

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 2 (1911)
Heft: 4

Artikel: Das Albulawerk der Stadt Zürich
Autor: Wagner, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059640>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 10.01.2026

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Erscheint monatlich mit den Jahres-Beilagen „Statistik der Starkstromanlagen der Schweiz“ sowie „Jahresheft“ und wird unter Mitwirkung einer vom Vorstand des S. E. V. ernannten Redaktionskommission herausgegeben.

Alle den Inhalt des „Bulletin“ betreffenden Zuschriften sind zu richten an die

Redaktion: Ing.-Consulent Dr. W. Kummer,
Mythenstrasse 15, Zürich II (Telephon 5806)

Alle Zuschriften betreffend Abonnement, Expedition und
Inserate sind zu richten an den

Verlag: Fachschriften-Verlag A.-G., Zürich
Bahnhofstrasse 61, Zürich I (Telephon 6741)

Est publié sous la direction d'une Commission de Réaction nommée par le Comité de l'A. S. E.

Ce bulletin paraît mensuellement et comporte comme annexes annuelles la „Statistique des installations électriques à fort courant de la Suisse“, ainsi que l„Annuaire“.

Toutes les communications concernant la matière du „Bulletin“ sont à adresser à la

Rédaction: Ing.-Conseil Dr. W. Kummer
Mythenstrasse 15, Zurich II (Téléphone 5806)

Toutes les correspondances concernant les abonnements, l'expédition et les insertions sont à adresser à

l'éditeur: Fachschriften-Verlag A.-G., Zurich
Bahnhofstrasse 61, Zurich I (Téléphone 6741)

II. Jahrgang
II^e Année

Bulletin No. 4

April
Avril 1911

Das Albulawerk der Stadt Zürich.

Von H. Wagner, Ingenieur, Direktor des Elektrizitätswerks der Stadt Zürich.¹⁾

Wenn Sie etwa hieher gekommen sind, um von mir einen perfekten Vortrag über das Albulawerk entgegenzunehmen, in einer solchen Formvollendung, wie er dann, ohne gespachtelt und lackiert zu werden, im „Bulletin“ veröffentlicht werden könnte, so werden Sie enttäuscht von dannen ziehen; solche Vorträge passen nicht zu meiner Konstitution. Heute möchte ich lieber 1 bis $1\frac{1}{2}$ Stunden plaudern über die Betriebs erfahrungen, die wir während des Baues und bei der Inbetriebsetzung des Albulawerkes gemacht haben. Dabei werde ich wahrscheinlich hie und da Dinge erwähnen, bei welchen mancher unter Ihnen vielleicht auf die Brust schlagen wird und sagen: „Was wartet er uns hier mit alten Wahrheiten auf?“ Wenn er aber dann vielleicht zu Hause in seinem stillen Kämmerlein über diese Sachen nachdenkt, so wird er sich möglicherweise sagen müssen: „So ganz richtig habe ich diese Wahrheiten doch noch nicht gekannt.“ Ich hoffe, dass Sie schliesslich von dieser Plauderei noch mehr Gewinn nach Hause tragen werden, als von einem formvollendeten Vortrag!

Ich brauche mich wohl in Ihrem Kreise nicht besonders über die geographischen Verhältnisse des Flussgebietes der Albula auslassen zu müssen. Dieselben sind Ihnen ja allgemein bekannt. Ich werde überhaupt im folgenden nur soweit die Beschreibung der Anlage wiederholen, als dies zum Verständnis der Erfahrungen, die ich Ihnen mitteilen will, notwendig erscheint.

Es darf wohl gesagt werden, dass das *Albulawerk in hydraulischer Beziehung* äusserst günstige Verhältnisse aufweist. Das Einzugsgebiet ist ein sehr grosses. Es erstreckt sich über zirka 900 km². Die vorhandenen Wasserverhältnisse sind für den Betrieb eines Werkes im Charakter des unsrigen ebenfalls als günstig zu nennen, weil die Niederr wasser-Periode erst Ende Januar oder anfangs Februar eintritt, d. h. zu einer Zeit, wo speziell bei unsern städtischen Verhältnissen, die Hauptbelastungszeit der Wintersaison bereits vorüber ist. Im fernern sind bei diesem Werk die Konzessionsbedingungen sehr günstig. Sie kennen ja alle im grossen und ganzen die bezüglichen Wasserrechtsverhältnisse

¹⁾ Vortrag, gehalten am 26. März 1911 in Zürich an der Diskussions-Versammlung des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins.

des Kantons Graubünden. Zur Zeit, als die Konzession für das Albulawerk erworben wurde, waren noch die Gemeinden allein zuständig; sie sind es allerdings heute auch noch, hingegen bedarf es jetzt einer Genehmigung der Konzessionen durch den kleinen Rat. Vor dem Wasserrechtsgesetz vom Jahre 1908 waren die Gemeinden in dieser Beziehung vollständig souverän.

Die Konzession der sieben in Betracht kommenden Gemeinden wurde der Stadt Zürich erteilt auf die Dauer von 100 Jahren, in der Meinung, dass, wenn nach 100 Jahren das Werk, einschliesslich der Maschinenanlage und einschliesslich der Leitungen bis an die Kantongrenze, nicht zum dannzumaligen Schatzungswert von den Konzessionsgemeinden zurückgekauft wird, die Konzession auf weitere 50 Jahre auszudehnen sei. Was dann nach 150 Jahren geschehen wird, darüber wollen wir uns heute noch nicht aufzuhalten. Die Gebühren sind ebenfalls sehr mässig. Die einmalige Konzessionsbebauhr betrug rund 300 000 Franken; die jährlichen Konzessionsgebühren stellen sich auf rund 12 000 Franken, einschliesslich einer Gratiskraftlieferung von 250 PS. Sie sehen also, dass die Abgaben mit Rücksicht auf die durch das Werk gewonnene Leistung von rund 24 000 PS und mit Rücksicht auf die vorgesehene Konzessionsdauer äusserst minime sind.

Diese vorzüglichen Konzessionsverhältnisse in Verbindung mit der billigen hydraulischen Anlage rechtfertigten es, die so gewonnene Kraft in Sils auf die für damalige Begriffe relativ grosse Distanz von 140 km nach Zürich zu übertragen. Ich sage, es rechtfertigte sich das, trotz der hohen Kosten, die eben eine solche Uebertragungsleitung, als doppelte Leitung gebaut, im Gefolge hat. Trotz dieser langen Leitung und trotz der vielbesungenen Kreditüberschreitung dürfte das gesamte Werk nicht höher als auf etwa 13 Millionen Franken kommen. Das ergibt bei einer Leistung von 24 000 PS pro Pferdekraft einen Betrag von etwa 500 Franken an der Stadtgrenze in Zürich, sodass man also diese Anlage wohl zu den billigen Werken zählen darf. Die Anlage ist, wie bereits erwähnt, für 24 000 PS gebaut, d. h. die Rechnung basiert auf einem minimalen Wasserquantum der Albula von 6 m³ pro Sekunde, wobei angenommen ist, dass im Flussbett selbst so viel gestaut werden kann, als der Tagesakkumulierung entspricht. Es bezieht sich diese Ausnützung von 24 000 PS auf 10 bis 11 Stunden pro Tag.

Sie kennen alle Tiefenkastel. Etwa 2 km unterhalb Tiefenkastel ist das Wehr in den Fluss eingebaut. Der Stollen, welcher sich auf der linken Flusseite befindet, hat eine Länge von etwa 7½ km. Er endigt oberhalb der ehemaligen Spinnereianlage von Gebr. Planta, oder in der Nähe der Kapelle von Campi, in einem Wasserschloss. Von hier beginnt dann die Leitung nach dem Maschinenhaus. Das Gefälle, das hier netto ausgenutzt wird, beträgt rund 140 Meter.

