

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 84 (1992)
Heft: 5-6

Artikel: Itaipú
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-940561>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Itaipú

Grösstes Wasserkraftwerk der Welt fertiggestellt

Ein hervorragendes Beispiel für die Nutzung der sauberen, natürlichen Wasserkraft ist der Stausee Itaipú-Binacional am Rio Paraná mit dem grössten Wasserkraftwerk der Welt (Bilder 1 und 2). Brasilien und Paraguay gaben 1966 im Protokoll von Itaipú den Startschuss für dieses Projekt. Am 5. Mai 1991 konnten die Präsidenten beider Länder, *Fernando Collar* und *Andrés Rodrigues*, den letzten von insgesamt 18 Maschinensätzen im Kraftwerk Itaipú seiner Bestimmung übergeben (Bild 3). Damit hat das Wasserkraftwerk Itaipú nach nur 16 Jahren Bau- und Maschinenmontagezeit seine vorgesehene Kapazität erreicht; es hält mit jährlich 6000 Betriebsstunden sowohl in der Ausbauleistung mit 12 600 MW als auch in der Jahresproduktion von 75 000 GWh jedem Vergleich stand und übertrifft weit alle bisherigen namhaften Wasserkraftwerke der Welt (Tabelle 1). Die jährlich erzeugte Energie ist nahezu doppelt so viel, wie Österreich in einem Jahr verbraucht. Dabei hat der Itaipú-Stausee nur eine Fläche von 1350 km² (das 2,5fache des Bodensees); die überflutete Fläche beträgt damit nur 0,107 km² je installiertes Megawatt, ein international anerkannt sehr niedriger Wert.

Das Bauwerk

Der Rio Paraná mit 4700 km Länge der siebtgrösste Fluss der Erde, mündet als La Plata in den Atlantischen Ozean. Sein Einzugsgebiet ist über 3 Mio km² gross. Im Bereich der 200 km, in dem der Rio Paraná die Grenze zwischen Brasilien und Paraguay bildet, wurde bei der kleinen Insel Itaipú ein 8 km langes Stausystem mit max. 275 m Höhe gebaut. Der Grenzfluss führt bei Itaipú eine durchschnittliche Wassermenge von 9000 m³/s. Das Wasserkraftwerk Itaipú besteht aus dem 170 km langen und bis zu 8 km breiten Stausee (29 Mrd. m³), einer 2,6 km langen und 196 m hohen Betonstaumauer mit Hochwasserüberfall (62 000 m³/s; grösstes 10 000jähriges Hochwasser, Bild 2) und einem 5 km langen Stein- und Erddamm sowie 18 Rohrleitungen und dem Maschinenhaus (Bild 1); es ist fast 1 km lang

Tabelle 1. Vergleich namhafter Wasserkraftwerke nach installierter Leistung, Energieproduktion und Belastungsfaktor.

Wasserkraftwerk Land	Ausbauleistung MW	Jahresproduktion GWh	Belastungsfaktor
Itaipú Brasilien/Paraguay	12 600	75 000	0,68
Gran Coulee USA	9 711	20 000	0,24
Guri Venezuela	9 000	50 000	0,63
Krasnoyarsk GUS	6 096	30 000	0,56
Churchill Falls Kanada	5 200	30 000	0,66
Paulo Alfonso I-IV Brasilien	4 500	18 000	0,46
Ilha Solteira Brasilien	3 200	12 000	0,43
Assuan Ägypten	2 100	10 000	0,54

(973 m), 112 m hoch und 99 m breit. In ihm sind die 18 senkrechten 700-MW-Maschinensätze (Bild 4) installiert; ursprünglich waren 20 vorgesehen. Dazu gehören 18 Francis-Turbinen von 8,50 m Durchmesser mit rund 700 m³/s Schluckvermögen und 70 MW Leistung. Durch jedes der 18 Zulaufrohre (10,50 m Durchmesser) stürzen solche Wassermassen etwa 120 m herab, die der mittleren Wasserführung des Inns bei Passau entsprechen. Mächtige Kranbrücken von 1000 t Tragkraft erlaubten, die grossen Rotoren der Generatoren von der Montagefläche zum jeweiligen Maschinenschacht zu transportieren; zu Zweiergruppen gekoppelt, konnten sie die Rotoren (1961 t, 15,926 m Durchmesser) in die jeweiligen Statoren genau einfügen, wobei das Radialspiel zwischen Läufer und Ständer nur 37 mm beträgt (Bild 4).

