

Der Beitrag Südamerikas zur Entwicklung des Großbrückenbaus

Reiner Saul, Karl Humpf

Leonhardt, Andrä und Partner Beratende Ingenieure VBI, GmbH, Stuttgart

Zusammenfassung: Es wird über innovative Technologien, die zuerst beim Entwurf und Bau von weitgespannten Brücken in Südamerika angewendet wurden, berichtet, z. B.

- Gründungen in tiefem Wasser
- Taktschiebebrücken
- weitgespannte Brücken im Doppelverbund
- Schrägkabelbrücken für Eisenbahnen
- Schutz von Brückenpfeilern gegen Schiffsanprall

1 EINLEITUNG

In der postkolumbianischen Zeit haben die großen südamerikanischen Flüsse die Entdeckung des Subkontinents sehr erleichtert. Im Zeitalter von Autos und Eisenbahnen wurden sie dagegen zu großen Hindernissen, die nur an wenigen Stellen mit Fähren überquert werden konnten.

Erst in den letzten vierzig Jahren wurden die Fähren im Zuge der wichtigsten Straßen und Eisenbahnlinien durch Brücken ersetzt. Wegen der Größe dieser Flüsse, wegen der auf ihnen verkehrenden Hochseeschiffe und wegen des oft schlechten Baugrunds erforderten Entwurf und Bau dieser Brücken das Beschreiten neuer Wege.

Einige Innovationen, die zum ersten Mal bei lateinamerikanischen Brücken angewendet wurden, sind

- Gründungen im tiefen Wasser mit Großbohrpfählen
- Spannbetonbrücken, die durch Einschieben hergestellt werden
- weitgespannte Brücken mit Doppelverbund
- Schrägseilbrücken für Eisenbahnen
- Schutz von Brückenpfeilern gegen Schiffsanprall.

2 GRÜNDUNGEN IN TIEFEM WASSER

2.1 Allgemeines

Die große Wassertiefe und der schlechte Baugrund machen bei vielen südamerikanischen Flüssen eine Pfahlgründung erforderlich. Die Herstellung langer Pfähle mit großem Durchmesser ist daher eng mit dem Brückenbau in dem Subkontinent verbunden, und die hier gesammelten Erfahrungen wurden beim Bau vieler Brücken in aller Welt eingesetzt.

2.2 Historische Beispiele

Die historischen Beispiele, Tabelle 1, zeigen die große Vielfalt im Entwurf der Pfähle.

Tabelle 1: Frühe Gründungen mit Großbohrpfählen

Brücke	Maracaibo See / Venezuela	Rio-Niteroi / Brasil	über den Uruguay zwischen Fray Bentos / Argentinien und Puerto Unzué / Uruguay	Zárate-Brazo Largo über den Paraná / Argentinien
Bauzeit	1959 - 1962	1969 – 1974	1972 – 1976	1971 – 1978
Länge	bis 50 m	bis 70 m	bis 50 m	bis 73 m
Durchmesser	1,35 m	1,8 m	1,50 m	2,0 m
Querschnitt	Spannbeton	Stahlbeton	Spannbetonrohr t = 15 cm, mit Beton gefüllt	16 mm Stahlrohr gefüllt mit Stahlbeton

2.3 Neuere Beispiele

Es können nur zwei von vielen hundert Beispielen genannt werden.

Galata Brücke über das Goldene Horn in Istanbul / Türkei (1985 – 1993), [1]

Die 477 m lange und 42 m breite Brücke besteht aus doppelstöckigen Vorlandbrücken aus Spannbeton und einer Klappbrücke mit einer lichten Durchfahrtsbreite von 80 m. Sie ist auf bis zu 85 m langen Stahlpfählen \varnothing 2 m, $t = 20$ mm, die teilweise gebohrt und teilweise gerammt wurden, gegründet. Die Brücke war für ein Erdbeben mit $PGA = 0,35$ g und den Anprall eines 8000 dwt Schiffs mit $v = 2,5$ m/s zu bemessen.

Orinoco-Brücke in Ciudad Guayana, Venezuela (2001 – 2006), [2]

Die kombinierte Straßen- und Eisenbahnbrücke hat eine Gesamtlänge von 3156 m, die Hauptbrücken sind zwei aneinander gereihete Schrägkabelbrücken mit Mittelöffnungen von je 300 m. Die Brücke ist auf Stahlbetonbohrpfählen mit Längen bis zu 83 m und Durchmesser von 2,0 m bzw. 2,5 m gegründet.

