

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE.

Nr. 6.

Sonnabend, den 7. Februar 1903.

Band 47.

Inhalt:

Der Betrieb der Valtellina-Bahn mit hochgespanntem Drehstrom. Von E. Cserhâti und K. v. Kandò	185	mit zwei Dampfkräusen. — Die drei heute gebräuchlichen Verfahren zur Herstellung von Stirnzahnrädern	210
Versuche über die Festigkeit von Schmirgel- und Karborundum- scheiben. Von M. Gröbler	195	Bücherschau: Bei der Redaktion eingegangene Bücher	212
Die Dampfturbinen und die Aussichten der Wärmekraftmaschinen. Von A. Stodola (Fortsetzung)	202	Zeitschriftenschau	213
Abhängigkeit der Wirksamkeit des Oelabscheiders von der Be- schaffenheit des den Dampfzylindern zugeführten Oeles. Von C. Bach	206	Rundschau: Städtische Technische Lehranstalt in Manchester. — Verschiedenes	216
Bede zum Geburtsfeste Sr. Maj. des Kaisers und Königs Wilhelm II. Von O. Kammerer	207	Patentbericht: Nr. 136238, 136324, 136490, 136683, 136413, 136554, 136887, 135169, 136252, 136208, 136733, 137818	219
Chemnitz B.-V.: Die Walzenrostfeuerung von Plontek. — Eigen- artige Erscheinungen im Betriebe von kombinierten Kesseln		Zuschriften an die Redaktion: Die Elektrizität im Berg- und Hüttenwesen auf der Industrie- und Gewerbeausstellung in Düsseldorf 1902	220
		Angelegenheiten des Vereines: Mitteilungen über Forschungs- arbeiten, Heft 7	220

Der Betrieb der Valtellina-Bahn mit hochgespanntem Drehstrom.

Von Eugen Cserhâti und Koloman von Kandò.

I. Grundsätzliche Erwägungen über Vollbahnbetrieb mit hochgespanntem Drehstrom.

Der Betrieb von Vollbahnen ist für den Elektrotechniker ein besonderer Fall der elektrischen Kraftübertragung. Diese technische Aufgabe wird durch zwei Umstände bestimmt: durch die Entfernung und die zu übertragende Arbeitsleistung. Vergleicht man unter diesen beiden Gesichtspunkten den üblichen Straßenbahnbetrieb mit dem Betriebe auf Vollbahnen, so findet man einen jähen Sprung ohne Uebergang; im einen Falle Entfernungen von 10 bis 20 km gegenüber solchen von mehreren hundert im andern, und einen Kraftbedarf von 20 bis 30 PS gegenüber 500, ja 1000 PS.

Für die Arbeitsübertragung auf so große Entfernungen ist der hochgespannte Wechselstrom dem Gleichstrom durch die Einfachheit der Wechselstrom-Transformatoren und durch die Leichtigkeit, Wechselstrommotoren für hohe Spannungen zu bauen, schon seit lange überlegen; heutzutage denkt niemand mehr bei der Ausführung einer solchen Kraftübertragung an 500- oder 700 voltigen Gleichstrom.

Es ist also nicht gut erklärlich, warum der Wechselstrom bisher für Zwecke des Bahnbetriebes nur vereinzelt und mit Spannungen über 750 V überhaupt nicht angewendet worden ist. Der Grund dieser Erscheinung dürfte außer der Gefährlichkeit des hochgespannten Drehstromes hauptsächlich in dem Umstände zu suchen sein, daß die längeren, für elektrischen Betrieb umgestalteten Vollbahnstrecken stets nur für einen straßenbahnartigen Verkehr einzurichten waren. Bei einem solchen Verkehr war es möglich, längere Strecken in der Weise mit Gleichstrom zu versehen, daß für verhältnismäßig kurze Teilstrecken besondere Stromerzeugungsanlagen errichtet wurden.

In diesen Anlagen werden die Gleichstromdynamos entweder durch Dampfmaschinen oder durch Motoren, welchen der hochgespannte Drehstrom aus einem gemeinsamen Kraftwerk zugeführt wird, angetrieben. Statt Motordynamos kann man auch rotierende Umformer verwenden; doch ist es für letztere notwendig, die Spannung durch Wechselstrom-Transformatoren zu vermindern. Diese Anordnung läßt sich nur dann mit Vorteil verwenden, wenn der Verkehr genügend dicht ist und die Zugeinheiten klein sind, sodaß die Belastung der Streckenkraftwerke verhältnismäßig gleichmäßig (es entfallen mehrere in Bewegung begriffene Züge auf jede Strecke) und die Höchstbelastung (mit Rücksicht auf die kleinen Züge) nicht allzu groß wird.

Sobald jedoch dieses System für einen vollbahnartigen Verkehr verwendet werden soll, stößt man auf die Schwierigkeit, daß die schweren Güterzüge und die durchgehenden in-

ternationalen Eilzüge eine straßenbahnartige Auflösung nicht gestatten; es müssen vielmehr große Zugeinheiten in längeren Zeiträumen abgelassen werden, die zu ihrer Beförderung mehrere 100 PS erheischen. Es werden daher die augenblicklichen Höchstbelastungen der einzelnen Streckenkraftwerke in einem viel bedeutenderen Maße von deren Durchschnittsbelastung abweichen, als es bei den Kraftwerken für Straßenbahnen der Fall ist.

Auf Straßenbahnen mit Zugabständen von 5 bis 20 Minuten beträgt der größte Strombedarf das 1,5- bis 3fache des durchschnittlichen; dieses Verhältnis wird noch viel ungünstiger bei einem vollbahnartigen Verkehr.

Nehmen wir eine wagerechte gerade Bahnstrecke von 15 km; die Entfernung der Stationen voneinander sei 8 km; die Züge sollen in Zeiträumen von 1,5 st in beiden Richtungen in Gang gesetzt werden; die größte Geschwindigkeit betrage 70 km/st, das Gewicht eines jeden Zuges 300 t.

Der größte Stromstoß entsteht, wenn zwei Züge auf demselben Streckenteil zugleich abgelassen werden; jedoch sei der Fahrplan so festgesetzt, daß dies als ausgeschlossen angenommen werden kann. Hingegen kann es vorkommen, daß sich der eine Zug im Anfahren, der andere in voller Fahrt befindet. In diesem Falle wird der größte Stromstoß das 7fache des durchschnittlichen Strombedarfes betragen.

Wenn drei Züge einander auf einem Streckenabschnitt begegnen, oder wenn zwei Züge zugleich abgelassen werden, so kann das 10fache des Durchschnittes erreicht werden.

Es ist hierbei nicht außer acht zu lassen, daß sich diese Berechnung auf einen ziemlich regen Verkehr bezieht, und daß die Verhältnisse sich bei einem weniger dichten Verkehr viel ungünstiger gestalten.

Werden nun die Streckenkraftwerke dieser größten Belastung entsprechend bemessen, so werden sie viel größer ausfallen, als der durchschnittlichen Belastung entspricht; somit wird ihre Ausnutzung gering, ihre Wirtschaftlichkeit ungünstig. Außerdem werden die Anlagekosten so hoch, daß dadurch der elektrische Betrieb vielleicht unmöglich wird.

In derartigen Fällen muß man statt eines solchen starren Systems ein schmiegsameres wählen; das erhält man durch die Anwendung von Akkumulatorenbatterien. Doch wird der praktische Wert dieser Lösung einerseits durch die Höhe des festzulegenden Kapitals, anderseits durch die namhaften Instandhaltungskosten wesentlich beeinträchtigt. So würde der Preis einer dem angenommenen Falle entsprechenden Akkumulatorenbatterie 145000 M betragen und ihre Instandhaltung jährlich 6 bis 7000 M erfordern.

Man erhält eine viel billigere Lösung, wenn man, statt den Wechselstrom in Unterstationen in Gleichstrom umzuwandeln, seine Spannung mittels Wechselstrom-Transformatoren herabmindert und den Wechselstrom mit niedrigerer Spannung unmittelbar zur Speisung der Fahrzeugmotoren benutzt.

Die Fähigkeit der Wechselstrom-Transformatoren, bedeutende Ueberlastungen vertragen zu können, wird im Gegensatz zu Gleichstrom-Dynamomaschinen, die nur selten mehr als 50 vH Ueberlastung aushalten, nur durch die Erwärmung oder durch den Spannungsabfall beschränkt. Wenn die Grenze der Ueberlastung nicht durch den größten Stromstoß und den durch ihn hervorgerufenen großen Spannungsabfall bestimmt wird, so muß der Transformator vom Gesichtspunkte der Erwärmung nur um dasjenige Maß über die durchschnittliche Belastung bemessen werden, um welches die Quadratwurzel aus dem Mittelwert der Quadrate der augenblicklichen Stromstärken größer ist als der algebraische Mittelwert derselben Stromstärken.

Im vorliegenden Fall wäre eine Gleichstromdynamo von mindestens 1000 KW normaler Leistung nötig, während bei Verwendung von Wechselstrom ein Transformator von 350 KW dem Zwecke vollkommen entspricht. Man sieht daher, daß, während die Gleichstrommaschine für die fragliche Unterstation, falls keine Ausgleichbatterie zur Verwendung kommt, mindestens für das 5fache der Durchschnittsbelastung zu bemessen wäre, der Wechselstrom-Transformator nur um 67 vH größer zu sein brauchte als die Durchschnittsbelastung. Der Preis eines solchen Transformators beträgt ungefähr 20000 M, somit den siebenten Teil der Kosten der Akkumulatorenbatterie, wobei die Kosten der Gleichstromdynamo oder des Umformers noch garnicht inbetracht gezogen sind.

Die Verhältnisse gestalten sich für den Wechselstrom noch günstiger, wenn man statt der niedrigen Spannung auch in der Arbeitsleitung Strom von höherer Spannung verwendet, da hierdurch der Wirkungskreis der einzelnen Stationen wesentlich vergrößert und die durchschnittliche Belastung der Unterstationen dadurch, daß längere Streckenteile in ihr Gebiet einbezogen werden, ebenfalls vergrößert wird. Auf diese Art wird das Verhältnis zwischen der größten und der durchschnittlichen Belastung günstiger, und es wird sowohl die Wirtschaftlichkeit des Betriebes verbessert als auch die Anlagekosten verringert.

Dies gilt nicht nur für die Unterstationen, sondern auch für die den Primärstrom liefernden Hauptkraftwerke, und zwar noch in erhöhtem Maße. Je höher die Spannung des Hauptkraftwerkes ist, umso mehr Unterstationen und daher eine umso größere Strecke kann angeschlossen werden, und da hierbei die auf den einzelnen Strecken auftretenden Stöße einander besser ausgleichen, gestaltet sich das Verhältnis des größten und des durchschnittlichen Strombedarfes günstiger.

