

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 74 (1956)
Heft: 48

Artikel: Wasserkraftanlagen in den Ost- und Westalpen und im Massif Central
Autor: Gut, Walter
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-62752>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

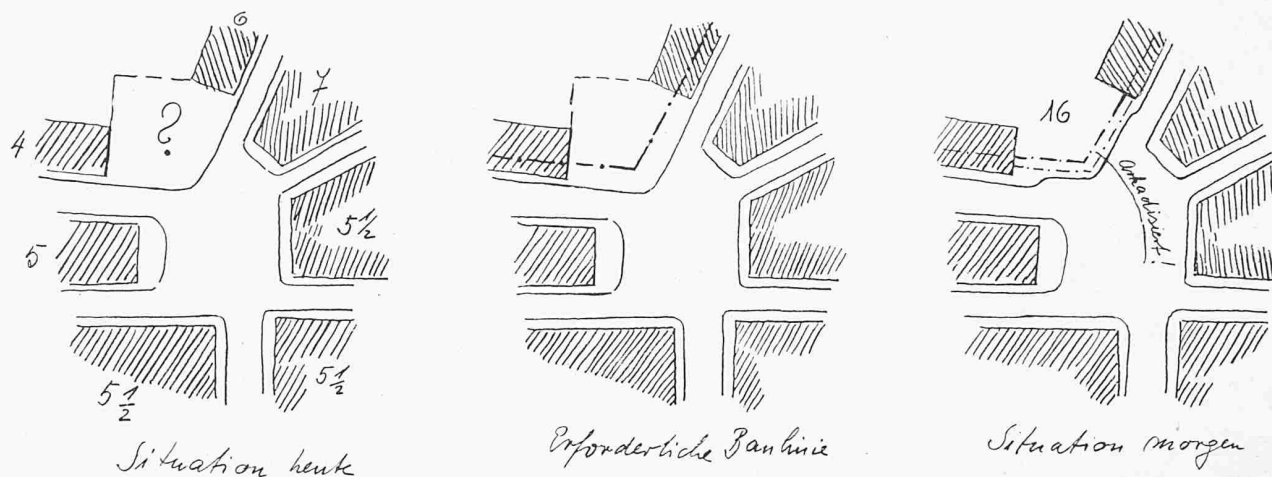
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 03.02.2026

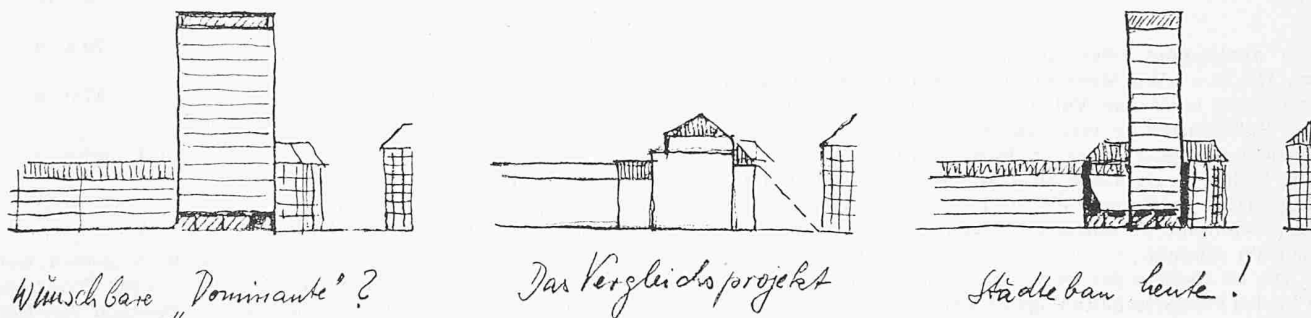
ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



noch nicht. Der Bauherr kann also sein ganzes, heute noch überbaubares Grundstück zum Vergleich brauchen. Warum schon die neuen Baulinien einsetzen, wenn sie in Tat und Wahrheit noch gar nicht gezogen sind, und ausserdem ist es so teuer, das Bauland! Zur zweiten Frage: wir befinden uns in einem Rechtsstaat und in einem solchen wissen die Hüter der Rechtsordnung — in unserm Fall die Organe der Baupolizei — was Recht ist. Wir wollen annehmen, dass dem so sei und verfolgen den Werdegang des Projektes weiter. Der Architekt bespricht alle Einzelheiten des Vergleichsprojektes mit dem zuständigen Funktionär, Treppenbreiten, Gebäudetiefen, Gesimshöhen, zurückgesetztes Dachgeschoss, Hofeinfbauten, Stockwerkzahl, Grenzabstände, Lichteinfallwinkel, und

schliesslich ist ein Gebilde entworfen, das nie gebaut werden soll und auch nie gebaut werden dürfte, so scheusslich ist es... Es liefert die Kubikmeterzahl, die so viel kleiner ist als die vorhin erwähnten, als «tragbar» erachteten sechzehn Geschosse eigentlich erfordern würden. Sie reicht nicht aus, den «städtebaulich» als richtig betrachteten Rahmen auszufüllen. Man einigt sich daher, nur einen Teil des Gebäudes in die Höhe zu führen, einen Turmbau zu erstellen und diesen so zu schieben, dass er möglichst vorteilhaft in Erscheinung tritt, also in die Ecke des Grundstückes.

Die Oeffentlichkeit übernimmt die Verantwortung für Strassenraum und Baumasse, der Architekt macht die «Architektur». Das ist Städtebau heute. *Hans Marti*



Wasserkraftanlagen in den Ost- und Westalpen und im Massif Central

DK 621.29

Von Ing. S. I. A. Walter Gut, Elektro-Watt AG., Zürich

Fortsetzung von S. 719

g) Kraftwerke an der Dordogne, Bilder 78 und 79

Die Dordogne durchfliesst auf ihrem ziemlich gestreckten Lauf von 470 km Länge drei Abschnitte, vom Ursprung im Gebiet von Mont Dore (1500 m ü. M.) bis zur Mündung in die Gironde. Der erste Abschnitt, von Argentat talaufwärts auf etwa 150 km Länge, ist ein bis 250 m tief in die Granite und Gneise des Massif Central eingeschnittenes V-Tal mit bewaldeten Flanken, das mit Ausnahme der kleinen Stadt Bort unbesiedelt ist. Das Massif Central ist der höchste verbleibende Ueberrest des hercynischen Gebirges. Das mittlere Gefälle in diesem Abschnitt beträgt rd. 5‰. Talabwärts von Argentat bis in die Gegend der prähistorischen Höhlen an der unteren Vézère wird das U-Tal mit seinen steilabstürzenden gelblichen Kalkrändern immer breiter und fruchtbarer. Unterhalb Bergerac verflachen die Flanken in den weichen Tertiärformationen, und der Talboden weitet sich allmählich zu den Rebgebirgen des «Bordelais».

Seit 1908 schon besteht oberhalb Bergerac das Niederdruck-Kraftwerk *La Tuilière* mit 12 m Bruttogefälle, 16 200 Kilowatt installierter Leistung in neun Maschineneinheiten und 95 Mio kWh jährlicher Energieerzeugung. 1922 wurde das Kraftwerk *Mauzac* im Oberwasser von La Tuilière mit 16 000 kW und 66 Mio kWh in Betrieb gesetzt.

Ein erster Ausbauplan der Dordogne entstand anfangs des ersten Weltkrieges. 1921 erwarb die ehemalige Compagnie du Chemin de fer de Paris à Orléans (P. O.) die Konzessionen der Wasserkraft an der oberen Dordogne (von Marèges an aufwärts) sowie an den beiden Zuflüssen Chavanon und Rhue. Sie baute zuerst das Kraftwerk *Coindre* an der Rhue (122,5 m Gefälle, 23 000 kW install. Leistung in drei Gruppen, 102 Mio kWh), das 1927 den Betrieb aufnahm, um die erste elektrifizierte Bahnstrecke von Paris nach Orléans mit Energie zu versorgen. Im Oktober 1935 wurde das Kraftwerk Marèges eingeweiht, und 1952 wurde der erste Maschinensatz in Bort in Betrieb genommen. Anfangs der zwanziger Jahre haben auch die Studien für den Ausbau der Dordogne zwischen Marèges und Argentat eingesetzt.

