



Baurat h.c. Dipl.-Ing. Dr.techn. Robert FENZ

Vorstandsdirektor i.R. der Österreichischen
Donaukraftwerke AG

Im Verlauf einer vom Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz im September 1979 veranstalteten Exkursion war Gelegenheit, die Kraftwerksbaustelle Itaipu zu besichtigen. Die beiden südamerikanischen Staaten Brasilien und Paraguay errichten gemeinsam am Fluß Paraná, der in diesem Bereich Grenze zwischen beiden Ländern ist, die größte und leistungsstärkste Wasserkraftanlage der Welt. Einleitend seien nur einige kennzeichnende Werte angegeben: Das Kraftwerk wird 18 Maschinensätze zu je 700 MW, also zusammen 12.600 MW erhalten und einen Bauaufwand von über 33 Mio m³ Felsaushub und ca. 11 Mio m³ Beton erfordern. Dies entspricht, um mit österreichischen Maßstäben zu messen, der 18fachen Leistung von Zwentendorf und der 10fachen Betonkubatur unserer größten Talsperre Kölnbrein im Maltatal.

Brasilien - größer als Europa

Es ist aber zweckmäßig, sich bei diesen Dimensionen auch die Größenverhältnisse von Südamerika überhaupt und auch die von Brasilien sowie der dortigen Flußsysteme vor Augen zu halten. Ganz Südamerika hat mit einer Fläche von rund 17,8 Mio km² die mehr als 70fache Fläche der Bundesrepublik Deutschland oder die 200fache Fläche von Österreich. Die Hälfte des Kontinents nimmt Brasilien mit 8,5 Mio km² ein, es hat eine Bevölkerung von rund 120 Mio Einwohnern, also nur ca. 14 je km², während Österreich vergleichsweise 90 Einwohner je km² aufweist. Größenordnungsmäßig steht Brasilien an fünfter Stelle im Welttrang nach USSR, China, Kanada und USA. Paraguay ist dagegen vergleichsweise klein, es hat nur 400.000 km² und knapp 3 Mio Einwohner, somit nur 7 Einwohner je km². Interessant ist vielleicht auch der Energieverbrauch (Gesamtenergie, nicht nur an Elektrizität) je Einwohner; er beträgt in Brasilien

Bevor auf die eigentliche Schilderung des im Bau befindlichen Kraftwerkes eingegangen wird, noch einige Bemerkungen zur Elektrizitätsversorgung und ihren Zukunftsaussichten in Brasilien; die für die gesamte Elektrizitätsversorgung verantwortliche staatliche Organisation "Elektrobrás" gibt für 1979 einen Bestand von 24.000 MW und 110.000 GWh/a an. (1 MW = 1000 Kilowatt und GWh/a = 1 Mio Kilowattstunden pro Jahr.) Dieser Wert (etwa das 3fache von Österreich) wird bis 1990 auf 77.000 MW ansteigen, da Brasilien derzeit eine Verdoppelung in 7 Jahren aufweist. Außer den in Betrieb befindlichen Anlagen von 24.000 MW sind zur Zeit etwa gleich große Kraftwerke im Bau, sodaß in wenigen Jahren 50.000 MW zur Verfügung stehen werden, wovon 50% aus dem Paranágebiet und 25% aus der südlichsten Region stammen. Brasilien deckt derzeit etwa 90% seines Elektrizitätsbedarfes aus Wasserkraftanlagen und der ermittelte Gesamtvorrat von 209.000 MW (angeblich sogar 250.000 MW) an verfügbarem und ausbauwürdigem Potential an Wasserkraft zeigt den enormen Reichtum dieses Staates an der wertvollen, sich immer erneuernden Energieform. Bei Vollausbau der brasilianischen Wasserkraft kann jährlich ein Äquivalent von 250-300 Mio t Heizöl eingespart werden (Österreichs Gesamtvorrat an Öl ca. 30 Mio t). In Paraguay sind die energiewirtschaftlichen Fragen verglichen mit Brasilien klein; es ist daher auch vorgesehen, daß zumindest in den Anfangsjahren Brasilien den Strom aus Itaipu, der vertraglich (50%) Paraguay zusteht, aber dort nicht benötigt wird, abnimmt. Der Vollständigkeit halber sei nur angeführt, daß der Paraná und seine Zubringer oberhalb von Itaipu bereits 35 Kraftwerke in Betrieb oder Bau aufweist und weitere 22 Kraftwerke geplant sind. Die relative Nähe dieser großen Wasserkräfte zu den Ballungszentren Sao Paulo und Rio erhöhen ihren Wert besonders, beträgt doch die Entfernung von Itaipu bis Sao Paulo nur etwa 800 km Luftlinie.

