

Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 38 (1946)
Heft: 7-8

Artikel: Das Speicherwerk Rossens-Hauterive (Frbg.)
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-921366>

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: 08.01.2025

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

Das Speicherwerk Rossens-Hauterive (Frbg.)

Mitgeteilt von den Freiburgischen Elektrizitätswerken.

Die hydraulische Gross-Speicheranlage im untern Greyerzertal, deren Bau durch den Grossen Rat des Kantons Freiburg anlässlich seiner Sitzung vom 24. Dezember 1943 beschlossen wurde, bildete den Gegenstand zahlreicher Vorstudien seitens der Freiburgischen Elektrizitätswerke (FEW.). Das erste Projekt datiert aus den Jahren 1913—1916 und sah die Erstellung eines Zwischenwerkes in Rossens am Fusse der Staumauer vor. Das jetzt in Ausführung begriffene Projekt trägt Nr. 6. Man kann hieraus ersehen, dass dem Problem einer rationellen Ausnützung der Wasserkräfte der Saane und der Weiterentwicklung der FEW. stetsfort die vollste Aufmerksamkeit geschenkt wurde.

Hydrographie

Die Saane ist einer der unethesten Schweizer Flüsse. Ihr Einzugsgebiet, das bei Rossens 954 km² beträgt, umschliesst einen nur sehr geringen Gletscheranteil (Vergletscherung 0,7 %). Aus dem Studium der hydrographischen Beobachtungen der Jahre 1923 bis 1942 ergibt sich, für die monatlichen Mittelwerte, ein Minimum von 6,2 m³/sec und ein Maximum von 105,5 m³/sec. Während dieser zwanzig Jahre betrug die mittlere Abflussmenge in Rossens 35,7 m³/sec. Momentane Hochwasserspitzen können bis 700 m³/sec betragen. Sie konzentrieren sich nicht immer auf bestimmte Jahreszeiten, können aber unverhofft jederzeit eintreten, besonders im Spätherbst bei starken Niederschlägen und gleichzeitiger Schneeschmelze. Unter diesen Umständen ist leicht verständlich, dass die Laufwerke Montbovon, Hauterive und Oelberg,

am Saanelauf gelegen und den FEW. gehörend, nicht für die Verwertung grosser Wassermengen ausgerüstet sind. Es fehlt diesen Werken das Anpassungsvermögen, um so mehr, da die in diesen drei Werken installierten 50 000 PS 62 % der gesamten installierten Leistung ausmachen, über welche die FEW. zurzeit verfügen.

Das einzige Akkulnierwerk ist dasjenige von Broc, für 30 000 PS ausgerüstet, welches die durch die Staumauer von Montsalvens aufgespeicherten Gewässer des Jaunbaches benützt. Der 11 Mio m³ betragende Nutzinhalt des Stausees gestattet die Aufspeicherung der Hochwasser während einiger Wochen, ist jedoch zu gering, um dieser Anlage den Charakter einer Jahresakkumulieranlage zu geben. Ein Produktionsausgleich auf längere Sicht und damit eine rationelle Anpassung der unregelmässigen Abflussmengen an die Energiebedürfnisse mit gleichzeitiger Erhöhung der Stromerzeugung der FEW., war einzig und allein durch die Erstellung einer genügenden Reserve im Saanetal möglich. Die Erstellung einer Jahresspeicherungsanlage erwies sich als dringend, wenn man der Ungleichheit zwischen Sommer- und Winterenergie auf anderem Wege als durch Fremdstromzükäufe steuern wollte. So erwies sich in Anbetracht der bestehenden Ausbaumöglichkeiten die Anlage Rossens-Hauterive, mit einem Nutzinhalt von 180 Mio m³ und einer installierten Leistung von 80 000 PS als einziges, die gestellten Bedingungen erfüllendes Objekt. Der auf 66 Mio Fr. veranschlagte Bau (wovon 7 Mio Fr. für den Rückkauf des bestehenden Werkes Hauterive) wurde durch den Grossen Rat des

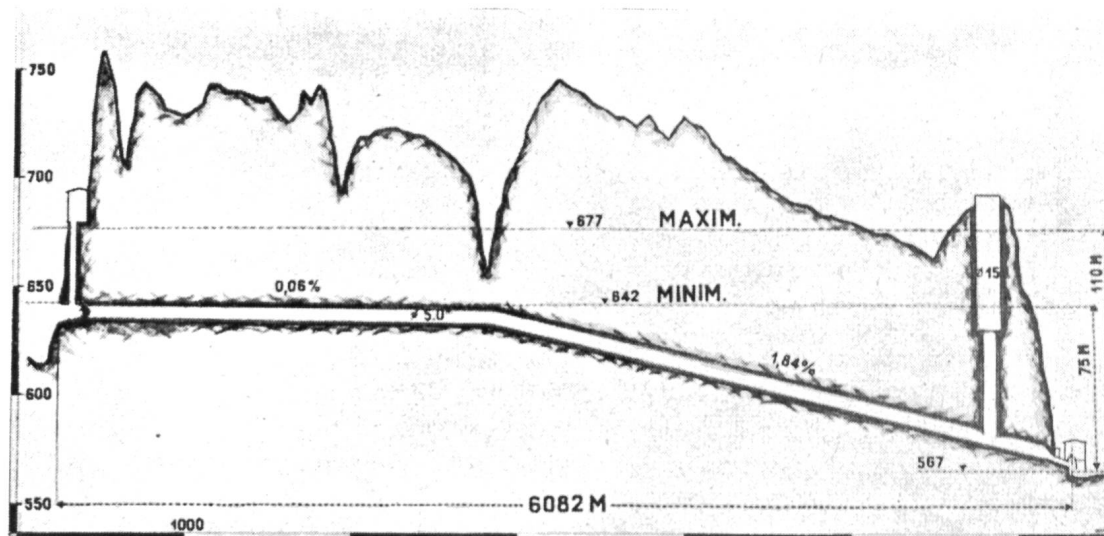


Abb. 2 Speicherwerk Rossens-Hauterive. Längenprofil.

Kantons Freiburg mit einer grossen Mehrheit beschlossen. Die eigentlichen Baukosten wurden im Jahre 1943 auf 47 Mio Fr. veranschlagt.

Bestehende Anlage Thusy-Hauterive

Die im Jahre 1902 erstellte und noch bestehende Zentrale Hauterive ist ein Laufwerk. Die Gewässer der Saane werden bei Thusy durch ein bewegliches Wehr gefasst und durch einen 9,2 km langen Freispiegelstollen nach Hauterive geführt, der für eine maximale Wasserführung von 20 m³/sec bemessen ist. Das mittlere Bruttogefälle beträgt 69 m, die installierte Leistung 24 000 PS. Nach Fertigstellung der Staumauer, des neuen Druckstollens und Betriebsbereitschaft der neuen Maschinengruppen wird diese alte hydraulische Anlage ausser Betrieb gesetzt.

Neue Anlage Rossens-Hauterive

Durch die Errichtung der Staumauer bei Rossens wird das mittlere Bruttogefälle von 69 auf 100 m steigen. Der neue Druckstollen von 5,9 km Länge wird für eine Wasserführung bis 75 m³/sec gebaut; das Bruttogefälle schwankt zwischen 75 und 110 m. Die Ausrüstung der Zentrale Hauterive wird von 24 000 auf 80 000 PS erweitert.

Energieproduktion

Die Kraftwerke der FEW. erzeugen gegenwärtig in ihrer Gesamtheit jährlich durchschnittlich 170 Mio kWh. Die Zentrale Hauterive liefert ihrerseits jährlich 50 bis 60 Mio kWh, die sich unregelmässig auf das ganze Jahr verteilen. Nach Inbetriebnahme der neuen Anlage wird die jährliche Energieerzeugung in Hauterive durchschnittlich 230 Mio kWh betragen, wovon 110 Mio kWh auf den Winter entfallen. Die flussabwärts gelegene Zentrale Oelberg in Freiburg wird aus der Wasserabgabe von Rossens ebenfalls Nutzen ziehen, mit einem jährlichen Produktionszuschuss von 7 Mio kWh.

Die gesamte Jahresproduktion der Wasserkraftwerke der FEW. wird jährlich 350 Mio kWh betragen, also mehr als das Doppelte der bisherigen Erzeugungsmöglichkeiten. Mit Rossens-Hauterive wird die Gesamtleistung der Werke der FEW. von 80 000 auf 136 000 PS ansteigen, wovon 110 000 PS auf die Speicherwerke und 26 000 PS auf die Laufwerke entfallen, so dass letztere im gesamten nur noch 19 % statt wie bisher 62 % ausmachen werden.

