Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 119/120 (1942)
Heft: 5

Artikel: Das Kraftwerk Innertkirchen, die zweite Stufe der Oberhasliwerke
Autor: Kaech, A. / Juillard, H. / Aemmer, F.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-52404

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: 10.12.2025

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

INHALT: Das Kraftwerk Innertkirchen, die zweite Stufe der Oberhasliwerke — Contribution à l'étude des plaques obliques. — Drei Neubauten in der Schaffhauser Altstadt. — Zwei Siedelungen der GF-Stahlwerke, Schaffhausen. — Mitteilungen: Organische Kunststoffe. Widerstandsthermometer für Getreidespeicher. Ein unsymmetrisches Flugzeug. Arbeiterin und Hausfrau. Die Wirkung der Brisanzbombe auf Hochbauten. Fernstrasse Zürich - St. Margrethen. — Wettbewerbe: Freiplastiken auf dem alten Tonhalle-Areal in Zürich. — Bebauungspläne und einfache Wohnbauten im Scheibenschachen, Aarau. — Literatur: Das Aufspritzen des Kraftstoffes im Dieselmotor. Eingegangene Werke.

Band 120 Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet Nr. 5

Abb. 20. Gesamtbild der Anlagen bei Innertkirchen, aus Südwest Phot. Brügger A. G., Meiringen. Bew. Nr. 4440 BRB 3. 10. 39

Das Kraftwerk Innertkirchen, die zweite Stufe der Oberhasliwerke

Nach Angaben der Bauleitung der Kraftwerke Oberhasli, insbesondere von Direktor Dr. h. c. A. KAECH und der Oberingenieure H. JUILLARD und F. AEMMER zusammengefasst von Ing. W. Jegher

(Fortsetzung von Seite 40)

4. DER DRUCKSCHACHT

Der durchwegs gepanzerte Druckschacht (Abb. 20 und 21) besteht aus zwei Hauptteilen, einem Schrägschacht von 1094 m Länge mit im Mittel 60 % Gefälle und einem flachen Teil von 817 m Länge mit 12,3 % Gefälle. Der Durchmesser des Schachtes beträgt oben 2,60 m und alsdann, vom untern Teil der Steilstrecke an, 2,40 m. Bei dem maximalen Durchfluss von 36 m³/s betragen die entsprechenden Wassergeschwindigkeiten 6,8 bzw. 8,0 m/s.

Versuche im Baufenster Rieseten. Ausser den schon erwähnten Versuchen mit den verschiedenen Profiltypen für den Zulaufstollen hat man 1939 besonders auch Versuche mit einem einbetonierten Druckrohr vorgenommen, die für die Bauweise des Druckschachtes grundlegend sind. Es wurde in einem Querschlag mit 10 % Neigung des Fensters Rieseten ein 12 m langes Rohr von 10 mm Wandstärke und 2,2 m Durchmesser eingebaut. Bei den Versuchen ist der Innenwasserdruck im Rohr bis auf 150 at gesteigert worden, also rund auf das 2,3fache des Druckes am untern Ende des Druckschachtes, und dabei hat die Panzerung keinen Schaden erlitten. Unter diesem Druck wurde sie bis zum Beginn der Streckgrenze des Blechmaterials beansprucht. Es konnte ermittelt werden, dass der Anteil des Felsmantels bei der Aufnahme des Wasserdruckes mindestens 130 at betrug. Damit war der Beweis geleistet, dass er für sich allein fähig ist, mindestens das Doppelte des totalen Wasserdruckes im Schacht Innertkirchen aufzunehmen.

Panzerbleche, Materialqualität und Beanspruchung. Während im Druckschacht die Blechstärke 12 bis 20 mm beträgt, erreichen die Rohre in der Verteilleitung eine Wandstärke bis 46 mm. Aus dem in Kapitel II erwähnten Grund wurden Panzerbleche amerikanischer Herkunft gewählt. Die Bruchfestigkeit des Blechmaterials schwankt zwischen 4300 und 4800 kg/cm² und die Dehnung beim Bruch zwischen 22 und 28 %. Ein Versuchstutzen von 1,50 m ∅ und einer Wandstärke von 16 mm ergab beim Bruch eine Dehnung des Rohrumfanges bzw. des Rohrdurchmessers von 12,5 %. Auf den Druckschacht Innertkirchen mit einem Durchmesser von 2,40 m übertragen, ergäbe sich also eine mögliche Rohrausdehnung von 30 cm, während für den Abpressdruck von 100 at nach den Vorversuchen mit einer Rohrausweitung in der Grössenordnung von 2 mm gerechnet werden kann.

Der grosse Vorteil einer im Fels gegenüber einer frei verlegten Druckleitung ergibt sich durch die starke Einsparung an Panzerblechen, was heutzutage besonders wichtig ist. Während beim Etzelwerk rd. 6300 t Panzerbleche benötigt wurden, so kommt man für das KW Innertkirchen bei einem höheren Druck, einer ungefähr gleich langen und für den gleichen Wasserdurchfluss bemessenen Druckleitung mit 1800 t aus, also nicht einmal einem Drittel. Technisch noch bedeutender ist aber die viel grössere Sicherheit einer so im Fels eingeschlossenen Leitung.

Bauausführung. Die drei Baufenster für den Druckschacht sind: Rieseten (6,85 m², 350 m lang), Mittelegg (3,6 m², 230 m lang) und Schratten (3,6 m², 185 m lang). Dieses oberste ist durch einen horizontalen Weg mit einer Zwischenstation der Standseilbahn verbunden, das Fenster Mittelegg hat eine eigene Luftseilbahn nach der Urweid (s. oben), Rieseten eine Zugangstrasse (s. oben).

