Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 43 (1951)
Heft: 9

Artikel: Projektierung und Bau von unterirdischen Wasserkraftanlagen
Autor: Sonderegger, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-921682

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

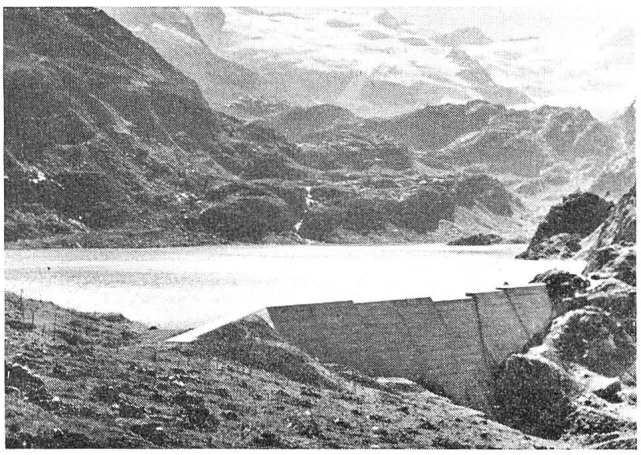
Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.07.2025

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

lagen[1] und über die besonderen geologischen, baulichen und klimatischen Verhältnisse. Wesentlich für den guten Fortschritt der Arbeiten sei vor allem der gute Arbeitsgeist der Belegschaft gewesen. Trotz oder gerade wegen der stets weitergehenden Mechanisierung gebe die Qualität der menschlichen Arbeitskraft immer mehr den Ausschlag. Diese Qualität müsse gepflegt werden durch Pflege des Individuums, damit dieses in der Kollektivität nicht untergehe. Der Arbeiter müsse in erster Linie als selbständig denkender und fühlender Mensch ernst genommen werden, denn nichts sei unserer Kultur, unserer Eigenart und damit unserer Exestenzberechtigung abträglicher als die Vermassung. Über das Verhältnis von Aufwand und Ertrag machte Oberingenieur Bächtold die folgenden bemerkenswerten Ausführungen: «In den vier Baujahren wurden auf den Baustellen des KW Handeck II rund 8 000 000 menschliche Arbeitsstunden geleistet. Die entsprechende Lohnsumme erreichte den Betrag von rund 28 000 000 Fr., also gut einen Drittel der gesamten Bausumme. Rechnen wir die restlichen zwei Drittel, die ja ebenfalls vorwiegend aus Löhnen zusammengesetzt sind, auch in Arbeitsstunden um, so ergibt sich ein totaler Aufwand an menschlicher Arbeit für dieses Werk von rund 24 000 000 Stunden. Diesem Aufwand steht eine Jahresproduktion an elektrischer Energie von 240 Mio kWh gegenüber, entsprechend ungefähr 1500 Mio menschlichen Arbeitsstunden. Wahrlich eine schöne Ernte. Darf der Landwirt mit seiner Saat bei guter Pflege eine fünfzigfältige Ernte erwarten, so können auch wir im Kraftwerkbau feststellen, daß die Natur den menschlichen Fleiß in überreichem Maße belohnt.»

Die heute im Betrieb stehenden Anlagen der Kraftwerke Oberhasli AG verfügen über eine gesamte installierte Leistung von 316 000 kW mit einer mittleren jährlichen Energieproduktion von rund 1050 Mio kWh, wovon rund 440 Mio kWh oder 42% Winterenergie.



Stauanlage Mattenalp unterhalb des Gauligletschers im Urbachtal

Die Grüße und den Dank der bernischen Behörden überbrachte Regierungsrat *S. Brawand*, Baudirektor des Kantons Bern.

Nach dem im Anschluß an die Kollaudationsfeier veranstalteten Bankett sprachen der bernische Regierungspräsident *V. Moine*, Reg.-Rat *Siegenthaler* als Präsident der BKW, Direktor *H. Frymann* als Vertreter von SEV, VSE und SWV,, Nationalrat *Studer*, Burgdorf, im Namen der Unternehmer, Dr. *R. Heberlein* als Präsident des Schweiz. Energie - Konsumenten -Verbandes und Gemeinderat *Dürig*, Sekretär des Oberländer Bau- und Holzarbeiterverbandes als Vertreter der Arbeiter.

Den Teilnehmern an der Kollaudationsfeier wurde eine gediegene, reich illustrierte Festschrift überreicht, die dem Bau des Kraftwerks Handeck II gewidmet ist.

Tö.

[1] Ausführliche Beschreibung des Kraftwerks Handeck II siehe «Wasser- und Energiewirtschaft» 1950, S. 88-91, 127-129 und 166-170.

Projektierung und Bau von unterirdischen Wasserkraftanlagen

Anläßlich der 1950 in New York durchgeführten Jahres-Versammlung der «American Society of Civil Engineers, Power Division» hielt *Joseph D. Lewin* M. ASCE (Civil Engineer, Headquarters Departement, Board of Water Supply) einen Vortrag, betitelt: «*Design and construction of underground hydroelectric power plants*». Vom Verfasser erhielten wir den 30seitigen englischen Text dieser Abhandlung. Wir glauben durch die Veröffentlichung eines diesbezüglichen Auszuges und die Beifügung von Bemerkungen zu dieser Abhandlung einen weiteren Leserkreis für diese aktuellen Fragen interessieren zu können. (Red.)

