

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 103/104 (1934)
Heft: 4

Artikel: Das Pump-Speicherwerk zwischen Schwarz- und Weiss-See in den Vogesen
Autor: Blattner, H. / Strickler, H
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-83147>

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: 23.02.2026

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

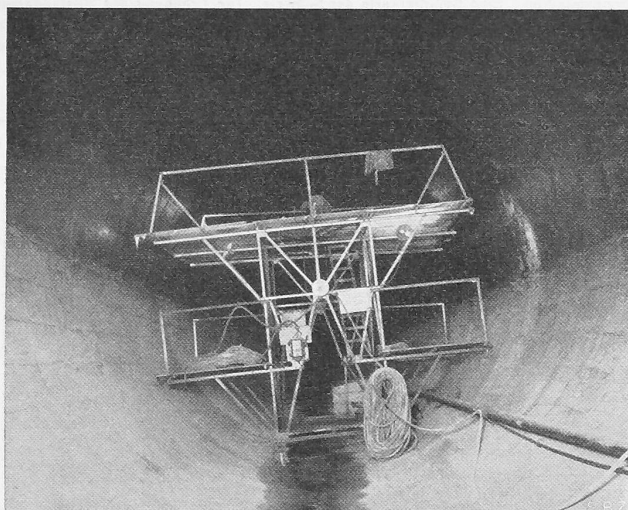


Abb. 16. Schalungsroher fertiger Stollen mit Inertolanstrich der Kalotte. Gerüstwagen für Revision, Injektionen, Anstrich u. dgl.

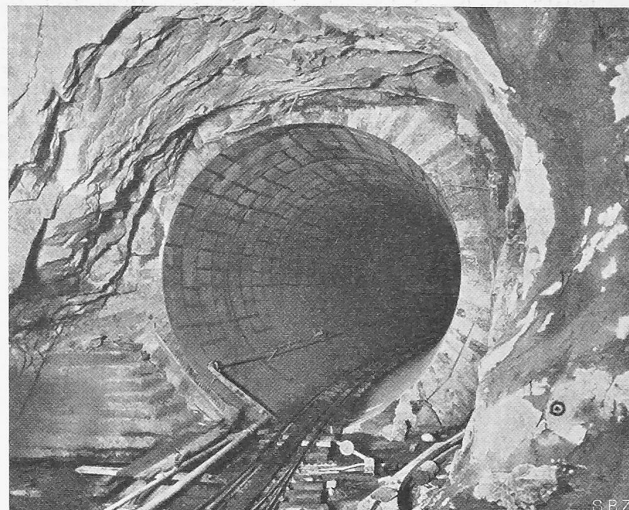


Abb. 15. Schalungsroh betonierter Druckstollen \varnothing 5,50 m beim Wasserschloss; die dunkeln scheinbaren Fugen sind Abdruck der Eisenschalung.

vereinigt, die im übrigen noch durch auf das Schalungsgerippe aufgeschraubte Druckluftvibratoren erhöht worden ist. Die ungefähren mittleren Festigkeiten betrugen nach 7 Tagen 120 kg/cm^2 , nach 14 Tagen 170 kg/cm^2 und nach 28 Tagen rd. 200 kg/cm^2 , während z. B. eine maximale Festigkeit mit 300 kg Zement und 160 l Wasser erzielt wurde von 245 kg/cm^2 nach 7 Tagen, 350 kg/cm^2 nach 14 Tagen und 375 kg/cm^2 nach 28 Tagen. Auf die Studien betreffend Betonzusammensetzung werden wir noch anlässlich dem Beschrieb der Zentrale zurückkommen. Immerhin möchten wir schon hier bemerken, dass uns die neuesten Erkenntnisse über Wasserzementfaktor und granulometrische Zusammensetzung des Betons unschätzbare Dienste geleistet haben, da die früheren, empirischen Methoden bei der Vielheit der zu berücksichtigenden lokalen Schwierigkeiten, wie Mangel an Natursand, die fast ausschliessliche Verwendung von gebrochenem Granit, Anwesenheit von aggressiven Wässern und Frostgefahr, hätten versagen müssen. Auch die spätere Ueberwachung der konstanten Betonzusammensetzung und der Betonfestigkeiten wurde anhand der umfangreichen, geleisteten Vorarbeit sehr erleichtert, indem schon kleine Schwankungen in der Konstanz der Zusammensetzung rechtzeitig festgestellt und korrigiert werden konnten. Die für die Bestimmung der günstigsten Mischungen notwendigen Laboratoriumsversuche und Vorarbeiten sind durch den von dem Unternehmerkonsortium zugezogenen Prof. Dr. M. Roš an der E. M. P. A. in Zürich durchgeführt worden.

