Gekühlter Beton für den Staudamm von Itaipú

Autor(en): **Weber, Rudolf**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **98 (1980)**

Heft 1-2

PDF erstellt am: **29.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-74027

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Gekühlter Beton für den Staudamm von Itaipú

Bei mehr als 40 Grad im Schatten werden 12 Mio Kubikmeter Beton mit Eis angerührt, der Kies zuvor in eisiger Luft gebadet. Nur so kann die grösste Betonmauer der Welt innerhalb von zehn Jahren, der halben sonst nötigen Zeit, gegossen werden - der *Staudamm von Itaipú*, dem weltgrössten Wasserkraftwerk.

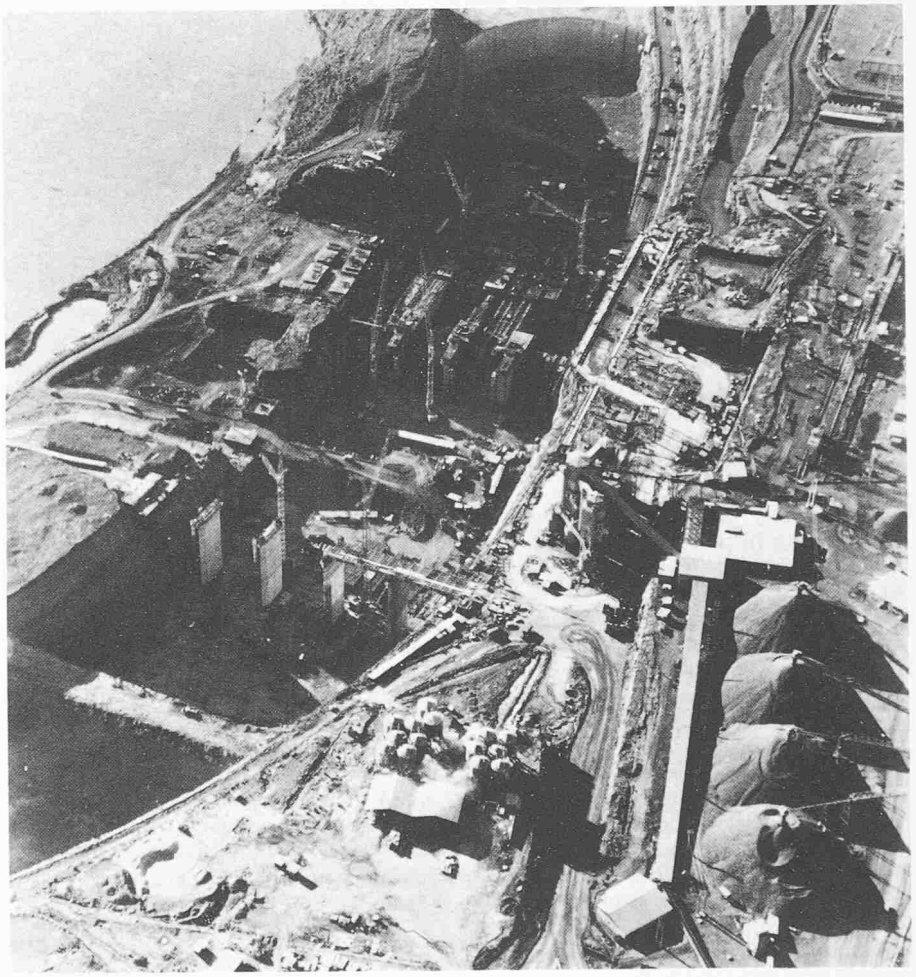
Wasserkraftwerk der Superlative

Mit einer mittleren Wasserführung von mehr als 8000 m³ in der Sekunde ist der *Rio Paranà* einer der wasserreichsten Ströme überhaupt. Auf einer Länge von 190 km bildet er die *Grenze zwischen Brasilien und Paraguay* und zugleich ein recht enges Flusstal mit über 100 m Gefälle. Dieses Potential an Wasserkraft nicht zu nutzen, käme dem Verzicht auf die Ausbeutung einer unerschöpflichen Öl-Lagerstätte gleich, rechtfertigten die beiden Länder ihr gemeinsames Kraftwerkprojekt, als es im Jahre 1966 ins Leben gerufen und von Kritikern eine Nummer zu gross befunden wurde. Nach jahrelangen Vorarbeiten der Ingenieure fiel anfangs der 70er-Jahre die Entscheidung über den Standort von Staumauer und Maschinenhaus: Nahe dem Dreiländereck mit Argentinien und unweit der berühmten Wasserfälle des *Rio Iguacu* liegt im Paraná eine kleine Felseninsel, der die Guarani-Indianer den Namen Ita-Ipyte gegeben hatten, «Rauschen des Wassers über den Steinen» - daraus ist Itaipú geworden (betont wird jeweils auf der letzten Silbe).

