

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 71 (1953)  
**Heft:** 9: Sonderheft zum Geburtstag von Prof. Dr. E. Meyer-Peter. 2. Teil

**Artikel:** Erfahrungen bei den Kraftwerkbauten der Schweiz. Bundesbahnen  
**Autor:** Eggenberger, H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-60509>

### **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:** 22.02.2026

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

bleibende Wasserführung der Sihl an der Kantonsgrenze Schwyz-Zürich durch Wasseraufgabe aus dem Sihlsee auf minimal 2,5 m<sup>3</sup>/s aufzubessern, so aus, dass bei niedrig ausgebauten Werken überhaupt kein und bei höher ausgebauten Werken nur ein verhältnismässig geringer Ausfall verursacht wird. Für die erste Gruppe resultiert aus der Niederwasserverbesserung ein reiner Nutzen. Durch die Dotierung wird das Niederwasser der Sihl, das vor dem Bau des Etzelwerkes bis auf 0,6 m<sup>3</sup>/s zurückging, auf etwa die vierfache Minimalabflussmenge erhöht. Die Dotierung beansprucht in mittleren Jahren etwa 10 % des Zuflusses zum Sihlsee, was zeigt, dass wirtschaftlich solchen Massnahmen enge Grenzen gesetzt sind. Bei unterhalb der Wasserrückgabe eines Speicherwerkes gelegenen Wasserkraftanlagen setzt der Wasserzufluss zeitweilig aus, wenn das Zwischeneinzugsgebiet klein und das Flussbett nicht mit einer Stetswassermenge zu dotieren ist. In solchen Fällen kann die Ersatzpflicht durch ein gemischtes Regime — Wasseraufgabe oder Energielieferung — erfüllt werden. Um den Übergang von Energieerzeugung auf Energiebezug zu erleichtern, ist die Zwischenschaltung eines kleinen Ausgleichbeckens zu empfehlen. In sinngemäss gleicher Weise wie beim Beispiel mit teilweisem Gefälleinstau ist auch bei verändertem Zuflussregime sein Einfluss auf die Leistungsfähigkeit bestehender Werke zu berechnen.

Ist in allen vorkommenden Fällen für ein betroffenes Werk die Grösse des Leistungs- und Energieausfalles bestimmt, so stellt sich die Frage nach der Art der Entschädigung. Sie ist nach dem Bundesgesetz über die Enteignung, wenn Gesetz oder Abrede nichts anderes bestimmen, in Geld, als Kapitalzahlung oder als wiederkehrende Leistung zu entrichten. An Stelle der Geldleistung kann bei der Enteignung von Wasser und Wasserkraft ganz oder teilweise eine Sachleistung treten und nach dem Ermessen des Gerichtes die Entschädigung durch Abgabe von Wasser oder Kraft geleistet werden. Diese Realersatzleistung hat sich bei Ausfall von Wasserkraften weitgehend durchgesetzt. Der Expropriat verfügt uneingeschränkt über die frühere Leistung seiner Anlage und damit über ein wertbeständiges Bezugsrecht. In diesem Falle wird die Verständigung dadurch erleichtert, dass die Ersatzleistung dauernd zur Verfügung steht, und es dem Berechtigten überlassen bleibt, sie zeitlich kürzer oder länger auszunützen, wie er es früher mit der reinen Wasserkraft tun konnte. Damit ist eine bei Geldabfindung auftretende schwierige Frage umgangen, indem eine Verständigung über den Ausnützungsgrad oder mit andern Worten über die Gebrauchsdauer des Leistungsausfalles nicht notwendig wird. In vorgekommenen Fällen zeigte sich wiederholt, dass entgegen der Annahme bei den Verhandlungen die dauernd zur Verfügung stehende Ersatzleistung später nur zeitweise beansprucht wird.

Bei Realersatz zur Ergänzung einer in Betrieb bleibenden Anlage gestaltet sich das wirtschaftliche Verhältnis zwischen den beteiligten Werken sehr einfach, weil die Betriebskosten für die Zeit vor und nach dem Einstau praktisch gleich bleiben. Ein Unterschied tritt einzig beim Wasserzins ein, falls dieser nur noch für die tatsächlich verbleibende Wasserkraft bezahlt werden muss. Unter dieser Voraussetzung hat deshalb der Bezüger der Ersatzenergie dem Lieferanten das Wasserzinsbetreffnis zurückzuerstatten. Andererseits hat der Lieferant für die Erstellung und den Betrieb der Einrichtungen aufzukommen, die für die Lieferung der Ersatzleistung an die frühere Produktionsstelle notwendig sind.