Der *Ausbruch* begann im Spätsommer 1940 von drei Fenstern, sowie von der Zentrale aus jeweils aufwärts mit Vortriebstollen von rd. 4 m². Im steilen Stück von 60 % mussten Schutterungssilos eingebaut werden, in denen das Ausbruchmaterial zunächst aufgefangen und auf Seilbahnwagen geladen werden konnte. Die Silos und die Umlenkrollen für diese Seilbahn wurden in

Abständen von etwa 50 m versetzt. Im flachen Schachtteil war die Anordnung von Silos nicht nötig. Trotz den grossen Schwierigkeiten in der Steilstrecke ist der Vortrieb dieses Stollens sehr rasch erfolgt. Nach der Ausweitung (von oben nach unten in der Steilstrecke) erfolgte das Verlegen und Einbetonieren des Montagegeleises und der zwischen dessen Schienen angeordneten Betonierrinne (Abb. 21) in der Schachtsohle. Im allgemeinen hatte sich der Innertkirchener Granit den Prognosen entsprechend, als teilweise ziemlich klüftig und wasserführend erwiesen. Den grössten Wasserandrang verzeichnete das Stollenfenster Rieseten mit 30 l/s.

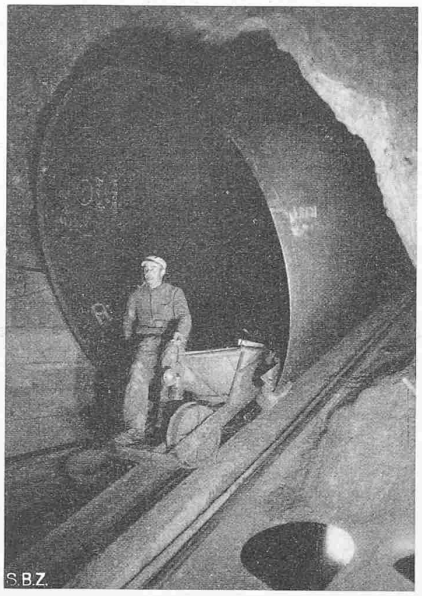

Abb. 22. Rohrablassen im Druckschacht (Steilstrecke), vorn auf Rollen, hinten auf Gleitschuhen

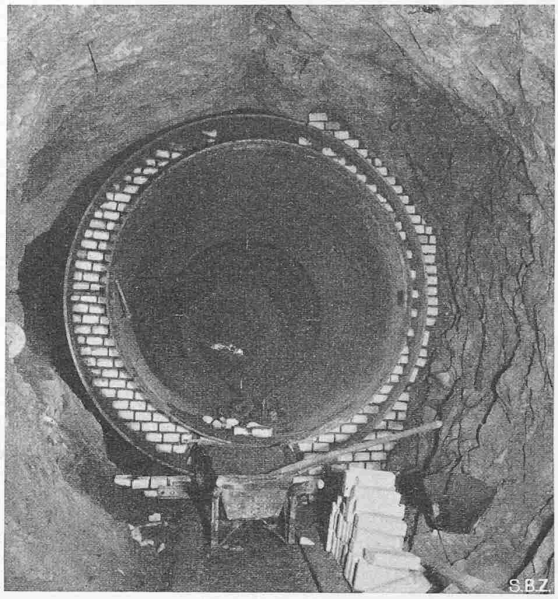

Abb. 24. Hauptstrang der Verteilleitung. Doppelrohr, Abschalung durch Zementsteinmauerung vor dem Ausbetonieren des Zwischenraums

Die ersten *Panzerrohre* langten im Sommer 1941 auf der Baustelle in Schüssen von 10 und 12 m Länge an und wurden für die Strecke oberhalb dem Fenster Rieseten (Abb. 22) vom Wasserschloss her abgelassen. Mit der Montage in der untern Druckschachtstrecke, bei der die Panzerrohre durch das Fenster Rieseten eingeführt wurden, konnte man erst nach der Fertigstellung der Verteilleitung beginnen. In beiden Strecken erfolgte die Rohrmontage von unten nach oben. Im steilen Teil des Druckschachtes sind immer zwei Rohre für die Montage und die Hinterbetonierung zusammengefasst worden. Der Beton wurde hier mit der in der Sohle verlegten Gussrille direkt hinters Rohr fliessen gelassen. In der schwach geneigten Strecke wurde ein Rohr nach dem andern eingebaut und jeweils mit Beton hinterfüllt. Das Einbringen des Betons erfolgte hier mit der Pumpe, ähnlich wie im Zulaufstollen. Am Rohr eingeschweisste Schalungsvibratoren bewirkten eine gute Verdichtung des Betons. Mittelst Injektionen wurden allfällige Hohlräume wie auch die angrenzenden Felsspalten gefüllt.

5. DIE VERTEILLEITUNG

Der Hauptstrang als Verlängerung des Druckschachtes verjüngt sich nach den fünf Abzweigern in vier Stufen von 2400 auf 1100 mm (Abb. 23). Die Wandstärke beträgt im Hauptstrang 24 mm; bei den Abzweigern steigt sie bis 46 mm. Die Felsüberdeckung ist hier noch 90 m, sodass mit einer Entlastung durch den Fels gerechnet werden kann. Um das eigentliche Verteilrohr ist ein zweiter Mantel aus Stahl von 20 mm Stärke in einem Abstand von 20 bis 40 cm vom innern Rohr angeordnet (Abb. 24). Der Raum zwischen den beiden Rohren ist mit Beton ausgefüllt und bildet mit diesen einen steifen Mantel. Diese Konstruktion bietet den Vorteil, dass das äussere Rohr mit hohem Druck injiziert werden kann. Abb. 25 zeigt die Schweissarbeit an der Panzerung; die Betonhinterfüllung erfolgte auch hier mit der Betonpumpe. Die Abzweiger münden in die Schieberkammer (Abb. 26).