Arbeit und Material – Superlative

Während der Bauzeit haben über 35 000 Arbeiter 24 Stunden regelmässig gearbeitet. Den Umfang der Bauarbeiten erkennt man auch an den Massen: 64 Mio m³ Felsausbruch und Bodenbewegung, 12,3 Mio m³ Beton/Stahlbeton und 0,488 Mio t Betonstahl und Stahl. Dazu lieferten sechs Mischtürme täglich bis zu 1500 m³ Beton und zwei Fabriken

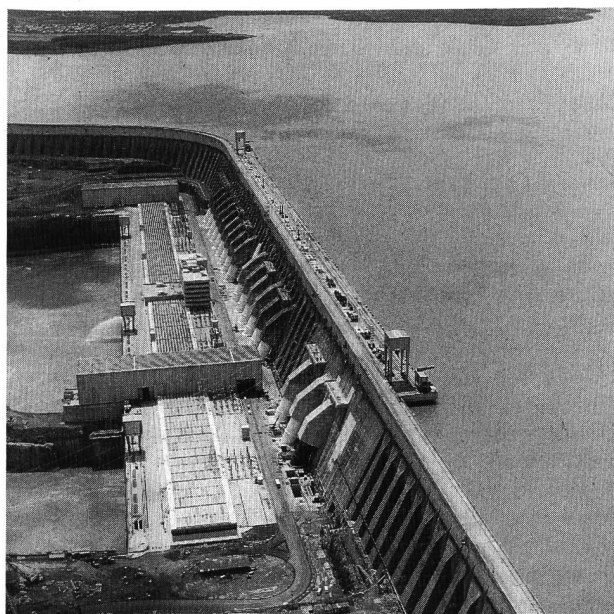


Bild 1. Wasserkraftwerk Itaipú am Paraná – Stausee und Maschinenhaus (links).



Bild 2. Das Wasserkraftwerk Itaipú (Unterwasserseite) – Kraftwerk und Hochwasserüberfall (links).



Bild 3. Zentrale Bedienungsstelle für alle Einheiten des Wasserkraftwerks Itaipú.

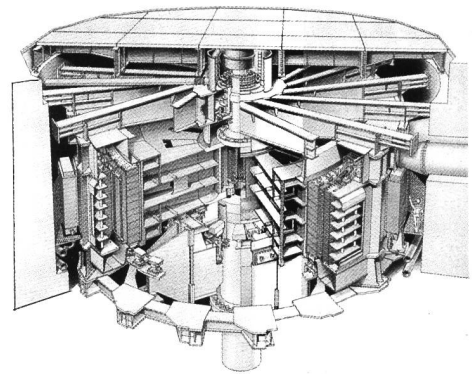


Bild 4. 700-MW-Generator (50 und 60 Hz) des Wasserkraftwerks Itaipú.

stündlich bis zu 54 t Flockeneis zur Betonkühlung. Der Beton wurde überwiegend mit sieben Kabelkränen (1360 m) in 10-m³-Kübeln zur Einbaustelle gefördert (750 m³/h); innerhalb der Bauwerke und bei besonders wichtigen Stellen wurde der Beton (0,4 Mio m³) – teilweise mit einem Grösstkorn bis zu 76 mm – mit Hilfe von Betonpumpen und Verteilmasten eingebaut.

Kosten

Aus den anfangs veranschlagten 3 Mrd. Schweizerfranken Baukosten sind jetzt 28 Mrd. Schweizerfranken geworden, das sind 2200 Schweizerfranken Baukosten je installiertes Kilowatt. Der erste Strom wurde 1984 nach São Paulo geliefert.

