

DIE VALTELLINABAHN

UND

DER ELEKTRISCHE BETRIEB VON HAUPTBAHNEN.

Nach den Schriften »Elektrische Vollbahnen mit hochgespanntem Drehstrom« von
Eugen Cserháti und **Koloman von Kandó**

und

»Der elektrische Betrieb mittels Dreiphasen-Drehstromes« von **Theodor Köhn**, Stadtbaurat a. D. und Direktor,

sowie

nach Mitteilungen des Werkes **Ganz und Co.** zu Budapest.

Mit Zeichnungen auf den Tafeln LXXXVIII bis XCV und 37 Textabbildungen.

ERGÄNZUNGSHEFT ZUM ORGAN FÜR DIE FORTSCHRITTE DES EISENBAHNWESENS, JAHRGANG 1904.

WIESBADEN.
C. W. KREIDEL'S VERLAG.
1904.

Die Valtellina-Bahn und der elektrische Betrieb von Hauptbahnen.

Nach den Schriften „Elektrische Vollbahnen mit hochgespanntem Drehstrom“ von **Eugen Cserháti** und **Koloman von Kandó**, und „Der elektrische Betrieb mittels Dreiphasen-Drehstromes“ von **Theodor Köhn***), Stadtbaurat a. D. und Direktor, sowie nach Mitteilungen des Werkes **Ganz und Co.** zu Budapest.

Hierzu Zeichnungen auf den Tafeln LXXXVIII bis XCV.

I. Einleitung.

Die große wirtschaftliche Bedeutung eines möglichst billigen Eisenbahnbetriebes hat in neuester Zeit nicht allein dazu geführt, in der Bauart der Dampflokomotiven Verbesserungen einzuführen, welche ihre Leistungsfähigkeit durch eine bessere Ausnutzung des Dampfes, eine Verminderung der schädlichen Einflüsse der beweglichen Massen, eine wirksamere Verbrennung der Kohlen und andere Mittel zu erhöhen bezweckten, sondern sie hat auch eine lebhaftere Anregung dazu gegeben, durch größere Versuche Klarheit darüber zu erhalten, ob sich der elektrische Betrieb nicht, wie bei den Strafsen- und Vorortbahnen, auch auf Vollbahnen vorteilhafter gestalten läßt, als der Dampftrieb.

Die von der preussischen Staatsbahn auf der Wannseebahn mit gemischtem Dampf- und elektrischem Betriebe erzielten Ergebnisse ließen hier von einer Erweiterung der Versuche absehen, die Verwaltung gestattete indes der Studiengesellschaft für Fernbahnen in Berlin die Benutzung der Militärbahn Marienfelde-Zossen zu eingehenden Versuchen über die größtmögliche Fahrgeschwindigkeit durch die beiden Werke Siemens und Halske und Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, deren Ergebnisse in so hohem Grade die Aufmerksamkeit der technischen Welt erregt haben.)*

Bei diesen Versuchen ist für die Zugbeförderung selbst Drehstrom bis 13000 Volt in den Arbeitsleitungen verwendet, wobei auf Benutzung der Fahrschienen als Rückleitung verzichtet wurde, sodafs der Stromabnehmer ein dreifacher sein mußte.

Unter den sonstigen Versuchen ist der von dem Werke Brown und Boveri im Jahre 1900 eingerichtete und sich bewährende elektrische Betrieb der 40 km langen Vollbahn Thun-Burgdorf in der Schweiz besonders beachtenswert. Im Wasserturbinen-Kraftwerke Spiez wird der Drehstrom mit 4000 Volt erzeugt und dann durch ruhende Umformer auf 16000 Volt hinaufgespannt. Längs der Bahn befinden sich 14 Umformerstationen, durch welche der Hauptstrom von 16000 Volt wieder auf die Spannung der Arbeitsleistung abgespannt wird. Diese Belastung fällt auf 750 Volt bei voller Belastung der Unterstationen. Also wird der Drehstrom unmittelbar für die Zugbeförderung verwendet.

