Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 56 (1965)

Heft: 17

Artikel: Reparaturen am Druckstollen des Kraftwerkes Partenstein

Autor: Nägerl, K.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916396

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: 13.07.2025

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

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Reparaturen am Druckstollen des Kraftwerkes Partenstein

Von *K. Nägerl,* Linz

Wasserkraftanlagen sind verhältnismässig langlebige technische Einrichtungen. Da sie somit ein hohes Alter erreichen, darf es nicht wundernehmen, wenn sie Alterserscheinungen zeigen, welche der jetzigen Generation von Ingenieuren manche Sorgen bereiten. Da solche Probleme nicht nur in Österreich, sondern in allen jenen Ländern auftreten müssen, welche früh mit dem Ausbau ihrer Wasserkräfte begonnen haben, nimmt der Verfasser an, dass ein ausführlicher Bericht über Instandsetzungen an einem nun 41 Jahre in Betrieb stehenden Druckstollen von allgemeinem Interesse sein könnte. Dass dabei nicht nur von Erfolgen berichtet werden kann, sondern gerade Fehlschläge erwähnt werden müssen, liegt in der Natur der Sache. Es wolle dies nicht als Kritik an der Arbeit früherer Ingenieure aufgefasst werden, es soll vielmehr nur dazu helfen, Misserfolgen vorzubeugen.

Als im Dezember 1919 mit dem Ausbau des ersten Österreichischen Grosskraftwerkes begonnen wurde — als solches wurde es damals bezeichnet, wenn uns auch jetzt die kaum 30 MW betragende Höchstleistung als recht bescheiden vorkommt — bestanden noch grösste wirtschaftliche Schwierigkeiten als Folgen des ersten Weltkrieges. Diese dauerten mehr oder weniger über die ganze Bauzeit bis zur Betriebsaufnahme im Herbst 1924 an. Erkenntnisse auf dem Gebiet der Betontechnologie, die heute Allgemeingut sind, gab es damals nur in Ansätzen, es gab kaum pneumatische Verdichtungsgeräte und schon gar nicht die heute unentbehrlichen Betonrüttler. Der gute alte «erdfeuchte» Beton und der «Stampfbeton» beherrschten das Feld.

Das Kraftwerk Partenstein der Oberösterreichischen Kraftwerke Aktiengesellschaft nutzt ein Rohgefälle der Grossen Mühl von rund 182 m zwischen dem Speicher, Langhalsen und dem Unterlauf der Grossen Mühl, knapp vor deren Mündung in die Donau. Der Fluss kommt aus den Ausläufern des Böhmerwaldes und hat sein Bett in das alte Granitplateau des Oberen Mühlviertel eingeschnitten. Die Jahresganglinie seiner Wasserführung ist gegenüber der der Voralpenflüsse wesentlich verschoben. Er bringt den grössten Abfluss im Winter, was als Ausgleich besonders erwünscht ist.

Das Werk wird als Spitzenwerk betrieben und der Speicher mit 740 000 m³ Nutzinhalt ermöglicht Wochenspeicherung mit überlagerter Nachtspeicherung. Es hatte im ersten Ausbau drei Maschinensätze mit vertikaler Welle und einer Schluckfähigkeit von zusammen max. 24 m³/s, samt Eigenbedarfsturbine. Die Höchstleistung betrug 29,5 MW und die Jahresarbeit 88,2 Mill. GWh.

Neu für Österreich waren damals: der kreisförmige Druckstollenquerschnitt mit teilweise bewehrter Betonauskleidung, die vertikale Anordnung von Turbinen dieser Grössenordnung mit tief unter dem Wildbett liegender Spirale, Besonderheiten des Differential-Wasserschlosses, sowie die Übertragungsspannung von 110 kV.

Der Bau des Donaukraftwerkes Aschach beeinflusst das Kraftwerk Partenstein durch den Rückstau der Grossen Mühl erheblich, mit einem Verlust an Rohgefälle von rund 7 m durch Hebung des Unterwasserspiegels. Abgesehen von der Gefällseinbusse war die Betriebssicherheit nicht mehr gegeben, weil im Falle eines Gebrechens das ganze Turbinengeschoss unter Wasser gekommen wäre. Der Ausweg wurde darin gefunden, dass man die drei alten Maschinensätze ausbaute und zwei neue Francisturbinen mit stehender Welle und Saugrohr oben einbaute, deren Spiralen über dem Stau Aschach liegen. Sie giessen in ein Zwischenbecken aus, dessen Betriebsspiegel 10 m über dem Spiegel Aschach liegt. Jedes Aggregat hat eine Schluckfähigkeit von 13 m³/s und eine Leistung von 22 000 PS. So hat man trotz der seicht liegenden Spiralen beste Wirkungsgrade sicherstellen können und hat sich am besten den baulichen Gegebenheiten des Maschinenhauses anpassen können. Das Restgefälle wird in einer Rohrturbine von 26 m³/s Schluckfähigkeit und 3100 PS Leistung zum alten Unterwasserstollen abgearbeitet. Die Druckrohrleitung wurde durch eine grössere ersetzt. Durch alle diese Massnahmen, zu denen die Österreichische Donaukraftwerke Aktiengesellschaft einen der Beeinträchtigung angemessenen Beitrag zu leisten hatte, wurde die Einbusse durch den Gefällsverlust nicht nur wett gemacht, sondern Leistung und Jahresarbeit sogar etwas erhöht. Die für die Auswechslung der Druckrohrleitung und die Umbauten im Maschinenhaus notwendige Betriebsunterbrechung wurde zu einer Generalreparatur des Druckstollens ausgenützt.