Umwelt

Eingehender und langwieriger Verhandlungen bedurfte es bei den Bau- und Stromlieferverträgen zwischen Brasilien und Paraguay und für die Umsiedlung von 10 000 Landwirten, das Fluten des Speicherbeckens mit 1350 km² Überschwemmung und den Umweltschutz: Für jedes Megawatt installierter Leistung gingen etwa 10 ha Land verloren. Ein Waldstreifen mit 23 000 ha Aufforstung soll die Erosion des Seeufers verhindern, so dass sie Sinkstoffe des Rio Paraná den Damm frühestens in 300 Jahren gefährden. Durch eine Wildtierfangaktion wurden in zwei Schritten – vor und während des Aufstauens des Sees – viele Tiere gerettet; die Schlangen kamen in das weltbekannte Butauta-Institut in São Paulo, und die Säugetiere wurden in einem der fünf Reservate, die zusammen eine Gesamtfläche von 32 610 ha

haben, untergebracht. Bei einer so hohen Staumauer war der Bau einer Fischtreppe schwierig; deshalb wurde ein Seitenarm des Flusses Acaray auf der paraguayischen Seite als «Flussquelle» vorbereitet und von den Fischen angenommen sowie die Fischvermehrung flussabwärts des Kraftwerks unter Kontrolle gebracht. Im Stausee selber sind neue Fischarten dazugekommen, und die befürchtete Ausrottung der grösseren Kampffische wegen fehlender Strömung und Stromschnellen ist nicht eingetreten; die Fische haben sich angepasst. Im See gibt es inzwischen 125 Fischarten. Aufgrund der seit 1943 erfassten Daten hat sich das Klima durch den Eingriff in die Natur bisher nicht verändert. Nicht nur auf die Umwelt wurde Rücksicht genommen, sondern es wurden sogar archäologische Untersuchungen in der Gegend vorgenommen. Zahlreiche archäologische Funde wurden gesammelt; einige waren über 8000 Jahre alt.

Schifffahrt

Die Strecke des Paraná-Flusses zwischen Guaira und der Baustelle ist mit dem Stausee schiffbar gemacht worden. Da keine Schleusen vorgesehen sind, wurde eine Frachtverlademöglichkeit auf der paraguayischen Seite vorgesehen.

Betriebserfahrungen

Die 700-MW-Maschinensätze von Itaipú sind sogenannte Grenzleistungsmaschinen. Neun Generatoren mit je 823,6 MVA (50 Hz) arbeiten für die paraguayische Seite des Kraftwerks und die übrigen neun mit je 766 MVA (60 Hz) für die brasilianische Seite (Bild 4). Ihre Hauptdaten enthält Tabelle 2. Trotz der Grösse der Maschinen verliefen die Inbetriebnahme und der weitere Betrieb bis heute problemlos. Schon in den ersten sieben Jahren, in denen die Maschinensätze nacheinander in Betrieb genommen wurden (durchschnittlich jährlich zwei), hat das Kraftwerk Itaipú bereits die Energie von 223 722 GWh (223 722 078 000 kWh) erzeugt.

Die Betriebsbereitschaft des Kraftwerkes

$$BB (\%) = VS/SZ$$

VS = für den Betrieb verfügbare Stunden

SZ = Stunden im betrachteten Zeitraum

war gut (Tabelle 3) und die jährlich erzwungenen Abschaltquoten

$$\lambda f = NGA/HS \times 8760$$

NGA = Anzahl der Zwangsabschaltungen im Zeitraum

HS = Betriebsstunden im Zeitraum

gering (Tabelle 3); darin enthalten sind auch die Zwangsabschaltungen nach Beginn des kommerziellen Betriebs. Diese Werte zeigen die hohe Verfügbarkeit der Maschinensätze des Wasserkraftwerks Itaipú.

Tabelle 2. Technische Einzelheiten über Generatoren des Wasserkraftwerkes Itaipú.

Leistung	MVA	823,6	766,0
Frequenz	Hz	50	60
Leistungsfaktor		0,85	0,95
Nenn Drehzahl	min ⁻¹	90,9	92,3
Nennspannung	kV	18	18
Ständer wassergekühlt			
Bohrungsdurchmesser	m	16	16
Ständerblechpaket-Höhe	m	3,5	3,26
Traglagerbelastung	t	4240	4200
Läufergewicht	t	1961	1945
Gesamtgewicht	t	3343	3242

Tabelle 3. Betriebsbereitschaft und erzwungene Abschaltquote der Maschinensätze des Wasserkraftwerkes Itaipú.