Bei Realersatz für eine im Betrieb stillgelegte Wasserkraftanlage werden die finanziellen Ansprüche an den Enteigneten grösser, weil er von Aufwendungen entlastet wird, die er für die im Betrieb stehende Anlage tragen musste. Hierüber trifft man bei Verhandlungen über die Ablösung

von Wasserkraften häufig auf unhaltbare Auffassungen, indem Barentschädigung für eine untergehende Anlage und zudem unentgeltliche Ersatzlieferung verlangt werden. Die Sache wird aber sofort klar, wenn wir uns überlegen, dass der Enteignete früher die gesamten sogenannten Jahreskosten für seine Anlage zu tragen hatte, die sich aus den Aufwendungen für Verzinsung und Amortisation des Anlagekapitals, Betrieb und Unterhalt, Abschreibungen oder Erneuerungsrücklagen, Wasserzins, Steuern und Generalunkosten zusammensetzten. Von diesen Aufwendungen verbleiben dem Enteigneten bei Realersatzbezug nur die Verzinsung und Amortisation des ursprünglichen Anlagekapitals bis zum Ablauf der Konzessionsfrist. Er spart die Aufwendungen für die übrigen Jahreskostenanteile. Zudem werden die Rücklagen, die für künftige Erneuerungen gemacht wurden, frei. Dieser letzte Posten hat je nach dem Alter und Betriebszustand der eingehenden Anlage kleinere oder grössere Bedeutung. Die Ersparnis wird für den Enteigneten am grössten, wenn beim Weiterbetrieb die Maschinenanlage kurzfristig erneuert werden müsste. Da er nun durch die Ersatzlieferung dieser Notwendigkeit entoben wird, ist es richtig, wenn er auch diesen freigewordenen Betrag einmalig als Kapitalzahlung oder als Rente, berechnet für die noch nicht abgelaufene Konzessionsdauer seiner Anlage, dem Lieferanten der Ersatzenergie zukommen lässt. Es ergibt sich so eine feste jährliche Entschädigung für die gesamte Ersatzenergie im Betrage der vom Enteigneten aus der Stilllegung seiner Wasserkraftanlage gemachten Ersparnisse. Die Entschädigung an den Lieferanten kann jährlich als fester Betrag oder als Vergütung pro tatsächlich bezogene Kilowattstunde geleistet werden. In diesem letzten Falle hat der Enteignete auch ein gewisses finanzielles Interesse daran, die Ersatzleistung nur in dem Umfange zu beziehen, wie er sie tatsächlich braucht, oder mit andern Worten ausgedrückt, sie zu dem auf Grund der ersparten Jahreskosten berechneten Ansatz dem Lieferanten zu überlassen. Da die vom Enteigneten ersparten Jahreskosten mit schwankendem Geldwert ändern, ist für die zu bezahlende Vergütung in längeren Perioden von vielleicht 20 Jahren eine Nachprüfung und allfällige Neufestsetzung zu empfehlen.

Nach gleichen Grundsätzen, wie Ausfälle in bestehenden Wasserkraftwerken zu entschädigen sind, ist es andererseits auch gerechtfertigt, von ihnen periodische oder einmalige Beiträge an die Kosten des Baues und Unterhaltes von Anlagen zu verlangen, die ihnen bleibend erheblichen Nutzen bringen und von Dritten errichtet wurden. Der Grundsatz hierfür ist in Artikel 33 des Bundesgesetzes über die Nutzbarmachung der Wasserkräfte vom 22. Dezember 1916 festgelegt. Solche Fälle liegen bei Durchführung von Seeregulierungen und bei Erstellung von Speicherbecken oberhalb eines Werkes vor, wobei nach dem genannten Gesetz die zuständige Behörde, wo die Umstände es rechtfertigen, nachträglich eine Genossenschaft aller Beteiligten anordnen kann. Von dieser Möglichkeit ist bisher in der Praxis kein Gebrauch gemacht worden, wie meines Wissens auch Beiträge von Wasserkraftbesitzern an oberhalb errichtete Speicherbecken eine Ausnahme geblieben sind. Diese Entwicklung zeigt die Tendenz, neu errichtete Werke für alle Schäden aufkommen zu lassen, die sie in irgend einer Weise veranlassen, sie dagegen am Nutzen, die Dritte daraus ziehen, nicht teilnehmen zu lassen. Im Interesse der leichteren Finanzierung von Gemeinschaftswerken, wie z. B. Seeregulierungen, wäre es zu begrüssen, wenn, wie vielfach im Ausland, auch bei uns ein für alle Beteiligten gangbarer Weg gefunden würde. Die in Schweden bestehenden rund 20 Regulierunternehmen an ebenso vielen Flussläufen können uns für die zu erstrebende Regelung wertvolle Anregungen geben.

## Erfahrungen bei den Kraftwerkbauten der Schweiz. Bundesbahnen

Von Dr. h. c. H. EGGENBERGER, a. Oberingenieur der SBB, Bern

DK 627.8.004.6

Im Jahre 1913 stimmte der Verwaltungsrat der SBB einem Bericht der Generaldirektion zu, in dem diese zum Schlusse kam, dass es für die Bundesbahnen geboten erscheine, die Kraftwerke für den elektrischen Bahnbetrieb selbst zu bauen und zu betreiben. In diesem Bericht wurde aber nicht starr an bahneigenen Kraftwerken festgehalten, sondern ergänzend bemerkt, dass eine allgemein bindende Regel nicht aufgestellt werden solle; es könne Fälle geben, in denen der Anschluss

an private Werke vorteilhaft sei, namentlich bei der Schaffung grosser Stauseen, zum Zwecke gegenseitiger Aushilfe und bei der Versorgung abgelegener Bahnstrecken mit elektrischer Energie. Den aufgestellten Grundsätzen, hauptsächlich Eigenbau, dann aber auch Verbindung mit andern Elektrizitätsunternehmen in beschränktem Umfang, wurde während der ganzen Elektrifizierungsperiode nachgelebt.