6. DIE BAULICHE ANLAGE DER ZENTRALE

Die Lage der Zentrale war durch die Geländeverhältnisse eindeutig am obern Ende des Talbodens von Innertkirchen am Fusse des rechtseitigen Talhanges gegeben (Abb. 27). Bei einem Zugangsstollen von nur 40 m Länge konnte die Zentrale so in den Berg plaziert werden, dass die vertikale Felsüberdeckung des Scheitels überall mindestens 40 m beträgt.

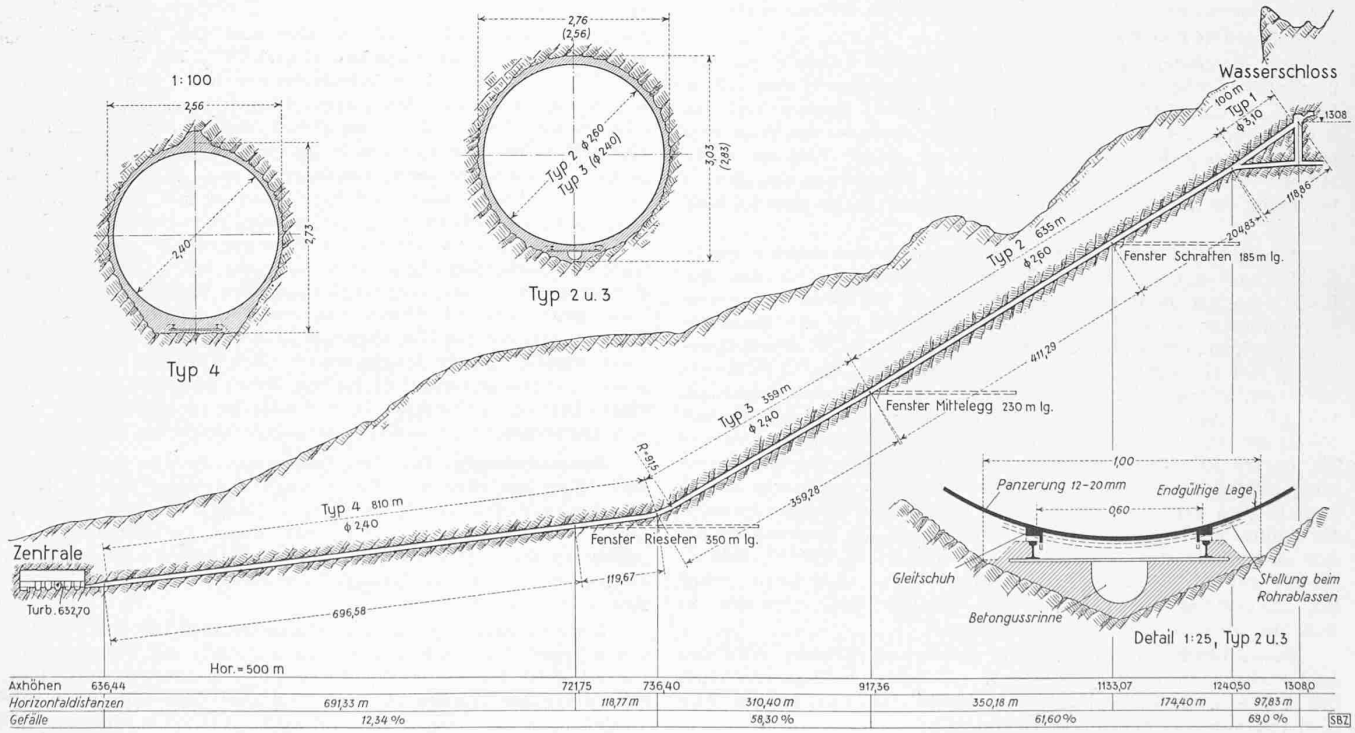

Abb. 21. Der Druckschacht der Zentrale Innertkirchen. Längenprofil, Masstab 1 : 10 000. Vergl. Abb. 9, S. 29, im gleichen Masstab