Angesichts der Tatsache, daß im ganzen schon über 60 unterirdische Wasserkraftanlagen mit einer totalen installierten Leistung von über 7 000 000 PS bestehen, unternimmt der Verfasser den Versuch, in einer Abhandlung die wichtigsten Daten dieser Anlagen zusammenzustellen.

Die erste unterirdische Anlage wurde 1907 in Buchbergmühle in Deutschland in Betrieb genommen, und seither sind über 60 weitere Anlagen fertiggestellt worden oder befinden sich noch im Bau. Solche unterirdische Anlagen kommen in allen Klimas, in allen geographischen Längen- und Breitengraden sowie in allen Höhenlagen über Meer vor. Die installierte Leistung derselben schwankt zwischen 31 PS bei Friedigen in Deutschland bis zu einer Anlagengruppe von total etwa 2 800 000 kW am Snowy River in Australien. Die Druckhöhen schwanken zwischen 5,3 m bei Friedigen und 1062 m bei Tyin in Norwegen und die Betriebswassermengen zwischen etwa 0,4 m^3/s bei Foce Ponale in Italien bis zu etwa 400 m^3/s bei Harspranget in Schweden.

Diese Anlagen wurden in vulkanischen, sedimentären als auch in metamorphen Gesteinen und außerdem sowohl in gesundem Granit als auch in einzelnen Fällen in stark zerklüftetem, ja selbst teilweise verwittertem Felsen erstellt.

In militärischer Hinsicht sind unterirdische Anlagen bedeutend weniger durch Luftbombardierungen verwundbar als oberirdische Anlagen und, sofern sie in genügender Tiefe unter der Oberfläche angelegt sind, sind sie sogar gegenüber der Atombombe immun.

Die Abhandlung besteht aus den folgenden fünf Kapiteln:

I. Allgemeine Prinzipien von unterirdischen Wasserkraftanlagen
II. Hauptmerkmale für die Projektierung von unterirdischen Kraftwerksanlagen
III. Ausführungsmethoden
IV. Vorgespannte Stollenverkleidungen
V. Zusammenfassung

I. Allgemeine Prinzipien von unterirdischen Wasserkraftanlagen

1. Arten von unterirdischen Kraftwerksystemen

Die unterirdische Kraftanlage wird meistens durch die örtlichen topographischen und geologischen Voraussetzungen bestimmt, und sie bildet in diesen Fällen die wirtschaftlichste Lösung des Gesamtproblems. Eine typische Anlage ist das Niva-Projekt in der Nähe von Murmansk. Eine Anlage mit offenem Oberwasserkanal längs dem linken Ufer hätte einen 11 km langen Zufuhrkanal benötigt, während die Variante längs dem rechten Ufer nur eine Länge von etwa 7 km im Tunnel benötigte. Da die Terraingestaltung keine Freiluft-Zentrale zuließ, mußte dieselbe unterirdisch angelegt werden, und zwar konnte sie entweder am Ausfluß in die Kandalaksha-Bucht erstellt werden, was einen 7 km langen Druckstollen benötigt hätte, oder sie konnte ungefähr halbwegs zwischen dem Einlauf und dem Ausfluß in die Bucht gewählt werden, wodurch der Druckstollen nur etwa 4 km lang wurde, mit einem Freispiegelstollen von 3 km Länge als Unterwasserkanal. Die Zentrale ist mit der Außenwelt durch einen vertikalen Zugangsschacht verbunden, der auch als Ventilations- und Kabelschacht dient.

Im Prinzip bestehen zwei verschiedene Typen von unterirdischen Anlagen: mit der Zentrale so nahe als möglich beim Einlauf, d. h. mit einem ganz kurzen Druckstollen und einem langen Unterwasserkanal, wie dies namentlich in Schweden gebräuchlich ist; oder mit der Zentrale in der Nähe der Wasserrückgabe mit einem langen Druckstollen und einem verhältnismäßig kurzen Unterwasserkanal, wie dies namentlich in der Schweiz und in Italien ausgeführt wird. Zwischen diesen beiden Extremen besteht eine beliebig große Anzahl dazwischenliegender Möglichkeiten, wie dies soeben für das Niva-Projekt erwähnt wurde.

2. Hauptsächlichste Merkmale von unterirdischen Anlagen

Im Gegensatz zu den in Amerika gebräuchlichen Gruppierungen einer Wasserkraftanlage, bestehend aus einem langen Druckstollen, Wasserschloß, Druckleitung und Kraftzentrale, scheinen die unterirdischen Anlagen manche wichtige Vorteile zu besitzen.

Die unterirdische Anlage ist in ihrer Gesamtlänge fast immer kürzer und weist deshalb geringere Druckverluste auf; in sehr kaltem Klima wird der Betrieb weniger durch Eisbildung beeinflußt. Die Kosten einer unterirdischen Anlage sind geringer, weil die teuren Druckleitungen durch Druckschächte im Felsen ersetzt werden und weil die unterirdische Zentrale etwa 30 % billiger ist als eine Freiluft-Zentrale. Im weiteren bildet der Felsaushub den größten Ausgabenposten, welcher im Gegensatz zu den gebräuchlichen Druckleitungen, Wasserschlössern und Hochbauten, die alle mit der Zeit erneuert werden müssen, von unbeschränkter Dauer ist. Unterhaltskosten und Abschreibungen sind somit niedriger und bedingen damit einen niedrigeren Gestehungspreis der erzeugten Energie.