3 TAKTSCHIEBEBRÜCKEN

3.1 Historischer Überblick

Die 1961 fertiggestellte, 480 m lange Straßenbrücke über den Caroni in Ciudad Guayana, Venezuela, war die erste eingeschobene Spannbetonbrücke [3], Abb. 1. Sie wurde zunächst ganz hinter einem Widerlager hergestellt und dann eingeschoben – im Vergleich zu früher ein großer Fortschritt, aber immer noch ein relativ teures und wenig flexibles Bauverfahren.



Die logische Weiterentwicklung bestand darin, die Brücke in Abschnitten herzustellen und dann in Takten einzuschieben. Dieses Verfahren wurde zum ersten Mal 1968 für den Bau der Autobahnbrücke über den Inn bei Kufstein eingesetzt und danach weltweit bei hunderten von Brücken.

Abbildung 1: Brücke über den Caroni in Ciudad Guayana, Venezuela

3.2 Grundgedanke [4], Abb. 2

Die Abschnitte haben Längen von 15 m bis 30 m und werden im Wochentakt hergestellt, wobei zunächst der Untergurt und die Stege und danach die Fahrbahnplatte hergestellt werden.

Die Brücke wird i. a. von den Widerlagern geschoben und gleitet an den Pfeilern auf Lagern aus Teflon und Edelstahl.

Zur Reduzierung des Kragmomentes wird am ersten Abschnitt ein Vorbauschnabel befestigt, dessen Länge etwa 60 % der Regelstützweite entspricht. Für Stützweiten über 60 m empfiehlt sich eine Hilfsstütze.

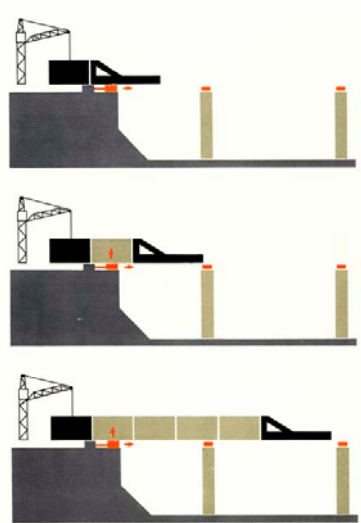


Abbildung 2: Das Taktschiebeverfahren

3.3 Brücken mit Rekordlänge [5], Abb. 3

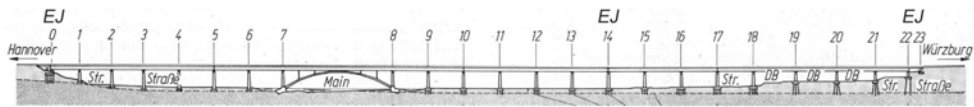


Abbildung 3: Eisenbahnbrücke über den Main Veitshöchheim-Margretshöchheim

Die 1984 bis 1987 gebaute zweigleisige Eisenbahnbrücke über den Main Veitshöchheim-Margretshöchheim hat eine Gesamtlänge von 1280 m und wurde 1986 im Guinness-Buch der Rekorde als längste jemals gebaute Taktschiebebrücke erwähnt. Die Mittelöffnung von 182 m ist ein sehr schlanker Bogen.

Der Bogen wurde im Freivorbau mit Hilfsabspannungen errichtet. Danach wurde der Überbau von einem Widerlager zu anderen geschoben, wobei der Bogen durch eine Hilfsabspannung und ein Gegengewicht gegen die beim Überfahren auftretenden hohen unsymmetrischen Lasten stabilisiert werden musste.

4 WEITGESPANNTE BRÜCKEN MIT DOPPELVERBUND

4.1 Einleitung

Brücken mit Stützweiten zwischen 100 m und 200 m werden in den letzten 15 Jahren häufig als Doppelverbundbrücken ausgeführt. Diese Entwicklung wurde ermöglicht durch

- Ersetzen des Entwurfskriteriums "Begrenzung der Betonzugspannungen" durch "Begrenzung der Rissbreiten"
- Verwendung eines Beton- anstelle eines Stahluntergurts im Bereich der Vouten.