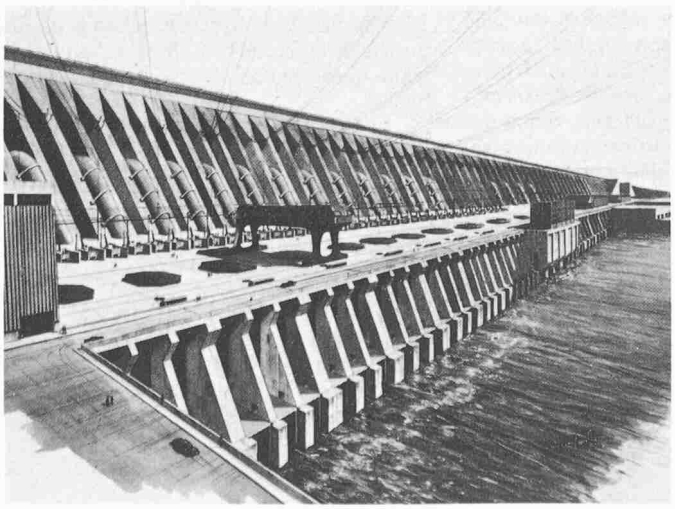
Der Bau dieses Wasserkraftwerkes der Superlative begann im Jahre 1975. Es sind zwölf Mio Kubikmeter Beton, wovon allein zwei Drittel zur 1,5 km langen und stellenweise 176 m hohen Hauptstaumauer gegossen werden sollen. Hinter dieser Masse verbirgt sich ein Verfahren der Betonaufbereitung, das seinerseits nach Superlativen verlangt: Die - ebenfalls grösste- «Betonküche» der Welt arbeitet mit gekühlten Zutaten, damit das Produkt beim Eingiessen in die Schalungen eine Temperatur von plus sieben Grad Celsius nicht überschreitet - wie es die Bauherren vorschreiben. Was steckt hinter dieser Auflage?

Heisses Klima verlangt kalten Frischbeton

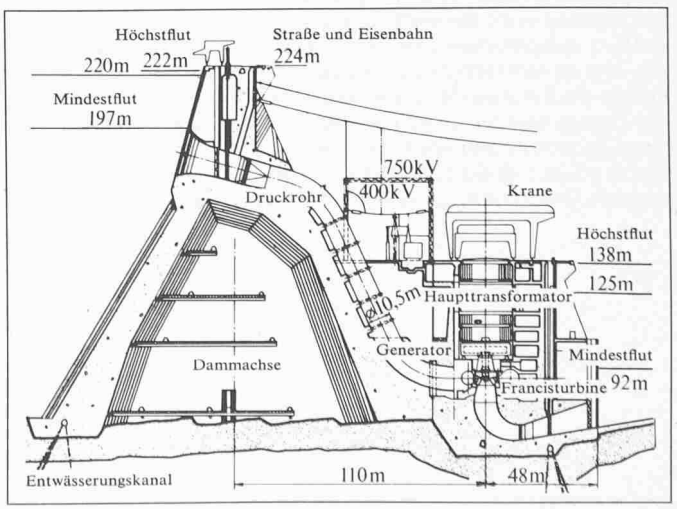
Beton entwickelt während dem Erstarren Wärme. Je nach Zementsorte macht der Temperaturanstieg 20 bis 40 Grad aus. Giesst man einen dicken Block, wird zwar seine Oberfläche von der Umgebungsluft abgekühlt, sein Inneres bleibt jedoch warm, weil Beton ein schlechter Wärmeleiter ist. Kalte Schale und warmer Kern - das heisst unterschiedliche Volumenänderungen, der Block kann feine Risse bekommen. Und die sind in einer Mauer, hinter der 29 km³ Wasser 120 m hoch aufgestaut sind, nicht erwünscht. Ein Ausweg bestünde darin, den Beton in dünnen Lagen zu vergiessen und nach jeder Schicht tagelang zu warten; denn ungefähr die Hälfte der Wärme entsteht in den ersten vier Tagen (die andere Hälfte während des folgenden Jahres). Würde man