Die SBB erstellten folgende bahneigenen Kraftwerke:

1. Das Kraftwerk *Massaboden*, Umbau der für den Bau des Simplontunnels I in den Jahren 1898 und 1899 erstellten Wasserkraftanlage an der Rhone zwischen Mörel und Brig (SBZ Bd. 73, S. 275\* ff., 1919).

2. Das Kraftwerk *Ritom* am Fossbach (SBZ Bd. 81, S. 246\* ff. und Bd. 82, S. 6\* ff., 1923) mit Zuleitung des Cadlimobaches (SBZ Bd. 98, S. 193\*, 1931) und der Garegna (letzgenannte im Bau).

3. Das Kraftwerk *Amsteg* an der Reuss von Wassen bis Amsteg mit Zuleitung des Fellibaches, des Kärstelenbaches und des Etzlibaches (SBZ Bd. 86, S. 229\* ff., 1925, und Bd. 87, S. 170\* ff., 1926).

4. Das Kraftwerk *Göschenen*, Umbau der zum Betrieb der Ventilationsanlage des Gotthardtunnels erstellten Wasserkraftanlage an der Gotthard-Reuss.

5. Das Kraftwerk *Barberine* an der Barberine von Emosson bis Châtelard mit Zuleitung des Nant de Drance und des Triège.

6. Das Kraftwerk *Vernayaz* an der Eau noire und am Trient von Châtelard bis Vernayaz mit Zuleitung des Pécheux, des Trient- und Barberine-Wassers, der Bäche von Finhaut und des Triège.

7. Das Kraftwerk *Trient* für die Zuleitung des Trient zum Oberwasserkanal des Kraftwerks Vernayaz.

Im weitem wurden bei einer Beteiligung der SBB von 55 % am Aktienkapital zusammen mit den Nordostschweizerischen Kraftwerken das *Etzelwerk* und das Kraftwerk *Rupperswil-Auenstein* (SBZ 1950, S. 50\* ff.) an der Aare erstellt und langfristige Energielieferungsverträge mit den Bernischen und mit den Bündner Kraftwerken AG. (BKW und BK) abgeschlossen. Ferner sind Anschlüsse an die Nordostschweizerischen Kraftwerke (NOK) in Seebach über eine Umformeranlage, an die Aare-Tessin AG. (Atel) durch Aufstellung einer Maschinengruppe im Kraftwerk Göschen (SBZ Bd. 75, S. 1\* ff., 1920), an die Centralschweizerischen Kraftwerke AG. (CKW) über eine Umformeranlage im Lungernwerk (SBZ Bd. 84, S. 251\* ff., 1924), an die Salanfe S. A. durch Aufstellung einer Maschinengruppe im Kraftwerk Miéville (SBZ 1951, S. 735\*) und an die S. A. Dinamo, Mailand, im Kraftwerk Varzo, geschaffen worden. Ausserdem besteht ein Vertrag für die Lieferung von Aushilfsenergie mit der Gemeinschaft BKW, NOK, Atel und EOS. Endlich sei noch auf das Kraftwerk *Göschenen* hingewiesen, an dessen Gestaltung Prof. Dr. Meyer-Peter massgebend beteiligt ist. Dieses Werk, an dem die SBB und die CKW mit je 50 % interessiert sind, bildet mit dem geplanten grossen Staudamm auf der Göschenalp und einer Zentrale in Göschenen die natürliche Ergänzung der Kraftwerke Wassen und Amsteg, denen es durch sein Speicherbecken mit 75 Mio m<sup>3</sup> Nutzinhalte eine bedeutende Vermehrung der Winterenergie bringen wird.

Uebrigens hat der Jubilar früher schon seine Kenntnisse und Bauerfahrungen den SBB als Experte zur Verfügung gestellt, so beim Kraftwerk Vernayaz und beim Etzelwerk. Unter seiner Leitung sind auch Modellversuche in der Versuchsanstalt für Wasserbau an der ETH zur Ermittlung der Dimensionen des Unterwasserkanals des Etzelwerkes und des Kolkes beim Wehr des Kraftwerkes Rupperswil-Auenstein, sowie über die Gestaltung der Turbinenausläufe dieses Werkes mit bestem Erfolg ausgeführt worden.

Im eng gesteckten Rahmen der Festschrift ist es lediglich möglich, einige wichtige Bauobjekte herauszugreifen und über ihr Verhalten seit der Erstellung kurz zu berichten.

## I. Der Zulaufkanal des Kraftwerkes Massaboden

Die in den Jahren 1898/99 für den Bau des Simplontunnels I erstellte Wasserkraftanlage an der Rhone von Mörel bis Brig ist in den Jahren 1915/16 umgebaut worden. Die Wasserfassung und der 3,2 km lange Eisenbetonkanal (System Hennebique) mit einer maximalen Wasserführung von 7 m<sup>3</sup>/s wurden weiter benützt. Um eine bessere Ausnützung des zur Verfügung stehenden Wassers zu erreichen, wurden am unteren Ende des Kanals ein Ausgleichbecken mit einem Nutzinhalte von 8000 m<sup>3</sup>, ein Druckstollen von etwa 200 m Länge, ein neues Wasserschloss und eine Druckleitung von nur 80 m Länge, an Stelle der alten, 1427 m langen Leitung bis Brig, erstellt. Die neue Zentrale kam an den Zusammenfluss der Massa mit der Rhone zu liegen. Im Hinblick auf die Eröffnung des zweiten Simplontunnels wurde für die maschinellen Anlagen des Kraftwerkes eine Leistung von 4000 kW vorgesehen.

