

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Band: 71 (1953)
Heft: 9: Sonderheft zum Geburtstag von Prof. Dr. E. Meyer-Peter. 2. Teil

Artikel: Das Limmatwerk Letten der Stadt Zürich
Autor: Bertschi, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-60510>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.10.2024

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

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 m². 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 gebrechtem 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 gebrechtem, 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, Serf und Lucendro.

Der Druckstollen des Kraftwerkes *Barberine* hat eine Länge von 2350 m und einen kreisrunden Querschnitt von 4,2 m². 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 abgebröckeltes Material 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 müssen. 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 Schützentafeln 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 m³/s. Die Ausnützung dieser Wasserkraft erfolgte in zehn Jonvalturbinen mit Handregulierung,

DK 621.311.21 (494.341)

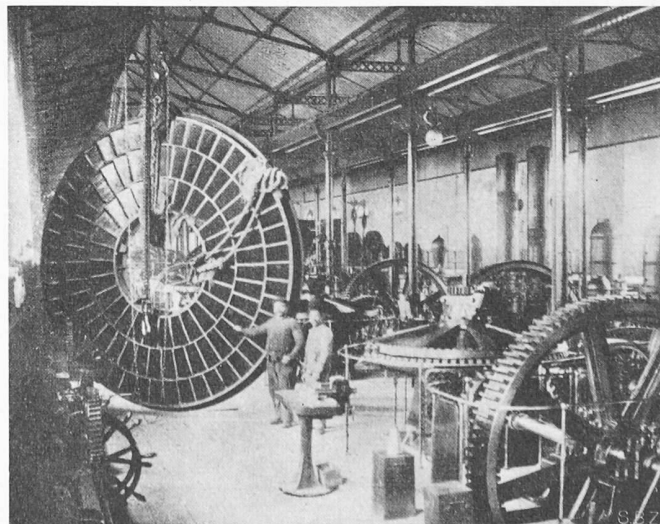


Bild 1. Pumpwerk Letten 1878 bis 1914. Demontiertes Laufrad einer Jonvalturbine

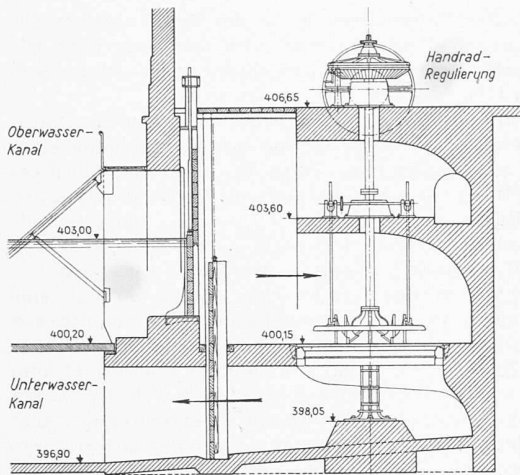


Bild 2. Turbinenanlage 1878 bis 1914. Zehn Jonvalturbinen von je 190 PS. Kraftübertragung durch Zahnradgetriebe auf eine gemeinsame Welle; 1: 200

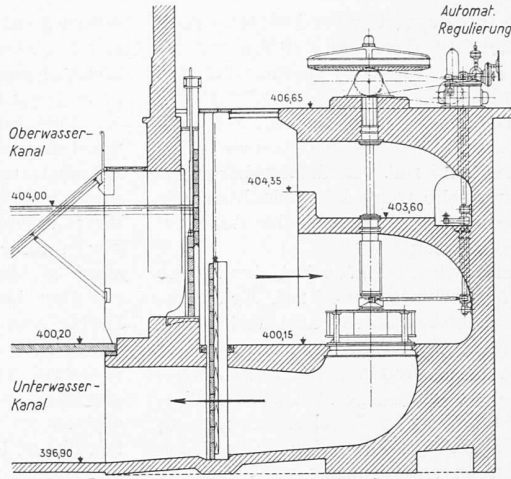


Bild 3. Turbinenanlage 1914 bis 1950. Zehn Francis-turbinen von je 190 PS. Je zwei Turbinen treiben über konische Zahnräder einen Generator; 1: 200

Bilder 1 und 2. Zur Ergänzung und als Reserve waren noch zwei Sulzersche Dampfmaschinen von je 3000 PS Leistung installiert. Die zehn Turbinen und die beiden Dampfmaschinen haben ihre ganze Leistung vermittelt Zahnrad-Getrieben an eine gemeinsame Welle übertragen, von der aus neun Pumpensysteme, bestehend aus je zwei horizontalen, doppelwirkenden Kolbenpumpen mit ungesteuerten Ventilen, angetrieben wurden.