Wenn auch, wie schon erwähnt, der Wasserandrang aus dem Berg äusserst gering war und nach dem Durchschlag, je nach der Witterung, schätzungsweise $1\frac{1}{2} \text{ l/sec}$ nicht überstiegen hat, so bot das Trockenlegen der feuchten Felspartien, an denen sich das Bergwasser in Form von Schweissperlen bemerkbar machte, erhebliche Schwierigkeiten. Am einfachsten noch war die Drainage von Spalten und Klüften, bei denen das spärlich ausdringende Wasser in Gasröhrchen gefasst und entweder abgeleitet, oder durch Zementinjektionen abgedämmt werden konnte. Wo aber ein flächenhafter Austritt des Bergwassers erfolgte, also ein lokales Drainieren nicht möglich war, musste der Fels nach erfolgter Reinigung und Behandlung der Klüfte gunitiert werden, wobei zur Dichtung ein Sika-Zusatz verwendet wurde. Erst nach dieser Gunitierung konnte man dann neu auftretende lokale Schweissstellen entweder von Hand mit Sika-Mörtel ganz dichten, oder nachträglich doch noch durch Röhrchen drainieren. Es sind auf diese Weise viele hunderte von m^2 Stollenwand behandelt worden, da der eigentliche Verkleidungsbeton unter allen Umständen vor den aggressiven Bergwässern zu schützen war. Vor dem Betonieren sind alle früher feuchten Stellen, sowie

sämtliche grösseren Klüfte und Fugen und schlechteren Felspartien sorgfältig aufgenommen worden, um diese schwachen Stellen später, bei den hinter der Betonverkleidung vorgesehenen Zementinjektionen, noch besonders erfassen und durch verstärkte Injektionen verbessern zu können. Besonders injiziert wurden auch sämtliche Arbeitsfugen, d. h. die Ringfugen und die Längsfugen der Stollensohle, in die der Beton von Hand eingebracht und mit einem unmittelbar auf den frischen Beton aufgetragenen Glattstrich versehen wurde. Ursprünglich war vorgesehen, ausser den Injektionen zwischen Betonverkleidung und Fels in regelmässigen Abständen noch Hochdruckinjektionen in den Fels selbst vorzunehmen. Das Felsmassiv erwies sich indessen als äusserst dicht und es wurden in der Folge Hochdruckinjektionen bis 12 at nur in einzelnen Felsklüften, die seinerzeit Wasser führten, zur Ausführung gebracht. Kontrollweise sind an verschiedenen Injektionsstellen, so besonders in der Sohle, Druckmanometer angebracht worden, um über die Grösse des Bergwasserdruckes hinter der Verkleidung Aufschluss zu erhalten. Dieser Druck überstieg trotz tagelangem Stehenlassen der Druckmanometer nie mehr als 50 cm Wassersäule, sodass auf jeden Fall der künftige Betriebswasserdruck grösser ist, als der hydrostatische Druck des Bergwassers hinter der Betonverkleidung. Diese Feststellung war wichtig, da einerseits der Stollenwandbeton ohne Verputz gelassen werden sollte, und weil andererseits weder unarmerter Gunitverputz noch gewöhnlicher Verputz absolut rissfrei aufzubringen ist und deshalb seine allmähliche Zerstörung durch das aggressive Wasser wahrscheinlich erschien. Umgekehrt wollte man die mit der Bleischalung erzielte, glatte Oberfläche des Betons (Abb. 15) wenn immer möglich schützen und diese mit einem dreifachen Inertolanstrich versehen, was aber nur durchführbar war, wenn hinter der Betonverkleidung nicht hoher Bergwasserdruck herrschte, der trotz Zementinjektionen hinter der dichten Verkleidung sich auf die Inertolhaut hätte auswirken können. Dank all dieser Vorsichtsmassregeln ist dann schliesslich eine absolut trockene, mit einer etwa $\frac{3}{4} \text{ mm}$ starken Inertolhaut geschützte Stollenwand erzielt worden, die vom Wasser weder chemisch noch mechanisch angegriffen werden sollte. Bezüglich der Schalungszeit des Verkleidungsbeton ist zu sagen, dass jeder Stollenring nach 35 Stunden ausgeschalt wurde und das Betonieren im Mittel $6\frac{1}{2}$ Stunden pro Ring von 5 m Länge gedauert hat.