Nach Vollausbau, einschliesslich der 407 Mio m³ des Staubeckens Bort, sollen insgesamt 827 Mio m³ nutzbares Wasser oberhalb Marèges aufgespeichert werden. Das entspricht der Regulierung der Abflüsse der Dordogne. Man rechnet, dass die Stauräume über den Winter geleert werden und Ende Februar zur Aufnahme der Frühlings-Hochwasser bereit stehen. Sie bleiben praktisch voll über den ganzen Sommer bis zum Winteranfang, wenn nicht ein grosser Wassermangel im September/Oktobre dazu nötigt, die Reserven früh-

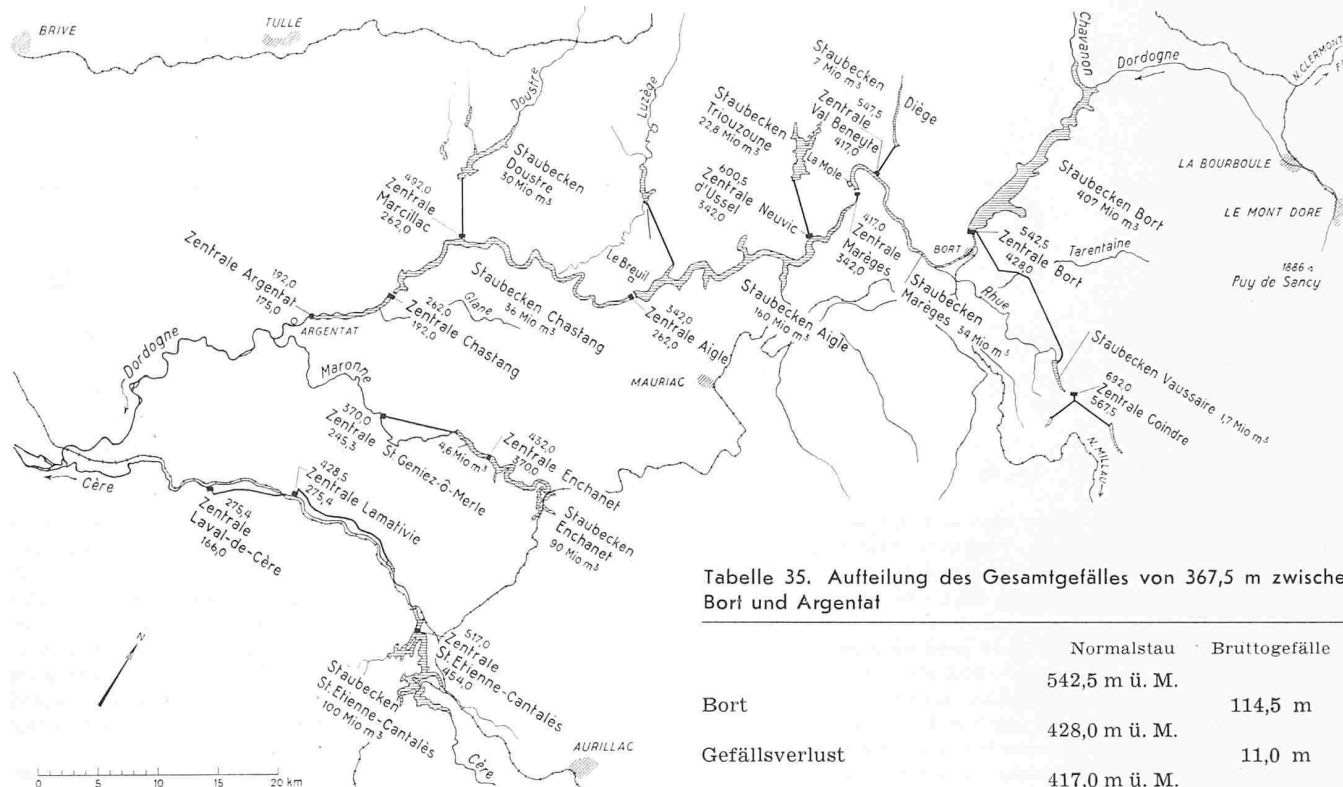


Bild 78. Kraftwerke an der obren Dordogne und an ihren Zuflüssen. Uebersichtsplan 1:600 000

zeitig anzuzapfen. 690 Mio kWh in den Stauräumen und etwa 150 Mio kWh Mehrerzeugung in den bestehenden Werken werden nach dem Vollausbau zur Verfügung stehen, mit einer Spitzenleistung von rund 960 000 kW. In den vier bestehenden Hauptkraftwerken Bort, Marèges, Aigle und Chastang stehen heute schon 795 000 kW bereit, das sind rd. $\frac{1}{10}$ der grössten Leistungsspitze des französischen Verteilungsnetzes, während die mittlere jährliche Energieerzeugung 1770 Mio kWh erreicht.

Die im Gebiete der Dordogne erzeugte Energie wird über die beiden Freiluftschaltanlagen La Mole für Bort und Marèges und Le Breuil für Aigle und Chastang nach Norden verfrachtet. Fünf Stränge 225 kV gehen Richtung Paris weg; unter sich sind die beiden Schaltanlagen durch zwei Leitungen 225 kV verbunden, die später, wie übrigens die Speiseleitungen von den Zentralen, auf 380 kV umgebaut werden sollen [53].

Mit berechtigtem Stolz dürfen die französischen Ingenieure auf die Anlagen an der Dordogne blicken, die, was Konzeption wie Ausführung anbelangt, ihresgleichen suchen. Mit den noch zu bauenden Anlagen und den zehn kleineren Kraftwerken an jedem der beidseitigen Zuflüsse der Dordogne, die immerhin eine installierte Leistung von 307 000 kW aufweisen und im jährlichen Mittel über 1 Mia kWh Energie abgeben (Tabelle 36), wird im Herzen Frankreichs ein Erzeugungs-Zentrum von rd. 2,9 Mia kWh elektrischer Energie geschaffen sein, das in Europa einmalig ist.

Bild 79. Längenprofil der ausgebauten Dordogne zwischen La Bourboule und Argentat. Längen 1:150 000, rd. doppelt überhöht

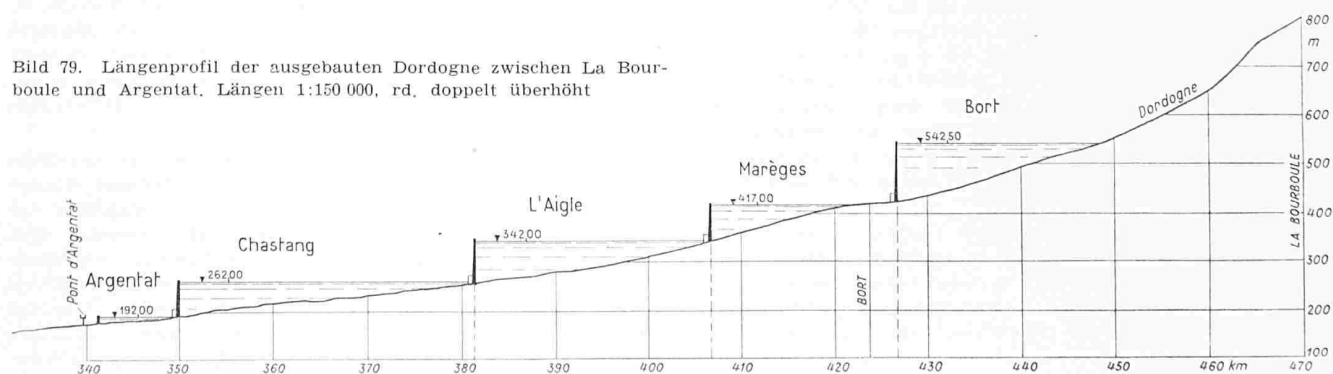


Tabelle 35. Aufteilung des Gesamtgefälles von 367,5 m zwischen Bort und Argentat

	Normalstau	Bruttogefälle
Bort	542,5 m ü. M.	114,5 m
Gefällsverlust	428,0 m ü. M.	11,0 m
Marèges	417,0 m ü. M.	75,0 m
L'Aigle	342,0 m ü. M.	80,0 m
Le Chastang	262,0 m ü. M.	70,0 m
Argentat (in Ausführung)	192,0 m ü. M.	17,0 m
	175,0 m ü. M.	
Total		367,5 m

1. Kraftwerk Bort [57, 58, 59], Bilder 80 bis 88

In Bort sollte anfänglich nur ein Laufwerk gebaut werden. Das Projekt eines Staumauer-Kraftwerkes mit Einleitung des südlichen Zuflusses Rhue (der etwas unterhalb von Bort in die Dordogne mündet) in den Stauraum hat erst ziemlich spät feste Form angenommen.

Nachdem die Dordogne auf etwa 20 km ihres Laufes eine Reihe mehr oder weniger breiter Becken durchflossen hat, die sich in den qualitativ sehr mittelmässigen Glimmerschiefern ausgebildet haben, zwingt sie sich oberhalb Bort durch einen 300 m langen Engpass. Dieser wird talauswärts von starken Gneisflanken gehalten, auf welchen die Glimmerschiefer mittels einer zermalmt, etwa 5 m dicken Kontaktzone aufruhren.

