

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 73 (1955)
Heft: 52

Artikel: Der Durchstich Isère-Arc des Kraftwerks Randens
Autor: Kobilinsky, M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-62043>

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: 27.04.2025

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

teilt. Der geschlossene Ring kommt deshalb nicht in Betracht. Wohl aber lässt sich — allerdings nur bei ganz kleinen Verhältnissen — der geöffnete Ring denken, in dessen Öffnung Kanzel und Abendmahlstisch stehen. Natürlicher ist jedoch der Sektorausschnitt eines Ringes. Es ist die selbstverständliche Gruppierung Angesprochener, die horchen wollen und die, weil sie sich um Gottes Wort versammelt sehen, sich als Gemeinde bewusst werden. Die Aufgabe ist also die, ein Raumgehäuse zu finden, das dieser natürlichen Anordnung entspricht. Soll der Raum über das bloss Zweckhafte hinausweisen, wie man das von einem Kirchenraum erwartet, so liegt die Lösung nicht ohne weiteres auf der Hand. Weder reine Zentralräume noch rechteckige Räume eignen sich. Bei den ersteren wird, namentlich wenn sie gross sind, die Diskrepanz zwischen dem zentripetalen Raumsinn und der auf einen

Abschnitt der Raumperipherie orientierten Gemeinde störend empfunden. Der Raum wurde deshalb in seiner Längsaxe asymmetrisch ausgebildet. Sein Kulminationspunkt liegt ungefähr über dem Abendmahlstisch. Der hier zusammenlaufende Binderstern (Hetzerbinder) unterstreicht die Blickrichtung der Gemeinde. Die Orgel ist im Rücken der Gemeinde eingebaut. Das Licht fällt ausschliesslich von den hochgelegenen Fensterreihen ein. Neben dem Kreuz an der Rückwand ist zeichenhaft das siegende Lamm der Offenbarung dargestellt (Sgraffito von *Giuliano Pedretti*). Der rassige, kupfergetriebene Turmhahn ist eine Arbeit von *Gian Pedretti*.

Ein grosser Beitrag zum guten Gelingen des Werkes ist der überaus lebendigen Zusammenarbeit der Architekten mit der Gemeinde und ihrem Pfarrer *H. Gutknecht* zu verdanken.

P. T.

Der Durchstich Isère-Arc des Kraftwerks Randens

DK 627.842:624.191.2

Uebersetzung des Vortrages von Obering. **M. Kobilinsky** (Electricité de France), gehalten am 10. Nov. 1954 im Zürcher Ingenieur- und Architektenverein

Allgemeine Beschreibung des Kraftwerkes (Bild 1)

Das Kraftwerk Isère-Arc entnimmt der Isère Wasser nach der Einmündung ihres ersten bedeutenden Nebenflusses, des *Doron de Bozel*, unmittelbar unterhalb *Moutiers*. Es nützt das Gefälle aus, das zwischen dem Tal der Isère und dem ihres wichtigsten Nebenflusses Arc besteht, indem es die grosse Schleife, die die Isère südlich Albertville bildet, durch einen grossen, 11,7 km langen Stollen kurzschliesst. Dieser Stollen durchsticht auf etwa 450 m ü. M. eine Gebirgskette, deren höchster Punkt über dem Stollen 2400 m ü. M. liegt. Durch Ableitung der Isère über etwa 45 km entsteht ein Bruttogefälle von 150 m, das, für eine Wassermenge von 100 m³/s ausgebaut, die Erzeugung von 120 000 kW gestattet. Die erzeugte Energie, die im Durchschnitt 450 Mio kWh jährlich erreicht, ist bedeutend höherwertig infolge des Staues von Tignes im obren Tal der Isère. Sie soll später noch aufgewertet werden durch die Erstellung eines Speichers von ungefähr gleicher Grösse im Bassin des Doron de Bozel bei Champagny.

Die *Wasserfassung* bei Aigueblanche besteht aus einer 20 m hohen Staumauer, deren kleiner Stau einem zweistündigen Betrieb der Anlage bei voller Belastung entspricht. Diese Staumauer von bescheidenen Abmessungen hat jedoch

einige Probleme aufgeworfen, einerseits wegen der Notwendigkeit, bedeutende Hochwasser abfliessen lassen zu können, andererseits wegen einer tiefen, durch Alluvium ausgefüllten Kluft. Bei der Ausarbeitung des Projekts haben wir uns zum Teil durch das Wehr von Verbois beeinflussen lassen.

Die Gesamtlänge der *Oberwasserleitung* beträgt 16 km, ihr nutzbarer Querschnitt 32 m². Ihre erste Strecke verläuft auf rd. 6 km längs der Isère, um sodann, auf diese Weise allzu grosse Schwierigkeiten infolge der ungünstigen geologischen Verhältnisse am Rande des kristallinen Massivs der Belledonne vermeidend, dieses durchqueren zu können. Das Wasser durchfliesst zuerst die linke Felsschulter des Wehres in einem kurzen Stollen und dann auf 2500 m einen grossen Schuttkegel in einer Eisenbetonleitung von 6,40 m innerem Durchmesser, dem Hang entlang. Obschon sich diese Arbeit wenig von der Leitung Drac-Romanche¹⁾ unterscheidet, die vor ungefähr 30 Jahren erstellt wurde, so hatte deren Ausführung doch einige Schwierigkeiten zu überwinden, die eine Mergelzone verursachte.

Nun wird der Kanal unterirdisch, und auf 3 km werden verschiedene geologische Formationen durchfahren: Schiefer des Lias, Anhydrite und Rauhwacken der Trias auf der Höhe

¹⁾ Vgl. *W. Sattler* in SBZ Bd. 91, S. 59, 4. Febr. 1928.