Im Jahre 1931 beschädigte ein Felssturz den Hennebique-Kanal auf eine Länge von 70 m und in der Folge entstanden am Kanal in zunehmendem Masse Frostschäden. Der Unterhalt erforderte von Jahr zu Jahr grössere Mittel und hatte immer längere Betriebsunterbrüche des Kraftwerkes zur Folge, so dass sich die SBB im Jahre 1948 entschlossen, den Kanal durch einen Stollen zu ersetzen und diesen für eine maximale Wasserführung von 20 m<sup>3</sup>/s zu dimensionieren, entsprechend dem Ausbau des inzwischen oberhalb Mörel von der Aluminium-Industrie AG. erstellten Kraftwerkes<sup>1</sup>). Die übrigen an den Stollen anschliessenden Anlagenteile (Ausgleichsbecken, Druckstollen, Druckleitung) genügen der erhöhten Wasserführung von 20 m<sup>3</sup>/s, wobei allerdings in der kurzen Druckleitung eine maximale Wassergeschwindigkeit von 6,4 m/s entstehen wird, wenn die neuen, stärkeren Einphasengeneratoren einmal in Betrieb genommen sind. Da das Kraftwerk Massaboden mit dem Energieübertragungsnetz der SBB über eine 66 kV-Leitung verbunden ist, arbeitet es auf Grundlast, so dass das zur Verfügung stehende Rhonewasser bis zur Ausbauwassermenge restlos, mit Hilfe zweier Einphasengruppen und einer Drehstromgruppe, zur Ausnützung gelangen wird.

## II. Der Umlauftunnel des Kraftwerkes Amsteg

Die Reuss ist am Pfaffensprung durch das in ihrem Bett gebildete, etwa 300 m lange Ausgleich- und Klärbecken unterbrochen. Der Fluss wird zur Verhinderung der Geschiebeablagung in diesem Becken linksufrig in einem 280 m langen Tunnel, der normale Hochwasser bis etwa 220 m<sup>3</sup>/s abzuführen vermag, mit Hilfe eines niedrigen Wehres umgeleitet. Bei grösserem Hochwasser fliesst noch ein Teil der Abflussmenge durch das Staubecken, was die Ablagerung von feinem Sand und Schlamm zur Folge hat, der indessen bei der jährlich einmal stattfindenden Spülung zur Hauptsache abgeführt werden kann. Eine Baggerung des auf beiden Seiten des Beckens noch liegendebliebenen Schlammes war während der 30jährigen Betriebszeit des Kraftwerkes Amsteg nicht erforderlich.

Der Umlauftunnel, der im oberen Teil Sandablagerungen und Gehängeschutt durchfährt, weist unmittelbar hinter dem Einlauf einen trompetenförmigen Absturz auf, durch den bei maximaler Füllung eine Wassergeschwindigkeit von etwa 15 m/s erzeugt wird. Der Querschnitt des Tunnels konnte dadurch in tragbaren Abmessungen gehalten werden. Die Schleppkraft der Reuss oberhalb der Ableitung ist so gross, dass Granitblöcke von 0,2 m<sup>3</sup> Inhalt gerollt werden. Durch den Tunnel hindurch werden aber solche Blöcke nicht mehr nur gerollt, sondern vom turbulenten Wasser oft in die Höhe gehoben und wieder auf die Sohle geschleudert. Die dadurch, sowie durch den Transport des kleinen Geschiebes und namentlich des quarzreichen Granitsandes entstehende Beanspruchung der 50 cm starken, aber nur auf 10 cm Tiefe vollkantige Sohlenpflasterung, führte zu einer durchschnittlichen Abnutzung von jährlich etwa 3 mm im geraden Teil der Tunnelröhre. An den am stärksten beanspruchten Stellen am Fusse des Absturzes und in der Kurve am linken Widerlager des Tunnels beträgt die Abnutzung jährlich 1 bis 2 cm. Die 1 bis 1,5 cm weiten Fugen der Sohlenpflasterung wurden in der Längsrichtung in kurzer Zeit ausgerieben und anfänglich mit Eisen- oder Eichenholzkeilen ausgefüllt. Es kam wiederholt vor, dass bei Hochwasser Steine aus der Pflasterung herausgerissen wurden. Die Reparatur erfolgte mit wesentlich grösseren, sorgfältig behauenen, vollkantigen Granitquadern bei möglichst engen Fugen. Im Sommer 1939 entstand anlässlich eines aussergewöhnlichen Hochwassers ein derart grosser Kolk, dass ein Widerlager des Tunnels unterspült wurde und mit dem Gewölbe einstürzte. Der dadurch entstandene Tagbruch verursachte eine teilweise Füllung des Tunnels mit Schutt und Steinen auf eine Länge von über 100 m. Im darauf folgenden Winter wurde die Tunnelröhre unter Anwendung eines ringweisen Abbaues des eingestürzten Materials wieder instandgestellt<sup>2</sup>). Bei dieser Gelegenheit ist auch die ganze Sohlenpflasterung, unter Verwendung grosser vollkantiger Granitquadern auf einer Betonunterlage von 60 cm Stärke, vollständig erneuert worden. Im weitem wurden zur Vermeidung der Fuge am Fusse der Widerlager an dieser Stelle sogenannte Winkelquadern eingesetzt. Die seither gemachten Erfahrungen bei der Erneuerung ausgewaschener Fugen hat ergeben, dass sich hierfür am besten Elektrozement-Mörtel eignet. In den letzten Jahren (1949/52)

<sup>1</sup>) SBZ 1950, Nr. 26, S. 347\*; 1952 Nr. 10, S. 137\*.