Das Wehr besteht aus zwei Oeffnungen von 8 m und einer Oeffnung von 15 m. Die Oeffnung von 15 m bildet zugleich den Ueberfall. Ich bemerke, dass trotz der Belastung von 12 000 KW, die wir diesen Winter hatten, der Wasserzufluss immer noch so reichlich war, dass keine Notwendigkeit vorlag, die grosse Schleuse zu schliessen; es war immer noch ein Ueberlauf vorhanden, d. h. der Wasserzufluss sank diesen Winter nie unter 8 m³ pro Sekunde. Es kann zwar der heurige Winter mit Rücksicht auf die Wasserverhältnisse zu den günstigen gezählt werden. Immerhin kann man annehmen, dass die Basis, auf der die ganze Sache bezüglich des Wasserquantums aufgebaut ist, eine zutreffende sein wird.

Man hatte seinerzeit, gestützt auf ein geologisches Gutachten, angenommen, dass man bei der Fundierung des Wehres mit der Fangdamm-Fundation zum Ziele gelangen werde. Die Unternehmerfirma Froté, Westermann & Cie. hatte anfangs 1907 mit den bezüglichen Arbeiten begonnen. Je mehr man nun aber wirklich das Terrain abgrub, umso deutlicher musste man erfahren, dass die geologischen Vermutungen, wonach der Fels nur etwa 2 bis 3 m unter der losen Kiesschicht sich befindet, sich nicht bewahrheiteten, denn man war genötigt, auf 5 bis 6 m herunterzugehen, bis man auf Felsen kam. Es war schlechterdings nicht mehr möglich, die Fundation ohne Caissons auszuführen. Ich erwähne ausdrücklich, dass zwar im Lieferungsvertrag beide Arten von Fundation vorgesehen waren. Ich sage das darum, weil über diesen Punkt Anderes verbreitet worden ist. Es stand also dem Unternehmer vollständig frei, die eine oder andere Fundation zu wählen. Mit

Verlust von etwa einem halben Jahr konnte im Herbst 1907 mit der pneumatischen Fundation der Pfeiler begonnen werden. Diese Verspätung bildete einen Grund der Verzögerung der Inbetriebsetzung des Werkes, die seinerzeit allerdings etwas knapp auf das Frühjahr 1909 angesetzt worden war. Nachdem man sich einmal entschlossen hatte, die pneumatische Fundation durchzuführen, nahm die Sache weiterhin einen glatten Verlauf. Es stellten sich zwar immer noch Schwierigkeiten aller Art ein, hauptsächlich beim Ausfüllen der Fugen zwischen den einzelnen Caissons, aber alle diese Schwierigkeiten konnten schliesslich überwunden werden. An den beiden Einläufen am Anfang des Stollens sind zwei grosse Geschiebesammler vorhanden, welche ungefähr das Profil eines zweigleisigen Eisenbahntunnels haben. Dieselben sind etwa 100 m lang. Es hat seinerzeit über diesen Stollen viel Unwahres zirkuliert. Es unterliegt keinem Zweifel, dass die Erstellung von Druckstollen keine einfache Sache ist. Wir haben im Stollen einen Druck von etwa $1\frac{1}{2}$ bis 2 atm bei vollem Betrieb. Der Bau des Stollens ist relativ gut vonstatten gegangen; die Bauzeit ist ziemlich genau eingehalten worden. Es wurden während des Baues einige schlechte Stellen angetroffen, die dann durch entsprechende Armierung ausgebessert werden konnten. Aber die schlechteste Stelle hatte man nicht erkannt; diese zeigte sich erst, als das Werk beiläufig $1\frac{1}{2}$ Monate lang im Probetrieb stand. Am 20. Februar 1910 (Beginn des Probetriebes 15. Dezember 1909) erfolgte nämlich bei Solis, also ungefähr im ersten Drittel des Stollens, ein Durchbruch. Wie dieser Bruch entstand, d. h. welches die primäre Ursache desselben ist, das beruht heute noch auf Annahme. Tatsache ist, dass sich unter der Bruchstelle eine Gipspartie befand, und man nimmt an, dass der Stollen daselbst undicht gewesen sei und dass das Wasser den Gips ausgeschwemmt habe, wodurch dann schliesslich dieser Vorfall herbeigeführt wurde. Der Defekt wurde gründlich repariert, indem man auf eine Länge von etwa 70 m (Bruchlänge 10 m) den Stollen als eisenarmierte Betonröhren baute. Auch dieser Vorfall ist viel kritisiert worden.

Der Querschnitt des Stollens beträgt durchschnittlich etwa 7 m^2 , was bei einer Wassergeschwindigkeit von 2 bis $2\frac{1}{2}$ m/sec und bei dem vorhandenen Gefälle die genannte Leistung von 24 000 PS ergibt. Der Stollen endigt, wie bereits erwähnt, in einem Wasserschloss.

Über dieses Wasserschloss sind verschiedene eingehende Berechnungen, speziell von Prof Dr. F. Prášil durchgeführt worden. Es wurde schliesslich mit einer Höhe von 36 m und einem Durchmesser von etwa 12 m ausgeführt.

Dieses Wasserschloss hat uns schon ausserordentlich gute Dienste geleistet. Am 28. November letzten Jahres, abends $\frac{1}{4}$ Uhr, hatte Jemand, gerade während der Hauptbelastungszeit, bei Siebnen einen Draht quer über die Leitung geworfen, was natürlich einen vollständigen Kurzschluss zur Folge hatte. Die Automaten funktionierten alle richtig und es trat ein totaler Unterbruch ein. Das lässt sich aus dem Wasserschloss-Diagramm nun klar beurteilen. Um 12 Uhr mittags steht dessen Niveau noch auf 13,8 m; die Linie geht gerade weiter bis 4 Uhr. Dann beginnt die Belastung, wobei die Wasserhöhe im Wasserschloss abnimmt. Die höchste Belastung fiel auf die Zeit $\frac{1}{4}$ Uhr. Hier trat der Unterbruch ein und es stieg das Wasser von 11 m bis 20,4 m, also um rund 10 m. Der Draht wurde durchgebrannt und fiel herunter. Schon nach fünf Minuten war die Zentrale wieder in Funktion und es fiel das Niveau im Wasserschloss sukzessive auf 12,5 m hinunter, und der normale Betrieb war wieder hergestellt. Es hat uns der Betreffende durch seinen schlechten Streich insofern einen grossen Dienst erwiesen, als uns dadurch zum ersten Mal gezeigt wurde, wie das Wasserschloss in Wirklichkeit funktioniert, und wir hatten nun die tröstliche Versicherung, dass es gut funktioniert. Ich muss dabei allerdings erwähnen, dass die Wasserzufluss nicht ganz gestaut wurde, denn wir haben bekanntlich noch eine Maschine von 2000 KW, die den Strom für die Karbidfabrik Thusis liefert. Es wurde damals nur die Belastung der Fernleitung abgeschaltet, die in jenem Moment 9500 KW betrug, während die Belastung obgenannter Maschine blieb.

Im Anschluss an das Wasserschloss beginnt die zuerst in horizontaler Richtung verlaufende Rohrleitung bis zum Apparatenhaus; von hier beginnt die eigentliche Druckrohrleitung nach dem Maschinenhaus. Die Druckrohrleitung besteht aus zwei Rohrsträngen von je 1,80 m Durchmesser. In dem Apparatenhaus sind Drosselklappen in die Leitungen

eingebaut, welche sowohl automatisch als auch vom Maschinenhaus aus durch eine elektrische Fernbetätigung geschlossen und geöffnet werden können. Die Rohrleitung ist von der Kesselschmiede Richterswil ausgeführt worden. Diese Rohrleitung kann nur oben abgeschlossen werden. Man hatte seinerzeit projektiert, direkt beim Maschinenhaus noch einen Leitungsabschluss zu bauen; aus Ersparnisgründen hat man aber von solchen Abschlussorganen abgesehen.