Vor der Berichterstattung über diese letzte Instandsetzungsarbeit muss — nach einer allgemeinen Beschreibung des Stollens und der Umstände beim Bau — über eine 11 Jahre zurückliegende Reparatur berichtet werden. Aus den dabei aufgetretenen Fehlern werden dann die nötigen Schlüsse gezogen.

Der rund 5500 m lange Stollen hat einen Kreisquerschnitt von 2,95 m Durchmesser und ist zur Gänze mit Beton ausgekleidet. Die Mindeststärke der im allgemeinen unbewehr-

34'224-225

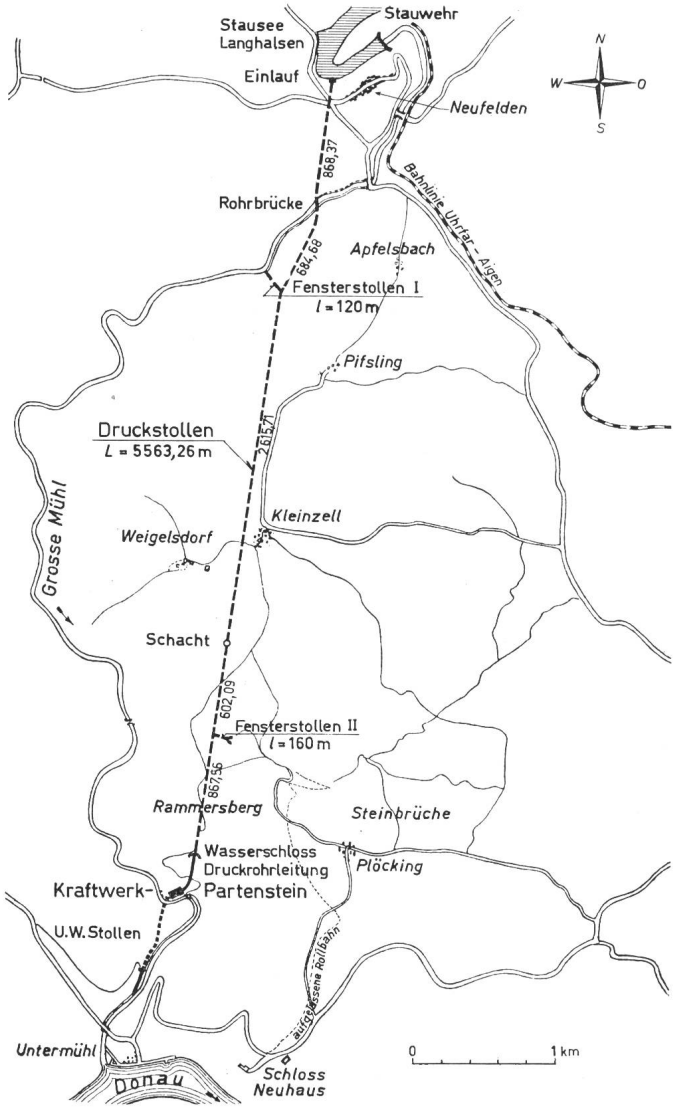

Fig. 1
Übersichtsplan
Druckstollen Langhalsen—Partenstein

ten Auskleidung beträgt 15 cm. An Stellen, an denen das Gebirge weniger standfest erschien, wurden bewehrte Ringe aus Torkretbeton eingezogen, deren lichter Durchmesser nur 2,80 m beträgt. Während der übrige Beton schalrein blieb, wurde der Torkret geglättet. Der statische Innendruck bei Vollstau beträgt vom Einlauf bis zur Rohrbrücke 10 bis 16 m und nach der nach der Rohrbrücke stärker fallenden Strecke bis zum Wasserschloss zwischen 27 und 40 m. Bei der bis 1963 gefahrenen max. Betriebswassermenge von 24 m^3/s betrugen die Wassergeschwindigkeiten 3,5 bzw. in den Torkretringen 3,9 m/s.

Wie der Lageplan (Fig. 1) und das Längenprofil (Fig. 2), zeigen, durchörtert der Stollen auf 800 m Länge das Felsplateau unter dem Ort Neufelden, quert dann die Grosse Mühl mit einer Rohrbrücke und erreicht bei km 1,550 den Fensterstollen I. Von der 3230 m langen Strecke bis zum Fensterstollen II (km 4,780) gehören noch 1530 m zum Baulos I des ersten Ausbaues. Der Rest von 1700 m und die 790 m lange Strecke bis zum Stollenpfropfen gehören zum Baulos II. Die Unterscheidung der beiden Baulose ist wichtig bei der kritischen Betrachtung der Betonschäden. Während Baulos I in Pegmatit-Granit liegt, liegt Baulos II überwiegend in Granitit, bei welchem die Feldspatkristalle zur Kaolinisierung neigen. Da in beiden Fällen der Zuschlagstoff durch Aufbereitung des Ausbruchmaterials, unter Beigabe von gebrochenem Material aus einem Steinbruch im Pegmatit-Granit, gewonnen wurde, kann die Kaolinisierung des Granit mit zu den weit grösseren Betonschäden des Bauloses II beigetragen haben. Im Baulos I wurde mit Kirchdorfer Portlandzement gearbeitet, im Baulos II mit einem Schachtofenzement aus Beocin in Serbien, welcher auf dem Wasserwege bis Neuhaus nahe der Mündung der Grossen Mühl gebracht wurde.

Ein Wasserkraftwerk ist natürlich dazu da, um Energie zu erzeugen, und solange keine merkbaren Störungen auftreten, ist der Betrieb nur sehr ungern bereit, Stollenentleerungen vorzunehmen, die Stromausfall und andere Unannehmlichkeiten mit sich bringen. Andererseits ist jedem Praktiker bekannt, dass Betonschäden, wenn sie ein gewisses Mass erreicht haben, beinahe lawinenartig zunehmen. Man hat wohl schon 1937 beginnende Schäden vorgefunden, aber 1951, also nach 27 Jahren Betrieb, hat man plötzlich erhebliche Betonschäden im Druckstollen feststellen müssen.

