



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000305848

x
1930

Das Elektrizitätswerk an der Sihl.

Von

W. Wyssling,

Professor am eidg. Polytechnikum in Zürich.

Sonder-Abdruck

aus der „Schweizerischen Bauzeitung“ Band XXIX No. 24, 25 und 26 und Band XXX No. 1, 2, 3, 4 und 5.

F. Nr. 27638

24/11.



ZÜRICH

ED. RASCHER

Meyer & Zeller's Nachfolger

1897.

X
1930

Das Elektrizitätswerk an der Sihl.

I. Einleitung. Die in neuester Zeit entstanden und noch in Ausführung begriffenen Wasserwerke für elektrische Kraftübertragung, speciell auch in der Schweiz, besitzen Dimensionen, welche den Techniker an die Rechnung

inkonstanten Wassermenge durch Wasserwerkanlagen von relativ hohen Anlagekosten handelt, während andererseits ein ziemlich ausgedehntes, sehr industrielles und zum Teil dicht bebautes Gebiet bedient wird. Diese Momente mögen

Fig. 1. Primär-Leitungsnetz.



Bearbeitet nach der Dufour-Karte.

1 : 100 000.

Mit Bewilligung des eidg. topogr. Bureaus.

----- Wasser-Zuleitung.

mit sehr grossen Einheiten gewöhnt haben. Es mag daher etwas gewagt erscheinen, heute noch über ein Werk von nur 1200 bis 2000 P. S. zu berichten. Wenn dies hiermit dennoch geschieht, so darf als Entschuldigung dafür gelten, dass es sich hier einerseits um die Ausnützung einer sehr

vielleicht für den einen oder andern Leser interessante Details zu Tage fördern.

Das Elektrizitätswerk „an der Sihl“ verdankt seine Entstehung ursprünglich dem direkten Bedürfnis nach Vermehrung der Betriebskraft für Fabriken in Wädenswil.

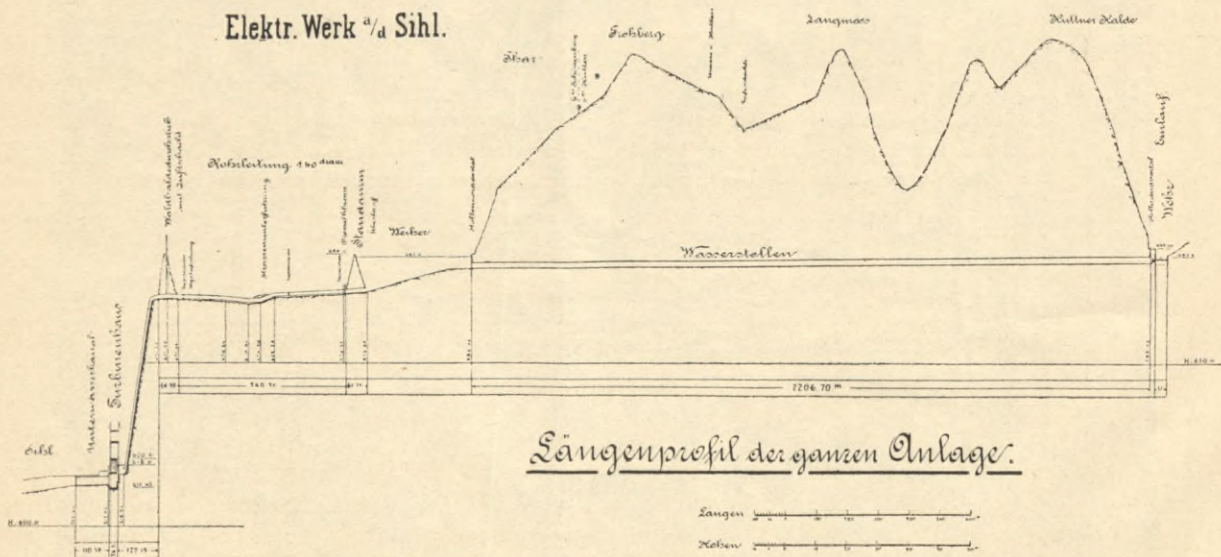
Einer der industriellsten Teile des Kantons Zürich, die beiden Zürichseeufer, weist leider nur sehr unbedeutende Gewässer an den Uferhängen des See's selbst auf; die Herren Gebr. Treichler, Besitzer einer Tuchfabrik in Wädenswil, lenkten daher ihre Blicke nach der nicht sehr weit entfernten Sihl,

die ja auch in jüngster Zeit in Zürich wieder von sich reden machten, musste eine Lösung gesucht werden, welche Aussicht hatte, in absehbarer Zeit die erforderlichen Konzessionen zu erhalten, und es mussten Projekte, welche wegen bestehender Staatsverträge oder vorhandener

Fig. 2.



Fig. 3.



über deren Lauf ihnen eine reiche Lokalkennntnis zu Gebote stand*). Unter allen Möglichkeiten zur Ausnützung der Sihl,

Konzessionen (wie z. B. Schindellegi, Benützung des Hüttner-Sees etc.) grosse Schwierigkeiten und jahrelange Verhandlungen voraussehen liessen, zurücktreten, auch wenn sie technische Vorteile bieten mochten. Diese Erwägungen führten die genannten Herren auf die Nutzbarmachung einer Strecke der Sihl, an welcher irgendwelche Wasserwerke oder Rechte zu solchen nicht bestanden, die viel

*) Leider sollte der eine der Herren, der Haupt-Schöpfer des Werks, Hr. Walter Treichler, die Vollendung desselben nicht mehr erleben, indem der thatkräftige, einsichtige Industrielle in voller Jugendkraft eines jähen Todes starb.

mehr bisher völlig brach gelegen und kaum stellenweise von der Landwirtschaft berührt wurde.

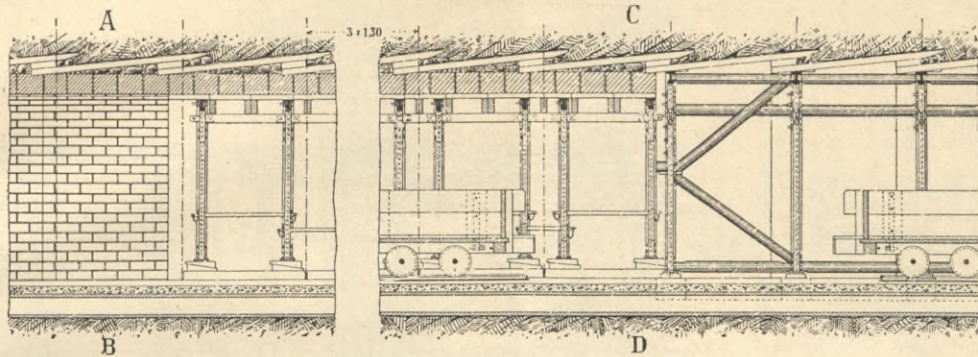
Als günstige Strecke schien zunächst diejenige von der *Hüttener Säge* (unterhalb) bis zum „*Sihlmätteli*“ sich zu zeigen, an welcher bei 4 km Luftlinie auf rund 6 km Flusslauf etwa 100 m Brutto-Gefälle zu gewinnen waren. (Das „*Sihlmätteli*“ befindet sich auf Fig. 1, Karte des Primärleitungsnetzes in 1 : 100 000, ungefähr beim Wort „*Suhner*“.) Für dieses Gefälle arbeiteten die Herren *Locher & Cie.* in Zürich im Jahre 1891 im Auftrage der Firma Gebrüder *Treichler* ein Wasserwerksprojekt aus, welches ein Wehr unterhalb der *Hüttener-Brücke* und *Säge*, an einer Stelle, da

fried-Atlas eine kleine Insel in der *Sihl* zeigt) verlegt werde. Auf diesem nun noch etwa 4 $\frac{1}{2}$ km langem Flusslauf ist eine Senkung des natürlichen Flusswasserstandes von etwa 696 m auf 612 m ü. M., also um etwa 84 m brutto vorhanden, auf etwa 3 km Luftdistanz. Bei dem für dieses Gefälle aufgestellten zweiten Projekt wurde ein festes Wehr (an alter Stelle) mit *Stauläden* angenommen, welche das Hochwasser automatisch niederlegen sollte. Der *Oberwasserkanal* bestand darnach aus einem 2400 m langen *Stollen*, endigend im Thälchen des „*Tiefenbachs*“ hinter *Schönenberg*, wo ein *Wasserschloss* in eine 550 m lange geschlossene eiserne Rohrleitung und diese zum *Turbinenhaus*

Bausystem für den *Triebwasserstollen Hütten-Waldhalde*.

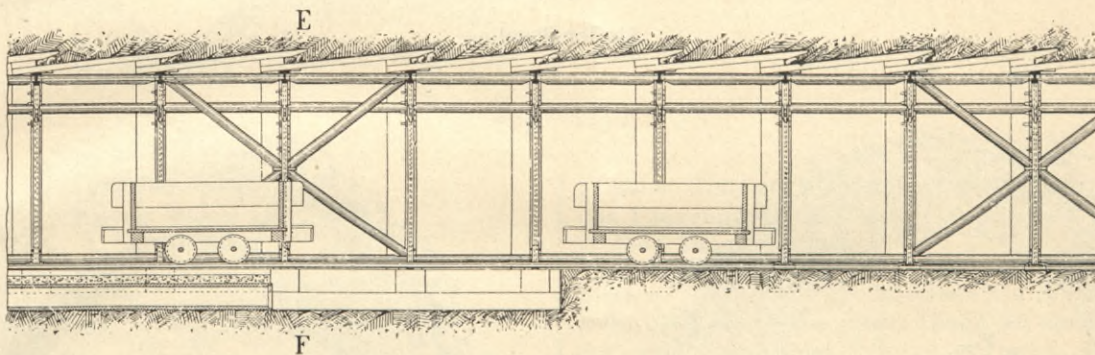
Länge 2206 m.

Fig. 4 u. 5.



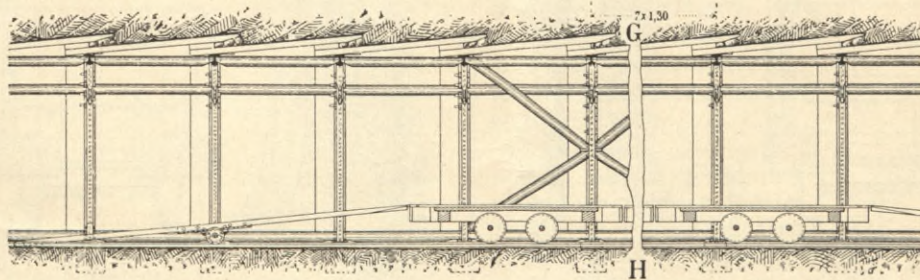
1 : 60.

Fig. 6.



1 : 60.

Fig. 7.



1 : 60.

beide Ufer zürcherisch sind, und einen rund 4 km langen *Oberwasserkanal* vorsah. Der letztere bestand aus zwei *Stollen* von 2160 bzw. 770 m Länge mit 1 $\frac{0}{1000}$ Gefälle, während die Ueberwindung einiger zu überschreitender *Einsenkungen* teils mit offenen *Holzkanälen*, (teils *Sagenbach-Tobel*) mit *Siphon* projektiert war; am *Sihlmätteli* hätte die *Netto-Druckhöhe* von 83 m auf eine *Druckleitung* von etwa 170 m Länge *concentriert* werden können.

Weitere eingehende Studien ergaben jedoch, dass eine allerdings etwas *reducierte*, aber in Bezug auf *Kosten* relativ günstigere Anlage in einfacherer Weise zu erhalten war, wenn das *Turbinenhaus* statt ins „*Sihlmätteli*“ unter die sogenannte „*Waldhalde*“ (an die Stelle, wo der *Sieg-*

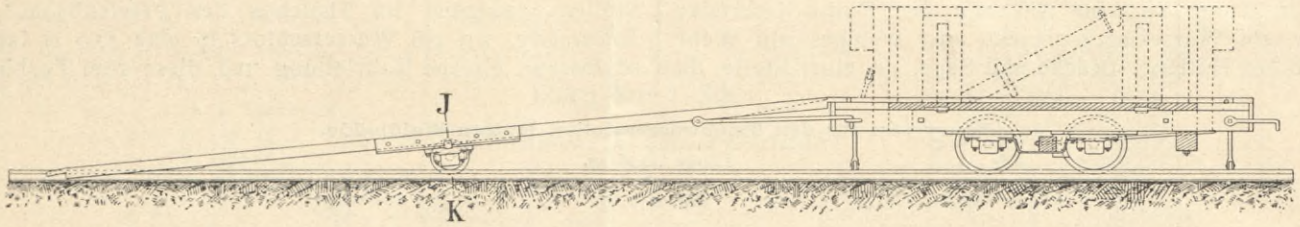
an der „*Waldhalde*“ überführte. Vom *Wasserschloss* aus war auch hier die *Einsenkung* des *Tiefenbachs* zu überschreiten; Rücksichten auf grössere *Solidität* und geringere Schwierigkeiten für die *Plazierung* liessen hier vom offenen *Holzkanal* über das *Thal* zum geschlossenen *Siphon* übergehen.

Die Herren *Gebr. Treichler* erhielten am 10. März 1892 auf dieses Projekt hin von der h. Regierung des Kantons Zürich die *Wasserrechts-Konzession*. Dieselbe erfuhr am 15. Oktober gleichen Jahres eine *Abänderung*, dahin gehend, dass gestattet wurde, an Stelle des *Wehrs* mit *Schwellbrettern* ein vollständig festes etwas weiter oben anzulegen, welches die nötige *Gewähr* gegen zu weit hinaufgehenden *Stau* auch bei

Hochwasser bot; gleichzeitig wurde dagegen die Anbringung einer sogen. „Fischleiter“ im Interesse der Forellen-Fischerei ausbedungen. Eine Einsprache gegen das Projekt, welche die Möglichkeit des Entzugs von dem Hüttnersee zufließenden Wassern durch den Stollen aussprach, führte behufs rascher Erledigung zu der in Fig. 1 sichtbaren, sonst zunächst un-

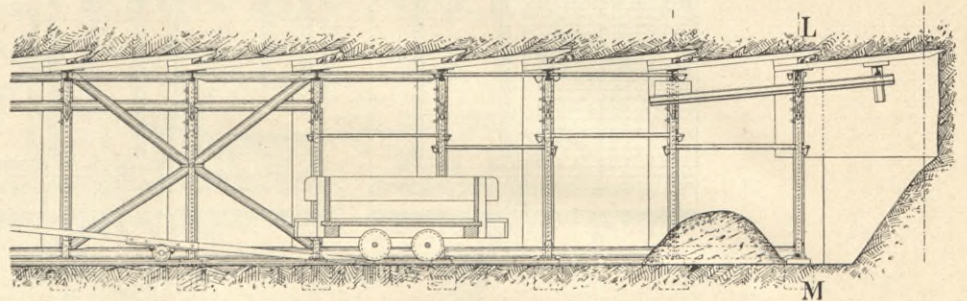
Regulierung, regten dann im Jahre 1893 den Wunsch nach einer Weiheranlage an, wozu das Thälchen des Tiefenbachs am Ausgang des Stollens die Möglichkeit bot. Gegenüber einem Projekt von etwa doppelter Grösse, welches die teilweise Verlegung der Staatsstrasse Schönenberg-Menzingen und einen erheblich höhern Damm erfordert hätte,

Fig. 8.



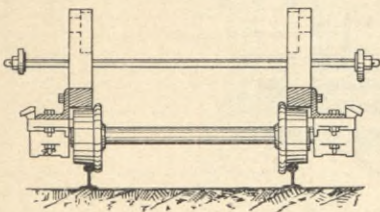
1:30.

Fig. 10.



1:60.

Fig. 9.



1:30.

Stollen-Profil.

Fig. 11. Schnitt A B.

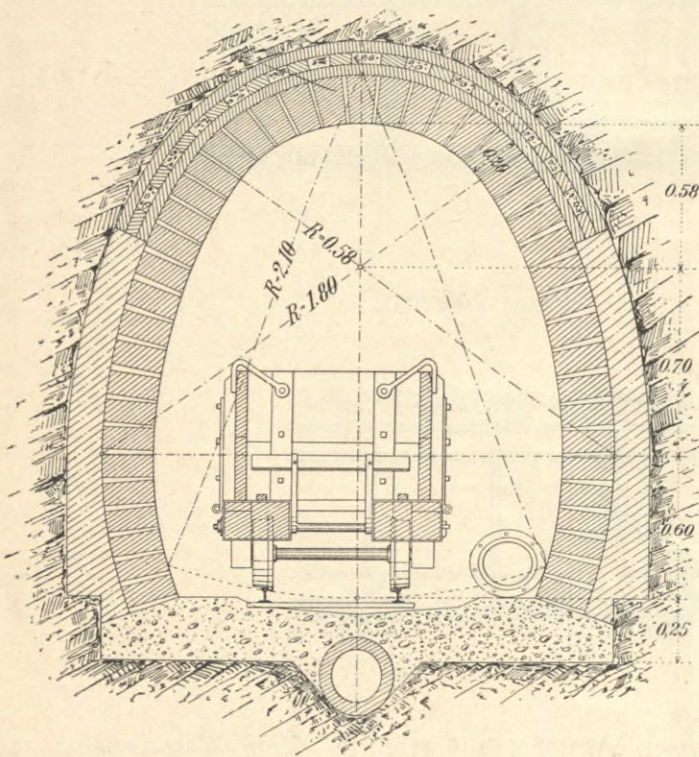
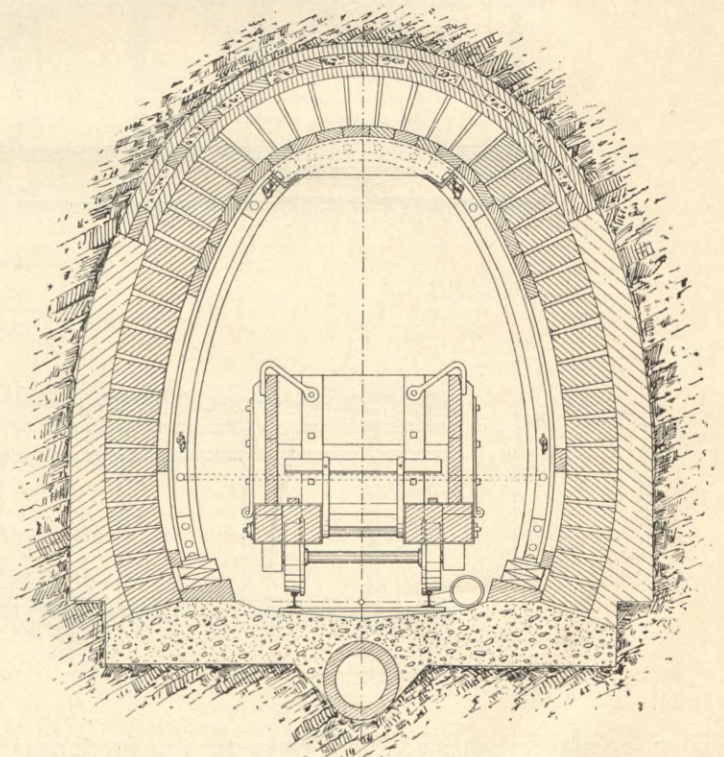


Fig. 12. Schnitt C D.



