Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 71 (1953)
Heft: 19

Artikel: Der Bau des Kraftwerkes Oberaar
Autor: Bächtold, J.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-60546

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: 08.08.2025

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

71. Jahrgang Nachdruck von Bild oder Text nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet
Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich Nummer 19

Vom Bau des Kraftwerks Oberaar

Von Dipl. Ing. J. BÄCHTOLD, bauleitender Oberingenieur, Innertkirchen

DK 621.311.21 (494.246.1)

Es wird heute so viel über Kraftwerkprojekte und Kraftwerkbau geschrieben und gesprochen, dass man nur noch mit Hemmungen an ein solches Thema herantritt. Doch werden bei jedem neuen Werk wieder neue Methoden eingeführt und neue Erfahrungen gemacht, die im Interesse des Fortschrittes der Fachwelt bekanntgegeben werden sollten. Beim Kraftwerk Oberaar [1]) sind es vor allem Erfahrungen beim Sperrenbau, sowie beim Stollen- und Druckschachtbau, die der besonderen Erwähnung wert sind.

Bauvorbereitung

Die Erfahrung zeigt eindeutig, dass eine Grossbaustelle, wenn sie einwandfrei installiert und der Bau in kürzester Frist ausgeführt werden soll, auf eine Zufahrtsstrasse nicht verzichten kann. Je frühzeitiger diese erstellt ist, um so reibungsloser und rascher vollzieht sich die Installation der Baustelle. Es ist eine einfache Rechnung, festzustellen, wie weit es sich lohnt, die Bauplatzeinrichtungen auszubauen zum Zwecke der Verkürzung der Bauzeit. Beim Kraftwerk Handeck II [2]) wurden besonders für den Staumauerbau die Installationen im Verlaufe der Submission erheblich verstärkt. Die Bauzeit konnte von 6 auf 4 Jahre verkürzt werden. Der Energiegewinn wog die Mehraufwendungen für den Bau mehrfach auf. Trotz der kostspieligen Bauinstallationen blieb dank der raschen Bauvollendung die Abrechnungssumme des gesamten Werkes um einige Millionen unter dem Kostenvoranschlag. Dieser zeitlich und finanziell günstige Verlauf der Bauarbeiten erleichterte den Verwaltungsbehörden den Beschluss, schon vor der Vollendung von Handeck II an weitere Projekte heranzugehen. Schon im Jahre 1949 (mitten im Bau von Handeck II) wurde der Bauleitung ein Vorkredit bewilligt, um die umfangreichen Vorarbeiten für das geplante Kraftwerk Oberaar in Angriff nehmen zu können.

Ende Juli begannen wir von drei mittels Hilfsseilbahnen erschlossenen Angriffstellen aus mit dem Bau der Oberaarstrasse. Etwa 30 000 m³ harter Granit mussten weggesprengt

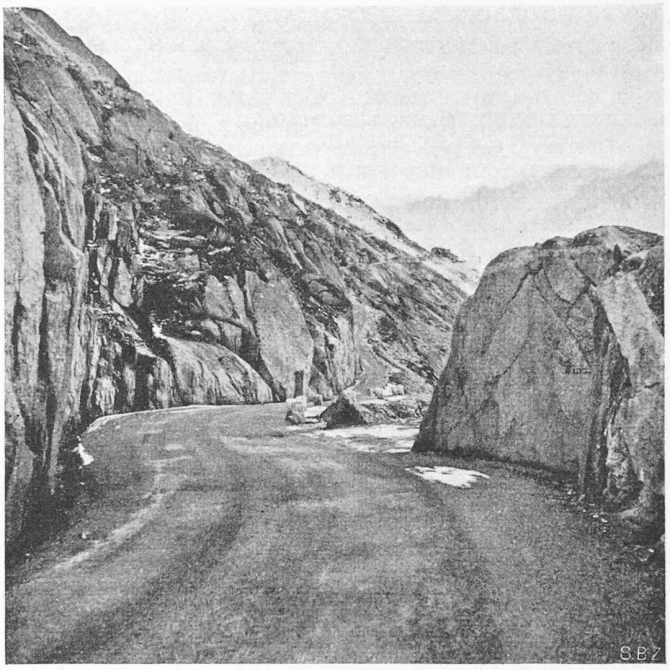

Bild 1. Oberaarstrasse Grimselpass-Oberaar

und zahlreiche Kunstbauten erstellt werden, alles auf einer Meereshöhe von 2200 bis 2400 m. Nach dreimonatiger Bauzeit konnte die *Strasse* von der Grimselpasshöhe bis zur Oberaar (rd. 5 km) mit Lastwagen befahren werden (Bild 1). Fast gleichzeitig wurde in der Oberaar selbst mit dem Bau der Unterkunfts- und Verpflegungsanlagen begonnen. Im Sommer 1950 herrschte auf der Oberaar bereits ein emsiger Betrieb. Eine Barackenstadt entstand, die Fundamente für die Installationen wuchsen überall aus dem Boden. Lawinenverbauungen zum Schutze der zukünftigen Baracken-Siedelungen entstanden an den steilen Hängen. Eine Luftseilbahn von der Grimsel nach der Oberaar und später noch vom Oberwallis nach der Baustelle Oberaar vervollständigten die lebenswichtigen Verbindungen der auf 2300 m Meereshöhe liegenden Staumauer- und Stollenbaustellen mit dem Tal. Im Jahr 1950 begannen auch die Installationen und Bauarbeiten für den Zulaufstollen, den Druckschacht und und die Zentrale.

Kaum hatte im Herbst 1950 die Staumauer Rätherichsboden die Kronenhöhe erreicht, so begann auch schon die Demontage der Kies- und Betonaufbereitung, der Förderanlagen und übrigen Baustelleneinrichtungen. Der grösste Teil dieses Materials konnte noch vor dem Einwintern nach Oberaar transportiert werden. Die Vorarbeiten dort oben waren bereits so weit gediehen, dass die Staumauerinstallationen sofort montiert werden konnten. Nur dank dieser Vorbereitungen war es möglich, die Einrichtungen für den Bau der Oberaarsperre im Sommer 1951 vollenden und im Herbst noch ausprobieren zu können. Auch die Kiesgewinnung lief, nachdem die Sondierungen über Quantität und Qualität des Kiesmaterials abgeschlossen waren, während der Saison 1951 bereits auf vollen Touren. Ein mächtiger Berg von Kies,

[1]) Projektbeschreibung siehe SBZ 1952, S. 677* ff.

[2]) Projektbeschreibung siehe SBZ 1952, S. 495* ff.; Bauerfahrungen siehe SBZ 1952, S. 573* ff.

Auch als Sonderdrucke erhältlich.

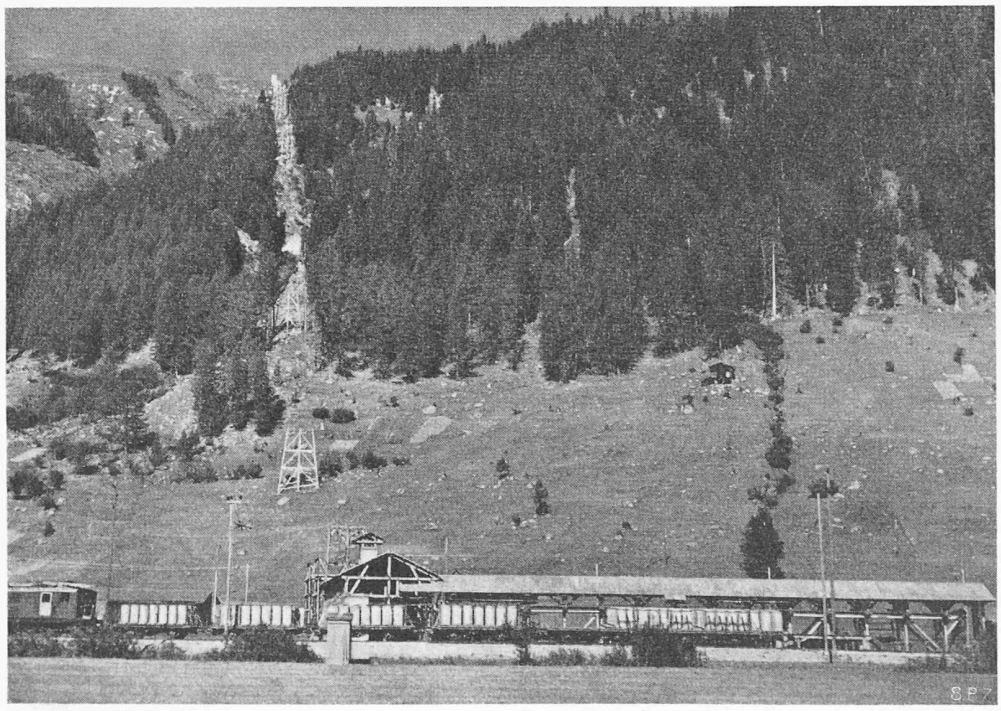

Bild 2. Zementseilbahn Oberwald-Oberaar, Station Oberwald (Wallis) und Luftseilbahn über die Sidellücke

das bereits die Vorbrecherei passiert hatte, war bis zum Herbst entstanden und versetzte uns in die Lage, im Jahr 1952 die gesamte Installation für die Beton-Aufbereitung und -Einbringung einzusetzen