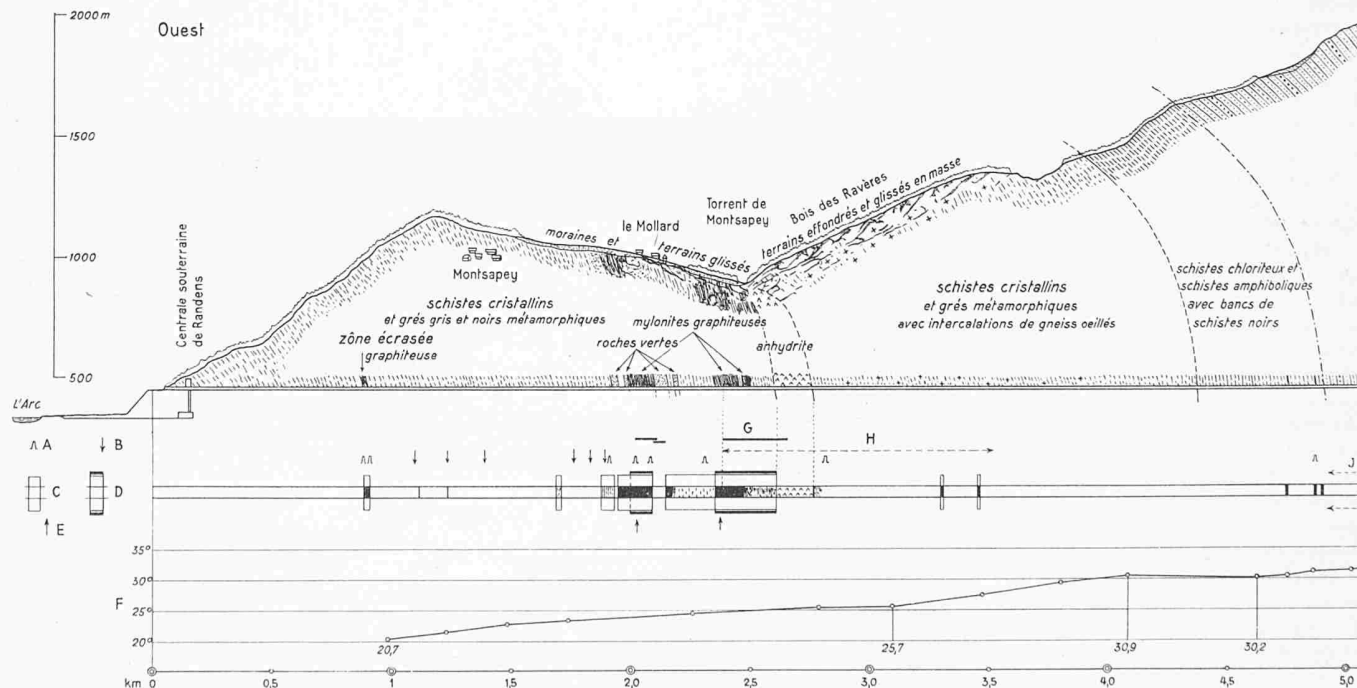


Bild 2a. Geologisches Längsprofil, Masstab 1:30 000

A Kluft, B Wassereinbruch, C Einbau, D sofort Betonieren, E Gebirgsdruck, F Felstemperatur, G horizontale Sondierbohrung, H belgische

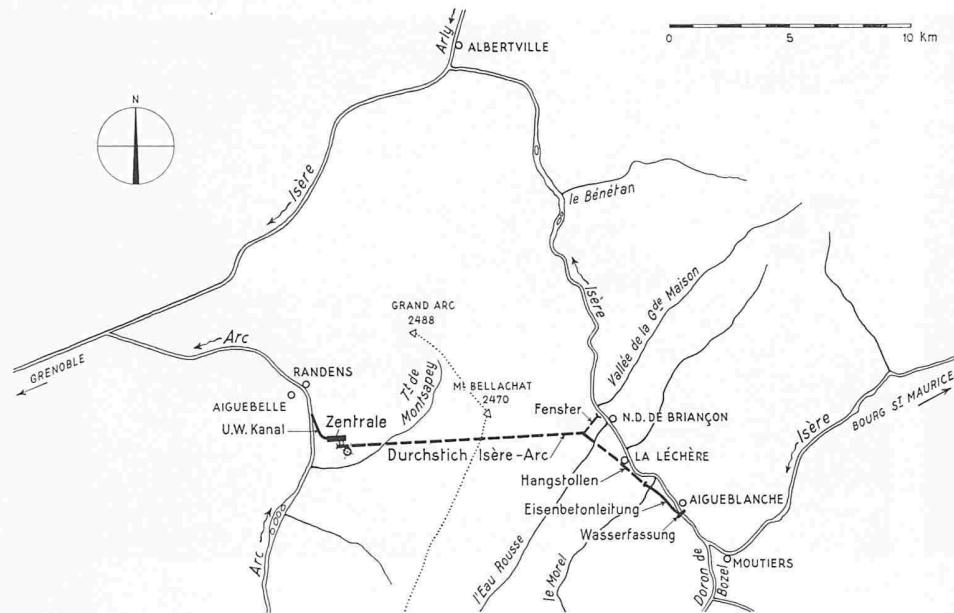


Bild 1. Wasserkraftanlage Isère-Arc, Lageplan 1:300 000

der Thermalstation von La Léchère, und schliesslich kristalline Schiefer.

Erst hier, auf der Höhe von Notre-Dame de Briançon, ändert der Stollen seine Richtung in stumpfem Winkel, um in den grossen Durchstich überzugehen. Er durchquert das Massiv des Grand-Arc und mündet im Tal des Arc oberhalb der Ortschaften Aiguebelle-Randens aus.

Am unteren Ende dieses Stollens befinden sich vollständig unterirdisch ein Wasserschloss von eindrucksvollen Abmessungen, die zwei senkrechten Druckleitungen und die Zentrale. Diese ist mit vier Francis-Turbinen-Gruppen mit senkrechter Achse für eine Totalleistung von 144 000 kVA ausgerüstet. Zwei Transformatoren 10 kV/150 kV sind in der selben Höhlung wie die Gruppen untergebracht.

ten Ueberlagerung von 1950 m der grösste französische Stollen ist und der erste bedeutende Alpendurchstich, der in Europa durchgeführt worden ist, seitdem vor 40 Jahren der Lötschbergtunnel vollendet wurde.

1. Vorstudien und Entschlüsse

Geologie (Bild 2a und 2b)

Der Stollen durchfährt das grosse kristalline Massiv der Belledonne, das sich in NE-SW-Richtung vom Mont-Blanc bis in die Gegend von Grenoble zieht, und das in dem bewegten geologischen Aufbau der französischen Alpen die am meisten homogene und für einen Durchstich geeignete Zone bildet. An seinem SE-Rand ist dieses Massiv von mehreren triasi-

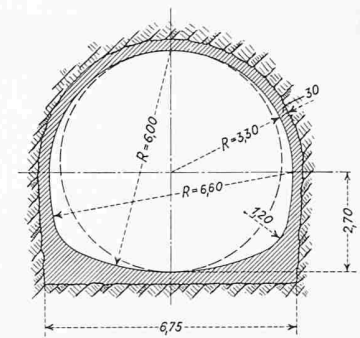


Bild 3. Querschnitt 1:200 des Durchstichs

Schliesslich führt ein Unterwasserkanal von 1 km Länge das Wasser dem Arc durch dessen Alluvialebene zu.

Die Hauptarbeit des Kraftwerkes ist der grosse Stollen unter dem Grand Arc, der mit seinen 11 700 m Länge zwischen Angriffspunkten und einer grössten

