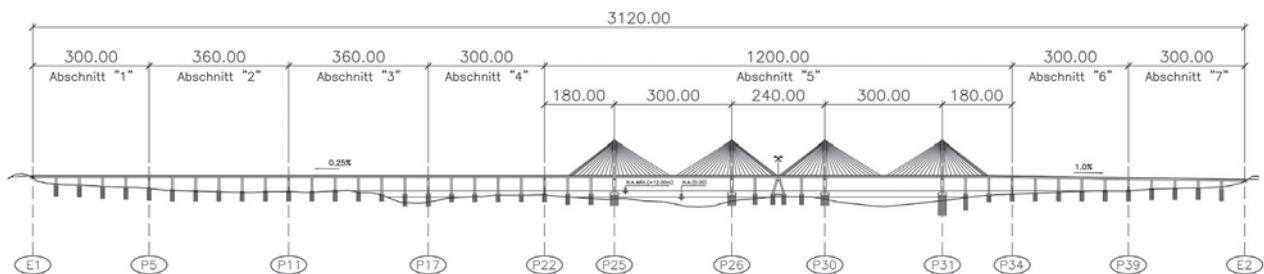
Mit 2.560 km Länge ist der Orinoco Südamerikas drittgrößter Fluss – viel länger als der Rhein (1.320 km). Während den Rhein mehr als 100 Brücken überspannen, kann der Orinoco bisher nur auf einer einzigen Brücke überquert werden. Die neue Brücke über den Orinoco ist Teil einer 170 km langen Straßen- und Eisenbahnverbindung zwischen Ciudad Guayana und einem im Bau befindlichen Tiefwasserhafen an der Nordküste Venezuelas und erschließt die Ölschieferfelder zwischen Orinoco und dem Karibischen Meer. Sie verbindet die Provinzen Anzoatgui auf der Südseite und Monagas auf der Nordseite des Flusses. Eine Weiterführung nach Süden, bis nach Brasilien, ist beabsichtigt. Die gesamte Maßnahme umfasst fast 4 km Brücken, 165 km Straße und drei Anschlussstellen an das bestehende Straßennetz. Die Bahnverbindung wird in den ersten Jahren nach Eröffnung ohne Anschlüsse bleiben, da zuerst die Streckennetze südlich und nördlich bis zur Orinoco-Querung ergänzt werden müssen.

Mit dieser neuen Verbindung wird man auf das, wegen der starken Sedimentführung für Hochseeschiffe erforderliche, Ausbaggern des Orinoco unterhalb von Ciudad Guayana weitgehend verzichten können.

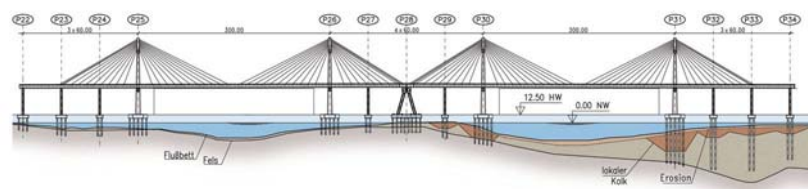
2. Entwurf

1966 wurden die ersten Machbarkeitsstudien für eine Querung im Bereich von Ciudad Guayana erstellt und mehrere Standorte wurden auf ihre Tauglichkeit geprüft. Zwanzig Jahre später konnten sich Baufirmen für ein Bau- und Betreibermodell qualifizieren, um auf der Basis der Vorstudien ein Angebot zu erarbeiten. Dieses Verfahren wurde bereits in den Anfängen aufgehoben und stattdessen zwischen Brasilien und Venezuela ein Exportkredit vereinbart, verbunden mit der direkten Beauftragung der Baufirma Norberto Odebrecht S.A., São Paulo, Brasilien.