Das wäre in kurzen Zügen, was ich Ihnen über den hydraulischen Teil der Anlage sagen wollte. Da die Bauleitung dieses Teiles in den Händen meines Kollegen Dir. H. Peter lag, so kann ich auf die Details der Bauerfahrungen nicht eingehen; Sie werden sich in Ihren Kreisen wohl auch mehr für die Erfahrungen, welche beim maschinellen und elektrischen Teil gemacht worden sind, interessieren. Was die Betriebserfahrungen anbetrifft, so haben wir bis jetzt bezüglich des hydraulischen Teiles der Anlage nur gute gemacht. Seit dem Stollendurchbruch und seit der Wiederaufnahme des Betriebes vom 8. April 1910 sind Störungen an diesem Teil nicht zu verzeichnen gewesen.

Wir wollen nun eine kurze Beschreibung der *maschinellen und elektrischen Einrichtungen* vornehmen und Ihnen die hier gemachten Beobachtungen mitteilen. Längs des Maschinenhauses liegen die beiden Rohrleitungen. Von der Leitung links zweigen die ersten vier Turbinen ab und von der Leitung rechts die beiden Erregerturbinen und die übrigen vier Turbinen. Die in der Mitte aufgestellten Erregergruppen können wechselweise von der einen oder andern Rohrleitung gespeist werden, was bei Untersuchungen und für die Reinigung etc. vorteilhaft ist. Der Maschinensaal besitzt eine Länge von 65 m und eine Breite von etwa 20 m. In diesem Maschinensaal sind, wie erwähnt, acht Generatorturbinen und zwei Erregerturbinen aufgestellt. Nach Durchführung einer bezüglichen Konkurrenz wurden gewählt Doppel-Francis-Turbinen der Firma Escher Wyss & Cie. von je 3000 PS bei 600 Umdrehungen in der Minute. Man war seinerzeit lange unentschieden, ob man diese Doppel-Francis-Turbinen wählen wolle oder ob man nicht dem sehr billigen Angebot der Firma Bell & Cie., Kriens, Gehör schenken wolle, welche einfache Francis-Turbinen mit einfachem fliegendem Turbinenrad vorgesehen hatte. Nach einem von Turbinenfachleuten eingeholten Gutachten ist man aber dazu gekommen, die Mehrausgabe von etwa 80 000 Franken für die ganze Anlage dennoch zu leisten, um eine möglichst betriebssichere Turbinenanlage zu erhalten. Es wurde in jenem Gutachten speziell hervorgehoben, dass man bei der Anordnung Escher Wyss & Cie. keinerlei Axialschübe, die das Anfressen der Lager hervorrufen, zu befürchten habe. Ich komme hier auf ein Thema zu sprechen, bei dem ich einige Augenblicke verweilen werde. Es muss ohne weiteres gesagt werden, dass uns die Turbinen am Anfang grosse Schwierigkeiten bereitet hatten. Es zeigte sich nämlich die Eigentümlichkeit, dass trotz der genau gleichen Ausführung der beiden Turbinenhälften ganz gewaltige Axialschübe auftraten, die immer das Anfressen des äussern Kammlagers zur Folge hatten. Man hatte Verschiedenes probiert, um diesen Uebelstand zu beseitigen, aber alles wollte nichts helfen. Die Vacua wiesen auf beiden Seiten gewaltige Differenzen (bis zu 50 %) auf. Man glaubte, dass das Druckausgleichsrohr, das man anfänglich verwendet hatte, zu eng sei. Man baute deshalb ein Ausgleichsrohr von grösserem Durchmesser ein. Aber auch dies half gar nichts, denn die Differenzen waren genau die gleichen wie vorher; es wurde immer bei gewissen Belastungen, hauptsächlich bei $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{4}$ Last (ganz besonders aber bei Halbbelastung) das äussere Kammlager angefressen. Schliesslich kam ein Ingenieur von Escher Wyss & Cie., der wochenlang sich in Sils oben befand, auf das Aushülfsmittel, einfach auf diese Krümmer Entlüftungsventile aufzusetzen. Je nach der Belastung werden nun vom Maschinisten diese Ventile so eingestellt, dass das Vakuum beidseitig gleich ist. Seit dieser Verbesserung gehen nun die Turbinen tadellos, es zeigen sich keinerlei Lagerschwierigkeiten mehr. Woher diese Ungleichheit im Vacuum herrührte, das wissen wir auch heute noch nicht. Es hatte natürlich einige Wochen gedauert, bis man das Uebel erkannt und ihm abgeholfen hatte. Man konnte aber gerade den durch den Stollenbruch eingetretenen Betriebsstillstand dazu benützen, sämtliche Turbinen in der genannten Weise zu ergänzen. Nach der Inbetriebsetzung im April 1910 funktionierte die Sache tadellos. Die Abnahmeversuche über die Turbinen, welche im August letzten Jahres vorgenommen wurden, ergaben vertragsgemässe Resultate. Auch die Regulierung kann als

tadellos bezeichnet werden; dieselbe hat übrigens von Anfang an keinerlei Schwierigkeiten bereitet.

Die Erregerturbinen weisen die bekannte Pelton-Konstruktion mit Schwenkdüsen von Escher Wyss & Cie. auf.

Direkt gekuppelt mit den Turbinen sind die Generatoren, welche von der Maschinenfabrik Oerlikon geliefert wurden. Jeder Generator ist für eine Leistung von rund 2500 KVA, 600 U/min, 7000 Volt gebaut. Ich muss hier beifügen, dass die Generatoren mit 7000 Volt arbeiten, dass aber die Parallelschaltung nicht auf die 7000 Volt Sammelschienen vorgenommen wird, sondern es ist jeder Generator elektrisch direkt gekuppelt mit seinem zugehörigen Transformator, welcher in einem besonderen Vorbau untergebracht ist. (Lieferant der Transformatoren: Brown, Boveri & Cie.) Es wird also erst auf der 45 000 Volt-Seite, d. h. auf der Oberspannungsseite parallel geschaltet. Hier befinden sich die Sammelschienen. Das vollständige Aggregat wird durch einen Schalter auf die Oberspannungsschienen parallel geschaltet.

Im ursprünglichen Projekt war die Aufstellung von drei Einphasentransformatoren vorgesehen. Es haben uns dann die bezüglichen Firmen so günstige Garantien für kombinierte Drehstromtransformatoren offeriert, dass wir uns für diese letztern entschlossen. Es konnte damit einerseits an Raum und anderseits an Geld gespart werden.

Sowohl mit den Generatoren als mit den Transformatoren hatten wir keinerlei Betriebserfahrungen. Das ist immer das Beste, denn die Erfahrungen sind gewöhnlich negative. Es hat nämlich dieser Teil der Anlage von Anfang an in so tadelloser Weise funktioniert, dass wir eigentlich damit gar nichts zu tun hatten. Es kann allerdings erwähnt werden, dass man nachträglich an den Generatorlagern Wasserkühlung für die Lagerböcke einrichtete, wodurch man an Betriebssicherheit gewann und an Oel sparte. Die Abnahmevereekte an Generatoren und Transformatoren haben vorzügliche Resultate ergeben.