Die Staumauer war zuerst an der topographisch günstigsten Stelle vorgesehen, bis dann der Umlaufstollen die schwierigen geologischen Verhältnisse aufdeckte, die nach dem Abräumen der beiden Steilufer klar erkennbar wurden. Auf der linken Talflanke sind kühne und heikle Arbeiten

ausgeführt worden, um das Abgleiten des seitlichen Gebirges, auf dem die Staumauer ruhen sollte, zu verhindern. Schliesslich hat man die Mauer rittlings über die Kontaktzone gestellt. Die Kämpfer der obern Gewölberinge liegen im guten Gneis, während der untere Teil der Staumauer stark verbreitert werden musste, damit überall wenigstens die luftseitigen letzten 15 m der Dicke sich auf den Gneis abstützen. Die Mauer ist somit zwischen die beidseitigen Gneisflanken eingeklinkt worden.

Da der Glimmerschiefer viermal kompressibler ist als der anstehende Gneis ($E = 50\,000\text{ kg/cm}^2$ gegen $150\,000$ bis $200\,000\text{ kg/cm}^2$), musste man auch durch Verbreiterung des Mauerfusses auf der Wasserseite dafür sorgen, dass die vertikalen Fundamentpressungen (15 kg/cm^2) im Rahmen der Wasserauflast bei gefülltem Staubecken (12 kg/cm^2) blieben.

Die Arbeiten sind 1942 während des Krieges durch den «Service spécial d'aménagement de la Haute-Dordogne» des «Ministère des Travaux Publics» unter Leitung des bekannten Staumauerfachmannes, Inspecteur-Général des Ponts et Chaussées Coyne, im Auftrag der französischen Staatsbahnen begonnen worden. Nach der Nationalisierung der Elektrizitätsindustrie in Frankreich hat die «Electricité de France» die Bauarbeiten unter Mitarbeit von Oberingenieur Coyne weitergeführt. Die elektro-mechanische Ausrüstung ist von der Abteilung für elektrische Energie der französischen Staatsbahnen (SNCF), (Abteilungsvorstand Oberingenieur Chamayou) betreut worden. Im Winter 1951–1952 hat eine der beiden Hauptgruppen, die zu den grössten Europas gehören, erstmals Energie in das französische Elektrizitätsnetz abgegeben.

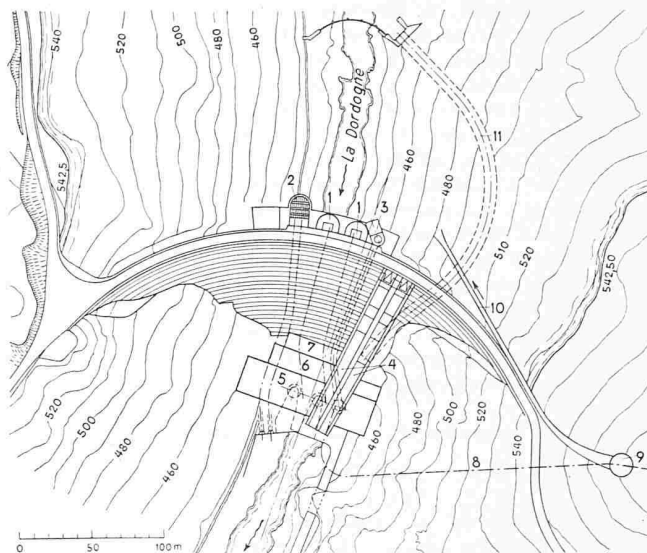


Bild 80. Kraftwerk Bort, Staumauer und Zentrale. Lageplan 1:5000

- | | |
|-------------------------|---------------------------------|
| 1 Wasserfassung | 7 Transformatoren |
| 2 Grundablass | 8 Druckleitung Rhue |
| 3 Auslauf Turbine Rhue | 9 Wasserschloss Rhue |
| 4 Hochwasser-Entlastung | 10 Ueberlauf Wasserschloss Rhue |
| 5 Maschinenhaus | 11 Umleitung Dordogne |
| 6 Dienstrakt | |

Staumauer Bort

Gewichts-Bogenmauer, Radius der vertikalen Wasserseite 190 m, Kronenlänge 390 m, Höhe 120 m, Breite der Mauerkrone 8 m, maximale Breite des Mauerfusses 80 m, $700\,000\text{ m}^3$ Beton. Der Hochwasserüberlauf, durch zwei Sektorschützen von $8,25 \times 11,5\text{ m}$ abgeschlossen, hat die bekannte Form «saut de ski» von Coyne. Ferner sind zwei Entleerungsleitungen von 3,0 m Durchmesser in die Staumauer eingebaut. Insgesamt können Hochwasser von $1200 + 2 \times 200 = 1600\text{ m}^3/\text{s}$ ohne Erhöhung des Stauspiegels abgeführt werden, entsprechend $1,6\text{ m}^3/\text{s}, \text{ km}^2$.

Ausser den zwei mittleren Blöcken (in welchen die beiden Einlaufbauwerke zu den Druckleitungen liegen), die durch drei Schlitze von etwa 4 m Breite voneinander getrennt sind, wurden die $15 \div 18\text{ m}$ breiten Blöcke der Staumauer nur durch radiale Betonierfugen getrennt. Um eventuelle ungleichmässige Setzungen der beiden höchsten Mauerelemente, die zum grössten Teil auf Glimmerschiefer stehen, ausgleichen zu können, sind die Trennschlitze erst kurz vor dem Aufstau zubetoniert worden.

Die Unternehmung der Anlage Bort hatte die Staumauer Grotte in Savoyen (vgl. SBZ 1949, Nr. 5, S. 81) ausgeführt. Sie hat dort mit vorfabrizierten Vorsatzblöcken als Schalung sehr gute Erfahrungen gemacht und schlug sie deshalb auch in Bort vor, wo sie so weitgehend wie nur irgend möglich verwendet wurden. Die Elemente von $2,15 \times 1,5\text{ m}$, mit zwei rd. 1 m vorstehenden Zapfen auf der Rückseite für das Einbinden in den Füllbeton, sind auf Rütteltischen in Beton P 350 kg/m^3 mit Maximalkorn 15 mm (Gewicht 3,2 t) fabrikmässig hergestellt worden. Für die Verzahnung der Fugen erhielten die dafür bestimmten Blöcke eine Vertiefung von 15 cm. Die Luftseite der Staumauer wurde abgetreppet, um die Vorsatzblöcke verwenden zu können.

Für den Bau der Staumauer waren mindestens $15\,000\text{ t}$ Zement pro Monat nötig, während die französischen Portlandzementwerke 1948 für diese Baustelle höchstens 5000 t monatlich aufbringen konnten. Unter Verwendung von Hochofenschlacke, die in Ermangelung genügend leistungsfähiger permanenter Aufbereitungsanlagen auf der Baustelle zu Zement verarbeitet wurde, ist es dann gelungen, den Bedarf sicherzu-

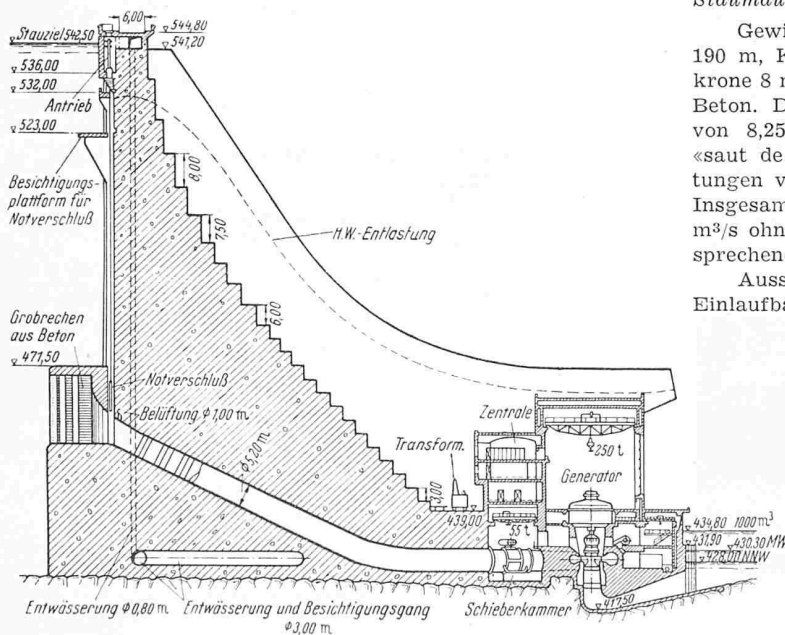


Bild 81. Kraftwerk Bort. Schnitt 1 : 1600 durch Staumauer und Zentrale (Cliché «Der Bauingenieur»)