Die ringförmige Stollenauskleidung gliedert sich in die zuerst betonierte Sohle, welche ein Viertel des Ringes ausmacht, die beiden Ulmen und einen ca. 1,0 m breiten First-

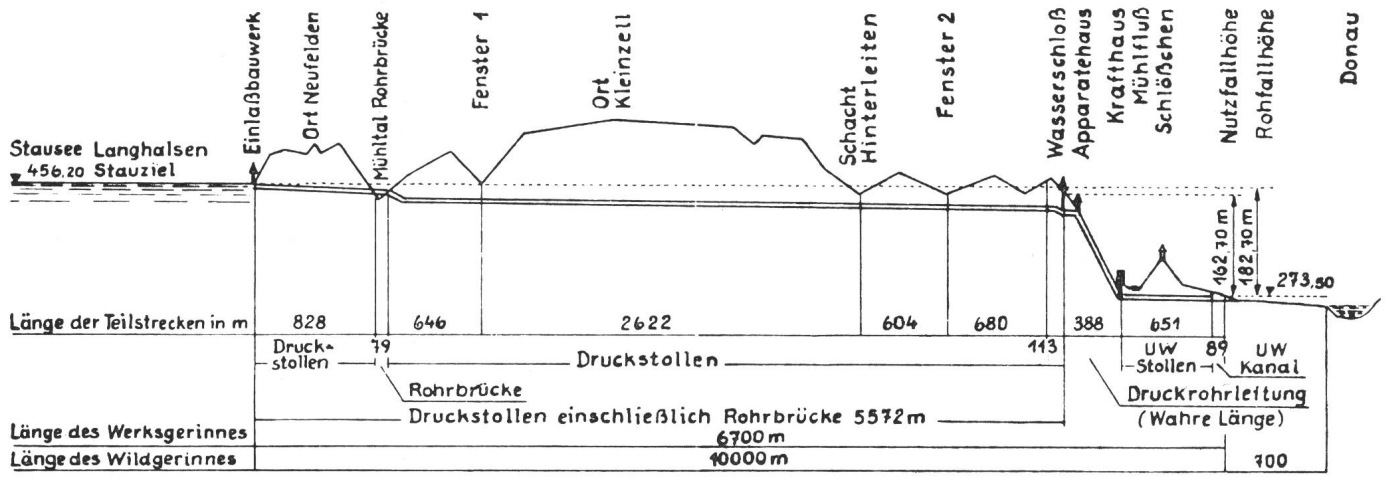

Fig. 2
Längenprofil
(vierfach überhöht)

schlussbeton. Für den ganzen Stollen gilt, dass die meisten Schäden in der Sohle auftraten und zwar sowohl in Sohlenmitte, als auch an den Anläufen. Am wenigsten Schäden wiesen die Ulmen auf, während der Beton am Firstschluss streckenweise zerstört war.

Im Baulos I waren in der Strecke bis Rohrbrücke einschliesslich Steilstück nur geringe Einzelschäden. Die Steilstrecke ist übrigens beim Bau mit einem Glattputz versehen worden und noch heute in bestem Zustand. Bis zum Fenster I zeigten sich grössere Einzelschäden, auch von der Strecke bis zur Baulosgrenze (km 3,080) wurden damals nur Einzelschäden gemeldet — grösseren Ausmasses in der Sohle. Auch die Firste hat keine grossen Schäden gezeigt.

Anders im Baulos II, wo bis zum Stollenfenster II der grösste Teil der Sohle und etwa 1/4 des Firstschlussbetons mehr oder weniger zerstört waren. Die Torkretringe wiesen in beiden Baulosen nur wenige begrenzte Schäden auf. Das Reststück bis Stollenpfropfen zeigte einige Einzelschäden.

Zu erwähnen sind noch die Quellzutritte aus dem Gebirge, welche überwiegend auf die Strecke Fenster I bis Fenster II konzentriert sind und natürlich an einigen Stellen gehäuft auftreten. Ihre Ergiebigkeit schwankt sehr stark entsprechend den Niederschlägen, bzw. der Jahreszeit. Ihre Häufungspunkte fallen mit der Häufung der Betonschäden öfters zusammen.

Der Stollen war mit einer dünnen braunen Schlammschicht ausgekleidet, welche auch schadhaften und nesterigen Beton durchdrungen hatte. Interessant ist noch das Vorkommen eines Süsswasserschwammes, welcher vom Einlauf bis zur Rohrbrücke — 1963 aber auch zwischen km 3 und 4 vereinzelt, und massenhaft im Wasserschloss — vorgefunden wurde. Er siedelt nur an glatten und völlig intakten Betonflächen. Die einzelnen Kulturen sind ringförmig und erreichen Durchmesser bis zu 50 cm und bis zu 5 cm Höhe. Sie leben in Symbiose mit Algen, von denen sie sich ernähren und die ihnen tief im Stollen frischen Sauerstoff zuführen. Nach dem Gutachten des Biologen, und dem Augenschein nach, sind die Schwämme für den Beton völlig unschädlich. Auch den Algen, von denen im Schlamm des Stolleninneren ohnedies nur die toten Überreste enthalten sind, ist keine betonschädigende Wirkung nachzuweisen.