Masstab 1:30.

verständlichen Brechung der Achse des Stollens, wodurch einerseits dessen verlangte Entfernung aus dem Bereich des Einzugsgebiets des Hüttnersees, anderseits die Annäherung des obern Teils an die Oberfläche der gegen die Sihl abfallenden Halde erreicht wurde; das letztere ermöglichte dann, durch einen kurzen Seitenstollen zwei neue Angriffspunkte für den Bau des Stollens zu gewinnen.

Genaue Wassermessungen in den Wintern, und Rücksichten auf Konstanterhaltung des Wasserdrucks für die

wurde hiezu ein Projekt angenommen, welches die Schaffung eines Weihers von etwa $250000 m^3$ Inhalt durch Anlegung einer Thalsperre am Tiefenbach gestattete, wodurch gleichzeitig die Tunnelachse erheblich verkürzt und etwas verlegt wurde. Die Konzessionierung bot wegen der untern Sihlwasserrechte Schwierigkeiten, und kam erst im März 1894, unter erschwerenden Bedingungen zu Stande, welche u. a. festsetzten, dass das Wasserniveau im Weiher nicht gesteigert (also nur Wasser „abgezapft“) werden dürfe, so

lange die Sihl weniger als 4 m^3 per Sekunde liefere. Es erscheint diese Bestimmung hart angesichts des Umstandes, dass das gewöhnliche Winterwasser der Sihl mit 2 m^3 per Sekunde schon recht reichlich gerechnet ist. Ausserdem bestimmte die Konzession die Anbringung eines Leerlaufs im Turbinenhaus für 4 m^3 per Sekunde, um auch von dort

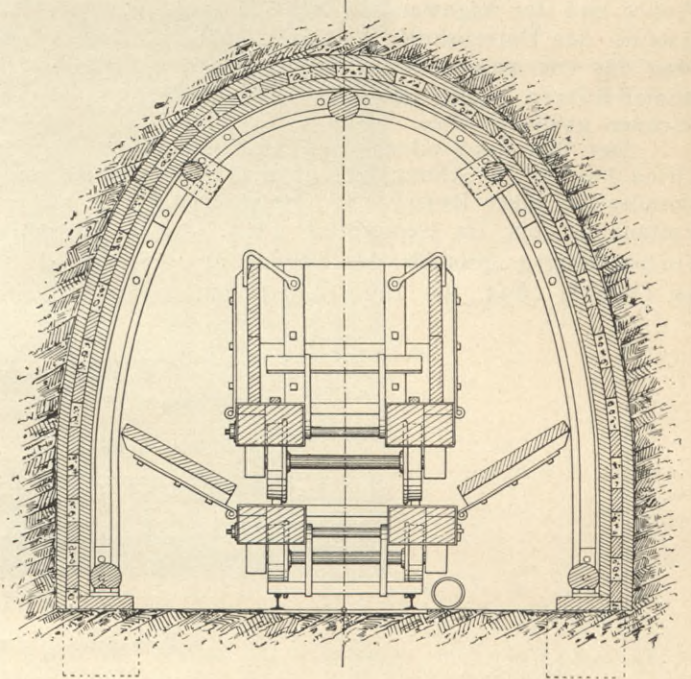
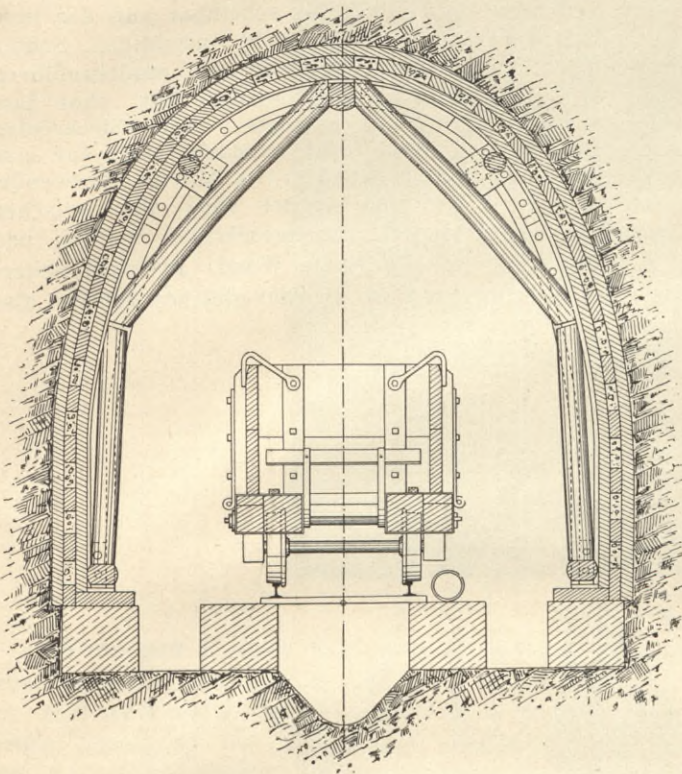
Mai desselben Jahres dessen Uebergang an eine Aktiengesellschaft mit einem Aktienkapital von 1 000 000 Fr. und vorgesehener Obligationenausgabe im Betrage von 600 000 bis 1 000 000 Fr. vor sich gegangen.

II. Wasserbauten. Die Situation der gesamten Wasserbauten zeigt Fig. 2 im Masstab 1:25 000 (zum

Fig. 13. Schnitt E F.

Stollen-Profile.

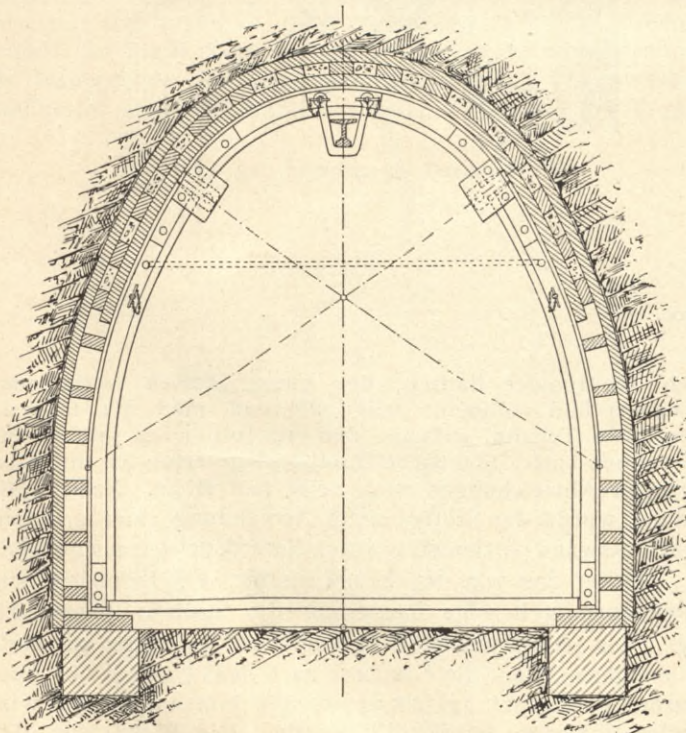
Fig. 14. Schnitt G H.



Massab 1:30.

Stollen-Profil.

Fig. 15. Schnitt L M.



1:30.

aus den regelmässigen Abfluss zu sichern, wiewohl derselbe sich natürlicherweise schon vom Weiher-Ueberlauf und dem Einlauf vom Wehr aus selbstthätig nach der Sihl hin reguliert.

Während der genannten Wandlungen der Projekte war im März 1893 die Finanzierung des Unternehmens und im

grössten Teil nach spezieller Aufnahme), während Fig. 3 das Längenprofil im Masstab 1:25 000 für die Längen und 1:2500 für die Höhen giebt.

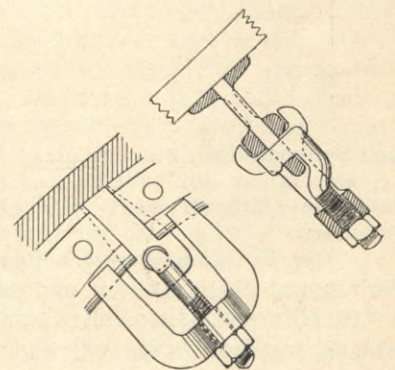
Stollen. Das Hauptobjekt bildete der 2206 m lange Stollen. Nach dem geologischen Gutachten (von Hrn. Prof. Heim) war auf dessen ganzer Länge nur Moräne mit Findlingen und kein anstehender Fels zu erwarten. Es wurde deshalb

Ausmauerung des ganzen Tunnels beschlossen; dieselbe wurde ausgeführt mittelst Formsteinen aus Sand-Beton seitlich und im Gewölbe, an der Sohle mit an Ort und Stelle hergestelltem Betonguss. Die

Formsteinausmauerung wurde sorgfältig hinterpackt und verfugt, jedoch nicht weiter verputzt. Der grösste Teil des Bedarfes an Sand konnte an einer Stelle des linken Sihlufers etwas oberhalb der Finsterseebrücke ausgebeutet werden; an dieser Stelle wurde die Steinfabrikation nebst Annexen etabliert, und von dort aus zunächst eine

Strasse mit Rollbahngleise längs der Sihl bis zum Seitenstollen und dem Südportal des Stollens beim Wehr gebaut. Es wurde ein gewölbtes Stollen-Profil von $2,48 \text{ m}^2$ Querschnitt gewählt, welches für normal 1800 , maximal 3000 Sekundenliter bei 1 ‰ Gefälle genügen sollte. Es kommt dabei in Betracht, dass der Stollen im Betrieb etwas unter Druck steht, indem die Verhältnisse es mit sich brachten, dass der Auslauf (Nordportal) unter das normale Weiher-

Fig. 16.



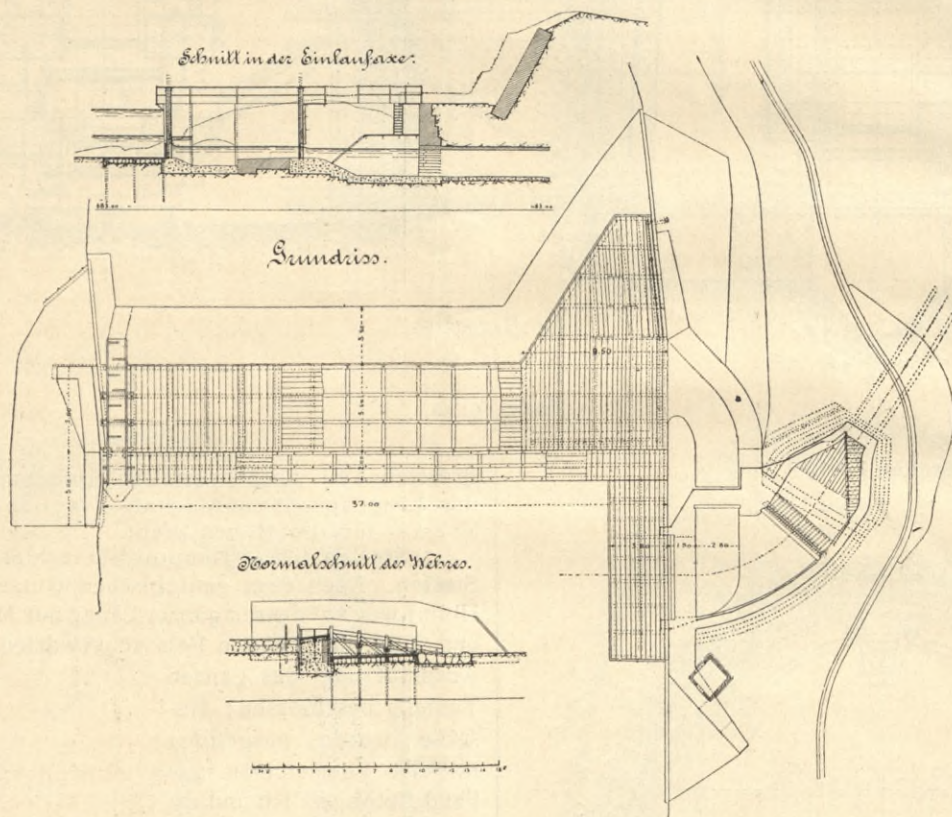
1:10.

niveau zu liegen kam, wie aus dem Längenprofil der Anlage ersichtlich ist. Fig. 11—15 zeigen die Querprofile des Stollens, sowie das von der Baufirma *Fischer & Schmutziger* vorgeschlagene und im wesentlichen auch angewandte Bausystem, mit eisernen Bogen aus Bahnschienen zur Spriessung. Die in den Figuren sichtbare Cementrohrleitung in der Sohle diente im wesentlichen zur Entwässerung während des Baues; das eingebaute Rollbahngleise blieb für spätere Revisionen in der Sohle liegen. Der Bau hat die Zweckmässigkeit des Profils und der angewandten Ausmauerung wie des Bausystems der Unternehmer bewiesen, während bei Anwendung des von anderer Seite vorgeschlagenen Einbaues von Monier-Röhren wohl unbedingt ein Misserfolg zu verzeichnen gewesen wäre.

Der Bau des Stollens wurde im September 1893 der Firma *Fischer & Schmutziger* à forfait übergeben, unter Voraussicht einer Bauzeit von zwei Jahren, d. h. sicherer Vollendung bis im September 1895. Nach getroffenen Vorbereitungen geschah der Angriff am Nordportal am 23. Oktober 1893, am Tage darauf vom vorher vollende-

Stelle von der andern Seite durch Abteufung eines Schachts beizukommen, in welchem jedoch die wasserführende Schicht ebenfalls (in grösserer Höhe) angetroffen und mit Mühe durchbohrt wurde. Der dadurch entstandene fortwährende Wasserandrang auch im Schacht gestaltete daher die Arbeit von dort aus zu einer wenig erspriesslichen. Man hatte sich bereits auf Einrichtung für pneumatischen Betrieb geeinigt, als die längere Kälteperiode zu Anfang des Jahres 1895 eintrat und die Verhältnisse sich fast plötzlich bedeutend besserten, was scheinbar auf das tiefe Gefrieren der verhältnismässig nicht mächtigen Schale über jener Stelle von der Oberfläche aus zurückzuführen ist. Es erfolgte darauf am 15. Februar 1895, ohne dass Druckluft zur Anwendung gelangte, der Durchschlag zwischen Schacht und Nordportal, nachdem dort auf eine Strecke von etwa 65 m etwa 13 $\frac{1}{2}$ Monate verwendet worden waren. Schon im August 1894 war zwischen Seitenstollen und Südportal durchgeschlagen worden und am 1. März 1895 fiel die letzte Wand, zwischen Seitenstollen und Schacht, so dass im Mai gleichen Jahres, also

Wehr und Einlauf. Fig. 17.



Masstab 1 : 500.

ten Seitenstollen aus in der Achse nach abwärts, am 11. Dezember von ebenda nach aufwärts, während am Südportal (Einlauf) die Bohrarbeiten erst am 2. März 1894 begannen.

Der Fortgang der Arbeiten im obern Teil (zwischen Einlauf und Seitenstollen) und auch auf dem grössten Teil der Strecke vom Seitenstollen abwärts konnte als normal bezeichnet werden. Es fanden zwar mehrmals Wassereinbrüche statt, wie es schien durch Entleerung grosser Wassersäcke im Berginnern, welche Wassereinbrüche jedoch jeweils bald ihr Ende fanden und ohne Unglücksfälle abliefen; anderseits wurde auf längern Strecken der Ausbruch sehr rasch (bis zu 29 m per Woche) gefördert. In der Nähe des Südportals wurde ziemlich viel Sand angetroffen. In kurzer Entfernung vom Nordportal dagegen zeigte sich bald eine sehr schwierige, wasserführende Schicht, und zwar eigentümlicherweise unterhalb einer sehr steilen Halde. Auf dieser Stelle hielten auch die stärksten eichenen Bohlen, welche zur Absperrung an der Stollenbrust verwendet wurden, nicht Stand, und es musste die Arbeit zeitweise ganz eingestellt werden. Die Unternehmung suchte der

nach 16 Monaten Bauzeit, der ganze Stollen fertig ausgemauert und vollendet war, während man als frühestmöglichen Termin anfangs den 1. Juli jenes Jahres angenommen hatte. Sämtliche Durchschläge erfolgten mit ganz geringen Abweichungen nach Seite und Höhe. Nach Vollendung wurde der Stollen unter Anwendung einer eisernen Abschlusswand partienweise durch Unterdrucksetzung geprüft.

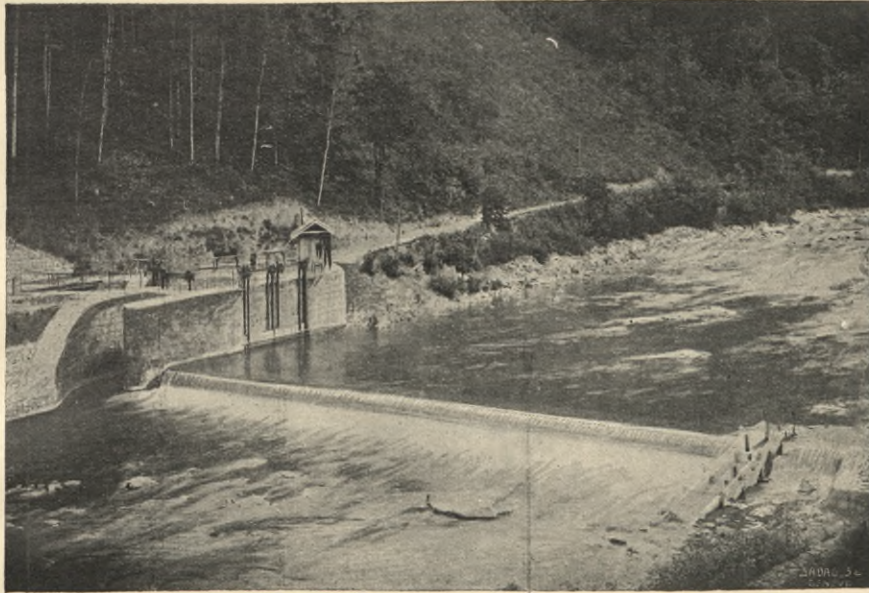
Ueber das von der Firma *Fischer & Schmutziger* zur Anwendung gebrachte Bausystem des Stollens geben die Fig. 4 bis 16 hinreichende Auskunft und es bleibt nur noch zu erwähnen, dass die Gespärre nach dem Umfang des Ausbruches gekrümmt aus 28 kg auf den laufenden Meter wiegenden Schienen hergestellt wurde. Die Wegnahme der Gespärre erfolgte durch Herausziehen hochkantig liegender Stahlkeile zwischen den verlaschten Stössen. Zu diesem Zweck dienten die in Fig. 16 dargestellten Bügel mit Schrauben. Abgesehen von den Vorzügen des Eisenbausystems zeigt dasselbe den Vorteil, dass keine Auswechsellung zur Stützung des Gebirges bei Ausführung der Mauerung vorgenommen werden musste. Die Mauerung, welche ebenfalls mit Hilfe eiserner Lehrbogen ausgeführt wurde,

unterstützte das Ende der Verpfählung, sodass der Eisenbau des Ausbruches einfach weggenommen und die Mauerung weitergeführt werden konnte. Die in den Darstellungen des Bausystems angegebene Einrichtung für den Schutt-Transport bei grosser Transportweite konnte nicht zur Anwendung gelangen, da der erwartete grosse Fortschritt ausblieb.