<sup>2</sup>) SBZ, Bd. 120, S. 123\* (1942) und Bd. 121, S. 41\* (1943).



hat der Tunnel allen Angriffen so gut standgehalten, dass sozusagen keine Unterhaltarbeiten nötig waren.

Gestützt auf die Erfahrungen beim Kraftwerk Amsteg kann somit folgendes festgestellt werden: Umlaufstollen zwecks Fernhaltung des Geschiebes von Ausgleichsbecken im Flussbett können bei erträglichen Unterhaltskosten, selbst in gebräuchlichem Gebirge oder sogar in Gehängeschutt für Wassergeschwindigkeiten bis zu 15 m/s ausgeführt werden, unter der Voraussetzung, dass Sohlenpflasterung und Widerlager aus erstklassigen, grossen und vollkantigen Steinen mit möglichst engen Fugen über einer Betonunterlage hergestellt werden und für den Fugenmörtel Elektrozetement verwendet wird. Ein solcher Tunnel oder Stollen erleichtert in hohem Masse den Bau des Abschlussbauwerkes und der Wasserfassung. Im weiteren ist die Klärung des Sommerwassers im Staubecken eine bessere als in der Kläranlage bei einer Sommerfassung, so dass die Abnützung der Turbinen geringer ist. Der während des Sommers im Staubecken abgelagerte Schlamm kann durch periodische Spülungen mit Leichtigkeit entfernt werden. Es genügt, wenn das Umlaufbauwerk für die Abführung eines mittleren Hochwassers bemessen wird.

### III. Die Staumauern

Die Staumauer des Kraftwerkes *Ritom* am Ritomsee, eine Gewichtsmauer in Bruchsteinmauerwerk von 170 m Länge und einer maximalen Höhe von 10,5 m über Fundamentsohle, wurde 1919 fertiggestellt. In der Folge zeigten sich Frostschäden an der Wasserseite, indem der dort angebrachte, mit Drahtgeflecht armierte, 2 cm starke Zementmörtel-Verputz Risse bekam und sich nach und nach von der Mauer löste, so dass eine Durchfeuchtung der Mauer entstand. Dieser Verputz wurde im Jahre 1941 durch eine 70 cm starke Natursteinverkleidung ersetzt. Die Mauer wird nun, zwecks Erhöhung des Nutzinhaltes des Ritomsees von 28 auf 47 Mio m<sup>3</sup>, wegen der Zuleitung der Garegna und eventuell auch noch der Unteralp-Reuss, in die in Ausführung begriffene, 15 m höhere Gewichtsmauer eingeschlossen. Die neue Mauer wird in Beton erstellt, wobei Kies und Sand für den Massenbeton dem Tessinfluss bei Castione entnommen und für den Mittel 2 m starken Vorsatzbeton auf der Wasser- und Luftseite aus Flüelen bezogen werden. Die Zementdosierung beträgt für den Massenbeton 200 kg PC/m<sup>3</sup> und für den Vorsatzbeton 250 kg PC/m<sup>3</sup>. Der Beton wird mit Zugabe von Darex vibriert, um den Wasserzementfaktor möglichst klein zu halten.

Die Staumauer des Kraftwerkes *Amsteg* am Pfaffensprung, eine Bogenmauer ( $R = 18,5$  m) ausgeführt in Schichtenmauerwerk über einer Fundamentsohle in Beton, wurde im Jahre 1922 fertiggestellt. Ihr Querschnitt, mit einer grössten Höhe von 35 m, 3,5 m Breite in der Sohle und 1,0 m an der Krone, ist sehr schlank. Das Projekt wurde von Fachleuten bemängelt und gab Anlass zu verschiedenen Expertisen, bis es in seiner ursprünglichen Form doch noch zur Ausführung gelangen konnte. Die Mauer hat sich gut gehalten. In den letzten Jahren musste lediglich an einigen Stellen der durch das weiche, aggressive Reusswasser zersetzte Portlandzement-Mörtel aus den Fugen gekratzt und ersetzt werden, um der Durchfeuchtung der Mauer Einhalt zu gebieten. Der verbleibende Rest der Mauerflächen soll auf Grund der Erfahrungen im Umlaufstollen mit Elektrozetement verfügt werden.