Ein Gemeinschaftswerk von Brasilien und Paraguay

Nach ersten Studien ab 1966 und Abschluß eines Kooperationsvertrages zwischen den El-Organisationen "Elektrobrás" und "Ande" (Brasilien und Paraguay) erfolgte die generelle Projektierung. Nach Gründung von "Itaipu Binacional" im Jahre 1973 wurde nach Erteilung der ersten Großaufträge 1975 mit der Herstellung des Umleitungskanals und der Erschließung des Bau- und des Siedlungsgebietes begonnen. Im Mai 1977 erfolgte die Vergabe der Hauptbauarbeiten an 2 Arbeitsgemeinschaften, die aus 5 brasilianischen bzw. 5 paraguayenischen Bauunternehmen bestehen. Inzwischen wurden auch die Aufträge für die Großmaschinen - Turbinen und Generatoren - an Konsortien, bestehend aus süd- und nordamerikanischen, europäischen und japanischen Großfirmen vergeben.

Die Kraftwerksbaustelle befindet sich 20 km oberhalb der Mündung des Iguacu in den Paraná; der Iguacu bildet die Grenze zwischen Argentinien und Brasilien, sodaß an der Mündungsstelle alle 3 Staaten, einschließlich Paraguay zusammentreffen. Kurz oberhalb der Mündung bildet der Iguacu übrigens die weltberühmten Wasserfälle, ein grandioses Naturschauspiel, das in seiner Unberührtheit und Größe die Niagarafälle weit übertrifft. Die Wasserfälle wurden von den Exkursionsteilnehmern selbstverständlich auch besucht und zeigten allen eindrucksvoll die Gewalt der Wasserkraft. Die Fälle werden durch den Bau von Itaipu in keiner Weise beeinflusst.

In Itaipu - der Name bedeutet übrigens "singender Fels", zurückzuführen auf eine im Strombett gelegene, umrauschte Insel - wird der Fluß um etwa 120 m Höhe aufgestaut. Die dadurch gewonnene, nutzbare Fallhöhe variiert allerdings je nach Wasserführung mit der Höhe des Unterwassers um bis zu 46 m. Der Aufstau des Paraná wirkt sich ca. 160 km flußaufwärts aus und endet bei den Stromschnellen "Sete Quedas", wo ebenfalls ein Kraftwerk vorgesehen ist. Durch den Aufstau werden rund 1.350 km² überflutet - das entspricht der halben Fläche von Vorarlberg -, zwei größere Ansiedlungen müssen verlegt werden. Nach Fertigstellung des Kraftwerkes und Aufstau wird der Stausee nur sehr geringe Schwankungen von weniger als 1 m Größe aufweisen, lediglich bei extremen Hochwässern treten größere Veränderungen in der Spiegellage auf.

Umleitungsgerinne für 30.000 m³/sec

Um in dem 500-600 m breiten und bis zu 40 m tiefen Flußbett die Anlage errichten zu können, war zunächst ein Umleitungsgerinne, also ein neues Flußbett für den Paraná herzustellen, das aber dann in das endgültige Bauwerk einzugliedern ist. Während der gesamten mehrjährigen Bauzeit (1977-1982) des Hauptbauwerkes hat dieser Kanal alle Wassermengen des Paraná schadlos abzuführen, er wurde daher für 30.000 m³/sec Wasserführung dimensioniert. Die Sohlenbreite beträgt 100 m (beim Einlauf 150 m), die Aushubtiefe betrug bis zu 80 m im gewachsenen Basaltfels. Da er zur Umgehung der ganzen, gewaltigen Hauptbaugruben dient, ist er etwa 2 km lang und erforderte 22 Mio m³ Aushub, davon 20 Mio m³ Fels, was die extrem hohen Leistungen von etwa 1 Mio m³ Felsaushub je Monat erklärt. In diesen Umleitungskanal wurde gleichzeitig der untere Teil des späteren Sperrnbauwerkes mit 12 verschließbaren Durchlässen von 6,7 x 22 m Größe eingebaut, durch die seit Oktober 1978 der Paraná strömt. Hiefür waren rund 1 Mio m³ Beton erforderlich. Zur Illustration der Bauaufgaben: Um den notwendigen Felsabtrag unter Wasser verlässlich und termingerecht durchzuführen, wurden von Feber bis Juli 1978 zwei Bogenmauern mit über 30 m Höhe und 160 m