Etwas mehr ist dagegen in den Kreisen der Elektrotechniker gesprochen worden über einzelne Teile der Schaltanlage. Die Schaltanlage funktioniert im allgemeinen gut. Direkt über den Transformatoren befindet sich der eigentliche Schalterraum, in welchem die Schalter für die Parallelschaltung der einzelnen Aggregate montiert sind. Ueber diesem Schalterraum ist der Sammelschienenraum angeordnet. Ueber diesem Raum finden wir sodann die Schalter mit Zubehör für die abgehenden Fernleitungen. Im obersten Stockwerk, das sich über das ganze Gebäude hinzieht, ist die Blitzschutzeinrichtung untergebracht. Ich werde auf diese letztere noch speziell zu sprechen kommen. Die Bedienung der Apparate, einschliesslich der Bedienung der Motoren für die Regulierung, die Betätigung der Fernleitungsschalter, sowie der Schalter für die Regulierung der Turbinen wird mit Fernschaltung von einem Zentralpulte aus bewerkstelligt. Dieses Pult befindet sich auf einem Balkon, von welchem aus der ganze Maschinensaal gut überblickt werden kann. Es sind ausserdem noch Maschinen-Hülfstableaux vorhanden, mittels derer bei Versuchen die nötigen Abtrennungen vorgenommen werden können.

Wir haben auch bei diesem Teil der Anlage — wir wollen das ruhig zugestehen, da ja die Sache nun in Ordnung ist — einige Schwierigkeiten gehabt. Diese bezogen sich hauptsächlich auf die Oelschalter, welche von der Maschinenfabrik Oerlikon geliefert wurden. Es handelt sich hier um Topfölschalter. Man war in der Wahl dieser Apparate vollständig frei und man hatte sich seinerzeit bei der Projektierung auch lange überlegt, ob man Oeltopfschalter oder Oelkastenschalter verwenden wolle. Man entschloss sich dann schliesslich für die Oeltopfschalter. Es waren zwar schon in verschiedenen Anlagen Oelkastenschalter aufgestellt; aber wir erachteten es dennoch in betriebstechnischer Hinsicht für vorteilhafter, Oeltopfschalter zu verwenden, da dieselben beim Gang durch das Schalterlokal, in ausgeschaltetem Zustande, ohne weiteres einen vollen Ueberblick über die ganze Kontaktfläche gestatten. Die bei diesen Schaltern anfänglich aufgetretenen Schwierigkeiten bestanden nun darin, dass beim automatischen Funktionieren derselben, hauptsächlich bei sehr rasanten Kurzschlüssen, stets das Oel hinausgeschmissen wurde, wobei auch teilweise der Unterbrechungsfunktion nicht richtig abgebrochen wurde. Ich will damit der Konstruktionsfirma durchaus keine Vorwürfe machen; ich bin eben der Ansicht, dass alle solchen Schalter, wenn sie in den praktischen Betrieb kommen, erst richtig erprobt werden müssen. Es ist

für mich nämlich eine abgemachte Sache: Man mag in einem Laboratorium die tatsächlichen Verhältnisse noch so fein nachahmen wollen, man wird das eben niemals fertig bringen. Die Apparate werden also in einem Laboratorium nie so zum Funktionieren gebracht werden können, wie sie im praktischen Betriebe tatsächlich funktionieren müssen. Und wenn man mir gesagt hat: Die Schalter sind probiert worden und sie haben sich im Laboratorium vorzüglich gehalten, so habe ich das geglaubt; aber es war mir dies noch kein Beweis dafür, dass sie auch in der Anlage gut funktionieren werden. Die Apparate wurden nachträglich von der Konstruktionsfirma in der Weise abgeändert, dass die Töpfe grösser gewählt wurden und dass man den Tellern oben eine andere Form gab. Ich kann heute sagen, dass die Schalter seit ungefähr $\frac{3}{4}$ Jahren wiederholt funktionieren mussten und gut funktioniert haben. Es ist mir von verschiedenen Seiten zu Ohren gekommen, dass die Stadt Zürich mit diesen Schaltern wieder einmal gründlich hereingefallen sei. Ich denke, man sollte sich doch angewöhnen, mit solchen Urteilen etwas weniger rasch zu sein, wenn man berücksichtigt, was solches Gerede einer Konstruktionsfirma schaden kann und man sollte doch einsehen, dass mit solchen Kritiken für die Gesamtheit der elektrotechnischen Industrie gar nichts erreicht wird. Es wäre doch gewiss nützlicher, wenn jeder einzelne ehrlich und redlich bestrebt wäre, mitzuhelpen, denn nur die Praxis wird uns hier weiterführen können.

Die *Fernleitung* ist derjenige Teil der Anlage, der von Anfang an am meisten beanstandet worden ist, allerdings vielleicht weniger in den Kreisen der Technikerschaft, als in den Kreisen des Publikums. Wir hatten zu der Zeit, als wir das Projekt aufstellten (1902/1904), sehr schwer mit den Vorurteilen, die gegen eine solche Fernleitung bestanden, zu kämpfen. Es ist dies ja im grossen und ganzen erklärlich, denn bis zu jenem Zeitpunkt waren Leitungen von dieser Länge in der Schweiz wenigstens noch nicht zur Ausführung gelangt. Man hat sich aber von Anfang an gesagt, dass die Sache eigentlich gar nicht so schlimm herauskommen könne, weil ja die Fernleitung sich überall im Tal befindet, dass also grössere Höhendifferenzen nicht zu überwinden seien. Der Maschinenhausboden in Sils liegt 725 m über Meer, die Station Guggach in Zürich 550 m über Meer. Der Höhenunterschied ist also mit Rücksicht auf die Distanz von 140 km kein bedeutender. Es durfte daher angenommen werden, dass die Gefahr hinsichtlich der atmosphärischen Störungen, nach den bis dannzumal gemachten Erfahrungen nicht gar gross sein könne. Man hat sich ferner gesagt, dass mit Rücksicht auf die billige Anlage schon etwas mehr Geld für die Fernleitung verwendet werden dürfe, um ja alles zu tun, was zur Sicherheit derselben beitragen könne. Man ist deshalb dazugekommen, diese Fernleitung durchgängig mit doppeltem Leitungstracé zu bauen. Diese beiden Leitungstracés sind nirgends weniger als 15 m von einander entfernt; an den meisten Orten ist dieselbe bedeutend grösser (100 m bis einige km).

Die Fernleitung beginnt in Sils; sie verläuft zuerst im Hinterrheintal und mündet bei Reichenau ins Rheintal, dann folgt sie demselben bis Ragaz und tritt darauf ins Seetal ein und überwindet schliesslich die Höhen längs des südlichen Wallenseeufers. Man hatte sich seinerzeit lange überlegt, ob man die Leitung beiden Seiten des Wallensees entlang führen sollte oder nicht, und es wurde auch das nördliche, rechte Ufer eingehend studiert. Man kam aber schliesslich zu der Ueberzeugung, dass es vorteilhafter sei, das Terrain über Mühlehorn, Obstalden, Filzbach für beide Leitungen zu benutzen, und zwar mit Rücksicht auf die am nördlichen Ufer auftretenden häufigen Steinschläge. Obwohl der höchste Punkt auf der Strecke längs des Wallensees 800 m über Meer beträgt, so kann man doch noch nicht von einer Höhenüberwindung sprechen. Die Leitung führt in ihrem weitern Verlauf ins Linthgebiet hinunter. Hier entwickelte sich nun eine grosse, eidgenössisch-kompromisspolitische Situation. Naturgemäß hätte man doch mit der Leitung im Tal weiterfahren sollen, wie das übrigens schon in den Vorschriften enthalten ist, d. h. einfach dem Linthkanal entlang bis nach Biltén. Es wurde aber seitens der Landeigen tümer bei Ziegelbrücke und seitens der Regierung des Kantons Glarus eine fürchterliche Opposition gegen dieses Leitungstracé erhoben, und die eidgenössische Kompromisspolitik hat es schliesslich zustande gebracht, dass wir mit der Leitung über den Biberkopf gehen mussten. Es ist daher an diesem Punkt ein scheußliches Knie in der Leitung

entstanden, und es befindet sich hier eines der schwächsten Stücke der ganzen Leitung. Man sieht also, dass trotz der bezüglichen Vorschrift die gerade Linie in der Ebene durch politische Verhältnisse aus dem Konzept gebracht werden konnte. In Bilten trennen sich die beiden Leitungsgestänge. Das eine Gestänge führt über Schmerikon, Rüti, Greifensee nach dem Guggach in Zürich IV. Die andere Leitung nimmt ihren Weg über Pfäffikon (Schwyz), Samstagern und dann dem linken Zürichseer entlang bis nach der Frohalp Zürich II. Beide Leitungen sind mit der um die Stadt führenden Ringleitung verbunden, welche schon im Jahre 1903 gebaut wurde.