Die Staumauer des Kraftwerkes *Barberine*, eine Gewichtsmauer mit 206 000 m<sup>3</sup> Inhalt, wurde in den Jahren 1920 bis 1925 gebaut. Die grösste Höhe über der Fundamentsohle beträgt 79 m bei einer Fundamentbreite von 58 m und einer Kronenbreite von 4,5 m. Die Mauer ist im Grundriss leicht gebogen ( $R = 350$  m) und weist eine Kronenlänge von 264 m auf. Um diese erste grosse Staumauer in der Schweiz in nützlicher Frist erstellen zu können, musste auf amerikanische Baumethoden gegriffen werden. Zur Anwendung gelangte das in den USA damals übliche und bei den Staumauern Tremp und Camarassa in Spanien erprobte Gussbeton-Verfahren. Der ziemlich flüssige Beton, mit einer Dosierung von 180 kg PC + 20 kg Kalkhydrat für den Massenbeton und von 300 kg PC/m<sup>3</sup> für den Vorsatzbeton auf der Wasserseite, wurde in Stahltürmen hochgezogen und mit Hilfe eines Rinnensystems auf die verschiedenen Baustellen verteilt. Auf der Luftseite ist die Mauer von Anfang an mit Natursteinen verkleidet worden. Mit Rücksicht auf die Fertigstellung der Staumauer im Jahre 1925 musste der Vorsatzbeton auf der Wasserseite an der Krone auf 15 m Höhe weggelassen werden. Man war sich aber bewusst, dass

dort früher oder später eine Steinverkleidung notwendig werde. Durch Frosteinwirkung zeigten sich dann auch fünf Jahre nach Bauvollendung an dieser Stelle schalenförmige Abblätterungen des Betons. Der schadhafte Beton wurde auf 70 cm bis 1,20 m Tiefe abgespitzt und durch Mauerwerk mit Schichtsteinverkleidung unter Verwendung von Rhonesand für den Mörtel ersetzt. Später zeigten sich Risse in einigen Mörtelfugen dieser Verkleidung, hervorgerufen durch die starken jährlichen Temperaturschwankungen an der Mauerkrone. Diese Fugen wurden ausgekratzt und nachher mit Igaskitt gefüllt. Sie müssen aber im Frühjahr nachgesehen und ausgebessert werden, weil der Kitt durch die absinkende Eisdecke des Stausees stellenweise herausgerissen wird. Es sei noch darauf hingewiesen, dass die Staumauer keine besonders ausgebildeten Dehnungsfugen zwischen den 25 m breiten Betonblöcken aufweist. Es wurden lediglich Schlitzte von 1,20 m Breite mit Verzahnung offen gelassen, die dann im folgenden Frühjahr, nach erfolgter teilweiser Abkühlung der Blöcke, ausbetoniert wurden. Trotz dieser einfachen Ausführung betragen die Wasserverluste bei vollständigem Aufstau nur einige l/min, was wohl in der Hauptsache der Bogenwirkung der Staumauer zuzuschreiben ist.

Als die Zuleitung des Oberlaufes des Trige in Aussicht genommen wurde, handelte es sich darum, für dieses Wasser den nötigen Stauraum zu schaffen. Es wurden daher im Sommer 1947 weitgehende Untersuchungen über den Zustand der Staumauer mit Hilfe von Kernbohrungen vorgenommen, weil neben der Erstellung eines zweiten Stausees in Vieux Emosson, dessen Staumauer sich bereits im Bau befindet, auch die Vergrösserung des Stauraumes des Barberine-Sees in Erwägung gezogen werden musste. Zur Ausführung gelangte eine 57 m tiefe Kernbohrung ( $\phi = 126$  mm) ab Krone der Staumauer in einem Abstand von 1,50 m von der Wasserseite. Die durch die Materialprüfungsanstalt der EPUL untersuchten acht Bohrkerne ergaben eine mittlere Druckfestigkeit von 234 kg/cm<sup>2</sup> und eine mittlere Biegezugfestigkeit von 62 kg/cm<sup>2</sup>. Im weiteren sind in zwei Querprofilen der Staumauer je vier gleiche Kernbohrungen ungefähr im rechten Winkel zur talseitigen Neigung der Mauer bis nahe an die Wasserseite ausgeführt worden. Die an 35 Bohrkerne vorgenommenen Proben ergaben eine mittlere Druckfestigkeit von 244 kg/cm<sup>2</sup> und eine mittlere Biegezugfestigkeit von 65 kg/cm<sup>2</sup>. Da mit den 28tägigen Betonproben während der Bauausführung nur Druckfestigkeiten von 70 bis 100 kg/cm<sup>2</sup> erzielt wurden, konnte nun festgestellt werden, dass sich die Druckfestigkeit des Staumauerbetons in der Zeit von etwa 25 Jahren mehr als verdoppelt hat. Dieses bemerkenswerte Ergebnis zeigt, dass der Gussbeton doch nicht so schlecht ist wie sein Ruf. Mit dieser Feststellung soll aber nicht seine weitere Verwendung, namentlich wegen der geringen Frostbeständigkeit, empfohlen werden. Das Einbringen des Betons nach dem heute allgemein üblichen Verfahren durch Vibration bei möglichst kleinem Wasserzementfaktor kann zweifellos als grosser Fortschritt bezeichnet werden.