Dieser Betonuntergurt hat bei geringeren Kosten eine deutlich höhere Steifigkeit, Tabelle 2, und ferner die folgenden Vorteile

- Vergrößerung der Stützweiten bis in Bereiche, die früher den Brücken mit orthotroper Platte, Bogenbrücken und Schrägkabelbrücken und auch – in Ausnahmefällen – Spannbetonbrücken vorbehalten waren.
- Sinnvoller Ersatz von Stahl durch Beton. Dies kann in Ländern ohne eigene Stahlproduktion und/oder mit Importbeschränkungen ausschlaggebend dafür sein, dass überhaupt eine Verbundbrücke zum Zuge kommt.
- Bei Eisenbahnbrücken können durch Doppelverbund vorteilhaft die Verformungsbeschränkungen eingehalten werden, da Stahl- und Betonquerschnitt hierfür mit $n = E_{St}/E_b = 6$ umzurechnen sind.
- Durch gezielten Einsatz des Doppelverbundes und eine entsprechende Betonierfolge kann die Steifigkeits-, Schnittkraft- und Spannungsverteilung günstig beeinflusst werden.
- Es entfallen dicke Baustellenschweißnähte und die damit verbundenen Verformungen und Eigenspannungen.

Tabelle 2: Vergleich von Steifigkeit und Kosten

		Stahl	Beton
Grad		StE 360	B 45
F'_{yK}	[MN/m ²]	360	27
N	[MN]		
$A = N/F'_{yK}$	[m ²]	0,278	3,70
V	[m ³ /m]		3,70
G	[kN/m]	25	
Unit Price	[€kN]	300	
	[€m]		500
Cost	[€m]	7.500	1.850
E	[kN/m ²]	$2,1 \times 10^6$	$0,27 \times 10^8$
E x A	[kN]	$0,58 \times 10^8$	$1,37 \times 10^8$
<u>Stiffness</u>	[kN]		
Cost	[€m]	7.800	74.000

4.2 Brücke Angosturita über den Caroni in Ciudad Guayana / Venezuela [6], Abb. 4

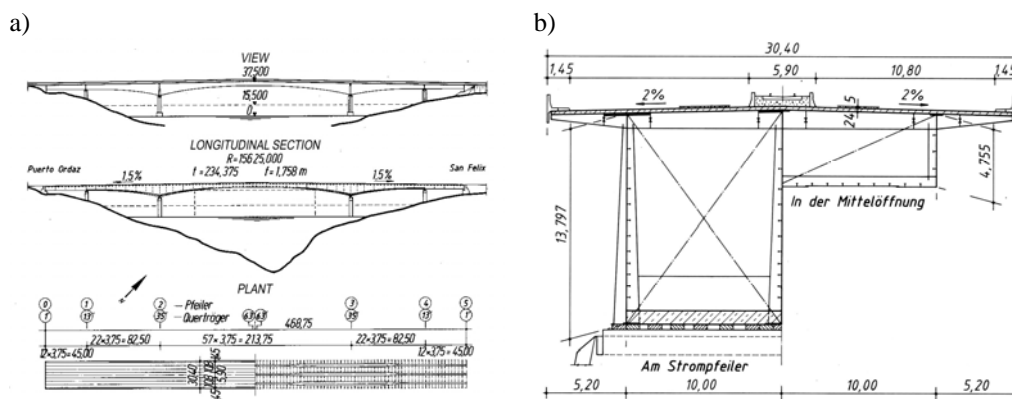


Abbildung 4: Angosturita Brücke über den Caroni in Ciudad Guayana, Venezuela
a) Übersicht, b) Querschnitte

Die von 1986 bis 1992 gebaute Brücke überführt eine 6spurige Autobahn und eine eingleisige, zentrische Eisenbahn; als Belastung war der Cooper 72 train anzusetzen.

Die gevoutete Brücke hat eine Stützweite von 213,75 m – was sie zur weltweit weitestgespannten Verbundbrücke machte – und Bauhöhen von 5 m in Brückenmitte und 14 m an den Pfeilern, entsprechend Schlankheiten von 1:43 bzw. 1:15. Der Querschnitt ist ein zwei-zelliger Kasten mit Stahluntergurt im Feld und Betonuntergurt im Bereich der Pfeiler und des langen Seitenfeldes.