In die Fernleitung sind verschiedene sog. Schaltstationen eingebaut, und zwar eine in Chur, eine in Ragaz, eine in Unterterzen und eine in Bilten. Diese Schaltstationen haben bekanntlich den Zweck, einzelne Leitungsstücke jeder Doppelleitung (je extra 20 km) auszuschalten. Ebenso ermöglichen sie, die Doppelleitung an diesen Stellen parallel zu schalten. Die genannten Stationen, welche meines Wissens in der Schweiz in ähnlicher Ausführung bis heute noch nicht existieren, haben uns schon vorzügliche Dienste geleistet. Sie ermöglichen uns, bei Reparaturarbeiten, Betriebs-Unterbrechungen usw. Stücke von 20 km einer Leitung auszuschalten, während mit der übrigen Leitung der Betrieb weitergeführt werden kann. Mit einer dieser Schaltstationen ist eine vielbesprochene Erfahrung gemacht worden. Wir sind nämlich bei Bilten auf Torfboden gekommen und in Sumpf geraten. Mit Rücksicht auf dieses schlechte Terrain hatte man die ganze Schaltstation samt Wohnhaus auf grosse armierte Betonplatten von 40 cm Dicke gestellt. Aber eines schönen Tages stand das Wohnhaus völlig schief, denn es war auf der einen Seite gesunken. Es wurde dann nachträglich das gemacht, was vorher hätte gemacht werden sollen: Unter die Platten trieb man Pfähle, beziehungsweise Bäume von 16 m Länge ein, und die tiefer liegende Seite hob man mit Winden. Das Gebäude wurde so völlig ins Senkel gestellt, und es steht auch heute noch im Senkel.

Weiter ist auch viel über unsere Erfahrungen mit den Betonmasten geredet worden. Man hatte sich natürlich auch lange überlegt, ob man Holzstangen oder Eisenstangen oder Betonmasten verwenden wolle. Mit Rücksicht auf die ziemlich grossen Preisdifferenzen, die bei den damaligen Eisenpreisen herrschten, haben wir uns dazu entschlossen, in der Hauptsache armierte Betonmasten aufzustellen. Wir konnten das mit umso leichterem Gewissen tun, als wir bei der Ringleitung um die Stadt herum, von Guggach bis Frohalp seit dem Jahre 1903 solche Betonmasten in Verwendung haben. Meines Wissens waren es damals die ersten Betonmasten, die in der Schweiz verwendet wurden. Sie haben sich aber bis heute sehr gut gehalten, und wir mussten während der 8 Jahre, die sie nun im Betriebe stehen, noch keinen Rappen für Unterhalt ausgeben. Dieser Umstand hat mich seinerzeit veranlasst, das Wagnis zu machen und auch für die Albulaleitung Betonmasten zu wählen. Die Wahl von Holzmasten hatten wir von vornherein als ausgeschlossen betrachtet, weil wir uns sagten, dass eine Leitung von solcher Wichtigkeit derart gebaut werden solle, dass das Auswechseln, welches bei Holzmasten eben stattfinden muss, vermieden werden könnte. Die für die genannte Ringleitung verwendeten Betonmasten wurden gebaut von den Firmen Favre & Cie. und Maillart & Cie. Dieselben sind nach den alten Vorschriften konstruiert. Ich sage das deswegen, weil die Preisdifferenz zwischen der Konstruktion nach den alten Vorschriften und derjenigen den neuen Vorschriften eine wesentliche ist. Man entschloss sich dann, nicht nur ohne Weiteres diesen Typ zu kopieren, was zwar für uns das einfachste gewesen wäre, sondern man veranstaltete eine Konkurrenz auf Grund der neuen Vorschriften, welche damals beraten und angenommen wurden. Die Konkurrenz ergab die beiden folgenden Masten-Systeme: Betonmasten nach dem System Jäger & Cie., welche für unsere Leitung zur Verwendung gelangt sind und teilweise von Favre & Cie., teilweise von Gossweiler, Bendlikon, hergestellt wurden. Es sind das Betonmasten mit einem doppel-T-förmigen Querschnitt. Ferner wurden uns offeriert: Maschinell hergestellte Rundmasten, die sog. Siegwart-Masten. Man hatte seinerzeit gehofft, dass durch die maschinelle Herstellung eine sichere Fabrikation bezüglich der gegenseitigen Lage von Eisen und Beton garantiert werde. Es hat sich das aber nicht bewahrheitet. Es zeigte sich bald, dass eigentlich die Masten Jäger & Cie. für den Bau als solchen einfacher sind, da dieselben auf jedem der verschiedenen Bauplätze längs der Strecke auf

einfache Art und Weise in eisernen Formen hergestellt werden können. Sie mussten also nicht auf weite Strecken transportiert werden, wie das bei den maschinell hergestellten Masten der Fall gewesen wäre, denn die betreffenden Maschinen sind sehr teuer, sodass man nicht verschiedene solcher Maschinen hätte aufstellen können. Diese Masten mussten nun in Rheineck hergestellt und per Bahn und Wagen an ihren Bestimmungsort gebracht werden. Die Masten, welche auf den verschiedenen Bauplätzen hergestellt wurden, konnten daher rascher geliefert und rascher und zweckmässig aufgestellt werden.

Ich will nun gleich beifügen, dass wir mit den Betonmasten insofern einiges Pech hatten, als bei den gewaltigen Schneestürmen im Januar 1910 zwölf Stück Masten gebrochen sind. Nun will das eigentlich gar nicht viel heissen, wenn von 5500 Masten zwölf Stück brechen, und es war daher durchaus nicht gerechtfertigt, wenn vielfach gesagt wurde: „Diese Masten taugen nichts“. Dieser Vorfall wurde natürlich von der Holzmasten-Konkurrenz weidlich ausgebeutet. Meines Wissens waren aber bei jenem Sturm nicht nur Betonmasten, sondern auch viele Holzmasten gebrochen, und man hätte daher ebenso gut sagen können: „Die Holzmasten taugen nichts“. Was Proben mit solchen Masten anbelangt, so verhält es sich dabei wie mit den Zündhölzchen: Man kann nicht jedes Zündhölzchen probieren, sonst hat man schliesslich keine mehr! Man hat mit diesen Masten eben auch nur Stichproben gemacht, die von unparteiischen Experten vorgenommen wurden, Professor Schüle und Oberingenieur Vaterlaus. Diese Proben haben ergeben, dass die Masten den Sicherheitsvorschriften entsprechen. Dass nun aber unter den 5500 Masten sich noch faule befinden könnten, das ist doch wohl erklärlich. Der Schneesturm vom Januar 1910 hat uns aber in dieser Hinsicht die Leitung gründlich gesäubert, indem er diese faulen Masten herausgenommen hat. Ich glaube auch hier bezüglich des Kritisierens dasselbe, wie bei den Schaltern sagen zu müssen: Man sollte in solchen Sachen immer etwas mehr technisches Interesse an den Tag legen und etwas weniger Reklamesucht zeigen, und man sollte die Sache immer zuerst etwas näher betrachten, denn solche Vorkommnisse sind für das betreffende Werk sonst schon unangenehm genug. Dennoch erkläre ich hier öffentlich und feierlich: „Wenn ich noch einmal eine Leitung zu bauen hätte, so würde ich sie wieder mit Betonmasten ausführen, der hier erwähnte Bruch würde mich daran nicht hindern“.