Doch ist dies nicht der einzige Vorteil der Verwendung der hohen Spannung; die hohe Spannung vermindert in sehr fühlbarer Weise auch den Materialaufwand für die elektrischen Leitungen. Die Querschnitte der Leitungen stehen nämlich bei verschiedenen Spannungen, bei denselben zu übertragenden Energiemengen, bei denselben Entfernungen und bei denselben in den Leitungen gestatteten Arbeitsverlusten in geradem Verhältnis mit den Quadraten der Stromstärken. Vergleicht man nun den 3000 voltigen Drehstrom mit dem 700 voltigen¹⁾ Gleichstrom, so findet man, daß die Querschnitte der Leitungen bei denselben zu übertragenden Energiemengen, bei denselben Entfernungen und bei denselben in den Leitungen stattfindenden Arbeitsverlusten bei 700 voltigem Gleichstrom zehnmal so groß sind wie bei 3000 voltigem Drehstrom. Umgekehrt kann die Entfernung der Stromerzeugerstationen voneinander bei gleichen Leitungsquerschnitten, gleich hohen Arbeitsverlusten und für die Lieferung der gleichen Energiemengen bei 3000 voltigem Drehstrom zehnmal so groß sein wie bei 700 voltigem Gleichstrom. Es ist noch zu bemerken, daß die in den Schienenrückleitungen auftretenden Energieverluste umso weniger vernachlässigt werden können, je nie-

driger die Spannung und je höher die Stromstärke ist; denn während bei hoher Spannung und kleiner Stromstärke diese Verluste so gering sind, daß man sie vernachlässigen kann, kann der Verlust bei kleinen Spannungen (500 bis 700 V), falls die übertragene Arbeitsmenge mehrere 100 oder 1000 PS beträgt, in den Schienen solchen Umfang annehmen, daß das nicht mehr statthaft ist. Somit gestaltet sich das Verhältnis für hohe Spannungen noch günstiger.

In Zahlen ausgedrückt kosten die bei 3000 voltigem Drehstrom erforderlichen beiden Kupferdrähte von 8 mm Dmr. für 1 km 1700 M, während der Preis der bei 700 voltigem Gleichstrom notwendigen Leitung von 100 qmm Querschnitt 17000 M, also das 10fache, beträgt.

Wenn man im Falle der Verwendung von Gleichstrom eine dritte Schiene als Kontaktleitung benutzt, so wäre mit dem Kupferkabel von 1000 qmm Querschnitt eine Stahlschiene von 62 $\frac{1}{2}$ kg gleichwertig; ihre Kosten sind geringer als die des Kupferkabels; aber dennoch würden sie für 1 km, Schienenstoffsverbindungen aus Kupfer nicht hinzugerechnet, etwa 12000 M betragen.

Sind die Belastungsschwankungen groß, so erhöhen sich auch bei Drehstrom-Kraftwerken die Anlage- und die Betriebskosten. Deshalb soll die Spannung der Leitung zwischen dem Hauptkraftwerk und den Transformatorstationen so groß sein, daß sie sämtliche Unterstationen der ganzen Linie zu speisen vermag, damit die Stöße der Unterstationen sich untereinander ausgleichen und auf diese Weise eine möglichst gleichmäßige Belastung erzielt wird.

Während es also nicht zweckmäßig ist, die Spannung der Kontaktleitung bis zur äußersten Grenze zu steigern, um dadurch die Belastungsverhältnisse günstiger zu gestalten, empfiehlt es sich im allgemeinen, eine möglichst große Spannung des Hauptwerkes zur Speisung der Transformator-Unterstationen zu wählen.

Ein anderer Umstand, welcher bei der Wahl der Spannung der Kontaktleitung inbetracht gezogen werden muß, ist die Frage der Kontaktvorrichtung und der mit ihrer Hilfe abzunehmenden Stromstärke.

Im Falle der Anwendung von Gleichstrom ist es möglich, eine beliebige Stromstärke abzunehmen, da die als Leitung dienende dritte Schiene so viele Kontaktvorrichtungen anzu- bringen gestattet, wie der Zug Achsen besitzt.

Die Sache verhält sich aber anders, wenn Luftleitung für die Stromabgabe angewendet wird. In diesem Falle kann der Druck, welchen die Kontaktvorrichtungen auf die Leitung ausüben, nur sehr beschränkt sein, da, wenn die Kontaktvorrichtung von unten gegen den Draht gedrückt wird — und dies ist der günstigere Fall —, der Gesamtdruck die Aufhängungen der Leitung nicht gänzlich entlasten darf, weil dies gefährliche Schwingungen des Drahtes verursachen würde.

Die Strommenge, die man mit einem Rollenkontakt abnehmen kann, beträgt erfahrungsgemäß 300 Amp, wie dies auf amerikanischen Trolley-Bahnen wiederholt beobachtet worden ist. Stromstöße von 500 Amp verursachen schon Funken-sprühen und eine rasche Abnutzung der Kontaktrolle.

Wenn die größte vom Kontaktdrahte abnehmbare Stromstärke 300 Amp beträgt, so ist die größte dem Kontaktdrahte zu entziehende Arbeitsleistung

bei 1000 V rd.	500 PS
» 2000 » »	1000 »
» 3000 » »	1500 »
» 5000 » »	2500 »

Es entspricht also vom Standpunkte der Stromabnahme bereits eine Kontaktspannung von etwa 3000 V den Verhältnissen des heutigen Vollbahnbetriebes, da Lokomotiven mit größeren Leistungen als 1500 PS mit Rücksicht auf die heutigen Einrichtungen der Bahnen einstweilen noch nicht angewendet werden.

Bisher haben wir untersucht, bis zu welcher Grenze die Spannung zweckmäßig zu erhöhen ist. Welches sind nun die Nachteile, wenn man diese Grenze überschreitet? Im allgemeinen liegen sie in der Schwierigkeit der Ausführung, hauptsächlich aber in der Isolation, im Motor und in den übrigen Vorrichtungen.

¹⁾ 700 V war bis jetzt die für Vollbahnen angewendete höchste Gleichstromspannung, da die Konstruktion der Gleichstrom-Bahnmotoren — wie durch vieljährige Erfahrungen bewiesen — eine höhere Spannung als 500 bis 700 V nicht gut verträgt.

Die Berliner Studiengesellschaft für elektrische Schnellbahnen, welche auf der ihr zur Verfügung gestellten Militärbahn Marienfelde-Zossen Versuche durchgeführt hat, um zu ermitteln, wie weit die Geschwindigkeit der elektrisch beförderten Züge erhöht werden kann, ließ die Arbeitsleitungen mit einem Strom von 12000 V speisen. Diese Spannung wurde auf dem Versuchswagen der A. E. G. auf 435 V, auf dem von Siemens & Halske A.-G. auf 1150 V (beim Angehen auf 1850) herabtransformiert und der Strom mit dieser niedrigen Spannung den Motoren zugeführt¹⁾.

Hierdurch entfällt jedoch einer der Hauptvorteile des elektrischen Betriebes, nämlich die Leichtigkeit der Fahrzeuge, da das Gewicht des Transformators mit der Leistungsfähigkeit der elektrischen Lokomotive oder des Motorwagens zunimmt und bei einer Lokomotive von 1200 bis 1300 PS schon 15 t beträgt.

Die Spannung in den Kontaktdrähten um diesen Preis zu erhöhen, ist nicht zweckmäßig; deshalb erscheint diejenige Spannung als die praktische Grenze,

für welche die Motoren und Vorrichtungen noch mit einer den Erfordernissen der Praxis entsprechenden Sicherheit hergestellt werden können.¹⁾ Dies kann man umso eher gelten lassen, als, wie erwähnt, für diejenige Spannung, welche einerseits durch die Wirtschaftlichkeit der Leitungs- und der Transformatoranlagen, andererseits durch die zweckentsprechende Wirkungsweise der Kontaktvorrichtungen bei den heutigen Betriebsverhältnissen erfordert wird, die Motoren und Ausrüstungsgegenstände mit vollkommener Sicherheit hergestellt werden können.

Ein Umstand, welcher die Verwendung des hochgespannten Stromes für Bahnzwecke erschwert, ist seine Lebensgefährlichkeit. Die Frage der Verwendbarkeit hochgespannten Stromes vom Standpunkte der Lebensgefahr und der Betriebssicherheit wird in sehr interessanter Weise durch die Gutachten von Silvanus P. Thompson, Prof. H. F. Weber und Gisbert Kapp beleuchtet, welche anlässlich der Konzessionierung der Burghard-Thuner Bahn von der Firma Brown, Boveri & Cie. zum Studium dieser Frage²⁾ aufgefördert worden waren. Sie haben übereinstimmend und voneinander unabhän-

Fig. 1. Lageplan der Valtellina-Bahn.

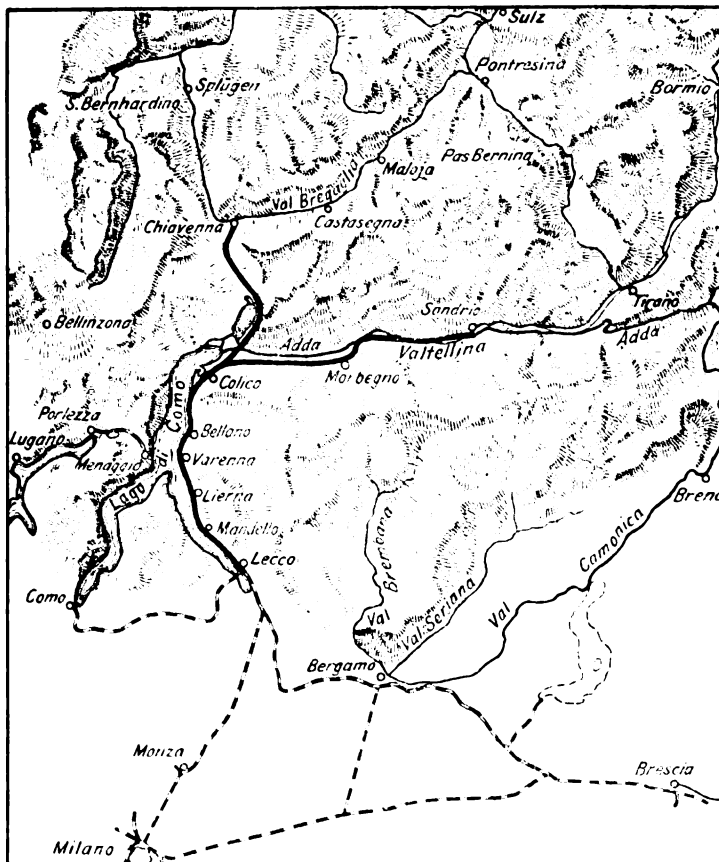


Fig. 2 bis 4. Längsprofile.

Fig. 2. Längsprofil der Strecke Lecco-Colico.

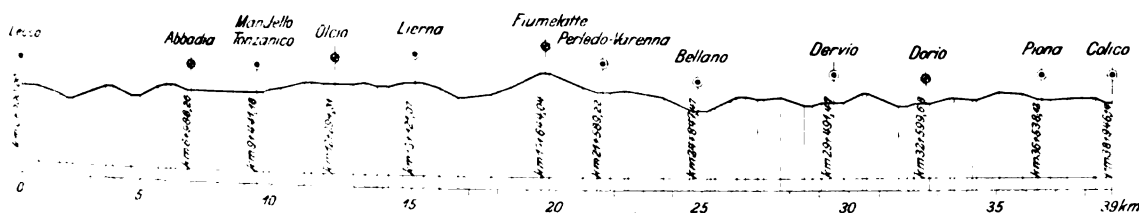


Fig. 3. Längsprofil der Strecke Colico-Sondrio.