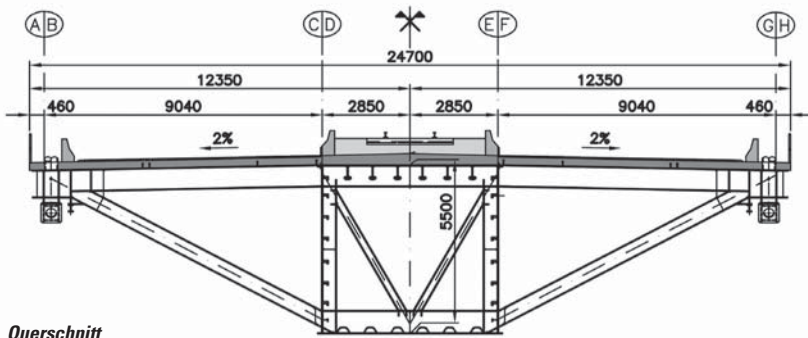
Im Grundriss verläuft die Brücke gerade, im Aufriss wird über Steigungen von 0,25 % auf der Südseite und 1 % auf der Nordseite die erforderliche Höhe über dem Schiffsprofil erreicht, mit einem Hochpunkt in der Mitte zwischen den beiden Lichtraumprofilen. Es waren vier Fahrspuren mit 4 m Breite sowie ein Gleis mit 5 m Breite zu überführen. An dieser Stelle, mit einer »Sandbank« in Flussmitte, waren zwei Lichtraumprofile von 260 m × 41 m für die beiden Fahrinnen der Schifffahrt freizuhalten. Auf dem Orinoco verkehren im Wesentlichen Schubschiffe mit 3 × 5 Kähnen für den Bauxit-Transport. Das Bauwerk selbst war nicht für mögliche Anpralllasten auszulegen, da von nachträglich zu errichtenden separaten Schutzeinrichtungen auszugehen war. Das nordsüdlich verlaufende Bauwerk konnte in der südlichen Hälfte direkt auf Fels gegründet werden. In der nördlichen Hälfte steht der Fels erst unter einer bis zu 90 m mächtigen, teils erosionsgefährdeten Sandablagerung an. Die Pegelstände des Orinoco variieren im Jahresverlauf regelmäßig bis zu 12,5 m, mit Höchstständen im August und Niedrigwasser im März.



Übersicht



Hauptbrücke



Querschnitt



A-Bock Achse P28

Die Verkehrslasten für den Straßenverkehr waren gemäß AASHTO anzusetzen, mit mehreren 32,5-t-Fahrzeugen und Flächenlasten von ca. 3 kN/m^2 . Im Bereich des Eisenbahnverkehrs galt für den Erzzug der Train Cooper 72, welcher ca. 30 % höhere Belastungen als der UIC 71 liefert. Die Zugfrequenz kann auf der sicheren Seite mit weniger als zehn Überfahrten pro Tag angenommen werden bei einer Lastintensität von 100 % der Bemessungslast für die beladene Zugeinheit.

Außer den Bremslasten aus dem Zugverkehr waren auch Erdbebenwirkungen mit bis zu $0,20 \text{ g}$ Grundbeschleunigung zu berücksichtigen.

3. Bauwerk

Die gesamte Brückenlänge von 3.156 m ist aufgeteilt in

- die südliche Vorlandbrücke, vier Durchlaufträger mit einer Gesamtlänge von 1.320 m
- die Hauptbrücke, eine Doppelschräggabelbrücke mit einer Länge von 1.200 m
- die nördliche Vorlandbrücke, zwei Durchlaufträger mit einer Länge von 636 m.

Der Überbau ist sowohl bei den Vorlandbrücken wie bei der Hauptbrücke ein einzelliger Verbundkastenträger und ist damit weltweit eine der längsten Verbundbrücken für Straßen- und Eisenbahnverkehr. Die Brücke wird durchgehend auf Großbohrpfählen mit

den entsprechenden Pfahlkopfplatten bzw. im Vorlandbereich flach gegründet. Die südliche Vorlandbrücke besteht aus vier Abschnitten mit fünf bzw. sechs, insgesamt 22 Öffnungen von 60 m, die nördliche aus zwei Abschnitten, ebenfalls mit fünf bzw. sechs, insgesamt elf Öffnungen. Die Regelstützweite ist hier ebenfalls 60 m, das Endfeld vor dem nördlichen Widerlager ist 36 m. Die Hauptbrücke ist, wie schon erwähnt, eine Doppelschräggabelbrücke mit Stützweiten von $3 \times 60 \text{ m} / 300 \text{ m} / 4 \times 60 \text{ m} / 300 \text{ m} / 3 \times 60 \text{ m} = 1.200 \text{ m}$, der überspannte Bereich ist 1.080 m lang. Die insgesamt $2 \times 8 \times 11 = 176$ Kabel sind fächerförmig angeordnet und haben am Überbau einen Regelabstand von 12 m bzw. 24 m.

Die Brems- und Windkräfte in Längsrichtung bzw. die Längskräfte aus Erdbeben werden erstmals bei einer Schräggabelbrücke von einem monolithisch mit dem Überbau verbundenen A-Bock an dem gemeinsamen Rückhaltepfeiler im Bereich der Insel übernommen, an allen anderen Pfeilern – auch an den Pylonen – ist der Überbau längsverschieblich gelagert. Maßgebend für die Bemessung des A-Bocks sind gleichermaßen die Bremslast wie die Erdbebenkräfte.