Wehrkörper selbst ist ebenfalls durch doppelten Bohlen-Belag auf verankertem Balkenrost geschützt. Die am linken Ufer angebrachte Fischleiter besteht aus einem Kennel aus Brettern mit Quer-Chicanen.

Wehr und Einlauf-Mauerwerk wurden ebenfalls der Firma *Fischer & Schmutziger* zur Ausführung übertragen;

Fig. 18. Ansicht vom Wehr und Einlauf.



Wehr und Einlauf. Diese Objekte wurden sozusagen genau nach den Locherschen Entwürfen ausgeführt; es war nur eine Abdringung des Einlaufs wegen der vorgenommenen Verlegung der Tunnelachse notwendig. Der Plan Fig. 17 veranschaulicht die Konstruktion beider Objekte.

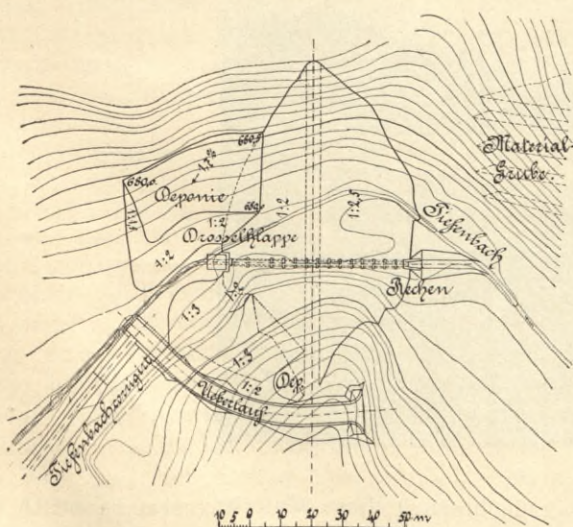
An der Stelle des Wehrs findet sich nirgends in erreichbarer Tiefe anstehendes Gestein, dagegen eine solide Grundmoräne. Auf diese wurde der Wehrkörper, zum Teil aus Beton, zum Teil aus Cementmörtel-Mauerwerk, (aus soliden Findlingen aus der Sihl) abgestellt, und zwar war dies teilweise erheblich tiefer notwendig als der Normal-schnitt der Figur zeigt. Besonders der rechte Wehrkopf und die Mauerungen des Einlaufs mussten wegen angetroffener Sandnester sehr tief fundiert werden. Thalseits des Wehr-

der ganze Bau wurde im Trockenem unter Abdämmung je einer Flusshälfte im Winter 1894/95 ausgeführt, da die Stärke und Plötzlichkeit der Sommer-Hochwasser den Bau im Sommer nicht ratsam erscheinen liessen. Die Arbeiten begannen am 5. Oktober 1894 und wurden, bei im allgemeinen nicht ungünstigen Wasserverhältnissen, am 20. März 1895, genau am Tage vor Eintritt stärkern Tauwetters, in der Hauptsache vollendet.

Der Einlauf nach dem Stollen ist durch zwei Schützensysteme gesichert, nach einem Systeme, das die Herren Locher & Cie. in ähnlicher Weise auch beim Werke Zufikon-Bremgarten zur Anwendung brachten. Vor der parallel zum Flusslauf gestellten äussern oder Vorfalle befindet sich zunächst ein grober Rechen aus 3 cm starkem Rundenisen zum Schutze gegen anprallende grössere Gegenstände, Baumstämme u. dgl., zwischen dieser Vorfalle und der eigentlichen Abschlussfalle sodann ein vertieftes Vorbassin zur Ablagerung von Schlamm und Kies, dann hinter der Abschlussfalle der wegnehmbare Rechen aus Flach-eisen mit 3 cm Oeffnungsweite, abgedeckt durch die Rechenbrücke vor dem Stollenportal. Jede Falle besteht aus niedriger „Kiesfalle“ aus Eisenblech (aussern) und eigentlicher, höherer Abschlussfalle aus Eichenholz (innen). Bei sehr niedrigem Wasserstand, der kein Geschiebe bringt, werden beide Fallen hochgezogen und das Wasser strömt unten ein; bei Mittelwasser wird die Kiesfalle herabgelassen, die Holzfalle hochgezogen, und der Einfluss geschieht zwischen beiden durch, das Grundgeschiebe vor der Kiesfalle liegen lassend; bei Hochwasser kann die Holz-falle weiter herabgelassen und der Einfluss über dieselbe geleitet werden; bei ganz aussergewöhnlichen Hochwassern steht auch die Möglichkeit offen, die Vorfalle ganz abzuschliessen und das Wasser durch Rückstau von unten bei der dritten oder „Reinigungs-falle“ einzulassen, welche, quer zur Flussrichtung stehend, den Schlamm-sammler nach unten abschliesst und sonst dazu dient, das allfällig angesammelte Geschiebe durch kräftigen Wasserstrom nach Abschluss der innern Falle und Oeffnen der äussern auszuspülen. Zur Vermeidung der dabei sonst zu befürchtenden Auskolkungen ist die Stichbrücke unterhalb der Reinigungs-falle verlängert.

Die Schützen und deren Triebwerke wurden von der Firma *M. Koch* in Zürich ausgeführt.

Fig. 19. Lageplan des Dammes.



Masstab 1 : 2500.

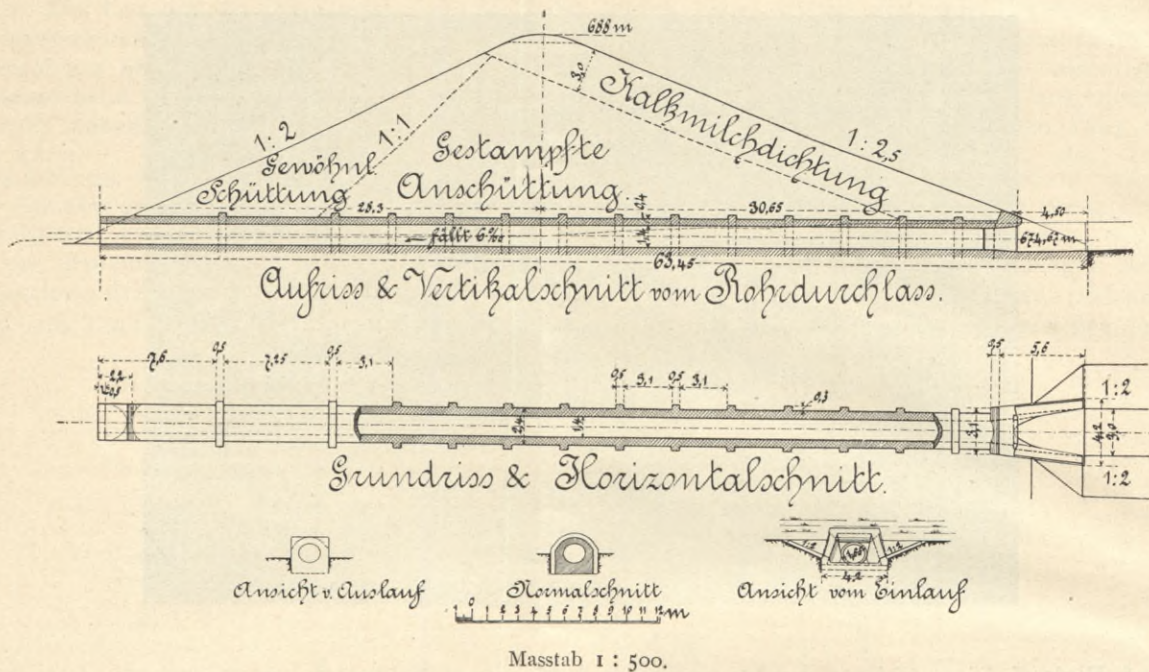
körpers wurde zunächst zwischen einen mittels Eisennadeln verankerten Balkenrost eine Pflasterung aus grossen Steinen angebracht, und sodann über dem Balkenrost aus zweifachem, gekreuztem Bohlen-Belag die Stichbrücke gebildet, während unterhalb derselben zur Vermeidung des Kolkens noch eine kräftige Pflasterung aus sehr grossen Steinen erfolgte. Der

Fig. 18, eine Ansicht von Wehr und Einlauf von unten mit der kleinen Wärterbude für den Winterdienst, mag die Konstruktion noch weiter erläutern.

Die Einlaufeinrichtungen haben sich bis jetzt sehr gut bewährt, das Geschiebe bleibt völlig aussen liegen, und bei einer an Pfingsten 1896 vorgenommenen Leerung

lichkeit, jedoch nicht absolute Sicherheit für die Wasserdichtigkeit des natürlichen Beckens. Für die Ausführung der Thalsperre kam in Betracht, dass das Vorkommen von Sand- oder Schlamm-schichten in der Tiefe nicht ausgeschlossen schien, so dass einerseits eine nicht allzugrosse Belastung des Grundes durch den Dammkörper, andererseits

Fig. 20. Damm, Aufriss, Grundriss und Schnitte.



und Besichtigung des Stollens haben sich auch in dessen oberster Partie keine Spuren von Schlamm vorgefunden. Auch das Wehr hat die mannigfachen Proben durch Hochwasser und Eisgang bis jetzt gut bestanden, abgesehen von einigen kaum zu vermeidenden Schädigungen an der Fischnleiter. Die Wartung der Einlaufvorrichtung ist eine einfache, einzig im strengen Winter bringt der Charakter des Gewässers die Notwendigkeit einer permanenten Wartung wegen der Eisbildung vor dem Einlauf mit sich.

Der Weier. Der für die Anlage des Weiers als passend erscheinende Ort bildete, wie aus dem Situations-

Abteufung von Sondiergruben angezeigt erschien. Die letztern zeigten einen im allgemeinen nicht ungünstigen Baugrund; der ersterwähnte Umstand führte zur Wahl eines *Erddammes* auf möglichst breiter Basis gegenüber einem erheblich höhere Grundbelastung ergebenden und teuern Damm aus Mauerwerk.

Vor Anschüttung des eigentlichen Dammkörpers wurde nun der Untergrund überall bis auf die Tiefe einer guten Moräne, zum Teil einige Meter tief, ausgehoben, und seitliche Grund-Entwässerungen vorgenommen. Für den Damm selbst fand sich geeignetes Moränenmaterial am Rande des Weiers. Der Situationsplan des Dammes,

Fig. 21. Ansicht von Weier und Damm mit Ueberlauf und Rohrleitung.



plan der ganzen Anlage (Fig. 19) ersichtlich ist, eine natürliche Mulde im Thälchen des „Tiefenbachs“; zum Abschluss fand sich eine geeignete Stelle von einer linksseitig vorspringenden, bewaldeten Nase aus auf die gegenüberliegende steile Thalhalde zu. Den grössten Teil des zukünftigen Weierareals bildete ein sumpfiges Terrain (Streuried), das an den Rändern Wiesen und Waldung, im ganzen Untergrund Moräne (meist lettig mit grösseren und kleineren Findlingen), darüber Humus (stellenweise tief als Waldboden) aufwies. Die Gutachten ergaben die hohe Wahrschein-

lichkeit, auch diese Materialgrube kenntlich, deren Aushebung gleichzeitig das Volumen des Weiers vergrösserte. Humus und ähnliches nicht geeignetes, Wurzeln führendes Material wurde nicht zum eigentlichen Dammkörper verwendet, und aus dem guten Material die Steine etwa bis auf Eigrosse hinunter ausgelesen. Dieses Material wurde, anfänglich mit Schubkarren, später, als die Verhältnisse dies gestatteten, mit verschiebbaren Rollbahneisen in Schichten von etwa 20 cm Dicke aufgebracht und dann mit Stösseln auf etwa die halbe Dicke zusammen-

gestampft. Auf diese Weise wurde der eigentliche Dammkörper mit Böschung 1:2,5 nach der Wasserseite und 1:1 nach der Thalseite gebildet, während die Komplettierung der thalseitigen Böschung auf 1:2 durch einfache Anschüttung guten Materials geschah, und Humus etc. weiter in Deponie vorgelagert wurde. (Siehe Dammquerschnitt, Fig. 20) Auf der Wasserseite wurde, nach dem Vorbild einiger gut bewährter Erddämme, eine 3 m dicke Schicht mit sogenannter Kalkmilchdichtung ausgeführt, d. h. jede auf gebrachte Materialschicht mit Kalkpulver bestreut und durch Spritzen benetzt (was allerdings bei dem andauernden Regenwetter selten nötig war). Diese Dichtung machte bei der Ausführung einen Vertrauen erweckenden Eindruck, indem man über diese Partie nach der Stampfung auch bei Regenwetter trockenen Fusses gehen konnte, während man auf der nicht mit Kalk versehenen Stampfung nebenan tief einsank.

Wie das Profil, Fig. 20, zeigt, erhielt der Damm bei etwa 15 m Erhebung über den natürlichen Grund etwa 65 m Mächtigkeit (in Richtung des Wasserlaufs) an der Basis. Die wegen der Schwierigkeit der Dammichtung längs eines Rohrdurchlasses eventuell in Frage zu ziehende Verlegung des Abflussrohrs *ausserhalb* des Damms in den gewachsenen Boden wurde wegen technischer Schwierigkeiten und unverhältnismässiger Kosten verlassen und das Durchlassrohr senkrecht zur Dammachse in dessen Basis verlegt. Um das Eintreten einer Strömung zwischen Durchlassrohr und Dammkörper zu verhüten, wurde das aus 5 mm starkem Eisenblech genietete Durchlassrohr nicht nur mit einer 40 cm dicken rauhen Betonschicht umgeben, sondern um dieselbe von Strecke zu Strecke besondere Ringe („Kragen“) angebracht von etwa 30 cm radialer Dicke (Vorsprung), welche jede längs des Rohrs zum Abfluss neigende Wasserader als Chicanen zu umgehen hätte. (Siehe Fig. 20).

Durch den Damm wurde der natürliche Lauf des obern „Tiefenbachs“ gehemmt. Das Einzugsgebiet desselben beträgt etwa $1\frac{1}{4}$ km². Um bei Wolkenbrüchen in demselben der dadurch dem Weiher zufließenden Wassermenge genügenden Abfluss zu verschaffen, ohne dass ein Ueberströmen über den Damm und dadurch Anfressen desselben eintreten könnte, verlangte die h. Regierung des Kantons Zürich, dass die Grösse und Konstruktion des *Ueberlaufs* zur Abfuhr von 10 m³ per Sekunde eingerichtet werde. Es ergab dies ein sehr bedeutendes Objekt, welches in Wänden und Sohle in Cementmörtel-Mauerwerk mit bedeutendem Gefälle ausgeführt und am untern Ende (im alten Tiefenbach) mit Sturzbassin versehen wurde. Auf der Thalseite des Damms wurde der Abschluss des Durchlasses mittels Drosselklappe bewerkstelligt, die nur an Ort und Stelle bedienbar und in einem Schutzhäuschen untergebracht ist.

Die letztgenannten Objekte sind am besten aus der Ansicht Fig. 21 ersichtlich.

Etwelche Schwierigkeit bot die Anbringung eines Rechens vor dem Durchlass im Grunde des Weihers, welche zur Abhaltung in den Weiher geratener Gegenstände von den Turbinen nötig schien. Ein fester Rechen in der Tiefe von 15 m hätte zur zeitweisen Reinigung die jeweilige Anwendung eines Taucherapparates erfordert. Eine vorge-schlagene Lösung bestand darin, das Wasser stets von der Oberfläche durch Anwendung eines am Durchlass dicht, aber drehbar befestigten Steigrohrs abzusaugen, dessen oberes Ende, auf dem Niveau schwimmend erhalten, den Rechen tragen konnte. Wegen der Unsicherheit und der hohen Kosten wurde auf Anwendung dieses Mittels verzichtet, und statt dessen ein dachförmiger Korbrechen im Grunde angebracht, der jedoch auf einer Rollbahn mittels Kette und Winde über die Böschung auf die Dammkrone hinaufgezogen werden kann, was bei stehendem Wasser, nach Abschluss der Drosselklappe, ohne Verunreinigung des Durchlasses möglich ist. Besondere Konstruktion soll den dichten Anschluss des Rechens nach dem Wiederhinunterlassen sichern. Die Konstruktion hat sich bisher

bewährt; der Rechen zeigt übrigens unbedeutende Verunreinigung. Während dieses Objekt der Firma M. Koch, Zürich, zur Ausführung übertragen wurde, geschah der Bau des Damms selbst ebenfalls durch *Fischer & Schmutziger*, welche die Arbeit am 1. Juli 1894 begannen und, sie bei sehr ungünstiger Witterung bis zum Eintritt des Frostes fortsetzend und im Frühling wieder beginnend, bis zum 25. April 1895 fertig stellten.

Die Anlage des Weihers bedingte auch die Neuanlage einer Strasse mit zum Teil künstlichen Aufdämmungen um den ganzen Weiher, zum Ersatz eingegangener Wegrechte über das frühere Ried-Areal, sowie die Ausführung einiger Uferversicherungen, Ansäeungen etc., welche zumeist in Regie durchgeführt wurden.

Während der totale Inhalt des so gewonnenen Weihers etwa 250 000 m³ beträgt, sind davon etwa 220 000 m³ zur Abzapfung nutzbar.