Weitere Innovationen waren

- die Platte wird durch Querträger gestützt und nicht – wie üblich – in Querrichtung gespannt, wodurch Eigengewicht in der Größenordnung der Straßenverkehrslast eingespart werden konnte
- der Verbund wird durch Perfobondleisten anstelle der üblichen Kopfbolzendübel gesichert.

Die Brücke wurde im Taktschiebverfahren hergestellt, wobei die veränderliche Bauhöhe durch ein untergeschnalltes Fachwerk ausgeglichen wurde und das Kragmoment bis zum Erhärten des Untergurtbetons durch eine Hilfsüberspannung reduziert wurde.

4.3 Weitere Beispiele

Nach erfolgreicher Fertigstellung der Brücke Angosturita wurden weitere weitgespannte Doppelverbundbrücken gebaut, in Deutschland u. a. die zweigleisige Eisenbahnbrücke über den Main in Nantenbach mit einer Mittelöffnung von 208 m [7], Abb. 5.

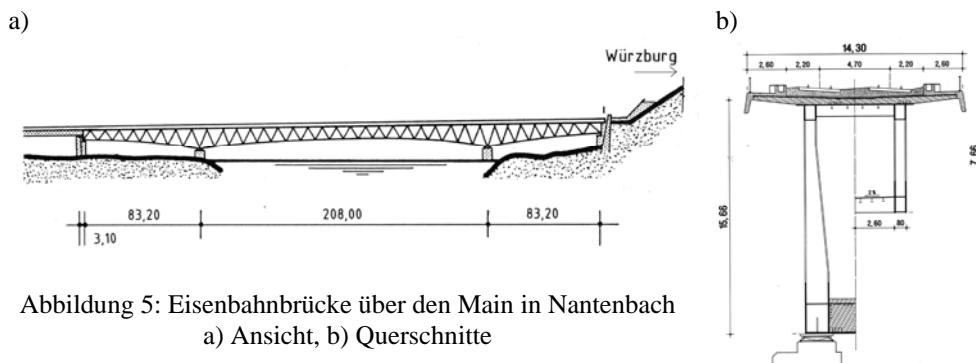


Abbildung 5: Eisenbahnbrücke über den Main in Nantenbach
a) Ansicht, b) Querschnitte

5 SCHRÄGKABELBRÜCKEN FÜR EISENBAHNEN

5.1 Einleitung

Die von 1971 bis 1978 gebauten Brücken über den Paraná de las Palmas und Paraná Guazu, Argentinien, waren weltweit die ersten Schrägkabelbrücken für Volleisenbahn und Straßenverkehr. Die Eisenbahn befindet sich im Hinblick auf die Anschlüsse am nördlichen Brückenrand, wodurch die gesamte Konstruktion stark unsymmetrisch wird [8], Abb. 6.