Das Werk Ganz und Co. begann im Oktober 1896 auf einer 0,8 km langen Probefahrbahn von 1,0 m Spur mit 65 % stärkster Neigung und 20 m kleinstem Krümmungshalbmesser

nach eingehenden Voruntersuchungen ihre ersten Versuche mit einem, mit nur einer Triebmaschine ausgerüsteten zweiachsigen Wagen. Der zweiphasige Wechselstrom von 500 Volt wurde durch zwei an gemeinschaftlichem Spanndrahte aufgehängte Kupferdrahtleitungen von 8 mm Durchmesser mittels zweier gewöhnlicher Stromabnehmerrollen zugeführt. Die Luftleitung hatte eine Weiche und eine Kreuzung.

Das erste praktische Ergebnis dieser Versuche war die Ausführung der Drehstrombahn im Badeorte Evian-les-Bains am Genfer See, welche von der Avenue des Sources bis zum Grand Hôtel führt; sie ist 0,3 m lang und hat eine steilste Neigung von 102 ‰. Seit Juni 1898 im Betriebe, bewährt sie sich tadellos. Hierauf folgten die Grubenbahnen der ungarischen staatlichen Eisenwerke in Vajda-Hunyad und Pecz, sowie die für die Grubenbahn der französischen Compagnie des Mines de la Mure gelieferten dreiphasigen elektrischen Lokomotiven. Im Betriebe der erwähnten Bahnen wurde Drehstrom mit einer Spannung nicht über 500 Volt verwendet.

Auf der Liverpoolscher Hochbahn, der Chicago Metropolitan South Side-Hochbahn und verschiedenen anderen amerikanischen Bahnen wird der hochgespannte Drehstrom durch ruhende Abspanner herabgespannt und durch umlaufende Umformer in Gleichstrom der üblichen Spannung für den Wagenantrieb verwandelt, während das Gleis mit einer dritten Schiene für die Rückleitung versehen ist.

Mit der großen amerikanischen General Electric Company vertreten die französische Thomson-Houston-Gesellschaft und die Union Elektrizitäts-Gesellschaft bislang die Ansicht, daß die Gleichstrom-Bahnantriebe sparsamer arbeiten, als die Drehstromantriebe, insbesondere beim Anziehen, also bei Bahnen mit verhältnismäßig kurzen Fahrten, und daß die Unterhaltung der Drehstromantriebe wegen der schwierigeren Stromdichtung sehr viel teurer sei, als diejenige der Gleichstromantriebe mit üblicher Spannung. Sie behaupten, daß durch diese Umstände die Verluste aufgewogen werden, welche durch Umformung des hochgespannten Drehstromes in Gleichstrom und durch Verzinsung der Mehrkosten der dritten Schiene gegen eine reine Drehstromanlage entstehen.

Bei dem heutigen Stande der Erfahrungen mit elektrischem Bahnbetriebe nahm die italienische Regierung Veranlassung, die beiden großen italienischen Eisenbahngesellschaften, die »Società per le Strade Ferrate Meridionali, Esercente la Rete Adriatica« und die »Strade Ferrate del Mediterraneo« aufzufordern, die Frage des elektrischen

*) Organ 1904, S. 62 und 160.

*) Dieser Verfasser gibt seine Mitteilungen in seiner Eigenschaft als Mitglied des Verwaltungsrates und der technischen Kommission der »Società per la Trazione elettrica sulle Ferrovie«, sowie auf Grund von Veröffentlichungen der Ingenieure Vittorio Gianfranceschi und Dr. Franco Magrini, Direktors der Trazione, im Politecnico 1901, ferner nach Veröffentlichungen des Direktors Cserháti und des Direktor Stellvertreters Koloman von Kandó des Werkes Ganz und Co. und anderen an betreffender Stelle besonders genannten Quellen.

Vollbahnbetriebes zu erörtern und diesbezügliche Vorschläge zu machen.