Kronenlänge als Hilfsabschlüsse betoniert und im Oktober des gleichen Jahres planmäßig wieder gesprengt, wodurch ein entscheidender Termin für die Umleitung des Paraná eingehalten werden konnte.

Teilweise während der Arbeit am Umleitungskanal, vor allem aber nach seiner Inbetriebnahme wurden die Fangdämme im eigentlichen Paraná-Strombett zum Abschluß der Baugrube errichtet. Enorme Steinschüttdämme mit dazwischen geschüttetem Lehmkern als Dichtung wurden in den Fluß vorgetrieben und unter gewaltigem Geräteinsatz (40 Großraummulden mit einer Ladefähigkeit von je 50-100 t Felsbrocken) der Abschluß des durchströmten Flußbettes erreicht. Bis zu 140.000 m³ Fels je Arbeitstag wurden eingebracht. Die Fangedämme ober- und unterwasserseits der Baugrube erforderten zusammen 7 Mio m³ Steinschüttung und fast 3 Mio m³ lehmiges Dichtungsmaterial. Der Erfolg der Großleistung kann sich aber auch qualitativ sehen lassen, da die etwa 800 x 1000 m große Baugrube nur 2 bis 5 Liter pro Sekunde Wasserzudrang aufweist, d.h. sie ist praktisch staubtrocken und die Dichtung der Dämme, die in Wassertiefen von 30 - 40 m herzustellen waren, ist geradezu unglaublich gut gelungen.

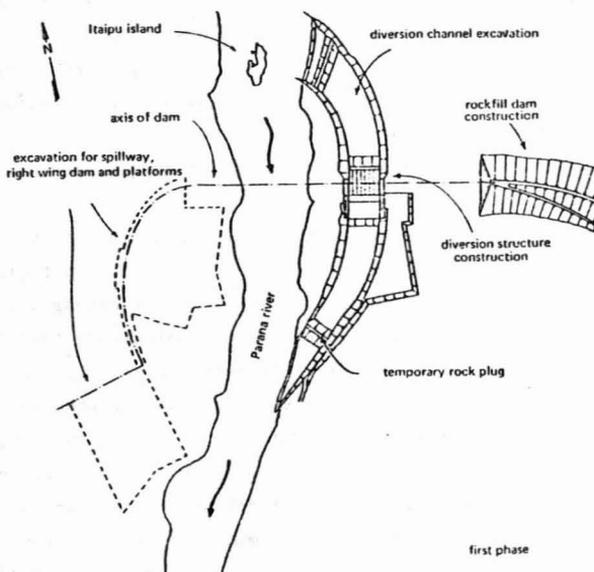


Bild 2 : Umleitung des Paraná - eine Voraussetzung zur Trockenlegung der Baugrube

Das eigentliche Gesamtbauwerk, das für den Aufstau, die Stromerzeugung und fallweise die Hochwasserabfuhr erforderlich ist, weist eine Gesamtlänge von 7.650 m auf und verläuft zum Großteil quer zum Flußbett und den beiderseitigen Geländebereichen, die derzeit nicht einmal von Hochwässern überflutet werden. Die Hauptbauteile sind das Sperrenbauwerk mit Kraftstation, eine am rechten, paraguayischen Ufer anschließende etwa 800 m lange Pfeilerkopfmauer (Flügelmauer), eine Hochwasserentlastungsanlage ebenfalls am rechten Ufer, ein über 2 km langer Steinschüttdamm am linken, brasilianischen Ufer, sowie ein ebenso langer Erddamm links und letzten Endes ein Erddamm am rechten Ufer zum Abschluß an das über Stauziel gelegene Gelände.