Zentralen in der Nähe des Einlaufes werden hauptsächlich in Schweden ausgeführt. Die Zentrale liegt hier fast unmittelbar unter dem Einlauf im Felsen, wodurch das Wasserschloß weggelassen und die Druckleitung durch einen Druckschacht ersetzt werden kann. Die gleiche Belegschaft kann die Zentrale, den Einlauf und den Damm überwachen. In gutem Felsen muß der Unterwassertunnel nicht verkleidet werden. Diese Art der Anlage benötigt dagegen einen vertikalen oder geneigten Zugangsschacht mit Aufzug und öfters eine längere Hochspannungsleitung.

Die Zentrale Innertkirchen ist der Prototyp für Zentralen in der Nähe des Auslaufes. Dieser Typ besitzt einen kurzen, horizontalen Zugangsstollen mit Geleiseanschluß bis in die Zentrale und benötigt keinen Zugangsschacht mit Aufzug. Der Zugangsstollen kann auch als Kabelstollen gebraucht und öfters mit dem Unterwasserkanalstollen kombiniert werden. Wegen des hydraulischen Druckes muß der Druckstollen verkleidet und ebenso muß ein Wasserschloß eingebaut werden.

3. Kostenvergleich

Für eine nicht näher genannte Anlage in den USA kommt Ing. Lewin auf einen totalen Kostenvoranschlag von $ 6 320 750.— für eine oberirdische Zentrale beim Auslauf, gegenüber $ 3 645 500.— für eine unterirdische Zentrale beim Einlauf mit unverkleidetem Unterwasserkanal, wobei die Hauptdifferenzen in den Ausgabeposten für Aushub und Verkleidung bestehen. Für Anlagen mit der Zentrale in der Nähe der Wasserrückgabe ist die Ersparnis nicht so bedeutend. Bei den Kraftwerken Oberhasli betrugen die Kosten für die Zentrale einschließlich Zufahrtsstraße und Unterwasserkanal, aber ohne mechanische und elektrische Ausrüstung:

Für die Zentrale Handeck I
Fr. 2 300 000.— für 120 000 PS oder 19 Fr./PS;
Für die Zentrale Innertkirchen
Fr. 3 450 000.— für 280 000 PS oder 13 Fr./PS.

4. Spannungen im Felsaushub

Die Kosten einer unterirdischen Kraftanlage hängen zum großen Teil von den Kosten des Stollenbaues und in diesem wieder von den Kosten der Stollenverkleidung ab. Bei einem gegebenen lichten Stollenprofil bedeutet eine stärkere Verkleidung naturgemäß auch einen größeren Ausbruch. Die Untersuchung der geologischen und physikalischen Eigenschaften des Felsens sollte deshalb mit großer Sorgfalt geschehen.

Der Verfasser gibt eine kurze Übersicht über die verschiedenen Theorien für die Bestimmung der Felsspannungen und erwähnt dabei speziell zwei experimentelle Methoden, wovon die eine von Prof. Bo Hellstrom ein plastisches Versuchsmaterial genannt «Agar-Agar» und die zweite Methode von Kieser einen etwa 20 bis 30 m langen Probestollen verwendet. Beim zweiten Verfahren wird ein Teil des Stollens unverkleidet gelassen, während der andere Teil mit einer Verkleidung versehen wird. Der Stollen wird dann unter Druck gesetzt und die Deformationen sowohl im verkleideten als auch im unverkleideten Teil bestimmt. Diese Messungen erlauben dann eine Bestimmung der elastischen Eigenschaften des Felsens sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung. Für den Druckstollen des

Kraftwerkes Innertkirchen wurde die Auskleidung in den verschiedenen Gesteinsarten wie folgt gewählt: etwa 3000 m Betonverkleidung, 10 cm stark; etwa 5400 m Betonplatten-Verschalung, 4 cm stark; etwa 1300 m Betonverkleidung, 20 cm stark und endlich etwa 90 m mit einer Verkleidung aus armiertem Beton, 20 cm stark.

II. Hauptmerkmale für die Projektierung von unterirdischen Kraftwerkanlagen

1. Einlauf

Dieser wird auf gleiche Art ausgeführt, wie für oberirdische Anlagen.

2. Druckstollen

Druckstollen werden meistens mit Beton verkleidet, wenn nicht eine eiserne Rohrleitung im Stollen verlegt wird. Die meisten Druckstollen haben kreisrunden Querschnitt, und die Art und Stärke der Verkleidung ist abhängig von der Qualität des Felsens und von der Höhe des Druckes. Diese Verkleidungen sind in der Schweiz und in Italien meistens dünner, als dies in den USA üblich ist. Weitere Ersparnisse und kleinere Reibungsverluste werden durch Verwendung von vorgespannten Verkleidungselementen aus vorfabriziertem und im Dampfbad abgebundenem Beton allerbester Qualität erzielt. Die Wassergeschwindigkeit beträgt im allgemeinen etwa 3 m/s.

3. Wasserschloß

Anlagen bei denen die Zentrale in unmittelbarer Nähe des Einlaufes gelegen ist, benötigen kein Wasserschloß. Bei Anlagen mit einem langen Druckstollen und der Zentrale in der Nähe der Wasserrückgabe ist dieses aber unentbehrlich.