	Einheiten	1988	1989	1990
Betriebsbereitschaft	50 Hz	83	90	91
	60 Hz	85	81	86
Erzwungene Abschaltquote	50 Hz	7,0	2,2	2,3
	60 Hz	4,3	5,0	4,0

Energieversorgung

Obwohl der brasilianische Energieverbrauch nicht mehr jährlich um 10 bis 12% zunimmt, sondern im Zuge der Stagnation zuletzt nur noch um 2% gestiegen ist, wird die Leistung der Itaipú-Turbinen dringend gebraucht; sie liefern derzeit – mit ihrem Anteil von 24% an der im Lande installierten Kapazität – 35% der ins brasilianische Netz eingespeisten elektrischen Energie. Ohne Itaipú müsste der Strom heute in Brasilien rationiert werden. BG

Literatur

- [1] Schnitter, N.: Itaipú – das grösste Wasserkraftwerk der Welt. «wasser, energie, luft» 71 (1979) H. 1/2, S. 17–20.
- [2] Pumpbeton für Itaipú. «Zement & Beton», Wien, 36(1991) H. 2, S. 50.
- [3] Gester, M.: Das grösste Kraftwerk der Welt wird eingeweiht. Itaipú nach nur sechzehn Jahren Bauzeit fertiggestellt – Ökonomie und Ökologie. «FAZ» (1991) 104, S. 12.
- [4] Gromow, A.: Itaipú – das grösste Wasserkraftwerk der Welt ist fertiggestellt. «Siemens-Zeitschrift» (1991) 5, S. 11–15.
- [5] Gabler, H.; Lull, H.P.: Itaipú – 12600 Megawatt aus dem Rio Paraná, Neuentwicklungen bei Wasserkraftwerken (10 Seiten).

Bildnachweis: Siemens AG (KWU), Erlangen

Erfahrungen mit Vortriebsmaschinen grossen Durchmessers in der Schweiz

Zusammenfassung eines Vortrags
von Kalmann Kovari, Robert Fechtig und
Christian Amstad

Seit 1970 wurden in der Schweiz bei zehn verschiedenen Projekten insgesamt rund 35 km Tunnel mit Durchmessern von über 10 m für zweispurige Eisenbahn- und Autobahntunnel mechanisch aufgeföhren [1]. Derzeit sind vier Tunnelbohrmaschinen (TBM) mit 10,80 bis 11,87 m Durchmesser im Einsatz, u. a. für den Bözbergtunnel mit dem weltweit grössten Bohrdurchmesser; die Fläche der Ortsbrust ist hier mit 110,6 m² nahezu doppelt so gross wie die Ortsbrust des grössten Fahrtunnels beim Kanaltunnel (60,5 m²). In den Jahren 1989/90 setzte die bisher intensivste Bautätigkeit mit solchen Bohrvortrieben ein mit einer totalen Bohrstrecke von 20,9 km. Die Grossprofile in der Schweiz wurden mit Tunnelbohrmaschinen der Firmen Robbins, Wirth und Herrenknecht aufgeföhren; die Nachläufer sind mehrheitlich von der Firma Rowa geliefert worden.

Bei den *Bohrsystemen* wird zwischen Vollschnitt- und Ausweitungsmaschinen unterschieden. Bei den ersteren wird der Querschnitt in einem Arbeitsgang, bei den letzteren in zwei oder drei Arbeitsgängen ausgebrochen. Die erste Vollschnittmaschine wurde mit einem Stützdach und der Verspannung mittels Gripperplatten an den Fels eingesetzt. Alle weiteren Vollschnittmaschinen mit offener Ortsbrust wurden mit einem Schild versehen und die Vorschubkraft auf den im Schildschwanz versetzten Tübbingring abgegeben. Der Grauholztunnel stellt mit seinem Mixschild [2] einen Sonderfall dar. Bei den Ausweitungsmaschinen wurde zunächst ein durchgehender Pilotstollen (3,50 bis 4,50 m Durchmesser) aufgeföhren und anschliessend der Tunnel in einer oder zwei weiteren Stufen zum vollen Querschnitt (10,46 bis 11,30 m Durchmesser) aufgeweitet. Die Vorschubkraft wurde im Pilotstollen und im mittleren Ausweitungsbereich durch Gripperplatten an den Fels abgegeben. Falls im Pilotstollen Anker erforderlich sind, so sollten diese aus einem Material wie z. B. glasfaserverstärktem Kunststoff bestehen, das bei der Ausweitung maschinell abbaubar ist. Die Ausweitungsmaschinen arbeiten namentlich im standfesten oder wenig nachbrüchigen Gebirge wirtschaftlich, da die Felssicherung optimal gewählt werden kann. Diese kann im Vollquerschnitt unmittelbar hinter dem Bohrkopf ohne Behinderung des Vortriebes eingebracht werden.