Die Betonschäden waren als grosse Auswaschungen von bis zu 30 cm Tiefe sichtbar. Der angrenzende Beton hatte stellenweise jede Festigkeit verloren. Vielfach hielt die Oberfläche noch stand, darunter war er ohne Kraftaufwand abzutragen. Das Aussehen war das eines Schüttbetons ohne Feinkorn. Untersuchungen ergaben, dass in den Proben fast kein Zement mehr enthalten war. Ob der Zementgehalt von Haus aus zu gering war, oder ob derselbe aus dem zu wenig dichten Beton ausgewaschen wurde, konnte die Untersuchung nicht feststellen. Die Untersuchung von Proben von einwandfreiem Altbeton ergab einen Zementgehalt zwischen 200 und 250 kg/m³. Die Gutachten wiesen darauf hin, dass ein weiterer Verfall des porösen Betons zu erwarten sei.

Untersucht wurde auch der eingelagerte Schlamm. Er bestand aus organischen Fasern, Algenresten, Kieselnadeln, Gesteinteilchen und Holzresten. Seines nur geringen Säuregehaltes wegen wurde er als für den Beton unschädlich bezeichnet.

Die Stollenwässer wurden mehrfach untersucht und auch das Betonanmachwasser. Alle Wässer sind schwach sauer, die ph-Werte liegen zwischen 4 und 6, die Gesamthärte sehr niedrig zwischen 1,6 und 2,9 d.H°. Das Kalklösungsvermögen schwankt stark, liegt jedoch in Grenzen, gemäss welchen die Wässer von allen Gutachtern als unschädlich für gut verdichteten Beton, aber schädigend für ungenügend verdichteten Beton bezeichnet wurden. In denselben Grenzen liegen die Befunde für das Wasser der Grossen Mühl. Alle Wässer sind sehr aggressiv gegenüber Stahl, was aus der Praxis nur zu gut bekannt ist. Gegen die Verwendung als Anmachwasser bestand kein Einwand. Dass ungenügende Verdichtungen der Grund für den Verfall des Betons war, kann als erwiesen angesehen werden. Der weitaus überwiegende Teil der Stollenauskleidung hatte und hat heute nach über 40 Jahren die volle Festigkeit.

Nach Vorliegen aller Untersuchungsergebnisse und Beratung mit Fachexperten liessen sich folgende Umstände als Ursache der Betonschäden anführen:

1. Mangelhafte Verdichtung — davon hauptsächlich befallen die ansteigenden Teile des Sohlenbetons und der Firstschlussbeton.
2. Auswaschungen im grünen Beton zufolge unzureichender Fassung der Bergwässer — davon betroffen Sohle und Ulmen.
3. Schädigung von einwandfreiem aber zu jungem Beton durch die zu frühe Stollenfüllung. (Die Baugeschichte liess dies für die zuletzt fertiggestellten Ringe erkennen.)
4. Die Arbeiten in der Sohle waren durch Gleis und Schwellen schwer behindert. Erschwerte Sauberhaltung, ungenügende Sammlung und Ableitung der Wässer zur Drainage schädigen den frisch eingebrachten Beton.
5. Einsetzen des Abbindevorganges vor Einbringung bei grossen Transportweiten. (Gerade die schlechtesten Betonteile aber hatten hier geringe Transportweiten.)

Der augenfällig schlechtere Erhaltungszustand des Betons im Baulos II könnte natürlich auch durch schlechtere Führung und Überwachung der Arbeiten begründet sein, dies ist aber unwahrscheinlich und von dem befragten seinerzeitigen Gesamt-Bauleiter entschieden in Abrede gestellt worden. Viel eher kann die Kaolinisierung des Feldspates im Granitit, die sehr verschieden weit vorgeschritten war, eine Rolle gespielt haben. Auch der serbische Schachtofenzement könnte sich — obwohl die laufenden Prüfungen in Ordnung waren — ungünstig erwiesen haben. Bei einem ausreichend verdichteten und als dicht anzusprechenden Beton wirken sich alle negativen Umstände aber wenig oder nicht aus, wie die Güte der überwiegenden Masse des Altbetons zeigt.

Für die 1952 ausgeführten Instandsetzungsarbeiten hat man auf Grund von Vorversuchen die Betonzusammensetzung sehr sorgfältig festgelegt. Man hat einwandfreien Grubenkies verwendet, der auf Grund laufend durchgeführter Siebproben jeweils durch Zugabe bestimmter Kornfraktionen auf den sehr guten Bereich der Sieblinie verbessert wurde. Wenn nötig, wurde in geringer Menge feiner Quarzsand aus einem natürlichen Vorkommen beigegeben. Frühhochfester Portlandzement wurde ohne Zusatzmittel verwendet. Nur beim Fassen der Wässer wurden Murexin-Präparate angewendet. In der Strecke zwischen beiden Fenstern wurde Pressluft bereitgestellt. In den übrigen Strecken wurde nur von Hand gearbeitet.

Noch vor der Abstellung waren die Zufahrtstrassen zu beiden Fenstern fahrbar zu machen und die beiden Baustelleneinrichtungen aufzubauen. Bei Fenster I wurde die Panzertüre mit 80/140 cm l.W. belassen und der Betontransport mit Japanern auf Fahrbohlen durchgeführt. Die Strecke bis Rohrbrücke konnte vom Einlaufbauwerk her versorgt wer-

den, wo ebenfalls Betoninstandsetzungsarbeiten im Gange waren. Beim Fenster II wurde die Panzertüre mit dem Betonpfropfen herausgebrochen und die Einfahrt für Gleistransport mit Diesellokomotive ermöglicht. Das Feldbahngleis wurde auf Querbohlen bis km 3,1 (Beginn der grössten Schäden) aufwärts verlegt. Die Schadenausbesserung im untersten Stollenstück erfolgte von Hand, und der knappen Zeit halber zum Teil mit Lafarge-Schmelzzement. Die Handarbeiten liefen in Tagschicht, die in der Hauptstrecke in drei Schichten, wobei für jede Schicht vom Bauherrn die gleiche Überwachung sichergestellt war. Beim Fenster II wurde nach Abschluss der Transporte der Pfropfen in teilweise bewehrtem Beton wieder hergestellt und die Panzertüre 80/140 cm wieder versetzt. Ein Panzertor wäre für den dort herrschenden Druck sehr kostspielig gewesen und man rechnete mit einer langen Frist bis zu neuen grösseren Instandsetzungen. Am Pfropfen wurden von aussen Kontaktinjektionen durchgeführt.