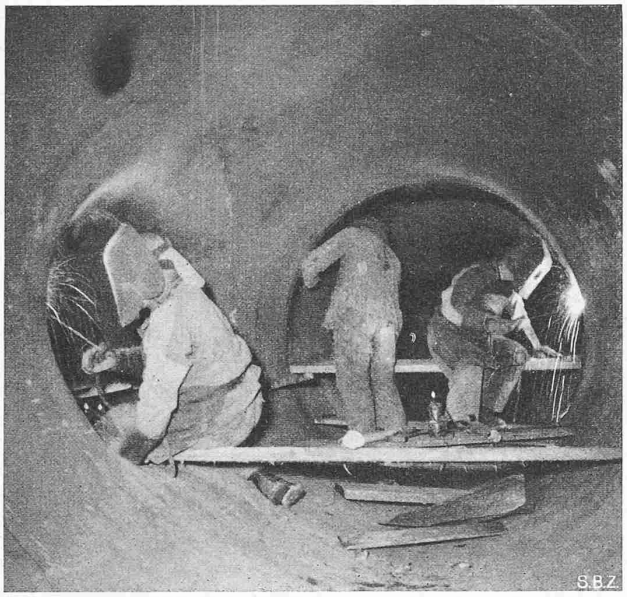

Abb. 25. Schweissarbeiten in der Verteilleitung

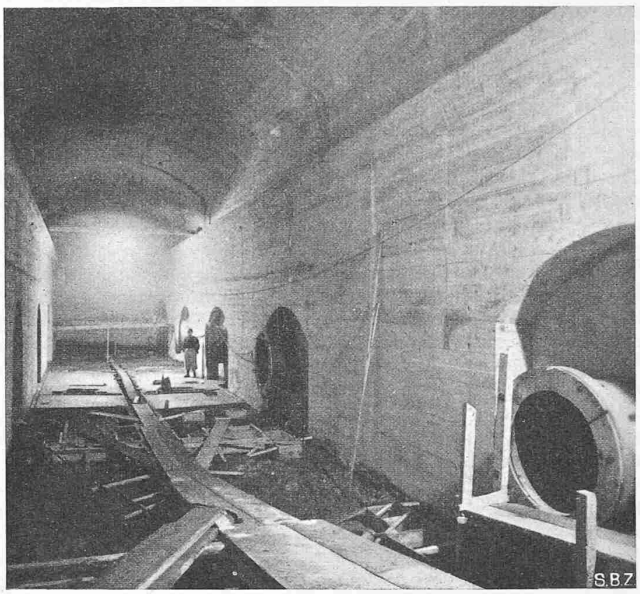

Abb. 26. Schieberkammer, rechts die ankommenden Verteilleitungs-Stränge

Statische Verhältnisse der grossen Kaverne. Die imposante Kaverne der Maschinenhalle mit einer Länge von 100 m, einer grössten Höhe von den Turbinenwannen bis zum Scheitel von 26 m und einer Breite von 19,5 m, über die Gewölbeansätze gemessen, liegt im sog. Innertkirchner Granit. Dieses vollständig entspannte, tragfähige Gestein ermöglichte den Bau dieser grossen Felshöhle, ohne dass ausserordentliche Schwierigkeiten beim Ausbruch zu überwinden waren, und so, dass auch eine besonders druckfeste und mit hohen Kosten verbundene Auskleidung vermieden werden konnte. Die Kaverne ist so in den Fels gelegt, dass ihre Längsaxe senkrecht zum allgemeinen Streichen des Felsens verläuft.

Bei der vorhandenen lotrechten Felsüberdeckung von rund 50 m berechnet sich die vertikale Felsbeanspruchung vor dem Ausbruch der Kaverne zu 15 kg/cm². Nach dem Ausbruch sollte nach der Elastizitätstheorie in der Kämpferhöhe des Gewölbes seitlich eine max. Randpressung von rd. 75 kg/cm² eintreten. Diese Druckspannung, die vom Gestein noch gut aufgenommen werden könnte, wird aber in Wirklichkeit lange nicht erreicht. Mit zunehmender Beanspruchung nimmt der Elastizitätsmodul des mit Spalten durchzogenen Gesteins rasch ab, sodass die Spannungskonzentration in der Höhe des Kämpfers vermindert und eine gleichmässigere Spannungsverteilung nach aussen erreicht wird.

Das unarmierte, nur als Verkleidung dienende Betongewölbe weist eine minimale Stärke von 40 cm, über die Felsspitzen gemessen, auf. Durch Zementinjektionen ist ein vollständig sattes Anliegen des Gewölbes am Fels, wie auch ein Füllen der Felsspalten erreicht worden, sodass es ausgeschlossen erscheint, dass sich einzelne Felsstücke lösen können und als Einzellast auf das Gewölbe wirken. Immerhin wäre das Gewölbe noch im Stande, einen einzelnen Felsblock von 5 m Breite und 5 m Höhe (rund 65 t pro m' Gewölbe) zu tragen, ohne dass es zum Bruch käme. Bei einem Injektionsdruck von 5 at und einer Angriffsfläche von 1 m² ergibt sich eine Biegespannung von 3,4 kg/cm² und eine Schubspannung von 4,7 kg/cm².

Bei der **Gruppierung und Ausgestaltung der Räume** (Abb. 28 und 29) konnten die bei der Zentrale Handeck (Abb. 10, S. 29) gemachten Erfahrungen voll ausgenutzt werden. Talaufwärts des Haupteingangs liegt der Maschinenraum und talabwärts sind die Nebenanlagen für Eigenbedarf, Magazine und Werkstätten untergebracht.

Die Absperrschieber der Turbinenzuleitungen befinden sich in einer besonderen Kaverne. Diese *Schieberkammer* (Abb. 26) ist absichtlich von der Zentrale getrennt, damit bei einem event. Schieberbruch jede Beschädigung der eigentlichen Zentrale vermieden wird. Von der Schieberkammer führt ein Entlastungsstollen direkt nach dem Unterwasserkanal, sodass das ganze, bei einem allfälligen Unfall aus der Hochdruckleitung zuströmende Wasser direkt abgeführt werden kann.

Aehnlich wie bei der Handeckzentrale ist eine räumliche Trennung zwischen den Turbinen und Generatoren systematisch durchgeführt. Der Sammelstollen der *Turbinenabläufe* wird in einer Distanz von 22,5 m von der Maschinensaalaxe parallel geführt, die Turbinenwannen sind mit kurzen Stichstollen an den Sammelstollen angeschlossen (Abb. 23). Unterwasserseitig der Turbinengehäuse befindet sich eine 80 m lange Kranhalle, um die periodischen Unterhaltarbeiten an den Turbinenrädern ausführen zu können, ohne den allgemeinen Zentralenbetrieb zu stören.