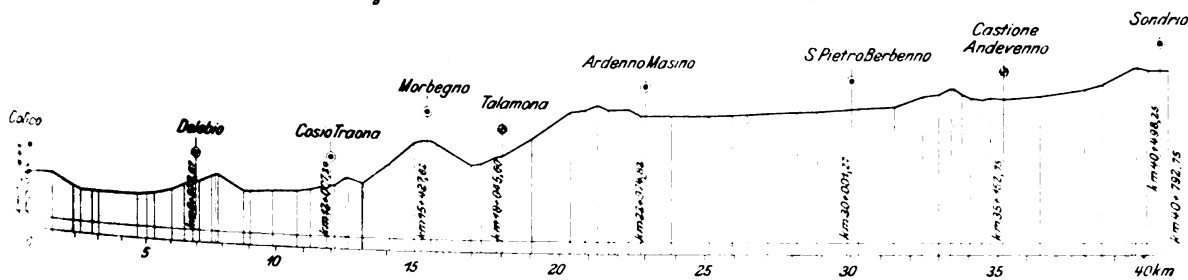
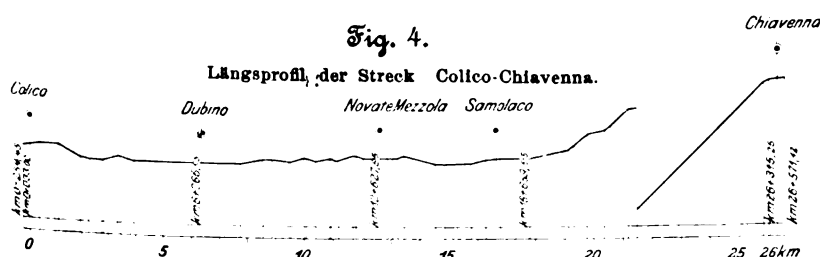


Fig. 4.

Längsprofil der Strecke Colico-Chiavenna.



gig die Verwendung hochgespannten Stromes befürwortet. Sehr beachtenswert ist das Gutachten von Prof. Weber, der durch eine Versuchsreihe, die er zumteil an sich selbst ausgeführt hat, nachweist, daß der elektrische Strom unter Umständen schon nahe bei 100 V lebensgefährlich werden kann, und andererseits, daß selbst ein 300 voltiger Strom nicht unbedingt gefährlich sein muß, wenn die Verhältnisse günstig sind. Somit sei es unbegründet, die Spannungen vom Gesichtspunkte der Lebensgefahr zwischen bestimmte Grenzen einzuschränken. Andererseits stimmen die drei Gutachten darin überein, daß man durch richtige Konstruktion und gute Ausführung die Reisenden

gewisse Grenze einhalten, da sonst die voneinander unabhängigen Strecken zu lang ausfallen und man bei Leitungsreparaturen gezwungen wäre, sehr lange Strecken außer Betrieb zu setzen. Die Speiseleitung der Transformatorstationen, die Primärleitung, fällt nicht unter diese Gesichtspunkte, weil sie der Abnutzung nicht unterworfen ist.

Hingegen ist der Nachteil der kurzen Strecken: die im Verhältnis zu den größten Stromstößen geringe mittlere Belastung, wie wir vorher sahen, im Falle der Anwendung von Wechselstromtransformatoren nicht so groß wie bei Verwendung von Gleichstrom.

Fig. 5 und 6.

Lageplan und Längsprofil des Oberwassergrabens.

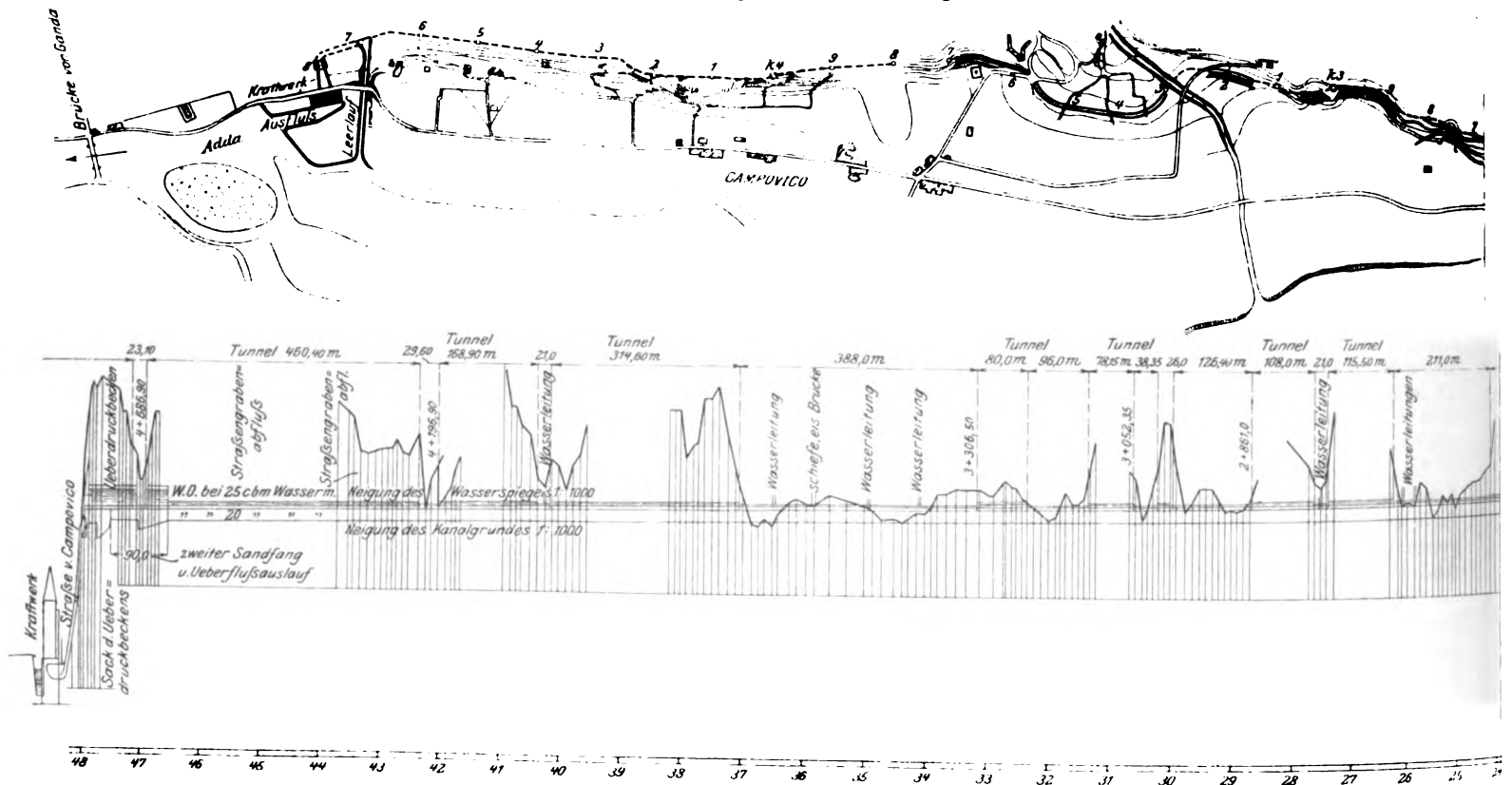
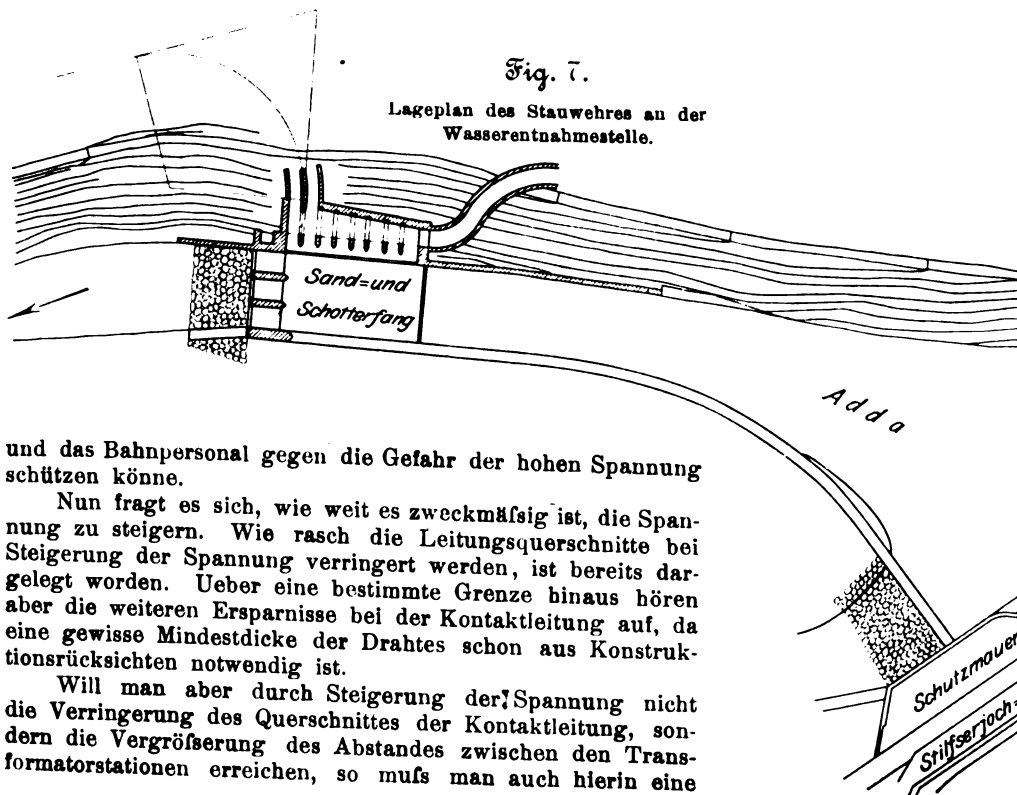


Fig. 7.

Lageplan des Stauwehres an der Wasserentnahmestelle.



und das Bahnpersonal gegen die Gefahr der hohen Spannung schützen könne.

Nun fragt es sich, wie weit es zweckmäßig ist, die Spannung zu steigern. Wie rasch die Leitungsquerschnitte bei Steigerung der Spannung verringert werden, ist bereits dargestellt worden. Ueber eine bestimmte Grenze hinaus hören aber die weiteren Ersparnisse bei der Kontaktleitung auf, da eine gewisse Mindestdicke der Drahtes schon aus Konstruktionsrücksichten notwendig ist.

Will man aber durch Steigerung der Spannung nicht die Verringerung des Querschnittes der Kontaktleitung, sondern die Vergrößerung des Abstandes zwischen den Transformatorstationen erreichen, so muß man auch hierin eine

Falls der größte Stromstoß nur 5- bis 6 mal größer ist als die durchschnittliche Belastung, ist es zwecklos, die Spannung nur deshalb zu erhöhen, um mit der größeren Entfernung der Transformator-Unterstationen voneinander dieses Verhältnis herabzumindern.