Zu den Vorbereitungsarbeiten für das Kraftwerk Oberaar gehörte auch der Bau eines Kabel- und Bahnstollens von der Gerstenegg, unterhalb der Staumauer Rätherichsboden, nach der Zentrale Grimsel. Auch diese Winterverbindung musste, wie die Luftseilbahnen Sommerloch—Grimsel, Grimsel—Oberaar, Grimsel—Wasserschloss, im Herbst 1950 betriebsbereit sein. In diesem Zeitpunkt begannen auch die Vortriebe des Zulaufstollens Oberaar und des Druckschachtes, die im Winter keinen Unterbruch erleiden sollten. Die *Zementseilbahn von Oberwald* im Oberwallis nach der Baustelle Oberaar für eine Tagesleistung von 400 bis 450 t, im Herbst 1950 begonnen, wurde rechtzeitig für den Probebetrieb der Baustelle Oberaar im September 1951 fertig (Bild 2). Die Luftseilbahn Handeck—Gerstenegg, die für den Bau des Kraftwerks Handeck II erstellt worden war, diente vorläufig auch noch für den Winterbetrieb der Grimsel- und Oberaarbaustellen.

Bald stellte sich aber die Frage nach der definitiven Zugänglichkeit der Zentrale Grimsel, die, obschon ferngesteuert, doch Sommer und Winter kontrolliert werden muss. Man entschloss sich, als Verbindungsstück zwischen den Stollenbahnen Guttannen—Handeck und Gerstenegg—Sommerloch eine *Luftseilbahn für Personen- und Warentransporte* mit einer geschlossenen Gondel zu bauen. Der unberechenbarste Faktor für alle Verkehrswege im Oberhasli ist die Lawinengefahr. Es ist sehr schwierig, sichere Standorte für die Seilbahnmasten zu finden, aber auch die Seile und die Gondel sind durch Staublawinen gefährdet. An Demonstrationen, wie solche Lockerschneelawinen sich auswirken können, fehlt es uns nicht. Wenn ein solches Schnee-Luftgemisch zu Tal stürzt, mit ungeheurer Geschwindigkeit das Tal überquert, auf der andern Talseite wieder hochsteigt, Druck- und Sogwirkungen, gewaltige Luftwirbel erzeugt, so dass solide Baubaracken wie Kartonschachteln in die Luft gehoben und zu Kleinholz zerschlagen werden, oder wenn kräftige, eiserne Masten in einen Knäuel von verbogenem und verwundenem Eisen verwandelt werden, dann gibt es der Ingenieur auf, etwas rechnen zu wollen. Dann bleibt nur noch der Ausweg, die Seile einer Schwebebahn möglichst hoch über den Talgrund zu spannen. Statt einen etwa 60 m hohen Mast zu bauen, hängten wir (ungefähr in der Mitte der Bahnstrecke) die Seilschuhe der Tragseile und die Rollenbatterien der Zugseile an quer zum Tal gespannten Seilen auf (Bilder 3 und 4). Um Schwingungen zu vermeiden, sind die Querseile stark angespannt. Die sichere Aufnahme der Seilkraft von 160 t stellt an die Seilverankerungen ungewöhnliche Anforderungen. Die Ueberfahrt über die Hängekonstruktion ist weicher und angenehmer als bei einer festen Stütze. Die ganze Aufhängung ist vom Boden aus kaum sichtbar, während ein Mast von dieser Höhe sich nicht gerade vorteilhaft in die Landschaft einfügen würde. Die Bewährung dieser Neukonstruktion kann erst nach genügender Betriebserfahrung beurteilt werden.

Der Bau der Oberaarsperre

Für diese Bauaufgabe waren wir in der angenehmen Lage, uns auf die Erfahrungen mit einem ähnlichen Bauwerk, das unter ähnlichen Verhältnissen erstellt worden war, stützen zu können. Die seinerzeit für die Rätherichsbodenmauer aufgestellten Richtlinien (SBZ 1952, S. 574) hatten sich als richtig erwiesen und sie konnten auch für die Oberaar übernommen werden. Es war daher auch gegeben, die gleichen Installationen zu verwenden und diese lediglich entsprechend dem grösseren Objekt und der kürzeren Bausaison zu verstärken. Der ganze Fabrikationsvorgang (Bilder 5 und 6), von der Kiesgewinnung mittels Baggerung bis zur Betoneinbringung, war der gleiche wie bei der Rätherichsbodensperre. Um im Jahr 1953 bereits stauen und im Winter 1953/54 Winterenergie produzieren zu können, musste die Kiesgewinnung im Jahre 1952 beendet und ein Kiesdepot von über 300 000 m³ angelegt werden. Nach der vollständigen Räumung des Oberaarbodens im Herbst 1952 steht nun der Ueberflutung im Frühjahr 1953 nichts mehr im Wege. Rund ⅔ der Mauerkubatur sind betoniert, und es besteht die begründete Hoffnung, den restlichen Beton im Jahr 1953 noch einbringen zu können.

Nachdem wir bei der Rätherichsbodensperre eindeutig erfahren haben, dass mit den heutigen Mitteln und Erkenntnissen ein praktisch wasserdichter Beton hergestellt werden kann, und dass Wasserinfiltrationen und -Durchsickerungen sozusagen ausschliesslich durch Betonierfugen zu befürchten sind, richteten wir unsere Aufmerksamkeit ganz besonders auf diese Fugen. Die Kontrollbohrungen von den Hohlräumen der Rätherichsbodensperre aus haben gezeigt, dass ein geringer örtlicher Porenwasserdruck nur in unmittelbarer Nähe der Wasserseite und ein eigentlicher Auftrieb von der Felskontaktfläche aus praktisch überhaupt nicht besteht. Ich bin überzeugt, dass man bei peinlichster Sorgfalt in der Ausführung und bei sachgemässer Behandlung der wasserseitigen Maueroberfläche auf die Berücksichtigung eines Auftriebes bei der Stabilitätsberechnung einer Sperre verzichten könnte, sofern für genügend Drainage (in unserem Fall Hohlräume und Bohrlöcher) gesorgt wird. Ich bin mir aber auch bewusst, wie sehr das Auftreten eines Auftriebes wie auch des Porenwasserdruckes, der ebenfalls als Auftrieb wirkt, von der Ausführungsgüte abhängt, und wie schwer es für den projektierenden Ingenieur ist, die Qualität der Ausführung in Rechnung zu stellen. Nur eine gründliche Kontrolle seitens der Bauleitung, grosses Verständnis seitens der Unternehmung und eine gute Zusammenarbeit bürgen für eine hohe Qualität des Betons.