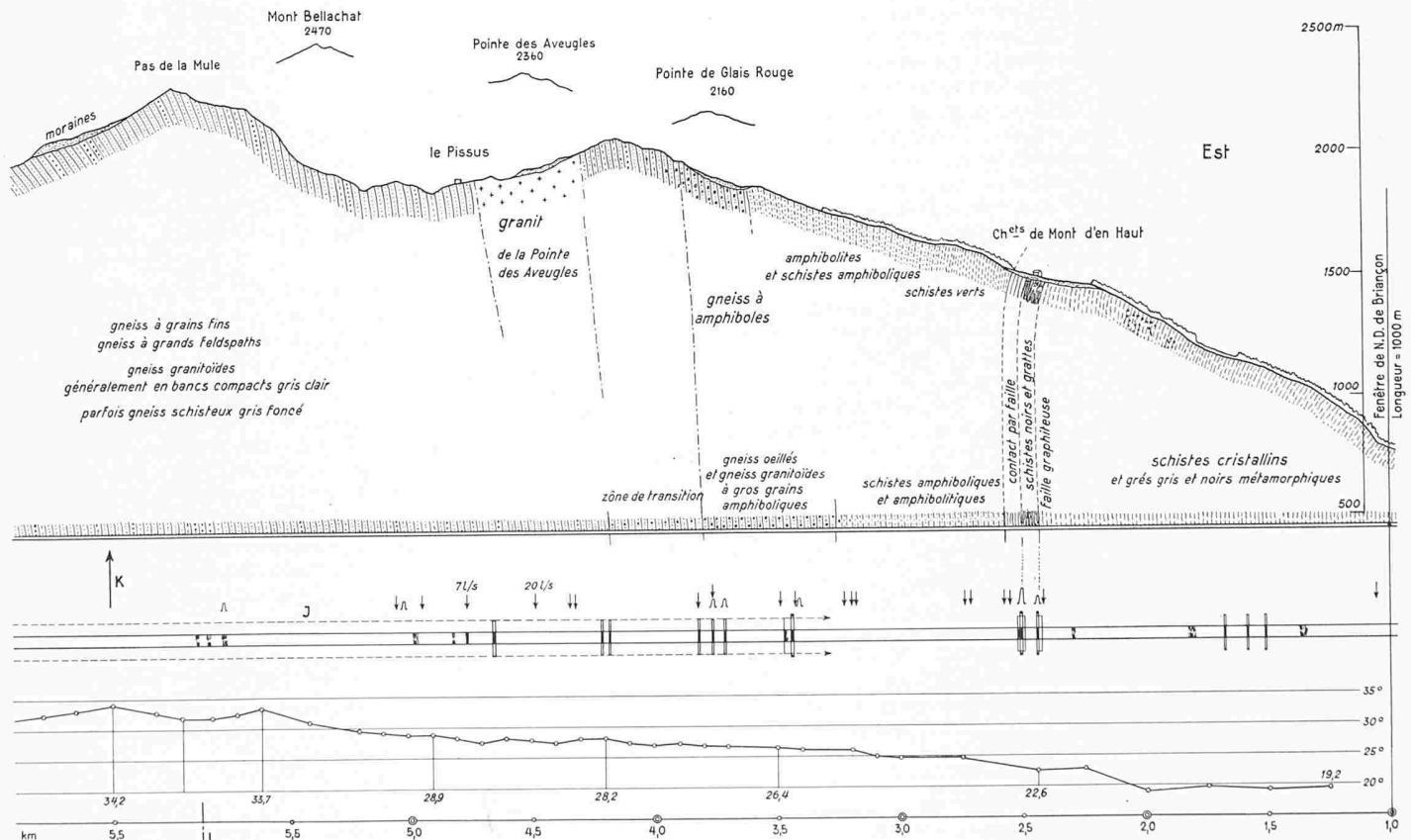


Bild 2b. Geologisches Längsprofil, Masstab 1:30 000

Bauweise, J Verbolzung des Felsens, K Durchschlag, L Mitte zwischen den Portalen

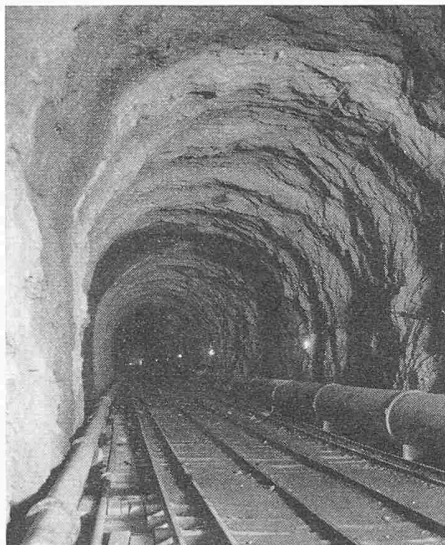


Bild 4. Im Stollen am 19. 10. 49

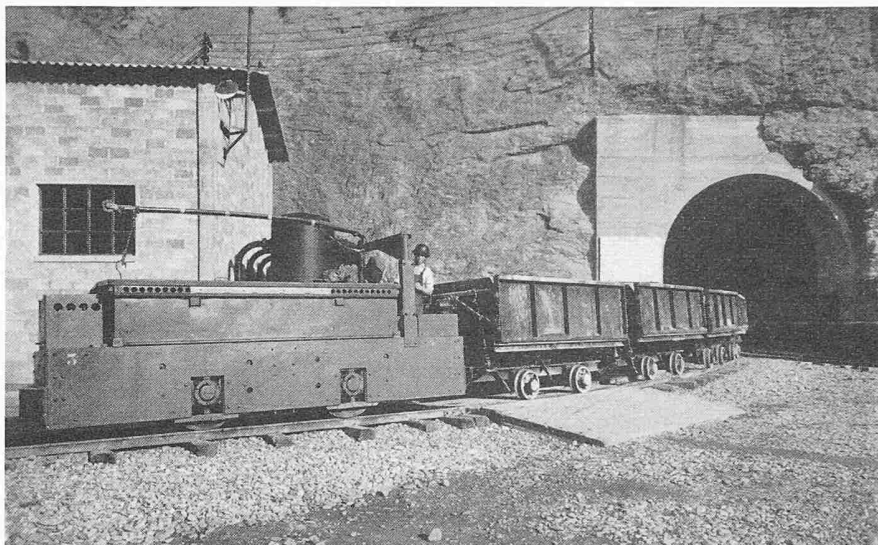


Bild 5. Westportal mit elektr. Traktor und Western-Austin-Wagen

schen Bänken flankiert, die, wo sie das Tal kreuzen, durch Thermalquellen erkenntlich sind, deren wichtigste die von La Léchère ist.

Die Angriffspunkte des Hauptdurchstiches wurden so gewählt, um die Entfernung zwischen den Mundlöchern so kurz wie möglich werden zu lassen und um die erwähnten Trias-zonen zu vermeiden. Es mussten schliesslich auch die Möglichkeiten, Installationsplätze einzurichten und Raum für die Ablagerung des Ausbruches zu finden, berücksichtigt werden, die besonders auf der Seite der Isère beschränkt sind. Diese Erwägungen erklären das Knie von rd. 120° des Stollens und seine Inangriffnahme von Notre-Dame de Briançon aus durch ein Fenster von 1000 m Länge.

Die Berichte der Geologen, der Professoren *Gignoux* und *Moret* sowie der geologischen Abteilung der EDF hatten darauf hingewiesen, dass das Kristallin hauptsächlich aus Glimmerschiefern mit einigen weicheeren Zonen, und in der Mitte des Stollens vielleicht aus Granit bestehen würde. Als Hauptschwierigkeit wiesen sie auf die Möglichkeit der Durchquerung einer Synklinale hin, der Synklinale des Basmont-Passes, die möglicherweise aus Carbon und Trias bestehen könnte. Es schien ziemlich wahrscheinlich, dass in der Tiefe diese Formationen ausgewalzt sein würden. Diese Voraussetzungen erwiesen sich als verhältnismässig richtig, besonders was die Synklinale anbelangt; diese erschien nur als Kontaktzone zwischen bunten und grünen Schiefern. Dagegen stiess der Vortrieb auf der Westseite bei Km. 2,600 auf eine Anhydritzone von über 100 m Mächtigkeit, die man nicht erwartete, da sie nirgends zutage tritt.

Günstig für die Bauausführung war der gleichmässige Verlauf der Schichten durch das ganze Gebirgsmassiv, das der Stollen durchquert. Ihr Streichen bildet mit der Stollenaxe einen Winkel, der nirgends kleiner als 70° ist. Ihr Fallen beträgt ebenfalls nie weniger als 70°. Die Schichten hängen auf beiden Seiten leicht über, d. h. sie bilden einen nach oben offenen Fächer.