Tabelle 36. Kraftwerke an den Zuflüssen der Dordogne, Hauptdaten

Kraftwerk	Einzugsgebiet km ²	Nutzbare Speicher- Inhalte Mio m ³	Brutto- Gefälle m	Ausge- nützt Wasser- menge m ³ /s	Install. Leistung kW	Mittl. jährh. Energie- erzeugung Mio kWh
Coindre	550	2,4	115,0	25,5	23 000	102
Val Beneyte	480	7,0	125,5	28,0	28 000	79
Neuvic d'Ussel	130	22,8	240,0	10,0	14 700	56
Marcillac	206	31,4	234,0	16,5	30 000	76
Enchanet	478	90,0	75,0	7,0	34 000	55
St-Geniez-ô-Merle	600	4,6	115,4	35,0	38 000	124
St-Etienne-Cantalès	691	100,0	62,0	165,0	75 000	110
Lamativie	764	—	132,0	27,0	29 000	230
Laval-de-Cère	827	—	95,0	31,0	28 000	160
La Glane (Projekt)	33	13,0	232,0	4,0	7 500	18
Total		271,2			307 200	1010

stellen. Bekanntlich ist Hochofenschlacke (Laitier) ohne Beigabe von Kalk als Katalysator (die gewöhnlich in Form von Portlandzement erfolgt) kein Bindemittel. Mit 30 % und mehr beigemischem Portlandzement erhält man aber ein hydraulisches Bindemittel, das reinen Portlandzement qualitativ übertreffen soll. Es entwickelt weniger Abbindewärme (nach 72 Stunden nur 54 % des Portlandzementes) und behält auch im Altern den Vorsprung von 36 cal pro Gramm bei. Gegen reines oder angesäuertes Wasser ist der «ciment de laitier» viel widerstandsfähiger als reiner Portlandzement. Im Nassverfahren (nach Trief) auf grosse Feinheit gemahlen, wird die Bindekraft besser ausgenützt, und man erhält einen leichter verarbeitbaren und wasserdichteren Beton. Die Hochofenschlacke wurde in Bort in körniger Form angeliefert, dort in Kugelmühlen nass gemahlen, und erst in den Betonmischern gab man dann Portlandzement bei.

Es sind folgende Mischungen verwendet worden:

Staumauerbeton

30 %	40 %	50 %	100 % Portland	Total
334 000 m ³	147 000 m ³	45 000 m ³	84 000 m ³	610 000 m ³
Uebrigste Bauwerke, einschliesslich Installationen				217 000 m ³
Total				827 000 m ³

Dem Vorsatzbeton von 3 m Dicke auf der Wasserseite der Mauer sind 275 kg Bindemittel pro m³ beigemischt worden. Der Füllbeton erhielt zuerst 250 kg/m³, dann 220 ÷ 225 kg/m³ und schliesslich 170 ÷ 175 kg Bindemittel pro m³. Auch bei dieser schwachen Dosierung war die Verarbeitbarkeit des Betons noch sehr gut und Versuche ergaben, dass auch 125 kg Bindemittel pro m³ sich noch verarbeiten liessen, wenn man die Mahlfeinheit noch weiter treiben, das Grösstkorn — das in Bort theoretisch 250 mm war, aber 300 bis 400 mm grösste Abmessung aufweisen konnte — reduzieren und die Leistung der Vibratoren erhöhen würde. Es hat sich in Bort eindeutig gezeigt, dass die Verwendung von Beton mit noch grösserem Maximalkorn nur in dem Masse möglich werden wird, als leistungsfähigere und solidere Rüttelgeräte gebaut werden.

Im Jahre 1950 sind mit der Transport- und Verteilorganisation des Betons, die eine Besonderheit von Bort war, in fünf Sommermonaten 250 000 m³ Beton eingebracht worden

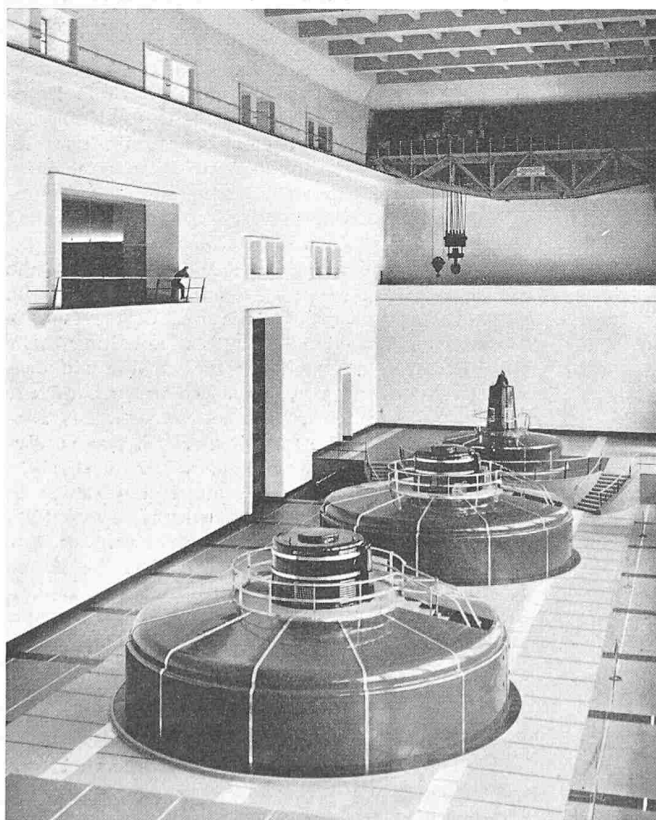


Bild 82. Zentrale Bort, die zwei 100 000 kVA-Generatoren und die Gruppe Rhue. (Vgl. den Mann am Geländer)

(im Laufe des Jahres 471 000 m³), mit einem Tagesrekord von 3228 m³. Es konnte über das ganze Jahr betoniert werden.

Eine Kernbohrung von 300 mm Durchmesser (Bild 84) in der Mauer auf die ganze Höhe abgeteufelt, hat Probekörper ergeben, die nach drei Jahren im Mittel von 16 Prüfungen eine Druckfestigkeit von 464 kg/cm² aufwiesen. Die Dosierung liegt zwischen 225 und 275 kg Bindemittel pro m³ (60 % Hochofenschlacke und 40 % Portlandzement), ein ausserordentlich gutes Resultat.

Der Unternehmung sind zwei ineinandergreifende granulometrische Zusammensetzungen mit doppelter Ausfallkörnung der Betonzuschlagstoffe zur Verfügung gestellt worden:

1. diskontinuierliche Kornabstufung
0 ÷ 2 mm 4 ÷ 15 mm 40 ÷ 130 mm
2. diskontinuierliche Kornabstufung
0 ÷ 2 mm 2 ÷ 4 mm 15 ÷ 40 mm 130 ÷ 250 mm

Je nach dem in der Grube anfallenden Rohmaterial wurde die eine oder die andere der beiden Zusammensetzungen ver-

Tabelle 37. Kraftwerk Bort, Hauptdaten

Einzugsgebiete Dordogne Rhue	1000 km ²
	650 km ²
Total	1650 km ²
Mittl. jährliche Abflussmengen	
Dordogne (30,1 m ³ /s od. 0,95 m Abflusshöhe)	950 Mio m ³
Rhue (22,2 m ³ /s od. 1,08 m Abflusshöhe)	700 Mio m ³
Total	1650 Mio m ³
Staubecken Bort	
Staukote	542,5 m ü. M.
Nutzbarer Speicherinhalt	407 Mio m ³ (von total 477 Mio m ³)
Ausgenützte Wassermenge 2 × 100 m ³ /s = (Spitzen 2 × 120 m ³ /s =	
	200 m ³ /s 240 m ³ /s)
Zuleitung der Rhue (Länge 13,249 km)	
Staubecken Vaussaire	
Staukote	568,5 m ü. M.
Nutzbarer Speicherinhalt	1,7 Mio m ³
Ausgenützte Wassermenge	60 m ³ /s
Druckstollen (v _{max} = 4,0 m/s)	
Länge	11,897 km
Benetzte Querschnitte	
Hufeisenprofil mit Betonsohle 6,18 × 5,6 m)	29,0 m ²
Kreisprofil Ø 4,5 m	15,9 m ²
Kreisprofil mit 6 cm arm. Gunit Ø 4,38 m	15,0 m ²
Siphon de la Tarentaine	
Länge	0,34 km
Arm. Betonrohr Ø 4,0 m auf zwei Pfeilern, Länge 152 m	12,6 m ²
Siphon de Granges	
Länge	0,87 km
Vorgespanntes Betonrohr Ø 4,0 m	12,6 m ²
Nettogefälle	
Dordogne	55 ÷ 111,5 m
Rhue (unter Gegendruck)	15 ÷ 60 m
Installierte Leistungen	
Dordogne 2 × 90 000 =	180 000 kW
Rhue	20 000 kW
Total	200 000 kW
Mittl. jährliche Energieerzeugung	
Dordogne (Speicherenergie)	300 Mio kWh
Rhue	50 Mio kWh
Total	350 Mio kWh
Mehrerzeugung in Marèges, Aigle und Chastang	
	85 Mio kWh
Totale mittlere Energieerzeugung	
	435 Mio kWh