Ein weiterer Vorteil der Anwendung des Mehrphasen-Wechselstromes besteht auch in der Eigenschaft der Drehstrommotoren, daß, wenn eine äußere Kraft die Umlaufzahl eines solchen Motors zu erhöhen bestrebt ist, der Motor Strom in die Leitungen sendet. Diese Eigenschaft ist von besonderem Werte für Vollbahnen. Fährt ein Zug bergab und wird die Geschwindigkeit größer, als es der normalen Umlaufzahl der Motoren entspricht, so wird der Zug durch die Motoren gebremst; die abgebremste Energie wird jedoch nicht vernichtet und in Wärme umgewandelt, sondern fließt in Form

Die sogenannte Kaskadenschaltung der Mehrphasenmotoren macht es möglich, die normale Geschwindigkeit auf die Hälfte zu vermindern, sodass der Zug mit zweierlei Geschwindigkeiten verkehren kann. Wenn nun die Motoren des mit voller Geschwindigkeit fahrenden Zuges auf die halbe Geschwindigkeit geschaltet werden, so wird die dem Unterschied

Der hochgespannte Strom besitzt noch den Vorteil, daß die durch ihn bedingten kleinen Stromintensitäten ermöglichen, auf den Stationen die ver-

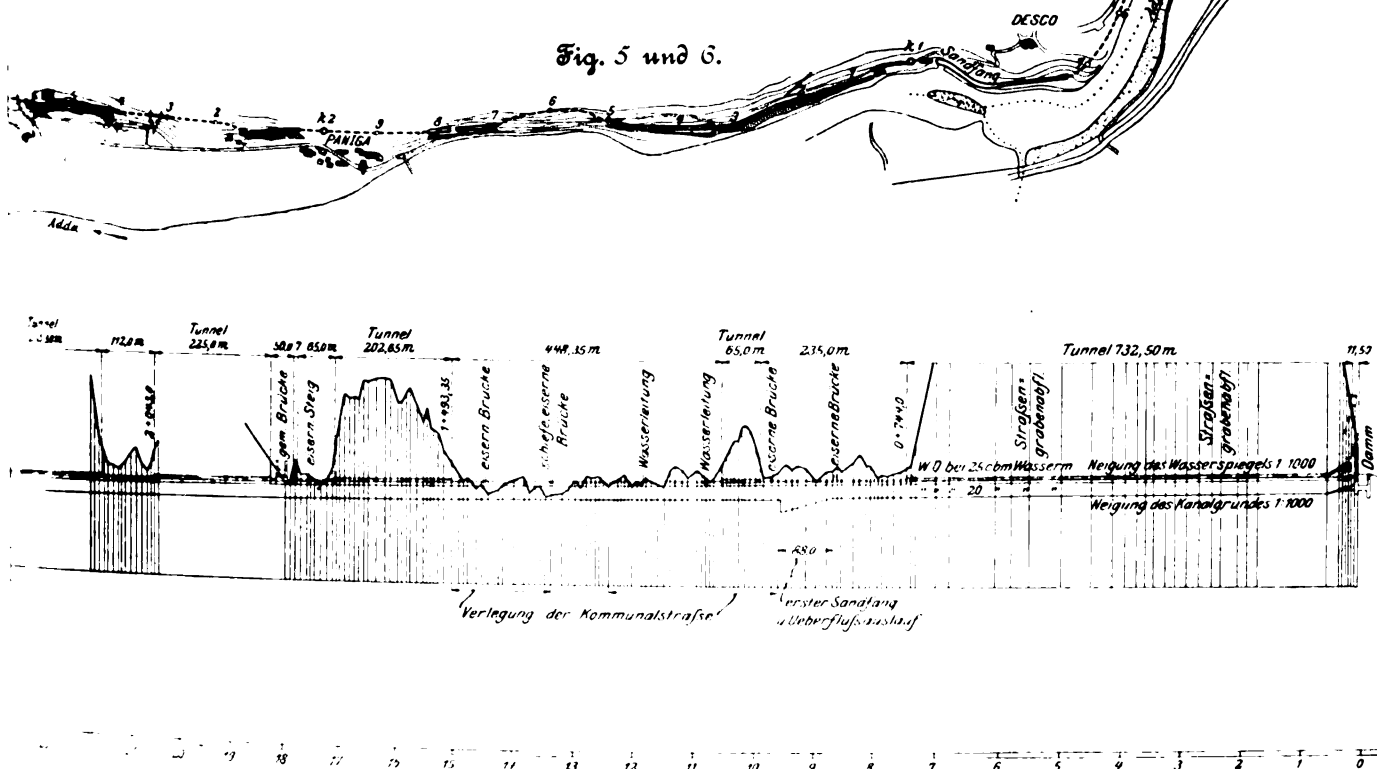
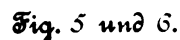
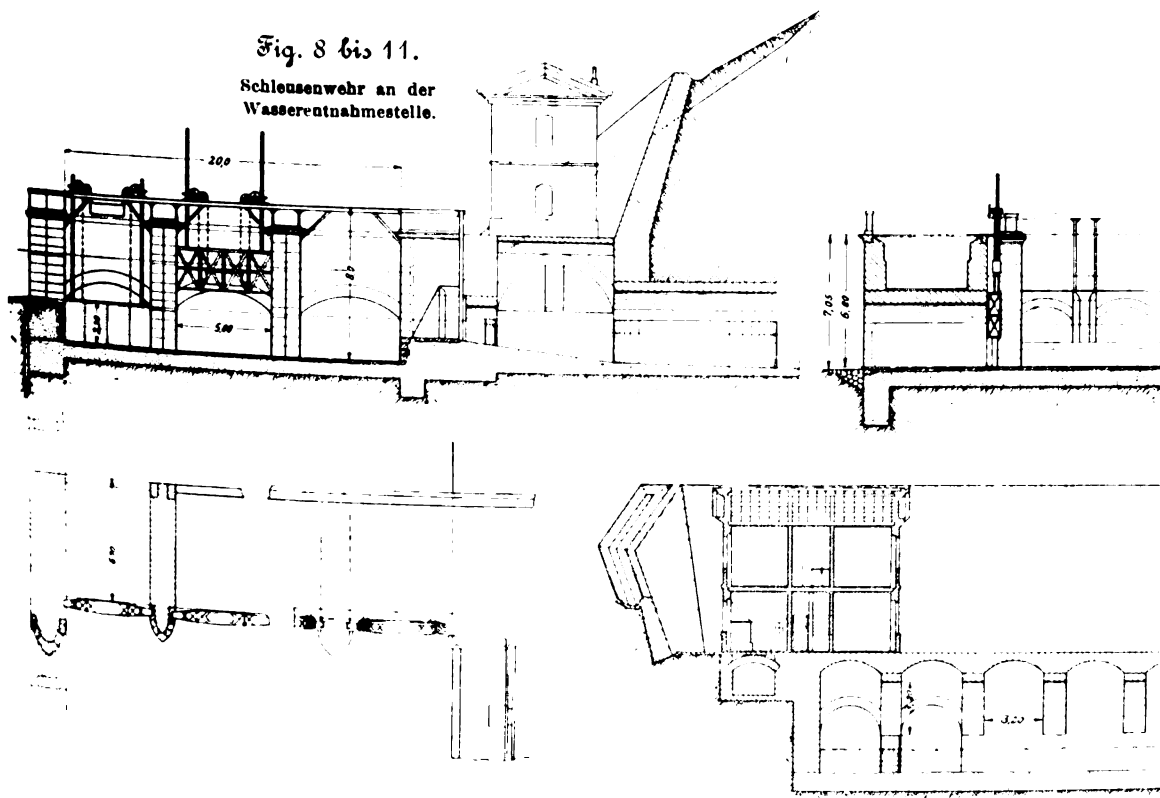


Fig. 8 bis 11.

**Schlusenwehr an der
Wasserentnahmestelle.**



schiedenen Leitungsabschnitte, mit der Zentralweichenstellung und den Blocksignalen kombiniert, zur Sicherung der Station oder einzelner Gleisgruppen zu benutzen. So kann z. B. an den beiden Enden der Station eine Linienstrecke von einigen

100 m mittels besonderer Ausschalter aus dem Stromkreis aus- und wieder einschaltbar gemacht werden.

Dabei wird diese Vorrichtung derart mit dem Klinkerwerke des Zentralweichenstellers verbunden, daß die blockierte

Strecke nur dann einschaltbar ist, wenn die Weichen zur Aus- und Einfahrt des Zuges bereits richtig gestellt sind.

Diese in den größeren Stationen etwas verwickelten Leitungseinrichtungen auszuführen, ist bei niedriger Spannung wegen der großen

Leitungsquerschnitte und der großen schwer zu handhabenden Ausschalter oft unmöglich oder nur mit hohen Kosten erreichbar, während bei Verwendung von hoher Spannung die kleinen Stromintensitäten ermöglichen, mit leichten und dünnen Luftleitungen sowie mit einfachen und billigeren Ausschaltern die Frage sicher und billig zu lösen.

Zur Anwendung des nach diesen Grundsätzen aufgebauten Systemes bot die italienische Regierung die erste Gelegenheit, indem sie an die beiden großen italienischen Eisenbahnen, die Società per le Strade Ferrate Meridionali und die Strade Ferrate del Mediterraneo, die Aufforderung ergehen ließ, die Frage des elektrischen Bahnbetriebes zu studieren und Vorschläge dafür zu machen. Es handelte sich also in diesem Falle nicht um den Versuch der Einführung eines straßenbahnartigen Verkehrs auf vereinzelt Linien, wie man dies in Amerika und neuerdings in Frankreich trifft, auch nicht darum, auf gerader, ebener Strecke Züge mit 150 bis 200 km Geschwindigkeit zu fördern, sondern es galt, ein System auszuarbeiten, das geeignet wäre, den Dampfbetrieb vollständig zu ersetzen.

Man hat wohl bei dem Entwurf des Fahrplanes für die Verkehrsstrecke die Anzahl der Züge vermehrt, ihre Aufnahmefähigkeit hingegen verkleinert und

Fig 12 bis 15. Querschnitte des Oberwassergrabens.