Die Arbeitsmethode

Der Entschluss, diesen grossen Durchstich auszuführen, der ermöglichen sollte, die Wasserkraft einer Strecke der Isère auszunützen, deren schwaches Gefälle es bisher nicht gestattete, beruhte auf den Auskünften, die wir gleich nach der Befreiung über die grosse Leistungsfähigkeit der Geräte erhielten, die besonders in den USA und in Schweden den Vortrieb mit grossen Querschnitten ermöglichten.

Um die Anwendung solcher leistungsfähiger Geräte zu ermöglichen, wurde für den Stollen ein hufeisenförmiges, leicht gedrücktes Profil gewählt, das dem Unternehmer eine Fahrbahn von 7 m Breite gewährte (Bilder 3 und 4). Natürlich wurde die Möglichkeit offen gelassen (und davon auf einer Strecke von 200 m Länge auch Gebrauch gemacht), in Druckstrecken eine kreisförmige Verkleidung einzuziehen. Die Rücksicht auf die hohe Ueberlagerung brachte es mit sich, es so einzurichten, dass Widerlager und Kalotte syste-

matisch wenige hundert Meter hinter «vor Ort» betoniert werden konnten, ohne den Vortrieb aufzuhalten. Zugleich verkürzte man so die Arbeitsfrist und die entsprechenden Bauzinsen. Die Abmessungen des Stollens ermöglichten es, dieses Ziel zu erreichen, obgleich dies gelegentlich eine recht heikle gegenseitige Anpassung der Geräte erforderte, von denen die einen durch die andern durchgeführt werden mussten. Das Ausbruchprofil des Stollens hat einen Querschnitt von 43 m², das Lichtprofil für eine Wassermenge von 100 m³/s hat einen solchen von 32 m².

Die hydraulische Bestimmung dieses Alpendurchstiches, der wohl der erste zu diesem Zwecke erstellte ist, gestattete nicht, ein beidseitig ansteigendes Längsprofil zu wählen, da die Entlüftung des inmitten des Gebirges liegenden Höchstpunktes unmöglich oder vielmehr zu kostspielig gewesen wäre. Der Stollen hat ein gleichmässiges Gefälle von 1,3 ‰. Die obere Vortriebsstrecke verläuft somit absteigend, und es ergibt sich schliesslich zwischen Stollenansatz und «vor Ort» ein Höhenunterschied von 8 m. Es musste daher eine Pumpenausrüstung angeschafft werden, die es gestattet hätte, bis 500 l/s durch eine Leitung von 600 mm Ø in der betonierten Strecke und 250 mm Ø bis vor Ort abzuführen. Auf der unteren Vortriebsseite wurde in der Nähe des einen Widerlagers ein Kanal erstellt, der 800 l/s geschluckt hätte. Nun wurde aber gerade auf dieser Seite kein Wasser angeschlagen, während auf der oberen Seite, wo die Ableitung weniger einfach war, Wasser angeschlagen wurde, dessen Menge insgesamt jedoch 100 l/s kaum überstieg.

Die Ventilationsanlage gestattete die Einführung von 12 m³/s Frischluft bis auf 6 km. Prof. C. Andrae hatte eine Gesteinstemperatur von über 35° C berechnet. Diese leistungsfähige Lüftung war das beste Mittel, um die Temperaturen in den Arbeitsorten herabzusetzen.

Zur Zeit der Vorstudien wurde auch die Erstellung eines Parallelstollens erwogen, wie er sich am Simplon bewährt hatte. Diese kleine Stollen wäre nur neben der oberen (östlichen) Vortriebsstrecke — ansteigend — vorgesehen worden, um einerseits angeschlagenes Wasser natürlich abfliessen zu lassen, anderseits um für diesen Vortrieb einen Luftkreislauf herzustellen, da nach der äusseren Form des Gebirges die höheren Temperaturen auf dieser Seite zu erwarten waren. Dieser Stollen hätte jedoch eine Versicherung bedeutet, deren Prämie als zu hoch befunden wurde, weshalb man auf seine Ausführung verzichtete. Wir hatten das Glück, diesen Entschluss nicht bereuen zu müssen.

2. Vortrieb im guten Gestein

Die Baugeräte

Für dieses Bauwerk, von dessen Vollendung die Inbetriebnahme eines so bedeutenden Kraftwerkes abhing, überwogen die Vollendungstermine alles andere. Erste Bedingung waren daher leistungsfähige Einrichtungen für die Schutte-

rung und rasche Förderung des Ausbruchmaterials selbst bis aus einer Entfernung von 6 km vom Mundloch.

Die *Schutterung* erfolgte mit amerikanischen Conway-Baggern 75. Die Berge lud man in Western-Austin Wagen von 4 m³ Inhalt, die in Zügen von 10 und mehr Wagen durch elektrische, 10 t schwere Traktoren befördert wurden (Bild 5). In der verkleideten Stollenstrecke beziehen diese den Strom durch Stromabnehmer von einem Fahrdrabt, in der Arbeitsstrecke aus Akkumulatoren. Das Geleise von 1 m Spurweite bestand aus Schienen von 30 kg/m. Es bestätigte sich neuerdings, dass ein tadellos gelegtes Geleise eine Hauptbedingung für ein gutes Vortriebstempo ist.

Für die *Bohrung* hatte die Unternehmung anfänglich die Verwendung von leichten Atlas-Hämmern von 20 kg mit pneumatischem Vorschub und Coromantbohrern vorgesehen. Das auf 4-m-Spur-Geleise rollende Bohrgestell (Jumbo) besass zwei Plattformen und war zuerst ein Rohrgerüst, das sich aber bald unter den Erschütterungen von 14 bis 18 Hämmern, die gleichzeitig arbeiteten, als zu schwach erwies und durch ein solches aus Profileisen ersetzt werden musste. Während der Arbeit ersetzte die Unternehmung Borie auf der Ostseite die leichten Bohrhämmer durch 12 schwere D. A. 35 auf «Boom» (Bild 6), was Gelegenheit bot, die amerikanische und schwedische Methode zu vergleichen. Es war kaum möglich, zu Gunsten der einen oder andern zu entscheiden. Im harten Gestein haben die schweren Hämmer eine Bohrgeschwindigkeit, die doppelt so gross sein kann wie die der 20 kg-Hämmer. Sie gestatten auch grössere Löcher zu bohren, die mehr Sprengstoff aufnehmen und deren Zahl daher kleiner wird. Die leichten Hämmer hingegen nehmen weniger Platz ein und können in grösserer Anzahl angesetzt werden. Man kann übrigens vorteilhaft, ohne die Handlichkeit zu verringern, etwas schwerere, z. B. 25 kg-Hämmer verwenden, und so die Bohrgeschwindigkeit bemerkenswert vergrössern. Der Hauptvorteil der leichten Hämmer ist aber der geringere Druckluftverbrauch. Soll ein Schluss gezogen werden, so ist den schweren Hämmern der Vorzug zu geben, wenn das Gestein hart ist und die Vollendungstermine überwiegen. In weicherem Gebirge dagegen, oder wenn, wie im Hochgebirge, besonders eine Beschränkung der Installationen erwünscht ist, bieten die leichten Hämmer einige Vorteile. Im vorliegenden Falle haben beide befriedigt, da auf der Seite, wo die D. A. 35 arbeiteten, Gneis, auf der Atlasseite dagegen weichere Schiefer zu durchbohren waren.