Die Ableitung der Abbindwärme vollzieht sich bei der Oberaarsperre etwas günstiger als bei der Rätherichsbodensperre. Die entsprechend der höheren Lage der Baustelle tieferen Temperaturen der Luft und des Brauchwassers und die stärkere Abstrahlung — abgesehen vom Einfluss der geringeren Dosierung — bringen es mit sich, dass die maximalen Betontemperaturen um etwa 10 % tiefer liegen. Dies ist sehr erwünscht, denn bei der Rätherichsbodensperre erreichten die Temperaturspannungen nahezu die Zugfestigkeit. Zahlreiche Risse des Betons bei allen Querschnittschwächungen bewiesen die Richtigkeit dieses Rechnungsergebnisses.

Die minimale Dosierung, mit der sich bei einem Korn von max. 180 mm ein erdfeuchter Beton noch einwandfrei verarbeiten lässt, liegt nach unserer Erfahrung bei P 160. Zahlreiche Proben grösseren und kleineren Ausmasses, die der Mauer entnommen wurden, zeigen ein sehr schönes, gleichmässiges und dichtes Gefüge. Das Raumgewicht des Betons beträgt mindestens 2,49, die Festigkeit ist als Folge des z. T. schiefrigen Materials etwas kleiner als bei der Rätherichsbodensperre. Die Proben zeigen aber auch, wie entscheidend die Wirksamkeit der Vibratoren ist. Der Erfolg der verschiedenen verwendeten Vibratoren war ungleich. Es kann heute wohl behauptet werden, dass trotz der noch nie dagewesenen

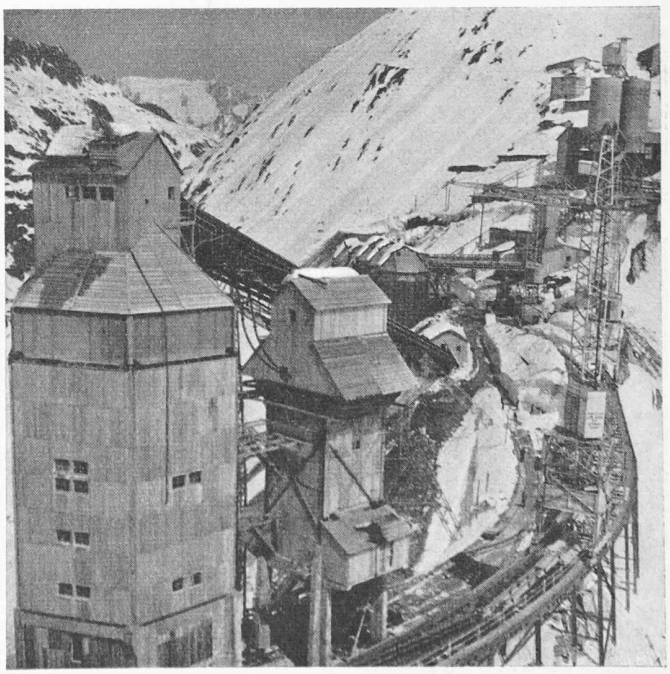

Bild 5. Kies- und Betonaufbereitung. Im Hintergrund rechts Zementsilos 2500 t, links unterhalb Kiesaufbereitung, weiter links 6 Silos für Kies- und Sandkomponenten. Im Vordergrund die beiden Johnsontürme. Rechts davon Dienstbrücke für die Betonierung des rechten Flügels der Staumauer.

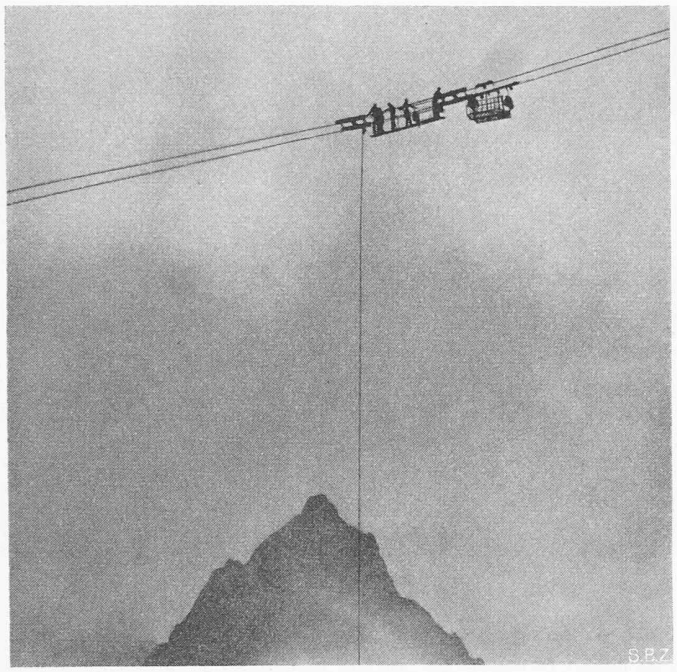

Bild 3. Definitive Luftseilbahn Handeck-Gerstenegg (Rätherichsboden); Montage der Hängestütze: Querseile sind gespannt, Seiltragkonstruktion wird montiert

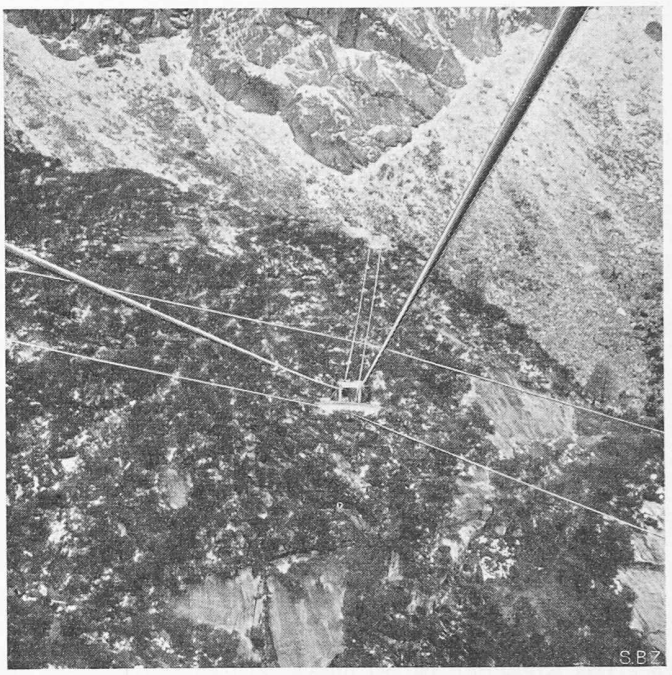

Bild 4. Definitive Luftseilbahn Handeck-Gerstenegg; Blick in Richtung der Querseile der Hängestütze. Seiltragschuhe rd. 150 m über Boden

Konjunktur im Staumauerbau der vollständig befriedigende Vibrator für grobkörnigen, wasserarmen Beton noch nicht entwickelt ist.

Angesichts der geringen zugelassenen Spannungen, des vorsichtig angenommenen Raumgewichtes und des verhältnismässig hohen, der Berechnung zu Grunde gelegten Auftriebes ist die von Unternehmerseite oft geäusserte Frage, ob man mit den Anforderungen an den Sperrenbeton nicht zu hoch gehe, verständlich. Auf jeden Fall berechtigen die bei der Rätherichsboden- und der Oberaarsperre angewandte Sorgfalt und die hohen gemessenen Betonfestigkeiten und Raumgewichte zur Feststellung, dass diese Staumauern eine grosse Sicherheit aufweisen.

Die amerikanische *Betonaufbereitungsanlage System Johnson* hat sich bei zwei Talsperren sehr gut bewährt. Das oberste Stockwerk eines solchen Johnsonturmes (Bild 5) enthält die Silos für Kies-Sand und Zement. Für unsere Sperren unterteilen wir die Zuschlagstoffe in die Komponenten 0 bis 3, 3 bis 8, 8 bis 25, 25 bis 60 und 60 bis 180 mm. Die Komponentensilos werden intermittierend von einem Transportband über einen Verteiler gefüllt. Am meisten Schwierigkeiten bieten die Silos für Feinsand und für Zement. Für den Feinsand muss die Forderung erfüllt werden, dass er vor dem Transport in den Mischturm genügend lang und zweckmässig gelagert wird, damit sich möglichst viel Wasser ausscheidet. Ueberschüssiges Wasser neigt zu Taschenbildung im Silo des Johnsonturmes und zu plötzlichen Entleerungen. Der Zement bildet leicht Brücken und fällt dann stossweise in die Waagbehälter. Es muss daher für eine kontinuierliche Entleerung des Zementbehälters (Schnecke, Druckluft usw.) gesorgt werden.