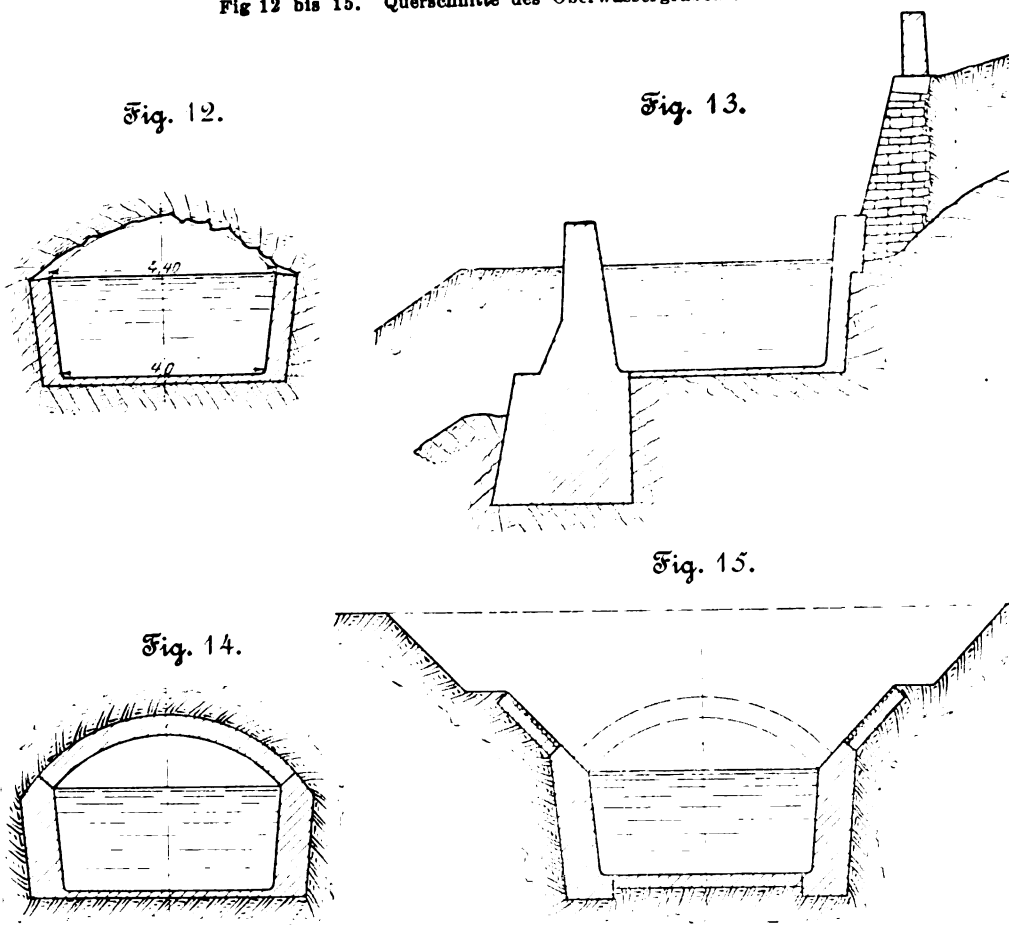


Fig. 16 bis 18. Wasserschloß und Röhrenkammer.

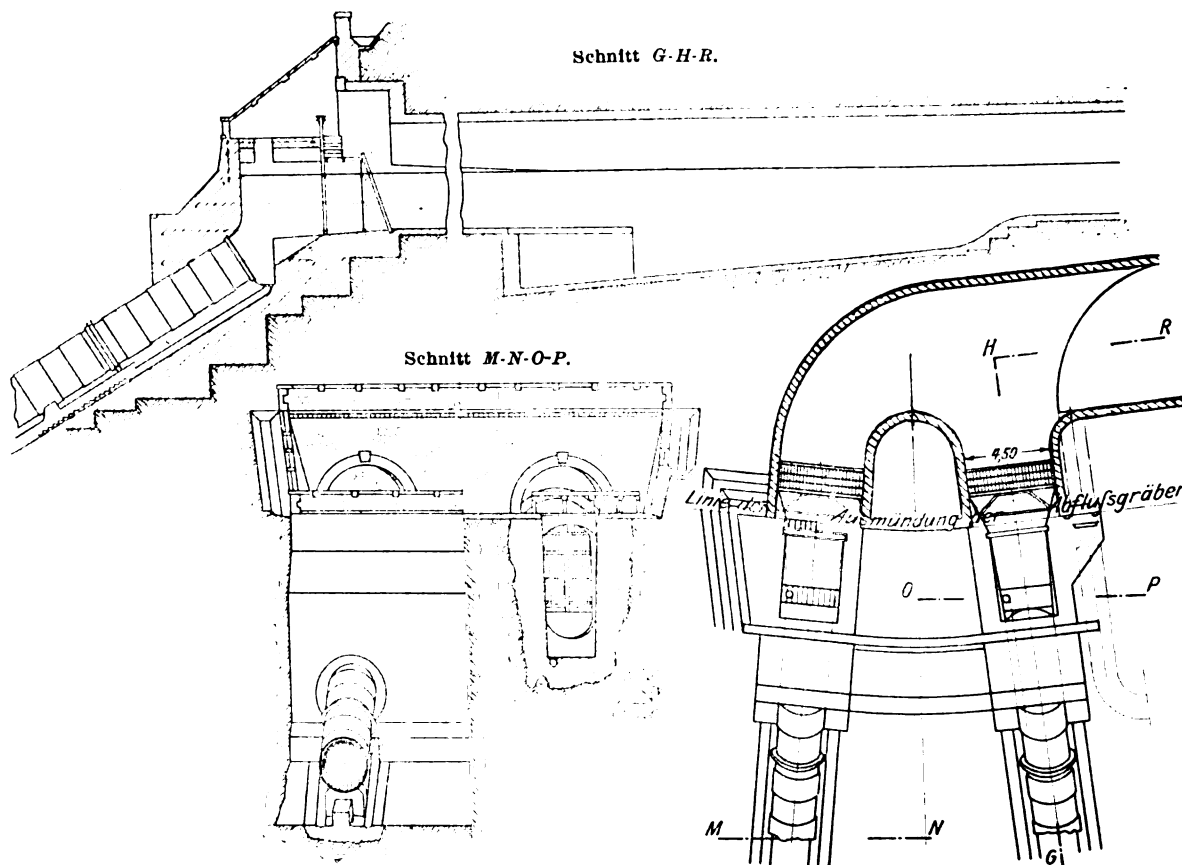
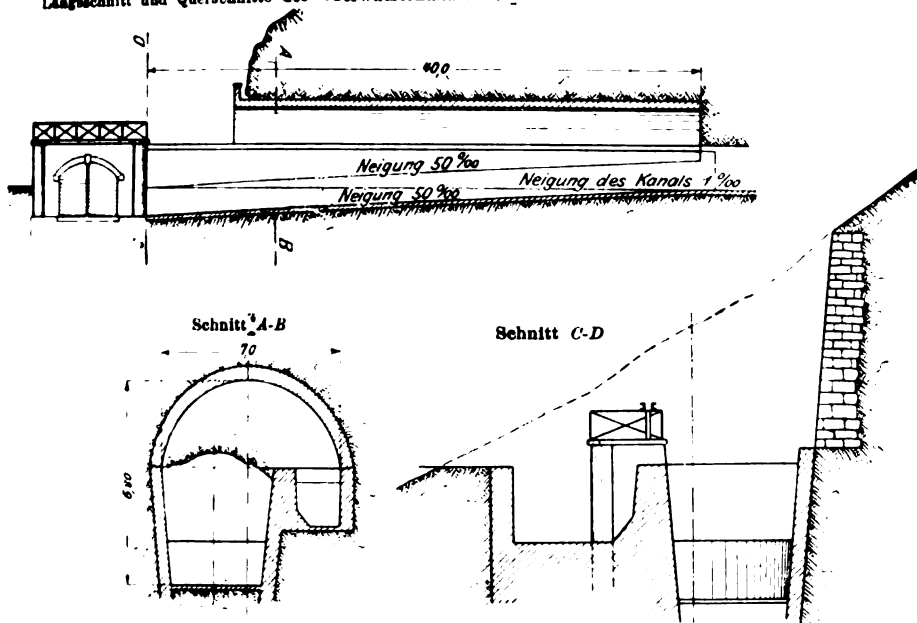


Fig. 19 bis 21.

Längsschnitt und Querschnitte des Oberwasserkanals bei der Freilaufschütze.



na-Colico-Sondrio am 4. September, die Linie Lecco-Colico am 15. Oktober 1902 dem öffentlichen Verkehr übergeben.

Im folgenden soll die elektrische Einrichtung dieser Linien eingehender beschrieben werden.

II. Die elektrische Einrichtung der Valtellina-Bahn.

Die Bahnlinie zieht sich an der östlichen Küste des Comer Sees bis Colico entlang, wo sie sich teilt und gegen Norden bis Chiavenna, gegen Osten bis Sondrio im Veltliner Tal oder Valtellina läuft.

Die einzelnen Teilstrecken haben folgende Längen:

somit einen dem Straßenbahnverkehr ähnlichen Fahrplan festgesetzt; doch waren schon hier mit Rücksicht auf die Anschlüsse an andere Linien die Erfordernisse des Vollbahnverkehrs im Auge zu behalten, und das System mußte so ausgearbeitet werden, daß es auch den Anforderungen des internationalen Verkehrs entsprechen konnte.

Die Società per le Strade Ferrate Meridionali forderte die Firma Ganz & Comp. auf, diese Frage in Gemeinschaft mit ihr zu studieren. Die Verhandlungen begannen im Januar 1898. Die kgl. Generalinspektion der italienischen Eisenbahnen nahm den Entwurf von Ganz & Comp. über die elektrische Einrichtung der bis dahin mit Dampflokomotiven betriebenen Strecken Lecco-Colico-Chiavenna und Colico-Sondrio im April 1898 an. Der Vertrag zwischen der Direktion der Rete Adriatica und der Firma Ganz & Comp. wurde im März 1899 abgeschlossen, der Bau im Januar 1900 begonnen und die Strecke Chiaven-

Fig. 22.

Lageplan des Kraftwerkes.

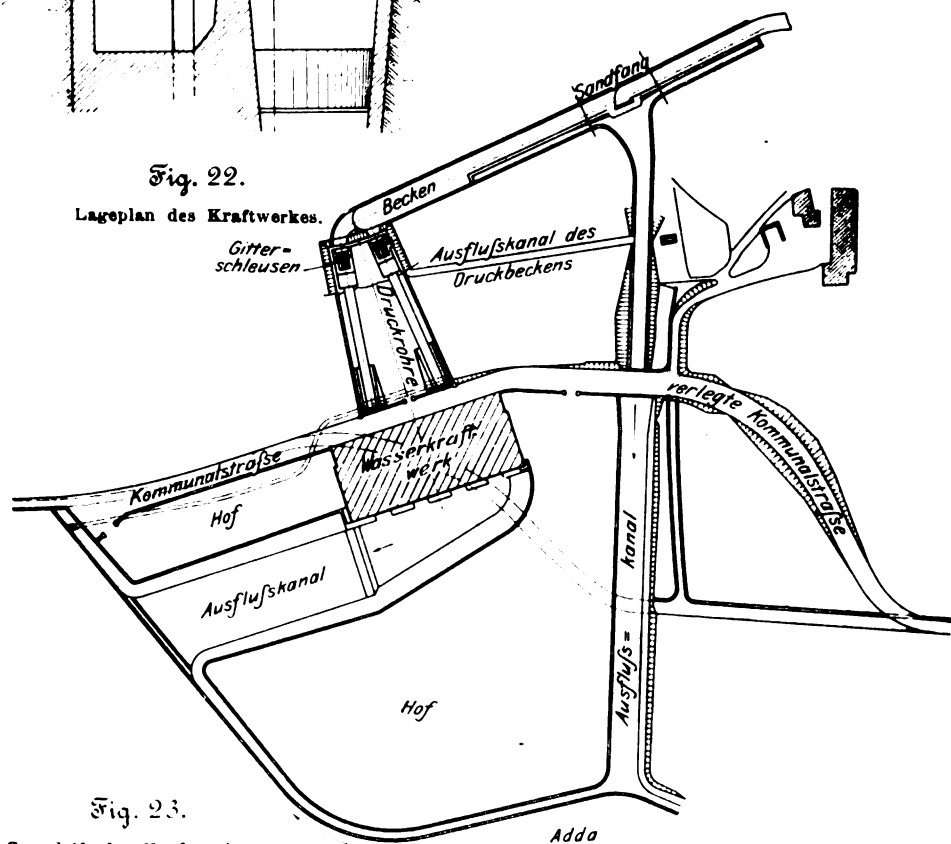
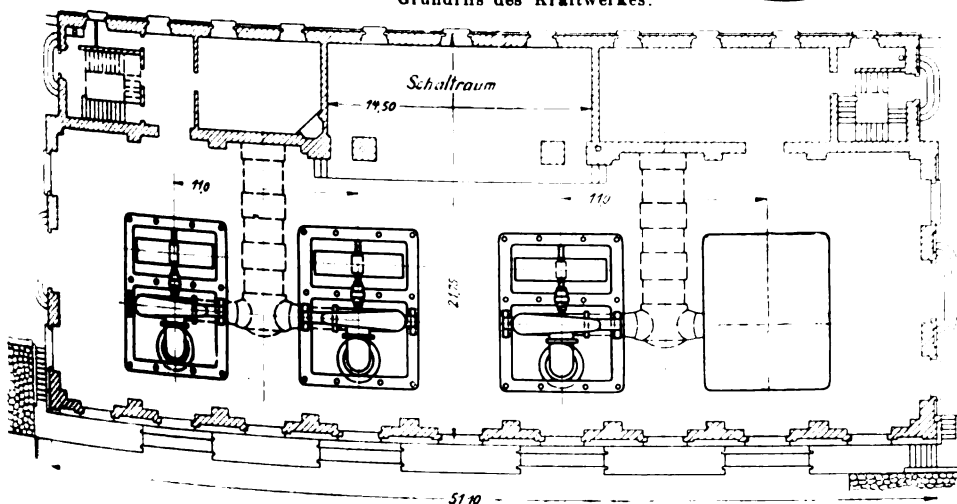