Da ein grosser Teil des Stollens bei kalter Jahreszeit betoniert werden musste, wurde die strenge Vorschrift aufgestellt, dass bei Temperaturen unter $+5^\circ$ im Stollen nicht betoniert werden dürfe, um Frostschäden zu vermeiden.

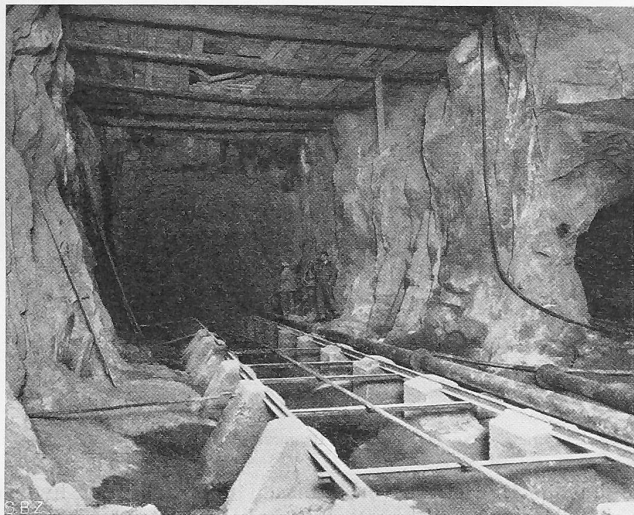


Abb. 17. Abzweigstelle des Druckschachtes (links) vom Richtstollen (rechts); über dem Gerüstboden der Wasserschloss-Steigschacht.

Nach Fertigstellung sämtlicher Montagearbeiten im Stollen konnte der Richtstollen (gegen Süden, Punkt A) durch einen Betonpfropfen von 32 m Länge geschlossen werden. Prinzipiell sind alle wichtigen Abschlusskonstruktionen obiger Art, wie auch alle Uebergangstellen von der Betonverkleidung zur Blechverkleidung durch durchgehende Dichtungsflächen, die gunitiert wurden und einen Kaltasphalt- oder Intertolanstrich erhielten, gegen das Eindringen von Betriebs- oder Bergwasser besonders geschützt worden.

Das Wasserschloss. Beim Uebergang vom Druckstollen mit einem Durchmesser von 5,50 m zur Druckleitung (Druckschacht) (Abb. 17) mit einem Durchmesser von 4,60 m ist als Druckregulierorgan zur Herabminderung der in Leitung und Stollen infolge Turbinenbelastungsänderungen entstehenden Druckschwankungen, das Wasserschloss (Abb. 18) eingebaut. Dieses sitzt direkt über dem Stollen und ist

mit ihm erst nach Verengung des Stollendurchmessers von 5,50 m auf den Rohrleitungsdurchmesser von 4,60 m durch ein vertikales zylindrisches Zwischenstück, eine grosse Düse von ebenfalls 4,60 m Durchmesser verbunden. Das Wasserschloss selber, das als Düsenwasserschloss bezeichnet sei, besteht aus einem vertikalen Steigschacht von 13,00 m Durchmesser, mit einem im oberen Teil eingebauten kreisrunden Ueberfall von 7,00 m Durchmesser. Die Zugangsgalerie zum Wasserschloss ist als obere Kammer ausgebaut; auf eine untere Kammer konnte verzichtet werden.

Da die hydraulische Anlage ein Spitzenwerk mit sehr grossen Betriebswassermengen und gleichzeitig Pump-Speicherwerk mit Tagesakkumulierung ist, mussten an das Wasserschloss weitgehende Forderungen gestellt werden. Es sei daran erinnert, dass z. B. momentanen Bedarfs-Ansprüchen im Energieversorgungsnetz sofort Genüge geleistet und dass beim Uebergang vom Pumpenbetrieb zum Turbinenbetrieb die Stollenwassermasse aus ihrer Strömungsrichtung nach der Wasserfassung in umgekehrter Richtung beschleunigt werden muss. Die Vorgänge der Massenschwingungen im Wasserschloss wurden daher für alle praktisch wichtigen und für die Dimensionierung massgebenden Betriebsfälle im Turbinen- und Pumpenbetrieb und bei Betriebsumstellungen untersucht. Die dabei den extremen Gefällen entsprechenden maximal möglichen Turbinenschluckwassermengen betragen 115 m³/sec und 97 m³/sec und die Pumpenförderwassermengen 36 m³/sec und 56 m³/sec. Die sehr umfangreichen und komplizierten Berechnungen für die Massenschwingungen, deren Ueberprüfung die Professoren R. Dubs und E. Meyer-Peter übernommen hatten, zeigten interessante Resultate, speziell auch von Schwingungsüberlagerungen bei Betriebsumstellungen. Die ebenfalls nicht einfachen Berechnungen der Wasserschläge in der Druckrohrleitung wurden von der Escher Wyss A.-G., die von der Société Alsacienne als Lieferantin der Rohrleitung für die Berechnungen und die Montage der Leitungen zugezogen worden ist, durchgeführt.