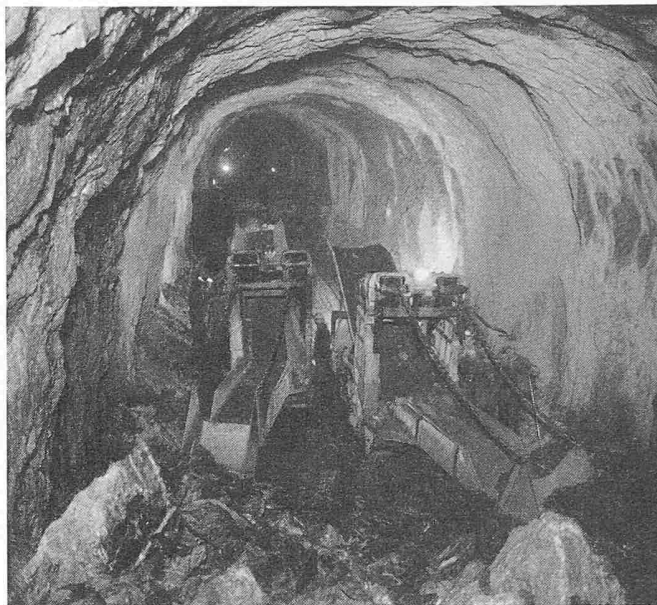


Bild 7. Die beiden vor Ort nebeneinander arbeitenden Conway-75-Bagger

Endlich sei erwähnt, dass es auf Grund einer Sonderbewilligung möglich war, durch ein bewehrtes Kabel elektrischen Strom von 15 000 V in den Stollen zu bringen. Dieser wurde im Stollen transformiert: auf 220 V für die allgemeine Beleuchtung und die Pumpen, auf 48 V für die Beleuchtung der Arbeitsorte, auf 275 V Gleichstrom für den Fahrdrabt durch in Abständen von rd. 2000 m aufgestellte 110 kW-Gleichrichter. Hauptsächlich aber diente dieses Hochspannungskabel zur Speisung des 15 000/380 V-Transformators für die Conway-Bagger, der in einer Nische aufgestellt war und dem Bagger in Sprüngen von etwa 800 m folgte.

Ablauf eines Abschlages

Es ist von Interesse, den Verlauf der einzelnen Phasen eines Abschlages näher zu betrachten; denn ein befriedigendes Vortriebsergebnis ist schliesslich von einer Reihe unscheinbarer Einzelheiten abhängig.

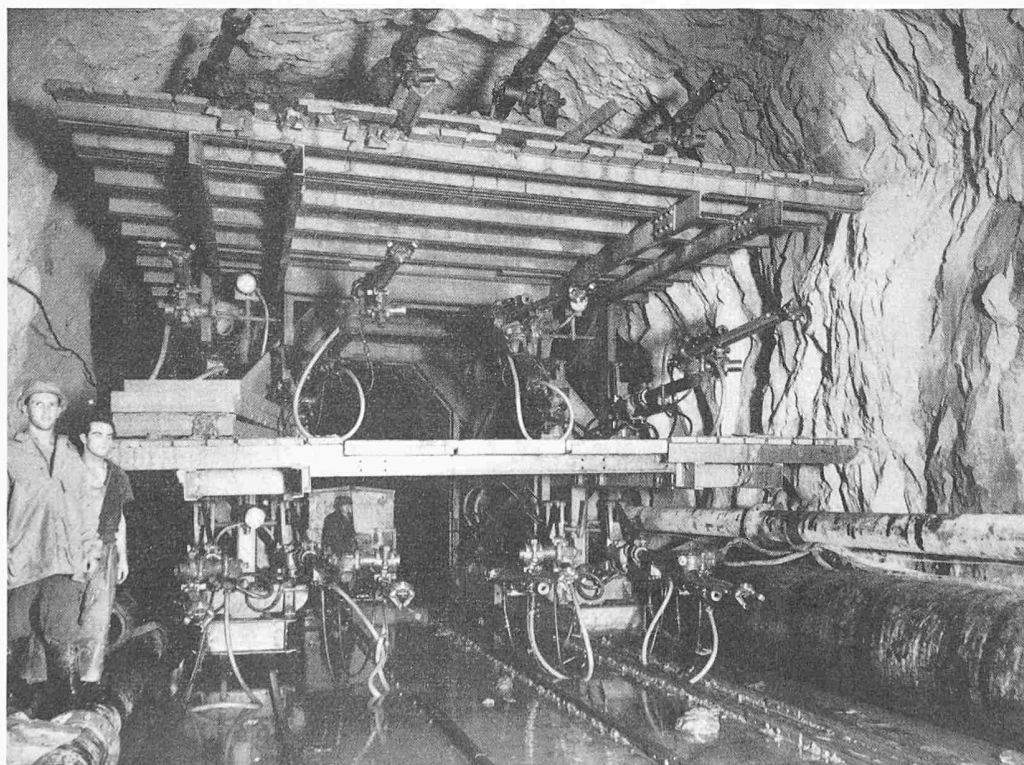


Bild 6. Bohrgestell mit zwölf DA-35-Hämmern (Ostseite)

Die Abschlagentiefe betrug 3 m. Es wurde versucht, bis auf 4 m zu gehen, jedoch ohne Vorteil, so dass man immer wieder auf 3 m zurückkam. Nach Versuchen mit verschiedenen Anordnungen der Bohrlöcher wurde schliesslich eine solche mit einem Einbruch aus zwei Reihen fächerförmig angeordneter Bohrlöcher gewählt, die den Vorteil bietet, das Einbruchgestein nicht allzuweit zu schleudern und ein ausgezeichnetes Sprengergebnis zu erzielen. Bei jedem Angriff wurden jeweils 60 bis 75 Löcher gebohrt. Die Zündung erfolgte elektrisch. Die Verwendung von Tausendstelsekundenkapseln mit sehr rascher Abstufung hat sich in härtesten Gesteinen bewährt, wo dadurch die Zerkleinerung verbessert wird.

Der grösste Leistungsgewinn durch eine Reihe kleiner Verbesserungen ist bei der Schutterung erreicht