4. Druckschächte und Druckleitungen

Anlagen mit der Zentrale in der Nähe des Einlaufes verwenden meistens je einen Druckschacht pro Turbine, während Anlagen mit der Zentrale am unteren Ende zwischen Wasserschloß und Turbine meistens eiserne Druckleitungen verwenden. Wird nur eine Druckleitung für mehrere Turbinen verwendet, so muß am unteren Ende noch eine Verteilleitung installiert werden. Druckschächte werden wie Druckstollen meistens mit Beton und gelegentlich noch mit einem Stahlrohr verkleidet.

5. Schieberkammern

Bei Anlagen mit der Zentrale beim Einlauf wird der Wasserzufluß mit den Einlaufschützen reguliert, während bei Anlagen mit der Zentrale am unteren Ende noch spezielle Einlaufschieber vorgesehen werden müssen. Sie werden entweder in einer separaten gewölbten Kammer oder in den Verbindungsstollen der Verteilleitung oder in der Zentrale selbst installiert.

6. Zentralen

Je nach der Druckhöhe und den übrigen Verhältnissen werden Francis- oder Peltonturbinen mit horizontaler oder vertikaler Achse verwendet; um an Breite und damit an Spannweite für den Laufkran zu sparen, werden die Hilfsmaschinen meistens am einen Längsende installiert.

Das Maschinenhaus hat ein kreisförmiges oder eliptisches Dachgewölbe und senkrechte Wände. In schlechtem Gestein muß das Gewölbe die ganze Auflast aufnehmen, während in gutem Fels das Gewölbe gelegentlich nur für etwa 25 % des vollen Gesteinsdrucks berechnet wird. Wird das Gewölbe direkt gegen den darüberliegenden Felsen ausbetoniert und dieser noch mit Zement injiziert, so wird noch ein zweites, leichtes Gewölbe eingezogen, das oben mit einer Wasserabdichtung versehen wird. Die Wände werden ausbetoniert, gunitiert oder bei sehr gutem Fels auch unverkleidet gelassen. Die Kranlaufbahnen werden auf Säulen abgestützt, die meistens freistehen.

In Schweden wird der Turbinenboden gegen den vollen Wasserdruck berechnet und die Zentrale wird in wasserdichte Abteilungen unterteilt, während in den italienischen Zentralen der Turbinenboden nur für die Belastung durch das Unterwasser-Vakuum (Unterdruck im Saugrohr) berechnet wird.

Für die Zentrale Innertkirchen wurden durch die Maschinenfabrik Oerlikon sehr kompakte Maschinenaggregate entwickelt, wodurch eine beträchtliche Höhenersparnis erzielt wurde (Innertkirchen 22 m Höhe für Aggregate von 47 500 kVA, gegenüber Canon del Pato in Peru mit 31 m Höhe für Aggregate von 29 250 kW).

Transformatorenanlagen werden entweder unterirdisch in separaten Kavernen parallel zum Maschinenhaus oder dann in üblicher Weise oberirdisch erstellt. Für horizontale Verbindungen zwischen Maschinenhaus und Transformatorenanlage werden wie üblich Kabel verwendet, während für große vertikale Höhenunterschiede wegen des Kriechens der Isoliermasse in den Kabeln vorzugsweise Sammelschienen zur Anwendung gelangen. Die Schaltanlagen werden immer im Freien installiert.

Je nach der Lage der Zentrale wird als Zugang für die Zentrale ein horizontaler Stollen (für Zentralen in der Nähe der Wasserrückgabe) oder ein vertikaler oder geneigter Schacht vorgesehen. Der horziontale Stollen hat den Vorteil, daß er meistens mit Geleiseanschluß versehen werden kann, während ein Zugangsschacht noch mit einem speziellen Aufzug versehen werden muß, der imstande sein muß, die schwersten Stücke zu befördern.

Die Luft für die Ventilation wird meistens durch den Zugangsstollen oder den Zugangsschacht eingeblasen.

Das Innere von unterirdischen Zentralen eignet sich sehr gut für einen gefälligen architektonischen Innenausbau, so daß für das Bedienungspersonal nicht das Gefühl der Beengtheit entsteht.

7. Unterwasser-Tunnels

Die Unterwasser-Tunnels werden nicht als Druckstollen sondern als Freilaufstollen mit hufeisenförmigem oder eiförmigem Querschnitt ausgeführt. Die Wassergeschwindigkeit beträgt etwa 1,8 bis 2,4 m/s. Die Wirtschaftlichkeit der Unterwasserstollen ist hauptsächlich von der Qualität des Gesteins abhängig, da in standfestem Gestein keine Betonverkleidung benötigt wird.

Je nach der Länge des Unterwasserstollens wird dieser für alle Belastungszustände als Freilaufstollen ausgeführt oder er wirkt bei starken Stromstößen als Druckstollen. Im letzteren Falle muß der Anfang des Unterwasserstollens als Druck-Ausgleichskammer aus-

geweitet werden. Bei ganz langen Unterwasserstollen wird dieser nur so groß gemacht, daß er die normale Betriebswassermenge als Freilaufstollen abführt und bei allen anormal hohen Wassermengen als Druckstollen wirkt. In diesem Falle muß ein Wasserschloßschacht und eventuell noch ein Entlüftungsschacht vorgesehen werden.