Stausee

Der zukünftige Stausee wird sich zwischen den Dörfern Rossens und Broc auf eine Länge von zirka 11 km erstrecken, mit einer stark ausgebuchteten Oberfläche von 9,6 km². Die maximale Stauhöhe wurde auf Kote 677 festgelegt. Am Standort der

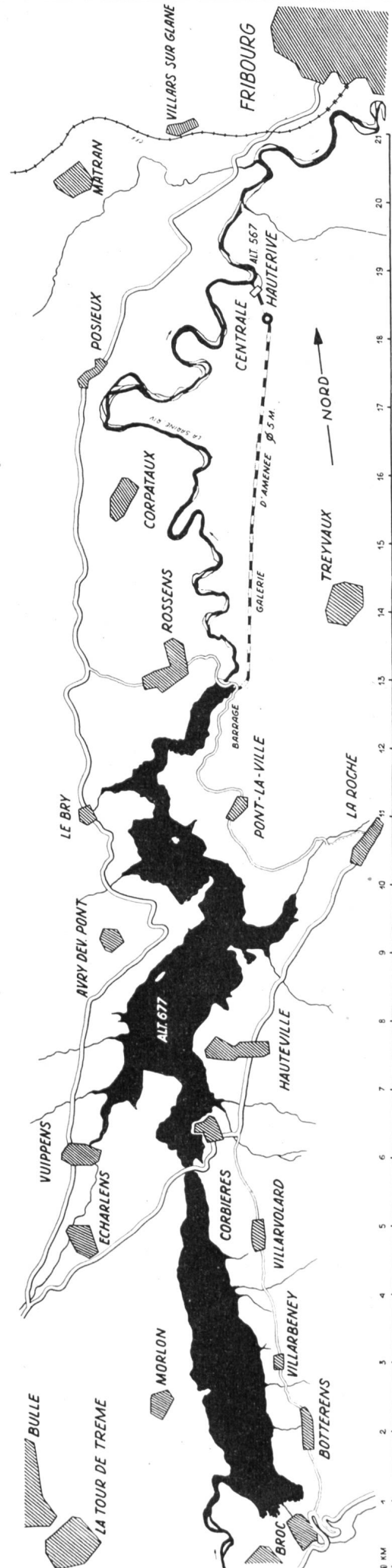


Abb. 3 Speicherwerk Rossens-Hauterive, Situationsplan.

Staumauer liegt der Talweg der Saane ungefähr auf Kote 606. Das gesamte Speichervolumen wird zirka 200 Mio m³ betragen (20 % des gesamten Jahresabflusses), wovon 180 Mio m³ Nutzinhalt über dem minimalen Betriebswasserspiegel bei Kote 642.

Das unter Wasser gesetzte Gelände der 15 Anstößer-Gemeinden umfasst 945 ha und verteilt sich wie folgt:

Unproduktives Gelände	34,7 %
Waldungen	24,2 %
Weiden	14,7 %
Wiesen und Aecker	26,3 %
Gebäulichkeiten	0,1 %

Eine vom Grossen Rat eingesetzte und aus Vertretern des Kantons und der Gemeinden bestehende Kommission behandelt seit 1944 direkt mit den Interessenten alle mit der Erstellung des Stausees zusammenhängenden Fragen.

Geotechnische Angaben

Auf Grund der seit 1918 vorgenommenen geologischen Expertisen kann die Dichtigkeit des Staubekens als befriedigend bezeichnet werden. Unterhalb Thusy liegt das Staugebiet gänzlich in molassischem Gelände, das für die Wasserundurchlässigkeit volle Sicherheit bietet. Oberhalb Thusy breitet sich das Staugebiet über Gelände der Quartärzeit aus, bestehend aus Moränen und glazialen Ablagerungen. Das in diesen undurchlässigen Böden eindringende Wasser findet aber talabwärts keine Abflussmöglichkeit. In bezug auf die Verlandung des zukünftigen Seebeckens gestatten die verschiedenen Studien und ausgeführten Messungen gute Schlussfolgerungen. Man kann annehmen, dass während der 80 Jahre, welche der normalen Dauer einer Konzession entsprechen, nur zirka 5 bis 6 % des nützlichen Speichervolumens aufgefüllt sein werden.

Der Baugrund der zukünftigen Staumauer bildete Gegenstand umfangreicher Sondierungen und Ver-

suche. Eine erste Serie von neun Sondierbohrungen wurde im Jahre 1941 in der Talsohle und in den Talflanken bis zu 40 m Tiefe erstellt. Die Untersuchung der Bohrkerne von 6 und 8 cm Durchmesser ergab eine sehr gute Homogenität des Felsens, welcher der Meeresmolasse angehört und widerstandsfähiger ist als die Süsswassermolasse. Wasserverlustproben wurden bis zu 10 Atmosphären vorgenommen. Die wichtigsten vorgefundenen Schichten liegen ziemlich waagrecht und verteilen sich auf grob- und feinkörnigen Sandstein, je nach Korngrösse, und beim Vorkommen von Zwischenlagerung sehr feiner Mergellinsen auf mergeligen Sandsteinschiefer. Bedeutende Einlagerungen von Mergel wurden nicht vorgefunden.

Auf jedem Ufer wurden je drei Versuchsstollen von ungefähr 4 m² Querschnitt vorgetrieben; zwei lotrechte Schächte liegen in der Talsohle. Die in den Stollen entnommenen Felsproben und die Bohrkerne

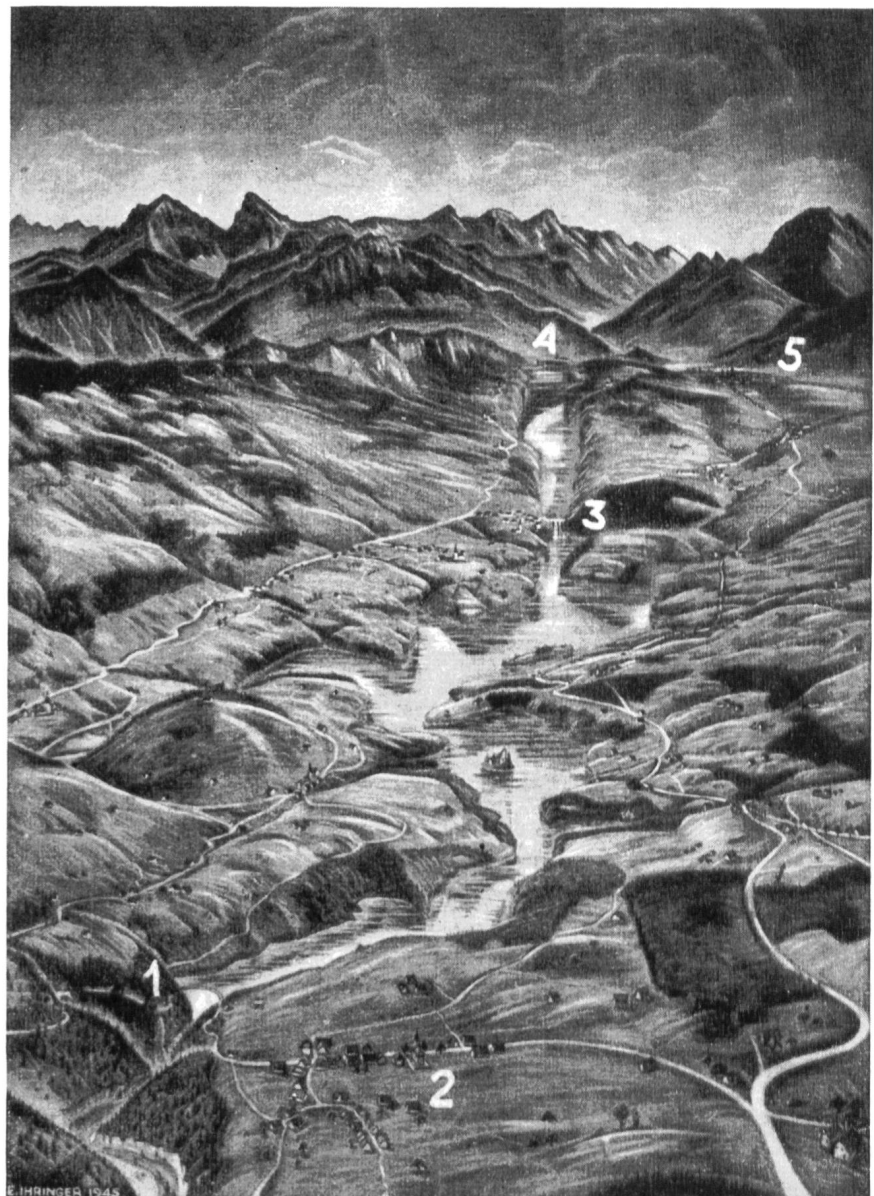


Abb. 4 Speicherwerk Rossens Hauterive. Gesamtansicht des Stausees aus der Vogelschau. 1 Staumauer, 2 Dorf Rossens, 3 Corbièresbrücke, 4 Broc, 5 Bulle.

der Sondierungen wurden in trockenem und wassergesättigtem Zustande verschiedenen Laboratoriumsversuchen unterzogen. Diese Untersuchungen ergaben eine sehr grosse Streuung der Ergebnisse, was auf die geringen Abmessungen der Probekörper sowie auf ihren veränderlichen Wassergehalt und ihre Anisotropie zurückzuführen ist. Der in dickeren und regelmässigeren Schichten vorkommende grobkörnige Sandstein ist dichter, aber weniger widerstandsfähig und leichter verformbar als der feinkörnige. Parallel zu den Laboratoriumsversuchen wurden in den Jahren 1943 und 1944 wiederholte Belastungs- und Kriechversuche in den Stollen vorgenommen. Zu diesem Zwecke verwendete man eine speziell dafür gebaute mechanische Druckvorrichtung, welche die direkte Messung der Felseigenschaften an Ort und Stelle gestattete. Diese Versuche ergaben eine bedeutend geringere Streuung als die Laboratoriumsprüfungen; sie liessen auch den Einfluss der Schichtung auf die mechanischen Eigenschaften des Molassefelsens besonders hervortreten. Für eine gegebene Last ist die lotrechte Formänderung (senkrecht zur Schichtung) ungefähr 50 % grösser als die waagrechte Formänderung (parallel zur Schichtung). Die bleibende Formänderung erreicht bis zu 40 % der gesamten Formänderung.