Im Gegensatz zu der Handeck jedoch ist zwischen den *Turbinen und Generatoren* keine Trägerdecke eingezogen, sondern die Generatoren stützen sich direkt auf das Gehäuse der Tur-

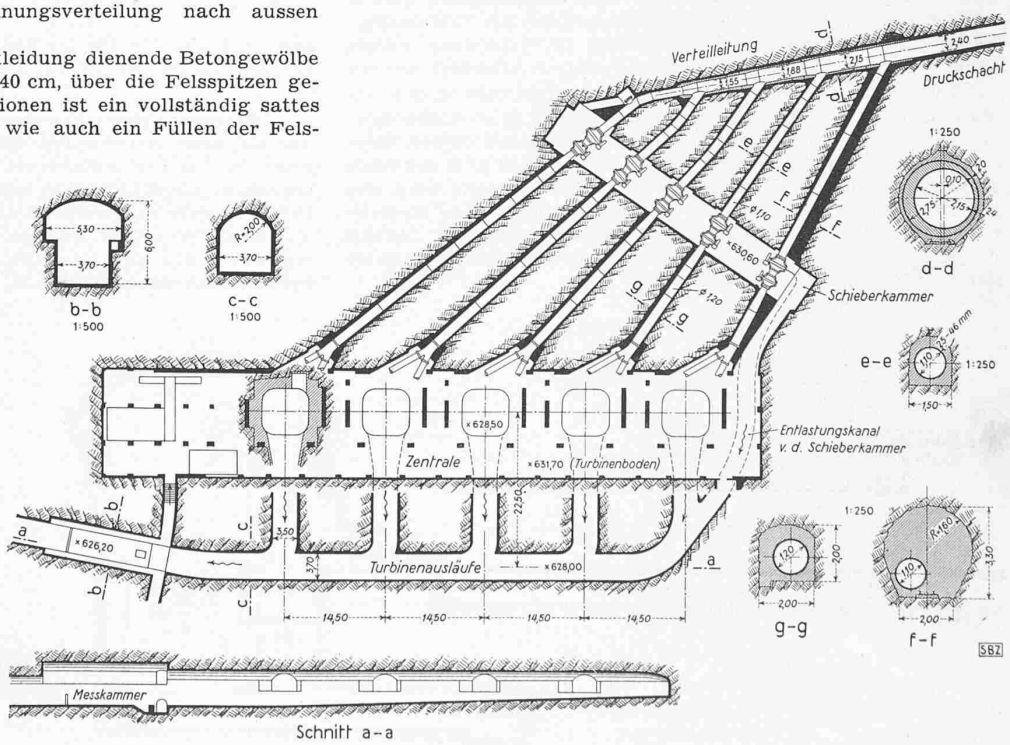

Abb. 23. Verteilleitung, Zentrale und Turbinenausläufe; Grundriss 1 : 1000 und Schnitte

binen ab. Diese Anordnung bietet eine unmittelbare Lastübertragung auf den Felsuntergrund und erlaubt eine bessere Zugänglichkeit zum untern Teil der Generatoren, den dortigen Halslagern usw. Die Decke zwischen Turbinen und Generatoren konnte dementsprechend leicht gehalten werden, und es liessen sich auch die Abstützkonstruktionen für den am obern Ende der Generatoren gelegenen eigentlichen Maschinensaalboden unabhängiger und in leichterer Konstruktion ausführen. Zwischen den Maschinen sind 0,60 m breite Doppelpfeiler bis auf die Felsstrosse, die zwischen den Turbinenwannen verbleibt, hinuntergezogen. Auf die Kopfenden dieser Pfeiler, sowie auf die Umfassungsmauern, ist der Maschinensaalboden abgestützt, auf den an jeder Stelle zwischen den einzelnen Maschinen schwere Montagestücke abgestellt werden können. Zur vorübergehenden Unterbringung zusammengebauter Teile der Maschinengruppen, mit einem Gewicht bis zu 120 t, sind besondere Absetzgruben vorhanden.

Auf die Köpfe der Pfeiler zwischen den einzelnen Generatoren sind Quergeleise gesetzt, auf welche die *Transformatoren* mit dem Maschinensaalkran abgestellt und in die Transformatorenzellen eingefahren werden können. Diese befinden sich bei der unterwasserseitigen Längswand über der Turbinenvorhalle, bodeneben mit dem Maschinensaal. Ihre Tragbalken sind zu einer Wanne ausgebildet, um im Falle eines Transformatorendefektes das Oel auffangen und über eine Ableitung nach einem Auffangtank für Schmutzöl ableiten zu können.

Im Raum zwischen der Decke der Turbinenvorhalle und der Transformatorenwanne verlaufen zwei geschlossene Betonkanäle: einer für Oel- und Wasserleitungen, zugleich Frischluftkanal, und der andere für Niederspannungskabel zu Steuer- und Messzwecken. Dieser Kanal ist mit dem in der Freiluftschaltanlage bereits vorhandenen Kabelkanal verbunden.