Im Stockwerk unterhalb der Silos sind die automatischen Waagen und die Waagbehälter (batcher) untergebracht (Bild 7). Die an den Waagen aufgehängten Behälter werden aus den darüberliegenden Silos gefüllt. Sobald der Behälter das richtige Gewicht enthält, wird der Material-Zufluss selbsttätig abgestellt, worauf in die ein Stockwerk tiefer aufgestellten Mischmaschinen entleert werden kann.

Nachdem die Zusammensetzung der Komponenten (Siebkurve), der Wasserzusatz und die Mischdauer eingestellt sind, kann die ganze Betonfabrik von einem Mann am Kommandopult durch Betätigung von Druckknöpfen gesteuert werden. Bei gewissenhaftem Unterhalt der Waagen und Erfüllung der oben erwähnten Forderungen kann die theoretische Betonzusammensetzung auf etwa 3 % genau eingehalten werden.

Trotz dieser weitgehenden Automatisierung der Kies- und Betonaufbereitungsanlagen ist eine sehr strenge und dauernde Kontrolle unerlässlich. Auch aus dem besten Kiesvorkommen

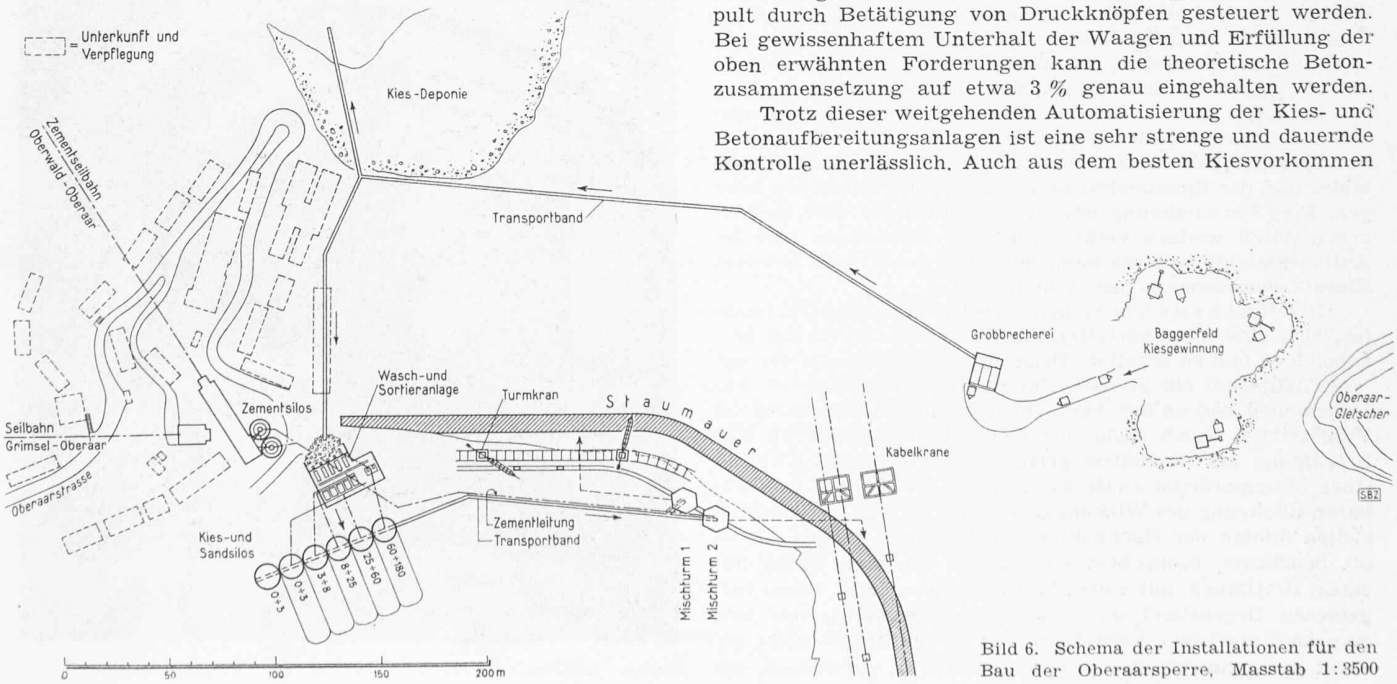

Bild 6. Schema der Installationen für den Bau der Oberaarsperre, Masstab 1:3500

gewonnenes Kies- und Sandmaterial variiert sehr stark, so dass die verständliche Tendenz besteht, die granulometrische Zusammensetzung des Betons dem natürlichen Kies-Sand-Anfall weitgehend anzupassen.

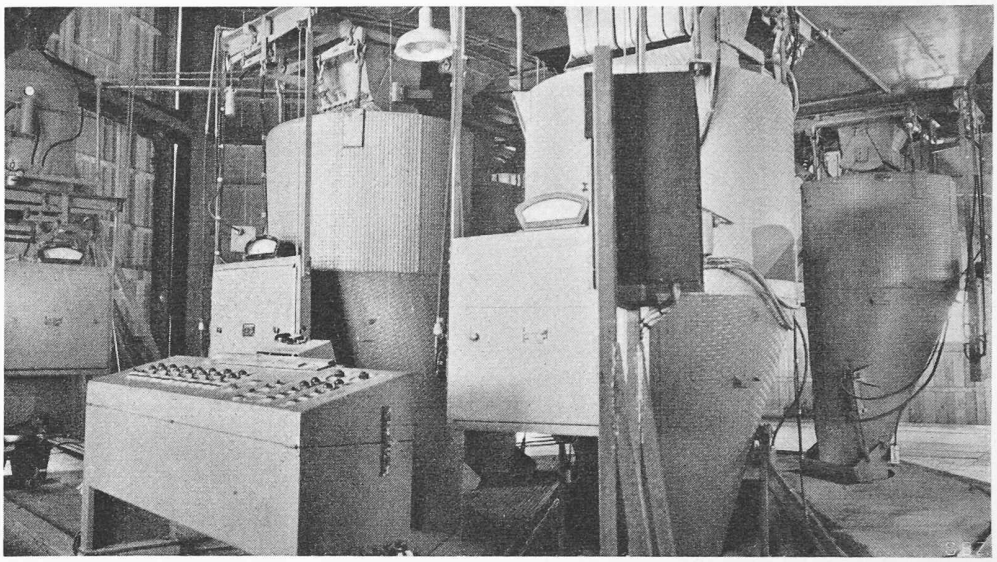

Bild 7. Johnsonturm. Stockwerk mit den automatischen Waagen und dem Kommandopult

Der Stollenbau

Im Gegensatz zu den Stollen zwischen Handeck und Grimsel, die alle im harten Granit liegen und daher weitgehend unverkleidet sind, folgt der Zulaufstollen Oberaar-Wasserschloss beim Grimselpass auf lange Strecken, ungefähr parallel zum Streichen der Gesteinsschichten, einem Schieferzug. Statt 500 m wie vorgesehen, mussten zirka 3½ km Stollen mit einer Betonauskleidung versehen werden. Die Schieferpartien erwiesen sich als wenig standfest und die vertikalen Schichten knickten nach dem Stolleninnern aus.

Das Kreisprofil ist bei diesem kleinen Durchmesser für die Ausführung ungünstig. Die zu schmale Sohle erschwert das Schuttern, den Transport, das Legen der Geleise und den Verkehr im Stollen. Der Stosschaufellader, der ja in Bergwerken schon seit einiger Zeit mit Erfolg verwendet wird, musste im Oberaarstollen, hauptsächlich wegen des Kreisprofils, nach längeren Versuchen durch den Wurfschaufellader ersetzt werden. Der Stosschaufellader wird sich aber bestimmt in günstigeren, vor allem in breiteren Profilen, nach Ueberwindung einiger Kinderkrankheiten auch im Stollenbau einführen. Er gestattet, mehrere Wagen oder mit genügend langem Band sogar ganze Züge ohne Wagenwechsel zu beladen. Damit kann ziemlich viel Zeit eingespart werden und die kostspieligen Ausstellnischen fallen weg.