Am 19. April 1952 konnte der Gleisvorbau beim Fenster II beginnen, am 12. Mai wurde im Bereich der grossen Schäden der erste und am 25. Mai der letzte Beton eingebracht. Am 27. Mai wurde das letzte Gleis abgebaut und unmittelbar danach der Betrieb wieder aufgenommen. Die während des Baues hergestellten Betonprobekörper ergaben sehr hohe Anfangsfestigkeiten und auch an jungem Beton sehr zufriedenstellende Dichtheit.

In diesen sechs Wochen wurden 610 m³ Beton eingebracht, davon 45 m³ Pfropfenbeton. Nur rund 20 m³ lagen in Baulos I, 495 m³ waren Sohlenbeton.

Gerade diese Zusammendrängung der beträchtlichen Leistung auf eine so knappe Zeit, welche durch die Beschränkung der Werkabstellung erzwungen wurde, erwies sich später als verhängnisvoll. Schon bei der nächsten, nach einem Jahr im Mai 1953 vorgenommenen, kurzen Begehung zeigten sich an der Sohle beginnende Schäden im neuen Beton, die zunächst als nur oberflächliche Angriffe angesehen wurden. Ulmen und Firste waren intakt. Bei der nächsten Begehung im Juni 1954, also nach gesamt zwei Jahren, zeigten sich die Schäden laut Bericht nur wenig verändert, allerdings werden Auswaschungen in der Sohle bis 5 cm Tiefe erwähnt. Im Altbeton wurden wieder neue Schäden begrenzten Ausmasses gefunden.

Als sich im Jahr 1963 im Zuge des Werkumbaues die Zeit der Abstellung eingrenzen liess, ging man daran, die Stollen-Instandsetzung vorzubereiten. Infolge verschiedener widriger Umstände war eine Stollenentleerung und Begehung erst im März 1963 möglich. Das vorgefundene Ausmass der Schäden nicht nur am Altbeton, sondern auch an Teilen des Betons aus 1952 überstieg alle Erwartungen. In der Stollenstrecke bis zum Fenster I waren es wieder nur begrenzte Einzelschäden. Von dort bis zur Baulosgrenze in km 3,070 jedoch hatten die Schäden im Altbeton und vorzugsweise in der Sohle stark zugenommen. Auch der Firstschluss zeigte Schäden, während in den Ulmen solche nur bei einzelnen Ringen auftraten. Von dort bis Fenster II waren der Sohlenbeton auf lange Strecken im Altbeton, und in kleinen Teilen des Betons aus 1952, fast völlig zerstört. In Sohlenmitte waren grosse Auswaschungen, in den seitlichen Bereichen hielt oft noch die Oberfläche, darunter aber war der Beton ohne jede Festigkeit und ohne Zementleim. Besser gehalten hatten sich die Ulmen, doch war bei einzelnen Ringen auch hier die Zerstörung des Altbetons weit vorgeschritten. Ein erheblicher Teil des Firstschlusses hatte Auswaschungen. Im restlichen Stollenstück waren es wieder nur einzelne begrenzte Stellen. Die Torkretschalen aus der ersten Bauzeit, wie die begrenzten Herstellungen in Torkret aus 1952 beim Fenster II, hatten sich sehr gut gehalten. Schäden sind nur in Sohlenmitte und in Form von kleinen Abblätterungen — vorzugsweise an den Übergängen — festgestellt worden.

Bei den eingehenden Beratungen bestand Einhelligkeit darüber, dass offenbar dieselben Ursachen für die Zerstörungen Veranlassung bildeten, wie vor 1952. Ferner darüber, dass bei den Herstellungen aus 1952 der frühhochfeste Zement offenbar die Schädigung des jungen Betons durch frühen Einfluss der schädlichen Wässer nicht verhindern konnte. Man hatte 1952 mit je zwei Verdämmungen jeweils eine kurze Arbeitsstrecke wasserfrei gemacht, hatte diese Verdämmungen aber zu früh auflassen müssen. Die Schäden waren ferner vielfach deutlich sichtbar von der Anschlussfuge Sohle-Ulme ausgegangen, wo der dichte Anschluss bei nachträglicher Herstellung des Sohlenbetons nicht gelingen konnte. In den aufsteigenden Sohlenteilen, die ohne Schalung hergestellt wurden, war die Verdichtung stellenweise ungenügend.

Dass es nirgends zu Ablösungen der Betonauskleidung kam, obwohl die ringförmige Verspannung vielfach verloren gegangen war, ist dadurch erklärt, dass das umgebende Gebirge sich in den Jahrzehnten den veränderten Spannungszuständen völlig angepasst hatte.

Für die diesmaligen Instandsetzungsarbeiten stand zufolge des Kraftwerksumbaues und der Auswechslung der Druckrohrleitung von Anfang an mehr Zeit zur Verfügung. Es galt nunmehr, die hauptsächlichen Fehlerquellen früherer Arbeiten tunlichst zu vermeiden, die der Deutlichkeit halber nochmals zusammengefasst seien:

1. Ungenügende Betonverdichtung und mangelhafter Anschluss an den Altbeton.
2. Unzulängliche Fassung der Bergwässer und unzulängliche Abfuhr des Stollen-Restwassers.
3. Behinderung sauberer Arbeit in der Sohle durch Transporteinrichtungen und Beschädigungen durch Transporte.