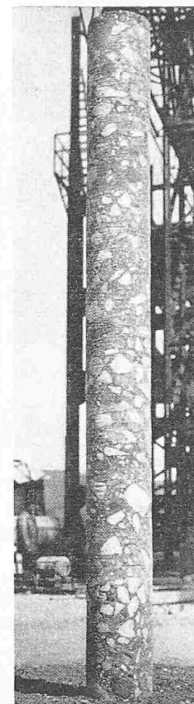
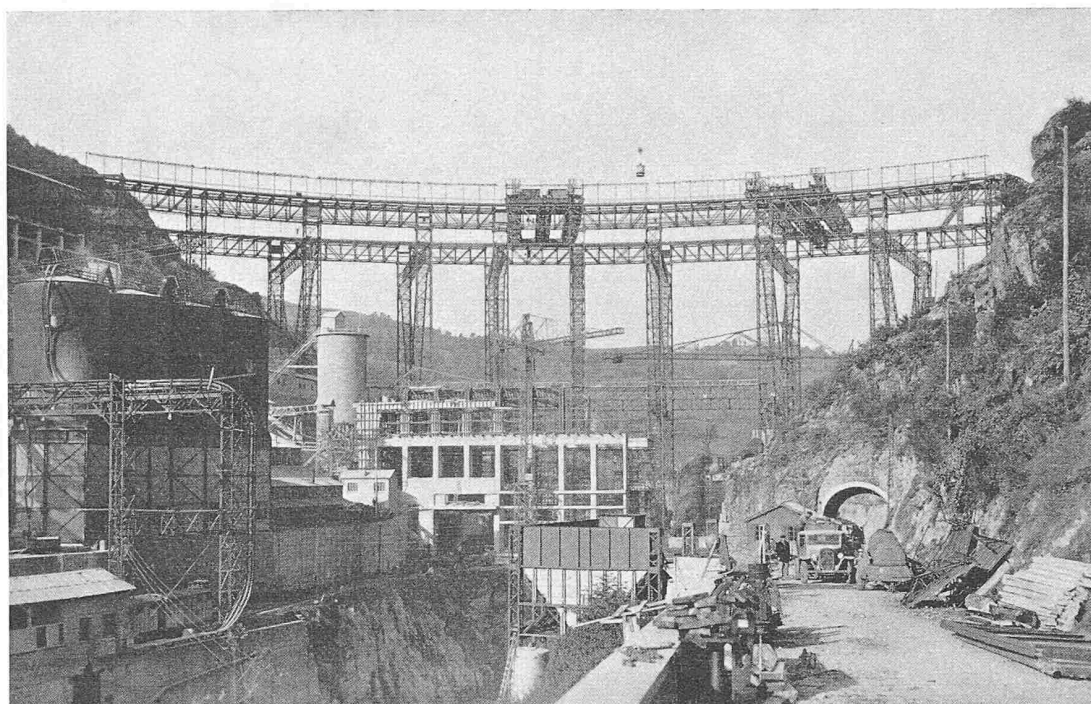


Bild 83. Kraftwerk Bort, Bauinstallationen, und Bild 84 (rechts) Bohrkern ϕ 300 mm aus der Staumauer

wendet, wie es am besten passte, um möglichst kleine Materialverluste zu erreichen. Ein Ueberschuss an Natursand konnte dank eines Steinbruches, der gröberes und grobes Brechmaterial lieferte, auch verwendet werden.

Der Beton ist durch in je 3 m Höhe übereinander eingelegte Rohrschlangen gekühlt worden. Die mittlere Temperatur des Wassers der Dordogne war zu hoch, um aus dem Beton innerhalb neun Monaten 3 Mia kcal abzuführen, so dass eine Kühlanlage für eine Kälteleistung von 200 000 kcal/h eingesetzt werden musste.

Die Injektionen sind sehr sorgfältig ausgeführt worden und haben vollen Erfolg erzielt. Der Dichtungsschirm von 50 m Tiefe benötigte für 8800 m Bohrlochlänge ϕ 50 bis 160 mm 3210 t Zement. Die Injektionen zwischen Beton und Fels, zur Verfestigung des Felsens und für den sekundären Dichtungsschirm, haben in 6200 m Bohrlöchern von 48 mm ϕ 117 t Zement verbraucht.

Zuleitung der Rhue (Bild 87). Aus der Befürchtung, ziemlich viel Bergwasser ableiten zu müssen, haben alle Stollenstrecken 1 bis 6 ‰ Gefälle gegen die Fenster hin erhalten. Die dadurch entstandenen vier Kulminationspunkte werden durch Bohrlöcher entlüftet, drei davon sind 30 bis 60 m lang von ϕ 120 mm und eines von ϕ 300 bis 200 mm ist 267 m lang. Alle Bohrungen sind verrohrt und der Raum zwischen Rohr und Fels ist mit Mörtel gefüllt.

Bemerkenswert ist der 871,92 m lange *Düker von Granges* (innerer ϕ 4 m), der nach Vorschlag des bekannten Ingenieurs Caquot in vorgespanntem Beton ausgeführt wurde. Der maximale Innendruck beträgt 140 m Wassersäule. Die Rohrelemente sind 20 m lang; die Fugen werden durch Kupferbleche gedichtet, die im äusseren Teil der verdickten Rohrenden liegen. Die normale Rohrwand erhält damit den Wasserdruck und eine Vorspannung auch in der Längsrichtung, während die Vorspannung gegen den radialen Wasserdruck durch je acht in Spannelemente zusammengefasste Stahldrähte ϕ 7 mm erfolgt. Der Abstand der Spannelemente ändert sich mit dem Wasserdruck. Eine 5 cm starke Gunitschicht schützt die Vorspannarmierung gegen Rost, und die Leitung ist zum Schutz gegen die Temperaturschwankungen auf der ganzen Länge eingedeckt.

Für die Belegschaft der Baustellen sind in vorbildlicher Weise getrennte Wohnkolonien für 280 Familien und 720 ledige Arbeiter, mit Spital, Schule, Konsumverein, Festsaal, Markt usw. gebaut worden. Es ist in der Tat nicht verständlich, warum Bauarbeiter, die mit viel Aufwand zu qualifizierten Berufsleuten ausgebildet werden, die meistens unter schwereren Bedingungen arbeiten müssen als die Leute der Indu-

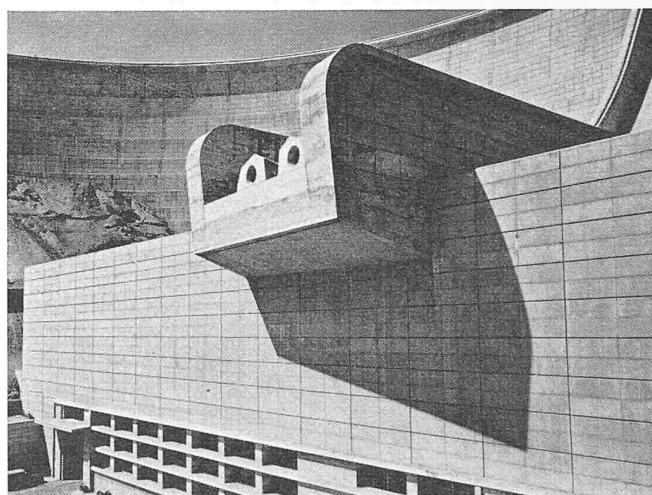


Bild 85. Kraftwerk Bort, auskragende Hochwasser-Entlastung über der Vorderfront der Zentrale