Es konnten naturgemäss nicht durchgängig Betonmasten verwendet werden. Diese Masten sind ziemlich schwer, sie wiegen je nach dem System 1200—1500 kg. Es musste daher für einige Partien, beispielsweise längs des Wallensees, teilweise im Rheinbett, bei Rothenbrunnen, dann wieder in sehr sumpfigen Terrains (bei Bilten) zu einer andern Konstruktion gegriffen werden, weil man mit diesen schweren Masten nicht überall hin gekommen wäre. Man entschloss sich, für diese Teile der Leitung Mannesmannrohr zu verwenden. Diese Masten sind sehr leicht und können daher überall hin ohne grosse Mühe transportiert werden. Sie sind nicht viel teurer als Betonmasten und haben sich bei der Montage sehr gut bewährt. Nur hat man eben hier das Unangenehme (wie übrigens bei allen Eisenmasten), dass man sie periodisch anstreichen muss. Immerhin ist das Anstreichen solcher Mannesmannmasten ein einfacheres und sichereres als dasjenige von Gittermasten. Bei einem engen Gittermast kann innen nie mehr angestrichen werden, und dieser rostet mit der Zeit an gewissen Stellen einfach durch. Das ist bei den Mannesmannmasten nicht der Fall: man kann dieselben auf der ganzen Fläche ruhig streichen. Ich kann also denjenigen Herren, die eine Vorliebe für Eisenmasten haben, solche Mannesmannmasten nur empfehlen.

In Bezug auf die Mastenausrüstung hatten wir uns entschlossen, die guten Erfahrungen, die wir in dieser Hinsicht bereits anderweitig gemacht haben, auch hier zu verwerten. Wir haben die Isolatoren durchwegs auf Holztraversen montiert. Für die letztern sahen wir Lärchenholz vor. Wir konnten aber nicht genügend Lärchenholz auftreiben, um die ganze Leitung damit auszurüsten, da zu der gleichen Zeit, als wir dieses Lärchenholz brauchten, solches auch für die Schwellen der Berninabahn benötigt wurde. Wir verwendeten dann als Ersatz Buchenholz. Beide Hölzer haben wir nach verschiedenen Verfahren bei der Firma Oertli in Sargans und der Holzkonservierungsanstalt Zofingen imprägnieren lassen. Diese Imprägnierungs-Methoden haben sich bis jetzt gut bewährt.

Als Isolatoren verwendeten wir das grosse Modell von Hermsdorf, und es darf gesagt werden, dass wir mit diesem Modell einen äusserst glücklichen Griff getan haben. Während 1½ Jahren ist auf der Leitung noch kein einziger Isolator durchschlagen worden. Ich hatte dieser Tage den Besuch eines schwedischen Ingenieurs vom Elektrizitätswerk Trollhättan, welcher auf einer Studienreise begriffen war. Dieser fragte mich, was wir auch für Betriebs erfahrungen mit den Isolatoren gemacht hätten. Ich bat ihn nun, mir doch zuerst über seine Betriebserfahrungen zu berichten, worauf ich ihm gerne auch unsere Erfahrungen mitteilen werde. Der alte Schwede zeigte sich nun sehr mitteilsam, er erzählte mir alles haarklein, und ich ihm dann ebenfalls. Er gestand mir, dass sie mit den Hänge-Isolatoren ganz miserable Erfahrungen gemacht hätten, es seien Durchschläge über Durchschläge vorgekommen, und sie wüssten sich gar nicht mehr zu helfen. Sie hätten ihn daher auf eine Studienreise geschickt, um sich zu orientieren, in welcher Weise da geholfen werden könne. Sie sehen also, dass auch im Auslande nicht alles Gold ist, was glänzt! Ich hatte dem Herrn alle Fehler, die sich bei uns zeigten, aufgedeckt, ich konnte ihm daneben aber auch offen und ehrlich sagen, dass wir mit den Isolatoren bis zur Stunde noch gar keine Schwierigkeiten gehabt haben.

Die Ausrüstung der Isolatoren, der Träger usw. ist von den L. von Roll'schen Eisenwerken geliefert worden.

Einen interessanten Teil der Anlage bilden die Blitzschutz- und Ueberspannungssicherungen. Diesbezüglich handelte es sich für uns darum, die Frage zu entscheiden: Was sollen wir für einen Blitz- und Ueberspannungsschutz anwenden? Wie sollen wir uns schützen gegen die Wechselstrom-Induktionserscheinungen? Es besteht ja ein grosser Streit darüber, ob solche Erscheinungen hoher oder niedriger Frequenz seien. Als etwas konservativer Mann in solchen Sachen, habe ich immer noch das alte geglaubt, nämlich dass sie hoher Frequenz seien. Wir haben uns dann für den Schutz mit Funkenstrecken entschieden, d. h. wir haben Siemens-Hörner in Verbindung mit Wasserwiderständen, eingebaut.

Zum Schutze gegen die sog. Ladeerscheinungen ist bis jetzt mit Vorteil der Wasserstrahlerder angewendet worden. Auch wir haben uns zu diesem Mittel bekannt. Es sind Wasserstrahlapparate eingebaut in Sils und in den Stationen in Zürich. Wir scheuten also die Kraftverluste nicht, die durch solche Wasserstrahlerder entstehen, da wir vorläufig noch Kraft genug haben. Weitere, speziell atmosphärische Erscheinungen entstehen durch direkten Blitzschlag. Wie sollen wir uns schützen gegen direkte Blitzschläge? Da gibt es überhaupt keinen Schutz, sondern da ist nur das Gottvertrauen am Platz.

Das letzte Jahr hatte uns genug Gelegenheit gegeben, die Anlage hinsichtlich der atmosphärischen Einflüsse zu beobachten, denn es traten viele und tiefliegende Gewitter auf. Es kamen aber trotzdem keine abnormalen Störungen vor. Es ereignete sich ein einziger direkter Blitzschlag in der Nähe von Guggach. Dieser hatte aber weiter nichts zur Folge, als dass die Linienautomaten die Leitung ausschalteten und nachher sofort wieder zugeschaltet werden konnten. Ich glaube, die Tatsache, dass wir so wenige von Gewittern herrührende Erscheinungen zu verzeichnen hatten, ist zu einem grossen Teil auf das günstige Leitungstracé zurückzuführen.

Es ist interessant, jeweils die Gewitter zu verfolgen. Wenn dieselben z. B. im Rheintal oben beginnen und sich talabwärts bewegen, so wird uns das von den Linienwätern stets gemeldet, und wir können so die Geschwindigkeit, mit der die Gewitter fortschreiten, sehr gut feststellen.

Eine weitere und dabei sehr schwierige Erscheinung ist das Auftreten der sog. innern Ueberspannungen, welche in der Anlage selbst entstehen und nicht auf atmosphärische Einflüsse zurückzuführen sind. Wir hatten viel zu tun mit solchen Ueberspannungen, welche bekanntlich entstehen bei Belastungsänderungen, bei Schaltoperationen und dergleichen, beim Drehstrom-System ohne geerdeten Nullpunkt, bei Erdchluss, durch die Resonanz-Erscheinungen beim Spiel von Selbstinduktion und Kapazität. Gegen diese Ueberspannungen haben wir uns ebenfalls durch Funkenstrecken (Siemens-Hörner) geschützt.