III. Bau-Methoden

Der Verfasser begründet die scheinbar paradoxe Behauptung, daß unterirdische Anlagen billiger seien im Vergleich mit oberirdischen Anlagen mit der Feststellung, daß in Europa für den Felsaushub wirtschaftlichere Arbeitsmethoden zur Anwendung kommen als in den USA.

1. Stollenbau

Die übliche Methode in den USA besteht im Vollausbruch des ganzen Stollenprofils in einer Operation. Das bedingt schwere Vortriebsinstallationen und einen großen Konsum an komprimierter Luft. Die Verwendung von verhältnismäßig wenigen Bohrlöchern von großem Lochdurchmesser benötigen einen großen Konsum an Sprengstoffen und ergeben ein sehr großes Überprofil.

Der Vollausbruch eines Stollens in einer Operation bedingt einen schwereren Gewölbeeinbau über 180°, gegenüber etwa 120° bei den schweizerischen und italienischen Stollenbaumethoden.

Der Verfasser erwähnt dann die Vorteile der leichten und schnellen Atlas-Knievorschubgeräte und Bohrhämmer mit Sandvik-Coromant-Bohrstahl gegenüber den schweren amerikanischen Jumbos und berechnet, daß für einen bestimmten Fall die Kosten für den Vortrieb eines hufeisenförmigen Unterwasserkanals von 12 m Breite und 12,5 m Höhe in Schweden nur 32.50 Fr./m³ betragen oder etwa ⅓ weniger als in den USA, einschließlich einem Kompensationszuschlag zu den Kosten in Schweden für die niedrigen Arbeitslöhne.

Der Verfasser erwähnt ferner, daß der Ausbruch für die 19,5 m breite Zentrale in Ampezzo, die in Dolomit ausgesprengt werden mußte, nach der üblichen amerikanischen Bauweise unerschwinglich gewesen wäre, gegenüber der angewandten Methode des stufenweisen Ausbruches: 1. Firststollen, 2. Erstellung des Deckengewölbes und 3. Ausbruch des übrigen Teiles der Zentrale. Allerdings wäre dieses Verfahren mit den schweren amerikanischen Jumbos infolge Raummangels nicht anwendbar.

Der Verfasser sieht die Ursache für die hohen Tunnelbaukosten in den USA zum großen Teil in der Art und Weise der Vergebung solcher Arbeiten in den USA, die nach seiner Ansicht für den Unternehmer keinen Ansporn zu wirtschaftlichen Arbeitsmethoden geben.

2. Zentralen

Der Bauvorgang für unterirdische Zentralen in Italien und der Schweiz besteht aus horizontalen Etappen. Zuerst wird der Firststollen ausgebrochen und von diesem aus wird dann das Deckengewölbe erstellt. Dann folgt die Erstellung der Seitenwände und dann der Aushub und der Beton für die Maschinenfundamente und schließlich der Einbau der mechanischen und elektrischen Installationen.

In Schweden wird gelegentlich ein anderes Verfahren angewandt. Vom Unterwasserkanal aus werden die Saugrohre erstellt und von der Oberfläche wird ein enger vertikaler Schacht bis auf die Höhe der Saugrohre abgeteuft und von diesem Schacht aus dann der Ausbruch für die Zentrale — beginnend mit der Decke — vorgenommen. Dies hat den Vorteil, daß der Aushub durch diesen Schacht direkt in große Euclid-Trucks geladen werden kann.

3. Wirtschaftlicher Stollendurchmesser

Trotzdem in Europa eine Anzahl engerer Tunnels erstellt worden sind, so gilt in den USA ein Vortrieb von etwa 4 m Durchmesser als wirtschaftliches Minimum, bedingt durch die gegenwärtig üblichen Abbaumethoden. Dies ergibt dann einen fertigen Stollendurchmesser von 2,70 bis 3,30 m mit 3,00 m als einem guten Mittelwert. Der hydraulische Querschnitt beträgt somit etwa 7 m² gegenüber 12 m² für den Ausbruch, d. h. der Ausbruch ist etwa 70 % größer. Dieses Mehrprofil würde beinahe die Zunahme der Reibung in einem unverkleideten Stollen kompensieren. Dies zeigt den größten wirtschaftlichen Vorteil eines unverkleideten Unterwassertunnels.

Auch der Abstand zwischen den Stollenfenstern ist in Europa und den USA sehr verschieden (Europa 2,5 bis 3 km; USA bis zu 8 km, in letzter Zeit sogar 13 km). Die neuesten schwedischen Stollenbauten weisen eine Länge von etwa 5 km zwischen den Portalen auf.

Der Verfasser benützt dann diese Daten zu einem kritischen Vergleich der zwei verschiedenen Anlage-Methoden (Zentrale in der Nähe des Einlaufes oder in der Nähe der Wasserrückgabe) für unterirdische Kraftanlagen am Kraftwerk Innertkirchen der Oberhasli AG.

Das Kraftwerk Innertkirchen ist ein Schulbeispiel für den Bau der Zentrale in der Nähe des Auslasses. Für den Vortrieb des 10 km langen Druckstollens wurden vier Stollenfenster und für den Druckschacht und das Wasserschloß weitere vier Angriffe benötigt. Wegen des rauhen Bergklimas mit seiner Lawinengefahr war der Zugang zu diesen Stollenfenstern sehr schwierig und teuer. Um die Vortriebe kurz zu halten war es ferner nötig, die Stollen ziemlich nahe an der Oberfläche anzugreifen, was eine größere totale Stollenlänge gegenüber der geraden Linie erforderte.