Anfänglich hatte die Wasserversorgung nicht die ganze Leistung dieser Anlage für die Wasserhebung benötigt. Ein Teil der überschüssigen Energie wurde mechanisch vermittelt Drahtseiltransmissionen mehrere hundert Meter weit nach dem Industriequartier übertragen und dort an das Klein-gewerbe abgegeben. Weitere Energie ist in Form von Druckwasser an das Gewerbe geliefert und in den damals beliebten Schmidtschen Wassermotoren verwendet worden. Ein solcher Motor war im Kraftwerk Letten bis zum Jahre 1950 für die Regulierung der Einlaufschützen zu den Turbinen in Betrieb.

Als im Jahre 1892 das Elektrizitätswerk gegründet wurde, war es gegeben, die vom Pumpwerk nicht benötigte Wasserkraft für die Erzeugung von elektrischer Energie zu verwenden. Zu diesem Zwecke wurden vier Wechselstrom-Dynamomaschinen von je 200 kW und 2000 Volt Spannung durch Zahnradgetriebe an die Hauptwelle des Pumpwerkes angeschlossen. Für die Spitzendeckung ist ausserdem noch eine hydraulische Akkumulieranlage erstellt worden. Sie bestand aus einem Staubecken von 10 000 m³ Inhalt auf dem Zürichberg beim «Vrenelsgärtli». In Zeiten geringen Kraftbedarfes wurde in dieses Hochreservoir Wasser gepumpt, welches dann während den Hauptbelastungsspitzen mit 160 m Druck zum Betrieb

kraftanlage und des Pumpwerkes im Letten. Nach 36-jähriger Betriebsdauer waren die Jonvalturbinen wie auch die Kolbenpumpen veraltet und vermochten den stark gestiegenen Bedürfnissen nicht mehr zu entsprechen. In den Jahren 1913/14 wurden die gesamten maschinellen Einrichtungen abgebrochen. Die Jonvalturbinen sind durch zehn Francis-turbinen mit automatischer Regulierung ersetzt worden, welche je paarweise vermittelt Zahngetrieben ihre Leistungen an einen zwischen den Turbinen aufgestellten Generator abgaben (Bild 3). Die Leistung der fünf Generatoren betrug 1500 kW. Die Energie wurde in Form von Drehstrom von 6000 Volt und 50 Perioden in das Verteilnetz des Elektrizitätswerkes geliefert. Die mittlere Jahresproduktion der umgebauten Anlage erreichte etwa 6 Mio kWh. Als Ersatz für die Kolbenpumpen hat man fünf Zentrifugalpumpen mit elektromechanischem Antrieb installiert, welche heute noch im Betriebe stehen.

Nach dem im Jahre 1935 aufgestellten Projekt für die Zürichseeregulierung mussten die beim oberen und unteren Mühlesteig im Flussbett befindlichen Bauten mit den alten Wasserwerkanlagen beseitigt und die Limmatsohle vertieft werden. Die beiden Gefällsstufen von zusammen 2,00 m wurden nach dem Platzspitz verlegt, und das bereits 70 Jahre alte, stark baufällige Nadelwehr durch eine moderne Wehranlage ersetzt, die für einen Stau auf Kote 406,00, den mittleren Sommerwasserspiegel des Zürichsees, zu bemessen war. Dieser Höherstau beim Einlauf des Kraftwerkkanals machte eine Anpassung des ganzen Oberwasserkanals an die neuen Verhältnisse und die Erstellung eines vollständig neuen Kraftwerks im Letten notwendig.