Es wurde schliesslich beschlossen, Stampfbeton nur für die Ausbesserung der kleineren Schäden zu verwenden und auf der 3,2 km langen Stollenstrecke zwischen Fenster I und II sämtlichen Beton mit modernen Betonspritzmaschinen herzustellen. Ausreichende Betonverdichtung, guter Anschluss an Altbeton und hohe Anfangsfestigkeit schienen damit gesichert. Man entschloss sich ferner, Abbruch und Abtransport des Materiales von den anderen Arbeiten zu trennen. Man öffnete die Pfropfen bei beiden Stollenfenstern, schuf bei Fenster I eine Gleiseinfahrt für Diesellokomotiven, und bei Fenster II die Durchfahrt für gleislosen Transport mit einem Jenbacher-Büffel von 20 PS und 2,5 m³ Muldeninhalt. Der Gang der Arbeiten wurde vom Fenster I zum Fenster II fortschreitend festgelegt.

Beim Fenster I wurde die Mischanlage mit Freifallmischer, Silo für getrennte Körnungen, Schrapper, Zementsilo und Wiegeeinrichtung für Zement und Zuschlagstoffe aufgebaut, ferner die Kompressorenstation, eine Pumpstation für Druckwasser, Baracken, Magazin und Werkstätte. Ein leichtes Patentgleis von 600 mm Spur wurde zur Schonung des Betons auf Längsbohlen entsprechend dem Arbeitsfort-

schritt vorgebaut. Eine auf Plattformwagen zusammengebaute Arbeitsplattform trug die Betonspritzmaschine und den Silo für das Spritzgut, der mit einer pressluftbetriebenen Schrapperanlage ausgestattet war. Das trocken fertig gemischte Spritzgut wurde mit Spezialwagen transportiert, mit denen Mannschaftswagen gekuppelt wurden. Der Spritzarbeit voraus gingen die Ausbruch-, Wasserfassungs- und Reinigungsarbeiten.

Der Abtransport des Abbruchmateriales geschah gleislos zur Deponie beim Stollenfenster II. Das schon genannte dieselgetriebene Fahrzeug der Jenbacher Motorenwerke hat sich bestens bewährt. Nur war der Reifenverschleiss durch das Fahren im Kreisprofil sehr hoch. Dem Profil angepasste Luftkammerbereifung hätte hier Abhilfe gebracht, war jedoch in so kurzer Zeit nicht zu beschaffen. Beim Fenster II war ausser einer kleinen Werkstätte für die Betreuung der Büffel (wie bei allen wichtigen Geräten wurde auch hier eines in Reserve gehalten), nur ein fahrbarer Mischer für die Handausbesserungen im Stollenreststück. Zum Fenster I wurde von der 25-kV-Leitung eine Stichleitung geführt. Fenster I hatte einen Transformator von 400 kVA, Fenster II hatte Niederspannungs-Anschluss. Beide Stützpunkte erhielten einen Telephonanschluss. Der Zufahrtsweg zum Fenster I war zu verbreitern und zu befestigen.

Vor dem näheren Eingehen auf den Arbeitsvorgang soll noch auf eine besondere Schwierigkeit eines so streng terminierten Arbeitseinsatzes hingewiesen werden, und zwar die der Beschaffung einer erfahrenen Stollenpartie, die befähigt war, von Anfang an volle Leistung zu erbringen. Die mit den Bauarbeiten am Maschinenhausumbau beauftragte namhafte Wiener Tiefbauunternehmung konnte schliesslich von anderen Stollenbaustellen den Kern der Mannschaft heranbringen, der durch eigene erfahrene Bautruppleute des Bauherrn verstärkt wurde. Die Unterbringung der Belegschaft war im nahen Orte Neufelden möglich. Die Arbeiten wurden in zwei Schichten mit zeitweisen Überstundenleistungen durchgeführt. Nach Ansicht des Verfassers ist diese Arbeitsweise der in drei Schichten vorzuziehen. Die Verantwortung wird überschaubarer und die Schichtwechselpausen ergeben Gelegenheit zu Umbauten der Baustelleneinrichtung und zum Verlegen von Gleisen und Leitungen. Für den Einsatz der Kräfte waren die Arbeiten in der Hauptstrecke bestimmend. Die Nebenstrecken konnten nach Massgabe freier Kräfte nebenbei zeitgerecht fertiggestellt werden. Parallel damit lief am Einlaufbauwerk der Einbau von neuen Stahl-Rollschützen, welche auch bei Strömung geschlossen werden können, was die alten Gleitschützen in Stahl-Holzkonstruktion nicht zuliessen. Materialnachschub war von dort nur in kleinstem Mass möglich. Die Transporte in den Nebenstrecken erfolgten mit Japaner und Schiebtruhe. Für die Handausbesserung wurden Sika-Schnellbinder verwendet.