Auch die Weiher- und Dammanlage hat bisher Proben und praktischen Betrieb gut bestanden. Bei den ersten Füllungsproben zeigten sich einige kleine, feine Sprühbrunnen unten am Mauerwerk des Ueberlaufs und eine etwas stärkere Quellung von der (thalwärts) rechten Seite her unterhalb des Damms am Tiefenbach, welche letztere dann, als von einer der früher erstellten Entwässerungen des Seitenterrains herrührend, nachgewiesen werden konnte. Diese übrigens ganz unbedeutenden Sickerungen ergaben stetige Abnahme und scheinen von beschränkter Durchlässigkeit des natürlichen, den Weiher umgebenden Bodens herzurühren. Irgendwelche kleinste Bewegungen am Dammkörper konnten auch mit Instrumenten nicht festgestellt werden. Bei Entleerung des Weihers im Frühling 1896 zeigte sich der Grund durchwegs mit einer Schicht sehr feinen, gelatinösen Schlammes bedeckt; diese Schlammablagerung wird ebensowohl für die Schonung der Turbinenräder wie für die Dichtung des Weihers wohlthätig wirken, während die dadurch bewirkte unbedeutende Verminderung des Weihervolumens kaum in Betracht kommt.

III. Die Rohrleitung. Dieselbe wurde mit 1400 mm Lichtweite für 1800 Sekundenliter normal ausgeführt; da die Wassergeschwindigkeit dabei nur etwas über 1 m per Sekunde beträgt, kann die Rohrleitung leicht auch für 2400 Sekundenliter (Geschwindigkeit 1,56 m pro Sekunde) ausgenützt werden. Die Terrainkonfiguration hätte für die Durchführung der Leitung im reinen Gefälle entweder eine sehr grosse Länge mit Umgehung der Rippe der „Waldhalde“, oder einen relativ langen Durchstich durch die letztere und hohe Kosten ergeben. Aus diesem und einem später zu nennenden Grunde wurde daher vorgezogen, das Tiefenbachthal mit einem Siphon zu überschreiten, beinahe auf die Höhe der „Waldhalde“ wieder aufzusteigen und von dort aus die eigentliche Druckleitung anzuschliessen. Fig. 22 zeigt die Situation der Rohrleitung.

Der erste Teil der Leitung, der Siphon, etwa 635 m lang, weist bis zur tiefsten Stelle einige Meter Senkung auf; dieser tiefste Punkt befindet sich am Tiefenbach und ist mit Schieber zur Ausspülung versehen. Dieser Teil der Leitung ist aus 5 mm starkem Siemens-Martin-Flusseisenblech (Qualität „Kesselmantelblech“ von Dillingen) hergestellt, in Rohrlängen von normal 7,3 m Länge, mit zweifacher Nietreihe und Flanschen aus Winkeleisen (Schweisseisen). Er unterfährt die Staatsstrasse Schönenberg-Menzingen und ist daselbst von Mauerwerk mit Cementmörtel umgeben. Ausser mehreren Krümmern dienen drei Expansionen für die Ausdehnung durch Temperatureinfluss. Diese Expansionen aus Gusseisen sind mittelst Stopfbüchsen mit Hanfpackung ausgeführt, arbeiten gut und halten bis jetzt sehr gut dicht. Dasselbe lässt sich von den Flanschen sagen, die mit Kautschuckringen verpackt sind.

Von der Höhe der Waldhalde aus beginnt die eigentliche Druckleitung von etwa 110 m Länge, mit 62,8 % zum Turbinenhaus abfallend, wo sich noch ein kurzes horizontales Stück anschliesst. Dieses Stück der Leitung ist aus Dillinger Siemens-Martin-Flusseisenblech, Qualität „Kesselflammrohr-

Fig. 22—27. Electricitätswerk an der Sihl.

Rohrleitung:
Situation.

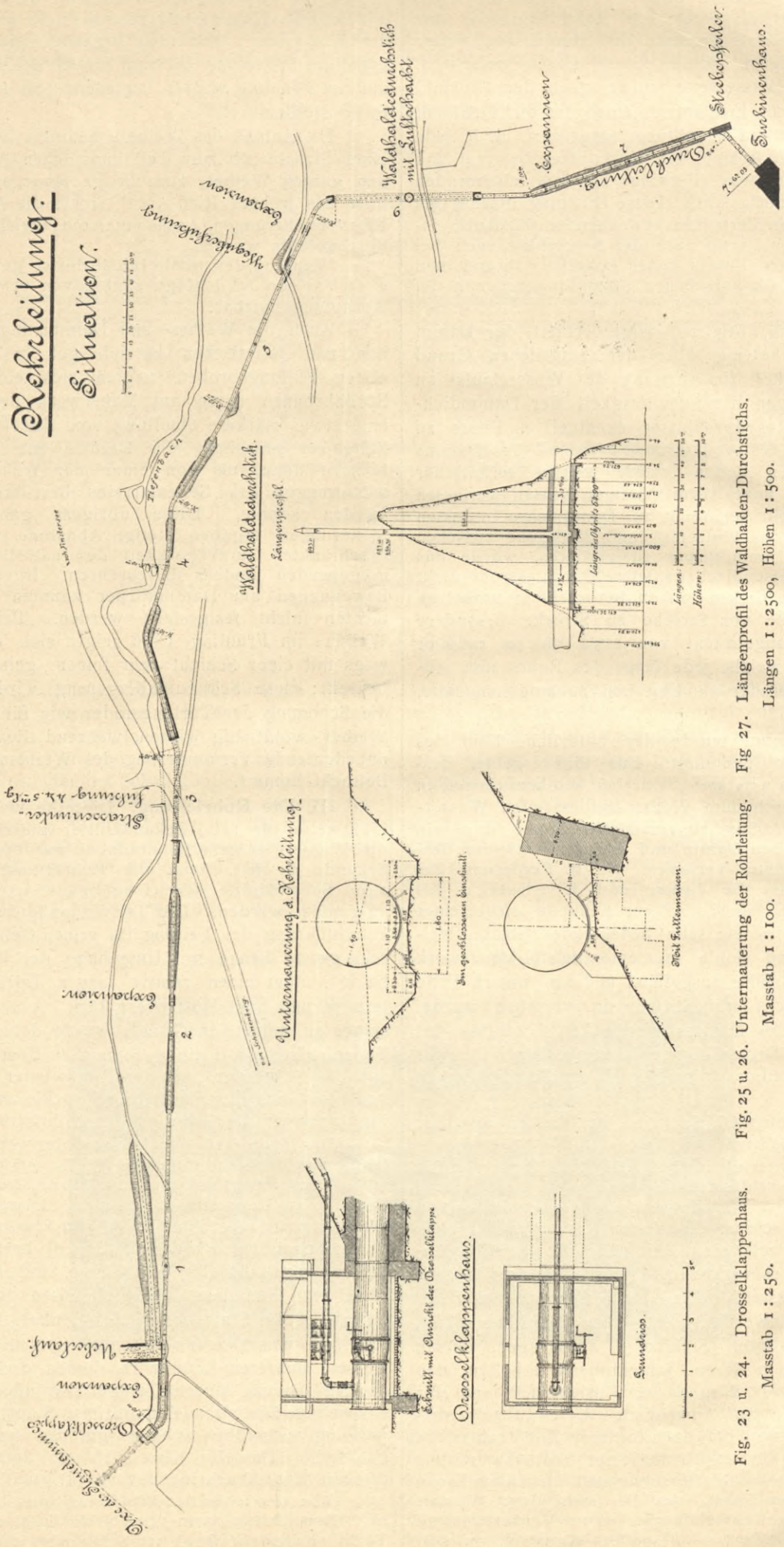


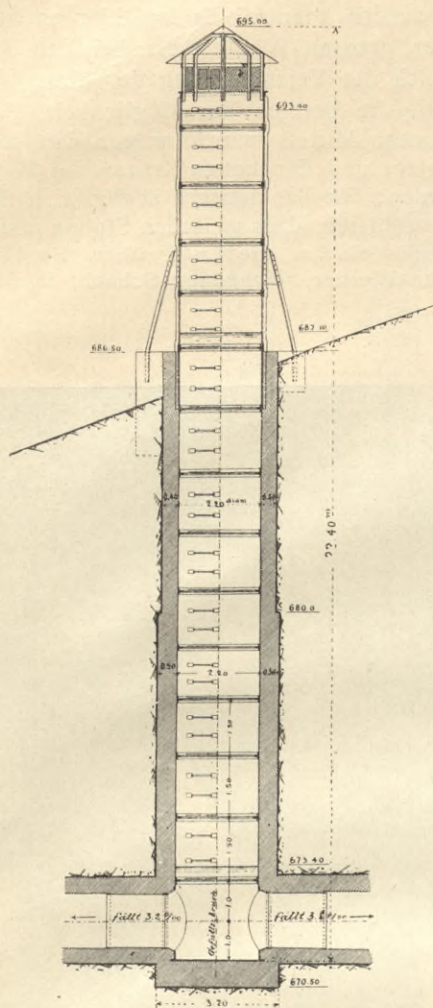
Fig. 23 u. 24. Drosselklappenhaus.
Masstab 1 : 250.

Fig. 25 u. 26. Untermauerung der Rohrleitung.
Masstab 1 : 100.

Fig. 27. Längsprofil des Waldhalden-Durchstichs.
Längen 1 : 2500, Höhen 1 : 500.

Fig. 22. Lageplan der Rohrleitung.
Masstab 1 : 2500.

Fig. 28—32. Elektrizitätswerk an der Sihl.



Masstab 1 : 200.
Fig. 28. Luftschacht: Vertikalschnitt.

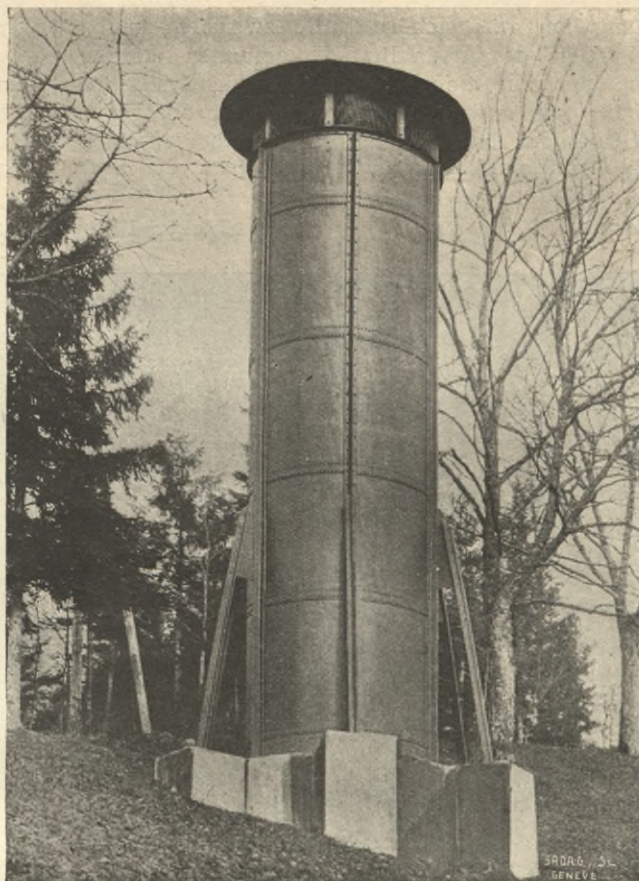


Fig. 29. Luftschacht: Ansicht.

Fig. 30.

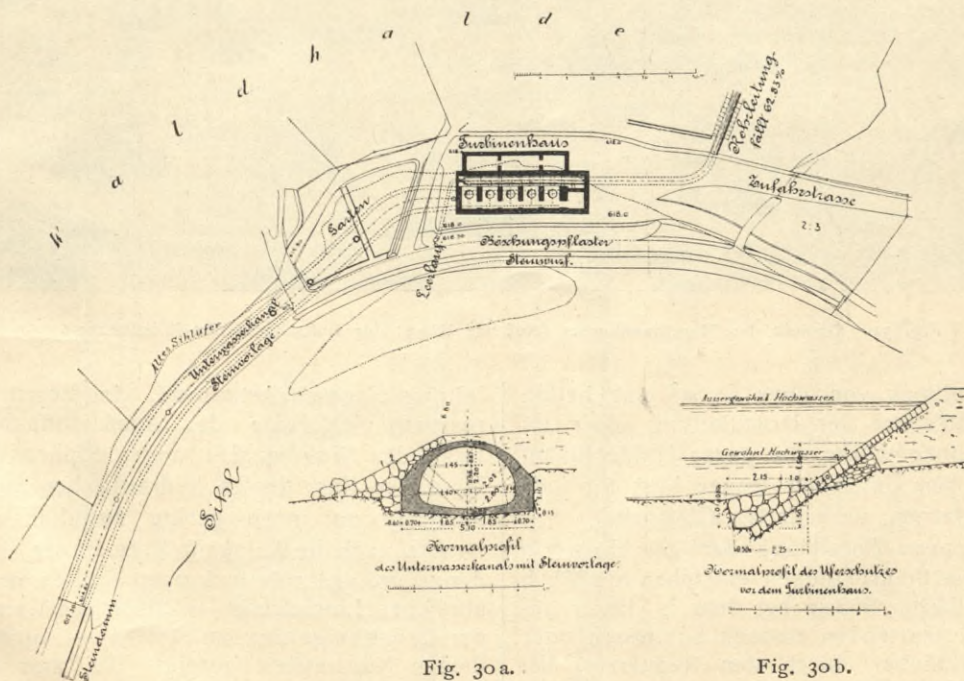


Fig. 30. Lageplan des Turbinenhauses an der Waldhalde. Masstab 1 : 1500.
Fig. 31 a. Normalprofil des Unterwasserkanals mit Steinvorlage. » 1 : 300.
Fig. 32 b. Normalprofil des Uferschutzes vor dem Turbinenhaus. » 1 : 300.

blech“, hergestellt (mit $3,6-4 t$ pro cm^2 Zugfestigkeit und $0,9$ Gütewert), ebenfalls mit Flanschenrohren; Blechdicke bis $11 mm$, im Turbinenhaus $13 mm$.

Dieser Teil der Anlage erlitt gegenüber den Vorprojekten die meisten Aenderungen. Während die Auflagerung der Leitung im Siphonteil keine besondern Schwierigkeiten bot — sie wurde mittelst Untersätzen aus Cementmörtel-Mauerwerk mit Blechfütterung im Rohrsattel, je zwei Untersätze pro Rohrlänge, ausgeführt — konnte für die Druckleitung nur *eine* sichere Stelle zwischen nassen, rutschenden Partien der „Waldhalde“ gefunden werden, und es musste hier auf eine sehr sichere Abstellung des grossen Gewichts auf guten Grund gesehen werden. Das untere Ende (Knie) der Druckleitung wurde daher in einen, auf sehr gute Grundmoräne unter dem Niveau des Sihl-

langen Rohrleitungen, besonders auch der Hochdruckwasserbetrieb für die elektrische Beleuchtung im Letten-Zürich, gezeigt. Die durch Versuche glänzend bestätigten, äusserst klaren Untersuchungen über diese Verhältnisse durch Professor *A. Stodola**) wiesen den Weg, auf welchem diese Schwierigkeit umgangen werden konnte. Es lag hier entweder die Anbringung eines grossen Windkessels bei den Turbinen, oder wenn möglich die Verminderung der Masse der *wirksamen* Wassersäule im Bereich der Möglichkeit. Von Anwendung des erstern Mittels wurde wegen des schwer zu gewinnenden Platzes und der hohen Kosten der Windkessel Umgang genommen; für das letztere schien sich die Möglichkeit dadurch zu bieten, dass zwischen Siphon und eigentlicher Druckleitung ein in die Luft, über die Höhe des Wasserniveaus im Weiher reichender Schacht in die Rohr-

Elektrizitätswerk an der Sihl.



Fig. 31. Ansicht des Maschinenhauses (Auf der Höhe: der Luftschaft der Rohrleitung).

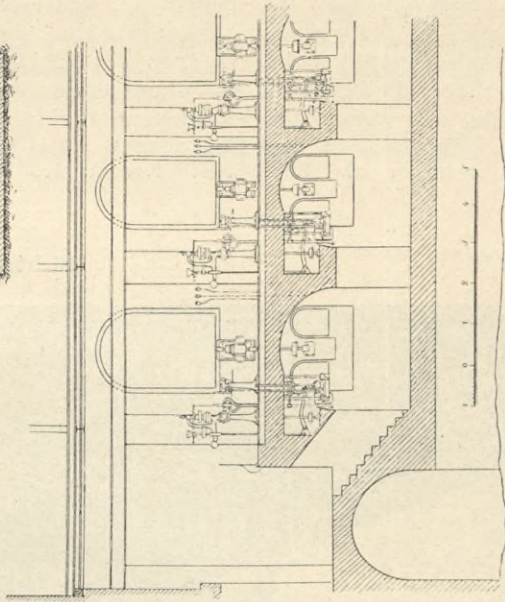
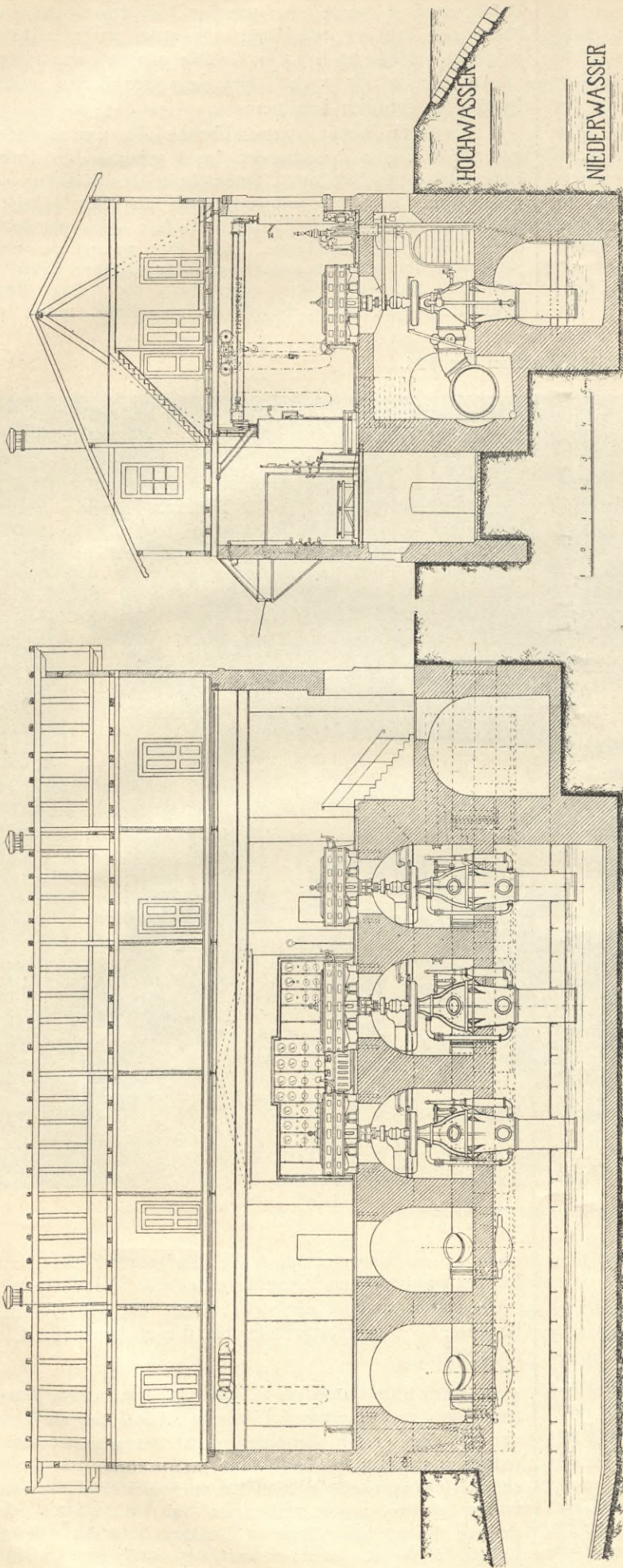
betts abgesetzten Betonblock von etwa $60 m^3$ eingebettet, und auf diesen die Untersätze der Druckleitung einer auf den andern mittelst Betongewölbe die ganze Halde hinauf abgestützt; die gemauerten Untersätze tragen hier für jede Rohrlänge einen gusseisernen, verankerten Gleitsattel.