B. Bauliche Anlagen des umgebauten Kraftwerks

1. Wehranlage Platzspitz

Für die Regulierung des Seeabflusses musste eine Wehrart ohne störende Aufbauten gewählt werden, die sich gut in das Landschaftsbild einfügt, lästige Ansammlungen von Schwimmstoffen auf der Wasseroberfläche möglichst verhindert und leicht durch Fernsteuerung vom Maschinenhaus Letten aus betätigt werden kann. Diesen Bedingungen haben die hydraulischen Dachwehre, System A. V. Lutz & Cie. in Zürich, am besten entsprochen. Direkt anschliessend an die Schwelle des Nadel-

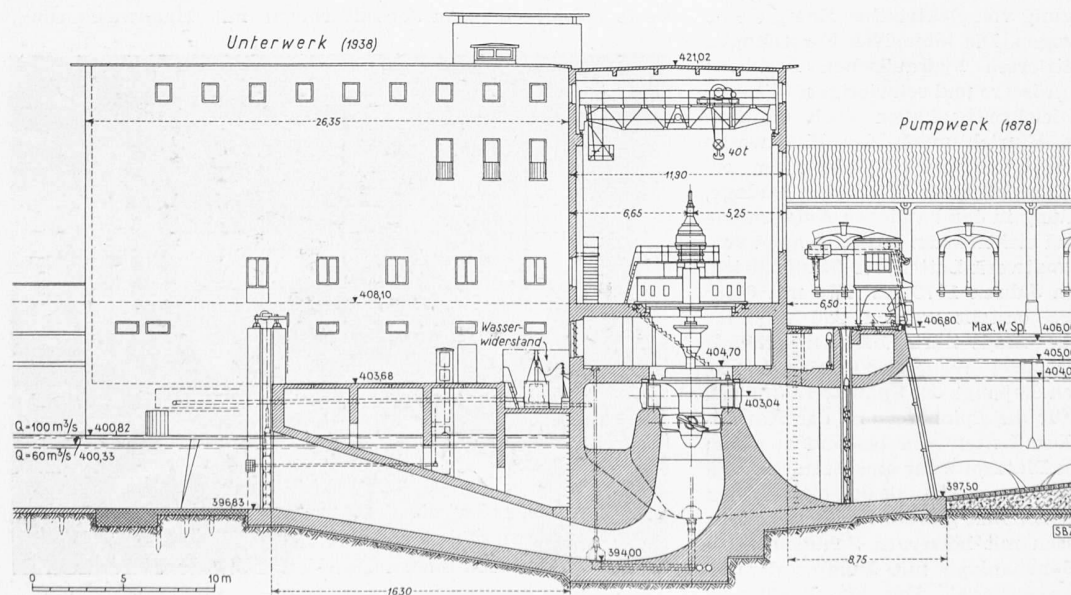


Bild 6. Kraftwerk Letten 1951, Schnitt durch das Maschinenhaus, Masstab 1: 400

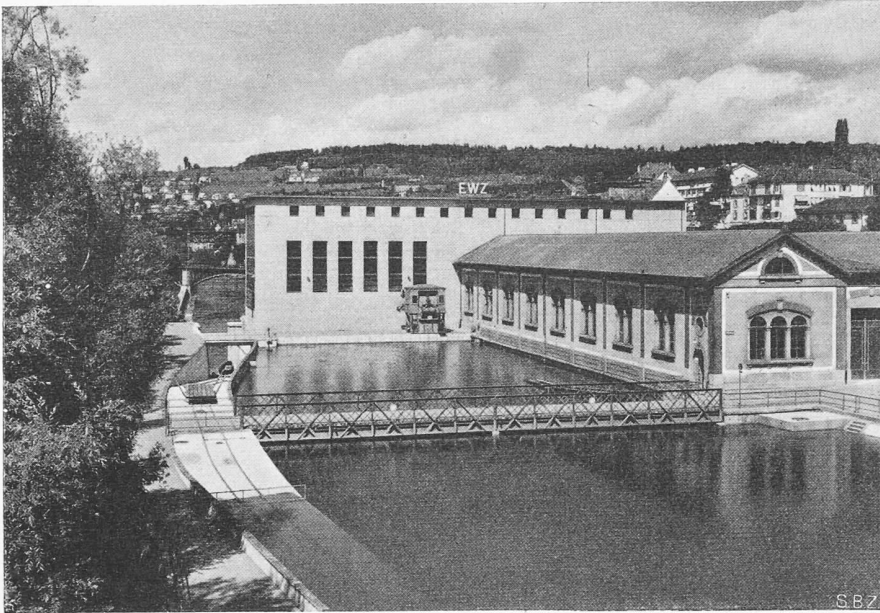


Bild 7. Rechts altes, dahinter neues Maschinenhaus

wehres sind in der Limmat zwei Dachwehre erstellt mit je 24,25 m Lichtweite, getrennt durch einen Zwischenpfeiler von 1,50 m Breite. Die bewegliche Stauhöhe beträgt 4,60 m. Als Betriebskraft zum Heben und Senken der Wehre wird die statische Druckhöhe zwischen dem Ober- und Unterwasserspiegel verwendet. Die Einstellung der Wehre für eine bestimmte Abflussmenge erfolgt in der Regulieranlage im Dammkopf oder normalerweise durch elektrische Fernsteuerung von der Kommandostelle des Kraftwerkes Letten aus. Die Einhaltung der eingestellten Wehrstellung besorgt das Wehr automatisch. Bild 5 zeigt die Wehranlage, die sich sehr schön in die Umgebung eingliedert.

Im Einlauf des Oberwasserkanals ist ein weiteres Dachwehr von 23 m Lichtweite und 4,10 m beweglicher Stauhöhe eingebaut. Dieses Wehr ist normalerweise vollständig nieder-

gelegt; es dient als Kanalabschluss bei allfälligen Entleerungen des Kanals für Reparaturen und Revisionen¹⁾.