Ueber dem Maschinensaalboden verbleibt zwischen den Transformatorenzellen je ein freier Raum von 6 m Länge, der zur Aufnahme der Steuer- und Messapparate dient. In der Längswand dieser Zellen, gegen das Maschinenhaus hin, werden auf einer Tafel die Messinstrumente und Betätigungsapparate der Turbinen und Generatoren untergebracht und im Obergeschoss dieser Zellen die Druckgefässe für die 150 kV Oelkabel. Der über den Transformatoren- und Steuerzellen liegende Raum von 3,5 m Höhe, 4 m Breite und rd. 80 m Länge dient zur Aufnahme der 13 kV-Wechselschiene mit Trennern und Messwandlern.

Der Maschinensaal besitzt ein doppeltes Eternitdach. Dieses ist so gelegt, dass zwischen ihm und dem Gewölbe der Kaverne ein begehbarer Raum verbleibt. Auch die Seitenwände aller Räume über dem Maschinensaalboden sind nicht unmittelbar an die Felswand angelegt, sondern es wurden auf dem ganzen Umfang Hohlräume mit Entwässerungsableitungen angelegt. Diese Anordnung gibt die Gewähr, dass alle Betriebsräume immer trocken bleiben werden. Da die Zwischenräume der Umfassungswände unmittelbar mit dem Dachraum in Verbindung stehen, können auch alle Räume der Kaverne einfach ventiliert werden.

Unterhalb der Einmündung der letzten Turbine in den Ablaufstollen ist dieser auf einer Strecke von 15 m so ausgebildet, dass er als *Messkanal* bei den Abnahmeversuchen dienen kann. Der Stollen ist hierzu höher aufgeschlitzt und mit zwei seitlichen Gehwegen versehen. Nach einer Beruhigungsstrecke wird eine geeichte Messchütze eingebaut. Es ist klar, dass diese Messeinrichtung nur beim Betrieb einer einzelnen Maschine benützt werden kann, und dass bei den Abnahmeversuchen der übrige Zentralenbetrieb ruhen muss.

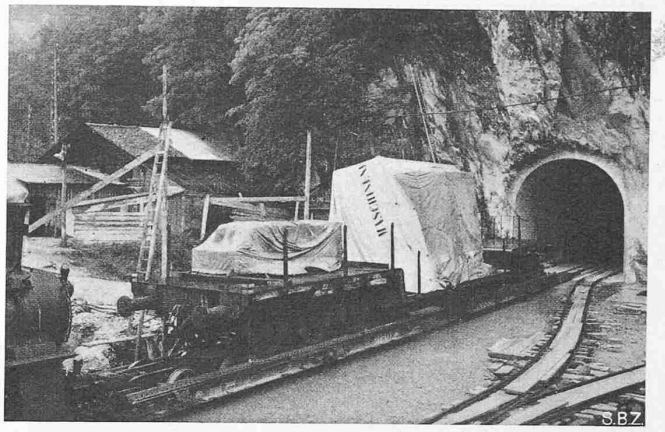

Abb. 30. Hauptzugang der Zentrale. Normalspuriger Tiefgangwagen mit einer Statorhälfte, auf Meterspur-Rollschemel

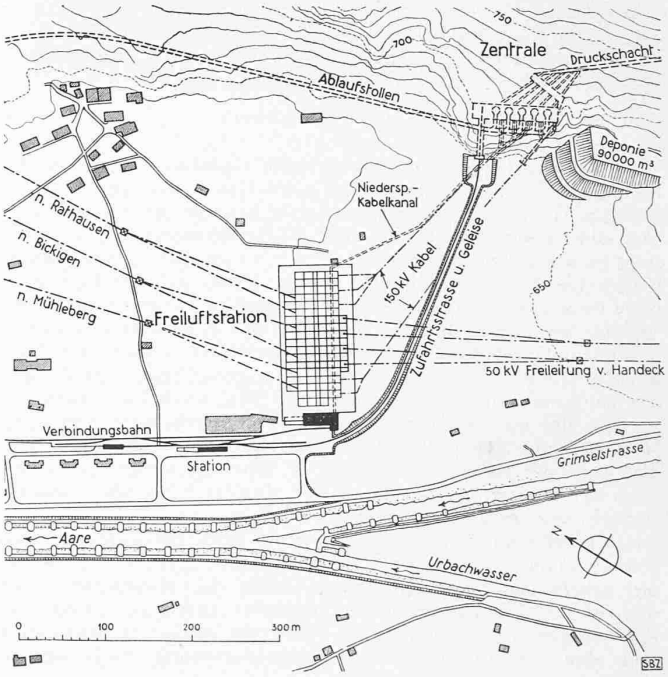

Abb. 27. Lageplan 1 : 8000 von Zentrale, Freiluftschaltanlage, Zufahrten. Alle Abbildungen bew. Nr. 6057 BRB 3. 10. 39 Photos Brügger

Kostenvergleiche. Für die Zentrale mit der Schieberkammer und mit allen Nebenstollen für Kabel, Zugänge und Ventilation sowie für die Turbinenabläufe bis und mit der Messkammer sind insgesamt rd. 60 000 m³ Aussprengungen notwendig geworden. Bei der dabei möglichen installierten Leistung beim späteren Vollausbau mit fünf Maschinen von zusammen rd. 280 000 PS ergibt sich also pro m³ umbauten Raumes rd. 4,7 PS, während bei der Handeckzentrale nur rd. 2,9 PS/m³ untergebracht sind.