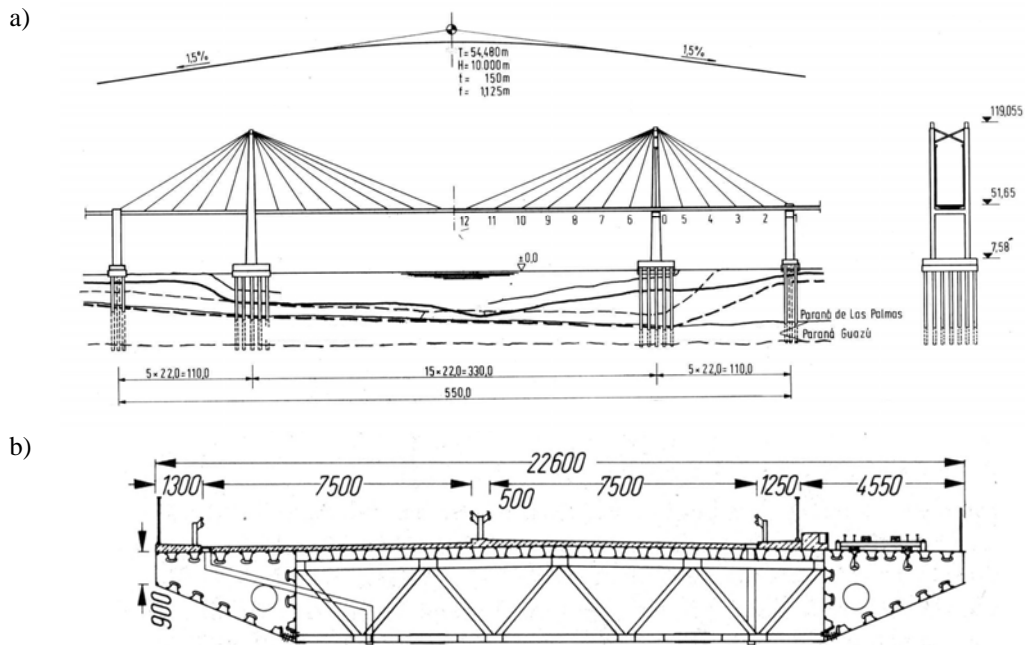


Abbildung 6: Zárate-Brazo Largo Brücken über den Paraná, Argentinien
a) Übersicht, b) Querschnitt

Nach dieser Pioniertat wurden Schrägkabelbrücken für Eisenbahnen in vielen anderen Ländern gebaut, z. B. die Oeresundbrücke zwischen Dänemark und Schweden, die Paraná-Brücke Posadas-Encarnación zwischen Argentinien und Paraguay [9], und die Orinoco-Brücke in Ciudad Guayana, Venezuela [2].

Entwurf und Bau der Brücken Zárate-Brazo Largo beinhalten eine Reihe weiterer Innovationen, z. B.

- Betonpylone
- werksgefertigte Paralleldrahtbündel
- Einsatz von hydraulischen Puffern zur Übertragung der Eisenbahnbremskräfte auf beide Pylone
- symmetrischer Freivorbau von den Pylonen

5.2 Betonpylone

Die überwiegende Mehrzahl der frühen Schrägseilbrücken – z. B. über den Rhein – hatten Stahlpylone.

Aber die – hauptsächlich auf Druck beanspruchten – Pylone sind selbst bei schlechten Baugrundverhältnissen in Beton günstiger als in Stahl und wurden deshalb in den letzten Jahren bei vielen Schrägkabel- und Hängsbrücken ausgeführt.

5.3 Paralleldrahtbündel

In Deutschland wurden bis vor kurzem fast ausschließlich verschlossene Seile aus St1500 verwendet, die ein merkliches Kriechverhalten haben und bis etwa 1980 eine relativ geringe Betriebsfestigkeit hatten.

Beginnend mit den Brücken Zárate-Brazo Largo wurden im Ausland überwiegend werksgefertigte Paralleldrahtbündel eingesetzt, die nicht kriechen und eine deutlich höhere Betriebsfestigkeit haben.

Heute sind baustellengefertigte Bündel aus Monolitzen $\varnothing 0,6''$, St1570/1770 weltweit das am meisten angewendete System, das erst in jüngster Zeit auch in Deutschland angewendet wird [10], Abb. 7.

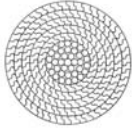
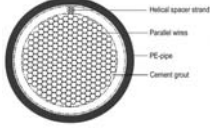
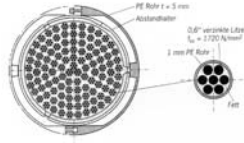
Characteristics		Modern locked coil rope	Parallel wire cable	Parallel strand cable
				
$E \cdot 10^5$	[N/mm ²]	0,170	0,205	0,195
f_u	[N/mm ²]	1470	1670	1870
$\Delta\sigma$	[N/mm ²]	150	200	200
biggest cables fabricated so far	\varnothing [mm]	180	499 \varnothing 7	100 \varnothing 0,6''
	P_u [MN]	31,0	32,1	24,5
	L [m]	> 1000	250	\approx 200
	max G [t]	> 80	23	\approx 20

Abbildung 7: Schrägkabelsysteme

5.4 Hydraulische Puffer

Ein großes Problem beim Entwurf von Eisenbahnbrücken - insbesondere bei Brücken über tiefes Wasser oder schlechten Baugrund - ist die Ableitung der Bremskräfte, die in der Größenordnung von 10 MN liegen.