2. Oberwasserkanal

Der vor 75 Jahren erstellte Erddamm besteht aus lehmigem Moränenmaterial. Die Böschungen sind mit Trockenpflästerungen geschützt, auf der Kanalseite in der Neigung 4:5 und auf der Limmatseite in der Neigung 2:3. Der Damm ist auf durchlässigem Flussgeschiebe aufgebaut. Etwa 1,0 bis 2,0 m unter der Kanalsole ist eine durchlässige, lehmige Moräne vorhanden. Die Standsicherheit dieses Dammes war für den Höherstau um 2,0 m ausreichend; es mussten aber Massnahmen getroffen werden, um Durchsickerungen vom Kanal nach der Limmat durch das kiesige Material zwischen dem Dammfuss und der darunterliegenden Moräne wie auch durch den alten Damm selbst zu verhindern. Zu diesem Zweck ist am Dammfuss eine eiserne Spundwand bis in die lehmige Moräne eingerammt und an sie eine Fussmauer von 1,00 m Dicke anbetoniert worden, Bild 4. Von dieser bis auf halbe Dammhöhe, Kote 403, ist auf die vorhandene Steinpflasterung eine Betonabdeckung von 1,00 bis 0,25 m Stärke aufgebracht, mit einer Böschungsneigung 1:2. Oberhalb Kote 403 ist die Dammböschung durch eine 25 cm starke, armierte Betonplatte abgedichtet, deren oberer Abschluss eine Eisenbeton-Winkelstützmauer bildet, die bis Kote 406,80 reicht. Die Dammkrone ist auf Kote 406,30 erhöht und auf 3,60 m verbreitert. Die limmatseitige Dammböschung mit dem vorhandenen Baumbestand wurde unverändert gelassen.

Bei der Ausführung der Fussmauer hinter der Stahlspundwand traten stellenweise stärkere Durchsickerungen von der Limmat unter dem Damm hindurch nach dem Kanal auf. Dieses Sickerwasser musste in Drainagen nach Pump-

¹⁾ Diese Wehre sind ausführlich beschrieben in «Wasser- und Energiewirtschaft», Okt./Nov. 1952.