Die eintretende grosse Totallänge der geschlossenen Rohrleitung ($795 m$) liess Befürchtungen entstehen bezüglich der Wirkungen hydraulischer Stösse bei dem in dieser Anlage unbedingt oft zu erwartenden raschen Schliessen oder Öffnen der Turbinenschieber durch den Regulator, bei plötzlichen, starken Belastungsänderungen. Dass dadurch selbst bei rasch wirkenden Regulatoren oder vielmehr gerade bei solchen äusserst unliebsame periodische Schwankungen der Tourenzahl der Turbinen und gefährliche Drucksteigerungen eintreten und den Betrieb ganz unleidlich machen konnten, hatten mehrere Beispiele solcher Anlagen mit relativ

leitung eingeschaltet wurde. In diesem Schacht konnte bei raschem Schliessen der Ausflussöffnungen die lebendige Kraft des Wassers des langen Siphons das Wasser steigen lassen, so dass dessen hydraulischer Stoss am untern Ausflussende nur noch gering ausfallen musste. Inzwischen hatte ja auch die Anlage in Bremgarten, bei welcher zwischen den allerdings relativ kurzen Stollen und die Turbinen ein ähnlicher Luftschaft — mehr zur Vermeidung der Gefahr der Drucksteigerung im Stollen — angebracht worden war, dessen Nützlichkeit gezeigt. Da man am höchsten Punkt der „Waldhalde“ so wie so einerseits beinahe die Höhe des Weiherniveaus mit der Rohrleitung erreichte, andererseits daselbst ein kurzer Durchstich nötig wurde, konnte die Anbringung eines solchen „Luftschafts“ an genannter Stelle

*) Schweiz. Bauzeitung, Band XXIII, Jahrg. 1894, Seite 108 ff.

Electricitätswerk an der Sihl.



Masstab 1 : 200.

Fig. 32—35. Schmitte und Grundriss des Maschinenhauses.

ziemlich leicht erfolgen. Eine Erweiterung dieses Schachts nach oben, sowie ein Ueberlauf aus demselben wäre theoretisch angezeigt gewesen; Rücksichten auf Kosten und Terrainverhältnisse liessen jedoch beides nicht wohl zu, so dass man sich mit dem Aufbau eines runden, eisernen Schachtrohres aus 6 und 5 mm starkem Eisenblech von 2,2 m Lichtweite begnügte. Das Rohr steigt aus dem höchsten Punkt der Leitung in einer Höhe von 21 m auf, ist im Terrain mit Beton ummantelt und erhebt sich noch über das erstere. Sein tiefster Punkt (zugleich höchster Sohlenpunkt der Druckleitung) wurde zur Verhütung des Abreissens der Wassersäule bei plötzlichem Oeffnen der Turbinen 3 m unter den tiefsten Weiherstand, das obere Ende des Rohrs (zur Verhütung des wegen Abschwemmung an jener Halde gefährlichen Ueberfließens bei plötzlichem Abschluss der Turbinen) 5 m höher als das höchste Niveau des Weihers verlegt.

bildete einen Sumpf, der bei Hochwasser das dort ohnehin breite Sihlbett vergrösserte; davor lag eine kleine Insel. Die Zufuhr des Materials hätte grosse Kosten verursacht; eine Zufahrtsstrasse wurde zwar von der Poststrasse Schönenberg-Menzingen her in einer Länge von etwa 700 m erstellt, die jedoch trotzdem noch 15% Gefälle erhielt, was allerdings in Anbetracht der nach Beendigung der Baute spärlichen Benützung genügen konnte.

Dagegen konnte der Abbruch der im Grunde aus guten Findlingen bestehenden Insel sowohl den durch die Landanlage geschmälernten Querschnitt des Sihlbetts wieder herstellen, als auch das Material für Landanlage und grösstenteils auch zum Hochbau liefern. Es wurde daher dieser Weg eingeschlagen. Aus Fig. 30 ist sowohl die Situation der ganzen Anlage als der frühere Zustand ersichtlich. Dieselbe Figur zeigt auch die Anlage des ausgedehnten *Uferschutzes*, bestehend aus einer, unten 40 cm,

Elektrizitätswerk an der Sihl.

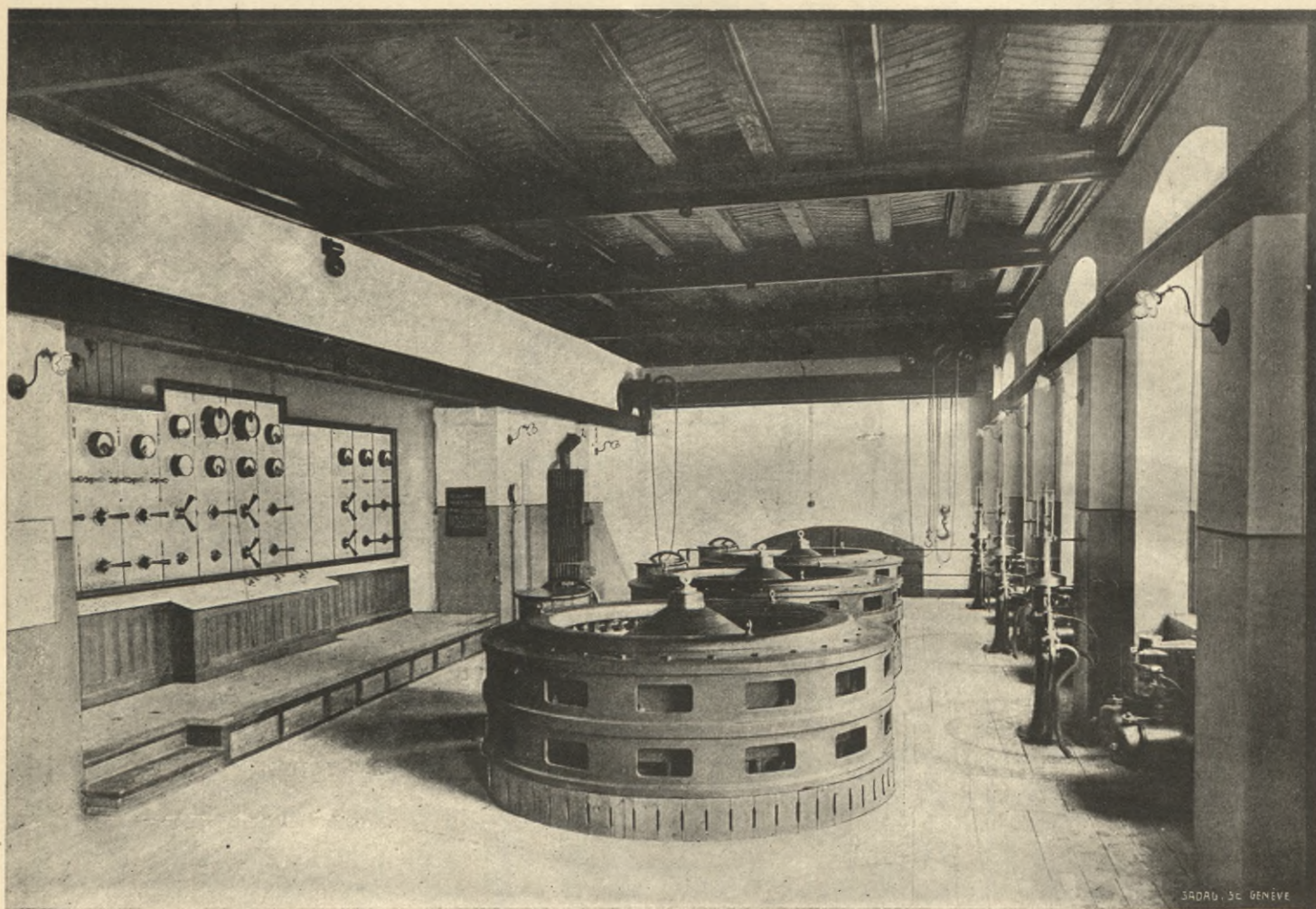


Fig. 36. Ansicht des Maschinensaales.

In Fig. 28 ist ein Vertikalschnitt, in Fig. 29 eine Ansicht dieses Luftschaftes dargestellt.

Genauere Proben und Messungen über die Wirkungsweise dieses Schaftes konnten bis jetzt nicht angestellt werden, der praktische Erfolg jedoch ist ein sehr guter, indem trotz der beim gleichzeitigen Abstellen und Anlassen der Fabriken auftretenden, brüsken Aenderungen der Ausflussöffnungen keine schädlichen Schwankungen des hydraulischen Drucks bemerkt und periodische Schwankungen der Tourenzahl nicht veranlasst werden.

Die Ausführung der Rohrleitung geschah durch die Aktien-Gesellschaft *Kesselschmiede Richtersweil*, deren Arbeit sich bis jetzt gut bewährte. Die Untermauerungen wurden von *Fischer & Schmutziger* erstellt.

IV. Das Maschinenhaus. Für dasselbe musste der Platz zum Teil der Sihl abgewonnen werden. An der dafür indicierten Stelle ist die Uferlinie konkav und das Terrain

oben 25 cm starken, auf die Grundmoräne unterhalb des Sihlbetts abgesetzten Steinpflasterung mit Steinvorlage. Diese Sicherungen machte die, namentlich bei den Hochwassern bedeutende Arbeit der Sihl auf dieser konkaven Uferseite notwendig.

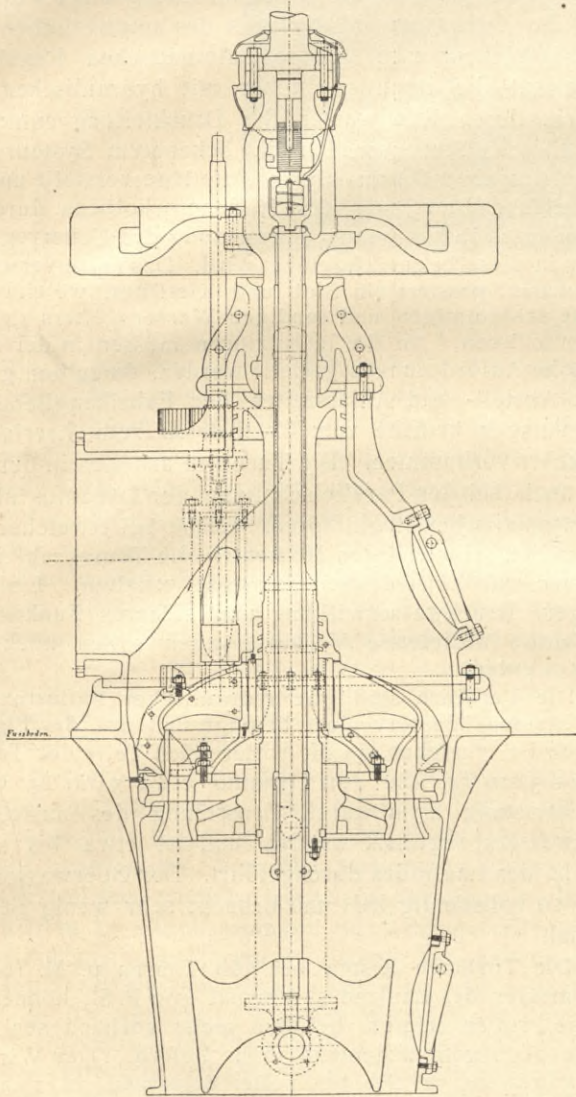
Dem Situationsplan ist auch zu entnehmen, dass noch ein etwa 110 m langer *Unterwasserkanal* angelegt wurde, der in den ersten Projekten nicht vorgesehen war, sich jedoch als nötig erwies, wenn man einerseits das ganze zur Verfügung stehende Gefälle auch bei Niederwasser ausnützen wollte, ohne andererseits bei Hochwasser ein Verstopfen des Abflusses durch Geschiebe befürchten zu müssen. Dieser Kanal ist daher in dem aus der Figur ersichtlichen, breiten und niedern Querschnitte, vollständig in Beton gewölbt, längs des ehemaligen Ufers hergestellt; Steinvorlage und Materialüberdeckung sollen ihn vor den Hochwassern schützen. Der Ausfluss aus dem Unterwasserkanal ist noch

durch einen kurzen Steindamm gegen die wilde Sihl hin freigehalten.

Der oben erwähnte, durch die Weiher-Konzession geforderte *Leerlauf* findet sich in Fig. 30 ebenfalls eingezeichnet. Er schliesst am Ende der Rohrleitung im Turbinenhaus als Eisenrohr an, und soll mit grösstmöglicher Wassergeschwindigkeit bis 4 m^3 per Sekunde abführen. Da ein dichter Abschluss mittelst Drosselklappe kaum zu erwarten war, anderseits ein grosser Schieber zu schwer zu bewegen gewesen wäre, sind zwischen Druck-Rohrleitung und Leerlauf fünf kleinere Schieber nebeneinander angeordnet, die im Maschinen-saal bedient werden können und von denen jeder etwa den Maximalbedarf einer Turbine direkt abführen kann.

Elektrizitätswerk an der Sihl.

Fig. 37. Aktions-Turbine von 400 P. S. von Escher Wyss & Cie. in Zürich.



Masstab 1 : 30.

Um die Auskolkung des Uferschutzes beim Austritt des Leerlaufs zu vermeiden, ist dessen Rohr hier unter etwa 45° nach oben gerichtet und erweitert, so dass das austretende Wasser unter Luftaufnahme schadlos in die Höhe steigt und in die freie Sihl fällt; ausserdem ist hier noch eine besondere Steinvorlage angebracht.

Was nun das *Maschinenhaus* selbst anbelangt, mögen die Vertikalschnitte, sowie der Grundriss in Fig. 32—35 zunächst sprechen. Aus den erstern ersieht man, dass es aus fünf Stockwerken besteht, von denen die beiden untern, Ablaufkanal und Turbinen-Geschoss enthaltend, unterhalb des *ausserordentlichen* Hochwasserniveaus liegen und ganz in Beton (aus Schlagkies) erstellt sind, während das dritte (Maschinensaal) über dem etwa auftretenden *ausserordentlichen* Hochwasser liegt und in Cementmörtelmauerwerk

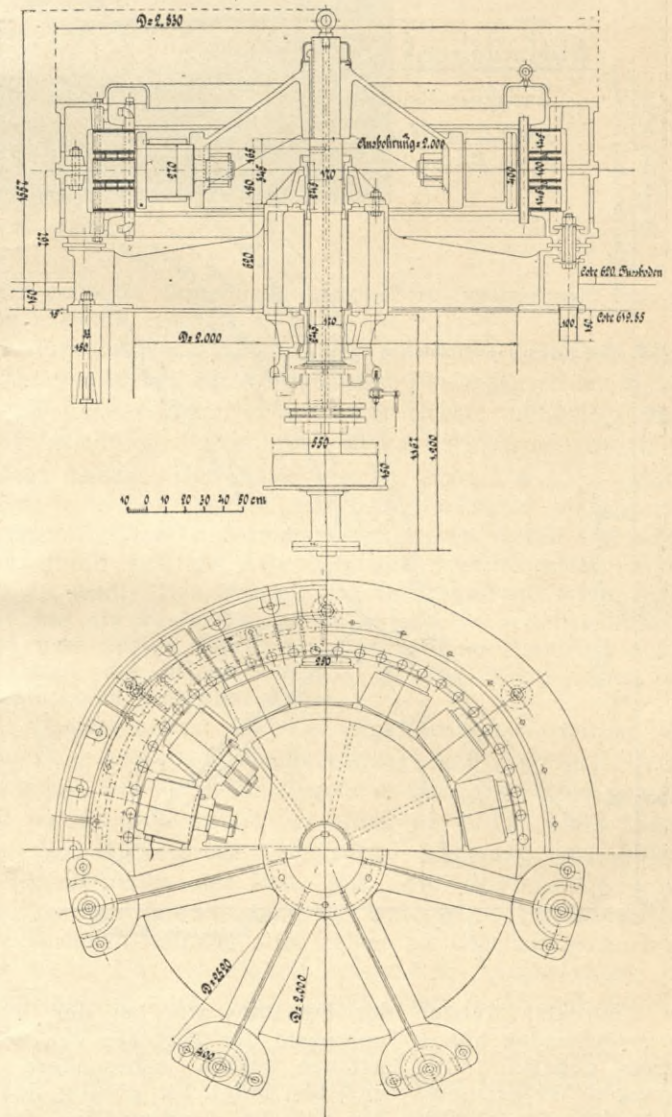
ausgeführt ist; das vierte und fünfte bilden die Wohnungen und der Estrich in Riegelbau.

Es konnte überall auf eine gute, allerdings zum Teil sehr tief liegende Grundmoräne aufgebaut werden. Die Anordnung von zwei Wohnungen zu je fünf Zimmern über den Maschinenlokalitäten selbst wurde hauptsächlich wegen der schwierigen Platzbeschaffung für ein besonderes Wohnhaus gewählt und konnte mit Rücksicht darauf, dass die Anwendung nur direkt gekuppelter Maschinen nur geringes Geräusch erwarten liess, hier wohl durchgeführt werden.