Bei den Brücken Zárate-Brazo Largo werden alle Längskräfte durch vier hydraulische Puffer auf die beiden Pylone verteilt. Die Drosseln und ein spezielles Öl stellen sicher, dass

- bei hohen Temperaturen die Längskräfte eine Verschiebung von nicht mehr als 0,67 mm/s erzeugen
- bei niedrigen Temperaturen eine Temperaturänderung Reaktionskräfte von nicht mehr als 0,5 MN erzeugt.

Diese innovative Lösung ist später bei vielen Eisenbahnbrücken verwendet worden, z. B. bei Brücken der Hochgeschwindigkeitsstrecken der Deutschen Bundesbahn [11].

5.5 Symmetrischer Freivorbau

Bei Schrägkabelbrücken, die nur wenig über dem Gelände bzw. dem Wasser liegen – z. B. den Rheinbrücken – werden zunächst die Seitenöffnungen auf den endgültigen und Hilfspfeilern hergestellt und danach die Mittelöffnung im Freivorbau. Wenn dagegen die Brücke hoch über dem Wasser liegt und Hilfspfeiler gegen Schiffsanprall geschützt werden müssten, ist es zweckmäßig, den Überbau vom Pylon aus im symmetrischen Freivorbau zu errichten.

Dieses Montageverfahren wurde zum ersten Mal bei den Brücken Zárate-Brazo Largo angewendet, Abb. 8, und danach weltweit bei vielen anderen Brücken, z. B. den Brücken über den Columbia River [12] und den Houston Ship Channel [13] in den USA.

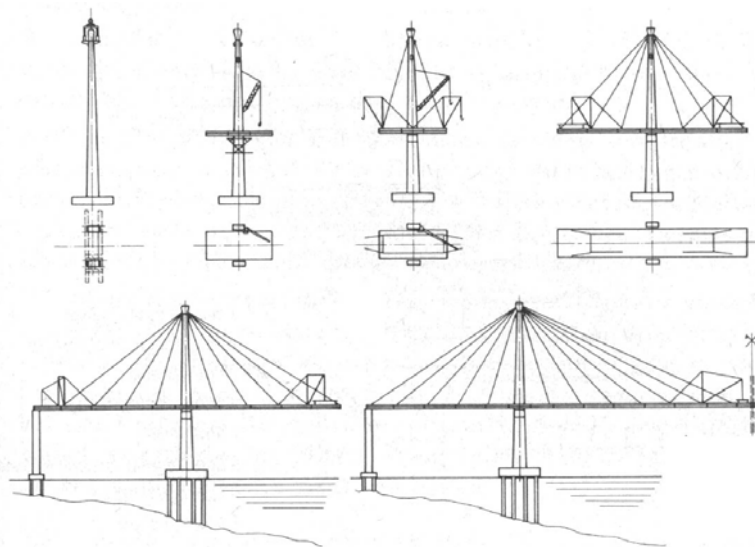


Abbildung 8: Montageverfahren der Brücken Zárate-Brazo Largo

6 SCHUTZ VON BRÜCKENPFEILERN GEGEN SCHIFFSANPRALL

6.1 Einleitung

Mit dem Einsturz der Sunshine Skyway Brücke in Florida, USA, und der Akseröfjord-Brücke in Schweden – beide im Jahr 1980 und mit 33 bzw. 8 Todesopfern – wurde klar, dass ein Schiffsanprall eine der größten Gefahren für Brücken ist.

Das Problem wird verstärkt, wenn

- die Brücke auf Pfählen in tiefem Wasser und auf schlechtem Baugrund zu errichten ist
- neben dem Schiffsanprall auch Erdbeben zu berücksichtigen ist
- ein großer Unterschied zwischen höchstem und niedrigstem schiffbaren Wasserstand besteht.

6.2 Brücken Zárate-Brazo Largo

Dieser Schutz für Schiffe bis 15000 dwt wurde nach Fertigstellung der Brücke als Entwurf mit Ausführung ausgeschrieben. Es wurden 13 Angebote mit Kosten zwischen 10 und 50 Millionen Euro abgegeben, [15], Tabelle 3, was zeigt, dass das gewählte Ausschreibungsverfahren für so ein komplexes Problem nicht geeignet ist.