Staumauer

Die Staumauer an der Saane bei Rossens ist das hauptsächlichste Bauwerk der neuen Anlage. Das Talprofil ist an dieser Stelle trapezförmig; die untere Basis misst 80 m, die obere ungefähr 260 m. Die Mauerkrone hat bei Kote 679 eine Länge von 320 m. Die Höhe der Staumauer über dem Talweg misst ungefähr 73 m. Die Herdmauer reicht bis zur Kote 596 m hinab, so dass die Gesamthöhe der Staumauer 83 m beträgt.

Dieses Bauwerk, mit dessen Studium Herr Henri Gicot, beratender Ingenieur in Freiburg, betraut wurde, ist die erste grosse schweizerische im Molassefelsengebaute Mauer. Die Vorstudien führten zur Wahl einer Bogenstaumauer, die wirtschaftlich am günstigsten ist und durch die nachherigen Studien durchaus begründet wurde. Die Staumauer ist im Molassefelsengebaute nicht etwa starr, sondern elastisch eingespannt. Die Berechnungen fussen auf der Zerlegung der Mauer in waagrechte Bogen und senkrechte Balken; sie tragen der elastischen Verformung der Widerlager weitgehend Rechnung. Die Bestimmung der überzähligen Grössen erfolgt, analytisch ausgedrückt, in der Gleichsetzung der radialen Balken- und Bogenverschiebungen an einigen besonderen Punkten der Mittelfläche.

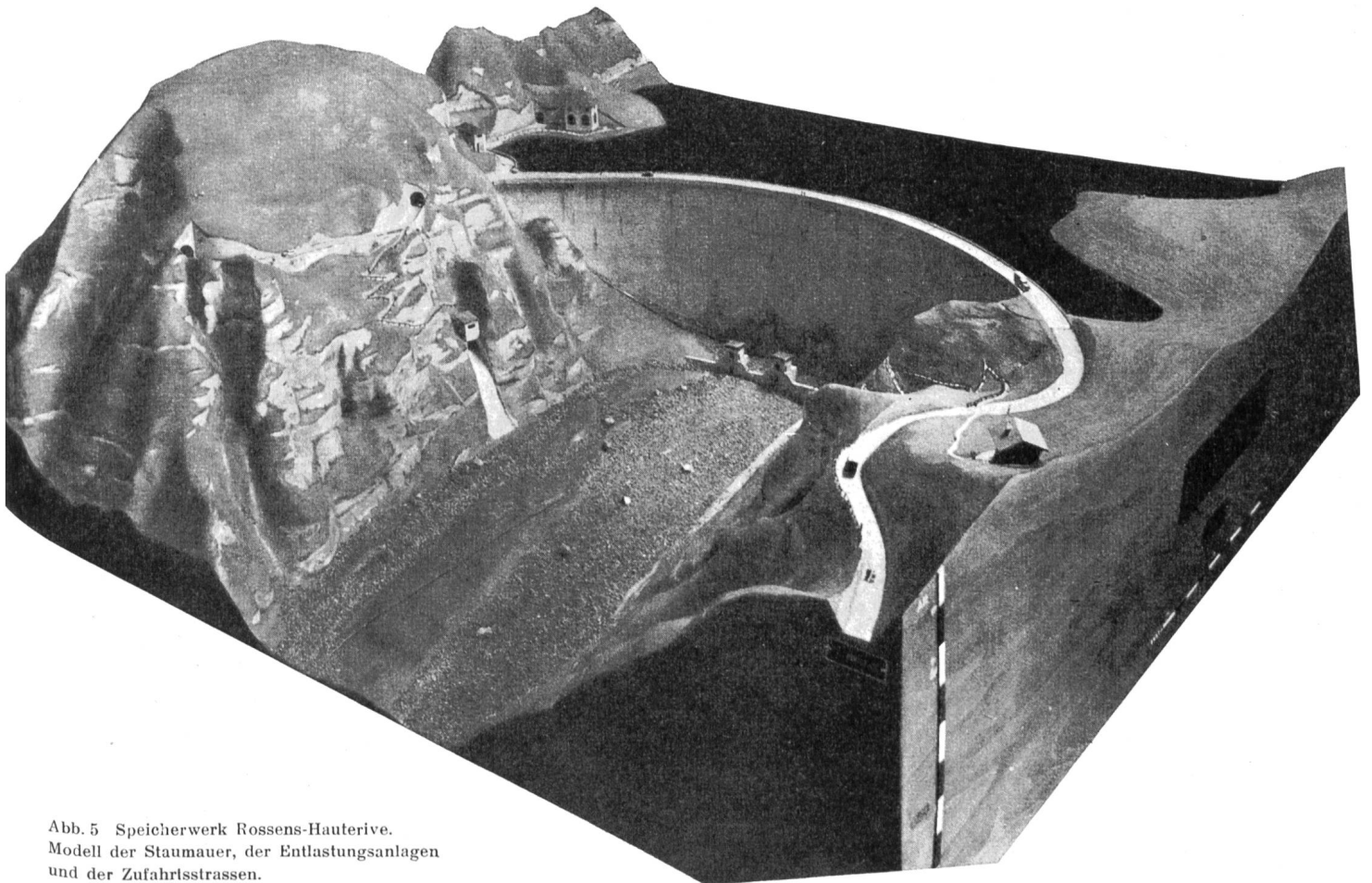


Abb. 5 Speicherwerk Rossens-Hauterive.
Modell der Staumauer, der Entlastungsanlagen
und der Zufahrtsstrassen.