Die Vortriebslängen der einzelnen TBM-Einsätze grossen Durchmessers liegen zwischen 2,6 km und 7,1 km, was eine durchschnittliche Vortriebslänge von 4,5 km je Bohreinsatz ergibt.

Das ausgebrochene Gesteinsvolumen und die aufgeföhrenen Gesteinsarten sind aus Bild 1 ersichtlich. Ihre einaxialen Druckfestigkeiten reichen von 50 bis 150 N/mm² [3]. Probleme beim Bau traten beim Anföhren von stark wasserführenden Karsthöhlen und Lockergesteinsformationen mit Wassersäulen von bis 40 m Höhe [2] sowie in teilweise stark quellfähigen Gebirgsformationen auf. Die Schweiz hat bei TBM-Vortrieben mit Durchmessern von über 10 m Ausbruchvolumen etwa 45% der weltweiten Leistungen erbracht, geföhrt von den USA (25%) und China (20%). Wichtig beim Bohrvortrieb sind unter anderem die planerischen Vorgaben (Arbeitszeitbeschränkungen, Transporte, Entsorgung usw.), die Geologie (Festigkeit, Klüftung, Schichtung, Wasseranfall, Hohlräume usw.) sowie maschinen- und betriebstechnische Faktoren, wie z. B. die Art des Bohrsystems, die Leistungsauslegung des Vortriebsystems und der Versorgung einschliesslich der Tübbingfabrikation, die Art der Schutterung, Art, Ort und Zeitpunkt des Ausbaus der Tunnelsohle sowie der Innenschale. Bei den Ausweitungsmaschinen ist auch der Aufwand für die Felssicherung zu berücksichtigen. Die Brutto-Vortriebslei-

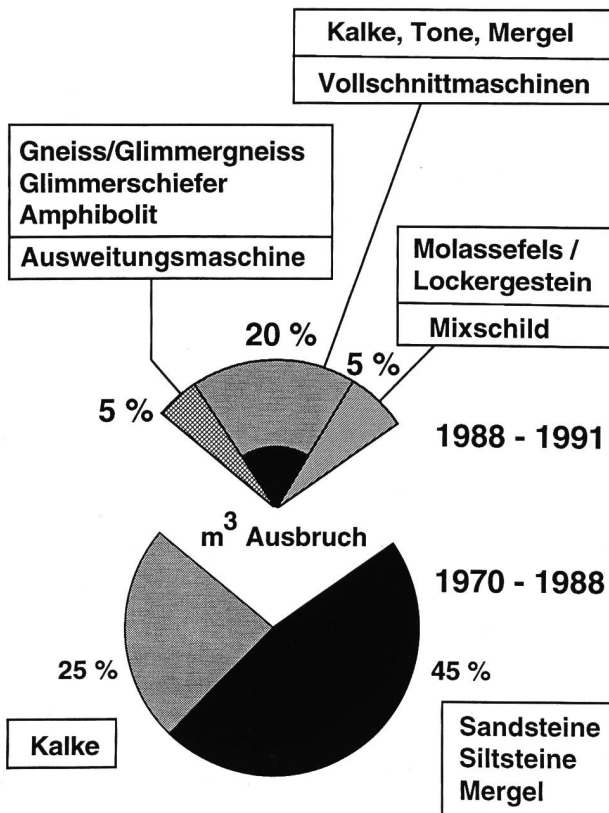


Bild 1. Gesteinsarten der 1970 bis 1988 in der Schweiz mit grossen Durchmessern aufgeföhrenen Tunnel.