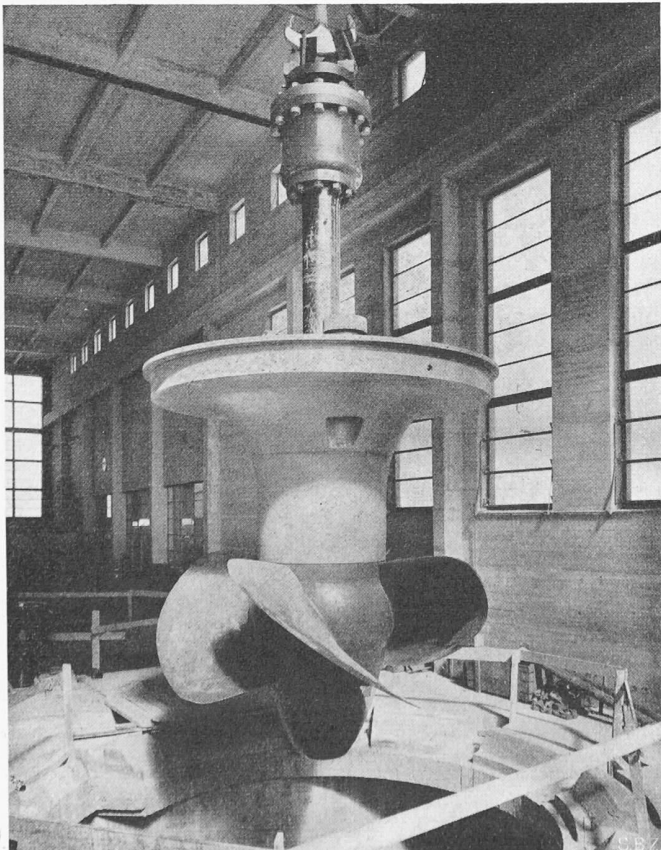


Bild 8. Montage einer Kaplanturbine



Bild 9. Maschinensaal mit den beiden Generatoren

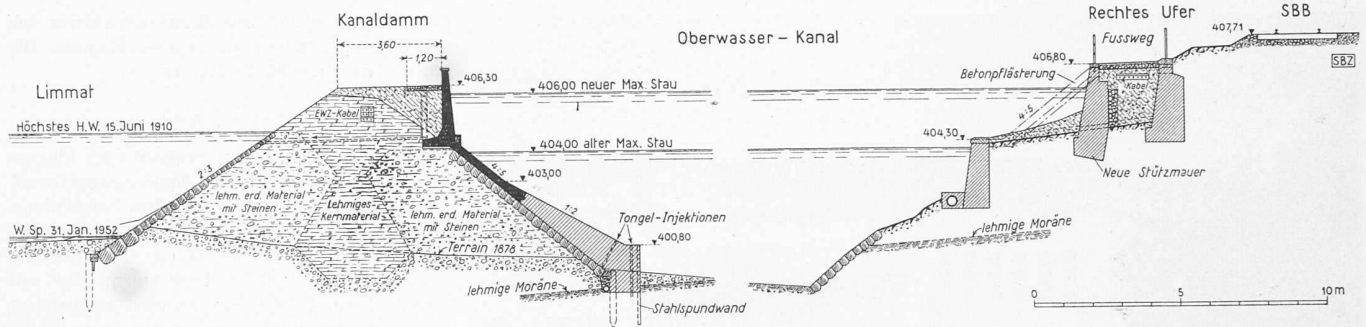


Bild 4. Querschnitt durch den Kanaldamm und den Oberwasserkanal, Masstab 1 : 250

schächten abgeleitet werden. Nach Fertigstellung der Betonabdeckungen sind die Drainagen und die Sickerwege durch Tongelinjektionen mit gutem Erfolg gedichtet worden.

Das rechte Kanalufer wurde auf die ganze Kanallänge um 2,50 m erhöht, zum Teil durch Stützmauern und zum Teil durch neu angeschüttete, mit Betonabdeckungen geschützte Böschungen. Der umgebaute Kanal vermag nun bei einer mittleren Wassergeschwindigkeit von 0,80 bis 1,00 m/s eine Wassermenge von 100 bis 110 m³/s abzuführen.

3. Das Maschinenhaus

Dieses bildet die geradlinige Verlängerung der bereits im Jahre 1937 erstellten Maschinenhalle des Unterwerkes Letten und schliesst den Oberwasserkanal senkrecht zur Kanalaxe vollständig ab. Für den Einbau der beiden Maschinenaggregate standen zwischen der Schiffschleuse und dem alten Maschinengebäude nur 20,10 m zur Verfügung. Es war kein Platz mehr vorhanden für die Anordnung von Ueberlauf- und Entlastungsanlagen.