Die Dimensionierung des Wasserschlosses erfolgte so, dass einerseits dämpfungssichere Schwingungen und zulässige Schwingungsausschläge gewährleistet werden, anderseits musste das Wasserschlossvolumen, d. h. der Wasserschlossquerschnitt aus wirtschaftlichen und ausführungstechnischen Gründen auf ein Minimum reduziert werden. Man suchte also eine möglichst grosse, schwingungsdämpfende Wertigkeit der Raumeinheit zu erzielen.

Für dämpfungssichere Schwingungen ist ein minimaler Schachtquerschnitt, der Stabilitätsquerschnitt notwendig. Sehr reduzierend auf diesen wirkt eine möglichst grosse Geschwindigkeitshöhe in der Abzweigstelle vom Stollen zum Wasserschloss.³⁾ Der Stollen wurde daher nicht direkt in den Steigschacht eingeführt, sondern das Wasserschloss mit dem Stollen, und zwar erst hinter dessen Verengung, durch eine Düse verbunden. Durch diese charakteristische Abzweigung konnte der Schachtquerschnitt von einem, für die übliche Ausbildung mit direkter Stolleneinmündung nötigen Durchmesser von 20,00 m (= 314 m²) auf einen solchen von nur 13,00 m Durchmesser (= 133 m²) reduziert werden. Eine weitergehende Verengung der Rohrleitung bei der Abzweigstelle hätte noch reduzierend auf den Stabilitätsquerschnitt gewirkt, damit aber gleichzeitig auch eine unzu-

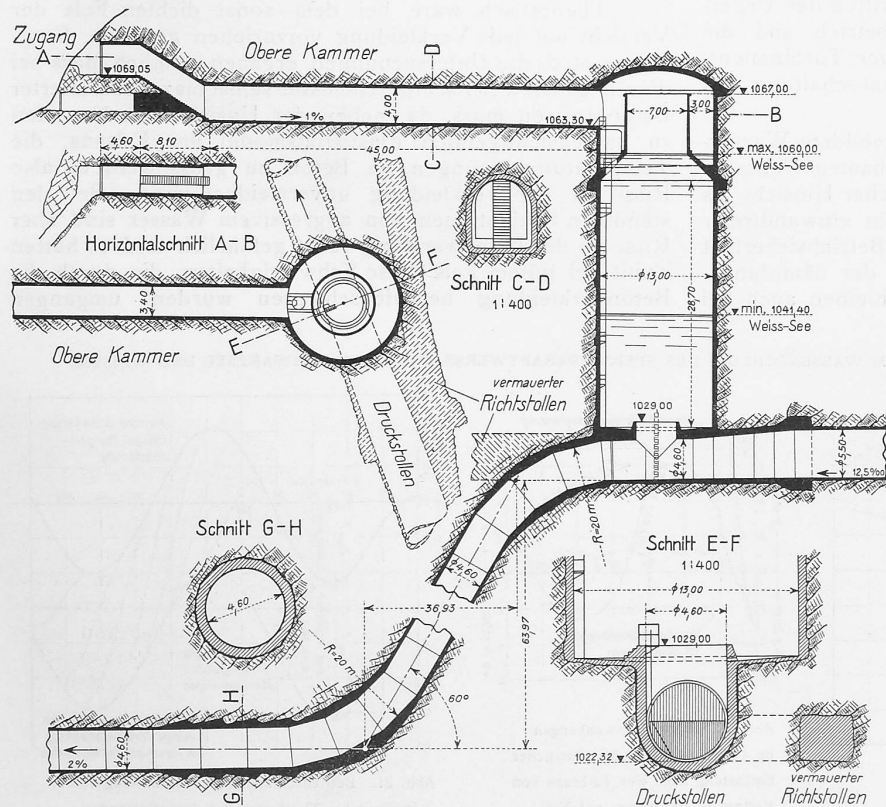


Abb. 18. Uebergang des Stollens in den Druckschacht mit Wasserschloss und oberer Kammer. — 1 : 800.

³⁾ Siehe Calame et Gaden: „De la stabilité des installations hydrauliques munies de chambre d'équilibre“ in „S. B. Z.“, Band 90, S. 55 ff. (Juli/August 1927).

lässige Vergrößerung der Schwingungsausschläge im Wasserschloss und der Wasserschläge in der Leitung bedingt.