Die Pfähle haben normalerweise 2 m Durchmesser und Längen von 13–60 m. Wegen der größeren Wassertiefe und der größeren erwarteten Erosion sind im Nordbereich Pfähle mit 2,5 m Durchmesser und Längen bis 83 m erforderlich. Alle Pfähle haben ein Mantelrohr, die Längsbewehrung geht bis zu 3 %



Pylon



Pfahlkopfplatte P28



Gleitschalung Pylonschäfte



Vormontageplatz Südseite



Einschieben Abschnitt 4

Die größten Pfahlkopfplatten der Pylonen haben Abmessungen von $31\text{ m} \times 52,5\text{ m} \times 6\text{ m}$, die des A-Bocks sogar von $30\text{ m} \times 47\text{ m} \times 4,5\text{ m}$. Bei Hochwasser sind die Pfahlkopfplatten der Pfeiler vollständig eingetaucht, nur die der Pylone ragen etwas aus dem Wasser. Bei Niedrigwasser sind bis zu $7,5\text{ m}$ freie Pfahllängen zu sehen.

Die $15\text{--}42\text{ m}$ hohen Normalpfeiler haben im Hinblick auf die Herstellung mit Gleitschalung konstante Abmessungen von $3\text{ m} \times 7\text{ m}$.

Der Überbau wird mit 24 kurzen Spanngliedern mit dem A-Bock verbunden und mit dem Untergurt mittels Blockdübeln gesichert.

Die tragende Konstruktion besteht aus

- dem $5,50\text{ m}$ hohen und $5,7\text{ m}$ breiten Hohlkasten. Die Kastenbreite ist also nur das $5,7/24,7 = 0,23$ -Fache der Brückenbreite (üblich etwa $1/3$), dies ist aber wegen der relativ geringen Straßenverkehrslasten und der zentrischen Eisenbahn ausreichend.

- den Querträgern und -verbänden und den Druckstreben in Abständen von $3,0\text{ m}$.
- den $1,15\text{ m}$ hohen Randlängsträgern
- der Fahrbahnplatte. Diese ist im Straßenbereich 25 cm und im Eisenbahnbereich $30\text{--}36\text{ cm}$ dick und wird mittels Kopfbolzendübel mit der Stahlkonstruktion verbunden. Im Bereich der Kragarme wird die Platte auf einer, nicht zum tragenden Querschnitt gerechneten, Schalung aus Trapezprofilen hergestellt.

Es wird wetterfester Baustahl mit einer Streckgrenze von 355 N/mm^2 verwendet.

4. Ausführung

Für die Pfahlgründung im Fluss stand grob nur das halbe Jahr zur Verfügung, denn bei Hoch- und Niedrigwasser waren bestimmte Abschnitte nicht erreichbar. Etwa die Hälfte der Pfeilerachsen und $2/3$ der Pfähle waren vom Wasser aus auszuführen. Hierzu waren große Pontons im Einsatz, wie man sie aus Baumaßnahmen in Küstennähe kennt. Die Herstellung der 370 Pfähle mit einer Gesamtlänge von 13.100 m dauerte ca. $1\frac{1}{2}$ Jahre. Die Lage der Pfähle wurde bis auf wenige Zentimeter genau mit GPS-unterstützten Verfahren eingemessen.

Als Bodenschalung für die Pfahlkopfplatten wurden nicht tragende, verlorene Betonfertigteile eingesetzt, auf denen die Bewehrung verlegt wurde und ein erster Betonierabschnitt von ca. 70 cm ausgeführt wurde.

Alle Pfeiler, die Pylonen und der A-Bock wurden mit Gleitschalung hergestellt. Bei den Pfeilern mit konstanten Abmessungen von unten bis oben war dies sehr wirtschaftlich und produktiv. Bei den Pylonen war für beide Querträger der Gleitprozess zu unterbrechen und nach dem Herstellen des Querträgers neu zu starten. Wie zu erwarten, konnte wegen der teils konzentrierten Bewehrung und des variablen Pylonquerschnitts nicht das gewünschte Resultat an Produktivität und Qualität erreicht werden. In den von Gewerkschaften bestimmten Arbeitsverhältnissen in Venezuela war der technische Zwang, die Arbeiten nicht unterbrechen zu können, bis der Gleitprozess abgeschlossen war, ein wichtiger Faktor für die Wahl des Gleitverfahrens.

Die einzelnen Kastenteile des Überbaus – Stege, Ober- und Untergurt –, die Diagonalen, Randträger etc. wurden in Belo Horizonte/Brasilien gefertigt und nach Ciudad Guayana verschickt. Hier wurden sie in verschiedenen Werkstätten zu insgesamt 263 Schüssen mit globalen Abmessungen von $12\text{ m} \times 23\text{ m} \times 5,5\text{ m}$ zusammengebaut und zur 16 km entfernten Baustelle transportiert.