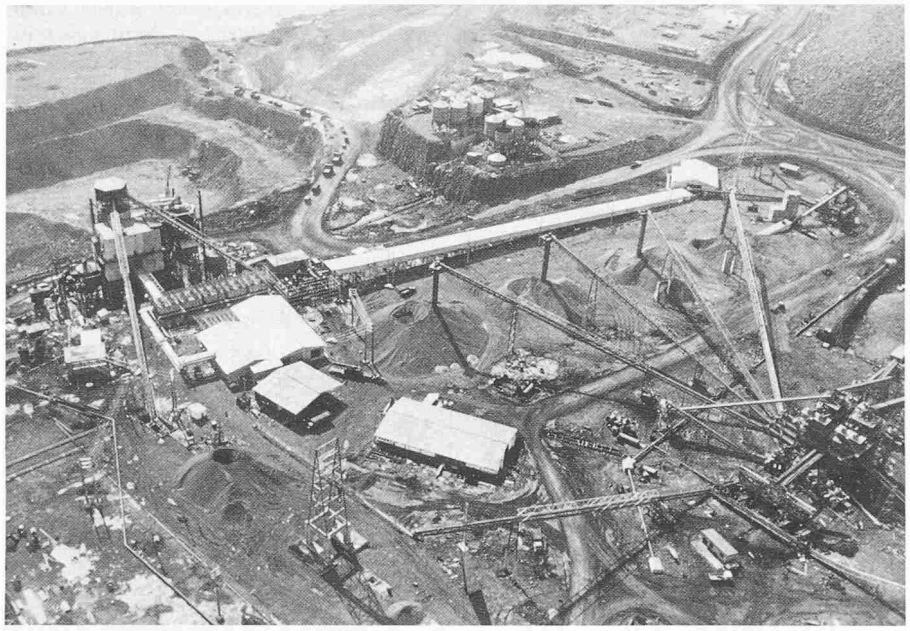
Eine der beiden Kältezentralen (Vordergrund) mit dem 200 m langen Tunnel zur Vorkühlung des Kieses. Zwischen der Zentrale und dem Flussbett des Rio Parana (links oben) der 2 km lange und 150 m breite Umlenkkanal; durch ihn fliesst seit November 1978 das Wasser, damit die Fundamente der Hauptstaumauer betoniert werden können



Architekturskizze des 1500 m langen Beton-Hauptdamms mit dem vorgelagerten 960 m langen Maschinenhaus



Querschnitt durch Beton-Hauptdamm und Maschinenhaus



Die Kältezentrale auf dem brasilianischen Ufer mit dem 200 m langen Tunnel zur Vorkühlung des Kieses

Daten des Wasserkraftwerk-Projektes Itaipú	
Paraná-Fluss	
Mittlere Wassermenge	8 460 m³/s
Maximale gemessene Wassermenge	28 400 m³/s
Staubecken	
Normaler Wasserspiegel	220m ü.M.
Länge	170 km
Oberfläche	1 460 km²
Wasserinhalt	$29 \cdot 10^9$ m³
Staudamm	
Länge des Hauptdammes (Beton)	1 500 m
Kote der Dammkrone	224 m ü.M.
Kleinste Kote der Dammfundamente (min)	48 m ü.M.
Grösste Dammhöhe	176 m
Länge des Seitendammes (Beton)	770 m
Länge des gesamten Dammkomplexes (Beton + Fels/Erde)	7 655 m
Maschinenhaus	
Anzahl der Turbogeneratoren	18
Grösste Wassermenge je Turbine	750 m³/s
Durchmesser der Druckleitungen	10,5 m
Normale Zulaufhöhe	112 m
Nennleistung je Turbogenerator	700 MW
Gesamtleistung	12 600 MW
Einige Bauzahlen	
Aushub in Erdreich	23 Mio m³
Aushub in Fels	45 Mio m³
Notwendige Betonmenge	12 Mio m³
Notwendige Menge Armierungsstahl	130 000 t
Notwendige Menge Baustahl	285 000 t

in Itaipú so verfahren, wäre die Staumauer erst in ungefähr 20 Jahren fertig. Der Terminplan sieht jedoch vor, dass der erste Turbogenerator schon im Jahre 1983 Strom erzeugt und dass das Kraftwerk 1988 voll in Betrieb steht.