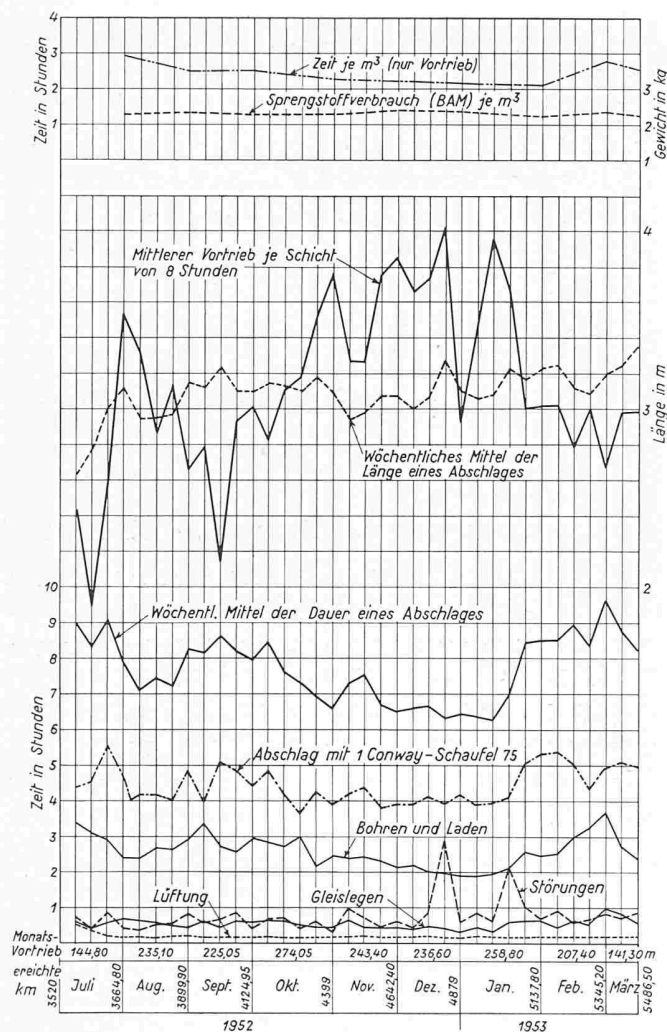


Bild 8. Arbeitsleistungen je Abschlag auf der Westseite



Bild 9. Betonieren im April 1951

worden. Der Conway-Bagger konnte nicht die ganze Breite der Vortriebsfront erreichen. Es wurden daher vor Ort vier Schienenstränge in Abständen von je 1 m gelegt, die so zwei Geleise bildeten, auf denen zunächst der Conway-Bagger nacheinander arbeitete. Etwa 250 m weiter hinten vereinigen sich beide Geleise eine kurze Strecke lang zu einem. Während des Schutterns wurde der Jumbo bis dorthin zurückgefahren und die Züge fuhren unter ihm auf dem einen Geleise durch. Anfänglich wurden die Weichen dieser Eingeleisestrecke zum Auswechseln der vollen Wagen gegen leere verwendet. Dieser Wechsel erwies sich aber bald als viel zu langsam, weshalb eine Art Schiebebühne eingerichtet wurde, die ermöglichte, die leeren Wagen von Hand von einem Geleise auf das andere zu bringen. Diese leichte und leicht zu handhabende Schiebebühne folgte täglich dem Vortrieb, von dem sie nur 30 bis 40 m entfernt war. Sie erlaubte ein sehr rasches Auswechseln der Wagen in weniger als einer Minute.

Ein grosser Fortschritt wurde dann durch die Verwendung zweier gleichzeitig nebeneinander arbeitender Conway-Bagger erzielt (Bild 7). Das Höllentempo der beiden Bagger und der Wagen, von denen alle zwei Minuten einer gefüllt war, konnte nur dank Verwendung automatischer Kupplungen erreicht werden. Andere Verbesserungen ergaben sich z. B. durch Auskuppeln des Förderbandes, so dass der Baggerführer während des Wagenwechsels weiter schaufeln konnte, sowie durch eine ineinanderschleppbare Kupplung zwischen Wagen und Bagger, die ermöglichte, die Wagen besser zu füllen. Alle diese kleinen Vervollkommnungen und die zunehmende Gewandtheit der Baggerführer haben dazu geführt, die durchschnittliche Leistung einer Schaufel, die im ersten Jahre 40 m³/h betrug, auf 60 m³/h zu erhöhen. Die gleichzeitige Verwendung von zwei Baggern gestattete eine mittlere Leistung von 80 m³/h; die Dauer der Schutterung eines 3 m tiefen Abschlages konnte von 4 auf 3 Stunden herabgesetzt werden.

Die Belegschaften, die alle 8 Stunden vor Ort abgelöst wurden, bestanden durchschnittlich aus 30 Mann. Sie besorgten den ganzen Ausbruch vom Vortrieb bis zum Ablad. Eine vierte, ungefähr gleich starke Schicht — Tagesschicht — besorgte das Legen und den Unterhalt des Geleises, der Rohrleitungen, der Kabel und den Unterhalt der Geräte.

Diese Organisation gestattete in gutem Gebirge, einschliesslich Bergschlagstrecken, Tagesfortschritte von 12 m zu erreichen. Der grösste Monatsfortschritt betrug 275 m im Oktober 1952, d. h. 10,50 m je Arbeitstag. Im letzten Jahre wurden auf beiden Seiten zusammen 4800 m aufgeföhren, d. h. 200 m im Monat auf jeder Seite oder durchschnittlich 8 m im Tag. Die Dauer eines Abschlages von 3 m schwankte zwischen 6 und 9 Stunden, je nach Dauer der Zwischenfälle und des Abputzens des Felsens, das bei Vollvortrieb äusserst wichtig ist.

Das Diagramm Bild 8 zeigt die Entwicklung der einzelnen Phasen eines Abschlages während einer Periode, in der das Gebirge keine besonderen Schwierigkeiten bot. Der Sprengstoffverbrauch betrug 1,3 kg/m³ in den Schiefern und 1,8 kg/m³ im Gneis. Verwendet wurde Dynamit mit 60 und 27 % Nitroglycerin. Die Anzahl Arbeitsstunden pro m³ war 2½ bis 3 Stunden. Das Ueberprofil ging 25 bis 35 cm über die Spitzenlinie hinaus.

Die Betonierung

Die Betonierung der Widerlager und des Gewölbes folgte dem Vortrieb auf 500 bis 1000 m Entfernung. Die einziehbaren eisernen Lehrbögen (Bild 9) wurden auf betonierten Sockeln aufgestellt, und die im Freien trocken zubereiteten Betonmischungen wurden unter die portalförmige Tragkonstruktion von zwei 750-l-Mischmaschinen geföhren. Nach Beendigung der Mischung wurde der Beton mittels eines Druckkessels von 750 l hinter die Schalungen beföhrt.

Die Hauptschwierigkeit bestand darin, dass die Durchfahrt nach «vor Ort» nicht gesperrt werden durfte. Dies wurde durch genaues Aufzeichnen der verschiedenen Geräte, die einander mit einem Spiel von nur wenigen Zentimetern durchfahren mussten, erreicht. Die Fortschrittsgeschwindigkeit des Betonierens hat nie Schwierigkeiten bereitet. Es

wurden auf beiden Seiten bis je 20 m im Tag, entsprechend der vorrätigen Länge an Schalungen, erstellt.

Hinter der Betonierung folgten die Injektionen. Diese wurden in zwei Gängen ausgeführt. Zuerst hat man die Hohlräume hinter der Kalotte mittels einer Zementkanone ausgefüllt, worauf noch eine Zement-Feinsandmischung eingepresst wurde, um die Verkleidung mit dem Fels eng zu verbinden. Der Materialbedarf betrug etwa 1 t pro m Tunnellänge, wovon rd. 400 kg Zement.

Als letzte Arbeitsstufe folgte das *Einziehen des Sohlgewölbes*, dessen Krümmungsradius 6 m betrug. Anfänglich wurde dafür die Anwendung einer Metallschalung versucht, doch erkannte man bald, dass Formgebung und Abglätten von Hand am besten und schnellstens ging. Auf diese Weise konnten auf jeder Seite über 1000 m Sohlgewölbe im Monat erstellt werden. Zu diesem Zwecke wurden zwei Arbeitsschichten eingesetzt, die die gleichen Installationen benützten, die für die Verkleidung gedient hatten. Eine dritte Schicht war mit dem Putzen des Sohlgewölbes beschäftigt, dessen Schutt zuvor mit einer Pinguely-Schaufel geladen worden war.

Das waren die hauptsächlichsten Arbeiten, die, nachdem die Leute eingearbeitet waren, und solange das Gebirge günstig war, sich mit grosser Regelmässigkeit abwickelten. Es sind aber noch die Schwierigkeiten zu beschreiben, die, wenn sie auch nicht das riesige Ausmass derer erreichten, die z. B. im Simplon überwunden werden mussten, doch schwierige Probleme aufwarfen, die zu interessanten Lösungen führten. Sie haben namentlich die Bauzeit verlängert, indem der Durchstich von 11 700 m 44 Monate erforderte.