Im Gegensatz dazu hätte die Erstellung der Zentrale nahe der Wasserfassung unter Verwendung der entsprechenden Stollenbautechnik nach Ansicht Lewins verschiedene Vorteile gezeigt.

4. Schwedische Bohrinstallationen

Der Verfasser gibt in diesem Kapitel eine detaillierte Beschreibung der schwedischen Atlas-Diesel-Bohrmaschinen und des Sandvik-Coromant-Bohrstahls. Die Basis ist Coromant-Bohrstahl. Es ist dies ein 22 mm Sechskantstahl mit einem meißelförmigen Bohrkopf mit 34 mm Schneidenlänge. Ein Bohrer kann total etwa 200 bis 350 m Bohrloch bohren und muß in hartem Granit etwa alle 20 m geschliffen werden.

Für diese Bohrer werden folgende Vorteile geltend gemacht:

1. Die große Widerstandskraft gegen Abnützung ergibt praktisch zylindrische Bohrlöcher. Ein Bohrloch von etwa 5 m Länge, das am Ende noch etwa 32 mm Durchmesser aufweisen soll, kann mit einem Durchmesser von 34 mm begonnen werden gegenüber etwa 60 mm bei gewöhnlichen geschmiedeten Bohrern.

2. Weniger Auswechslungen von Bohrern. Ein Bohrloch von etwa 5 m Länge kann ohne Bohrerwechsel gebohrt werden, gegenüber acht Bohrerwechseln, die am Grundablaßstollen für den Downsville-Damm der Stadt New York benötigt wurden.

3. Größere Bohrgeschwindigkeit. Im harten Granit bis 30 cm per Min., gegenüber 15 bis 23 cm für die üblichen Bohrer.

4. Verwendung der vollautomatischen und doch leichten Bohrmaschinen. Das Vorschubgerät von Ingersoll Rand, Mod. D 505, wiegt etwa 90 bis 120 kg, während der Atlas-Knievorschub nur 15 bis 25 kg wiegt.

5. Das leichtere Vorschubgerät erlaubt eine große Ersparnis an Arbeitskraft. Während das schwere amerikanische Gerät zur Bedienung 2 Mann benötigt, kann ein Mann 2 bis 4 Atlas-Dieselgeräte bedienen.

6. Das Nachschleifen der Bohrer benötigt keine Schmiedearbeit und kein Härten und kann auf der Baustelle ausgeführt werden, wodurch der Transport zur Schmiede und zurück erspart wird.

Diese Vorteile sind besonders augenfällig in hartem Gestein. In Hjalta wurde ein 6 Meter langes Bohrloch in 15 Minuten gebohrt einschließlich einem Bohrerwechsel von 4 zu 7 m Länge. Bei den üblichen amerikanischen Verfahren würde ein Bohrerwechsel alle 45 bis 80 cm nötig, und die gesamte Bohrzeit würde 47 Minuten betragen. Infolge des kleineren Bohrlochdurchmessers, muß weniger Gestein zermalmt werden, was wiederum den Luftverbrauch vermindert. Die Atlas-Diesel-Bohrmaschine benötigt nur etwa ⅓ des Luftverbrauches der Ingersoll Rand-Maschine, Mod. D 505.

IV. Vorgespannte Stollenverkleidungen

Eine Neuentwicklung auf dem Gebiet der Verkleidung von kreisförmigen Stollen bildet die Vorspannung der inneren Betonverkleidung auf eine Druckspannung, die höher ist, als die Zugspannung, die während des Betriebs durch den hydraulischen Druck erzeugt wird.

Die Vorspannung wird entweder vermittelst hochwertigen Stahldrähten oder durch Zementinjektionen in den Zwischenraum zwischen den Auskleidungsplatten und den Felsen erzeugt. Der Schreiber erwähnt hier besonders das Verfahren von Ing. Alois Kieser in Bregenz. Die Kosten dieses Verfahrens gegenüber den üblichen amerikanischen Methoden betragen für die Verkleidung nach System Kieser = 100 %, 133 % für die üblichen Verkleidungen für mittleren Druck und 159 % für hohen Druck.

Der Hauptvorteil dieser Methode liegt aber darin, daß die Stollenverkleidung nie Zugspannungen unterworfen wird und daß sie auch für Stollen unter hohem Druck bei ungenügender Terrainüberdeckung verwendet werden kann.