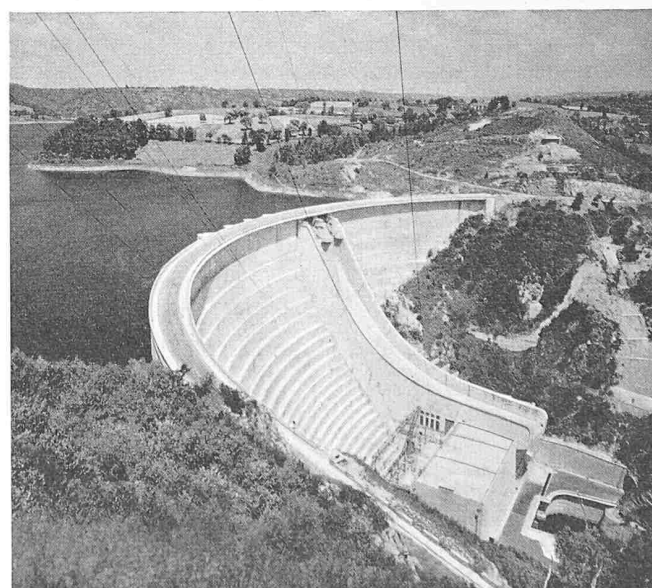


Bild 86. Kraftwerk Bort, Gesamtansicht. Rechts oben Wasserschloss Rhue

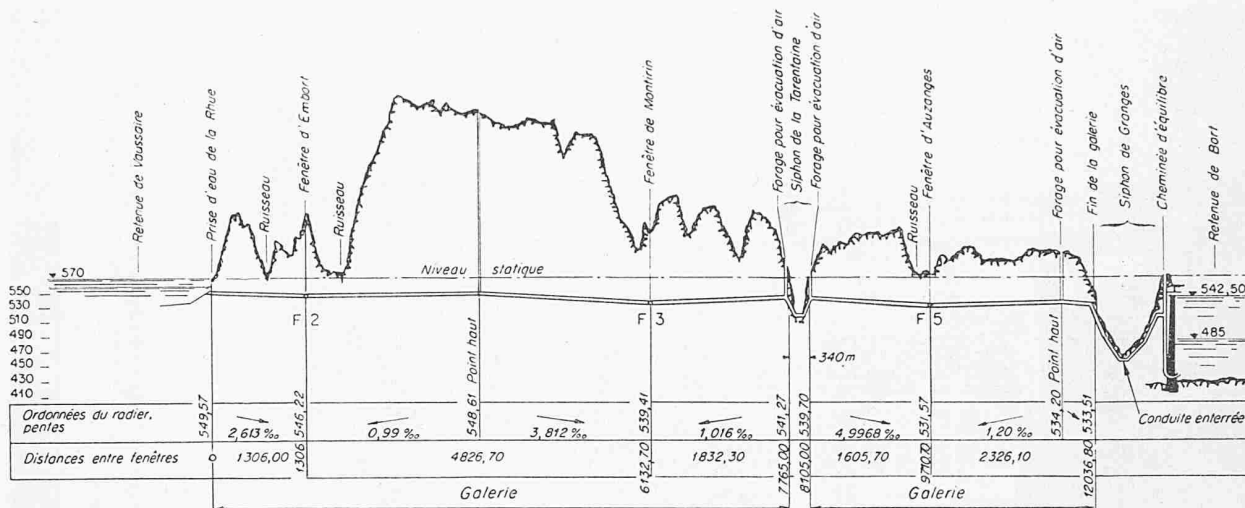


Bild 87. Kraftwerk Bort, Längenprofil der Zuleitung der Rhue, Längen 1 : 200 000, Höhen 1 : 20 000

strie, dabei nach jeder Vollendung eines Bauvorhabens wieder weiter ziehen, schlechtere Unterkunft und Lebensbedingungen erhalten sollen als die Belegschaften der Industrie.

Die erzeugte Energie wird von den zwischen Zentrale und Staumauer aufgestellten Einphasentransformatoren über zwei 225 kV-Leitungen der 11 km entfernten Freiluftschaltanlage La Mole zugeführt, wo die durch Hochfrequenz ferngesteuerten Schalter dieser Leitungen aufgestellt sind.

2. Kraftwerk Marèges [60, 61], Bilder 89 bis 91

Marèges wurde als erstes Kraftwerk an der Dordogne in den Jahren 1930 bis 1935 vom «Service spécial d'aménagement de la Haute Dordogne» (Obering. Coyne) für den französischen Staat und die ehemalige «Compagnie du Chemin de fer de Paris à Orléans» gebaut, nachdem die an der Staumauer Chavanon (ein Nebenfluss der oberen Dordogne) begonnenen Arbeiten 1926 eingestellt worden waren. Marèges ist das erste Glied einer anschliessenden, langjährigen Entwicklung des Kraftwerkstypus, der den topographischen und hydraulischen Gegebenheiten der oberen und mittleren Dordogne am

besten angepasst ist. Ferner ist Marèges auch der Beginn der überaus fruchtbaren Entwicklung im französischen Staumauerbau. Das Kraftwerk ist am 5. Oktober 1935 eingeweiht worden.

Die verschiedenen Teile, die ein Staumauerkraftwerk bilden, liegen hier noch getrennt im Gelände, und die Staustelle musste deshalb dort gewählt werden, wo die nötige Breite für die Entwicklung der Ueberläufe und der Baustelleneinrichtungen, der Platz für die Zentrale und die Turbinenausläufe vorhanden war. Eine Baustelle weiter talaufwärts wurde, da zu eng, zugunsten der heutigen Lage verlassen, weil hier zwei Talwege nebeneinander liegen, wovon der rechtsseitige jedoch nur etwa halb so tief ist wie die Haupttalrinne.

Das Kraftwerk besteht zur Hauptsache aus:

Bogenstaumauer links in den Felsen eingebunden, rechts auf der halbhohen Schulter durch eine 49 m lange Gewichtsmauer, die zum Teil als Hochwasserüberlauf ausgebildet ist, bis zum anstehenden Fels verlängert.

Drei Hochwasser-Entlastungsanlagen, wovon die eine, in der Gewichtsmauer angeordnet, mittels drei Öffnungen, die durch Schützen mit Aufsatzklappen von $5,0 \times 7,5$ m verschlossen werden, 700 m³/s abführen kann. Die zwei andern sind in die linke Talflanke eingebaut. Je eine Doppelschütze von $11,0 \times 12,0$ m schliesst den Einlauf eines der Stollen von 8,0 m innerem Durchmesser ab. Eine der Schützen ist zwecks Einhaltung der Staukote automatisiert. Die beiden Stollen

Tabelle 38. Kraftwerk Marèges, Hauptdaten

Einzugsgebiet	2540 km ²
Mittl. jährl. Abflussmenge (67,5 m ³ /s oder 0,84 m Abflusshöhe)	2125 Mio m ³
Niederwasser	9,9 m ³ /s
Höchstes bekanntes Hochwasser	1000 m ³ /s
Staubecken Marèges	
Staukote	417,0 m ü. M.
Nutzbarer Speichereinhalte (bis Kote 392,0, 5,5 Mio kWh oder 40 h Vollastbetrieb der Zentrale)	34 Mio m ³ (von total 40 Mio m ³)
Länge des Staus (bis Bort)	16 km
Ausgenutzte Wassermenge $4 \times 60 =$	240 m ³ /s
Max. Nettogefälle	70,5 m
Install. Leistung $4 \times 35\,000 =$	140 000 kW
Mittl. jährliche Energieerzeugung	345 Mio kWh

Tabelle 39. Kraftwerk Marèges, Kosten des baulichen Teils (1936)

Staumauer	42,0 Mio fr frs.	32 %
Zentrale	23,5 Mio fr frs.	18 %
Wasserfassungen und Druckleitungen	14,4 Mio fr frs.	11 %
Unterwasserkanäle	10,0 Mio fr frs.	8 %
Hochwasserüberläufe i. U. Studien, Vorarbeiten, Bau- leitung, Zufahrten, Un- kosten usw.	7,4 Mio fr frs.	6 %
	33,0 Mio fr frs.	25 %
Total	130,3 Mio fr frs.	100 %

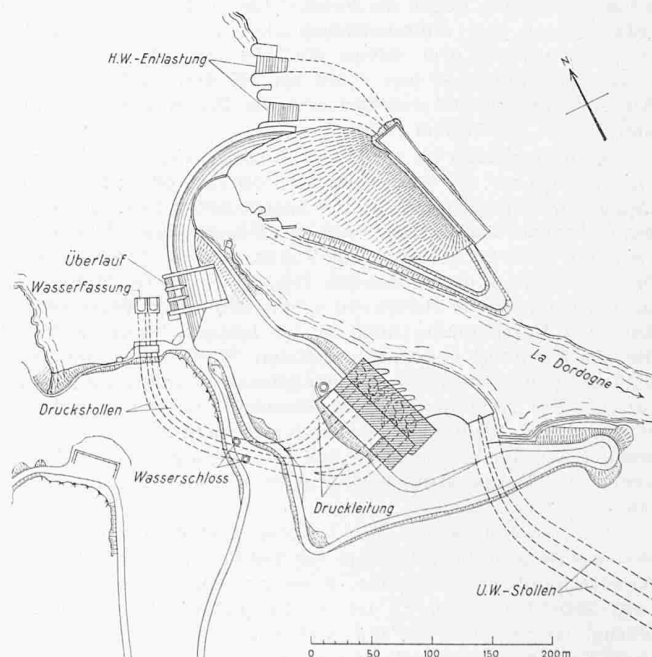


Bild 89. Kraftwerk Marèges, Lageplan 1 : 6000

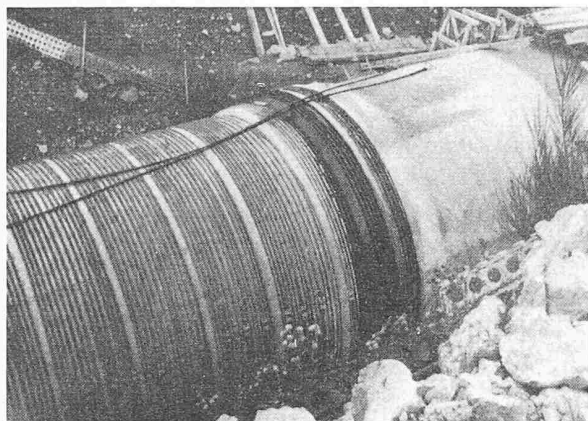


Bild 88. Kraftwerk Bort, Düker von Granges. Links Vorspanndrähte, in der Mitte Rohrfuge, rechts mit Gunit verkleidetes Rohr

können 2000 m³/s abführen; sie vereinigen sich beim Auslauf in eine offene Rinne. Allen drei Hochwasser-Entlastungen ist gemeinsam, dass zum ersten Mal das abfliessende Wasser nicht mehr bis in das bestehende Flussbett geleitet wird. In günstiger Höhe wird das Wasser durch eine entsprechende Führung der Gerinnesohle in die Luft geschleudert, so dass es freifallend und genügend weit vom Ufer und den Bauten entfernt in das natürliche Flussbett stürzt. Damit wird eine Gefährdung durch aufwärtswandernde Kolke vermieden. Ein-schliesslich Entleerungsleitungen und Turbinen können 3000 m³/s (1,18 m³/s, km²) abgeführt werden.