Tabelle 3 Übersicht über die Angebote zum Schutz der Zárate-Brazo Largo Brücken, geordnet nach dem Angebotspreis

Nr.	Bieter	Preis [Mio DM]	Beschreibung
1	Celia S. A.	16,9	Schwimmender Schutz: mit Fangkabeln verbundene Bojen mit Kabeln an der Flußsohle verankert
2	Afne S. A.	17,2	Schwimmender Schutz: Stahlpontons mit Ketten an der Flußsohle verankert: ausgeführt
3	Seggiaro-Burs-Colombo y Noccti Achaval	25,4	Schwimmender Schutz: mit Fangkabeln verbundene Bojen mit Ketten an der Flußsohle verankert.
4	Perfomar S. A. – Impresit S. A.	26,8	Schwimmender Schutz: verbundene Stahlpontons Energievernichtung durch Bleidämpfer an den Ankerkabeln
5	Pentamar S. A. – Sanym S. A.	28,7	Schwimmender Schutz: mit Ketten verbundene Bojen an der Flußsohle verankert.
6	H. O. Albano	39,5	Schwimmender Schutz: Betonpontons mit Stahlfachwerk-Fendern mit Ketten an der Flußsohle verankert
7	Astilleros Principe y Menghi	43,5	Paraná de Palmas: Pfeiler 150: Aufsschüttung 149: mit Sand gefüllte Spundwand Paraná Guazú: Stahlpontons mit Fendern an Ketten verankert
8	Ecomad	49,1	Fester Schutz: Kreiszellen aus Stahlrohren mit Schlacke gefüllt
9	Cartellone	52,3	Fester Schutz: Plattformen auf Pfählen, Energieaufnahme durch Neoprenelager und -fender
10	Dragados y Obras Portuarias S. S. (DYOPSA)	63,6	Paraná de las Palmas: gefederte Betonbalken auf Schrägpfählen Paraná Guazú: verbundene Bojen an Ketten, Ankerblöcke mit Pfählen gesichert.
11	Techint S. A.	64,9	Fester Schutz: Kreiszellen mit Holzwendern
12	Acero Sima S. A.	98,4	Paraná de las Palmas: Aufschüttungen
	Variante A	81,1	Paraná Guazú: Betonplattformen auf Stahlpfählen
	Variante B		

Verwirklicht wurde das billigste Angebot – schwimmende, mit Ketten verankerte Plattformen -, eine Lösung, die später bei vielen anderen Brücken verwirklicht wurde, Abb. 9.

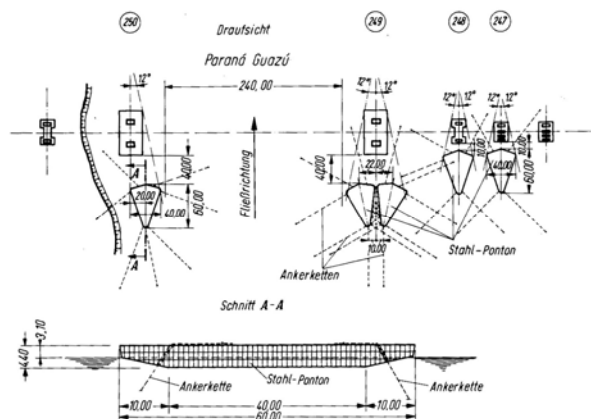


Abbildung 9: Schutzsystem Zárate-Brazo Largo Brücken

6.3 Brücke Rosario-Victoria

Etwa 30 Jahre nach Zárate-Brazo-Largo war diese Brücke, die ebenfalls den Paraná überquert, gegen den Anprall eines 50.000 dwt Schiffes zu schützen, da der inzwischen privatisierte (!) Fluss durch Baggern eine vertiefte Fahrrinne hat.

Der Schutz dieser Brücke [15] wurde für eine Einsturzwahrscheinlichkeit von 10^{-2} in 100 Jahren bemessen [16]. Er besteht aus Betonplattformen, die von Verbundpfählen \varnothing 2 m aus StE690 und C45 gegründet sind. Diese Pfähle wurden nicht für die Aufnahme der Anpralllast bemessen, sondern für die Absorption der Schiffsenergie durch plastische Deformation, Abb. 10. Ein ähnlicher Schutz wurde 2004 bei der Fuß- und Radwegbrücke über den Rhein Kehl-Straßburg verwirklicht.