Für die Betonierung der Auskleidung hat sich der Druckluftförderer sehr gut bewährt. Verbunden mit Innenvibration kann damit sehr gleichmässiger und dichter Beton hergestellt werden. Nur ein ganz undurchlässiger Beton mit sorgfältig imprägnierter Oberfläche vermag dem kalkhungrigen Wasser auf lange Zeit zu widerstehen. Eine saubere, dichte Betonoberfläche, die sich einwandfrei imprägnieren lässt — beim Oberaarstollen durch Fluatieren und Bitumenanstrich — setzt aber eine dichte Schalung voraus. Schmale Längsbretter (Murali) aus Holz sind hierfür unübertroffen; aber auch Leichtmetallschalungen können den heutigen Anforderungen genügen, sofern die Murali jedesmal gut gereinigt werden, so dass sie satt aneinander anschliessen und keine Zementmilch austreten lassen. Bei langen Betonierstrecken, wie beim Oberaarstollen, erwiesen sich diese Metallschalungen als sehr wirtschaftlich (Bild 8; vgl. auch SBZ 1953, S. 10 *).

Eine Weiterentwicklung im Stollenbau ist möglich und muss angestrebt werden. Eine bessere Ausnutzung des Sprengstoffes durch systematisches Studium des Schussbildes und der Sprengwirkung kann noch Einsparungen bringen. Eine Verminderung des Arbeitsaufwandes wird sich ergeben durch weitere Verbesserung der Bohrwagen und der Auflademaschinen, ganz besonders aber durch noch besseren Einsatz der menschlichen Arbeitskraft.

Der Unternehmer muss wieder mehr darnach trachten, sich eine Stammarbeiterschaft und Stammpersonal heranzubilden und zu erhalten. Denn nur der Stammarbeiter und -angestellte hat ein gewisses Interesse am Gedeihen der Unternehmung und an der Anerkennung seiner Arbeit durch die Vorgesetzten. Auch kann nur beim Stammarbeiter an eine Beteiligung am Geschäftsergebnis gedacht werden. Nur mit einer Stammarbeiterschaft kann auch dem deutlich feststellbaren Rückgang des Wirkungsgrades der Arbeit auf den Baustellen infolge der Hochkonjunktur begegnet werden. Es ist oft bemühend, beobachten zu müssen, wie viele Leute mit einem Brettstück, mit einem Werkzeug oder sonst einem vergessenen Gegenstand im Stollen herumspazieren, nur weil man an diese Dinge beim Einfahren in den Stollen nicht gedacht hat. Mannschaften wechseln mitten in der Schicht den Arbeitsplatz, weil nicht vorausdisponiert wurde, oder weil es einem Gruppenchef gerade in den Sinn kam, eine andere Arbeit in Angriff zu nehmen. Mit solchen Umdispositionen und Improvisationen gehen unglaublich viele Arbeitsstunden verloren. Es fehlt heute vielfach das Personal mit Organisationstalent, und zwar vom Vorarbeiter bis zum Bauführer. Selbstverständlich ist die Hochkonjunktur z. T. für diese Zustände verantwortlich. Es liegt aber weitgehend auch an der seit dem Kriege grassierenden Mentalität des Unternehmers, unabhängig von seiner bewährten Organisation Aufträgen nachzujagen, jede Arbeit anzunehmen und sich auf Nachforderungen zu verlassen. Wenn auch bei allem guten Willen in einem Stollen des Kraftwerkbaues nie die Organisation eines Bergwerkes erreicht wird, so lässt sich doch noch vieles verbessern.

Der Druckschacht, vom Wasserschloss beim Grimselpass zur Zentrale Grimsel unterhalb der Grimselsperren führend, stellte uns einige interessante Aufgaben. Zunächst mussten wir uns beim Vortrieb unter dem Grimselsee hindurch auf Ueberraschungen gefasst machen. Durch sorgfältige Voraussondierungen wurden wir jedoch immer rechtzeitig auf wasserführende Klüfte, auf brüchiges und zersetztes Gestein aufmerksam gemacht. Direkte Wassereintritte aus dem Grimselsee, also von Gletscherwasser, konnten keine

Bild 8. Leichtmetallschalungen für die Stollenbetonierung

Bild 9. Schweissnahtprüfung im Druckschacht. Die Kapsel mit dem Iridium-Isotop wird mittels einer Stahlrute aus der Bleibombe herausgezogen

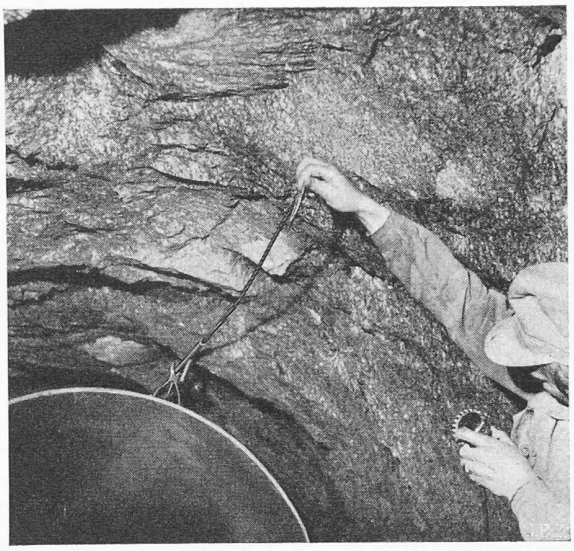

Bild 10. Schweissnahtprüfung im Druckschacht. Die Strahlenquelle aus Ir 192 wird am Ende der Stahlrute zwischen Rohr und Fels eingeführt

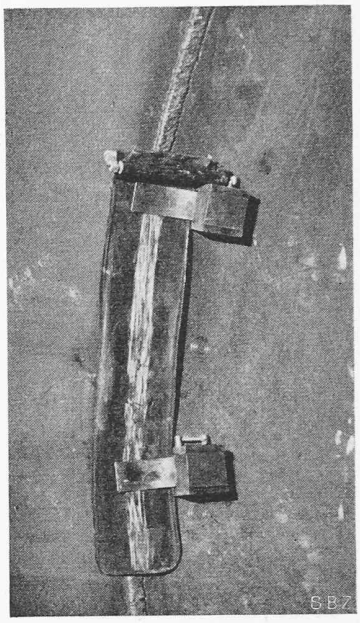

Bild 11. Schweissnahtprüfung im Druckschacht. Auf der Innenseite des Panzerrohres wird ein Filmstreifen auf die Schweissnaht geklemmt

festgestellt werden. Wie zu erwarten war, ist der Seegrund absolut dicht.

Der rd. 1,6 km lange Druckschacht wurde von unten her und von zwei Zwischenfenstern aus nach aufwärts vorgetrieben. Die gepanzerte Strecke misst 1440 m, der Rest ist als freie Druckleitung im Stollen verlegt. Im Vergleich zu den früher erstellten Druckschachtpanzerungen ist das Verhältnis der Blechstärke zum Rohrdurchmesser wesentlich grösser und somit auch die Beulgefahr stark vermindert. Es darf festgestellt werden, dass die Sicherheit der Panzerung entsprechend den Erfahrungen bei Handeck II (siehe SBZ 1952, S. 588*) beim Druckschacht Oberaar sowohl vom Standpunkt der Ausführung als auch in wirtschaftlicher Hinsicht sehr gut abgewogen ist.