Zwei Wasserfassungen münden in 6,2 m weite Druckstollen von 112 bzw. 145 m Länge. Ueber jedem Druckstollen ist, vor dem Verteilstück zu den zwei davon ausgehenden Druckleitungen, ein senkrechter, gedrosselter Wasserschlossschacht von \varnothing 7,0 m und 50 m Höhe ohne Ueberlauf angeordnet. Die vier Druckleitungen von 4,4 m innerem Durchmesser und 120 bis 150 m Länge sind dort, wo genügende Felsüberlagerung vorhanden ist, durch eine armierte Gunitauskleidung gedichtet. Vom Stollenende bis zu den Turbinenschiebern sind Stahlblechrohre eingesetzt. Dazwischen, auf ungefähr 28 m Länge, wo die Ueberlagerung der Stollen nicht mehr genügt, den Innendruck aufzunehmen, ist die etwa 40 cm dicke Betonauskleidung vorgespannt worden. Das Modell dieses Bauverfahrens, Vorläufer der modernen Vorspannkonstruk-

tionen, ist im Musée des Travaux Publics (Avenue d'Jéna in Paris), dessen Besuch sich übrigens sehr lohnt, ausgestellt. Es besteht im wesentlichen in geschlossenen Ringen aus Stahldrahtkabeln, die alle 50 cm in Rohren in die Auskleidung einbetoniert werden. Beidseitige Aussparungen in der horizontalen Mittelebene gestatten, die Kabel mittels zwei Pressen, die in der Richtung des Durchmessers wirken, zu spannen. Ist die Vorspannkraft von 135 t erreicht, werden die seitlichen Oeffnungen mit Mörtel geschlossen und die Kabel-Futterrohre injiziert. Nach dem Abbinden des Mörtels wurden die Pressen entfernt.

Zwei Umlaufstollen von 37 m² lichtigem Querschnitt (rd. 6,85 m \varnothing) sind durch Betonpfropfen mit nötigenfalls zur Sprengung vorbereiteten Abschlussdeckeln in Stahl von 3,0 m Durchmesser verschlossen worden.

Zwei Entleerungsleitungen (\varnothing 1,9 m), mit Verschlussorganen auf der Luftseite, sind in die Staumauer eingebaut.

Die Zentrale, in zwei elektrisch voneinander unabhängige Hälften geteilt, ist mit vier vertikalachsigen Maschinensätzen ausgerüstet. In Hinsicht auf die Anforderungen des Bahnbetriebes ist eine (für die normal im Mittel verfügbare Leistung von 39 000 kW sehr hohe) installierte Leistung von 140 000 kW gewählt worden, in der Meinung, je eine der Gruppen werde in Reserve behalten. Zwischen Berg und Zentrale sind zwei Gruppen von Einphasentransformatoren 12/225 kV aufgestellt, deren Abgänge zu der 250 m darüber liegenden Schaltanlage La Mole hinaufführen.

Die Ausläufe der Turbinen werden in einem offenen Becken zusammengefasst, das in zwei parallele Unterwasser-Freilaufstollen von 520 m Länge mündet. Das Hufeisenprofil von 9,5 m Breite hat 45 m² Querschnitt.

Die Staumauer Marèges ist eine Bogenmauer mit einem äusseren Radius der Mauerkrone von 100 m und einer Kronenlänge von 198 m, einer Höhe von 90 m, einer Breite der Mauerkrone von 3,0 m und des Mauerfusses von 19,0 m. Rechts anschliessend folgt eine Gewichtsmauer von 49 m Kronenlänge. 185 000 m³ Beton wurden verwendet.

Die berühmte Form dieser Staumauer ist nach Ing. Coyne aus der systematischen Auswertung der Messresultate und Beobachtungen an Bogenmauern in den USA entstanden. Durch starke Wölbung der Oberwasserseite ist der starren Verbindung des Mauerfusses mit dem Gebirge entgegenge-wirkt worden. Ohne diese Massnahmen hätte die Mauer, bei der viel elastischeren Verbindung der Mauerflanken mit dem Baugrund, auf der Wasserseite reissen können. Diese stark talaufwärts überhängende Form der Wasserseite benötigte

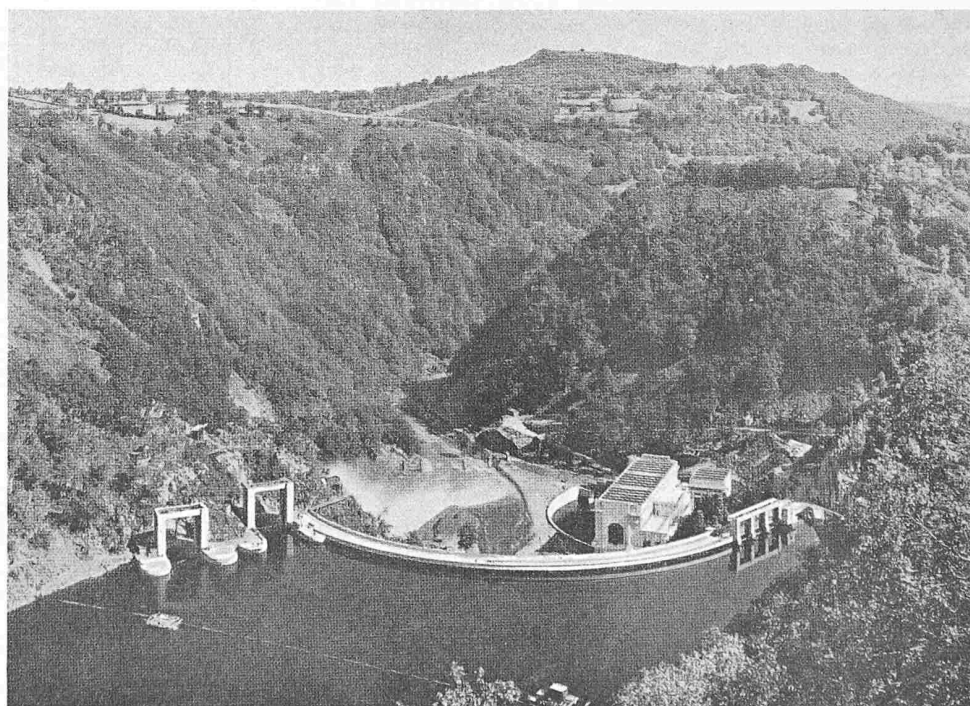
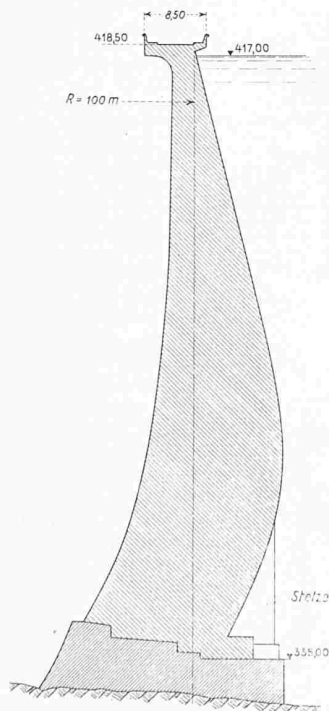


Bild 90. Kraftwerk Marèges, Schnitt Staumauer 1:1000, und Bild 91, Gesamtansicht von Oberwasser (linksufrige Hochwasser-Entlastungen im Betrieb)

dann die bekannte Abstützung der nicht belasteten Mauer einerseits durch fünf mit dem Fels verbundene Betonklötze, gegen die sich die Staumauer bei Entlastung anlehnt, und andererseits durch zwei mit der Mauer solidarische Stelzen aus Beton. Diese letzteren setzen sich bei entleertem Staubecken auf den Fundamentblock auf und verhindern dadurch das Zustandekommen von vertikalen Zugspannungen auf der Luftseite. Die maximale im Scheitel gemessene Verformung der Mauer ist 12 mm bei rechnerisch ermittelten mittleren Druckspannungen von 25 kg/cm² und lokalen Spitzen von 55 kg/cm². Als Instrumente zur Kontrolle der im Beton auftretenden Spannungen sind akustische Spannungsmesser, System Coyne, eingebaut worden.