Vom Gleisende abwärts, auf welchem die Spritzeinrichtung stand, bis zum Ausbruch, lag gleisfrei die sog. «Arbeitsstrecke», welche 250...300 m lang war. Der Gleisanlage voreilend wurden nach Erfordernis die Pressluft- und Druckwasserleitung verlegt und in der Ulme aufgehängt. Ebenfalls in der Ulme aufgehängt wurde eine Leitung aus 4″ PVC-Rohren, welche zu Teillängen von 25 m zusammengeschweisst und mit Schnellkupplungen verbunden waren. An den Kupplungsstellen waren Abzweigstutzen eingebaut, um nach Erfordernis in die Leitung einspeisen zu können. In diese Leitung, welche die gesamte Arbeitsstrecke überbrückte, wurde das Stollenrestwasser und das in Schläuchen gefasste Bergwasser eingeleitet. Für die Sammlung des Restwassers wurden nach Bedarf Pumpensümpfe ausgeschrämmt. Die Förderung aus den Sümpfen in die Leitung geschah mit Druckluft-Sumpfpumpen (Wasserjäger). Bei Fenster I wurde das dort anfallende Wasser ausgeleitet. Der Wasseranfall zwischen Fenster I und II betrug 15...25 l/s. Die Fassung der Bergwässer erfolgte nach der bekannten Schlauchmethode, wobei Sika-Schnellbinder verwendet wurden. Bei längeren zusammenhängenden Sohlen-Neuherstellungen wurden Hilfsdrainagen von 8...10 cm Durchmesser aus Eternit- bzw. Betonrohren (auch Halbschalen) eingelegt und eingespritzt. Durch Zusammenwirken dieser Massnahmen gelang es, die Sohle vor dem Einbringen des Spritzbetons einwandfrei trockenzulegen.

Für die Abdämmung einzelner Sohlenschäden in sonst gut erhaltenem Sohlenbeton hat man einige einfache Vorrichtungen gebaut, die sich gut bewährt haben. Zwischen je zwei segmentförmige Holzdammtafeln wurden je zwei 4″-PVC-Rohre in Längen zwischen 2 und 4 m dicht eingebaut. Die Tafeln waren unten mit Schaumstoffstreifen belegt und wurden mittels mit Gewindespindeln versehener Steher, die sich gegen die Firste abstützten, an die Sohle gepresst.

Die in der Sohle links verlegte Drainage aus der Bauzeit war nicht zu verwenden. Sie war offenbar schon bei der Reparatur 1952 teilweise verschlossen worden. Die Anlage einer neuen durchlaufenden Drainage in Sohlenmitte, welche für den ganzen Wasseranfall zwischen Fenster I undII hätte bemessen werden müssen, wurde erwogen. Sie hätte viel Sprengarbeit und dadurch hohe Kosten und Zeitverlust verursacht. Überdies hätte man die vielen bewehrten Torkretringe aus der Bauzeit in der Sohle durchtrennen müssen.

Es gab je Schicht ein Ausbruch- und ein Torkret-Drittel. Die Grenzen des Ausbruches wurden von der Bauleitung des Bauherrn angegeben und es wurde auf möglichst steile und scharfkantige Begrenzung geachtet. Alle Abbruchflächen wurden sorgfältig mit Druckluft-Wassergemisch gereinigt. Das Ausbruchmaterial wurde mit Schiebtruhen zum Büffel gefahren und mit einem pressluftbetriebenen Förderband verladen. Zum Ausbruchdrittel zählte auch die mit der Fassung der Wässer betraute Mannschaft. Die Vorstreckung von Gleis und Leitungen erfolgte tunlichst in Schichtwechselzeiten und durch beide Mannschaften.

Die Zusammensetzung des Spritzgutes wurde im Laboratorium sorgfältig entwickelt und nach den praktischen Erfahrungen an der Baustelle korrigiert. Es ergab sich zuerst ein untragbar hoher Rückprall, der durch Erhöhung des Sandanteiles und Verwendung einer kleineren Düse (40 mm) auf rund 25 % reduziert werden konnte. Verwendet wurde sortierter, gewaschener Grubenkies und ein Natursand. Das endgültige Mischungsverhältnis pro m³ Fertigbeton war:

Kies 4/7..... 840 kg
Sand 0/4.....1260 kg
PZ 275..... 400 kg

An der Düse wurde Sigunit, bzw. an Stellen, wo flächige Nässe nicht ganz zu beseitigen war, Sigunit Spezial beigegeben. Es sollte in der Sohle mit 3 % und in der Firste 5 % des Zementgewichtes gearbeitet werden. In der Praxis war die Einhaltung sehr schwierig. Die Überschreitungen gingen zu Lasten des Auftragnehmers.

Der Spritzbeton wurde genau profilgerecht eingebaut, auf eine Glättung aber wurde verzichtet, weil Arbeitskräfte und Zeit nicht ausreichten. Hiezu ist in den Schlussbemerkungen noch etwas zu sagen. Auf 142 m Länge waren auch die Ulmen so schadhaft, dass die ganze Auskleidung neu gespritzt werden musste. Die Einhaltung des Profiles wurde hier durch Stahl-Lehren sichergestellt. Als Bewehrung wurde Baustahlgitter eingebaut, wie auch sonst an grösseren Flächen in den Ulmen.

In der Erkenntnis, dass — auch wenn es gelang, bei der Instandsetzung einen Beton hoher Lebensdauer herzustellen — doch wieder Schäden grösseren Ausmasses am Altbeton auftreten können, wollte man diesmal eine grössere Transportöffnung schaffen, die leicht freigemacht werden kann. Abgesehen von den Kosten nimmt das Aufbrechen und Wiederherstellen eines Betonpfropfens zu viel wertvolle Zeit in Anspruch.

Man hat, wegen des dort geringeren Druckes und wegen der besseren Zufahrt beim Fenster I einen Verschluss aus vorgefertigten, vertikalen Stahlbetonbalken eingebaut, die sich auf einen bewehrten Rahmen aus Ortbeton abstützen, welcher in die ausgebrochene Öffnung eingebaut wurde. Die Balken sind untereinander und gegen den Rahmen mit Fugendehnkitt abgedichtet und durch eine Verschraubung an der Luftseite gegen das Auftreten von Schwingungen gesichert. Die lichte Durchfahrtöffnung von 2,00 × 2,10 m genügt für den Jenbacher Büffel sowohl, wie für Gleistransport. Die kleine Panzertür beim Fenster I blieb bestehen. Beim Fenster II wurde der Pfropfen unter Einbau der Panzertüre wieder betoniert. An beiden Pfropfen wurden von aussen Kontaktinjektionen durchgeführt.