3. Schwierigkeiten und deren Lösung

Durchfahrung der mylonisierten Zone

Die Hauptschwierigkeit entstand durch das Anfahren mylonitischer Schiefer zwischen Km. 2,000 und 2,500 der Westseite. Als diese Seite nach vielversprechenden Anfängen im Juli 1950 Km. 2,000 erreichte, wurden nach und nach die Schiefer immer weicher und zeigten graphitische, glänzende Gleitflächen. Zuerst wurden Toussaint-Heintzmann-Rahmen eingezogen, die sich als ungenügend erwiesen, denn es trat starker Druck zuerst in der First, dann auch an den Ulmen auf, wo die Hufeisenform des Stollenquerschnittes die Rahmen besonders empfindlich machte. Man stellte den Vortrieb ein, um zuerst eine Strecke von 40 m zu verkleiden. Unterdessen wurde «vor Ort» eine Sondierbohrung von 90 m ausgeführt, die zeigte, dass nach 50 oder 60 m das Gebirge wieder gut würde.

In Anbetracht der Schwierigkeiten und der Verzögerung der Vollendungstermine, die ein Uebergang zur klassischen Bauweise mit Richtstollen zur Folge gehabt hätte, wurde beschlossen, die 60 m im Vollvortrieb zu durchfahren, wobei schwere Rahmen aus Breitflanschprofilen von 36 und 44 kg/m in genügender Anzahl eingezogen wurden, die allein gestatteten, das Lichtraumprofil offen zu halten, das zum Durchbringen der Geräte erforderlich war. Sobald diese Strecke durchfahren und eingebaut war, wurde sofort, bevor die Rahmen zu sehr deformiert waren, die Verkleidung in Eisenbeton ausgeführt. Während dieser Arbeit war es nicht möglich, den Vortrieb fortzusetzen.

Nach anfänglichen Versuchen, durch die mehrere Wochen verloren gingen, gelang es auf diese Weise, etwa 1 m fertigen Stollen im Tag zu erstellen. Das war wohl wenig, aber sobald wieder besseres Gebirge erreicht war, konnten ohne weiteres alle Geräte wieder eingesetzt und die gewohnte Leistung sofort wieder erreicht werden.

Leider war die Besserung keine dauernde. Bald mussten wieder schwere Rahmen eingezogen werden. Immerhin genügten sie, um dem Druck standzuhalten, bis die Betonierungsanlage diese Strecke verkleiden konnte, ohne dabei den Vortrieb aufzuhalten.

Im März 1951 konnten auf diese Weise, trotz Einziehen von 80 schweren Rahmen, 140 m aufgefahren werden. Aber im April, kurz vor Km. 2,400, wurde das Gebirge wieder sehr graphitisch, und man musste den Vortrieb einstellen, um die letzten 40 m zu verkleiden (Bild 10). Dies wurde wieder dazu benützt, um in etwa einem Monat eine horizontale Sondierbohrung, dieses Mal von 260 m, auszuführen. Die Bohrung zeugte von sehr schwachem Gebirge ausser den letzten



Bild 10. Vollausbuch in Mylonit; Westseite Km. 2,370

Kernen, die, sehr überraschend und gegen alle Erwartung, Bohrkerne aus schönem Anhydrit waren. Dieses Mal schien man vor einer langen schlechten Strecke zu stehen. Es war Trias zu durchfahren, von der man weder die Standfestigkeit kannte, noch mit der Bohrung das Ende erreicht hatte. In Anbetracht dieser Unsicherheit schien es nicht möglich, den Vortrieb mit dem ganzen Querschnitt fortzusetzen. Das Gebirge hatte sich — um einen Ausdruck von Prof. Andreae zu gebrauchen — gerächt, und am 1. Juli 1951 begann bei Km. 2,400 der klassische Vortrieb eines Richtstollens.

Dieser musste allerdings der Lage angepasst werden. Um das Geleise und die Wagen ohne Umlad benützen zu können, wurde ein Sohlstollen von 14 m² vorgetrieben, in dem mit einem Eimco-Bagger gearbeitet werden konnte (Bild 11). Es folgte ein Firstschlitz und hierauf der Ausbruch der Kalotte, die durch die gleichen polygonalen Rahmen gestützt wurde. Nach Einziehen des Gewölbes wurden in abwechselnden Längen von 6 m die Widerlager und das Sohlgewölbe erstellt.

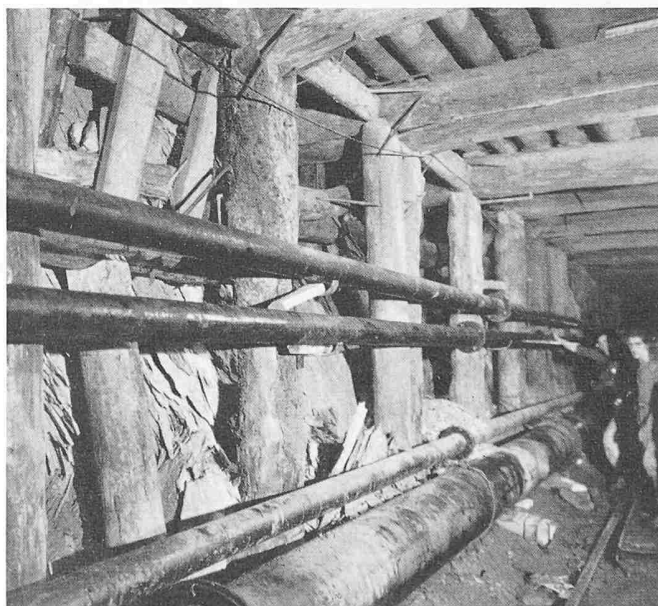


Bild 11. Richtstollen Westseite Km. 2,500

Trotz ausgezeichneter Organisation hatte dieser Wechsel der Bauweise grosse Zeitverluste zur Folge. Es wurden acht Monate notwendig, um 220 m fertigen Stollen bis zum Beginn des Anhydrits zu erstellen. Dieses erwies sich als sehr standfest, und da der Sohlstollen unterdessen 900 m weit in gutem Gestein vorgetrieben worden war, entschloss man sich, wieder mit dem ganzen Querschnitt vorzugehen, was nun auf ungefähr 700 m in der Ausführung des Vollausschlusses um den Richtstollen herum bestand. Das Gebirge war von Km. 2,400 an nach den ersten sehr schlechten 100 m rasch besser geworden und es zeigte sich, dass die Sondierung, die ja nur mit sehr kleinen Durchmessern ausgeführt worden war, zu ungünstige Ergebnisse gezeitigt hatte.

Wir haben uns natürlich gefragt, was, wenn mit dem vollen Querschnitt vorgegangen wird, für den folgenschweren Entscheid zu einer anderen Bauweise überzugehen, aus-

schlaggebend sei. Wenn es möglich ist, den Vollbetrieb unter Anwendung von Stahlrahmen, wenn auch mit kleiner Vortriebsgeschwindigkeit, fortzusetzen, so ist es vorteilhaft, dies zu tun, wenn die schlechte Strecke nicht länger ist als 100 bis 200 m. Der Uebergang zur Bauweise mit Richtstollen hat ausser der tiefgreifenden und kostspieligen Aenderung des Bauvorganges den Nachteil, eine auf etwa fünf Monate zu schätzende Zeit vergehen zu lassen, bis die verschiedenen Arbeitsstufen auf eine gewisse Länge verteilt sind, bevor also der erste Meter Stollen fertiggestellt werden kann. Dieser anfängliche Zeitverlust kann nur wettgemacht werden, wenn die schlechte Strecke lang genug ist, um die Bauweise sich auswirken zu lassen, d. h. ihr Zeit zu lassen, einen Tagesfortschritt von 4 bis 5 m zu erreichen, der erzielt werden kann, wenn die ganze Baustrecke entwickelt ist.