Abbildung 10: Modelltest

7 SCHLUSSWORT

Es wurden Entwicklungen im Entwurf und der Ausführung von Großbrücken beschrieben, die von Lateinamerika ausgingen und schnell in vielen Ländern angewendet wurden. Obwohl sich der Bericht auf Argentinien und Venezuela beschränkt, wird der Beitrag des Subkontinents zur Entwicklung des Großbrückenbaus sichtbar.

Leonhardt, Andrá und Partner, Stuttgart, hat an der Verwirklichung aller gezeigten Brücken mitgewirkt. Den Autoren ist es ein Bedürfnis und eine große Freude, den Bauherren und allen am Bau dieser Brücken Beteiligten für ihren Mut zu Innovationen zu danken – eine Haltung, die leider nicht überall anzutreffen ist.

LITERATUR

- [1] Saul, R. et al
Die neue Galata-Brücke in Istanbul
Bauingenieur 67 (1992), S. 433-444 und 68 (1993), S. 43-51.
- [2] Saul, R., Humpf, K., Lustgarten, M.
Die Orinoco-Brücke in Ciudad Guayana / Venezuela
Stahlbau 75 (2006), Heft 2, S. 82 – 92.
- [3] Leonhardt, F., Baur, W., Trah, W.
Brücke über den Rio Caroni, Venezuela
Beton- und Stahlbetonbau 61 (1966), S. 25 - 38.
- [4] Baur, W.
Auswirkungen des Taktschiebeverfahrens auf den Entwurf langer Brücken.
Vorbericht 9. IVBH Kongress, Amsterdam, 8. – 13. Mai 1972.

- [5] Maak, H., et al
Planung, Ausschreibung und Vergabe der Maintalbrücke Veitshöchheim
Beton- und Stahlbetonbau 82 (1987) Heft 8, S. 201 - 206.
- [6] Saul, R., et al
Verbundbrücke mit Rekordspannweite über den Rio Caroni/Venezuela
Stahlbau 61 (1992), S. 1-8.
- [7] Schwarz, O., Leonhardt, F., Saul, R.
Die Mainbrücke Nantenbach
ETR Eisenbahntechnische Rundschau, Heft 12 (1991).
- [8] Leonhardt, F., Zellner, W., Saul, R.
Zwei Schrägkabelbrücken für Eisenbahn- und Straßenverkehr über den Rio Paraná,
Argentinien
Der Stahlbau 48 (1979), S. 225 - 236, 272 - 277.
- [9] Colazingari, C., Bellerio, C., Gozzi, V.
The Posadas-Encarnación Bridge over the Paraná river, between Argentina and
Paraguay (Die Brücke Posadas-Encarnación über den Paraná, zwischen Argentinien
und Paraguay).
L'industria italiana del Cemento 2/1995, S. 78 - 97.
- [10] Kleinhanss, K., et al
Die zweite Strelasundquerung mit der Schrägseilbrücke über den Ziegelgraben
Bauingenieur 82 (2007), S. 159-169.
- [11] Prommersberger, G., Rojek, R., Hommel, D.:
Grundsatzuntersuchung zur Abtragung der Längskräfte auf Talbrücken
Der Eisenbahn Ingenieur (1981) Heft 9, S. 383.
- [12] Leonhardt, F., Zellner, W., Svensson, H.:
Die Spannbeton-Schrägkabelbrücke über den Columbia zwischen Pasco und
Kennewick im Staat Washington, USA
Beton- und Stahlbetonbau 75 (1980) S. 29-36, 64-70, 90-94.
- [13] Svensson, H., Hopf, S., Humpf, K.:
Die Zwillings-Verbundschrägkabelbrücke über den Houston Ship Channel bei
Baytown, Texas
Stahlbau 66 (1997), S. 57 - 63.
- [14] Saul, R., Svensson, H.
Zum Schutz von Brückenpfeilern gegen Schiffsanprall
Die Bautechnik 58 (1981) S. 326-335, 374-388.
- [15] Saul, R., et al
Innovativer Schutz gegen Schiffsanprall für die Brücke Rosario-Victoria über den
Paraná (Argentinien)
Stahlbau 72 (2003), p. 469-484.
- [16] AASHTO: Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of
Highway Bridges (Richtlinien und Erläuterungen für die Bemessung von
Straßenbrücken gegen Schiffsanprall), Vol. I: Final Report, Washington D. D., 1991.