Für die beiden Gesellschaften lagen die Verhältnisse für elektrischen Betrieb günstig, da sich ihnen die Aussicht bot, statt der teuren vom Auslande zu beziehenden Kohlen die bedeutenden Wasserkräfte am Südabhange der Alpen unter vorteilhaften Bedingungen für den elektrischen Bahnbetrieb zu verwenden, da die Genehmigung der Benutzung von Wasserkraften nach italienischem Gesetze nur dann erteilt wird, wenn die Eisenbahngesellschaften sie als für ihre Zwecke nicht erforderlich erklärt haben. Aber beide Gesellschaften sind nur bis Juni 1905 Betriebspächter ihrer dem Staate gebörenden Eisenbahnnetze; die Verlängerung ihrer Verträge durch die Volksvertretung ist unsicher; außerdem stellte die Regierung die Bedingung, daß für die ganze elektrische Betriebseinrichtung nur dann die vorher zu vereinbarende Summe zu bezahlen sei, wenn sich der Versuch als vollkommen gelungen herausgestellt haben würde. Die »Adriatica« wollte sich unter diesen Umständen daher nur dann auf einen Versuch einlassen, wenn das die Anlage ausführende Werk für das Gelingen volle Gewähr übernehme und wandte sich deshalb im Januar 1898 an das Werk Ganz und Co. in Budapest.

Da es sich um eine neue, von der bisherigen in allen Einzelheiten abweichende Betriebsweise handelte, so erbaute das Werk auf der Altöfener Insel zur Erprobung der Einrichtungen eine Versuchsbahn in geschlossener länglicher Form von etwa 1,5 km Länge. Den Strom lieferte das Kraftwerk der Schiffswerfte mittels Dampf-Stromerzeuger von 250 PS. Für die durch 15 Monate in ununterbrochenem Betriebe angestellten Versuche diente ein Triebwagen-Untergestell mit einem besonders zu diesem Zwecke aufgebauten Wagenkasten.

Das große Vertrauen, welches der Credito Italiano in Genua und das Bankhaus Manzi und Co. in Rom der neuen Betriebsweise entgegenbrachten, führten diese Häuser dazu, mit der Continentalen Gesellschaft für elektrische Unternehmungen zu diesem Zwecke die »Società per la Trazione elettrica sulle Ferrovie« mit einem Grundkapitale von 5 Millionen Lire zu gründen, um mit der Adriatica einen Vertrag in dem Sinne zu schließen, daß sie für die anschlagsmäßigen Kosten nur dann Zahlung zu leisten habe, wenn der Erfolg nachgewiesen sei, wogegen die »Adriatica« auf die Bedingung einging, daß auch im Falle des Mißlingens des elektrischen Betriebes der »Trazione« die Ausnutzung der Wasserkraft an der Adda auf ihre Genehmigungsdauer verbleiben solle. Die »Trazione« übernahm den Vertrag zwischen der Adriatica und Ganz und Co. vom März 1899, der auf mehrjährige Tilgungsbeträge gegründet war, und trat Ganz und Co. gegenüber als Besteller auf, nachdem der von diesem Werke aufgestellte Entwurf für die elektrische Einrichtung des Betriebes der Linien Lecco-Colico-Chiavenna und Colico-Sondrio von der königlichen Generalinspektion der italienischen Eisenbahnen April 1898 genehmigt worden war.

Das Werk Ganz und Co. übernahm die Herstellung und Einrichtung der Hauptspeiseleitung, der Umformer, der Streckenausrüstung und der Betriebsmittel, sowie die Lieferung der Turbinen für das Kraftwerk in Morbegno. Die elektrische

Ausrüstung des Kraftwerkes übernahm die Elektrizitäts-Aktiengesellschaft, vormals Schuckert und Co., die Ausführung der wasserbaulichen Arbeiten erfolgte durch die »Società per la Trazione« auf eigene Rechnung.