Zum ersten Mal in der Schweiz, meines Wissens sogar in Europa, haben wir bei diesem Bauwerk eine durchgehende Kontrolle der Montageschweissnähte der Druckschachtpanzerung mit Gammastrahlen durchgeführt. Als Strahlenquelle diente Iridium 192. Dieses künstliche Isotop, das erst seit etwa zwei Jahren im Ausland käuflich ist, wurde von England bezogen. Der Transport erfolgte in einer Bleibombe, deren Wandstärke genügend ist, um den Austritt der Strahlung zu verhindern. Während für grosse Wandstärken das Kobaltisotop Co 60 mit der grossen Halbwertzeit von 5,3 Jahren und mit harter Strahlung sich besser eignet, hat sich Iridium 192 mit seinen mittelharten Strahlen für kleinere Wandstärken als vorteilhaft erwiesen. Die Halbwertzeit von Ir 192 beträgt 70 Tage. Ungefähr nach Ablauf dieser Zeit wird das Isotop zur Reaktivierung wieder nach dem Erzeugungsort zurückgeschickt. Dort wird es im Atommeiler erneut der Neutronenbestrahlung ausgesetzt, bis es wieder die gewünschte Aktivität besitzt. Die Regenerationszeit beträgt beim Iridium einige Wochen gegenüber mehreren Jahren beim Kobalt. Nach der Regeneration muss das Isotop einige Wochen gelagert werden, bis das schädliche Ir 191 mit einer Halbwerts-Zeit von rd. 20 Stunden abgebaut ist.

Die Kapsel mit dem Isotop kann in der Bleibombe drin an eine Stahlrute angeschraubt und mit deren Hilfe herausgezogen werden. Diese Rute kann verlängert und die Kapsel damit an jede beliebige Stelle zwischen Blech und Fels gebracht werden (Bilder 9 und 10). Die Gammastrahlen durchdringen das Blech bzw. die Schweissnaht von aussen nach innen und treffen auf den photographischen Filmstreifen, der auf der Innenseite des Rohres angebracht ist (Bild 11). Die Fehlererkennbarkeit ist nicht so gut wie bei Röntgenstrahlen, weshalb sich das Verfahren für Feinstrukturuntersuchungen nicht eignet. Für die Kontrolle von Schweissnähten ist die Bildschärfe jedoch genügend.

Bei den ersten geprüften Schweissnähten haben wir schwere Schweissfehler festgestellt, obschon die besten Schweisser der bekanntesten Firmen an der Arbeit waren. Einige Nähte mussten ganz oder teilweise wieder entfernt und neu erstellt werden. Die Wirkung dieser Kontrolle ist weitgehend eine psychologische. Bald waren die Schweisser zu einer derartigen Sorgfalt erzogen, dass sämtliche Nähte die Prüfung bestanden, oder höchstens kleine örtliche Fehler ausgebessert werden mussten.

Die Kosten dieser Schweissnahtprüfung sind, gemessen an ihrem Wert, bescheiden, besonders wenn man genügend Erfahrung besitzt, um beurteilen zu können, wie weit man mit der Kontrolle gehen muss. Sie ist auch billiger als die Röntgenprüfung. Eine Röntgenapparatur könnte in Druckschacht, auch wenn die Befestigung des Filmes aussen möglich wäre, nur sehr schwer transportiert und montiert werden. Ausserdem ist eine solche Apparatur zu empfindlich. Röhrenbrüche und andere Störungen würden den Arbeitsrhythmus, der den übrigen Arbeiten der Montage und des Betonierens angepasst sein muss, in unzulässiger Weise stören. Die Gammastrahlenquelle ist sehr einfach zu handhaben und stets betriebsbereit. Wir arbeiteten mit drei Strahlungsgarnituren, wobei stets eine im Gebrauch und zwei auf der Reise oder im Atommeiler waren. Jede Garnitur enthielt ein Stückchen Iridium von 4 mm Durchmesser im Gewicht von rund 1 Gramm mit einer Aktivität von 2500 bis 2800 Milli Curie.

Die nach Vollendung der Montage der Panzerung und nach sorgfältiger Ausführung der Zementinjektionen durchgeführte Druckprobe hat ein absolut gleichmässiges und elastisches Verhalten des Druckschachtes gezeigt. Für eine Erhöhung des Wasserdruckes im allseitig geschlossenen und gefüllten Schacht um 1 at mussten 175 l Wasser hineingepumpt werden. Eine Druckzunahme in der Mitte des Schachtes von 0 auf 40 at erforderte also eine Wassermenge von 7 m³. Rechnen wir mit einer Elastizitätsziffer für Wasser von 21 000 kg pro cm², so bewirken die 40 at eine Zusammenpressung der 1440 m langen Wassersäule um 2,66 m, entsprechend einem Volumen von 5,6 m³. Die restlichen 1,4 m³ (7,0—5,6) Volumenverlust sind auf die Schachtausdehnung infolge Nachgiebigkeit des Felsens zurückzuführen. Die damit verbundene mittlere Dehnung der Panzerung berechnet sich zu

$$2 \cdot \frac{1{,}4}{D^2 \pi L} = 2 \cdot \frac{1{,}4}{1{,}65^2 \cdot 3{,}14 \cdot 1440} = 2{,}3 \cdot 10^{-4}$$

L = Durchmesser des Schachtes
D = Länge des Schachtes

Diese Dehnung entspricht einer Stahlspannung von $2{,}1 \cdot 10^6 \cdot 2{,}3 \cdot 10^{-4} = 483$ kg/cm². Am untern Ende des Schachtes wird somit gemäss diesem Ergebnis aus dem grössten Betriebsdruck von rund 65 at (inkl. Zuschläge) eine Beanspruchung der Panzerung von rd. 800 kg/cm² entstehen. Im weiteren geht aus diesen Messungen hervor, dass ¼ des Wasserdruckes im Druckschacht von der Panzerung, ¾ vom umgebenden Fels übernommen werden.

In konsequenter Auswertung der Erfahrungen mit den bereits mehr oder weniger lang im Betrieb stehenden Druckschächten haben wir auch beim Kraftwerk Oberaar der Rostschutzbehandlung der Druckschacht-Panzerung grösste Aufmerksamkeit geschenkt. Das Verfahren der Lufttrocknung und der besonderen Scharftrocknung der Schachtwandung wurde gegenüber Handeck II noch verbessert. An Stelle der Reinigung mit Sandstrahlgebläse haben wir hier erstmals ein maschinelles Reinigungsverfahren angewandt. Nach langwierigen Versuchen bei der Firma von Arx in Sissach haben wir uns entschlossen, die Panzerstrecke des Zulaufstollens mit der v. Arxschen Reinigungsmaschine (Bild 12) zu behandeln, um uns für die spätere Ueberholung der Druckschächte Handeck I und Innertkirchen die nötigen Erfahrungen anzueignen. Die Entwicklungsgeschichte dieser Reinigungsmaschine war aber mit der Anwendung in der 350 m langen Panzerstrecke des Zulaufstollens Oberaar noch lange nicht abgeschlossen, so dass wir uns genötigt sahen, auch den Druckschacht nach dieser Methode zu reinigen. Diese erlaubt eine wesentliche Beschleunigung der Reinigungsarbeit gegenüber dem Sandstrahlverfahren. Doch stellen sich in bezug auf Rauhigkeit und Haftung wieder ganz neue Probleme.

Mit einem Zinkauftrag von 0,2 mm Stärke, einem doppelten Kaltanstrich und zweifachem Heissbitumenauftrag glauben wir, das bestmögliche für einen dauerhaften Rostschutz getan zu haben.