Das Haus ist überall mit laufendem Quellwasser von der Waldhalde her und mit Hydranten von der Druckleitung versehen.

Elektrizitätswerk an der Sihl.

Fig. 38. Zweiphasen-Generator von 400 P. S. und 360 Umdrehungen in der Minute von Brown, Boveri & Cie. in Baden (Aargau).



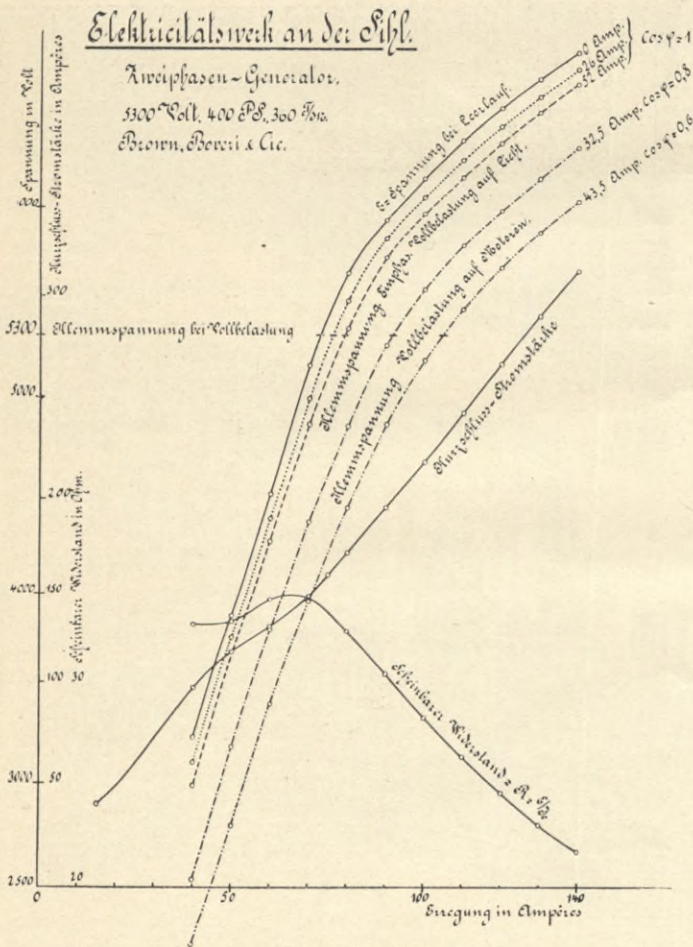
Masstab 1 : 40.

Für die Detail-Anordnung des Maschinenhauses musste die *Turbinenanlage* massgebend sein. Es ist daher wohl hier der Ort, näher auf die *Wasserverhältnisse* einzugehen:

Für das Oberwasser kann der höchste Stand mit 686 m (Weiherüberlauf), der tiefste mit 674 m ü. M. (tiefster Weiherstand) angenommen werden. Für das Unterwasser führten die Untersuchungen aus anderwärts beobachteten Pegelständen und Hochwassermengen, sowie die Angaben von Augenzeugen *ausserordentlicher* Hochwasser auf einen *aussergewöhnlichen* höchsten Stand von $617,5 \text{ m}$ ü. M. beim Turbinenhaus, während die *gewöhnlichen*, oft auftretenden Hochwasser etwa 615 m ü. M. erreichen. Im Winter aber sinkt der Unterwasserstand bis auf 612 m ü. M. hinunter. Da im letztern Fall der höchste Oberwasserstand auch noch

die Regel sein wird, so ergeben sich also Brutto-Drucke von 62 bis 74 m schwankend, besonders aber eine Schwankung des Unterwasserstandes bei den Turbinen um $5\frac{1}{2}$ m in ausserordentlichen, und noch 3 m in normalen Fällen. In Bezug auf die Wassermenge der Sihl kann das normale Winterminimum etwa zu 1800 l per Sekunde angenommen werden; ausserordentliche Minima wurden schon von etwa 1500 Sekundenlitern festgestellt; das Sommerwasser mag im allgemeinen etwa 4000 Sekundenliter betragen, ausserordentliche Hochwasser wurden schon bis zu 300 m³ per Sekunde konstatiert. Es konnte somit normal für den Winter, unter Berücksichtigung der Druckverluste in der Rohrleitung etc., mit etwa 1200 P.S., für den Sommer mit etwa 1600 bis 2000 P.S. gerechnet werden (wenn anders für diese Mehrproduktion im Sommer sich Absatz fand), so dass mit Rücksicht auf das auftretende Maschinengewicht die Einrichtung für fünf Einheiten zu 400 P.S. (wovon eine Reserve) beschlossen wurde.

Fig. 39.



Direkter Antrieb der Dynamos war bei der leicht zu erreichenden hohen Tourenzahl der Turbinen von vornherein gegeben. Die Turbinen sollten insbesondere bei geringem Wasserfluss denselben möglichst günstig, jedenfalls also das Gefälle bis auf die dazumalige Quote 612 m hinab, ausnützen, beim gewöhnlichen Unterwasserstand von etwa 614 m ü. M. aber auch noch günstig arbeiten. Es führte dies naturgemäss zur Anwendung von Saugröhren, wobei zwei offerierende Firmen horizontale, zwei andere, vertikale Wellen vorschlugen. Aus technischen Gründen sowohl, namentlich aber des beschränkten Platzes halber musste das letztere vorgezogen werden, und es gelangte der bezügliche Vorschlag der *Aktien-Gesellschaft der Maschinenfabriken von Escher Wyss & Cie.* zur Ausführung. Die Laufräder wurden darnach dicht über das normale Hochwasser angeordnet (würden also bei ausserordentlichem Hochwasser, wo der Wirkungsgrad wenig Bedeutung hat, waten). Die Turbinen sind geschlossene Aktionsturbinen (Grenzurbinen), auf zwei Vierteln des Umfangs beaufschlagt. Sie zeigen die Besonderheit einer künstlichen, regulierten Luftzuführung ins Laufrad, wodurch der Wasserstand im Saugrohr reguliert

und die freie Ausströmung, bestmögliche Ausnützung der kleinsten Wassermengen, gesichert werden soll. Die Regulierung der Luftzufuhr geschieht durch ein Ventil, dessen Stellung durch einen Schwimmer reguliert wird, der in einem mit dem Saugrohr kommunizierenden Rohr schwimmt. Die anstandslose Wirkung dieser bis jetzt wenig bekannten Einrichtung, insbesondere bei starken Belastungsänderungen, wurde durch Versuche an einer Turbine der Papierfabrik an der Sihl durch die Firma Escher Wyss & Cie. dargethan; die Vorrichtung hat sich auch im Betriebe gut bewährt. Fig. 37, vertikaler Schnitt der Turbine, mag die Einzelheiten weiter erläutern. Die Regulierung geschieht durch einen cylinderförmigen, um eine vertikale Achse sich drehenden Schieber, der die Zellen der zwei beaufschlagten Viertel successive öffnet. Der Regulierschieber wird durch ein Zahnrad- und Wellensystem bethätigt, das einerseits im Maschinensaal von Hand in Bewegung gesetzt werden kann, andererseits für gewöhnlich, nach Einrückung einer Kupplung, durch die Zahnstange des Kolbens des automatischen Regulators betrieben wird. Diese automatischen Regulatoren wirken auf die Regulierschieber mit hydraulischen Hilfsmotoren, deren Kraftwasser der Druckleitung entnommen ist und deren Steuerventil nach bekanntem System durch ein Centrifugalpendel aus seiner Mittellage verstellt und nach eingetretener Bewegung des Hilfsmotorkolbens durch ein mechanisches Relais behufs Vermeidung des Ueberreglierens wieder in dieselbe zurückgeführt wird. Das hierzu verwendete Druckwasser passiert ein Sieb und Kiesfilter, welche wegen des oft schlammigen und sandigen Wassers öfters gereinigt werden müssen. An die Regulatoren müssen in der Anlage sehr hohe Anforderungen gestellt werden, da zu den gemeinsamen Abstell- und Anlasszeiten der Fabriken Belastungsschwankungen beinahe vom Vollbetrieb zum Leerlauf und umgekehrt vorkommen. Die Turbinen arbeiten in der Regel stets, auch bei der Parallelschaltung der Dynamos alle mit den automatischen Regulatoren, welche bei etwelcher Nachhülfe in den schwierigsten Momenten die Tourenzahl im allgemeinen zur Zufriedenheit konstant erhalten. Einige auf kräftigere Druckwasserwirkung und sicheres Funktionieren der Ventile abzielende Verbesserungen sollen noch angebracht werden.

Die Turbinen sind mit hydraulischer Entlastung, die einen kleinen Wasserverlust bedingt und aus der Figur ersichtlich ist, versehen, da die rotierenden Teile der Turbinen je etwa 3800 kg, die der Dynamo etwa 5400 kg wiegen. Die Entlastung kann durch Drosselung des austretenden Druckwassers reguliert werden und ist etwa bis auf das Gewicht des Laufrades durchgeführt. Der Oberwasserzapfen bleibt so vollständig kalt und braucht sehr wenig Schmiermaterial.

Die Turbinen leisten bei 360 Touren p. M. (900 mm Durchmesser des Laufrades) normal 400 P.S., können aber, wie die Proben zeigten, bei dem meist vorhandenen höhern Drucke auch ganz bedeutend mehr liefern. Der Wirkungsgrad wurde zu $74\frac{1}{2}\%$ bei voller Belastung, zu $73,2\%$ bei halber Beaufschlagung garantiert. Der Abschluss jeder Turbine gegen die Rohrleitung hin geschieht durch eine Drosselklappe.

V. Die elektrischen Anlagen. Dynamos. Auch diese boten sowohl dem Mechaniker, wie dem Elektriker kein ganz gewöhnliches Problem. Einerseits ist die Tourenzahl im Verhältnis zu der Maschinengrösse eine ziemlich grosse; andererseits sollte wo möglich jede Maschine sowohl für Motorenstrom als für Lichtstrom verwendet werden können, um der Reserve wegen nur einerlei Maschinen zu erhalten; schliesslich sollten die Dynamos geeignet sein, bei den durch gewissermassen rohe Betriebe (z. B. Cementfabriken, Kompressorenantrieb, Ziegeleien etc.) bewirkten unangenehmen, plötzlichen Schwankungen im Bedarf dennoch eine so gute Spannungshaltung zu erzielen, wie sie der gleichzeitige Antrieb von in Bezug auf Unregelmässigkeiten sehr diffizilen Betrieben, wie Seidenwebereien und Wollspinnereien erforderte. Der erste Umstand führte notwendig zu relativ hoher Umfangsgeschwindigkeit und ausserordentlichen Mass-

nahmen gegen die Wirkungen der Centrifugalkraft. Bezüglich des zweiten Punkts war von vornherein angenommen, dass wenigstens zur Zeit des Hauptlichtbetriebs dieser durch besondere vom Motorenbetrieb gänzlich getrennte Maschinenaggregate durchgeführt werden sollte und zwar nicht wegen der Spannungsregulierung der Generatoren an sich, sondern der Turbinenregulierung wegen. Es erschien bei gemeinsamem Betrieb als eine unerfüllbare Anforderung an automatische Turbinenregulatoren, einen für

dem Magnetrad mit einzeln bewickelten Polen und feststehendem, aussen liegendem Anker von 2 m Bohrung. Hierbei ergeben sich etwas über 38 m Umfangsgeschwindigkeit, was zu einer äusserst kräftigen Befestigung der einzeln eingesetzten, mit dem Polschuh aus einem Stück gefertigten, runden Gusstahl-Pole, mittels grosser Muttern, führte. Mit Rücksicht auf die schwierige Unterbringung einer grössern Zahl runder Pole (die der geringern Streuung wegen rechteckigen vorgezogen wurden), ist die Polzahl zu 14 gewählt, was die

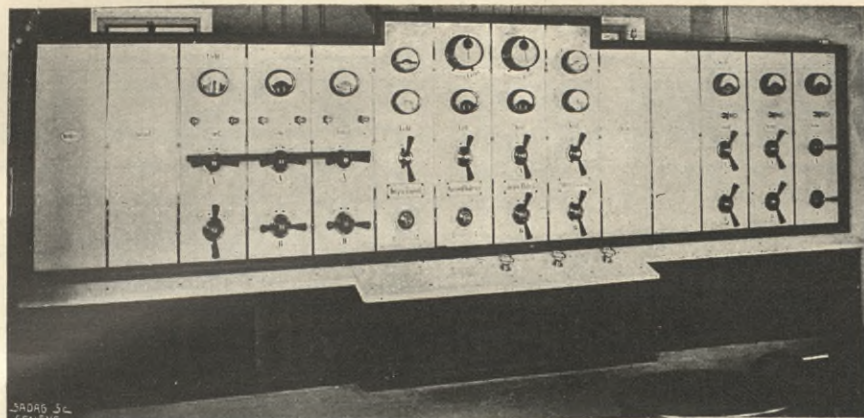


Fig. 40. Ansicht des Schaltbretts.

Lichtbetrieb tadellosen Gang zu erzielen z. B. für diejenigen Momente, in welchen abends während der Beleuchtungszeit gleichzeitig fast sämtliche Fabrikmotoren abgestellt und einzelne Turbinen plötzlich fast völlig entlastet werden, oder wieder für den spätern Abend, da neben geringem Lichtbedarf ein relativ grosser und unregelmässiger Kraftbedarf (durchnächtiger Pumpen- und Motorenbetrieb für Brauerei) von gleicher Turbine abzugeben gewesen wäre. Die Trennung der Betriebe für Licht und Motoren an den Maschinen führte natürlich auch zur Trennung der bezüglichen Primärleitungen, Transformatoren und Sekundärnetze, in welchem Falle für die Beleuchtung naturgemäss Einphasenstrom einzuführen, für den Motorenbetrieb aber Mehrphasenstrom anzuwenden indiziert war. Die Trennung der Leitungen konnte um so unbedenklicher erfolgen, als die notwendige Stärke derselben der Selbstinduktion wegen ohnedies die Anwendung einer grösseren Zahl dünnerer Drähte bedingte.

Einige Vorschläge bezüglich der Generatoren bezogen sich auf Anwendung von Mehrphasenmaschinen, welche durch Verstellung oder Auswechslung der Magneträder oder Ankerhälften zu Einphasenmaschinen umzugestaltet waren. Die seitherigen Ausführungen dieser Art haben gezeigt, dass eine derartige Umstellung stets eine sehr zeitraubende Arbeit ist, die weniger praktischen Wert für den Betrieb hat als dies theoretisch scheinen möchte. Diese Gründe führten dazu, die einfachste und gleichzeitig billigste vorgeschlagene Anordnung von Brown, Boveri & Cie., anzuwenden: Es wurden Zweiphasenmaschinen aufgestellt in einer Grösse, welche gestattet, aus einer Phasenbewicklung des Ankers (und zwar aus jeder beliebigen), die volle den 400 P. S. Turbinenleistung entsprechende elektrische Energie als *Einphasenstrom* zu entnehmen, unter Voraussetzung der Abwesenheit von Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung, welche erstere ja auch bei vollbelasteten Lichttransformatoren nur unmerklich ist. Dadurch wurde eine Zweiphasenmaschine gewonnen, aus welcher die 400 P. S. selbst bei eintretender sehr grosser Phasenverschiebung auf Motorenbetrieb bequem entnommen werden konnten, da sie ja bis zum Doppelten desjenigen Stromes zu liefern im Stande waren, der für $\cos \varphi = 1$ eintrat. Jeder Generator ist daher ohne weiteres für 400 P. S. in Einphasen- oder in Zweiphasenstrom verwendbar. Damit wurde es auch möglich, der Forderung geringen Spannungsabfalls auf Motorenbetrieb voll gerecht zu werden.

Die Generatoren (Schnitt Fig. 38) zeigen den bekannten, von Brown oft verwendeten Typus mit rotieren-

auch noch für Bogenlicht anwendbare Periodenzahl von 42 per Sekunde ergibt.

Eine Polbewicklung mit gewöhnlichem, isoliertem Runddraht würde bei der vorhandenen Umfangsgeschwindigkeit durch Uebereinanderschoben der Drähte unbedingt bald eine Zerstörung der Isolation durch Reibung und Druck erfahren haben. Die Herren Brown, Boveri & Cie. wählten daher eine Bewicklung mit über Hochkante spiralförmig gebogenen blanken Kupferstreifen, deren einzelne Windungen durch kräftige Zwischenlagen schellakierten Papiers isoliert sind. Der Druck der Centrifugalkraft wirkt daher nur auf die breite Fläche dieser Bänder und des Papiers, und wird aussen durch einen vorgelegten Stahlring aufgenommen, der seinen Rückhalt an den Vorsprüngen des rechteckigen Polschuhs findet.

Bemerkenswert ist die kegelförmige Gestaltung des die Pole tragenden Magnetkranzes, welche behufs Unterbringung des obren Halslagers in Höhe der Pole gewählt ist; auf diese Weise ist der unschöne Aufbau eines Lagers über dem Magnetkranz vermieden. Lagerung und Festigkeitskonstruktion der Pole und ihrer Bewicklung haben sich bis jetzt bewährt, und bei zufälligem „Durchbrennen“ der Turbine (Öffnung aller Zellen bei Leerlauf) sowohl als bei durch Unvorsichtigkeit entstandener Ausbrennung des Weissmetalls eines obren Lagers einige harte, unfreiwillige Proben bestanden.

Der Anker, dessen Bleche aus Stücken zusammengesetzt und in zwei Horizontalschichten behufs Ventilation unterbrochen sind, ist als Lochanker gebaut; die Löcher sind zunächst mit erheblich über den Anker vorstehenden, aus Mica und Papier mit Schellak geleimten Röhren isoliert, durch welche die Wicklung gesteckt ist. Diese erzeugt direkt Hochspannung von 5000 Volt. Um die Gefahr der Zerstörung durch Blitz für die Hochspannungswicklung zu vermindern, wurde das Ankergestell von der Erde isoliert durch Zwischenlage sehr starker Scheiben und Büchsen aus Stabilit zwischen Gestell und Bolzenbefestigung an dessen Tragfüssen, wogegen dann zum Schutz der Maschinisten im ganzen Lokale ein isolierender Holzboden angebracht und die benachbarten an Erde liegenden Maschinenteile (Drosselklappentrieb) durch Holzummantelung vor direkter Berührung geschützt sind.