II. Vergleich zwischen dem Dreiphasendrehstrom- und dem Drehstrom-Gleichstrom-Betriebe für Vollbahnen.

Die Aufgabe des elektrischen Vollbahnbetriebes besteht in der Übertragung großer Kraft auf große Entfernungen, wofür sich allein der hochgespannte Wechselstrom eignet, da die Wechselstrom-Triebmaschinen und Wechselstrom-Umformer leicht und einfach für hohe Spannungen herzustellen sind und letztere keine umlaufenden Teile besitzen. Längere Strecken mit Gleichstrom zu betreiben, erfordert Zerlegung in Teilstrecken mit besonderen Stromerzeugern, deren Antrieb entweder durch besondere Dampfmaschinen oder durch elektrische Triebmaschinen erfolgt, denen hochgespannter Drehstrom von einem gemeinsamen Kraftwerke zugeführt wird. Statt der Stromerzeuger kann man auch umlaufende Umformer, »Redresseure«, verwenden, doch ist es für letztere nötig, die Spannung durch Wechselstromumformer entsprechend herabzusetzen. Diese Anordnung ist indes nur dann vorteilhaft, wenn der Verkehr dicht und die Züge klein sind, so daß die Belastung der Teilstrecken-Kraftwerke durch mehrere auf jeder Teilstrecke in Bewegung befindliche Züge annähernd gleichmäßig wird und die Höchstbelastung durch die kleinen Züge keine zu hohe ist.

Diese strassenbahnartige Auflösung der Züge läßt sich indes bei vollbahnartigem Verkehre mit schweren Güterzügen und durchgehenden Eilzügen nicht ausführen, vielmehr müssen große Züge in längeren Zwischenzeiten abgelassen werden, die zu ihrer Beförderung einen weit größeren Kraftaufwand erheischen, und daher werden die zeitweisen höchsten Belastungen der Teilstrecken-Kraftwerke viel weiter von der Durchschnittsbelastung abweichen, als bei den Strassenbahnkraftwerken.

Auf Strassenbahnen mit Zugfolgen von 5 bis 20 Minuten beträgt der größte Strombedarf das ein und einhalb bis dreifache des durchschnittlichen. Dieses Verhältnis wird bei einem vollbahnartigen Verkehre weit ungünstiger.

Beispielsweise habe eine wagerechte gerade Vollbahnstrecke von 15 km Länge 8 km Stationsentfernung, die Zugfolge in beiden Richtungen betrage 90 Minuten, die größte Geschwindigkeit 70 km, das Zuggewicht 300 t.

Der größte Strombedarf entsteht, wenn zwei Züge auf demselben Streckenteile zugleich abgelassen werden, doch kann dieser Fall durch die Festsetzung des Fahrplanes vermieden werden; es kann aber vorkommen, daß der eine Zug anfährt, während der andere in voller Fahrt ist. In diesem Falle wird der höchste Strombedarf das siebenfache des durchschnittlichen Bedarfes betragen. Befinden sich drei Züge auf einem Streckenteile oder werden zwei Züge zugleich abgelassen, so kann sogar das zehnfache erreicht werden.

Werden nun die Strecken-Kraftwerke der höchsten Belastung entsprechend bemessen, so fallen sie viel größer aus, als der durchschnittlichen Belastung entspricht, ihre Ausnutzung und Wirtschaft wird eine ungünstige und die Anlagekosten stellen sich so hoch, daß der elektrische Betrieb unmöglich ist.

Wollte man in solchen Fällen einen Ausgleich durch Speicher bewirken, so würde diese Lösung durch die Höhe der für diese aufzuwendenden Anlage- und Erhaltungskosten wesentlich beeinträchtigt. Für das angenommene Beispiel würde die Anlage etwa 145 000 M., die Unterhaltung jährlich 6000 bis 7000 M. kosten.

Eine viel billigere Lösung der Aufgabe des elektrischen Vollbahnbetriebes wird erreicht, wenn man, statt den Wechselstrom in Unterstationen auf Gleichstrom umzuwandeln, seine Spannung durch Wechselstrom-Abspanner mindert und den Wechselstrom mit niedrigerer Spannung unmittelbar zur Speisung der Wagen-Triebmaschinen benutzt.

Die Fähigkeit der Wechselstrom-Umformer, bedeutende Überlastungen zu vertragen, im Gegensatz zu Gleichstromerzeugern, welche nur selten mehr als 50 % Überlastung ertragen, wird nur durch die Erwärmung oder durch den Spannungsabfall beschränkt. Wird die Grenze der Überlastung nicht durch den höchsten Strombedarf und den durch diesen hervorgerufenen großen Spannungsabfall bestimmt, so muß der Umformer, der Erwärmung wegen, nur um das Maß über die durchschnittliche Belastung bemessen werden, um welches die Quadratwurzel des Mittelwertes der Quadrate der augenblicklichen Stromstärken größer ist, als der algebraische Mittelwert derselben Stromstärken.