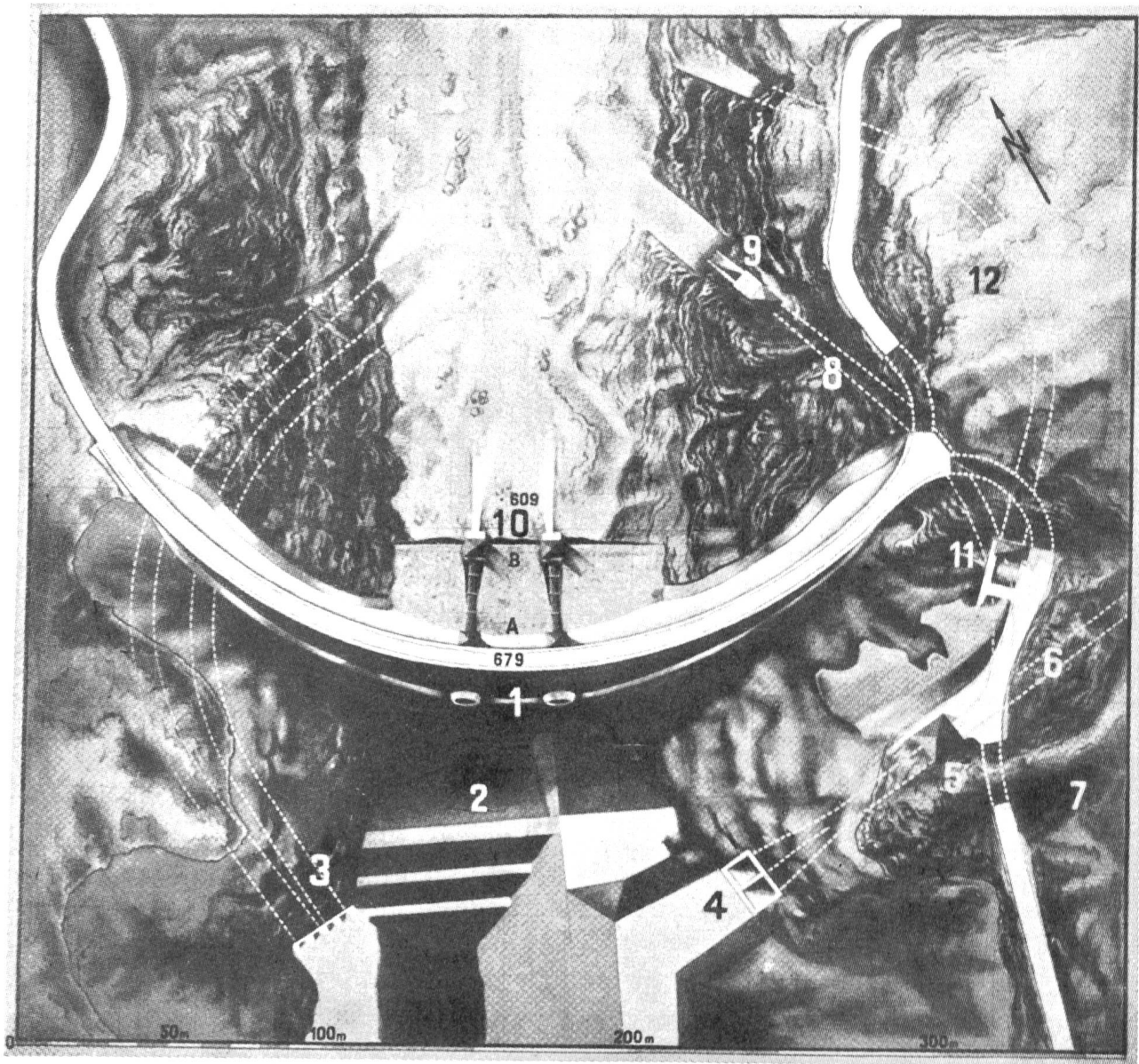


Abb. 6 Speicherwerk Rossens-Hauterive. Gesamtlageplan der Staumauer. 1 Staumauer, 2 Oberwasserseitiger Schutzdamm, 3 Linksufrige Umleitungsstollen, 4 Wasserfassung, 5 Schützenkammer, 6 Druckstollen Rossens-Hauterive, 7 Alter Freilaufstollen Thusy-Hauterive, 8 Gepanzertes Ablaßstollen, 9 Regulierschütze, 10 Grundablass (A Sicherheitsschützen, B Regulierschützen), 11 Ueberfall, 12 Ueberlaufstollen.

Das Ausführungsprojekt wurde berechnet mit folgenden Verhältnissen der Elastizitätsmoduli des Betons und der Molasse : 10 für die Bogen (waagrecht) und 15 für die Balken (senkrecht). Ebenso hat man den Auftrieb und die Temperaturänderungen berücksichtigt, während das Schwinden mit der Anordnung der Kontraktionsfugen bekämpft wird. Die Druckspannungen im Beton können stellenweise, bei ungünstigsten Belastungsverhältnissen, bis 75 kg/cm^2 betragen. Die Fundamentpressungen werden 20 kg/cm^2 nicht überschreiten.

Zwischen den Koten 620 und 650 beträgt die Mauerdicke ungefähr 14 m. Sie nimmt gegen den Fuss hin allmählich zu und erreicht bei Kote 600 28 m. Die minimale Mauerdicke entspricht 5 m bei Kote 677. Die Krümmung der waagrechten Bogen ist veränderlich. Der mittlere Krümmungshalbmesser

misst bei Kote 600 105 und bei Kote 677 165 m. Die Mauerkrone dient als Fahrstrasse und verbindet die Strassennetze der beiden Ufer, da die bestehende Brücke in Thusy überstaut wird.

Die Staumauer wird mit einer Betondosierung von 250 bis 275 kg Portlandzement pro Kubikmeter aufgebaut. Der Beton wird mit elektrischen Hochfrequenz-Vibratoren behandelt. Die grösste Korngrösse der Zuschlagstoffe wird auf 80 mm beschränkt. Die Frage des Vorsatzbetons ist noch nicht entschieden. Für die Betonierung wird die Staumauer aufgeteilt in 21 senkrechte Massive von je 13,50 m Länge, getrennt durch offene verzahnte Kontraktionsfugen von 1,50 m, welche soweit möglich auf Winterende geschlossen werden, wenn der Beton seine tiefste Temperatur erreicht hat. Das Betonieren der Massive erfolgt in waagrechten Schichten von je 3 m Höhe. Der

Bau der Staumauer benötigt ungefähr $240\,000\text{ m}^3$ Beton. Die Aushubarbeiten bedingen den Aushub von $110\,000\text{ m}^3$ Fels und sind sozusagen beendet.

Das Vorhaben, eine so grosse Betonmasse in möglichst kurzer Zeit einzubringen, bedingte eine sorgfältige Prüfung der Massnahmen zur Beschleunigung der Innenkühlung des Betons. Das Projekt der künstlichen Wasserinnenkühlung vermittels vorher verlegter und von Kühlwasser durchflossener Rohrnetze wurde infolge der hohen Kosten fallen gelassen, um einer vereinfachten Luftkühlung Platz zu machen. Nach Schliessung werden die Kontraktionsfugen sorgfältig unter Druck eingepresst. Eine Dichtungsschürze verlängert die Staumauer in den Talflanken und in der Sohle. Zementeinpressungen bei den Felsanschlüssen werden die Dichtigkeit und Widerstandsfähigkeit des Baugrundes noch vervollständigen. Im Körper der Staumauer selbst werden Kontrollgänge und geeignete Messapparate jederzeit die Messung der Temperatur, Feuchtigkeit, Spannungen und Formänderungen gestatten. Pendellotmessungen werden in drei Mauerschächten vorgenommen.

Provisorische Nebenbauten

Die Trockenlegung der Baugrube erfolgt durch Absperren des Saanelaufes durch einen flussaufwärts gelegenen Schutzdamm und Umleitung des Wassers durch unterirdische Stollen. Die Oberkante dieses Schutzdammes liegt bei der Kote 622,50 und benötigte die Aufschüttung von mehr als $30\,000\text{ m}^3$ Felschutt, wozu der erste Aushub der Staumauer in den oberen Teilen verwendet wurde. Seine Abdichtung ist durch eine Kernmauer aus Metall-Spundwänden und Beton, und oberhalb der Fundamentsohle durch eine Abdichtungsschürze von 15 m Tiefe gewährleistet. Dieser Bauteil wurde im Dezember 1945 beendet, der Wassereindrang in die Baugrube der Staumauer ist sehr gering.

Die linksufrige gelegene Umleitung der Saane erfolgt durch zwei Stollen. Diese Unterteilung erfolgte zur Vermeidung einer einzigen Aushöhlung von zu grossem Querschnitt. Die gesamte Schluckfähigkeit der beiden Stollen beträgt zirka $550\text{ m}^3/\text{sec}$ und entspricht dem mutmasslich alle acht Jahre eintretenden Hochwasser, das am 22. November 1944 beinahe erreicht wurde. Sollte die Wasserführung der Saane die Schluckfähigkeit der Stollen übersteigen, so würde sich das überschüssige Wasser über die Krone des flussaufwärts gelegenen Schutzdammes ergiessen, dessen luftseitige Aussenfläche mit Steinsäcken verkleidet ist, um bei einer eventuellen Ueberflutung die nötige Standsicherheit zu gewährleisten.

Jeder der beiden Stollen hat einen Querschnitt von 30 m^2 , eine Länge von zirka 250 m und ein Gefälle

von 2,5 %. Die Fliessgeschwindigkeit kann bis 10 m/sec betragen. Mit Ausnahme des Einlaufes und eines in besonders schlechtem Abschnitt liegenden Gewölbeteiles wurde der Fels nicht ausbetoniert. Die Stollen wurden im April 1945 fertiggestellt und im Oktober gleichen Jahres in Betrieb gesetzt. Sie werden unmittelbar vor dem Aufstau des Sees zugemauert.

Entlastungsorgane

Die Entleerung des Speicherbeckens und die Ableitung der Hochwasser besorgen drei verschiedene Bauwerke, die entweder getrennt oder zusammenarbeiten können.

a) Grundablass. Der Mittelbau der Staumauer enthält zwei Leerlaufleitungen von je 2,80 m Durchmesser, die bei Kote 611 ausmünden. Jede dieser Leitungen ist mit einer Reserveschütze und einer Regulierschütze versehen, und gestattet einen Wasserdurchlass bis $150\text{ m}^3/\text{sec}$. Beim Auslauf erreicht das Wasser eine Geschwindigkeit von 32 m/sec.

b) Rechtsufriger Ablaßstollen. Dieser kreisförmige Stollen von 4 m Durchmesser zweigt vom Zuleitungsstollen ab, unmittelbar flussabwärts des Schützenschachtes. Er ist gekrümmt, das Gefälle beträgt 6,8 % und die Länge ungefähr 150 m.