Für die *Erreger* hätte ein Antrieb mit separaten Turbinen den Vorteil, von einer Steigerung der Tourenzahl der Generatorturbinen nicht beeinflusst zu werden, und damit eine gewisse Garantie gegen allzugrosse Steigerung

der Spannung in solchen Fällen geboten; wegen Platzmangels und hoher Kosten wurde jedoch hievon abgesehen und die Erreger mittels Riemen von der Generatorwelle angetrieben. Es sind Zweipolmaschinen des Manchester-Typs mit vertikaler Welle, an der äussern Wand des Maschinenraums aufgestellt. Aus der Ansicht des Maschinenraums (Fig. 36) sowie dem Querschnitt des Maschinenhauses (Fig. 33) ist diese Anordnung ersichtlich. Jeder Erreger wird separat durch Handwiderstand im Nebenschluss reguliert.

maximalen Betriebsstroms beträgt) wurden nach bekannter Methode die übrigen in den Kurven der Fig. 35 eingetragenen Resultate berechnet. Der Spannungsabfall bei gleichbleibender Tourenzahl und Erregung hat vom Leerlauf bis zur Vollbelastung die bemerkenswert kleinen Werte von

4,9% bei einphasiger Belastung auf Wasserwiderstände.
11,1% bei zweiphasiger Belastung mit $\cos \varphi = 0,8$.
15,3% " " " " " " = 0,6;
die Erregungssteigerung zur Erhaltung der Spannung bei

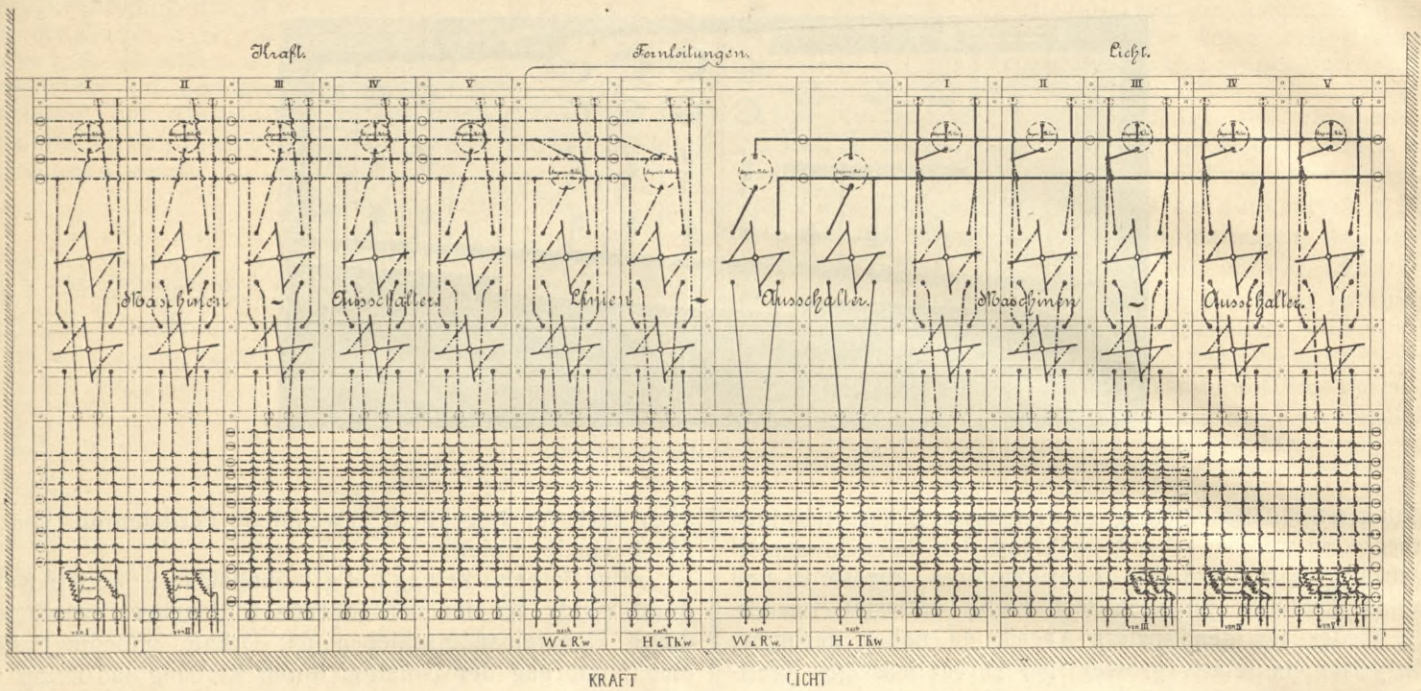


Fig. 41. Schaltungsdiagramm für die Hauptleitungen.

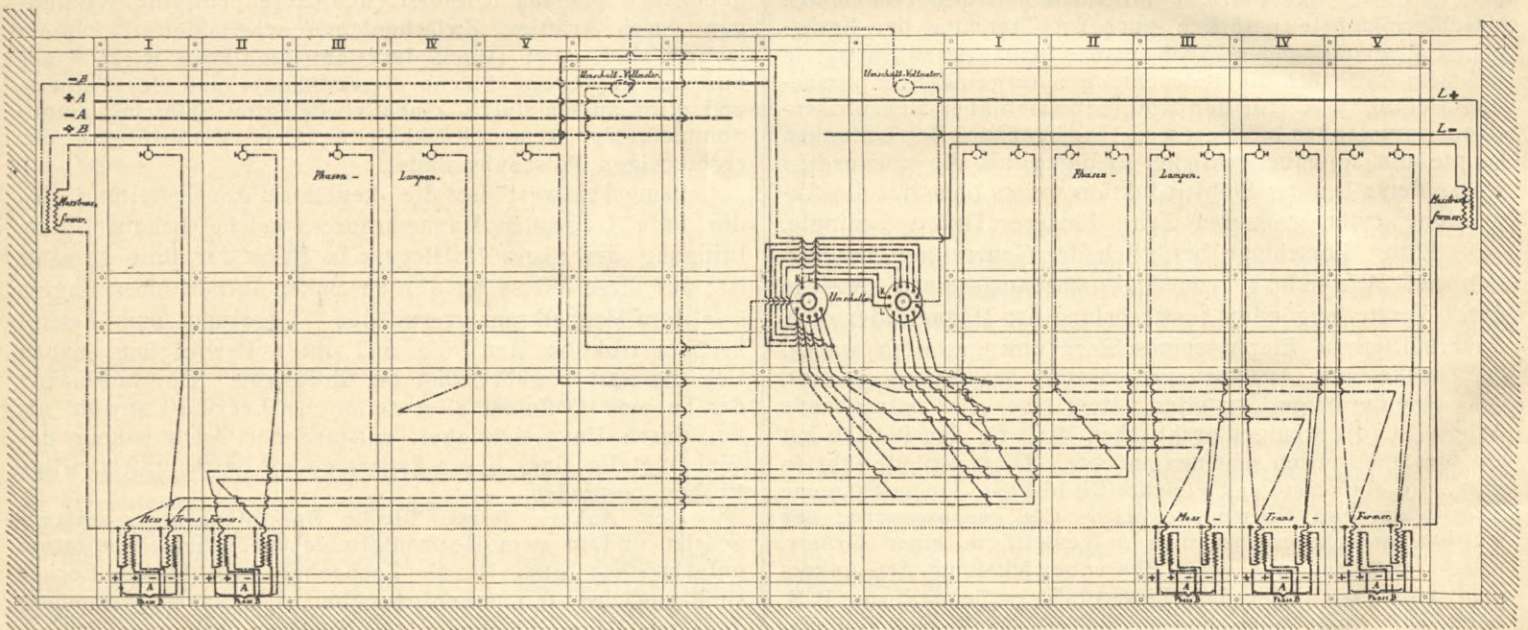


Fig. 42. Schaltungsdiagramm für die Messleitungen.

Der Wirkungsgrad der Generatoren ist zu $92\frac{1}{2}\%$ einschliesslich Erregung bei Vollbelastung garantiert; mangels Turbinenbremsung konnte derselbe nicht genau festgestellt werden; die gleichzeitigen Versuche mit Turbinen und Dynamos, sowie die übrigen vorgenommenen Messungen und Rechnungen lassen indessen erkennen, dass dieser Wirkungsgrad voraussichtlich erreicht sein dürfte. Die Hauptverluste liegen, des geforderten geringen Spannungsabfalls wegen, im Ankereisen.

Spannungsabfall und Erregungssteigerung wurden bei Wasserbelastung direkt ermittelt; aus Versuchen über die Kurzschlussstromstärke (welche das fünf- bis sechsfache des

gleichbleibender Tourenzahl beträgt unter vorigen Verhältnissen bzw. 8% , 25% und 44%).

Schaltanordnung und Schaltbrett. Aus schon oben angeführten Gründen wurden Licht- und Kraftleitungen völlig getrennt, erstere nach dem Einphasensystem, letztere nach dem Zweiphasensystem mit vier Drähten (unverkettet) ausgeführt. Die Phasenspannung beträgt 5000 Volt. Es sind indessen die Dynamos garantiert und geprüft für Verkettung der Phasen. Das Schaltbrett zeigt demnach (in der Ansicht Fig. 40) links die Schaltungen auf zwei Lichtsammelschienen, rechts solche für die vier Kraftsammelschienen. Jeder der Generatoren kann durch ein

Schalterpaar (für die beiden Phasen) auf die Kraftsammelschienen, oder in einer beliebigen Phase auf die Lichtsammelschienen geschaltet werden, bei kombiniertem Betrieb auch beides zugleich. Da auf der Lichtseite nur je eine Phase zu gleicher Zeit arbeiten kann, werden zur Vermeidung irrthümlicher Schaltung der andern Phase die sämtlichen Maschinenschalter derselben jeweilen durch eine Signalschiene verriegelt.

Vom Schaltbrett aus gehen zwei getrennte Hauptstränge der Leitungen, der eine Horgen, Thalweil etc., der andere Wädensweil und Richtersweil etc. bedienend, jeder aus vier Drähten für die Kraft und zweien für das Licht bestehend. Die zur Einzelausschaltung dieser Linien dienenden Schalter sind in der Mitte des Schaltbretts vereinigt. Zur Phasen- und Spannungsvergleichung ist je ein Messtransformer an die Lichtsammelschienen und eine Phase der Kraftsammelschienen angeschlossen, sowie je ein ebensolcher an jede Phase jeder Maschinenleitung. Diese letztern transformieren indessen, um kleiner gehalten werden zu können, nicht die volle Spannung, sondern nur die einiger Spulen des Ankers. Die sekundären Ableitungen dieser Umsetzer führen einerseits in gewöhnlicher Weise zu Phasenlampen, welche je direkt bei dem zugehörigen Maschinen-

jeden Leitungsdraht eine (zusammen 12), sind nach dem sogenannten Kondensatorprinzip gebaut und bestehen aus einer Säule von Messingscheiben, welche durch kleine Luftzwischenräume getrennt und durch Stabilitzäpfchen in Distanz gehalten werden. Jede Platte hat eine besonders geführte Erdleitung und Erdplatte ausserhalb des Gebäudes.

Bei der Konstruktion dieser Schalteinrichtungen wurde hier zuerst das Prinzip angewandt, alle Hochspannung führenden Apparate, auch die Schalter, Sicherungen etc., ausschliesslich auf Porzellanlocken zu montieren, welche ihrerseits an einem durchweg eisernen Gestell befestigt sind. Die Marmorplatten des Schaltbretts dienen nur zur Verkleidung und Aufnahme der Niederspannungsleitungen; die Erregerleitungen und deren Widerstände sind in einem für sich abgeschlossenen Vorbau auf der Vorderseite des Schaltbretts untergebracht. Die sämtlichen Leitungen der Hochspannung bilden so nicht nur, wie das Bild des Schaltraums zeigt, ein sehr übersichtliches, sondern auch ein sehr betriebssicheres, feuersicheres Ganzes, wie dies bei der hohen Spannung angezeigt erschien. Die Firma Brown, Boveri & Cie. hat seither diese ihre Bauart für Schaltbretter auch bei den Elektrizitätswerken Rathhausen, Ruppoldingen und andern zur Anwendung gebracht.

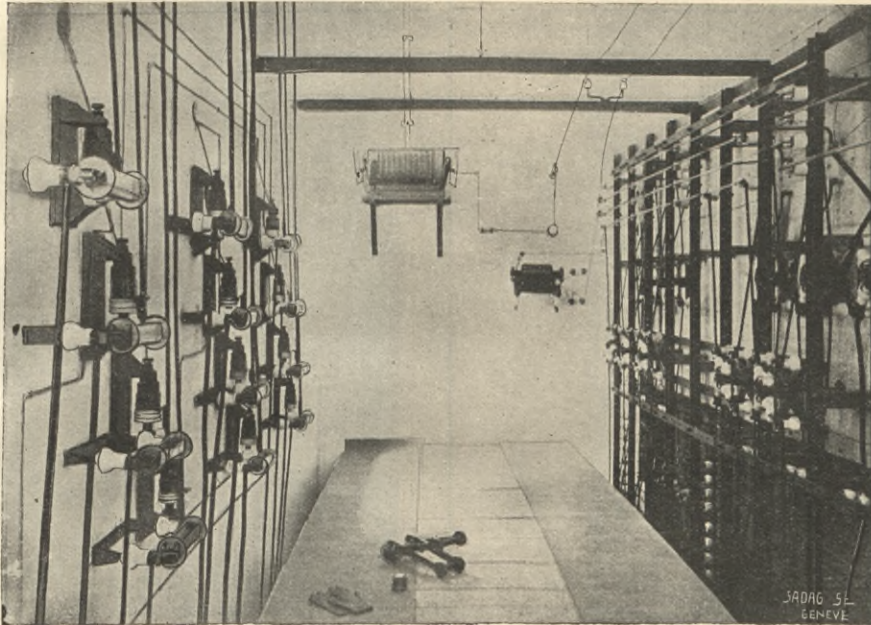


Fig. 43. Raum hinter dem Schaltbrett.

Schalter plaziert sind, anderseits zu zwei Voltmeter-Umschaltern, welche zwei Hitzdraht-Voltmeter bedienen, so dass an jedem derselben die Spannung jeder Phase jeden Generators oder jeder Sammelschiene abgelesen werden kann. Die Sammelschienenspannung für Licht und für Kraft kann auch noch je an einem direkt angeschlossenen, statischen Hochspannungsvoltmeter abgelesen werden. Jeder Generatorkreis und jeder Linienkreis führt ein Ampèremeter.

Die Figuren 41 und 42 geben im Uebrigen über das Schaltungsschema, die erste für die Hauptleitungen, die zweite für die Messleitungen Aufschluss.

Um die Bedienung der Hochspannungssicherungen und Blitzplatten gefahrlos vornehmen zu können und die Beschädigung des Schaltbretts durch diese Apparate zu vermeiden, ist hinter dem Schaltbrett ein grosser, 3 m tiefer Raum geschaffen, an dessen Rückwand erst die genannten Apparate montiert sind, so dass sich der Maschinist zwischen diesen Apparaten und dem Schaltbrett auf einem isolierenden, ausserdem mit Gummi bekleideten Holzboden frei bewegen kann, ohne Gefahr die Apparate unwillkürlich zu berühren. Dieser Schaltraum ist in Fig. 43 dargestellt. Die Hochspannungssicherungen System Brown bestehen aus Zinn-Draht bzw. -Streifen, welche in oben offenen Glasströgen montiert sind, und können mittels Isolierzange angefasst und eingeschaltet werden. Die Blitzplatten, für

Die Spannungsregulierung geschieht, bei automatischer Regulierung der Tourenzahl, durchaus von Hand, was bei dem geringen Spannungsabfall der Maschinen gut durchführbar ist. Während der Hauptbeleuchtungszeit arbeiten Lichtkreis und Kraftkreis getrennt und werden je für sich auf eine mittlere Spannung an Hand einer Tabelle reguliert, welche den Zusammenhang zwischen Stromstärke und nötiger Sammelschienenspannung angiebt; zur Zeit geringen Lichtbedarfs wird der Strom für diesen einer Phase der Kraftmaschinen entnommen.

Das Primärleitungsnetz ist in seiner Ausdehnung in Fig. 1 dargestellt. Wie schon oben bemerkt, besteht es aus zwei von der Maschinenstation an völlig getrennten Zweigen, wovon der eine Wädensweil und Richtersweil mit Hütten, Samstagern, Schönenberg und Au, der andere Horgen und Thalweil mit Menzingen, Bocken, Käpfnach und Oberrieden bedient, jeder mit vier Leitern für die zwei getrennten Kraftstrom-Phasen und zwei solchen für den Lichtstrom. Die kleinen Abzweigungen sind nur einphasig von der Lichtleitung abgezweigt. Obwohl die grösste Entfernung (nach Thalweil) 18 km beträgt, erwies es sich doch als vorteilhaft, die Leitungen für relativ geringen Verlust zu bauen, indem der Mehraufwand an Kupfer bei den relativ hohen Erzeugungskosten und dem guten Absatz des Stromes reichlich durch die am Verwendungsort gewonnene

gusseiserne Schutzkappe eingegossenen Blitzspitze (siehe Fig. 44) versehen und diese mittels Bimetalldraht (Kupfer mit Stahlseele) zur Erde abgeleitet, indem dieser Draht im Boden mehrfach um und unter die Stange gelegt ist. An exponierten Punkten sind ausserdem höhere, gewöhnliche Blitzableiter auf den Stangen angebracht, mit grossen Erdplatten.

Die Transformatorenstationen. Für die Verteilung, Zahl und Grösse dieser Stationen wurde so viel als möglich das Prinzip zu wahren gesucht, deren Zahl sehr gering zu machen, die Hochspannungsleitungen wenig in die Ortschaften hinein vordringen zu lassen und dagegen eher mit grösseren Kupferquerschnitten in den Sekundärnetzen zu rechnen. Im Betrieb erweist sich diese Reduktion der Zahl der Punkte, welche bei allfälligen Störungen, namentlich bei Gewittern, zu revidieren sind, als sehr wertvoll. Andererseits mussten bei den grossen, kraftabnehmenden Fabriken Transformatorenstationen jedenfalls erstellt werden, und es war die

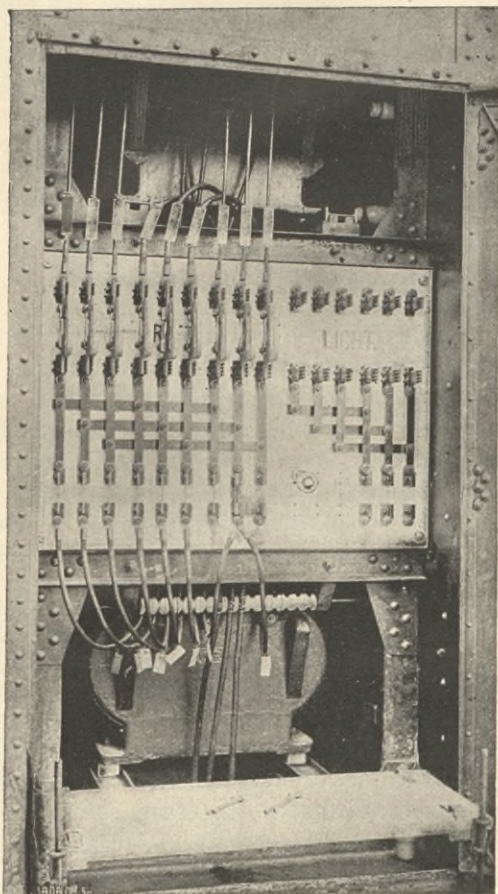


Fig. 47. Sekundäre Schalttafel einer Transformatoren-Station.