Fig. 23.

Grundriß des Kraftwerkes.



Lecco-Colico . . .	38,95 km
Colico-Sondrio . .	40,79 »
Colico-Chiavenna .	26,67 »
zusammen	106,31 km

Die Lage der Linien ist aus Fig. 1, die Längsprofile sind aus Fig. 2, 3, 4 ersichtlich. Diese Strecken haben einen nicht unbedeutenden Lastenverkehr und besonders in der Reisezeit einen sehr lebhaften Personenverkehr. Denn die Reisenden, die aus der Mittelschweiz über den Splügen oder aus dem Engadin durch das Val Bregaglia mit der Schweizer Post nach Chiavenna, ferner über den Bernina oder aus Tirol über

das Stillscher Joch nach Tirano oder Sondrio fahren, nehmen ihren Weg über diese Linien nach der Lombardei.

Die Linien haben im allgemeinen, insbesondere aber die Strecke Lecco-Colico, sehr viele Tunnel mit sehr engem Durchgangsprofil, stark wechselndes Gefälle und viele Kurven mit sehr kleinem Radius — lauter Umstände, welche der Einführung des elektrischen Betriebes Schwierigkeiten entgegenstellten; die Hälfte der Linie Lecco-Colico liegt in Kurven und rd. 30 vH der Länge in Tunneln. Die größte auf der ganzen Strecke vorkommende Steigung beträgt rd. 20 ‰, der kleinste Kurvenradius auf der Strecke 300, in den Weichen 150 m.

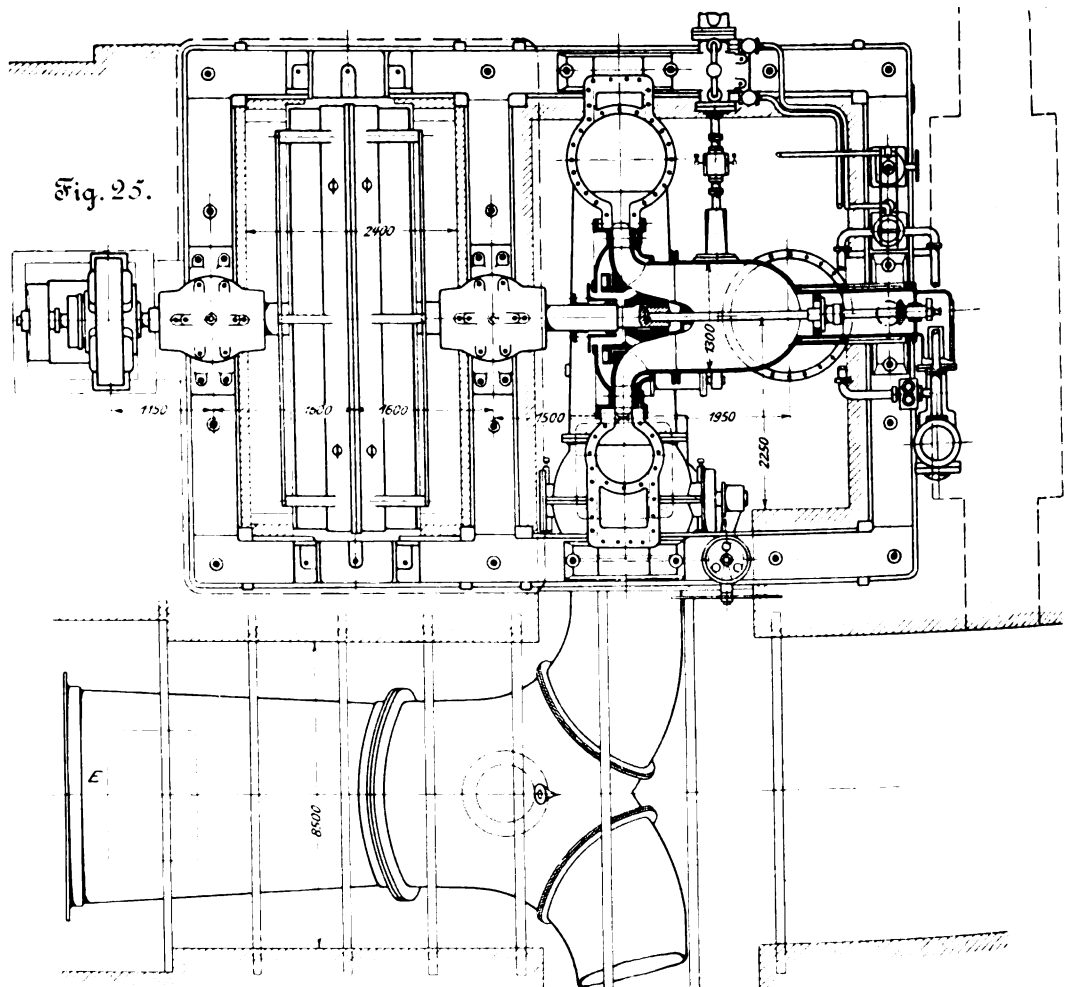
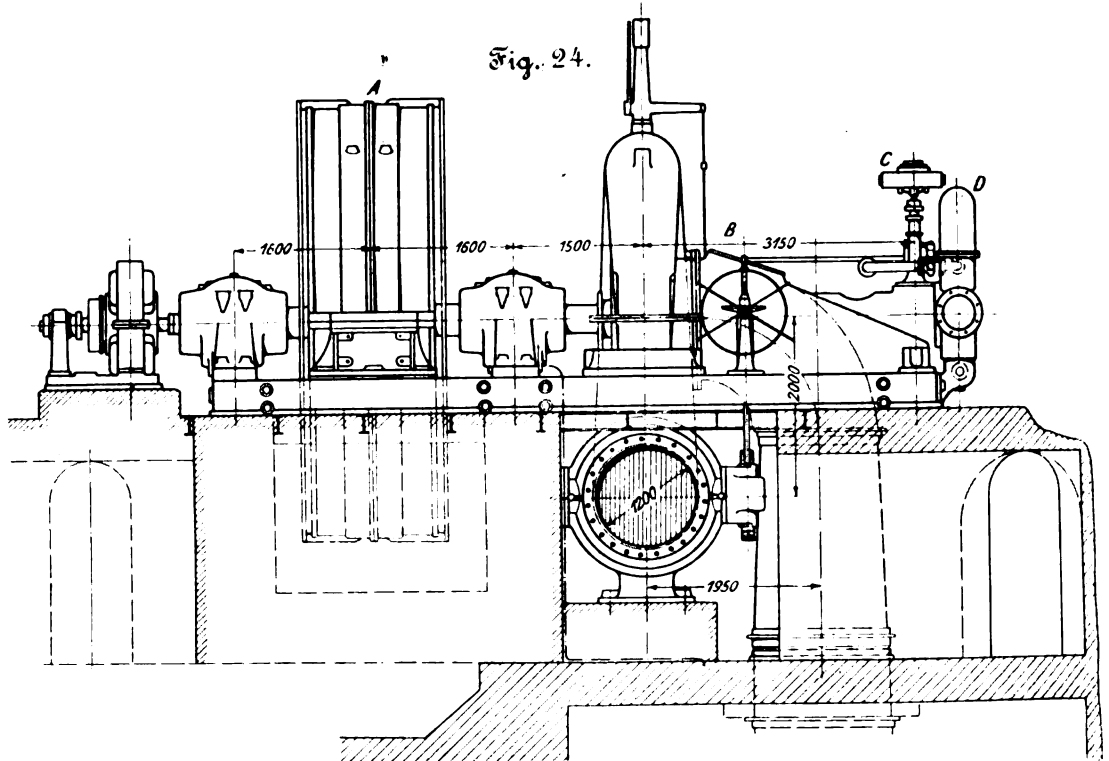
Gerade diese erschwerenden Umstände veranlaßten die Direktion der Rete Adriatica, den ersten Versuch mit elektrischem Vollbahnbetrieb auf diesen Linien vorzunehmen.

1) Das elektrische Kraftwerk.

Die Adda hat zwischen der Brücke von Desco und der Brücke von Ganda in einer Länge von etwa 5 km ein Gefälle von 35 m; s. Fig. 5 und 6. Die geringste Wassermenge beträgt 25 cbm/sk, das Sammelgebiet 2500 qkm. Die zur Verfügung stehende Energie berechnet sich auf mindestens 7500 PS.

Unter der Brücke von Desco teilt sich der Strom in zwei Arme; der eine ist vollständig abgesperrt, in den zweiten ist das Stauwehr eingebaut worden, Fig. 7. Die Adda hat hier noch den Charakter eines Gebirgsflusses und führt, besonders bei Hochwasser, sehr viel Schotter und Sand mit, weshalb ein Schleusenwehr gewählt worden ist, Fig. 8 bis 11. Bei Hochwasser sind die Schleusen ganz emporgezogen, und das Wasser fließt ohne Stauung in den Obergraben; bei niedrigem Wasser wird mithilfe der Schleusen der Oberwasserspiegel stets in der Höhe des Hochwassers gehalten. Das Wasser strömt durch zwei Öffnungen in den ersten Tunnel des Oberwasserkanales, der in einer Gesamtlänge von 1900 m als offener Kanal und in einer Länge von 2900 m als teilweise gemauerter und teilweise in den Felsen gesprengter Tunnel ausgeführt ist; s. Fig. 2 bis 5. Die Gesamtlänge beträgt also 4800 m, das Gefälle 1:1000.