Die Abzweigung «Zuleitungsstollen-Ablaßstollen» ist 20 m lang. In der Formgestaltung wurde danach getrachtet, durch Verminderung der Druckverluste möglichst regelmässige Strömungsverhältnisse zu erreichen. Diese Abzweigung wurde Modellversuchen unterworfen. Der Ablaßstollen wird flussabwärts vermittels einer bei Kote 627 angelegten Sektorschütze reguliert. Er ist auf der ganzen Länge gepanzert, da er normalerweise unter Druck steht (geringe Felsüberdeckung) und mit einer Geschwindigkeit von mehr als 20 m/sec durchströmt ist. Das Schluckvermögen beträgt bei höchstem Stau (Seespiegel auf Kote 677) $280\text{ m}^3/\text{sec}$. und das Wasser tritt mit einer Geschwindigkeit von 26 m/sec aus.

c) Seitlicher Ueberlaufstollen am rechten Ufer. Der Einlauf dieses Bauwerkes besteht aus einem Ueberfall, dessen Sohle auf Kote 669 liegt. Er ist mit einer Doppelschütze von $8 \times 8\text{ m}$ ausgerüstet und wird durch eine Trompete mit starkem Gefälle und einem Stollen von 6 m Durchmesser verlängert. Der Auslauf liegt 200 m flussabwärts der Staumauer. Das Gefälle im Stollen beträgt 4,5 %, die Länge 220 m. Der Stollen ist auf der ganzen Länge ausbetoniert; sein Schluckvermögen beträgt $370\text{ m}^3/\text{sec}$, wobei die Fliessgeschwindigkeit ungefähr 20 m/sec erreicht.

Bei maximalem Stau (Seespiegel auf Kote 677) vermögen die oben beschriebenen Entlastungsorgane insgesamt $950\text{ m}^3/\text{sec}$ Wasser abzuleiten (bei voller Öffnung aller Schützen).

Wasserfassung

80 m oberhalb der Staumauer liegt auf dem rechten Saaneufer die Wasserfassung, mit Sohle auf Kote 634 und Scheitel auf Kote 641. Dem Grobrechen folgt eine Einlauftrumpete. Der 40 m hohe Schieber-schacht liegt 70 m flussabwärts. Die mechanische Ausrüstung umfasst zwei aufeinanderfolgende Tafelschützen von $3,50 \times 5,00$ m. Die unten gelegene Sicherheitsschütze besteht aus einer Rolltafel mit Gestängeantrieb und in der Schützenkammer installierten Servo-Motor. Als vordere Schütze dient ein einfacher Dammbalken, dessen Betätigung nur bei ruhigem Wasser mittels eines Windwerkes erfolgt.

Druckstollen

Vergleichsrechnungen verschiedener Lösungen haben eindeutig die technischen und wirtschaftlichen Vorzüge eines ganz neuen, gegen das Berginnere verschobenen und mit einer genügenden Ueberdeckung versehenen kürzeren Druckstollen erwiesen. Diese Lösung gestattet ausserdem den ununterbrochenen Betrieb der bestehenden Zentrale bis zur Inbetriebsetzung der durch den neuen Druckstollen gespeisten neuen Einheiten. Die Länge des neuen Druckstollens zwischen der Wasserfassung in Rosens und dem Wasserschloss in Hauterive beträgt 5,6 km. Die Notwendigkeit eines bequemen zusätzlichen Angriffes und die geologischen Verhältnisse des Geländes führten zur Wahl eines gebrochenen Trasses und eines Längenprofils mit doppeltem Gefälle. Ein 330 m langer Angriffsstollen führt von der Schlucht «Prassasson» zum Schnittpunkt der beiden Teilstrecken des Hauptstollens, wobei die obere 2,6 km mit einem Gefälle von 0,6 ‰ und die untere 3 km mit einem Gefälle von 1,85 ‰ misst. Zwischen den Fenstern Prassasson und Hauterive verläuft das Gefälle gleichmässig, da man eine ge-

nügend überdeckte und starkem Innendruck ausgesetzte Stollenführung einer solchen mit schwachem Druck, aber ungenügend überdeckt, vorzog. Diese Wahl gestattete eine kleine Verminderung der Stollenlänge sowie eine Vereinfachung der Ausführung. Der neue Druckstollen liegt in seiner ganzen Länge im Molassefelsen und ist an seinem untern Ende einem maximalen Innendruck von 100 m Wasser ausgesetzt, so dass sich ein Kreisquerschnitt aufdrängte. Der wirtschaftlichste Durchmesser wurde auf 5,00 m berechnet.

Die Ausführung der Arbeiten erfolgt in drei ungleichen Losen, auf verschiedene Unternehmerfirmen verteilt. Der obere Teil wird von der Wasserfassung aus angegriffen, das Mittelstück vom Fenster Prassasson, während der Angriff des untern Teiles von einem Fenster hinter der Zentrale Hauterive aus erfolgt. Dort, wo der Fels locker und unsicher ist, wird sofort nach dem Ausbruch betoniert. Der Druckstollen wird in seiner ganzen Länge mit einem Betonring von 25 cm theoretischer Dicke versehen. Der Beton wird von Hand hinter die Eisenverschalung eingebracht und mit pneumatischen Nadeln pervibriert. Irgend ein Verputz ist nicht vorgesehen. Sollten sich beim Ausbruch bedeutende Risse zeigen, so wird die betreffende Stelle der Auskleidung armiert. Diese Art der Auskleidung wurde auf Grund von Versuchen und Messungen gewählt, die in einer in Hauterive im Felsen erstellten Versuchskammer durchgeführt wurden. Diese Kammer hatte einen Durchmesser von 5,50 m, war 8,00 m lang und wurde mittels eines Abschlussdeckels geschlossen. Eine Förderpumpe gestattete die Unterdrucksetzung der Kammer von 0 bis 16 Atm. Die Versuchseinrichtung wurde gemeinsam mit der Firma Gebrüder Sulzer A.G., Winterthur, entworfen. Die Versuche bezweckten die Festsetzung des Elastizitätsmoduls des Felsens sowie der Wasserverluste in einer ähnlichen und gleich bean-

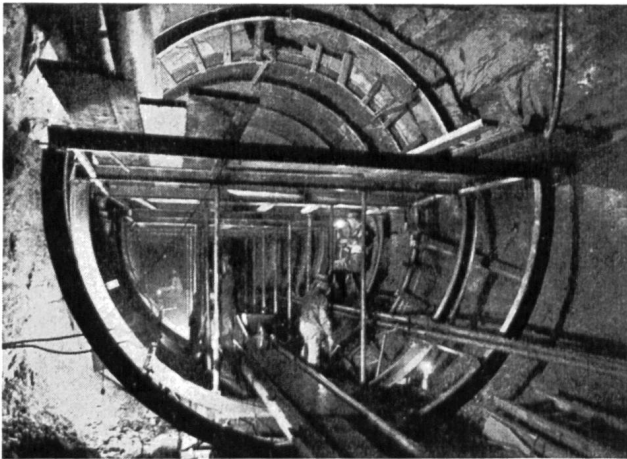


Abb. 7 Schalung der Betonverkleidung des Druckstollens im Los III.



Abb. 8 Aushub des Druckstollens und Stirnschutz gegen das Fallen von Felsblöcken im Los III.

spruchten Teilstrecke wie der zukünftige Stollen. Die radialen Drehungsmessungen wurden in vier Richtungen vorgenommen: horizontal, vertikal und in beiden zu 45° liegenden Schrägrichtungen. Sie führten zu folgenden Ergebnissen:

Die Dehnungen in vertikaler Richtung sind grösser als diejenigen der horizontalen, was mit den Ergebnissen der früheren mechanischen Abpressversuche in Rossens übereinstimmt. Das Elastizitätsmodul beträgt ungefähr $60\,000\text{ kg/cm}^2$ in horizontaler und $40\,000\text{ kg/cm}^2$ in vertikaler Richtung. Diese Module nehmen infolge Zunahme der Gesteinsfeuchtigkeit bei wachsendem Druck etwas ab.

Eine erste Versuchsreihe wurde bei nacktem Fels ohne irgendwelche Auskleidung ausgeführt. Die Wasserverluste steigen fast linear mit dem Druck. Beim Kriechversuch unter konstantem Druck beobachtet man ein langsames Ausgleichen der Wasserverluste gegen einen Grenzwert hin. Diese günstige Feststellung ist sehr wichtig. Die absoluten Werte dieser Verluste bewegen sich übrigens in zulässigen Grenzen.

Die zweite Versuchsreihe ist in der mit Beton ausgekleideten Kammer vorgenommen worden. Der 25 cm dicke Betonmantel ist auf einer Länge von 4 m mit einem engmaschigen Stahlgitter versehen. Die bis zu einem Druck von 15 Atmosphären in 3 m tiefe Bohrlöcher gemachten Betoneinpressungen hatten die Aufgabe, die Molasse besser abzudichten, während die mit 7 Atm. Druck vorgenommenen Anschlussinjektionen zwischen Beton und Fels etwaige Hohlräume auszufüllen hatten. Diese Versuche haben ergeben, dass der Betonring den Felsen nur bei niedrigem Druck entlastet. Wenn die Zugspannung im Beton 40 kg/cm^2 übersteigt, so reißt der Ring plötzlich und dies sowohl in der bewehrten als auch in der unbewehrten Zone. Dies bestätigt den heutigen Stand der auf diesem Gebiet gemachten Erfahrungen, wonach sogar starke und sehr dichte Eiseneinlagen die Rißspannungen in den Betonverkleidungen nicht beträchtlich zu beeinflussen vermögen. Das Wasser sickert durch den Beton, sobald dieser gerissen ist. Auch die Einpressungen vermögen diese Verluste nicht in beträchtlichem Masse zu vermindern. Die Auskleidung hat schliesslich die Aufgabe, die Standfestigkeit des Felsens zu sichern und die hydraulischen Reibungsverluste auf ein Minimum herabzudrücken. In einem so verformbaren Fels wie Molasse und bei einem Innendruck von mehreren Atmosphären kann sie weder eine Entlastung des Felsens noch eine bedeutende Verbesserung der Dichtigkeit hervorbringen.