Schluss folgt

Das Elektro-Lokomotivbauprogramm der Oesterreichischen Bundesbahnen

DK 621.335.1

Von Prof. Dr. techn. Karl Pflanz, Wien

Schluss von Seite 787

c) Schnellzuglokomotiven Reihen 1010 und 1110

Vor einer besonders weit gesteckten Zielsetzung standen die Konstruktionsdienststellen der ÖBB in der Frage einer Schnellzuglokomotive insofern, als mit Zügen bis zu 700 t Gewicht in Langläufen Strecken stark unterschiedlichen Charakters befahren werden müssen. Im Durchlauf Wien—Buchs nach Bild 1 stellt beispielsweise Saalfelden insofern einen Bruchpunkt dar, als die Strecke Wien—Saalfelden nur vereinzelt Höchststeigungen von 10 ‰ und Geschwindigkeitseinschränkungen durch Gleisbogen geringeren Halbmessers aufweist, während westlich von Saalfelden schwere Rampenstrecken von 25 bis 31 ‰ Steigung (z. B. Landeck—Bludenz) mit reinen Talstrecken ohne Geschwindigkeitsbeschränkungen (z. B. Wörgl—Innsbruck) abwechseln. Ähnlich liegen die Verhältnisse auf der Südbahn Wien—Villach, die ausserdem noch die eigentliche Semmeringbahn Gloggnitz—Mürzschlag enthält. Die heute über 100 Jahre alte Semmeringbahn weist in ihrer Nordrampe zahlreiche Krümmungen von $R = 189$ m bei 27 ‰ massgebender Steigung auf und wird daher zugförderungstechnisch immer ein Sonderfall bleiben.

Es war naheliegend, für ein Programm dieses Ausmasses zunächst an eine $B_0'B_0'$ -Lokomotive von mindestens 4000 PS Leistung bei etwa 70 % der Höchstgeschwindigkeit und 20 t Achsdruck zu denken, wobei V_{max} mit etwa 120 bis 130 km/h anzunehmen gewesen wäre. Die Konzeption der $B_0'B_0'$ -Reihe Ae 4/4 der Lötschbergbahn hätte für diese Wahl als Grundlage dienen können. Während der schon ziemlich weit fort-

geschrittenen Projektierungsarbeiten entstanden aber noch zwei zusätzliche Forderungen, nämlich die weitgehende Schonung des Oberbaues auch bei höchsten Geschwindigkeiten und die völlig freizügige Verwendung auch auf Hauptstrecken mit nur 18 t grösstzulässigem Achsdruck. Es ist nämlich in absehbarer Zeit nicht daran gedacht, die Hauptbahnen zweiter Ordnung Amstetten—Selzthal—Bischofshofen und Linz—Selzthal—St. Michael (Gesäuse- und Pyhrnbahn) auf 20 t Tragfähigkeit auszubauen. Wie schon anhand von Bild 2 erwähnt, schloss man sich der heute vielfach bestehenden Tendenz an, die Tragfähigkeit des Oberbaues nicht voll auszunutzen, d. h. die Projekte wurden auf die Achsfolge $C_0'C_0'$ bei 18 t Achsdruck umgestellt. Diese Wahl bietet nun auf Hauptstrecken, die günstige Richtungsverhältnisse aufweisen und Geschwindigkeiten bis 130 km/h gestatten, den Vorteil geringerer Oberbaubbeanspruchung, während andererseits die Vollausnutzung der Tragfähigkeit des Oberbaues auf den vorgeannten Hauptbahnen zweiter Ordnung insofern nicht sehr ins Gewicht fällt, als ihre Richtungsverhältnisse ohnehin nur Höchstgeschwindigkeiten von 80 bis 90 km/h gestatten.

Die gegen die Achsfolge $C_0'C_0'$ vielfach bestandenen und heute noch nicht völlig überwundenen Bedenken hinsichtlich der zu erwartenden Schienen- und Spurranzabnutzung wurden nicht nur in Oesterreich, sondern auch in anderen Ländern durch die Forderung nach möglichst hoher Gesamtzugkraft in den Hintergrund gedrängt. Es haben aber ausserdem

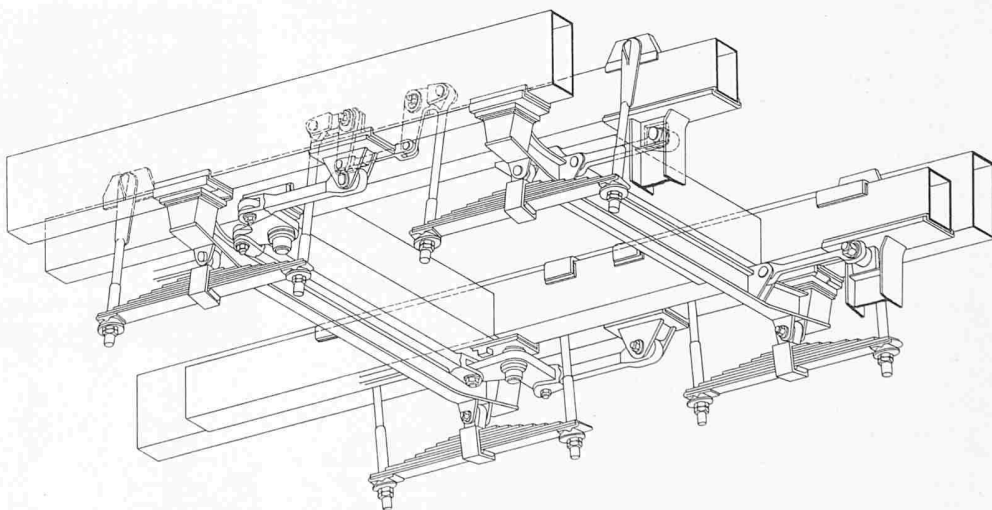
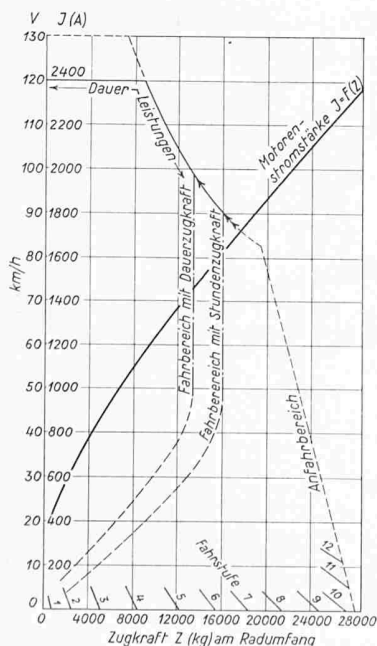


Bild 11. Drehgestell ohne Drehzapfen der Lokomotive Reihe 1010

Bild 10 (links). Kennlinien der Schnellzuglokomotive Reihe 1010