V. Zusammenfassung

In diesem Abschnitt erwähnt der Verfasser die hauptsächlichsten unterirdischen Anlagen in den verschiedenen Ländern. *H. B.*

Bemerkungen zu diesem Aufsatz

In anregender und übersichtlicher Weise wird die Anlage von unterirdischen Kraftanlagen dargestellt, wobei der Verfasser verschiedene Systeme miteinander vergleicht. Ganz offensichtlich wird der in Schweden gebräuchlichen Disposition ein gutes Urteil ausgesprochen, wonach die unterirdische Zentrale in die Nähe der Wasserfassung tief in den Berg verlegt wird. Dies erfordert keinen oder nur einen kurzen Druckstollen, dafür aber einen langen Unterwasserstollen. Im guten Fels dürfte ein womöglich unverkleideter, als Freilaufstollen wirkender Unterwasserstollen billiger zu stehen kommen als ein Druckstollen, der jedenfalls einen gewissen Wasserdruck aufzunehmen im Stande sein muß. Das Kraftwerk Innertkirchen wird als Prototyp des in Italien und in der Schweiz gebräuchlichen Systems mit der Zentrale in der Nähe der Wasserrückgabe bezeichnet, was einen langen Druckstollen und ein Wasserschloß erfordert. Die schwedische Disposition, die unzweifelhaft große Vorteile bietet, dürfte doch auch Nachteile aufweisen, falls der Unterwasserkanal durch den natürlichen Wasserspiegel beim Auslauf eingestaut wird und falls ein wesentlicher Andrang von Grundwasser in der Zentrale und im Unterwasserstollen zu erwarten ist.

Felsspannungen: Zur Messung von Spannungen im Fels deutet der Verfasser zwei Methoden an: diejenige von Prof. Bo Hellstrom mit einem plastischen Versuchsmaterial Agar-Agar und diejenige von Ing. Kieser mit einem Versuchsstollen. Versuchsstollen sind allerdings schon in den verschiedensten Kraftwerken fast seit Beginn des Kraftwerkbaues ausgeführt und zur experimentellen Untersuchung verwendet worden, so daß der zweite Vorschlag nur in der Versuchsanordnung Neues bietet. Es darf aber nicht übersehen werden, daß der durchfahrene Fels im allgemeinen keine gleich bleibenden Eigenschaften aufweist, sondern mehr oder weniger wechselt, während Probestollen und andere Versuche nur die untersuchten Orte und Strecken aufschließen. Richtigerweise müßten also für sehr viele Stollenstrekken Felsuntersuchungen vorgenommen werden, was in der Praxis nicht möglich ist. Vielmehr muß die Felsverkleidung von Fall zu Fall unter Zuhilfenahme von Erfahrungswerten und Inkaufnahme eines gewissen Risikos bestimmt werden, wobei Resultate aus untersuchten Versuchs-Stollenstrecken wertvolle Hinweise geben.

Baumethoden: Der Verfasser gibt den europäischen Arbeitsmethoden mit einer den angetroffenen Verhältnissen angepaßten Bauweise den Vorzug. Der in den USA gebräuchliche Vortrieb im vollen Ausbruch des ganzen Stollenprofils dürfte jedoch auch in Europa in zahlreichen Fällen seine Berechtigung haben und wird häufig und mit Erfolg angewendet.

Interessant ist der Vergleich der leichten schwedischen Knievorschub-Bohrgeräte System Atlas mit den schweren amerikanischen Jumbo-Bohrmaschinen. Während der Verfasser die Atlas-Bohrhämmer von vornherein befürwortet, dürfte doch für gute Felsverhältnisse und lange Stollen der amerikanische Jumbo Vorteile aufweisen. Auch in der Frage der Bohrgeräte wird die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Systeme von den örtlichen Verhältnissen abhängen.

Ing. Lewin sieht die Ursache für die hohen Tunnelkosten in den USA zum großen Teil in der Art und Weise der Vergebung solcher Arbeiten in den USA, die nach seiner Ansicht für den Unternehmer keinen Ansporn zu wirtschaftlichen Arbeitsmethoden geben. Leider wird über diesen sicher aufschlußreichen Umstand keine nähere Angabe erteilt.

Die Vergleiche der schwedischen mit den amerikanischen Bohr-Installationen und Bohrfortschritten dürften in verschiedenen Teilen zu berichtigen sein, doch handelt es sich mehr um Details, so daß darauf nicht näher eingetreten wird.

Eine *vorgespannte Stollenverkleidung* dürfte wohl hauptsächlich für Fälle gedacht sein, wenn der Fels im Verhältnis zum aufzunehmenden Wasserdruck im Stollen schlecht ist. Nach der Methode von Ing. Kieser besteht die Stollenverkleidung aus einem äußeren Betonmantel und einem innern Kernring. Der Zwischenraum wird durch Injektionen künstlich vergrößert, wobei sowohl der äußere Betonmantel als auch der innere Kernring unter Druck gesetzt werden. Die Druckspannung des inneren Kernringes soll als Vorspannung größer sein als die durch den innern Wasserdruck erzeugte Zugspannung. Der äußere Betonmantel wird somit künstlich unter Druck gesetzt und gegen den (schlechten) Fels gepreßt. Es stellt sich nun die Frage, ob ein schlechter Fels im Stande ist, die Druck-Vorspannung auf die Dauer aufzunehmen. Normalerweise dauern die Kraftwerkkonzessionen 80 bis 99 Jahre. Die Vorspannung muß also während mindestens dieser Zeitdauer sicher vorhanden sein. Man kann sich aber ebenso gut vorstellen, daß der Fels nach kürzerer oder längerer Zeit dem Druck auszuweichen sucht, was gerade im schlechten, nicht standfesten und nicht kompakten Fels durchaus denkbar ist. Dadurch würde aber die Vorspannung und damit der Vorteil der Bauweise nach Ing. Kieser verloren gehen. Nach der Schweiz. Bauzeitung vom 3. 3. 51 wird die Kernringauskleidung nach Ing. Kieser bei den Schluchseewerken in Deutschland und beim Kraftwerk Kops-Vallüla der Illwerke AG in Österreich angewendet. Es dürfte interessant sein, die Erfahrungen dieser Kraftwerke im Laufe der Jahre vernehmen zu können.