Es traten sehr bedeutende Ueberschläge auf, was uns in den ersten Betriebswochen, speziell vor dem Stollenbruch, grosse Störungen verursachte. Es hat uns Rillen-Isolatoren von 25 cm Höhe einfach überschlagen; es müssen dabei Spannungen aufgetreten sein,

die für uns unmessbar sind. Auf Anraten der Maschinenfabrik Oerlikon, speziell von Ingenieur Täuber, haben wir uns dann, zwar zunächst mit etwas Widerstreben, dazu entschlossen, den Nullpunkt der Transformatoren zu erden, unter Zwischenschaltung eines Wasserwiderstandes. Die Transformatoren sind auf der Oberspannungsseite in Stern geschaltet. Der Wasserwiderstand ist so bemessen, dass die Kurzschluss-Stromstärke 150 Ampère beträgt. Nun kennen Sie zwar alle die Nachteile, die solche Nullpunktterdungen besitzen. Der Hauptnachteil besteht darin, dass beim geringsten Erdschluss ein Funktionieren der Linien-Automaten und eine Unterbrechung der Leitung eintritt. Das hat uns aber nicht stark geniert, da ja bei 45 000 Volt die Erdschlüsse auch sonst die Linienautomaten zum Funktionieren bringen, und wir mussten eben diese Störung mit in den Kauf nehmen. Im übrigen haben wir mit dieser Nullpunkt-Erdung vorzügliche Erfahrungen gemacht, und es darf ruhig gesagt werden, dass wir seither von innern Ueberspannungen verschont geblieben sind.

Ich befand mich letzten Sommer auch in Trollhättan (Schweden). Bei dieser Gelegenheit konnte ich erfahren, dass auch im dortigen Werk Schwierigkeiten durch innere Ueberspannungen sich einstellten, welche man dann durch die Nullpunkt-Erdung beheben wollte. Man hatte indessen den Wasserwiderstand weggelassen, und es traten daher so rasante Kurzschlüsse auf, dass an vielen Orten alles zusammengebrannt wurde. Es wurde mir gesagt, man wäre dann auch darauf gekommen, Wasserwiderstände dazwischen zu schalten, und die Sache funktioniere seither besser.

Ich will hier noch einen weitern Versuch erwähnen, den man in Trollhättan ausgeführt hat.

Es zeigten sich anfänglich bei unsren Wasserwiderständen insofern Schwierigkeiten, als uns beim Funktionieren der Siemens-Hörner häufig das Wasser herausgeschmissen wurde, was immer zu Störungen Veranlassung gegeben hat. Wir haben dann dem Uebelstand dadurch abgeholfen, dass wir die Querschnitt-Belastung dieser Wasserwiderstände bedeutend geringer annahmen. Seitdem das durchgeführt ist, funktioniert die Einrichtung ordnungsgemäss. In Trollhättan wurden bezügliche Versuche angestellt. Man konstruierte Tröge, wo fliessendes Wasser durchgelassen werden konnte, und man hatte auf diese Weise bei wiederholtem Funktionieren immer wieder frisches Wasser zur Verfügung. Ich hatte im Sinne, falls die Querschnitt-Vergrösserung nicht genügen sollte, die genannte Einrichtung ebenfalls zu treffen. Es hat sich dies aber nicht als notwendig herausgestellt, denn wir konnten es ohne diese Einrichtung machen, und wenn man das fliessende Wasser, welches die Sache nur kompliziert, vermeiden kann, so lässt man es natürlich lieber bei Seite.

Da wir nun auch Strom für die Kantonswerke St. Gallen liefern müssen (40 000 Volt), so haben wir uns genötigt gesehen, nachträglich noch Schutzeinrichtungen für die betreffende, nach Rheintal abgehende Leitung zu bauen. Wir sind in jener Station infolge der verschiedenen noch hinzugekommenen Abzweigungen, so für die Stromabgabe nach Ragaz, im Raume etwas beenkt, und es war uns daher nicht gut möglich, dort einen Funkenstrecken-Schutz mit Wasserstrahlerdung einzubauen. Wir entschlossen uns dann, nachdem uns die Kondensatorenfabrik Freiburg ihr Fabrikat aufs allerwärmste als sehr vorteilhaft empfohlen hatte, in jener Station einen Versuch mit Kondensatoren-Schutz zu machen. Es wurden also in die betreffende Leitung Kondensatoren, und anstatt Wasserstrahlerder Spulen mit Eisenkern mit sehr hoher Selbstinduktion eingebaut. Die Sache ist nun fertig installiert; wie sie sich aber im Betriebe halten wird, das kann ich Ihnen heute noch nicht sagen, da dieser Teil der Anlage infolge verschiedener Verumständungen erst im Laufe des Monats April dem Betriebe übergeben werden kann. Ich äusserte zwar in dieser Sache einige Bedenken, indem ich mich fragte, ob es sich eigentlich empfehle, in der gleichen Anlage zwei verschiedene Systeme zu verwenden. Man suchte mich darüber zu beruhigen; das allein genügte mir jedoch nicht, ich beruhigte mich erst durch den Lieferungsvertrag, d. h. wir haben uns in demselben das Recht ausbedungen, die Einrichtung wieder entfernen zu lassen, wenn sie nicht richtig funktioniert.

Da wir gerade von der Leitung sprechen, so dürfte es Sie vielleicht interessieren, auch etwas über den Betrieb derselben zu vernehmen. Man hatte seinerzeit durch Rechnung den Spannungsabfall, oder besser die Spannungserhöhung festgestellt, die in Sils notwendig ist, um in Zürich eine Spannung von 40 000 Volt zu erhalten. Wir haben nun diese Woche

Versuche angestellt mit der direkten Messung, und es wurden dabei folgende interessante Beobachtungen gemacht, die uns allerdings schon mehr oder weniger bekannt waren. Wenn die Leitung von 0—1500 KW belastet wird, so haben wir eine Spannungserhöhung von etwa 1000 Volt. Bei 1500 KW beträgt die Erhöhung \pm 0 Volt, die Spannung ist in Zürich und Sils dieselbe. Nachher, wenn die Belastung 1500 KW überschreitet, so steigt der Spannungsabfall, und es ergab sich zwischen Rechnung und zwischen Messung, unter Zugrundelegung desselben Phasenverschiebungswinkels eine Differenz von 1—2 %. Ich sage, wir wussten das schon, weil wir im Betriebe eine ganz interessante Erscheinung konstatierten. Als wir den Betrieb aufnahmen, zeigte es sich, dass bei völlig eingeschaltetem Leitungssystem die Regulierung unmöglich ist, wenn einerseits in Sils bloss eine Maschine mit Transformator zugeschaltet wird und anderseits in Zürich bei geschlossener Ringleitung die geringste Belastungsänderung eintritt. Die Ursache liegt darin, dass eben die Spannungserhöhung, die durch den Ladestrom eintritt, sich negativ addiert zum induktiven Spannungsabfall, und die geringste Belastungsänderung hat dann solche Variationen der Spannung zur Folge (bis 50 %), dass die Regulierung unmöglich ist. Wir hatten seinerzeit, als wir die Leitung im September 1909 untersuchten, gemessen, dass der Ladestrom bei vollständig eingeschalteter Leitung bei 60 000 Volt etwa 25 Ampère betrug. Es war vor einigen Wochen, in einer Sonntagsnacht, als die Belastung sehr gering war. Es arbeiteten 2 Maschinen auf Zürich mit je etwa 700—800 KW, d. h. die Belastung war derart, dass eine Maschine dieselbe mit Leichtigkeit hätte übernehmen können. Nun hatte aus irgend einem Grunde der Automat von Aggregat 2 funktioniert, (warum wissen wir nicht), und das Aggregat 1 arbeitete plötzlich allein. Was trat nun ein? Die Spannung war vorher in Sils etwa 45 000 Volt. Es trat nun eine Spannungserhöhung bis etwa 55 000 Volt ein, und es war unmöglich, mit der Erreger-Regulierung allein die Spannung wieder soweit herunterzubringen, dass die zweite Maschine von neuem hätte parallel geschaltet werden können. Man musste auch diese Maschine abstellen und von vorne beginnen. Ich habe vor einiger Zeit eine Abhandlung über solche Erscheinungen gelesen. In derselben wird empfohlen, auf der Belastungsseite einen Synchron-Motor einzuschalten, und denselben so zu übererregen, dass der Ladestrom von diesem aus geleistet wird. Wir haben nun diese Woche mit solchen Versuchen begonnen, und wir glauben, dass wir mit denselben zu einem guten Resultate kommen werden, d. h. dass wir durch zweckmässige Uebererregung der Synchron-Motoren doch dazu kommen können, mit einer einzigen Maschine zu arbeiten. Es sind also diesbezügliche Versuche noch im Gange.