Eine letzte Versuchsreihe wurde nach Ueberzug der Betonoberfläche mit einer Bitumschicht in

Form eines 1 mm starken Films durchgeführt. Die Ergebnisse waren nicht befriedigend; die Wasserverluste haben nicht merklich nachgelassen.

Wasserschloss

Die Lage des Wasserschlosses ist durch die topographischen Verhältnisse bedingt. Die vier durchstudierten Varianten führten zur Wahl einer vertikalen Kammer von 15 m Durchmesser. Da der Druckstollen auf Kote 580 liegt und der Stabilitätsquerschnitt von 15 m unterhalb der Kote 630 nicht mehr nötig ist, erfolgt der Anschluss der eigentlichen Wasserschlosskammer an den Stollen vermittelt eines Vertikalschachtes von 4 bis 5 m Durchmesser. Die Schwingungen werden durch eine Blende von ungefähr 5 m^2 Querschnitt gedämpft, die zwischen Kammer und Schacht eingebaut wird. Hydraulische Berechnungen haben ergeben, dass die Stabilitätsverhältnisse bei Regulierung auf konstante Leistung mit dem gewählten Querschnitt von 15 m Durchmesser in befriedigender Weise gesichert sind. Bei plötzlicher Entlastung aller Maschinengruppen — infolge Kurzschluss, Rohrbruch usw. — bei Staukote 677 (höchster Stauspiegel) steigt das Wasser in der Kammer bis auf die Kote 692, während es bei teilweiser Belastung und Staukote 642 (niedrigster Betriebswasserspiegel) bis auf Kote 631 hinabsinkt. Die Formgebung des Dämpfungswiderstandes, der je nach der Strömungsrichtung verschiedene Druckverluste zu verursachen hat, bildet zur Zeit Gegenstand von Modellversuchen.

Druckleitungen

Die Distanz zwischen Wasserschloss und den Turbinen beträgt 470 m. Eine einzige Betondruckleitung von 5 m Durchmesser, gleich gebaut wie der Zuleitungsstollen, führt das Wasser bis 360 m unterhalb des Wasserschlosses mit einem unveränderten Gefälle von 1,85 %. Unterhalb dieses Punktes besitzt die Druckleitung ein Gefälle von 3 % und teilt sich in zwei gepanzerte Zweigleitungen von je 2,90 m Durchmesser, die beim Austritt aus dem Felsen mit Sicherheitsdrosselklappen versehen sind. Ihre Steuerung erfolgt automatisch durch auf den Leitungen aufgebauten Selbstauslöseapparaten. Unmittelbar darauf verteilen sich die beiden 2,90 m-Leitungen in Verteilleitungen von 2,10 und 1,50 m Durchmesser, die das Wasser den Turbinen zuführen. Diese Druckleitungen bestehen aus Stahlblechrohren, deren Wandstärke zwischen 9 und 22 mm schwankt. Sie können einem Druck unterworfen werden, der im ungünstigsten Falle 130 m Wassersäule erreicht.

Zentrale

Die gegenwärtige Ausrüstung der Zentrale Haute-rive umfasst zwei Maschineneinheiten von je 6000 PS

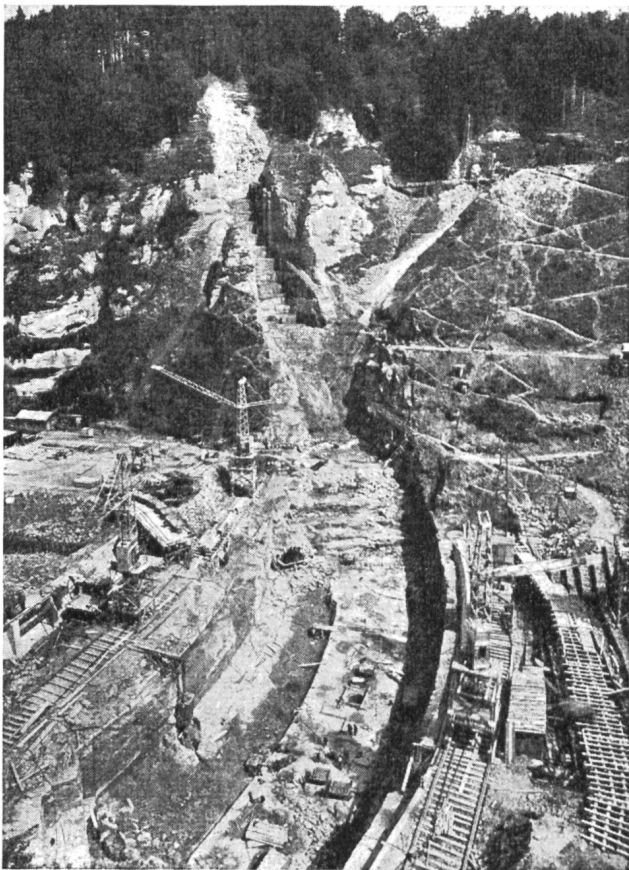


Abb. 9
Ansicht der Baugrube (mittlerer Teil und rechtes Ufer) am 17. Mai 1946.

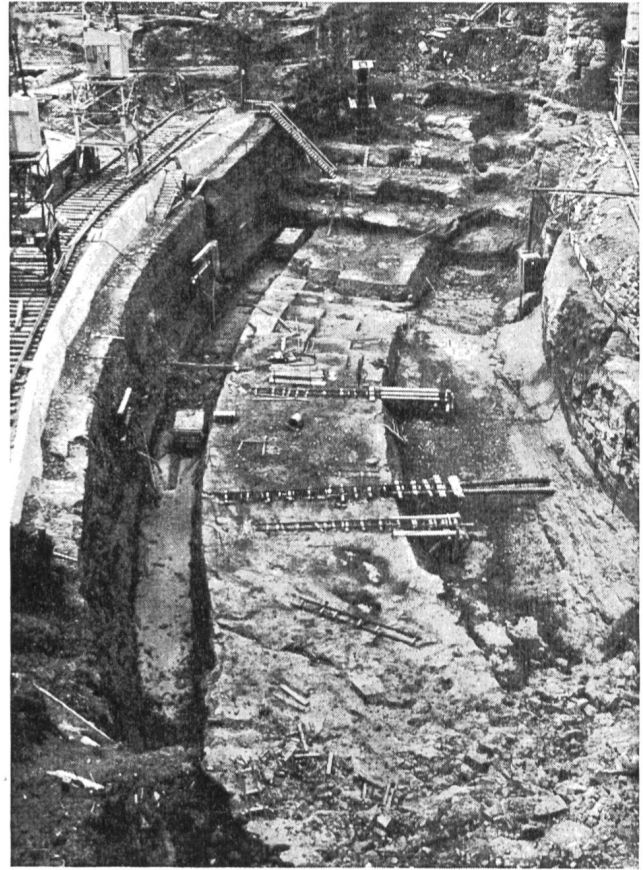


Abb. 10
Blick in die Baugrube (linkes Ufer) am 25. Mai 1946.

und eine dritte von 12 000 PS, d. h. total 24 000 PS. Diese Einheiten bestehen aus vertikalachsigen Francis-turbinen, gekuppelt mit Drehstromgeneratoren. Die 3 Anschlussrohre zu den vorhandenen Turbinen sind mit Keilschiebern versehen, die im Innern der Zentrale angeordnet sind. Die Zentrale ist im Jahre 1902 gebaut worden und ruht auf Molassefelsen.

Die endgültige Ausrüstung der Zentrale wird fünf Einheiten mit einer Gesamtleistung von 80 000 PS umfassen. Diese Leistung wird durch den Einbau von zwei neuen Turbo-Generatoren von je 20 000 PS und die Auswechslung der Laufräder der bestehenden Turbinen erreicht, deren Leistungen unter dem neuen Gefälle von 6000 auf 10 000, bzw. von 12 000 auf 20 000 PS steigen werden. Die bestehenden Drehstromgeneratoren sind schon für die künftige Leistungssteigerung vorgesehen und berechnet worden.

Unmittelbar vor den neuen Turbinen sind im Innern der Zentrale Kugelschieber von 1,60 m Durchmesser auf den Verteilleitungen angeordnet. Alle Einheiten sind mit Druckreglern und Ablaufrohrleitungen versehen. Diese Organe bezwecken, bei plötzlicher Entlastung des Generators und raschem Schliessen des Turbinen-Leitapparates, die Beschränkung des Druckstosses auf einen zulässigen Wert. Ihr Öffnen geschieht nicht durch den Druck im Turbinenge-

häuse, sondern wird vom Regulator direkt betätigt. Das rasche Schliessen des Leitapparates (in zirka drei Sekunden) bedingt das plötzliche Öffnen des Druckreglers, welcher die von der Turbine abgelenkte Wassermenge durchfliessen lässt und sich dann langsam während einer mit dem zulässigen Ueberdruck verträglichen Zeit schliesst (zirka 30 Sekunden).