Betonsperre mit 11 Mio m³ Beton

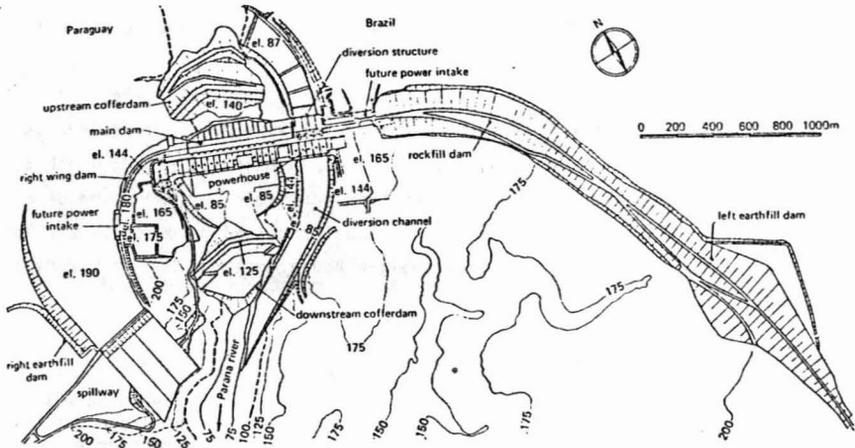
Das Hauptsperrenbauwerk ist eine Betonhohlmauer von rund 1 km Länge und Höhen je nach Felslage von 180 m (im Flußbett) auf 120 m abnehmend. An die im Inneren große Hohlräume aufweisenden Blöcke der Sperre lehnt sich unterwasserseitig das Krafthaus an mit 14 Maschinensätzen - 4 weitere sind im Umleitungskanal untergebracht. Dieser Hauptbauteil erfordert etwa 6,5 Mio m³ Beton für die Sperre selbst und weitere 3 Mio m³ für die Krafthausblöcke. Die maschinelle Ausrüstung wird aus Francisturbinen von je 700 MW Leistung und Generatoren auf gemeinsamer lotrechter Welle bestehen. Das Betriebswasser von über 600 m³/sec je Turbine wird aus den auf der Sperrenkrone angeordneten Einläufen über kurze Druckrohre von 10,5 m Durchmesser den Turbinenspiralen zugeleitet. Das Gewicht des Generatorläufers beträgt ohne Welle 1.650 t, der Einbau der an Ort und Stelle auf Montageplätzen zusammengebauten Maschinenteile wird durch zwei 1000 t Krane erfolgen.

Verglichen mit Vorstehendem ist die Pfeilerkopfmauer am rechten Flügel mit nur 40-50 m Höhe als "zivil" anzusehen und bietet außer fallweise tieferen Felsaushüben keine Sonderprobleme. Die Hochwasserentlastungsanlage für 62.000 m³/sec Durchfluß hat hingegen schon wieder beeindruckende Ausmaße. Die 14 Öffnungen werden durch 20 x 20 m große Segmentschützen abgeschlossen und mehrere hunderte Meter lange Schußrinnen leiten das abzuführende Hochwasser etwa 1 km unterhalb der Krafthausausläufe in die Paranäschlucht, womit eine geringstmögliche Beeinflussung des Triebwasserablaufes sichergestellt ist. Beide letztgenannten Bauwerke werden weitgehend von der paraguayischen Firmengruppe errichtet und erfordern zusammen 1,5 Mio m³ Beton.

Der Steinschüttdamm mit Höhen von max. 70 m und einer Basisbreite von max. 240 m erfordert 16 Mio m³ Schüttmaterial und ist damit etwa doppelt so groß wie der größte österreichische Damm (Gepatsch im Kaunertal). Die beiden Erd-

dämme aus dichtem Schüttmaterial sind bis zu 30 m hoch, die Kubatur erreicht 3 Mio m³. Insbesondere der Steinschüttdamm wurde gleichzeitig mit dem Umleitungskanal errichtet, da die großen dort anfallenden Felsaushubmassen sinnvoll, ohne Zwischenlagerung im Damm eingebaut werden konnten. Besonders hierfür geeigneter Basalt wurde in großen Deponien zur Aufbereitung als Betonzuschlagstoff gelagert.