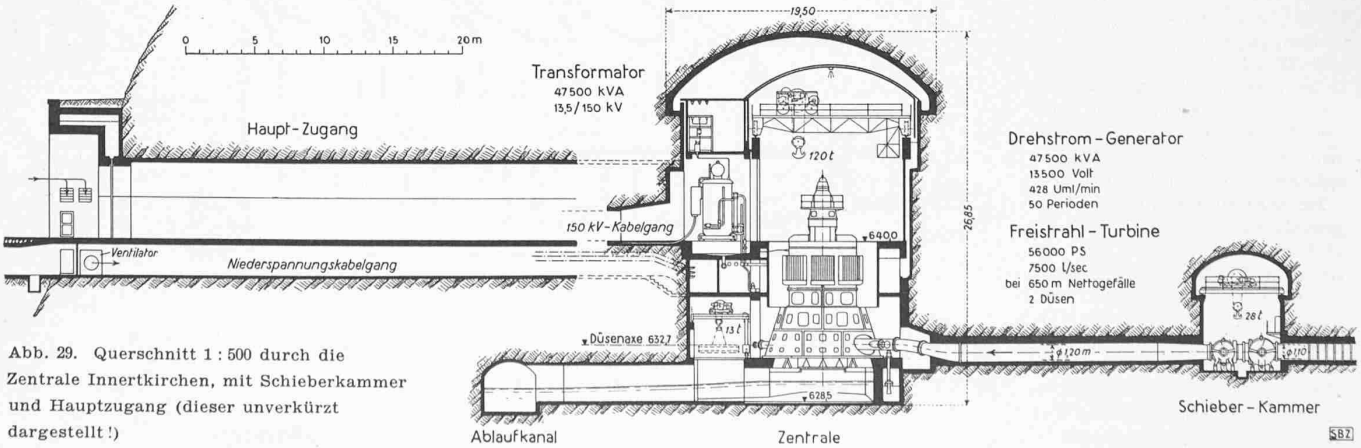

Abb. 29. Querschnitt 1 : 500 durch die Zentrale Innertkirchen, mit Schieberkammer und Hauptzugang (dieser unverkürzt dargestellt!)

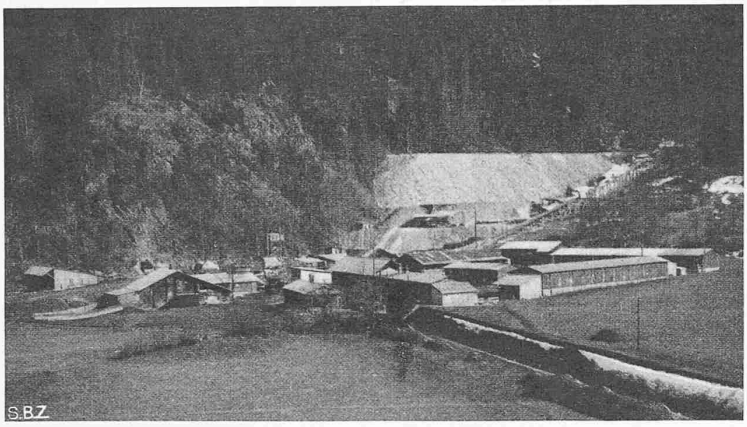

Abb. 31. Baustelle der Zentrale Innertkirchen. Am linken Fuss der Ausbruch-Deponie Mundloch des südlichen Baufensters, links Mündung des Hauptzuganges. Rechts vorn Zufahrtstrasse und -Bahngeleise

Während die Baukosten des Maschinenhauses Handeck einschliesslich Unterbau und Umgebungsarbeiten, Anschlusstrasse, Ablaufkanäle usw. rd. Fr. 2 300 000 betragen haben für rd. 42 000 m³ umbauten Raumes, was einem Betrag von 55 Fr./m³ entspricht, betragen diese Kosten bei der Kavernenanlage in Innertkirchen für 60 000 m³ rd. 3 450 000 Fr., also etwa 62 Fr./m³. Bei der Handeck haben die Kosten des Maschinenhauses mit Zubehör (ohne elektro-mech. Ausrüstung) $\frac{2\,300\,000}{120\,000}$ = rd. 19 Fr. pro PS installierte Leistung erreicht. In Innertkirchen betragen sie nur $\frac{3\,450\,000}{280\,000}$ = rd. 13 Fr. pro PS installierte Leistung beim Vollausbau.

Aus diesen Vergleichen geht hervor, dass eine solche Kavernenanlage bei den Verhältnissen, wie sie in Innertkirchen vorliegen, nicht teurer kommt als die Unterbringung der Maschinenanlage in einem freistehenden Gebäude.

Die Bauausführung begann im Sommer 1940 mit der Ausweitung des südlichen Baufensters (vgl. Kap. II, Seite 28), das durch den ersten Strang der Verteilleitung und damit in den Druckschacht weiter getrieben wurde. Vom Juli bis zum Oktober erschloss man von diesem Stollen aus die Schieberkammer, und von dieser aus die übrigen Stränge der Verteilleitung und die Turbinen-Zuleitungen. Die grosse Kaverne wurde durch zwei Stollen auf Kämpferhöhe des Gewölbes und einen Firststollen angegriffen. Gleichzeitig gelangte man durch den Ausbruch des Hauptzuganges (Abb. 30) auf Höhe des Maschinensaalbodens an das Nordende der grossen Kaverne, sowie durch den Vortrieb des Kabelstollens in ihre mittlere Region. Durch den Ausbruch des Zugangstollens zur Messkammer wurde diese selbst und der Unterwasserkanal in Angriff genommen, sodass schon im November 1940 an nicht weniger als vier Stellen Ausbruchgestein zu Tage gefördert und auf die grosse Deponie geführt wurde. Diese verlegte man südlich des Zentralenkopfes an die Halde hinauf, sodass die Materialzüge über einen Bremsberg hinangezogen werden mussten (Abb. 31).