Die Austrittstellen des gesammelten Bergwassers wurden bei Abschluss der Arbeiten bei kleinen Austritten verpfropft, an 15 grossen Austritten wurden Rückschlagventile eingebaut, welche bei Überwiegen des Stolleninnendruckes schliessen. Die verschiedenen Hilf-Pumpensümpfe und die erwähnten Hilfsdrainagen in der Sohle wurden im Zuge der Arbeiten so rasch als möglich geschlossen.

Während der Arbeiten wurden wiederholt an genau eingemessenen Stellen nach vorherigem Abschleifen Proben mit dem Schmidtschen Prüfhammer durchgeführt, welche sehr gute Werte lieferten.

Nun der Zeitablauf der Arbeiten:

Beginn Vorarbeiten und Baustelleneinrichtung	28. April 1963
Stollenentleerung	4. Juni 1963
Beginn der Spritzbetonarbeiten	13. Juni 1963
Ende der Spritzbetonarbeiten	2. September 1963
Abbau, Räumung und Reinigung innen bis	21. September 1963
Betonierung Stollenpfropfen bis	27. September 1963
Injizierung Stollenpfropfen bis	25. Oktober 1963
Übergabe des Stollens	31. Oktober 1963
Inbetriebnahme	5. November 1963
Abschluss Baustellenräumung	4. Dezember 1963

und die Leistungen:

Eingebauter Spritzbeton	1490 m³
Zu förderndes Abbruchmaterial und Rückprall	1260 m³
Verlegte Sohldrainage	980 m

Am 21. Juli 1964, also 8½ Monate nach Inbetriebnahme ergab sich die erste Möglichkeit einer Stollenbegehung. Diese zeigte den einwandfreien Zustand des Spritzbetons; nur war, wie zu erwarten, die oberste Zementhaut abgetragen. Das Korn sass fest im Mörtel. An Überlappungen der Spritzung zeigten sich stellenweise kleine Abblätterungen, jedoch waren die anstehenden Ränder sehr fest. Eine Schlammschicht oder ein Algenbelag war noch nicht aufgetreten. Im Altbeton in der Fahrspur des Büffels fanden sich einige Löcher. Diese Schadenstellen sind wahrscheinlich durch die Einwalzung beim Fahrbetrieb so verdichtet gewesen, dass man sie nicht erkannt hat. Das strömende Wasser aber (bei Vollast 3,8 m/s Geschwindigkeit), hat sie freigelegt. Gelegentlich einer durch eine Maschinenabstellung gegebenen Betriebspause konnten diese Schäden plombiert werden.

Ein nicht erwartetes Ergebnis hatten die bei Abschaltversuchen durchgeführten Messungen der Stollenrauhigkeit. Es zeigte sich, dass der Druckhöhenverlust im gesamten Stollen fast jene Werte erreichte, welche 1951 bei Bestand der grossen Schäden gemessen worden waren. Bei einer Betriebswassermenge von 24 m³/s betrug der Druckhöhenverlust

	1951	23,3 m
nach der Reparatur	1952	18,5 m
im Januar	1964	22,0 m

Dies, obwohl jede Profilverengung vermieden werden konnte, und das Kreisprofil genau eingehalten wurde. Offenbar ist die Oberflächenrauhigkeit des Spritzbetons von so grossem Einfluss. Es bleibt abzuwarten, ob die Bildung einer dünnen Schlammschicht eine Besserung bringt. Wenn nicht, dann war es falsch, auf eine Glättung der Oberfläche zu verzichten.

Adresse des Autors:
K. Nägerl, dipl. Ingenieur, Prokurist der Oberösterreichischen Kraftwerke AG, Bahnhofstrasse 6, Linz (Österreich).

Berechnung der Schutzwirkung von Blitzableitern und Türmen

Von *F. Schwab*, Zürich

621.316.98

Ausgehend von der Ladung des Blitzkanals wird die letzte Schlagweite zwischen Blitzkopf und geerdetem Objekt berechnet. Daraus wird das Blitzeinzugsgebiet und die bezogene Einschlagshäufigkeit von Türmen bestimmt. Ferner wird die Schutzwirkung verschiedener Blitzableiteranordnungen und die zulässige Maschenweite von Faraday-Käfigen abgeleitet.

En partant de la charge du canal de la foudre, l'auteur calcule la dernière distance disruptive entre la tête de l'éclair et l'objet mis à la terre, ce qui permet de déterminer la zone de captation des éclairs et la fréquence des coups de foudre reçus par des tours. L'auteur en déduit en outre l'effet de protection de diverses dispositions de paratonnerres et la largeur de maille admissible de cages de Faraday.

Die früher aufgestellten Schutzraumtheorien über Blitzableiter stützten sich auf rein empirische Annahmen ohne physikalische Grundlagen und mussten, da sie keine befriedigende Resultate zeigten, immer wieder abgeändert werden. Der sog. Blitzschutzwinkel wurde mit der Zeit von 90° auf 45°, 30° und noch weiter herabgesetzt, ohne dass je ein vollständiger Blitzschutz erreicht wurde.

Physikalisch erwiesene Grundlagen, die die Schutzwirkung von Erdseilen, Blitzableitern und ähnlichen Anordnungen erfassten, wurden erst durch die Blitzforschung der letz-