Die Ausbildung des am oberen Ende des Steigschachts eingebauten kreisrunden Ueberfalls von 7,00 m Durchmesser ist wirtschaftlich ebenfalls von grosser Bedeutung. Gegenüber einem Ueberfall mit 13,00 m Durchmesser als direkten Steigschachtaufsatz, konnte nämlich das im oberen Schwingungsbereich hydraulisch notwendige Volumen bedeutend vermindert und auch der Kuppeldurchmesser ausführungstechnisch und wirtschaftlich günstig verkleinert werden. Die Zugangsgalerie, die im Interesse einer genügenden Belüftung bei extremen Wasserspiegelschwankungen einen etwas grossen Querschnitt erforderte, konnte in rationeller Weise als obere Kammer ausgenutzt werden. Die Verbindung zwischen dieser und dem Steigschacht findet durch eine Öffnung von 1,30 m Durchmesser im Ueberfallfuss statt. Die Öffnung selber ist aus Gründen der Betriebssicherheit ohne Rückschlagklappe gelassen worden, obwohl dadurch ein etwas grösseres Ueberfallvolumen bedingt wurde.

Im untern Schwingungsbereich haben wir, um zu vermeiden, dass die Wasserspiegel bei extremen Belastungsänderungen zu tief schwingen, dem Bauherrn folgende, betriebseinschränkende Bestimmung vorgeschlagen: „Unterhalb der Weissee-Kote 1046,00 dürfen nie mehr als drei Turbinen belastet oder leerlaufend in Betrieb sein.“ Damit konnte, in Berücksichtigung der praktisch vorkommenden Betriebsverhältnisse, auf die Ausführung einer teuren, unteren Kammer verzichtet werden. Die Vorschrift ist umso eher zu verantworten, als die tieferen Weissee-Spiegel nur durch Bewässerungsausgleich bedingte Saison-Wasserspiegel sind, die nicht einmal alle Jahre, und auch dann nur während kurzer Zeit, zu gewärtigen sind. Vorschrift und untere Kammer hätten umgangen werden können durch den Einbau eines inneren Zentralrohres (Differentialwasserschloss nach Johnson); da aber dieses System für eine einwandfrei Dimensionierung unbedingt Modellversuche verlangt, für deren Ausführung keine Zeit zur Verfügung stand, wurde darauf verzichtet.

Neben der obigen Betriebsvorschrift für den unteren Schwingungsbereich und den allgemeinen Konzessionsvorschriften regeln noch einige Betriebsvorschriften den Uebergang vom Pumpenbetrieb zum Turbinenbetrieb und die Turbineninbetriebnahme nach automatischer Turbinenentlastung und nach automatischer Pumpenabschaltung bei Störungsfällen (Abb. 18 bis 20).

Zusammenfassend kann die so durchgebildete Wasserschlossform mit Düsenanschluss und eingebautem Ueberfall sowohl in hydraulischer als in wirtschaftlicher Hinsicht als eine sehr günstige bezeichnet werden, die in einwandfreier Weise allen Anforderungen hinsichtlich Betriebssicherheit genügt. Die Druckschwankungen infolge der dämpfungsicher verlaufenden Massenschwingungen bleiben auch bei

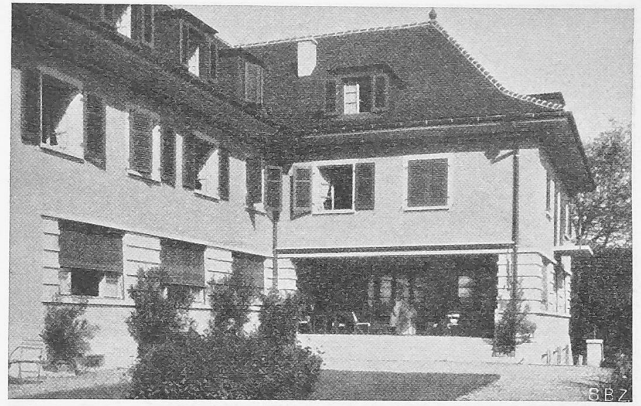


Abb. 2. Veranda-Ecke im Creisenasyl Burgdorf.

ungünstigsten Betriebsverhältnissen innerhalb der hydraulisch zulässigen und konstruktiv in keiner Beziehung schädlichen Grenzen. Damit können sowohl die stabile Turbinen-Regulierung, als auch ein guter Pumpenbetrieb gewährleistet werden und die Stollen- und Rohrleitungswandungen werden nicht unzulässig beansprucht.