(Schluss folgt)

Contribution à l'étude des plaques obliques

Par HENRY FAVRE, professeur à l'Ecole polytechnique fédérale, Zurich

(Suite de la page 36)

Remarquons que σ_u et σ_v ne sont pas en général normales aux éléments de surface. Dans le cas particulier où $\alpha = \frac{\pi}{2}$, les nouvelles composantes des tensions coïncident avec les anciennes. On peut alors remplacer les indices u, v par x, y.

En appliquant le théorème des moments, par rapport à un axe $0'$ parallèle à z, on voit que (fig. 5):

$$\tau_{uv} = \tau_{vu} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

quel que soit α.

Quant aux tensions σ_z, τ_{yz}, τ_{zx}, elles sont remplacées par σ_z, τ_{vz}, τ_{zu}, dont la définition est évidente. Les indices de chacune des tensions τ_{vz}, τ_{zu} peuvent également être permutés.

Cherchons les relations entre les nouvelles et les anciennes tensions. La comparaison des deux parties de la fig. 6 montre que:

$$\sigma_y = \sigma_v \sin\alpha\,, \qquad \tau_{xy} = \tau_{uv} + \sigma_v \cos\alpha\,.$$

D'autre part la somme des projections, sur l'axe u, des forces agissant sur l'élément de volume indiqué à la fig. 7 doit être nulle:

$$\sigma_u + \tau_{uv}\cos\alpha + \tau_{xy}\cos\alpha - \sigma_x \sin\alpha = 0\,.$$

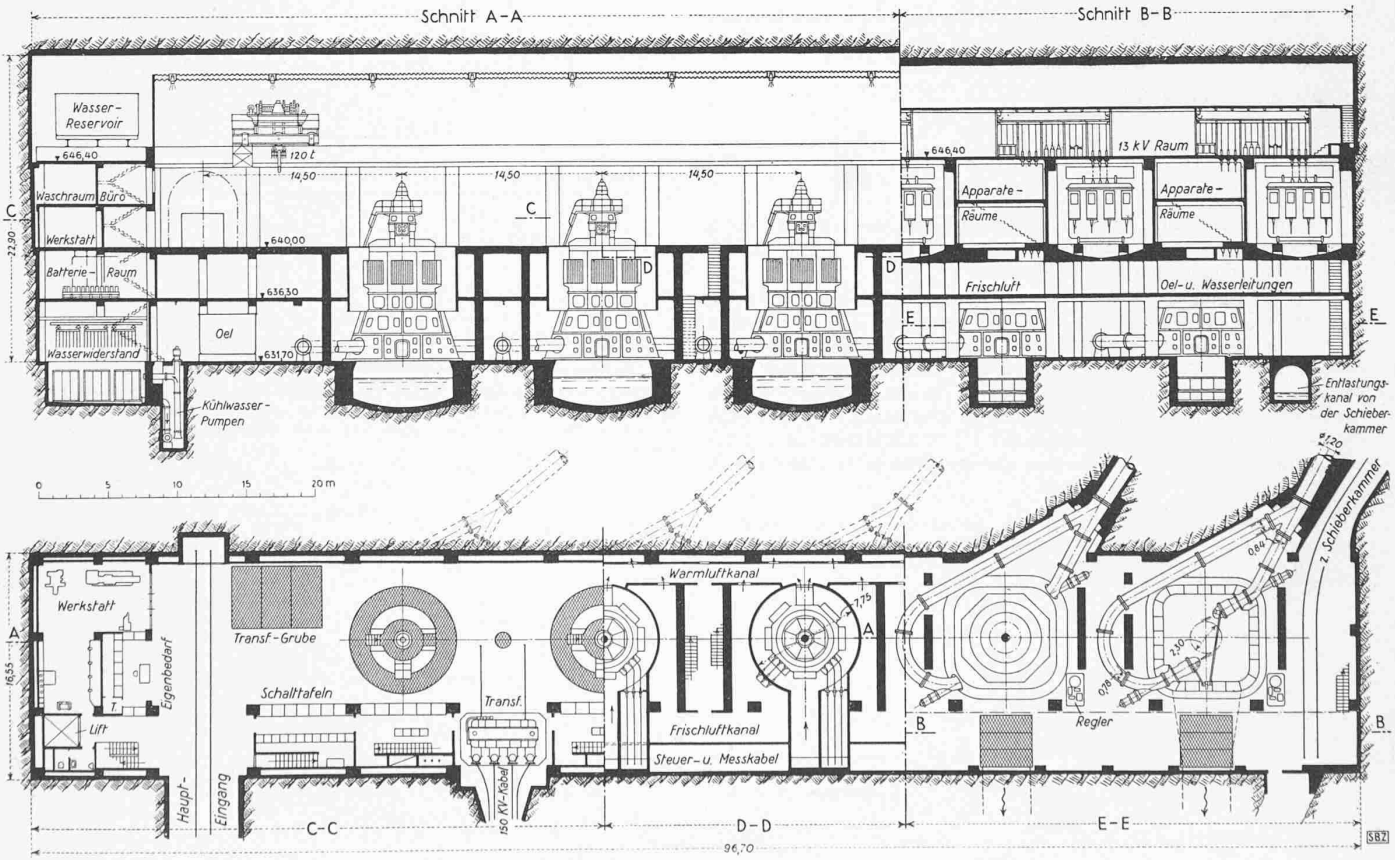

Abb. 28. Zentrale Innertkirchen. Längsschnitt A-B und gestufter Grundriss C-D-E, Masstab 1 : 500