Diese Abschnitte wurden hinter den Widerlagern in Abschnittslängen von

- 300 m , 336 m , 360 m bei den Vorlandbrücken
 - 210 m bei den Hauptbrücken
- zusammengebaut und dann eingeschoben. Der Zusammenbau erfolgte in drei Linien mit anschließendem Querverschub in der Brückenachse.

Der Längsverschub der südlichen Hauptbrücke erfolgte auf Rollwagen, alle anderen Teile wurden auf Teflonlagern verschoben. Im Gegensatz zu der üblichen Ausführung – Gleitpartner Teflon (bewegt sich), Edelstahl (fest) – fuhr hier der unbehandelte, gefettete Untergurt über das längsfeste Teflon. Dies führte teils zu verstärktem Abrieb und die Teflonplatten wurden mehrfach ausgetauscht. Der Gleitbeiwert lag im Mittel bei 5% .

Zur Vereinfachung des Auf- und Ablaufens wurde sowohl vorne wie hinten ein Vorbauschubel vorgesehen. Im letzten Feld wurde dann ohne Vorbauschubel geschoben, bis der Trennpfeiler erreicht wurde.

Da nur am Pylon 30 ganzjährig ausreichende Wassertiefe gewährleistet ist, wurde hier zunächst mit Schwimmkran zwischen Pfeiler 28 (A-Bock) und Pylon 30 ein Traggerüst von $2\text{ m} \times 60\text{ m}$ Länge eingebaut. Danach wurden die 12 m



Überbaumontage Rückhaltebereich P26–P30 (1)



Überbaumontage Rückhaltebereich P26–P30 (2)

langen Einzelteile mit einem am Pylon befestigten Kran gehoben, auf dem Gerüst längsverschoben und verschweißt. Nach Längsverschub des ersten 120-m-Teils wurden die weiteren Elemente analog angefügt.

Zum Freivorbau in den Hauptspanweiten wurden in der Vormontage je zwei 12-m-Elemente zusammengelegt und verschweißt. Danach wurden je drei 24-m-Elemente zur Überprüfung der Geometrie zusammengelegt.

Die 24-m-Abschnitte wurden mit den Trapezprofilen eingeschwommen und mit Derricks eingehoben. Das 10,8 m lange Schlussstück wird mit beiden Derricks gehoben.

Im Freivorbau wurde in 12-m-Abschnitten betoniert, da für den Einzug eines neuen Seilpaares die Fahrbahnplatte tragfähig sein musste und für einen 24-m-Kragarm mit Betonplatte die Kapazitäten der Seile oder des Kastens nicht ausgereicht hätten.

Die Kabel konnten in den Seitenfeldern in einem Schritt gespannt werden, in der Hauptöffnung musste in Hinblick auf die Kabelverankerung am Kragarmende in zwei bis drei Schritten gespannt werden.

Die Eröffnung dieser Brücke in 2006 wird ein großer Erfolg für die Region und alle Beteiligten sein.

5. Technische Daten

Gesamtlänge:	3.156 m
Breite zw. Geländern:	24,7 m
Brückenfläche:	77.953 m ²
Anzahl Felder:	45
Konstruktionshöhe:	5,9 m
Größte Spannweite:	300 m

Überbau:

- Baustahl: 27.700 t
- Beton: 21.600 m³
- Bewehrung: 10.000 t
- Kabel: 1.500 t

Baustoffe:

- Pfähle: C 30
- Pfahlkopfplatten: C 30
- Pfeiler, Pylone: C 38
- Fahrbahnplatte: C 38 – C 47
- Baustahl: ST 52-3
- Betonstahl: BST 500 S
- Kabelstahl: ST 1570/1770

6. Projektbeteiligte

Auftraggeber:

Corporación Venezolana de Guayana (CVG)

Entwurfsplanung:

Lustgarten y Asociados, Caracas (LyA)
Leonhardt, Andrä und Partner GmbH, Stuttgart (LAP)

Auftragnehmer:

Constructora Norberto Odebrecht de Venezuela C.A. (CNO)

Ausführungsplanung:

BRAVE, São Paulo/Caracas

Montageplanung:

Leonhardt, Andrä und Partner GmbH, Stuttgart

Prüfung:

Leonhardt, Andrä und Partner GmbH, Stuttgart

Subunternehmer:

Usiminas Mecanica, Belo Horizonte, Brasilien
DSD, Vhicoa, Rolini, Ciudad Guayana, Venezuela
Freysinnet, Spanien
Ale Lastra, Spanien
Dorman Long, UK



Freivorbau



Übersicht aktuell