Durchführung genannten Prinzips bei den sehr zerstreuten, besonders (z. T. bis auf 4 km einzeln) in die Länge gestreckten Dörfern nicht ganz leicht. Es erforderte das Anwachsen des Lichtbedarfs die Zufügung auch kleinerer Zwischenstationen, während Nebenorte mit ganz kleinen Stationen zu bedenken waren. Das Netz zählt so jetzt

- | | |
|----|--|
| 6 | Transformierhäuser für je 150 Kilowatt eingerichtet, |
| 5 | " " " 100 " " |
| 4 | " " " 50 " " |
| 10 | kleinere Stationen von 2 bis 15 Kilowatt, |

einschliesslich Reserve im ganzen Transformatoren für 900 Kilowatt. Während im allgemeinen besondere Häuschen für die Transformatoren erstellt wurden, mussten von den letztgenannten kleineren Transformatoren einzelne in Gebäude verlegt werden.

Die Konstruktion separater Transformatörhäuschen müsste als Ideal betrachten eine Anordnung, in welcher sämtliche Transformatoren nebeneinander und in zur Auswechslung bequemer Höhe sich befinden, während für die gefahrlose Bedienung der Apparate im Häuschen selbst Platz geschaffen

würde. Die starke Ueberbauung des Bodens namentlich in und bei den Fabriken und die stete Sorge um die Möglichkeit der Ausdehnung derselben in unserer Periode industriellen Aufschwungs liess im vorliegenden Fall eine derartige Konstruktion für Stationen von 100 bis 200 Kilowatt leider nicht aufkommen, sondern es musste auf möglichst geringe Grundfläche und etagenförmige Anordnung der Transformatoren abgestellt werden. Gleichzeitig waren diese Stationen mit hohen Türmen zur Einführung der Primärleitungen zu versehen, welche den oft bedeutenden, einseitigen Zug dieser Leitungen auszuhalten hatten.

Diese Rücksichten führten auf turmartige Häuschen in Eisenkonstruktion, von denen Fig. 46 eine Ansicht bringt. (Es stellt dies Bild speciell eine Station von 150 Kilowatt dar, deren Ausführungsturm gleichzeitig als Stützpunkt für eine Bahnüberführung der Leitung dient.) Der untere Teil des Turmes enthält vier bis sechs Stockwerke für je einen Normaltransformator zu 25 Kilowatt. Unter dem vorsprin-

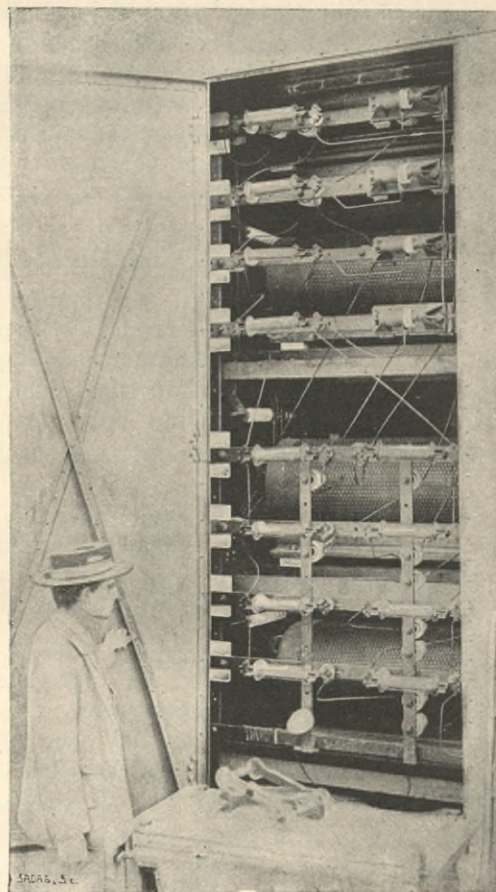


Fig. 48. Primäre Schalttafel einer Transformatoren-Station.

genden Dache dieses Teils werden die Sekundärleitungen frei ausgeführt, während im oberen, engeren Teile die Primärleitungen aufsteigen und unter dem oberen Dache ebenfalls frei austreten. Sowohl sämtliche Hochspannungsleitungen als Hochspannungsapparate sind auch im Innern der Häuschen durchaus nur auf Porzellanlocken montiert.

Drei Seiten des Turmes besitzen nach aussen sich öffnende Türen. An der einen Schmalseite sind die Sekundär-schaltungen auf Marmor angebracht (siehe Fig. 47); dieser Teil des Häuschens ist durch Blechwände von den andern völlig getrennt, so dass von hier aus keine Hochspannungsteile erreichbar sind. Unter den Türen der beiden Langseiten befinden sich die Hochspannungsapparate, einerseits für den Lichtstrom, andererseits für die zwei Kraftphasen; Fig. 48 stellt eine solche Apparate-seite dar mit dem herausgenommenen, in jeder Station befindlichen Isolierschemel, auf welchen zur Bedienung der oberen Apparate noch eine Klapptreppe gestellt werden kann. In der Abbildung ist auch die zur Herausnahme der Schaltsicherungen gebrauchte Isolierzange zu sehen. Die zweite Schmalseite (Rückseite)

des Hauses ist mit wegnehmbarer Blechwand versehen und dient so zur Ein- und Ausbringung der einzelnen Transformer mittels eines etagenförmigen, neben das Haus zu stellenden Bocks.

Jede eintretende Leitung jeder Phase passiert zunächst die Hauptsicherung und ist sodann an den Blitzschutzapparat angeschlossen; sie verzweigt sich vermittels Einzel-Schalt-sicherungen nach den einzelnen Transformatoren.

Während bei den kleinen Stationen auch Transformatoren von $7\frac{1}{2}$ und 15 Kilowatt Verwendung finden, ist in diesen grossen Stationen fast ausschliesslich der Einheits-typus von 25 Kilowatt verwendet, und zwar für Kraft und für Licht derselbe, sodass gegenseitige Auswechslung möglich ist. Dieser Transformator hat einen garantierten Wirkungsgrad von 96% und einen Spannungsabfall von 2% bei Benützung auf unverschobenen Lichtstrom, von 4% bei Verwendung auf Motoren mit $\cos \varphi = 0,8$. Jede der zwei Spulen enthält in innerster Lage $\frac{1}{4}$ der Sekundär-wicklung, in mittlerer Lage $\frac{1}{2}$ der Primärwicklung, und in äusserster Lage wieder $\frac{1}{4}$ der Sekundärwicklung. Der Primärdraht ist mit dreifacher Papierbandumwicklung, der Sekundärdraht (flaches Kabel) mit Baumwollumklöppe-lung isoliert; die primären und sekundären Spulen sind durch starke, an den Enden über die Wicklung vorstehende Röhren aus aufgewickeltem Papier voneinander und vom Kern isoliert. Das ganze Gestell ist mit perforiertem Schutzblech umgeben.

Diese Transformatoren werden nach Bedarf in der erforderlichen Zahl primär und sekundär parallel geschaltet.

Das Sekundärschaltbrett trägt, wie in Fig. 45 dar- gestellt, für Lichtstrom wie Kraftstrom allpolige Schalt-sicherungen für die einzelnen Transformer und die einzelnen abgehenden Leitungen, und zwar für das Licht für ein-phasiges Dreileitersystem mit 2.120 Volt, für die Kraft für verkettetes Zweiphasensystem mit 240 Volt Phasen- spannung.

Die Sekundärnetze sind ebenfalls ausschliesslich als Luftleitungen, nach den eben genannten Systemen, aus- geführt. Die Wirtschaftlichkeit der Verteilung der Energie auf derart zerstreute Dörfer liess unterirdische Leitungen nicht zu.

Für den einphasigen Lichtstrom überziehen die Leitungen jeweils das ganze Dorf und sind überall, wo dazu Gelegenheit war, in sich geschlossen, alle grossen Transformatorenstationen somit parallel geschaltet; nur vereinzelt liegende, kleinere Stationen arbeiten für sich. Um eine Transformerstation frei von Hochspannung zu machen, ist sie daher nicht bloss primär, sondern deren Transformer sind auch sekundär abzuschalten. Diese Parallelschaltung hat bis jetzt keinerlei nennenswerte Nach- teile gezeigt, dagegen wurde es schon oft als Vorteil emp- funden, dass in der Nähe einer, behufs Arbeiten primär völlig abgeschalteten Station doch (wenn auch vielleicht in beschränktem Masse) ohne Unterbrechung Licht abgegeben werden konnte.

Die Kraftstromleitungen, welche in der Regel nur nach einigen wenigen Punkten hin zu ziehen sind, umfassen von jeder Transformerstation aus nur ein gewisses, von dem der andern Stationen getrenntes Gebiet.

Diejenigen Motoren, deren Besitzer die Bedingung ein- gegangen sind, den Strom nur während der Zeit der Tages- helle zu vorgeschriebenen Stunden zu benützen, sind als Ein- phasenmotoren an die Lichtleitung angeschlossen. Es sind dies im allgemeinen nur Motoren bis zu 10 P. S., in einem Ausnahmefall ein solcher von 50 P. S.

Der Blitzschutz der Sekundärleitungen beschränkt sich auf Blitzplatten in den Transformatorenstationen, sowie an wenigen speciellen Punkten der Netze, z. B. vor Ein- führungen in einige kurze Kabelstrecken für Privatzuleitungen oder auf dem Bahngelände.

Die meisten bedienten industriellen Ortschaften sind von einem dichten Telephonleitungsnetz übersponnen, das meist höher liegt als die Sekundärleitungen des Werkes. Die interurbanen Telephonlinien sind gegenüber den

Leitungen des Werkes durch Fangnetze, die Abonnementlinien nur durch Schmelzsicherungen vor den Telephonapparaten, welche auf Kosten des Werkes angebracht wurden, ge- schützt.

Die in den eingangs erwähnten Ortschaften befind- lichen Sekundärleitungsnetze haben eine Streckenentwicklung von total etwa 50 km bei etwa 175 km Drahtlänge, rund 40 Tonnen Kupfergewicht und etwa 1300 Stangen. Sie bedienen ein Gebiet von ungefähr 30 km².

Der grösste Teil der Primärleitungen und ein Teil der Sekundärnetze wurde unter Materiallieferung und Projektierung durch das Werk selbst durch den Leitungs- bauer E. König in Fluntern-Zürich im Akkord montiert; die spätern Erweiterungen in Regie.

Die Elektromotoren sind ausnahmslos asynchrone, zu- meist aus der Fabrik von *Brown Boveri & Cie.* Zwei der- selben (zu 65 P. S.) sind direkt an die Hochspannung ange- schlossen, die übrigen arbeiten mit Sekundärspannung. Es befinden sich darunter 3 zu 65 P. S., einphasiger zu 50 P. S., 1 zu 45 P. S., 6 zu 30 P. S. u. s. w. Alle Motoren über 6 P. S. sind mit Schleifringen und Anlaufwiderstand vor dem Rotor versehen, damit der Betrieb vor allzustarken Stromentnahmen und Phasenverschiebungen geschützt bleibe.

Die Anlagekosten des Werks erreichen für den *hydrau- lischen* Teil, nämlich Erwerb der Wasserkraft und des Grund- eigentums, Strassen, Wehr, Stollen, Weiher, Damm, Rohr- leitung, Turbinenhaus und Turbinen nebst allem Zubehör einschliesslich (fünfte) Reserveturbine, nebst Bauleitung, Zinsen und Unkostenanteil rund 1440000 Fr., oder also, mit der sicher zu verwertenden Turbinenkraft von 1200 P.S. gerechnet, den Betrag von etwa 1200 Fr. per Pferdekraft ab Turbine. (Würde man auch die Sommerkraft, also mit vier Turbinen und 1600 P. S. rechnen, so käme man aller- dings auf 900 Fr. per P. S., allein der Absatz dieser nur im Sommer und auch dann unsicher vorhandenen Kraft ist fraglich). Die relativ hohen Kosten erklären sich durch die ziemlich komplizierten und ausgedehnten Wasserbauten, namentlich die über $\frac{1}{2}$ Million Franken betragenden Kosten des Tunnels.

Der *elektrische und allgemeine* Teil ergibt eine Kosten- summe von rund 640000 Fr., worin inbegriffen sind: fünf Generatoren und Schaltbrettanlage, Primärleitungen (diese mit ungefähr 230000 Fr.), die Transformatorenstationen und die Sekundärleitungen mit Inbegriff der seither vom Werk verkauften Netze in Horgen, Hütten und Menzingen, aber auch die auf Kosten des Werks erstellten Anlagen für öffent- liche Beleuchtung mit etwa 500 Laternen, sowie alle Betriebs- werkzeuge, Mobiliar, Zinsenanteil und Unkosten. Da bei dem vorhandenen Bedarfsverhältnis zwischen Licht und Kraft aus den 1200 P. S. ab Turbinen insgesamt gleichzeitig bei den Abonnenten etwa 450 effektive Pferdestärken auf den Motorwellen und ungefähr 380 P. S. elektr. an den Lampen abgegeben werden können, so stellen sich somit die, wie vorhin erwähnt, berechneten Gesamtkosten *pro P. S. beim Abonnenten* (gleichzeitig abgebar) auf etwa 2500 Fr.

Auch die Kosten des elektrischen Teils sind relativ nicht gering; ihre Höhe ist veranlasst durch die mannig- fachen Verteuerungen, welche solche Anlagen erfahren, wenn sie in einem so intensiv kultivierten und überbauten Terrain erstellt werden müssen, das gleichzeitig keine kompakten Centren, sondern über das ganze Gebiet zerstreute Ort- schaften aufweist, wie die untern Zürichseeufer.

Anschluss und Betrieb. Die eben genannte Hauptursache der hohen Anlagekosten der elektrischen Verteilung lieferte andererseits die Möglichkeit, eine so kostspielige Anlage wirt- schaftlich auszubeuten: Lebhaftere Industrie und ein relativ hoher Wohlstand brachten diese Verhältnisse hervor und sicherten den Absatz. Am Werke waren direkt und durch die Gross- abonnenten für die Gemeinden Horgen und Menzingen Ende März 1897, d. h. nach etwa $\frac{5}{4}$ Jahren Betrieb, angeschlossen:

1. Ungefähr 6700 Lampen mit ungefähr 104000 Kerzen;
2. 30 Motoren für Fabriks- und Permanentkraft von zusammen 710 P. S. effektiver Leistungsfähigkeit;

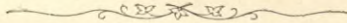
3. 28 Motoren für sogenannte Tageskraft von zusammen 152 P. S. effektiver Leistungsfähigkeit.

Der letzteren Motoren, welche nur während der Zeit der Tageshelle benützt werden dürfen und für welche daher der Strom sehr billig abgegeben wird, bedient sich meistens das Kleinhandwerk; sie werden von den Lichtleitungen gespeist. Die Totalstärke der Motoren für Fabriks- und Permanentkraft giebt indessen keinen Masstab für die bisherige Beanspruchung der Turbinen, indem die meisten Abonnenten erheblich grössere Motoren einstellten, als ihr Betrieb erforderte: Von den 710 P. S. Motorenstärke sind, entsprechend den einzelnen, auftretenden Maxima der Beanspruchung, etwa 493 P. S. abonniert, während die vorgekommene Maximalbeanspruchung ab Turbinen etwa 660 P. S. betrug, was ungefähr 420 P. S. Leistung an den Motorenwellen entsprach. Durch die zeitliche Verschiebung der Maximalbeanspruchung durch die einzelnen Abonnenten trat somit eine Ersparnis von 493 auf 420 P. S. oder auf etwa 87% ein, während die 710 P. S. Motorenstärke nur zu ungefähr 59% ausgenützt ist. Die Kraftabonnenten auf Fabrikskraft zahlen nicht nach Motorenstärke, sondern nur nach effektiv verbrauchter, maximaler Momentan-Beanspruchung.

Unter den Lampen befinden sich nur ungefähr 1000 Fabriklampen; dennoch ergibt sich aus der maximalen Beanspruchung der Kraftstation auf Lichtstrom (bisher 470 P. S.

maximal ab Turbinen), dass etwa 78% der installierten Lampen gleichzeitig brennen. Diese hohe Zahl rührt einerseits davon her, dass bei den halbländlichen Verhältnissen viele Abonnenten nur solche Lampen installieren lassen, welche sie wirklich regelmässig gebrauchen, andererseits davon, dass durchwegs (nach Einschätzung der Brennstunden) zu Pauschalpreisen und ohne Zählung verkauft und die dadurch gebotene Freiheit da und dort ausgiebig benutzt wird. Das Beispiel zeigt neuerdings, dass bei Bestimmung der Belastungszahl von Elektrizitätswerken, welche oft unter den verschiedensten Verhältnissen und Tarifen arbeiten, nicht blindlings Zahlen von grosstädtischen Centralen ohne weiteres überall angewandt werden können, wie dies so vielfach geschieht.

Die angegebenen Anschluss-Zahlen sind zu einem grossen Teil durch Vermehrung im letzten Halbjahre und Jahre entstanden; es ist weitere Vermehrung sicher vorauszusehen, sodass das Werk bald an der Grenze der Leistung seiner Wasserkraft angelangt sein wird. Eine Ergänzung wird in irgendwelcher anderer motorischer Kraft zu suchen sein, wobei jedoch die Aufstellung kalorischer Motoren bei der jetzigen Maschinenstation wegen des sehr teuren Brennmaterial-Transports ausgeschlossen und auf Schaffung einer ergänzenden Betriebskraft für die Winterszeit an anderer Stelle Bedacht zu nehmen sein wird.



S. 61

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

33506

Kdn., Czapskich 4 — 678. 1. XII. 52. 10.000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000305848