### IV. Die Druckstollen

Der Druckstollen des Kraftwerkes *Ritom* hat eine Länge von nur 868 m; er durchfährt in der Hauptsache Gneis und Glimmerschiefer und auf einer kurzen Strecke auch noch Dolomit. Sein Querschnitt ist hufeisenförmig; er hat eine lichte Höhe von 2,0 m bei einer Breite von 1,6 m. Trotz dem Bestreben, durch sorgfältige, mehrfach wiederholte Injektionen mit Zementmilch zwischen Stollenprofil und Felsen ein sattes Anliegen zu erreichen, stellten sich bei der Unterdrucksetzung des Stollens im Jahre 1920 feine Haarrisse ein, durch die sich ein Wasserverlust von 262 l/s bei 43 m Druck ergab. Als Grund der Rissbildung nannte eine Expertenkommission folgende Ursachen:

- Hohlräume zwischen Betonverkleidung und Gebirge
- Gesteinslockerungen infolge der Sprengungen, der Verwitterung sowie der Komprimierbarkeit des Gesteins (Plastizität)
- Elastizität des Gesteins

Um das Kraftwerk Ritom trotzdem rasch in Betrieb nehmen zu können, ist dann der Druck im Stollen durch Einbau eines Ueberlaufes im Zugangsstollen zum Schieberschacht in Piora auf maximal 7 m herabgesetzt worden, wobei die Wassernahme aus dem See dem jeweiligen Energiebedarf entsprechend von Hand mit einem Abschlussorgan reguliert wurde. Nach Inbetriebnahme des Kraftwerkes Amsteg im Jahre 1922

wurde der Stollen zonenweise mit dem grössten Betriebsdruck abgepresst, wobei sich herausstellte, dass sich die Wasserverluste auf eine kurze Strecke in der Nähe des Wasserschlosses beschränkten. Durch Umwandlung des hufeisenförmigen Profils in ein kreisrundes und durch Einbau eines armierten Gunitmantels von 7,5 cm Stärke zur Aufnahme des Innendruckes konnte der Stollen im Sommer 1925 mit verhältnismässig geringen Kosten saniert und eine sehr teure Eisenblechverkleidung des ganzen Stollens, wie sie damals von Fachleuten vorgeschlagen wurde, vermieden werden.

Der Druckstollen des Kraftwerkes *Amsteg* hat eine Länge von 7,5 km und einen lichten Querschnitt von 6,5 m<sup>2</sup>. Er durchfährt im oberen Teil auf 3,5 km Länge Aaregranit und in den unteren 4,0 km Biotitgneis, Hornblende- und Glimmerschiefer, sowie Serizitgneise. Den beim Ritomstollen gemachten Erfahrungen, wonach das Gebirge dem Innendruck im Stollen bleibend oder elastisch nachgibt, ist bei der Profilgebung Rechnung getragen worden. Die zonenweise Abpressung des Stollens, bei der auch Deformationsmessungen ausgeführt wurden, ergab vollkommene Wasserundurchlässigkeit im Granit und im Biotitgneis, so dass das im Projekt vorgesehene Hufeisenprofil ohne weiteres auf etwa 5,0 km Länge zur Ausführung gelangen konnte, während im Glimmerschiefer und im Serizitgneis ein mit einem armierten Gunitmantel von 7,5 cm Stärke versehenes kreisrundes Profil gewählt werden musste. Die Bestimmung der Eisenbewehrung des Gunitmantels erfolgte in der Weise, dass in Strecken mit günstigem Gebirge eine Verminderung auf 70 %, in denen mit mittelmäßigem Gebirge auf 85 % der auf die alleinige Aufnahme des innern Wasserdruckes berechneten Rundeisenarmierung vorgenommen wurde, während Strecken in gebrächem Gebirge Vollbewehrung erhielten. Diese Dimensionierung der Armierung kann nach den seither gemachten Erfahrungen als reichlich bezeichnet werden. In standfestem, aber durchlässigem Gebirge kann für den Innendruck mit einer zulässigen Beanspruchung der Rundeisenarmierung des Gunitmantels von etwa 7 cm Stärke bis nahe an die Streckgrenze gerechnet werden, unter der Voraussetzung, dass die Hohlräume zwischen Verkleidungsbeton und Felsen so gut wie möglich durch wiederholte Feinmörtel- und Zementmilchinjektionen ausgefüllt werden. In gebrächem, nachgiebigem Gebirge empfiehlt es sich, die Stollenabpressung erst nach Ausführung der Betonverkleidung vorzunehmen und den Gunitmantel nachher aufzubringen.

Die Vornahme von Deformationsmessungen und die Bestimmung des Elastizitätsmoduls des Gebirges in einem kurzen Versuchsstollen dürften wohl gewisse Anhaltspunkte für die Ermittlung der Stärke der Bewehrung des Gunitmantels in

einem Druckstollen liefern. Bei der in der Regel stark wechselnden Beschaffenheit des Gebirges wird man aber nach wie vor auf eine gefühlsmässige Dimensionierung der Rundeisenarmierung des Gunitmantels angewiesen sein.

Die Aufbringung eines mit Rundeisen armierten Gunitmantels von etwa 7 cm Stärke auf die Betonverkleidung eines Druckstollens zur Uebernahme eines Teils des Innendruckes und zur Abdichtung, wie dies erstmals in der Schweiz bei den Kraftwerken Ritom und Amsteg geschehen ist, gelangte seither in einer Reihe von Druckstollen zur Anwendung, zum Beispiel bei den Kraftwerken Wägital, Sernf und Lucendro.

Der Druckstollen des Kraftwerkes *Barberine* hat eine Länge von 2350 m und einen kreisrunden Querschnitt von 4,2 m<sup>2</sup>. Er durchfährt Gneis und Granit. Die zonenweise Abpressung mit 70 m Druck ergab vollständige Wasserundurchlässigkeit des standfesten Gebirges, so dass das Profil bis auf eine kurze Strecke zwischen den beiden Felsarten ohne Nachteil unverkleidet gelassen werden konnte. Zwecks besserer Begehbarkeit des Stollens wurde aber die Sohle mit einer 15 cm starken Betonverkleidung versehen. Bei der alle 5 bis 6 Jahre stattfindenden Begehung des Druckstollens sind lediglich 4 bis 5 Karretten abgebröckelten Materials zu entfernen.