A. Sonderegger, dipl. Ing.

Wasser- und Elektrizitätsrecht, Wasserkraftnutzung, Binnenschiffahrt

Die schweizerischen Speicherseen nahezu voll

In den Vorratskammern unserer Energieversorgung befinden sich gegenwärtig größere Energievorräte für den kommenden Winter als je bisher. Alle Stauseen des Landes, die zusammen 1310 Mio kWh fassen können, waren am 20. August zu 96 % gefüllt. Dieser Vorrat ist um 105 Mio kWh größer als der zur gleichen Zeit des Vorjahres. Gleichzeitig stellt er den größten Vorrat an Speicherenergie dar, der je erreicht wurde. Der höchste Stand des Speichervorrates im Herbst 1950 betrug 1236 Mio kWh, während jetzt 1253 Mio kWh «auf Lager» sind. Diese erfreulich gute und frühzeitige Füllung unserer Speicherseen verdanken wir den reichen Niederschlägen der letzten Monate und der großen Schneeschmelze in den Bergen.

Den günstigen Erzeugungsverhältnissen stand allerdings ein stark gestiegener Bedarf nach elektrischer Energie gegenüber. Wir haben heute Tagesverbrauche von 30—31 Mio kWh gegenüber solchen von etwa 26 Mio kWh im Vorjahr, was etwa 20 % mehr ausmacht. Gerade im Hinblick auf die starke Verbrauchszunahme ist es erfreulich, daß der kommende Winter mit gut gefüllten Vorratskammern angetreten werden kann. Der totale Energievorrat aller Speicherseen dürfte jedoch nur etwa 1/4 der im Winter 1951/52 benötigten Elektrizitätsmenge betragen. Der größte Teil auch des Winterenergiebedarfs muß also aus den Laufkraftwerken an den Flüssen gedeckt werden.

(Auszug aus «Elektro-Korrespondenz» vom 25. 8. 51.)

Ausbau des Großkraftwerkes Glockner-Kaprun in Österreich

Der Ausbau der Oberstufe des Kraftwerks Glockner-Kaprun im Salzburgerland, der 500 Mio Schilling erfordert, ist nunmehr finanziell gesichert. Oberhalb des Speichers Wasserfallboden, am Moserboden, wird in 2035 m Höhe ein Stausee von 85 Mio m³ Nutzinhalt entstehen, der durch einen 4,5 km langen Druckstollen zwei Aggregate mit einer Gesamtenergieleistung von 100 000 kW speisen wird. Die jährliche Energieerzeugung der Oberstufe wird 140 Mio kWh (68 Mio kWh im Winter) betragen. Von den 460 Mio kWh des Kraftwerkes der Hauptstufe werden nach dem Bau der Oberstufe 128 Mio kWh vom Sommer auf den Winter verlegt werden können; daraus ergibt sich eine Vermehrung des Winterstrom-Angebotes aus Kaprun von derzeit ca. 100 Mio kWh auf fast 300 Mio kWh.

Nach Abschluß der Arbeiten an der Limbergsperre (Hauptstufe) wird sofort mit der Errichtung der beiden 90 und 85 m hohen Staumauern für die Oberstufe begonnen werden. Die Bauzeit soll vier Jahre beanspruchen. *H. F.*

Das größte Flußkraftwerk Österreichs

Anfangs Juni 1951 ist der zweite Maschinensatz des *Ennskraftwerkes Großraming* in Betrieb gegangen, der eine Leistung von 27 000 kW und ein Arbeitsvermögen von 64 Mio kWh besitzt. Damit ist das größte Flußkraftwerk Österreichs sowohl baulich als auch maschinell vollkommen fertiggestellt. Es weist eine Fallhöhe von 24 m auf und wird im Durchschnitt jährlich 244 Mio kWh liefern. Mit Großraming steht in der Kette der Ennskraftwerke neben den Werken *Ternberg* und *Staning* das dritte mit sämtlichen Maschinensätzen ausgerüstete Kraftwerk für die Energielieferung in das Verbundnetz zur Verfügung. *H. F.*

Italienisch-österreichische Zusammenarbeit im Kraftwerkbau

Der zunehmende Energiebedarf der österreichischen Industrie soll durch den Ausbau der bestehenden Produktionsanlagen und die Errichtung neuer Kraftwerke gedeckt werden. Im Zeichen dieses Vorhabens wurden kürzlich zwischen norditalienischen und österreichischen Elektrizitätsgesellschaften Verhandlungen eingeleitet, welche die Erweiterung der Anlagen von *Daberklamm* im Osttirol zum Gegenstand haben. In *Huben*-Osttirol ist der Bau einer neuen Großzentrale vorgesehen. Die Hälfte der in diesen Anlagen gewonnenen Energie, ungefähr 250 Mio kWh, soll an Italien abgetreten werden, das die Hälfte der 450 Mio Schilling veranschlagten Baukosten übernommen hat. An der Finanzierung soll sich auch die Weltbank beteiligen. (Auszug «NZZ» Nr. 1493 vom 7. 7. 51.)