Bild 3 : Die Gesamtanlage mit Hauptsperre, Pfeilerkopfmauer, Krafthaus, Hochwasserentlastung und Anschlußdämmen



Die Maßnahmen im Stauraum sind außer der Neuerrichtung der zwei Siedlungen hauptsächlich die Grundfreimachung und Schlägerung. Die überstaute Fläche teilt sich nahezu hälftig auf Paraguay und Brasilien auf. Der Wasserinhalt des Stausees beträgt 29.000 Mio m³, entsprechend 400 Kapruner Limbergstauseen. Die Fläche von 1.300 km² ergibt bereits bei 1 cm (!) Wassertiefe einen Inhalt von 13 Mio m³.

Auch die Baustelleneinrichtung ist geteilt

Für die Herstellung des Betons wurden zur Sicherstellung einer genügenden Leistungsfähigkeit zwei große Aufbereitungsanlagen für die Zuschlagstoffe (durchwegs Basaltfelsaushub) und zwei große Betonfabriken auf jedem Ufer errichtet, zusätzlich am rechten Ufer eine relativ kleinere Anlage für die Flügelmauer und das Entlastungsbauwerk. Die großen Betonfabriken bestehen aus jeweils drei Mischtürmen mit je 180 m³/h Leistung. Sehr umfangreiche Kühl-

lagen gewährleisten eine Einbautemperatur des Betons von 6°C auch in den sehr heißen Monaten. Die Gesamtanlagen sichern einen Ausstoß von 270.000 m³ Beton je Ufer, sodaß das Erfordernis von 300.000 m³ Beton je Monat insgesamt gedeckt ist. Ungewohnt für unsere Verhältnisse ist die Tatsache, daß in der Hauptbauzeit der Zement als Klinker antransportiert wird, auf der Baustelle gemahlen und mit etwa 25% Flugasche vermischt den Betonfabriken zugeleitet wird. Grund hierfür ist einerseits die Möglichkeit, den feuchtigkeitsunempfindlichen Klinker in offenen Fahrzeugen anzutransportieren und frei zu lagern, andererseits die Sicherstellung einer einwandfreien homogenen Mischung mit der Flugasche. Man muß sich vergegenwärtigen, daß es keine Bahnverbindung zur Baustelle gibt und alle Materialien auf Straßen über hunderte Kilometer hergebracht werden.

Der Einbau des Betons erfolgt hauptsächlich durch 7 Kabelkräne mit je 200 kN Tragkraft und über 1300 m Spannweite zwischen den 90 m hohen, fahrbaren Türmen. Die außerhalb des Kabelkranbereichs gelegenen Bauteile werden durch insgesamt 12 Turmdrehkrane mit 6400 kNm Leistungsfähigkeit bei Höhen von 84 m und einer Ausladung von 77 m bedient. Die Kabelkrane und 8 Turmdrehkrane hat der Bauherr zur Sicherstellung eines zügigen Baubeginnes selbst im voraus angeschafft.

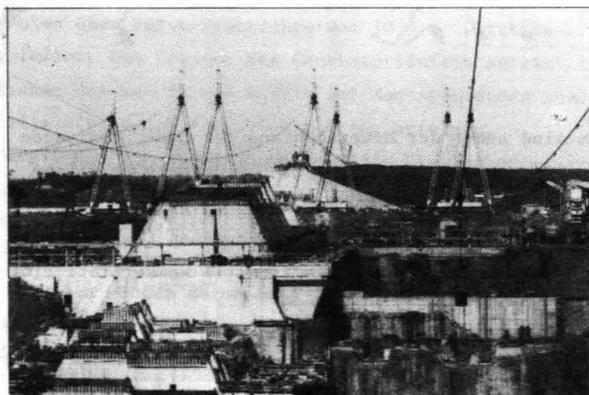


Bild 4:
Sieben Kabelkräne
besorgen die Quer-
transporte über
der Hauptbaustelle

Eine selten angewandte Methode wurde für den Betonzwischentransport gewählt und zwar Einschienenhängebahnen (monorail), die von den Mischanlagen zu den Kabelkranabnahmestellen und unter die Hauptturmkranbereiche führen. An ihnen hängen selbstfahrend die Betontransportkübel mit 6 m³ Inhalt. Diese Selbst-

fahrgehänge werden durch elektronische Steuerung an die einzelnen Entladestellen gelenkt. In der Hauptbauzeit (1981) sollen diese Transportmittel stündlich 540 m³ am linken und 360 m³ am rechten Ufer befördern. Die Linienführung der 11 m über Gelände liegenden Schienenbahn kann den Einbaubedingungen bzw. dem Bauvorgang angepaßt werden.