Um bei Kurzschlüssen oder anderen plötzlichen Entlastungen gefährliche Stauwellen im Oberwasserkanal möglichst zu verhüten, sind die beiden Generatoren mit einem Wasserwiderstand verbunden, welcher in Störungsfällen automatisch die Leistung der Maschinen bis zu 4000 kW übernimmt und ein rasches Schliessen der Turbinen verhindert.

Das Maschinenhaus ist 22,00 m lang, 11,90 m breit und 28,20 m hoch (Bild 7). Der Unterbau zeigt den bei modernen Turbinenanlagen üblichen Querschnitt mit dem Einlaufbauwerk, dem eigentlichen Turbinengebäude und dem Auslaufbauwerk (Bild 6). Das ganze Bauwerk ist auf gleichmässig feste, wasserundurchlässige Grundmoräne fundiert, welche mittels dem Drucklufthammer ausgehoben werden musste.

Die Turbineneinläufe sind mit einem Rechen von 10 cm Spaltweite versehen, der mit einer Rechenreinigungsmaschine, System Jonneret, Genf, gereinigt wird. Hinter dem Rechen befinden sich die Dammbalkenabschlüsse. Der Notabschluss der Turbinenausläufe besteht aus einer Schützentafel von 10 m Länge und 4,50 m Höhe, welche an einer Kranbahn verschiebbar ist und nach Belieben in die beiden Auslauföffnungen eingesetzt werden kann. Der Hochbau ist architektonisch dem bestehenden Unterwerk angepasst; er enthält den Montagekran von 40 t Tragkraft.

Die beiden vertikalachsigen Kaplan-turbinen, Bild 8, verarbeiten bei Gefällen von 4,50 bis 5,50 m Wassermengen von



Bild 5. Hydraulische Dachwehranlage beim Platzspitz

2 × 50 bis 2 × 53 m³/s und leisten bei einer Drehzahl von 107,2 U/min 2 × 2560 bis 2 × 3240 PS. Mit den Turbinen sind die Generatoren direkt gekuppelt, welche die erzeugte Energie in 6600 Volt Spannung in das angrenzende Unterwerk abgeben. Die beiden Generatoren, Bild 9, sind für 2 × 4500 kVA bemessen, damit sie in der Lage sind, noch beträchtliche Mengen Blindleistung abzugeben. Da sich diese Anlage mitten im Absatzgebiet befindet, ist dies sehr wertvoll, indem damit erhebliche Stromwärmeverluste in den Fernleitungen und Transformatoren eingespart werden können.

Im Jahresmittel kann das Limmatwerk Letten etwa 26 Mio kWh erzeugen, hievon entfallen 12 Mio kWh auf die Wintermonate und 14 Mio kWh auf die Sommermonate. Der Anteil der Winterenergie an der Jahresproduktion ist so gross, weil dem Zürichsee in den Wintermonaten aus den Staubecken Lötsch, Wägital und Etzel etwa 300 Mio m³ akkumuliertes Sommerwasser zufließen.

Im Bestreben, in der Energieerzeugung ihre Selbständigkeit möglichst zu erhalten, hat die Stadt Zürich in den letzten 50 Jahren sechs eigene Wasserkraftanlagen mit einer Gesamtleistung von 140 000 kW gebaut. Ferner steht ihr aus den Kraftwerken Wägital und den Kraftwerken Oberhasli eine Leistung von 115 000 kW zur Verfügung. Der jährliche Energieumsatz des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich ist von 1901 mit 5 Mio kWh bis 1952 auf 916 Mio kWh gestiegen.

Zur Berechnung der Temperaturschwankungen im Innern einer Pfeiler-Staumauer

Von H. GICOT, beratender Ingenieur, Fryburg

1. Einleitung

Die Pfeiler von Hohlmauern, wie sie in den letzten Jahren in Europa ausgeführt wurden, bilden dreieckige Scheiben, die längs ihrer Basis eingespannt sind. Bei grösserer Höhe der Staumauer erhält die Basis eine entsprechend starke Ausdehnung, so dass bei Annahme eines starren Fundamentes und

einer nennenswerten Temperaturänderung des Pfeilerbetons die Berechnung erhebliche Zugspannungen in den Pfeilerscheiben ergibt. Es ist somit von Interesse, zu wissen, wie stark die Temperatur im Innern einer Hohlmauer durch die äusseren Temperaturschwankungen beeinflusst wird, und in welchem