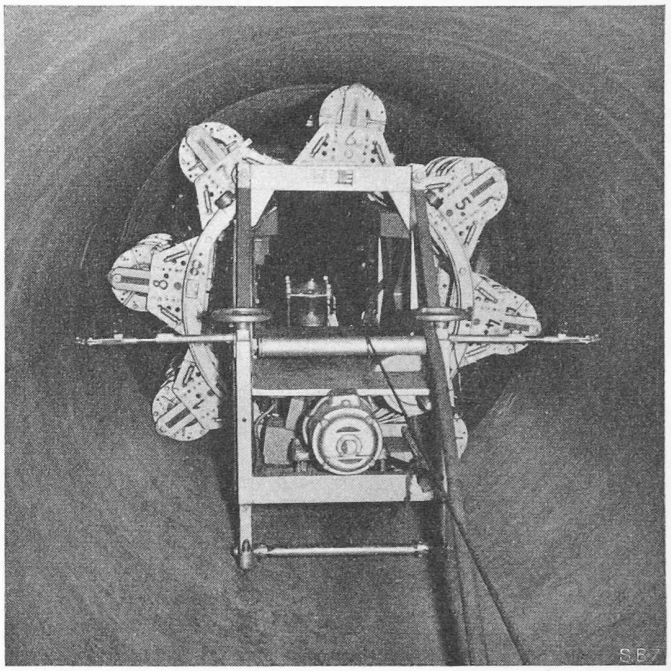

Bild 12. v. Arxsche Reinigungsmaschine, zum Reinigen der Druckschachtpanzerung

Schlussbetrachtungen

Ein deutlicher Fortschritt in qualitativer wie in quantitativer Hinsicht ist im Verlaufe der letzten zehn Jahre im Kraftwerkbau unverkennbar. Aber die Entwicklung ist, ganz besonders in wirtschaftlicher Beziehung, noch nicht abgeschlossen. Nach meinem Dafürhalten sollte es z. B. mit den heutigen Mitteln möglich sein, den Stollenbau um mindestens 10 % zu verbilligen. Der Sprengstoff ist bei uns verhältnismässig teuer. Ausserdem wird er noch zu wenig durchdacht ausgenützt. Die Mineure und erst recht die Vorarbeiter sollten eine gründliche Schulung in der Handhabung der Sprengstoffe und der Zündmittel erfahren. Die aufgeblähte Baukonjunktur und Lücken in der Schul- und Berufsbildung bringen es mit sich, dass mancher als Bauführer eingesetzt wird, dem die Eignung zur Menschenführung und jedes Organisationstalent abgehen. Es sind mir Bauten bekannt, bei deren Erstellung der Lohnaufwand um 20 % zu hoch war, d. h. die unproduktive oder unbrauchbare Arbeit lag in dieser Grössenordnung. Aber abgesehen von diesen unproduktiven Bauplatzkosten haben sich auch die allgemeinen Unkosten für Aufsicht, Verwaltung und Versicherungen in erschreckendem Ausmass vergrössert. Die Lohnzuschläge, die der Unternehmer bei den Preiskalkulationen machen muss, sind im Verlaufe von 20 Jahren auf das Dreifache gestiegen.

Das Versicherungswesen hat heute einen Stand erreicht, der zu denken gibt. Alles kann man versichern, sogar die Dummheit, und eine verderbliche Mentalität wird dadurch gezüchtet. Wie oft hört man doch bei einem Brandfall, oder wenn sonst etwas zerstört wird, die Meinung vertreten, es mache nichts, die Sache sei ja versichert. Angesichts der Tatsache, dass heute im Stollen- und Kavernenbau, neben allen andern Versicherungen, allein die Unfallversicherung bis zu 38 % der Lohnsumme verschlingt, und die SUVA feststellt, dass mehr als die Hälfte der Unfälle vermieden werden könnten, muss man sich wundern, dass für die Unfallverhütung nicht mehr getan wird.

Auch auf diesem Gebiete macht sich eben die allgemeine Tendenz nach Massenfürsorge an Stelle der Vorsorge immer stärker bemerkbar. Es ist die Tendenz, die eindeutig in Richtung der Staatswirtschaft weist. Ich habe in unserem Arbeitsgebiet auf Grund von Beobachtungen berechnet, dass 15 bis 20 % der Lohnsumme eingespart werden könnte durch Aufklärung, durch Appell an die Einsicht und an den guten Willen. Es müsste möglich sein, die Unfälle auf die Hälfte zu vermindern, zahlreiche Schäden aller Art zu vermeiden und dadurch die Versicherungskosten entsprechend zu senken. Man müsste die Arbeiterschaft durch Heranbildung möglichst vieler Stammarbeiter und durch Hebung des Bildungsstandes dazu bringen, auch ohne lückenlose Aufsicht (meist ja doppelte Aufsicht) rechte Arbeit zu leisten und zum Werkzeug und Baumaterial Sorge zu tragen. Vielen Menschen, vom Arbeiter bis zum Ingenieur, fällt es sehr schwer, gesamtwirtschaftlich zu denken. Oft macht es den Anschein, dass, je mehr das Wort sozial im Munde geführt wird, desto weniger der Einzelne an soziale Zusammenhänge, an das Gesamtinteresse denkt. Ist es nicht bedauerlich, dass der grösste Teil des Fortschrittes der letzten 20 Jahre in wirtschaftlicher Hinsicht durch Vermehrung der unproduktiven Unkosten wieder verloren ging?

Die Aufgabe der Unfallverhütung, der Verantwortung dem Nächsten und den anvertrauten Mitteln gegenüber sollte eigentlich bei praktischer und aktiver christlicher Lebensauffassung überhaupt kein Problem sein. Weil aber diese Lebensauffassung nicht mehr modern ist, muss irgend ein äusserer materieller Anreiz an deren Stelle treten. Der Unternehmer, der Bauführer, ja jeder Arbeiter, der Unfälle verhüten hilft, sollte dafür irgendwie belohnt werden. Der Arbeiter, der zum Werkzeug und zum Material Sorge trägt, sollte gegenüber dem, der es verschleudert, sichtbar bevorzugt werden. Die Amerikaner sind uns in dieser Beziehung mit ihrem praktischen Sinn weit voraus. Wäre es nicht eine schöne und dankbare Aufgabe für die Arbeiterführer, in diesem Sinne zu wirken und somit wirklich sozial tätig zu sein?

Trotz der noch bestehenden Mängel und Verbesserungsmöglichkeiten bei der Ausführung ist ein Kraftwerkbau ein schönes Symbol menschlicher Zusammenarbeit. Von den ersten Richtlinien der zuständigen Behörden bis zum Konzessionsprojekt ist schon ein langer Weg, auf dem sich viele Meinungen zum Kompromiss finden. Und so geht es weiter zum Ausführungsprojekt und schliesslich zur Bauausführung.

Was für heterogene Kräfte müssen bei der baulichen und elektromechanischen Gestaltung zusammenspielen! Zahlreiche Detailpläne werden auf dem Bau hergestellt. Sie geben oft Anlass zu tiefgründigen langen Sitzungen wenig zuständiger Kommissionen! Während die Techniker und Arbeiter an sichtbarer Stelle gegen natürliche und menschliche Schwierigkeiten kämpfen, messen sich in der Etappe finanz-, wirtschafts- und machtpolitische Kräfte. Während jene auf lange Sicht zu bauen wähnen, planen diese oft noch viel grosszügiger und weiter vorausschauend. Der Aussenstehende, insbesondere der Laie, sieht die Entstehung eines Kraftwerkes als logische technische Entwicklung. Der direkt Beteiligte erblickt vorerst eher ein grosses Gewirr. Welch interessante Studiengelegenheiten würden sich hier für Schriftsteller und Psychologen bieten! Hier wird praktische Ueberlegung durch wissenschaftlich verbrämte Kompliziertheit ersetzt; dort möchte eine Baustelle eine Vereinfachung, die sich projektmässig nicht verantworten lässt, durchsetzen. Vielerorts gibt man sich Mühe zu beweisen, dass zwei gleichgestellte Techniker nie einig sind. Wenn aber am Schluss die Projektbeschreibung mit Bauplatzbildern der Oeffentlichkeit übergeben wird und damit, bewusst oder unbewusst, die von der Bauleitung getroffenen Massnahmen und Einrichtungen auch seitens der Pro-