In 900 m Entfernung von der oberen Tunnelmündung befindet sich die erste, zwischen dem vorletzten und dem letzten Tunnel die zweite Schotterschleuse und unmittelbar vor dem Wasserschloß, Fig. 16 bis 18, die Freilaufschütze,

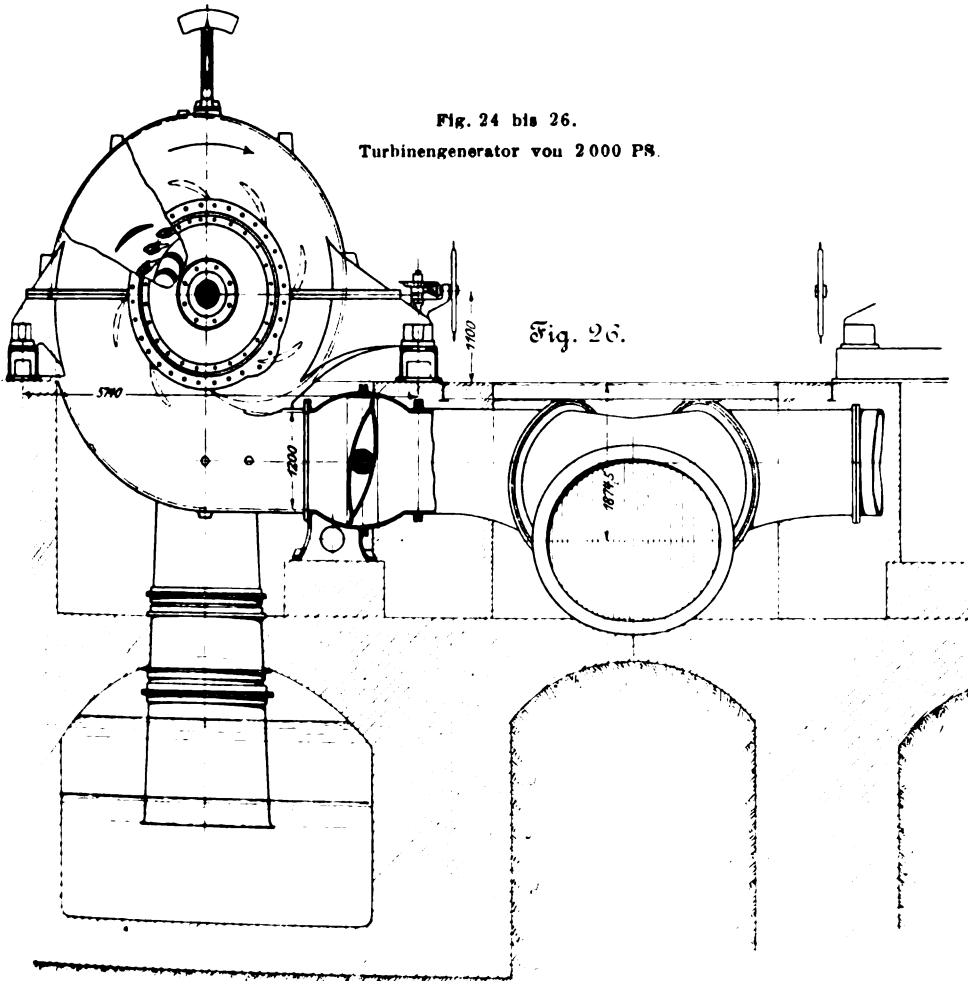


über welche das überschüssige Wasser bei geringer Belastung der Turbinen abfließt. Diese Schütze ist jedoch auch imstande, die ganze Wassermenge, also 25 cbm/sk, abzuführen.

Im letzten Tunnel verbreitert sich der Kanal auf 7 m; hier beträgt die Tiefe auf eine Länge von 25 m 5 m. Dadurch verringert sich die Wassergeschwindigkeit von 2,5 m auf 0,7 m. Schotter und Sand können daher hier ebenfalls zeitweise abgelassen werden; s. Fig. 19 bis 21.

Aus diesem Endbehälter wird das Druckwasser durch

Fig. 24 bis 26.
Turbinengenerator von 2000 PS.



zwei 68 m lange genietete Rohre von 2,5 m Dmr. mit 45° Neigung in das Turbinenhaus geführt, Fig. 22. Jedes Rohr teilt sich dort in zwei Teile; die Abzweigungen führen zu je einer Turbine von 2000 PS.

Der Untergraben ist 100 m lang und 20 m breit.

Die Wasserkraftanlage ist von der Turbinenabteilung der Firma Ganz & Co. in Budapest entworfen; die Einzelpläne sind von dem Zivilingenieur Vittorio Gianfranceschi ausgearbeitet, der auch den baulichen Teil ausgeführt hat.

Im Turbinenhaus, Fig. 23, sind drei Turbinendynamosgruppen von je 2000 PS aufgestellt; die vierte noch aufzustellende Turbine kann 3000 oder auch 4000 PS stark werden.

Die von Ganz & Comp. gelieferten Francis-Turbinen, Fig. 24 bis 26, machen 150 Uml./min. Das Netto-Gefälle beträgt 30 m; bei Hochwasser wird es durch den Rückstau auf 27 m, ausnahmsweise bis auf 26 m vermindert. Jede Turbine ist mithilfe eines Absperrschiebers ausschaltbar.

Die Laufräder der Turbinen sind auf den Dynamowellen fliegend angeordnet; jede Gruppe besitzt daher nur zwei Lager, die mit Ringschmierung versehen und für Wasserkühlung eingerichtet sind.

Fig. 27.
Schaltschema des Kraftwerkes.

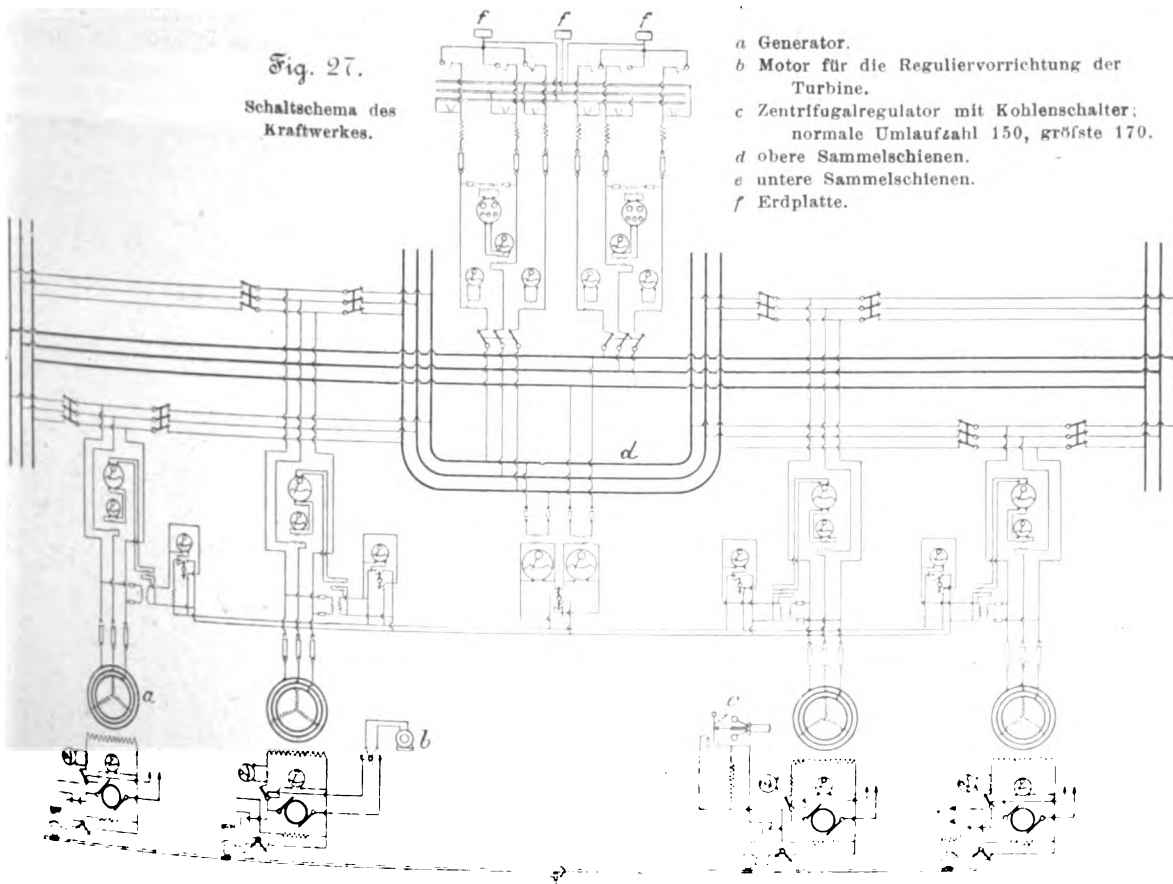
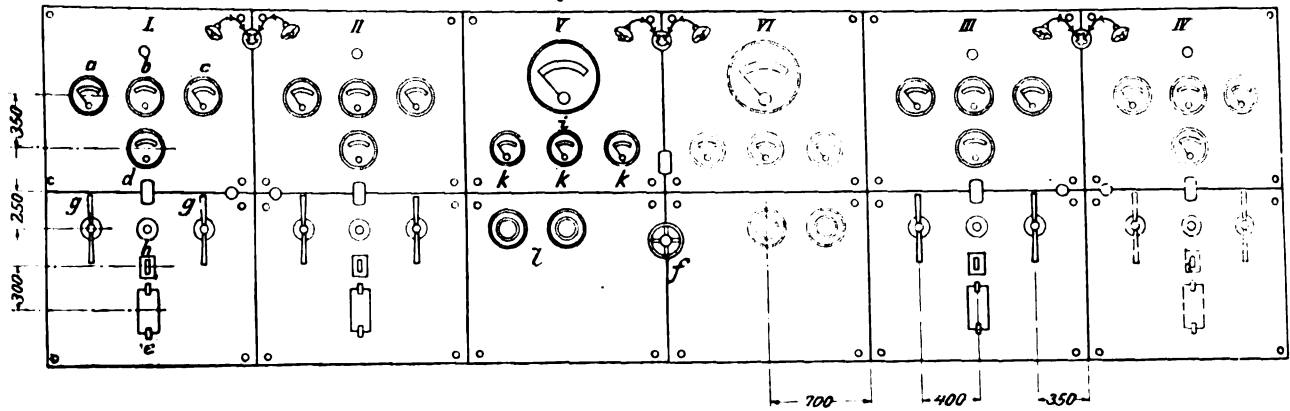


Fig. 28. Schaltbrett.