Auf dem gesamten Umfang ist der Fuss der Staumauer durch ein zusammenhängendes, etwa 10 m starkes Fundament in Beton P 275 ÷ 300 kg/m³ gebildet. Das Gewölbe selber in Beton P 250 kg/m³ ist in 15 Blöcke von 13 m Breite eingeteilt worden, die durch 1 m breite Fugen voneinander getrennt waren. Die Verzahnungen mit den Blöcken sind beidseitig 24 cm tief. Nach Erkalten des Blockbetons wurden die Fugen geschlossen und später in mehreren Phasen injiziert. Die drei Fugen im Talweg des Flusses sind im untern Teil breiter gelassen und erst am Schluss zubetoniert worden, um den Hochwassern, die durch die beiden Umlaufstollen nicht hätten abgeführt werden können, Durchlass zu gewähren. Der mittlere Block wurde übrigens, damit extreme Hochwasser die Mauer nicht vorzeitig unter Druck setzen konnten, tief gehalten und ist später im Eiltempo, unter Verwendung künstlicher Kühlung durch Rohrschlangen, aufbetoniert worden.

Der Zement wurde mittels einer 9 km langen Luftseilbahn von 15 t Stundenleistung von der Bahnlinie Brive—Bort antransportiert. Die Betonzuschlagstoffe, einschliesslich des Sandes, sind aus einem Granitsteinbruch gewonnen worden. Der Antransport von Naturkies und -sand bot viel zu grosse Schwierigkeiten, als dass deren Verwendung hätte in Frage kommen können. Maximalkorn des Betons 120 mm, nach der Bolomey-Siebkurve aus 0÷3, 3÷10, 10÷30 und 30÷120 zusammengesetzt; der Beton wies im Mittel 240 kg/cm² Druckfestigkeit nach 90 Tagen auf. Das Einbringen des plastischen Betons erfolgte mittels drei Betontürmen von 60 m³/h Leistung und regulierbaren Auslegern mit Transportbändern. Auf etwa 30 cm Schichthöhe ausgebreitet, wurde der Beton durch Platten oder Platten mit Zähnen leicht vibriert. Zur Verdichtung der Wasserseite der Staumauer sind Pervibratoren verwendet worden. Erstmals wurden also in Marèges die heute zum Teil noch üblichen Verfahren und Geräte zum Verarbeiten von etwa 1000 m³ Beton pro Tag angewendet und erprobt. Die Schalungen waren aus Stahl. Insgesamt sind 160 000 m³ Aushub und 213 000 m³ Beton nötig gewesen, um das Kraftwerk zu bauen.

Die Freiluftschaltanlage La Mole, nordwestlich der Zentrale auf dem Plateau gelegen, war schon anfangs der dreissiger Jahre im Zuge des Ausbaues der 225-kV-Ueberlandleitung von Rueyres-Brommat an der Truyère nach Chevilly bei Paris erstellt worden [53]. Von dort wurde die in den Zentralen Coindre und Roche-le-Peyroux an der Rhue und Laval und Lamativie an der Cère erzeugte Energie nach dem Verbrauchszentrum Paris überführt. Drei Stränge bringen heute die Energie nach dem Tagesspitzenkraftwerk Eguzon an der Creuse¹⁾ (1923 bis 1926, 64 000 kW, 102 Mio kWh), von wo zwei 225-kV-Stränge nach Chevilly und zwei weitere nach dem Industriegebiet Angers-Nantes-Saint Nazaire und nach der Bretagne abgehen. 1954 vermittelten die beiden Pariser Stränge rd. 420 Mio kWh, mit einer Monatsspitze im März von rd. 90 Mio kWh, während gegen die Bretagne an die 680 Mio kWh flossen.

Fortsetzung folgt.

¹⁾ Vgl. SEZ, Bd. 88, S. 91 (31. Juli 1926).

Literaturverzeichnis

- [57] R. Riquois: Aménagement de la chute de Bort. «Travaux» 1951, S. 79/86.
 [58] «La Houille-Blanche», Extranummer Bort, 1953. Beschreibungen von 16 Mitarbeitern.
 [59] M. Mary: Le barrage de Bort. «Travaux» mai 1955, Supplément au No. 247, S. 71/78.
 [60] L. Besnard, F. Déry: Le barrage et l'usine génératrice de Marèges. «Revue Générale d'Electricité» 1936, S. 605/615, 633/647 und 673/679.
 [61] A. Coyne: L'aménagement de la chute de Marèges sur la Dordogne. «Mémoires de la Société des Ingénieurs-civils de France» 1935, Sept.-Oct., S. 697/719.

Der Niederschlags-Intensitätsschreiber, ein Messgerät im Dienste des Abwasserwesens

Von Dr. sc. nat. Hans Züllig, Rheineck SG

DK 551.508.77

1. Einleitung

Die rationelle Gestaltung einer Ortsentwässerung setzt u. a. die Kenntnis lokaler Niederschlagsverhältnisse voraus, denn nur auf Grund langzeitiger statistischer Erhebungen lassen sich z. B. Fragen über die Dimensionierung von Leitungen und Bauwerken zur Hochwasserentlastung beantworten und deren Wirkung prüfen [1, 2, 4, 5]*).

Hydraulischen Berechnungen solcher Art liegt, soweit sie Angaben über Niederschläge erfordern, die Niederschlagsintensität zugrunde, eine Grösse, zu deren Ermittlung bis anhin Aufzeichnungen von sog. Regensummenschreibern ausgewertet werden mussten. Obgleich theoretisch gesehen die Niederschlagsintensität die erste Ableitung der Niederschlags-Summenkurve darstellt, sieht man in der Praxis von der eigentlichen Infinitesimalbetrachtung ab und definiert als Niederschlagsintensität die Niederschlagshöhe bzw. die Regengenmenge pro Minute. Bis heute bestand die sehr mühevollen Arbeit darin, aus der Regenhöhenganglinie (Summenkurve) für Aenderungen der Regenintensität einzelne Teilregenhöhen herauszugreifen und durch die entsprechenden Teilregendauern zu dividieren. Um nun diese zeitraubende Arbeit nach Möglichkeit zu kürzen, konstruierten wir einen Apparat, welcher nicht mehr nur die Regenhöhenganglinie, sondern auch die Regenintensität i in mm pro Minute direkt registriert. Es schien uns von Vorteil zu sein, die Aufzeichnung der Niederschlags-Summenkurve beizubehalten. Sie lässt stets eine summarische, von der Stromzufuhr unabhängige Kontrolle über die Aufzeichnung der Regenintensität zu; sie gestattet weiter, die innerhalb einer gewissen Zeitspanne erreichte Niederschlagshöhe sofort abzulesen, und sie ermöglicht, die mittlere Intensität feinsten Niederschläge mit Intensitäten kleiner als 0,005 mm/min (z. B. «Nebelreissen») aus der Summenkurve abzuleiten.

*) Literaturverzeichnis am Schluss.

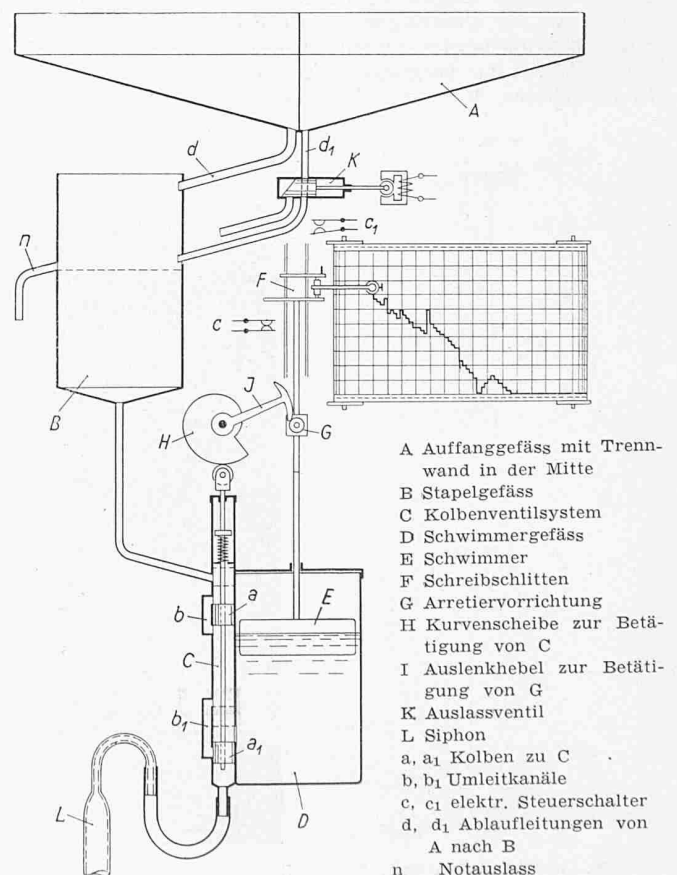


Bild 1. Prinzipschema des Niederschlags-Intensitätsschreibers