In baulicher Beziehung bemerken wir, dass der Ausbruch des Wasserschlosses von der obern Kammer aus, die zugleich als Zugangstollen diente, in Angriff genommen wurde, wobei wieder, wie beim früher beschriebenen Schieberschacht, in der Axe des Schachtes zunächst ein Vertikalstollen von etwa 2,50 m Durchmesser von oben nach dem Druckstollen hinuntergetrieben wurde. Der Vollausschuss erfolgte in Ringen von rd. 4 m Höhe, wobei jeder Ring jeweils vor dem weiteren, tieferen Ausbruch seine Betonverkleidung von 40 cm Stärke erhielt, da es sich wider alles Erwarten zeigte, dass der Fels, der sich im Vortriebschacht als sehr gesund zeigte, seine Struktur am Rand des Wasserschlosssteigschachtes änderte, sodass infolge Streichens der Schichten tangential zum Schachtumfang nur eine sofortige Verkleidung der Schachtwand genügend Sicherheit bot, um mit dem Ausbruch ohne Gefährdung der Arbeiter durch Steinschlag fortfahren zu können.

Theoretisch wäre bei dem sonst dichten Fels der Verzicht auf jede Verkleidung vorzuziehen gewesen. Sorgfältige statische Untersuchungen ergaben nämlich, dass bei diesem grossen Schachtdurchmesser selbst maximal armerter Beton reissen muss, da, neben der Unsicherheit über den zu berücksichtigenden Elastizitätsmodul des Felsens, die Temperaturspannungen im Beton zu gross werden, also Risse in der Verkleidung unvermeidbar sind. Bei den ständigen Oszillationen von aggressivem Wasser sind aber Risse in der Betonwandung recht gefährlich und es hätten somit bei gutem Fels diese Schwierigkeiten, die durch die Betonverkleidung heraufbeschworen wurden, umgangen

CHARAKTERISTISCHE SPIEGELSCHWANKUNGEN IM WASSERSCHLOSS DES SPEICKERKRAFTWERKS ZWISCHEN SCHWARZSEE UND WEISSEE

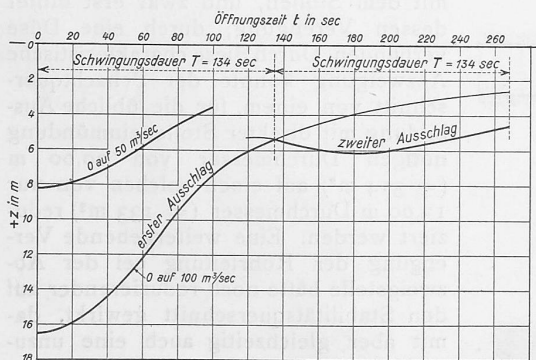


Abb. 19. Maximale Schwingungsausschläge in Funktion der Turbinen-Öffnungszeit, für Belastung 0 auf 50, bzw. auf 100 m³/sec.

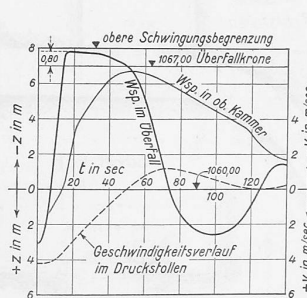


Abb. 20. Spiegelschwankungen im Ueberfallbereich bei plötzlicher Entlastung aller vier Turbinen von Vollast = 100 m³/sec auf Null.

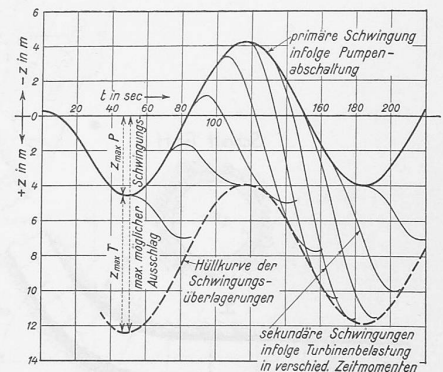


Abb. 21. Betriebsumstellung: Abschaltung von 2 Pumpen (- 32 m³/sec) und darauffolgendes Anlaufen zweier Turbinen (+ 50 m³/sec).