Nun will ich noch kurz einiges erzählen über die Anlagen der Stadt Zürich und insbesondere über die Beleuchtungs-Umformerstation. Sie wissen, dass Zürich für die Beleuchtung Einphasen-Wechselstrom verwendet. Die Anlage datiert aus dem Anfang der neunziger Jahre. Im Jahre 1903 wurde ein Drehstrom-Kraftnetz gebaut. Wir haben also zwei Netze: ein Einphasen-Wechselstrom-Netz für die Beleuchtung und ein Drehstromnetz für Kraftabgabe. Ich bereue das nicht, sondern ich bin sehr froh, dass wir zwei getrennte Netze haben, denn dieselben leisten uns sehr gute Dienste. Man sieht also, dass man seinerzeit für die Beleuchtungsanlage das richtige System erkannt hat. Sie wissen, dass unser Ehrenmitglied, Prof. Dr. W. Wyssling, in den 90er Jahren die ersten Projekte für Zürich ausgearbeitet hat. Ich darf das hier wohl erwähnen, denn Anerkennungen in öffentlichen Diensten kommen einem im allgemeinen so selten zu Ohren, dass man wirklich die Gelegenheit benützen muss, wenn man eine Anerkennung aussprechen kann. Man hatte sich seinerzeit gefragt: Soll man das Einphasennetz direkt an die Fernleitung hängen, oder was gedenkt man zu machen? Dazu besass ich aber den Mut nicht, denn unsere Abonnenten in Zürich sind mit Rücksicht auf den jahrelangen Dampfbetrieb bezüglich Sicherheit des Betriebes derart verwöhnt, dass ich es nicht gewagt hätte, an diese 140 km lange Leitung, die immer eine gewisse Betriebsunsicherheit involviert, ein Lichtnetz, für eine Stadt wie Zürich, anzuhängen. Stellen Sie sich vor, es würde beispielsweise in der Zeit vor Weihnachten, abends, wenn die Warenhäuser mit Menschen gefüllt sind, ein Unterbruch in der Beleuchtung von auch nur wenigen Minuten eintreten, so könnte dadurch fürchterliches Unglück herbeigeführt werden. Das riskierte ich also nicht, sondern ich sagte mir: Wir müssen hier ein Zwischenglied einschalten, denn wir müssen sowieso den Drehstrom

in Einphasenstrom umformen. Es konvenierte uns am besten, diese Umformung mit rotierenden Umformern vorzunehmen, weil wir dadurch die Möglichkeit haben, sekundär beliebig zu regulieren. Wenn ich rotierende Umformer habe, so will ich die Vorteile, die mir dieses System eben bietet, auch ausnützen, und eine Reserve (Momentan-Reserve) einrichten. Ich hatte seinerzeit berechnet, was sich billiger stellen würde, eine Momentanreserve mit hydraulischen oder mit elektrischen Akkumulatoren. Man hatte sich beispielsweise vorgestellt, unter Benützung des Triebwasserweihers auf dem Zürichberg die Sache so gestalten zu können, dass man mit einer Einphasenmaschine eine Turbine, welche zugleich als Pumpe wirkt, kuppeln würde. Dies käme aber viel zu teuer deswegen, weil man, um ganz sicher zu gehen, eben diese Turbine immer hätte mit etwas Belastung mitlaufen lassen müssen; aber auch dann wäre es noch viel zu lange gegangen, bis sie hätte den Betrieb übernehmen können, d. h. es wäre doch ein Unterbruch eingetreten. Ich habe mich daher entschlossen, nicht diese Lösung durchzuführen, sondern hier mit den Drehstrom-Wechselstrom-Umformern Gleichstrommaschinen direkt zu kuppeln und die letztern an eine Batterie zu legen. Nun bin ich ganz sicher, dass, wenn hier ein Unterbruch eintritt, die Batterie mit der Gleichstrommaschine automatisch die Kraftlieferung für die Einphasenmaschinen übernimmt. Die genannte Batterie besitzt eine Kapazität von etwa 3000 KW Std. Der Drehstrom- und Einphasenstromteil wurde geliefert von der Firma Brown, Boveri & Cie., Baden. Die Gleichstrommaschinen sind erstellt von der Compagnie de l'Industrie Electrique in Genf und die Batterie von der Akkumulatorenfabrik Olten. Wir haben mit dieser Einrichtung bis jetzt sehr gute Erfahrungen gemacht. Wie anlässlich des Unterbruches vom 28. November 1910 das Wasserschloss vorzüglich funktionierte, so funktionierte auch hier alles tadellos, und es trat in der Beleuchtungsanlage kein Unterbruch in der Stromlieferung ein. Es gab natürlich anfänglich in dieser Umformerstation sehr vieles auszuprobieren, denn es ist eine ähnliche Anlage von dieser Grösse noch nirgends ausgeführt worden. Es wurden in vorliegendem Falle an die Maschinen-Konstrukteure viele Anforderungen gestellt, die an sie noch gar nie gestellt worden sind. Aber es darf heute gesagt werden, dass die Einrichtung tadellos funktioniert. Es ist keine kleine Aufgabe für eine Gleichstrommaschine, wenn sie von einem Moment auf den andern 3000 Ampère auf den Kollektor bekommt. Das sind bedeutende Leistungen, und ich kann zur Ehrenrettung der Konstruktionsfirma sagen, dass diese Leistungen anstandslos geliefert wurden, und dass wir heute eine vorzügliche Anlage besitzen, die sich schon wiederholt bewährt hat.

Ich hätte noch manches zu erzählen über die Haupttransformatorenstationen, welche in die Ringleitung eingebaut sind, ich könnte Ihnen auch noch verschiedenes berichten über die Tram-Umformerstation, aber ich muss nun wohl der vorgerückten Zeit wegen hier abbrechen. Dennoch möchte ich nicht schliessen, ohne noch eine Schlussbetrachtung gemacht zu haben: Wenn man ein solches Werk baut, so macht man nicht nur verschiedene Erfahrungen hinsichtlich des Baues und hinsichtlich des Betriebes, sondern man erfährt leider auch viele Dinge, die dazu angetan sind, einen in der pessimistischen Lebensaufassung zu bestärken und den Optimismus zu dämpfen. Es sollte nicht vorkommen, dass man mit wenigen Ausnahmen, nirgends auf ein wirkliches technisches Interesse stösst und dass man immer nur sehen muss, wie bei der geringsten Schwierigkeit, die entsteht, unsere Kollegen mehr Schadenfreude als Interesse an den Tag legen. Man sollte nicht die Ueberzeugung bekommen, dass alles, was man sich gegenseitig je und je so schön sagt, in Tat und Wahrheit mehr oder weniger immer nur Heuchelei, Lug und Trug ist.