Die Erklärung für diese Halbierung der sonst nötigen Betonierzeit liegt in der Temperatur des frischen Betons. Bei sieben Grad ist die Wartezeit viel kürzer, denn die Temperaturen in den Betonblöcken steigen dann nicht über jene der schwülen Luft am Rio Paraná, die nicht selten um die 40 Grad liegen.

Um den Beton so kalt servieren zu können, bedarf es einer ganzen Reihe von Massnahmen. Sie beginnen mit der Positionierung der Mischzentralen: drei (jede von ihnen kann pro Stunde 180 m³ Beton liefern) auf jeder Seite des Flusses und je eine mit Ammoniak arbeitende Kältezentrale. Das sichert so kurze Wege, dass sich der Frischbeton beim Transport allenfalls um ein Grad erwärmt. Er darf also den Mischer nicht wärmer als sechs Grad verlassen.

Kalter Kies und Eisplättchen

Gekühlt wird nicht der frisch gemischte Beton, sondern seine Bestandteile («Zuschlagstoffe»). Ausgenommen der Sand, weil wegen dem unvermeidlichen Feuchtegehalt die Gefahr des Zusammenfrierens besteht. Auch der Zement wird nur so weit gekühlt, dass er eine Lagertemperatur um 40 Grad beibehält. Auf den Kies (wie der Sand an Ort und Stelle aus dem Basaltboden gewonnen) als Hauptzutat richtet sich der erste grosse Kälteangriff. Zwei Förderbänder transportieren je 650 Tonnen je Stunde durch einen 200 m langen Gang (je einen pro Flussufer); dabei wird der Kies mit 2,5 Grad kaltem Wasser berieselt, so dass am Ende des Tunnels die Temperatur im Kern der Kieselsteine auf sechs bis neun Grad gesunken ist – bei den kleinen Kieseln tiefer als bei den grossen. Der grobe Kies erhält anschliessend noch ein Bad in minus 17 Grad kalter Luft. Er hat nun minus sieben Grad erreicht und kommt zusammen mit den anderen Betonzutaten in die Mischtrommeln. Dabei wird das Mischwasser, zuvor auf plus fünf Grad gekühlt, im zweiten grossen Kältestoss mit *Scherbeneis* von minus fünf Grad ergänzt. Die Scherben haben (zum leichteren Schmelzen) die Form von *zwei Millimeter dünnen und drei Zentimeter langen Plättchen*. Die beiden Eisfabriken von Itaipú produzieren davon täglich je 650 Tonnen.

Kostspielig, dennoch wirtschaftlich

Das Ergebnis dieses Kühl-Aufwands: Betonmischung I beispielsweise, die nur feine Kiese enthält, verlässt den Mischer mit 5,84 Grad; Mischung II mit groben Kiesen kommt auf 5,89 Grad. Das sind freilich theoretisch errechnete Werte; jene der Praxis mögen davon ein wenig abweichen, zumal das Abmessen der Zutaten nicht automatisch, sondern von Hand vorgenommen wird (bei einem so rauhen Geschäft traut man der Automatik nicht ganz).

Die Betonkühlung in solchen Dimensionen ist nicht billig. Sie kostet «einige Prozent» der Gesamtbausumme von Itaipú, die immerhin rund 15 Mia Franken beträgt. Doch die Verkürzung der Bauzeit für die Staumauer um ein Jahrzehnt auf ein Jahrzehnt macht die Ausgaben für die Kältekühlung mehr als wett.

Die Kompressoren und Kühltürme für die Ammoniak-Kälteanlagen wurden von der Firma Sulzer in Winterthur geliefert. Ihre brasilianische Tochter Sulzer do Brasil leitet zudem das Firmenkonsortium, das die gesamten Betonkühlanlagen innerhalb eines Jahres plante und erstellte. Ein weiterer Schweizer Konzern, Brown Boveri, ist zu 30 Prozent an der maschinellen Ausrüstung des Kraftwerkes beteiligt, deren Gesamtwert ca. 1,5 Mia Franken ausmacht. So wird die Industria Eletrica Brown Boveri Sao Paolo neun der geplanten 18 Hydrogeneratoren bauen.

Rudolf Weber

Adresse des Verfassers: Dr. R. Weber, dipl. Ing., Alte Bruggerstr. 8, 5605 Dottikon