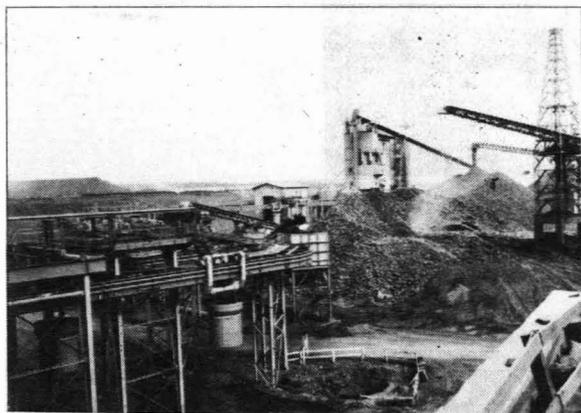


Bild 5:

Zwischen den Betonfabriken und Betonkais sind zentralgesteuerte Einschienenbahnen installiert (monorails)

Interessant ist sicherlich, daß für die gesamte Anlage ein Belegschaftsstand von rund 25.000 Mann vorgesehen ist, wofür außer sonstigen Unterkünften auch 9.000 Häuser errichtet wurden, selbstverständlich für die Unterbringung auch der Familienmitglieder, da eine auch nur fallweise Heimfahrt bei den bestehenden Entfernungen nicht organisiert werden kann. Ferner wurden Krankenhäuser, Schulen, Fachschulen, Unterhaltungsmöglichkeiten, etc. erstellt. Es ist geplant, sowohl die Wohnhäuser als auch die sonstigen Einrichtungen nach Bauende für die Ansiedlung von Industrien zu nutzen. Die Verpflegung der derzeitigen Belegschaft wird durch moderne Großküchenanlagen für 55.000 Essen pro Tag sichergestellt.

Österreichische Betonschalungen

Für uns Österreicher war es interessant und erfreulich zu erfahren und zu sehen, daß die gesamte Schalung für über 10 Mio m³ Beton von der Firma DOKA-Brasil, einer Tochter der Amstettner Schalungsfirma nach dem in Österreich entwickelten Schalungssystem beigelegt wird und aus Österreich selbst angeliefert wurde.



Bild 6:

Auf der ganzen Baustelle kommt mit gutem Erfolg österreichische Sperrschalung zum Einsatz

Die Gesamtkosten der Anlage Itaipu wurden uns mit rund 9.000 Mio US \$ angegeben, wovon 55% reine Errichtungskosten, 12% Planung und Verwaltung und 33% Finanzierungskosten und Bauzinsen betragen. Die Inbetriebnahme der im September 1977 begonnenen Anlage soll Mitte 1983 erfolgen, der 18. Maschinensatz (Vollbetrieb) soll im Jahre 1988 anlaufen. Bis jetzt entspricht der Baufortschritt voll dem Programm. Aus den angegebenen Kosten und den sonstigen Angaben ergeben sich für die jährlich erzeugten rund 60 - 70.000 GWh spezifische Erzeugungskosten von 1,5 bis 1,7 US-Cent/kWh (derzeit etwa 20 bis 30 Groschen), was durchaus plausibel erscheint.

Die außerordentlich freundliche Aufnahme und die eingehenden Erklärungen beim Besuch in Itaipu haben den Eindruck von einer gewaltigen Ingenieurleistung verstärkt und bei allen Teilnehmern Befriedigung über das Zusammengehörigkeitsgefühl der Ingenieure hinterlassen. Wenn Österreich auch naturgegeben keine derartigen Mammutanlagen aufweisen kann, so haben wir doch viele Lösungen unserer Bauvorhaben, allerdings vergrößert in Itaipu wiedergefunden. Jedenfalls wird "Itaipu" zur Weltgeltung der Wasserkraft wesentlich beitragen.