Die Einrichtung der neuen Maschineneinheiten und die Umänderung der bestehenden erfordern wichtige und schwierige Abbruch-, Wiederaufbau- und Unterfangungsarbeiten, die in mehreren Etappen und unter dem Schutz von Dammbalken ohne Betriebsunterbruch der bestehenden Anlageteile in Hauterive durchzuführen sind. Zuerst müssen die zwei neuen Maschineneinheiten eingerichtet werden. Wenn diese betriebsbereit sind, werden die älteren Einheiten ausser Betrieb gesetzt und ihre Druckspeiseleitungen abmontiert.

Unterwasserkanäle und Saanekorrektion

Der Unterwasserkanal nach der Zentrale bleibt für die jetzigen drei Einheiten mit einer grössten Wasserführung von 37 m³/sec bestehen. Sein Gefälle beträgt 1 ‰. Zur Verbesserung der Strömungsverhältnisse müssen an den Ausläufen der Saugkammer einige Aenderungen vorgenommen werden. Da eine Quer-

schnittsvergrößerung des bestehenden Kanals nicht möglich ist, wird zwischen der Zentrale und dem Saanelauf ein neuer unterirdischer Unterwasserkanal ausgebagert. Seine Wasserführung wird $38 \text{ m}^3/\text{sec}$ betragen. Der Auslauf der Saugrohre der neuen Einheiten erfolgt also in entgegengesetztem Sinne desjenigen der bestehenden Turbinen.

Der Saanelauf erfährt auf einer Länge von zirka 400 m bedeutende Korrektionsarbeiten, um die Koten des Unterwasserspiegels möglichst tief zu halten und während den Hochwasserperioden einen befriedigenden Ablauf zu erzielen. Nach Abschluss dieser verschiedenen Arbeiten werden die Koten der Wasserrückgabe am Auslauf der Saugkrümmer zwischen 566 bei Niederwasser und 569 bei Hochwasser liegen. Die mittlere Kote bei der Wasserrückgabe liegt ungefähr bei 567.

Ausgeführte oder in Ausführung begriffene Arbeiten. Arbeitsvergebungen

Das Baubüro Rossens der FEW. hat seine Tätigkeit gegen Ende 1942 aufgenommen. 1943 erfolgten hauptsächlich die Studien für die Projektvorlage an den Grössen Rat. Dieser beschloss Ende 1943 den Bau, so dass die Vorarbeiten zu Beginn von 1944 aufgenommen werden konnten. Zuerst wurden verschiedene Bohrungen und Versuche durchgeführt, zwecks Feststellung der Felsverhältnisse, sowie umfangreiche Sondierungen in der näheren Umgebung der Staumauer im Hinblick auf die Versorgung der Baustelle mit Sand und Kies.

Am 1. Mai 1944 begannen die eigentlichen Bauar-

beiten mit der Erstellung der Zufahrtsstrasse In Riaux-Staumauer, als einzige Zufahrt zur linksufrigen Baustelle. Diese Arbeiten wurden einem Unternehmerkonsortium aus dem Greyerzerland übertragen. Die 2,5 km lange und 5 m breite Strasse war im Dezember 1944 fertiggestellt. Die provisorischen Umleitungsstollen wurden der Firma Gremaud, Marti & Cie., Freiburg, vergeben. Die im Juli 1944 begonnenen Arbeiten waren im April 1945 beendet. Ebenfalls im Verlaufe des Jahres 1944 unternahm die Swissboring A.G., Zürich, die ersten Injektionsarbeiten im Fels am oberwasserseitigen Schutzdamm.

Die Arbeiten für den Zuleitungsstollen und die Druckleitung wurden anfangs 1945 vergeben. Der 6 km lange Tunnel wurde in drei Lose aufgeteilt. Das obere Los I erstreckt sich auf 0,9 km und wurde dem mit der Ausführung der Staumauer beauftragten Unternehmen zugesprochen. Das mittlere Los II von 3,3 km Länge entfiel auf die Schweiz. Stuaag A.G. (Bern-Lausanne-Fribourg), während das untere Los III von 1,7 km Länge mit dem Wasserschloss dem Unternehmerkonsortium Ed. Züblin & Co. (Zürich) und Gremaud, Marti & Co. (Freiburg) zugeteilt wurde.

Die Felsbeschaffenheit im Gebiet der drei Lose bedingt die sofortige Betonierung nach erfolgtem Ausbruch. Die hierfür angewendete Arbeitsmethode ist nicht überall die gleiche. Bei den Losen I und II liegt der Vortriebsstollen auf der Basis. Gegen herabfallende Blöcke schützt das Schottergerüst. Der Betonring wird in zwei Etappen betoniert: zuerst das Gewölbe und später der verbleibende Teil. Beim Los III liegt der Vortriebsstollen im oberen Teil und der

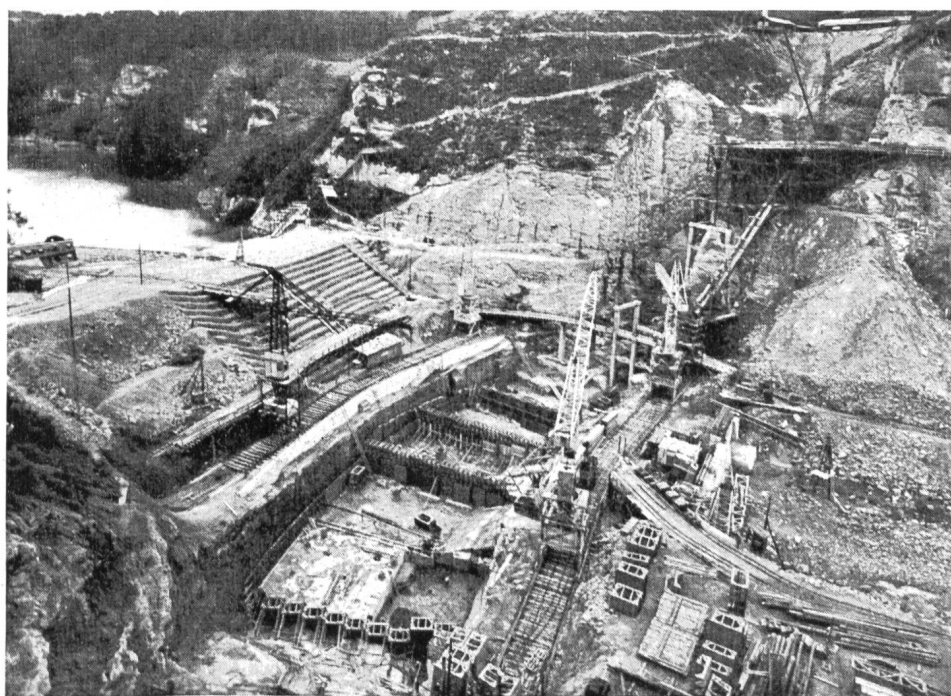


Abb. 11 Blick vom rechten Ufer auf die Baugrube (15. Juli 1946).

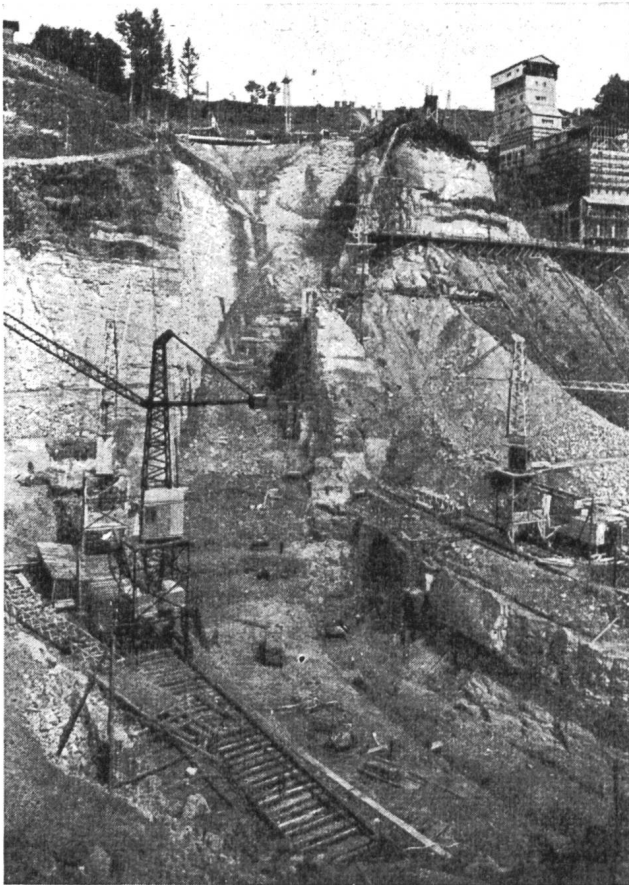


Abb. 12 Aushub für die Staumauer auf dem linken Ufer.

ganze Querschnitt wird gleichzeitig ausgebrochen. Das Gewölbe muss dann provisorisch mit einem Holzgerüst geschützt werden. Der ganze Ring wird in einem einzigen Mal eingebracht. Am 30. Juli 1946 betrug die Länge der vier Vortriebsstollen des Haupttunnels mehr als 4 km (Gesamtlänge 6 km), wobei die Angriffstollen nicht inbegriffen sind. Der monatliche Vortrieb beträgt gegenwärtig ungefähr 100 m pro Angriff also im ganzen 400 m monatlich. Wenn dieses Arbeitstempo weiter anhält, würde der Durchstich gegen Ende 1946 erfolgen können.