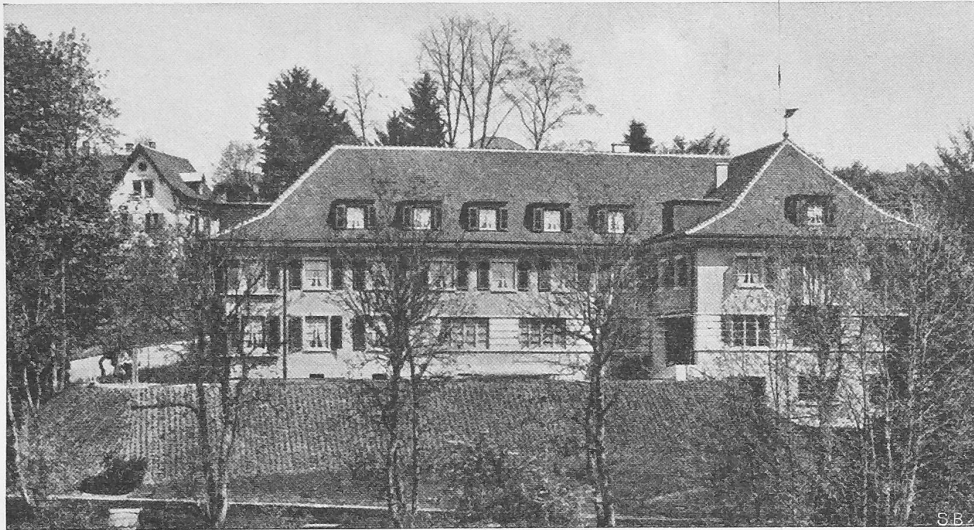


Abb. 1. Südseite des Greisenasyls in Burgdorf.

werden können. Nachdem nun ein Nichtverkleiden des Felsens sowohl für die Ausführung als den Betrieb nicht angängig war, verzichtete man auf die Verwendung von Eisenbeton, suchte aber dafür eine Verkleidung von 40 cm aus hochwertigem und sorgfältig zusammengesetztem, unarmiertem plastischen Beton mit 300 kg Zement pro m³ herzustellen, der nach erfolgtem Schwinden durch Zement-Injektionen zwischen Beton und Fels gegen diesen besonders gedichtet wurde. Auf der ganzen Schachtwand hat man über 120 Injektionsröhrchen eingesetzt und sorgfältig injiziert, sodass kein Bergwasser aus dem Beton mehr austreten konnte. Nach vollständiger Austrocknung erhielt der Beton, ähnlich wie der Druckstollen, einen dreifachen Inertolanstrich, der ihn gegen das kalkhungrige Wasser schützen wird. Sollten dann später in der Verkleidung Risse auftreten, so sind diese nachträglich mit Kaltasphalt oder einem ähnlichen Präparat zu schliessen und es sollten auf diese Weise schädliche Einflüsse des Wassers auf den Beton vollständig vermieden werden können, wobei auch bei einem allfälligen Aussenwasserdruck bei der gewählten Wandstärke Knickgefahr nicht besteht.

(Fortsetzung folgt.)