I II III IV Generatortafel
V VI Tafel für die äußeren Stromkreise
a Generator-Voltmeter
b Synchronisierungs-Voltmeter
c Amperemesser für den Generator

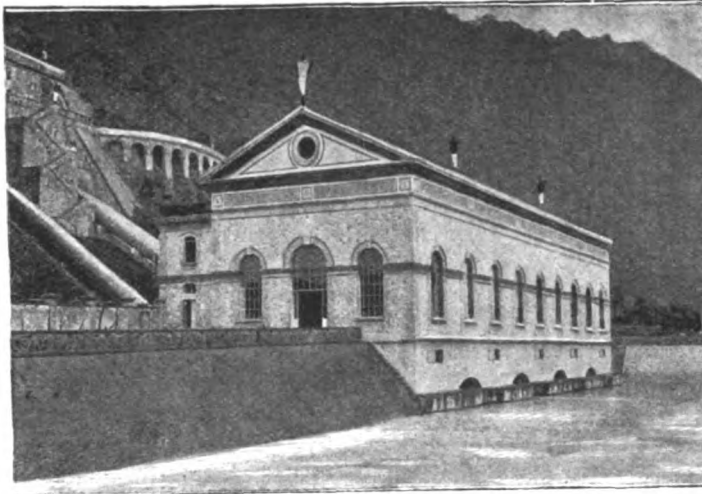
d Voltmeter-Umschalter
e Schalter für den Erregerstromkreis
f Handrad für den Erregerrheostat
g Schalterhebel

h Handrad für den Rheostat des Erreger-Feldstromkreises
i Voltmeter für den äußeren Stromkreis
k Amperemesser für den äußeren Stromkreis
l Elektrizitätszähler

Fig. 29. Krafthaus.

Das Laufrad besteht aus einer Gußstahlscheibe und aus einem mit Schrauben befestigten, daher auswechselbaren Schaufelkranz. Das Wasser wird den Laufrädern durch Finksche verstellbare Leitschaufeln zugeführt; die Verstellung kann von hand oder durch einen Zentrifugalregulator mit zwischengeschaltetem Servomotor geschehen; überdies können die Leitschaufeln vom Schaltbrett aus mittels eines Kettenzuges, der auf den Servomotor wirkt, verstellt werden. Dies kommt bei der Parallelschaltung zur Anwendung.

Die Servomotoren werden durch Öl von 10 at Druck betätigt. Jede Turbine ist mit einer



Öldruckpumpe gekuppelt, welche das Öl in einen Akkumulator pumpt. Die Turbinenregulierung, Bauart Ganz, besteht aus einem Hartungschen Pendelregler, der auf einen kleinen Verteilschieber wirkt; dieser verbindet das Zylinderpaar des Servomotors entweder mit dem Ölackkumulator oder mit dem Saugbehälter der Ölpumpen. Der Servomotor selbst wirkt unmittelbar auf die verstellbaren Leitschaufeln. Es entspricht daher jeder Geschwindigkeitsänderung eine Verstellung der Hülse des Zentrifugalpendels und durch Vermittlung des Verteilschiebers ein Druckunterschied in den beiden Zylindern des Servomotors.

Fig. 30. Maschinenraum.



Die von der Elektrizitäts-A.-G. vorm. Schuckert & Co., Nürnberg, gelieferten Dreiphasen-Dynamos erzeugen bei normaler Belastung und einer Phasenverschiebung von $\cos \varphi = 0,7$ 1050 KW Drehstrom von 20000 V Spannung und 15 Perioden und nehmen dabei 1560 PS auf. Sie sind so konstruiert, daß sie auf kurze Zeit auch 2000 PS an elektrischer Energie abgeben können. Bei 1500 PS normaler Belastung nimmt die Bewicklung keine höhere Temperatur als 45°C über der Temperatur des Maschinenraumes an.

Bei dem Uebergange vom Leerlauf auf 1500 PS Belastung sinkt die Spannung bei gleichbleibender Umlaufzahl nur um 15 vH; bei plötzlicher Entlastung von Vollbelastung auf Leerlauf steigt sie nur um 10 vH.

Der Kurzschlußstrom ist der sechsfache des normalen.

Die Dynamos sind so bemessen, daß sie den Kurzschlußstrom 120 sk lang ohne Beschädigung ertragen können. Für die Dauer einer halben Stunde können sie auch Strom von 30000 V Spannung liefern. Für den Fall, daß die Turbinenregulierung nicht wirksam sein sollte, sind die direkt gekuppelten Erreger mit einem selbsttätigen Umschalter versehen, der beim Durchgehen der Turbinen einen Widerstand in den Erregerstromkreis schaltet, wodurch eine schädliche Spannungsverhöhung im Hauptstromkreise vermieden wird. Die Spannung der Dynamo darf selbst dann 25000 V nicht übersteigen, wenn die Umlaufzahl 250 i. d. Min. betragen sollte. Diese Bedingung ist nicht deshalb gestellt, um den

Generator vor Beschädigung zu schützen, sondern damit die Vorrichtungen an der Schalttafel keinen Schaden leiden.

Das Gesamtgewicht einer Dynamo beläuft sich auf 69300 kg, wovon 43800 kg auf den umlaufenden Teil einschließlich der Welle entfallen.

Die Schalttafel, Fig. 28, ist für 4 Generatoren und 2 Primärstromkreise eingerichtet. Das Schaltschema ist aus Fig. 29 ersichtlich. Gegenwärtig wird nur die eine Primärleitung für die elektrische Bahn benutzt; die zweite Leitung dient einstweilen für die Belastung der Dynamos mithilfe von Wasserrheostaten. Von jeder Dynamo führen unterirdische gut isolierte Leitungen zu den hinter dem Schaltbrette angebrachten beiden Gruppen von Sammelschienen. Die auf der Vorderseite des Schaltbrettes montierten Vorrichtungen dienen alle für niedrige Spannung, sodaß die Bedienungsmannschaft mit dem hochgespannten Strome nicht in Berührung kommen kann.

Gegen Ueberlast sind die Generatoren durch Abschmelzsicherungen in Porzellanrohren geschützt. Alle Hochspannungsausschalter werden von der Vorderseite der Tafel bedient; nur die Ausschalter der äußeren Stromkreise befinden sich in dem Schaltraume hinter der Schalttafel und müssen von dort bedient werden.

Fig. 29 gibt eine Außenansicht, Fig. 30 eine Innenansicht des Turbinenhauses. (Fortsetzung folgt.)

Versuche über die Festigkeit von Schmirgel- und Karborundumscheiben.

Von Prof. M. Grübler in Dresden.

Der Technisch-wissenschaftliche Ausschufs des Vereines deutscher Ingenieure hat in seiner Sitzung am 16. Januar 1900 angeregt, Versuche an Schmirgel- und Karborundumscheiben in ähnlicher Weise auszuführen, wie ich sie im Auftrage des kgl. preussischen Kriegsministeriums 1899 in Spandau an Schleifsteinen aus Sandstein (vergl. den Bericht: „Versuche über die Festigkeit von Schleifsteinen“, Z. 1899 S. 1294 ff.) angestellt habe, um auf diesem Wege die zulässigen Grenzen für die Umlaufgeschwindigkeiten von Schleifsteinen zu ermitteln. Ich übernahm es, diese Versuche mit den vom Verein deutscher Ingenieure hierfür bewilligten Mitteln auszuführen, und berichte im folgenden über deren Verlauf und Ergebnisse.

Der Vorstand des Vereines deutscher Ingenieure richtete auf meine Veranlassung an eine Anzahl deutscher und ausländischer Fabriken von Schmirgel- und Karborundumscheiben bzw. deren Vertreter die Aufforderung, sich an den Versuchen durch Einsendung von Versuchstücken zu beteiligen. Die Antworten, welche mir übermittelt wurden, zeigten, daß den Versuchen sehr verschiedene Absichten und Zwecke untergelegt wurden. Deshalb trat ich auf Wunsch des Vorstandes mit den beteiligten Firmen in Verbindung und ließ ihnen ein Schreiben in Umdruck zugehen, welches ich hier des Folgenden wegen (unter Weglassung des unwesentlichen Schlusses) anführe.

Aus den Antwortschreiben, welche der Vorstand des Vereines deutscher Ingenieure auf seine Anfrage vom 5. März d. J. 1900 erhalten hat, ist ersichtlich, daß den vom Unternehmen beabsichtigten Versuchen sehr verschiedene Zwecke untergelegt werden. Es erscheint daher notwendig, daß alle Firmen, welche sich zur Lieferung von Versuchsmaterial erboten haben, sei es bedingungslos oder bedingt, von dem eigentlichen Zwecke dieser Versuche in Kenntnis gesetzt werden und zugleich die Bedingungen erfahren, unter welchen diese Versuche angestellt werden sollen.

Zweck der Versuche ist, Unterlagen zu gewinnen für die Abänderung der ministeriellen Vorschriften, welchen zurzeit die Verwendung der Schmirgelschleifräder in den technischen Betrieben unterliegt. Insbesondere ist es die zu enge Begrenzung der Umlaufgeschwindigkeit, deren Beseitigung von den Interessenten übereinstimmend gewünscht wird. Denn es leuchtet ein, daß durch Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit der Schleifräder die Schleifleistung eine

entsprechend höhere wird. Liegt schon hierin an sich ein Vorteil, so kommt zu diesem noch der weitere, daß dann bei gleicher Schleifleistung der Druck des Werkstückes gegen das Schleifrad vermindert werden kann. Hierdurch wird aber der Nachteil sehr vermindert, daß das Schleifrad bald unrund läuft und deshalb öfter abgedreht werden muß. Ferner mag auch darauf hingewiesen werden, daß ein stärkerer Druck des Werkstückes auf das Schleifrad dessen Befestigung auf der Welle lockert; die hierdurch verursachte Gefährdung des Schleifrades wird vermieden, wenn man den erwähnten Druck verringert.

Durch die Erhöhung der Umlaufgeschwindigkeit darf aber die Betriebsicherheit der Schleifräder nicht verringert werden, und es soll nun durch die beabsichtigten Versuche ermittelt werden, bis zu welchen Grenzen man mit der Umlaufzahl gehen kann, ohne die Widerstandsfähigkeit und die Befestigung der Schleifräder zu gefährden.

Damit die Versuche zu einem brauchbaren Ergebnis führen, ist es zunächst sehr wesentlich, daß sich die hieran beteiligten Fabriken und Lieferanten von Schmirgel- und Karborundum-Schleifrädern in möglichst großer Zahl durch Einlieferung von Versuchstücken beteiligen. Andererseits dürfen aber die Versuche nicht den Charakter eines Wettbewerbes besitzen, und deshalb müssen nicht nur Schleifversuche gänzlich ausgeschlossen, sondern auch die Versuche auf die allgemein üblichen Formen und Befestigungen der Schleifräder beschränkt werden. Aus diesen maßgebenden Gesichtspunkten sind die nachstehenden Bedingungen hervorgegangen, unter welchen die Versuche angestellt werden sollen:

1) Die Schmirgel- und Karborundum-Schleifräder dürfen nicht besonders für die Versuche hergestellt, sondern müssen den für die Verkaufszwecke dienenden Lagerbeständen entnommen werden.

2) Es ist anzugeben, ob das Bindemittel vegetabilischer oder mineralischer (keramischer) Art ist.

3) Für die Versuche sind von jeder Sorte, deren Untersuchung gewünscht wird, drei Stück von folgenden Abmessungen:

äußerer Durchmesser	500 mm
Dicke	50
lichte Weite der Bohrung	50 bis 80
einzusenden.	