Auf dem rechten Ufer verbindet eine 4,3 km lange und 4 m breite Strasse die Staumauer und das Dorf Pont-la-Ville mit dem schon bestehenden Strassennetz. Die Arbeiten, die an die A.G. Routes Modernes in Freiburg vergeben wurde, begannen im Juli 1945.

Die baulichen Arbeiten für die Staumauer und die Nebenanlagen (oberwasserseitiger Schutzdamm, Ablassstollen, Hochwasserableiter) sowie Los I des Hauptstollens bilden das grösste Baulos der ganzen Anlage und wurden einer Vereinigung von drei Unternehmergruppen übertragen, d. g.

A.G. Konrad Zschokke, Genf, mit Hogg-Mons & Söhne A.G., Freiburg;

A.G. H. Hatt-Haller, Zürich, mit S. Casanova und M. Weck, Freiburg;

A.G. Losinger & Co., Bern, mit Weber, Losinger & Cie., Freiburg.

Mit der technischen Leitung dieser Unternehmergruppe, die unter dem Namen «Entreprise du Barrage de Rossens» arbeitet, wurde die A.G. Konrad Zschokke betraut.

Die Injektionsarbeiten im Fels und in der Staumauer selbst wurden an die A.G. Swissboring in Zürich weitergeben.

Die Baustelle der Staumauer wurde im Jahre 1945 eröffnet. Die Arbeiten begannen mit der Einrichtung des Bauplatzes und mit der Montierung der Installationen, wobei zuerst ein Kabelkran von 3 Tonnen zur Aufstellung gelangte. Dieser durchquert das Tal auf dem Areal der Staumauer. Der flussaufwärtsgelegene Schutzdamm wurde im April in Angriff genommen und war im Dezember gleichen Jahres fertiggestellt. Die Arbeit für den Aushub der Staumauer begann im April und ist jetzt beinahe fertig.

Die für die Herstellung des Betons benötigten Sand- und Kiesmengen entstammen dem Hügel «Momont» bei Pont-la-Ville. Das aus interglazialen Ablagerungen bestehende Material wird in einer Entfernung von ungefähr 4 km von der Baustelle gewonnen. Das rohe Zuschlagsgut wird vermittelst Rollbahnen mit einer Stundenleistung von 70 m³ auf das rechte Ufer verbracht und von dort mit 2 Seilbahnen

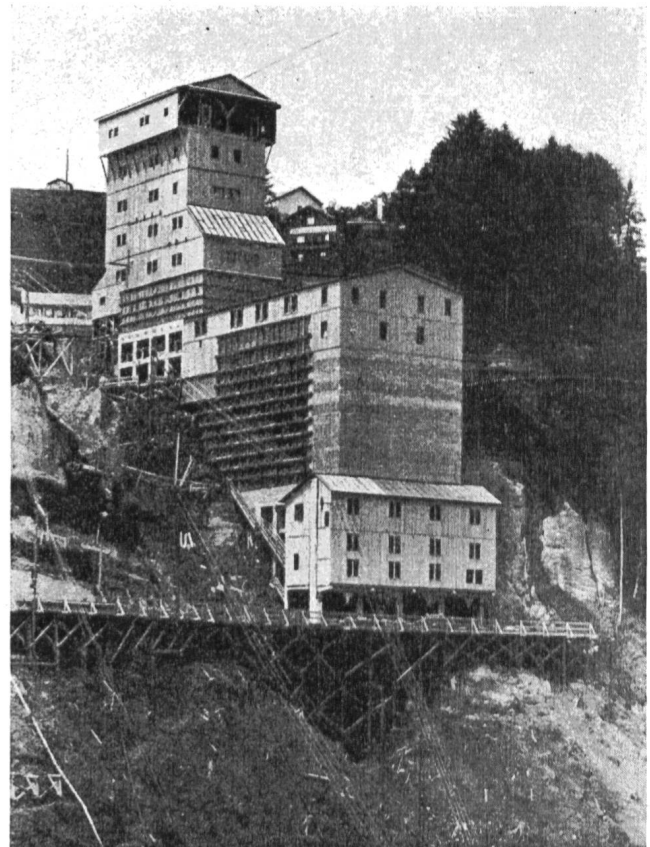


Abb. 13 Betonfabrik auf dem linken Ufer.

von je 35 m³ Stundenleistung auf die linksufrig gelegene Betonfabrik weiterbefördert. Alle Wasch-, Sieb-, Transport-, Silo- und Betonaufbereitungsanlagen sind doppelt eingerichtet, so dass eine örtliche Störung keinen allgemeinen Unterbruch nach sich ziehen wird. Der Gesamtinhalt des Silos beträgt 5000 m³. Diese teilen sich in zwei Gruppen: Tropfsilos zur Aufnahme der gewaschenen, sortierten Materialien in vier Komponenten und Reservesilos, direkt der Betonmischanlage vorgelagert, zur Abgabe von Materialien mit mehr oder weniger konstantem Wassergehalt.

Der Zement wird von Freiburg per Lastwagen hergeführt und separat eingelagert. Vier Betonmischer von je 1300 l Inhalt liefern regelmässig durchschnittlich 50 m³ Beton per Stunde und gestatten erheblich höhere Spitzenleistungen. Der Beton wird wie folgt eingebracht: der Beton der unteren Blöcke wird an Ort und Stelle durch Krane in die Baugrube abgesetzt. Nach Erstellung einer Dienstbrücke mit Fahrbahn auf Kote 650 erfolgt die Einbringung des Betons mit fahrenden Kranen. Der Beton der Mauer

wird überall mit elektrischen Pervibratoren eingebracht. Bis jetzt sind ungefähr 15 000 m³ Beton eingebracht.

Die Umbauarbeiten an der Zentrale Hauterive wurden letzthin der Firma Hoog-Mons & Söhne AG., Unternehmer in Freiburg, vergeben. Die neuen Turbinen sind bei den Ateliers des Charmilles in Genf und die Generatoren bei BBC Baden bestellt. Die Montage wird 1947 erfolgen.

Auf sämtlichen Baustellen werden mehr als 700 Arbeiter, wovon ca. 400 an der Staumauer selbst, beschäftigt.

Die Inbetriebsetzung der neuen Einheiten in Hauterive ist auf das Frühjahr 1948 vorgesehen. Sie wird bedingt durch die Beendigung der Arbeiten des Stollens und des neuen Unterwasserkanals sowie durch die Montage der Druckleitungen und der Maschinengruppen selbst. Sobald diese letzteren Anlagenteile betriebsbereit sind, kann mit dem teilweisen Aufstau bis zu einer vom Fortschreiten der Arbeiten an der Staumauer abhängigen Kote begonnen werden.

(Bauansichten Photos J. Mulhauser, Fribourg)

Der Bau des Kraftwerkes Rapperswil-Auenstein

Von der Bauleitung der Kraftwerk Rapperswil-Auenstein AG.

In der Doppelnummer 7/8 der «Wasser- und Energiewirtschaft» vom Juli-August 1943 ist eine Beschreibung des Bauprojektes des Kraftwerkes Rapperswil-Auenstein erschienen. Inzwischen ist das Werk vollendet und der Betrieb im Spätherbst 1945 aufgenommen worden. Der folgende Bericht ist eine kurz zusammengefasste Beschreibung der Bauausführung; eine ausführliche Beschreibung und Darstellung der baulichen und maschinellen Anlagen sowie der Bau- und Montagearbeiten ist in Vorbereitung.

Nachdem von Mitte Januar bis Mitte Februar 1942

das Planauflegeverfahren durchgeführt worden war, konnte in den anschliessenden Verhandlungen mit den Grundeigentümern das gesamte für den Bau benötigte Land freihändig erworben werden. Auf dem Baugebiet des Staugebietes, des Maschinenhauses und des Unterwasserkanals wurde von Januar bis Juni 1942 der Schachenwald gerodet, wobei wegen Mangel an einheimischen Arbeitskräften infolge militärischen Aufgebots auch polnische Internierte eingesetzt werden mussten.

Die Bauarbeiten (Abb. 1) begannen im April 1942

Abb. 1 Kraftwerk Rapperswil-Auenstein. Uebersichtsplan Stauwehr und Maschinenhaus. Maßstab 1:5000.