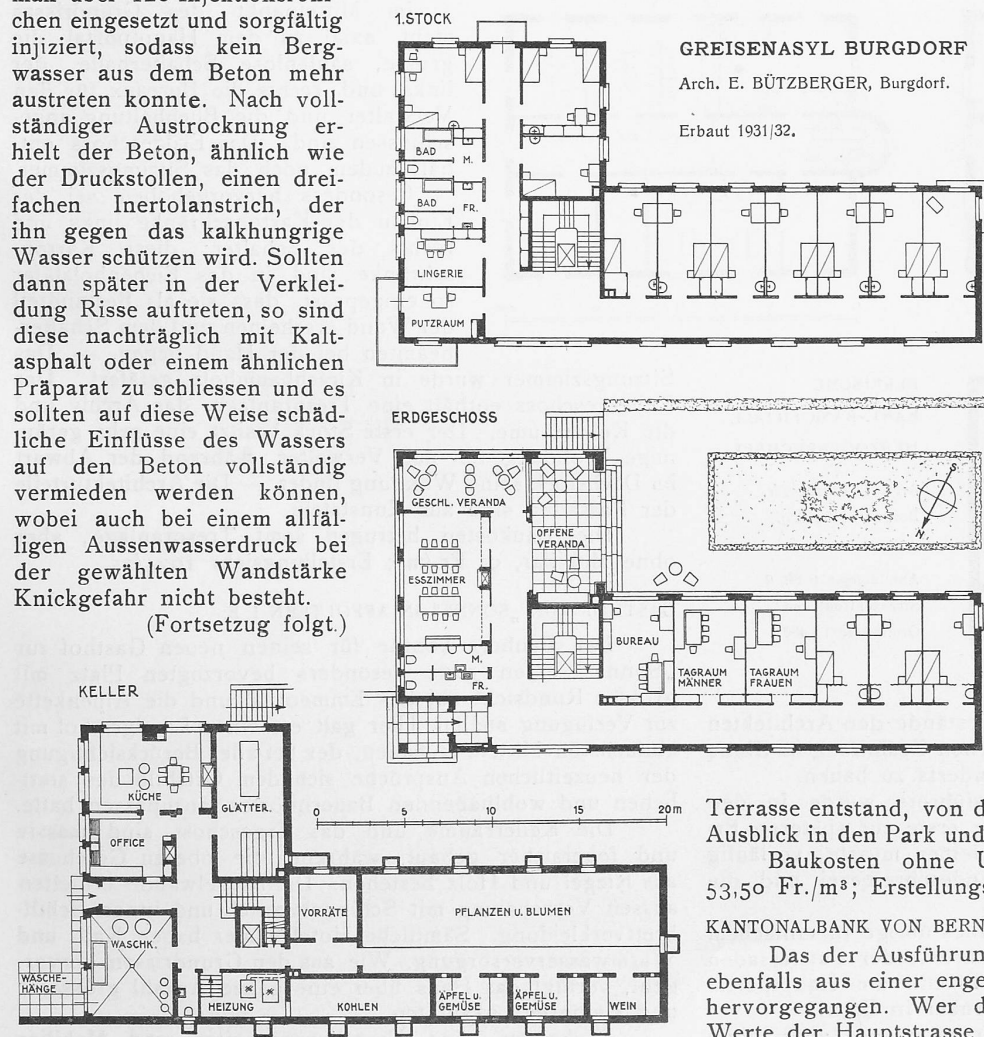


Abb. 3 bis 5. Grundrisse des Greisenasyls Burgdorf. — Masstab 1 : 400.

Bauten aus dem Bernbiet.

Von Arch. E. BÜTZBERGER, Burgdorf.

[Als charakteristische Beispiele ländlicher Bauweise im Kanton Bern geben wir hier einige Werke aus dem Bauschaffen von Architekt E. Bützberger in Burgdorf wieder; dem begleitenden Text des Architekten entnehmen wir, unter etwelcher Kürzung, folgende Mitteilungen. Bemerkenswert und grundsätzlich erfreulich ist dabei, dass die drei ersten Objekte auf Grund von I. Preisen in Wettbewerben dem Architekten übertragen wurden.]

GREISENASYL IN BURGDORF.

Für die Aufnahme des Greisenasyles der Stadt Burgdorf stand der von August Dür sel. geschenkte Park beim Steinhof zur Verfügung. Ein idealer Bauplatz inmitten alten urwüchsigen Baumbestandes auf dem Gsteig mit Blick gegen die Alpenkette. Das der Ausführung zu Grunde liegende Projekt wurde in einem engeren Wettbewerb mit dem 1. Preis ausgezeichnet und ohne wesentliche Aenderungen zur Ausführung gebracht.

Das Haus ist bemessen für 22 Insassen, deren Zimmer im 1. Stock und teilweise im Dachstock sich befinden und aus wirtschaftlichen Gründen und nach reiflichen Beratungen Kalt- und Warmwasser-Installation erhalten haben. Für die Möblierung der Zimmer ist den Insassen gestattet, ihren eigenen Hausrat mitzubringen. Dies schien auf den ersten Blick nicht im Interesse einer einheitlichen Lösung zu liegen. In Wirklichkeit aber ist diese Massnahme zweckentsprechend, indem die alten Leute, die aus ihrer Umgebung herausgenommen werden, wenigstens das ihnen vertraute Mobiliar um sich haben. Jedes Einzelzimmer erhielt so den jedem Insassen angepassten Charakter.

Die Fassaden erhielten rosafarbenen Verputz und graue Kunststeine.

Abb. 1 zeigt deutlich, in welcher gelungener Weise das Gebäude mit seiner Winkelstellung dem vorhandenen alten Baumbestand so eingefügt werden konnte, dass südwärts der windgeschützte Sonnenhof mit der gedeckten und offenen

Terrasse entstand, von der aus die Insassen den prächtigen Ausblick in den Park und die Alpenkette geniessen können.

Baukosten ohne Umgebungsarbeiten und Mobiliar 53,50 Fr./m³; Erstellungsjahr 1931/32.

KANTONALBANK VON BERN, FILIALE HERZOGENBUCHSEE.

Das der Ausführung zu Grunde gelegte Projekt war ebenfalls aus einer engeren Konkurrenz mit dem 1. Preis hervorgegangen. Wer die bestehenden architektonischen Werte der Hauptstrasse in Herzogenbuchsee, speziell den Sonnenplatz und die Kirchgasse kennt, wird begreifen,