## V. Die Maschinenfundamente

Die durch das stillstehende Magnetfeld hervorgerufenen, anfänglich leichten Vibrationen der Einphasenmaschinen nahmen infolge von Rissbildungen in den nicht armierten Fundamenten und der Lockerung der Verankerungen der starren Füße des Stators von Jahr zu Jahr zu. Eine teilweise Verbesserung der Verhältnisse wurde durch Verlängerung der Verankerungsbolzen, im Kraftwerk Amsteg bis zum eisernen Fundamentrost und in Vernayaz bis in den Felsen, sowie durch Injizierung der Fundamente mit Zementmilch erreicht. Trotz dieser Massnahmen stellten sich die Vibrationen mit der Zeit wieder ein, so dass weitere Vorkehrungen getroffen werden mussten. Es ist dann im Jahre 1950 bei einem Generator des Kraftwerkes Vernayaz versuchsweise das starre Zwischenstück an den Statorfüßen durch ein elastisches ersetzt worden. Dadurch wurde ermöglicht, die Auswirkung der relativ kleinen pulsierenden Kraft auf 12,5 % des bei starren Füßen vorhandenen Wertes zu reduzieren. Dieses Ergebnis führte dazu, bei den im Kraftwerk Massaboden zur Aufstellung gelangenden neuen Generatoren elastische, gegenüber denjenigen im Kraftwerk Vernayaz noch etwas verbesserte Zwischenstücke an den Statorfüßen vorzusehen. Ausserdem wurden die Fundamente ziemlich stark bewehrt.

## Das Limmatwerk Letten der Stadt Zürich

Von Dipl. Ing. H. BERTSCHI, Zürich

### A. Die früheren Anlagen

In den letzten 50 Jahren hat sich in der Ausnützung der Wasserkräfte für die Erzeugung von elektrischer Energie eine gewaltige Entwicklung vollzogen. Die intensiven Forschungen zur Abklärung der komplizierten hydraulischen Probleme haben es ermöglicht, immer grössere und schwierigere Wasserkraftanlagen zu erstellen. Gleichzeitig haben auch die maschinellen und elektrischen Einrichtungen der Kraftwerke ständig bedeutende Verbesserungen und Umänderungen erfahren. Ein interessantes Beispiel einer Wasserkraftanlage, welche diese grosse Entwicklung in den baulichen Anlagen wie auch in den mechanischen und elektrischen Einrichtungen veranschaulicht, bietet das Limmatwerk Letten der Stadt Zürich.

Dieses Werk war in den Jahren 1876 bis 1878 mit einer Turbinenleistung von 1900 PS erstellt worden und war das erste grössere Kraftwerk der Stadt Zürich. In der Schweiz gab es zu jener Zeit nur zwei Wasserkraftanlagen mit grösseren Leistungen, nämlich diejenige der Spinnerei Windisch mit 2500 PS und diejenige für die Spinnerei und das Karbidwerk Flums mit 3875 PS. Das Lettenwerk bestand aus dem 50 m langen Nadelwehr beim Platzspitz für eine Stauhöhe von 2,50 m, dem 700 m langen Oberwasserkanal, der durch einen 6 m hohen Erddamm von der Limmat getrennt und am untern Ende durch fünf Freischleusen mit hölzernen Schützentafern abgeschlossen war, der Turbinenanlage mit Pumpwerk und dem 350 m langen Unterwasserkanal. Das zur Verfügung stehende Gefälle betrug 1,80 bis 3,50 m und die ausnützbare

Wassermenge 20 bis 60 m<sup>3</sup>/s. Die Ausnützung dieser Wasserkraft erfolgte in zehn Jonvalturbinen mit Handregulierung,

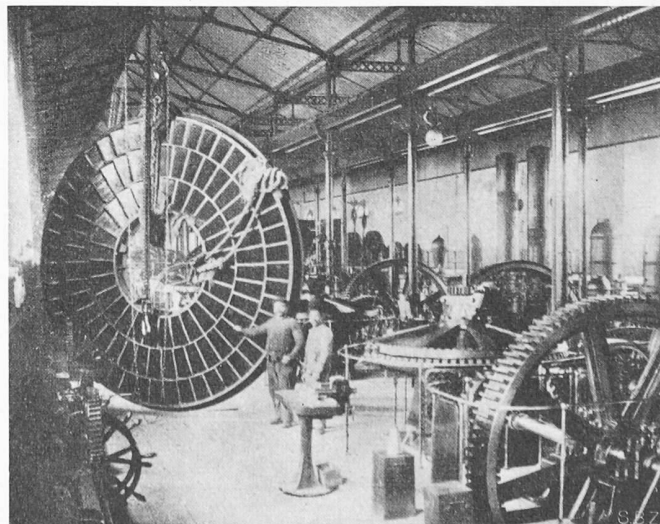


Bild 1. Pumpwerk Letten 1878 bis 1914. Demontiertes Laufrad einer Jonvalturbine

DK 621.311.21 (494.341)