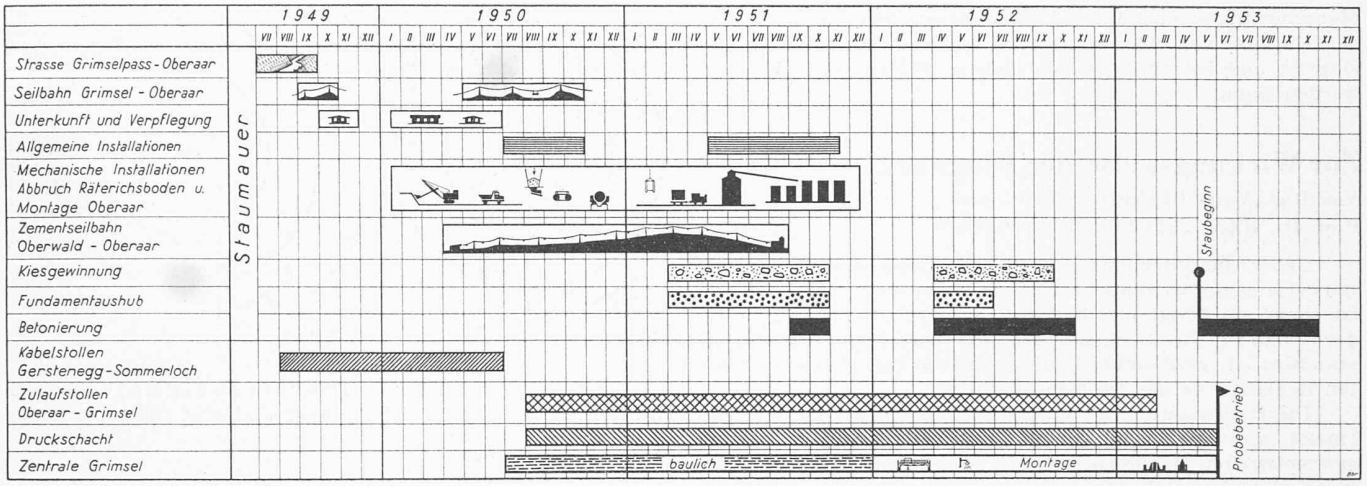

Bild 13. Ausführungsprogramm des Kraftwerkes Oberaar

jektierenden anerkannt werden, wenn das Werk eingeweiht wird, wenn wieder Millionen von neuen kWh in das schweizerische Netz gepresst werden, dann darf füglich von einer gelungenen menschlichen Zusammenarbeit gesprochen werden, wie sie sich kaum anderswo so deutlich manifestiert. Das Zusammenspiel dieser mannigfaltigen Kräfte, Interessen und Fähigkeiten stellt immer wieder die Bedeutung des Menschen in der Bauorganisation unter Beweis. Anderseits lehrt uns das Walten der Naturkräfte stets aufs neue, bescheiden zu werden, die menschlichen Fähigkeiten und die technischen Mittel nicht zu überschätzen. Wie heilsam ist es in dieser Hinsicht, einmal auf einen der mächtigen Berggipfel zu steigen und von dort aus unsere vermeintlich grossen Baustellen zu betrachten. Mit unbewaffneten Augen sind sie kaum zu erkennen.

Dieses Jahr wird das Kraftwerk Oberaar in grossen Zügen vollendet werden. Kaum ist diese Bauorganisation ausgebaut, kaum richtig eingespielt, muss sie — so scheint es uns wenigstens — schon wieder aufgelöst werden. Dieser volkswirtschaftlich nicht gerade vorteilhafte Auf- und Abbau müsste uns Beteiligte sehr nachdenklich stimmen, wenn wir nicht wenigstens das Bewusstsein mitnehmen könnten, wieder einen kleinen Beitrag geleistet zu haben zum grossen Auftrag an die Menschheit, die Erde untertan zu machen. Dieser gewaltige Auftrag ist uns ja in der Schöpfungsgeschichte klar und deutlich erteilt. Wo lässt er sich augenfälliger erfüllen als im Kraftwerkbau? Im gleichen Buche sind uns aber auch absolut unmissverständlich die ethischen Richtlinien gegeben, nach denen die Unterwerfung der Erde, ihrer Kräfte und Güter zu erfolgen hat. Es tut gut, nach Erfüllung eines Auftrages einen Augenblick innezuhalten, um rückblickend die getane Arbeit in diesem Sinne zu überprüfen. Dabei muss sich auch unwillkürlich die Frage aufdrängen: wozu baut man eigentlich ein Kraftwerk? Doch wohl für die Menschen, um ihre Lebensbedingungen zu verbessern, also letzten Endes um der Menschenwürde willen! Das schliesst alles, Mittel und Menschen, in sich ein. Diese Erkenntnis verpflichtet aber auch zur Schaffung der bestmöglichen Arbeitsbedingungen bei der Ausführung des Werkes selbst.

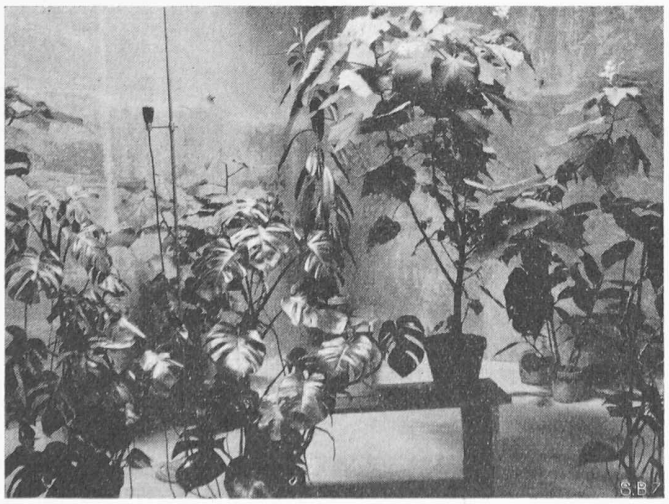

Bild 1. Verschiedene Zimmerpflanzen im Hallraumlabor

Die Schallabsorption von Zimmerpflanzen

Von Dipl. Ing. A. LAUBER, Bern DK 534.845:645.5

Es scheint, dass in den letzten Jahren den Zimmerpflanzen, als Element der modernen Wohnraumgestaltung, eine steigende Bedeutung zugemessen wird. Ausser den dekorativen und ästhetischen Eigenschaften, die diese Pflanzen unbestritten haben, werden ihnen aber oft noch geradezu phantastisch anmutende andere Auswirkungen zugeschrieben. Es wird z. B. behauptet, dass Zimmerpflanzen einen massgebenden Einfluss auf die Akustik des betreffenden Raumes ausüben.

Um diese Behauptungen überprüfen zu können, wurde die Schallabsorption von solchen Zimmerpflanzen gemessen. Bekanntlich bestimmt die Schallabsorption der Gegenstände und Oberflächen in einem bestimmten Raum die Nachhallzeiten und damit auch weitgehend sein akustisches Verhalten. Bild 1 zeigt die Aufstellung der Zimmerpflanzen im Hallraum, in dem die Schallabsorption gemessen wurde. Wie man sieht, wurden für die Messung verschiedene Pflanzen verwendet, nämlich drei Stück ficus elastica (Gummibaum), drei Stück sparmannia africana (Zimmerlinde) und drei Stück monstera deliciosa (fälschlicherweise bekannt unter dem Namen Philodendron). Jede Pflanze hatte die Grösse eines erwachsenen Menschen; lose zusammengestellt beanspruchten sie alle zusammen ein Volumen von rund 5 m³.

Bild 2 zeigt die für diese Pflanzen gemessene Schallabsorption; zum Vergleich ist mit gestrichelter Linie die Schallabsorption aufgetragen, die ein normaler Teppich von 3,4 m² Fläche hätte. Aus diesen Messungen geht deutlich hervor, dass die Schallabsorption von Zimmerpflanzen klein ist. Sie beträgt pro Pflanze im Durchschnitt 0,14 m², was etwa 3,5 mal weniger ist, als die Schallabsorption eines gleich grossen

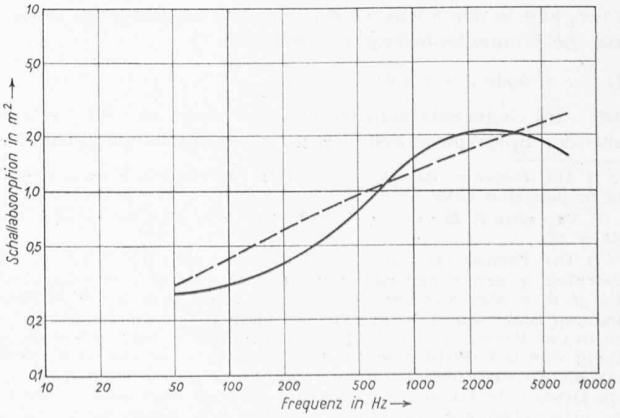

Bild 2. Gemessene Schallabsorption: ——— von 9 Stück Zimmerpflanzen, — — — eines 3,4 m² grossen Teppichs