Im obigen Beispiele wäre ein Gleichstromerzeuger von mindestens 1000 Kilowatt gewöhnlicher Leistungsfähigkeit nötig, während bei Verwendung von Wechselstrom ein Abspanner von 350 Kw. dem Zwecke vollkommen entspricht.

Während also der Gleichstromerzeuger für die fragliche Unterstation, falls kein Ausgleichspeicher zur Verwendung kommt, mindestens für das fünffache der Durchschnittsbelastung zu bemessen wäre, genügte ein Wechselstrom-Abspanner, der nur um 67 % höhere Leistung hat, als die der Durchschnittsbelastung entsprechende. Ein solcher Wechselstrom-Abspanner kostet etwa 20 000 M., also nur den siebenten Teil des Speichers, wobei die Kosten des Gleichstromerzeugers oder die des Umformers noch gar nicht in Betracht gezogen sind.

Verwendet man auch in der Arbeitsleitung Wechselstrom mit höherer Spannung, so können längere Strecken für die Unterstationen angenommen werden, so daß die Belastung durchschnittlich gleichmäßiger und die Anlage und der Betrieb verbilligt wird.

In erhöhtem Maße gilt dieses auch für die den Speisestrom liefernden großen Kraftwerke. Je höher deren Spannung, desto mehr Unterstationen, also um so längere Strecken können angeschlossen werden und um so besser gleichen sich die auf den einzelnen Strecken auftretenden Belastungen aus und wirken ebenfalls auf die günstigere Gestaltung des Verhältnisses des höchsten zum durchschnittlichen Strombedarf.

Doch sind damit die Vorteile der hohen Spannungen nicht erschöpft, die Erhöhung der Spannung beschränkt auch wesentlich die für die elektrischen Leitungen erforderlichen Aufwendungen.

Bei verschiedenen Spannungen, aber gleichen zu übertragenden Arbeitsbeträgen, gleichen Entfernungen und bei denselben in den Leitungen gestatteten Arbeitsverlusten stehen

nämlich die Querschnitte der Leitungen in geradem Verhältnisse zu den Quadraten der Stromstärken. Bei Vergleich der Querschnitte der Leitungen für einen Drehstrom von 3000 Volt und für eine bisher bei Vollbahnbetrieb angewandte höchste Gleichstrom-Stromspannung von 700 Volt ergibt sich unter vorstehenden Voraussetzungen, daß die Leitungsquerschnitte für letztern zehnmal so groß sind, als für erstern. Umgekehrt können im erstern Falle die Abstände der Stromerzeugerstationen bei gleichen Leitungsquerschnitten, gleichen zu übertragenden Arbeitsbeträgen und bei denselben in den Leitungen gestatteten Arbeitsverlusten zehnmal so groß sein, als in letztern. Auch ist noch zu bemerken, daß die in den Schienen-Rückleitungen auftretenden Kraftverluste um so mehr zu berücksichtigen sind, je niedriger die Spannung und je höher die Stromstärke ist, denn nur bei hoher Spannung und kleiner Stromstärke können die in den rückleitenden Schienen auftretenden Verluste vernachlässigt werden.

Zahlenmäßig stellt sich der Vergleich zwischen dem Drehstrom von 3000 Volt und dem Gleichstrom von 700 Volt für die Stromleitungsanlagen folgendermaßen. Die Kosten der bei erstern erforderlichen beiden Kupferdrähte von 8 mm Durchmesser betragen 1700 M./km, die Kosten der für letztern nötigen Leitung von 1000 qmm Querschnitt 17 000 M./km, also das zehnfache der erstern.

Wird bei Gleichstrom eine dritte Schiene als Stromabgabeleitung benutzt, so entspricht der Leitung von 1000 qmm Querschnitt eine Stahlschiene von 62,5 kg/m, deren Kosten ohne die Kupfer-Stoßbrücken etwa 12 000 M./km betragen würde.

Es wurde schon darauf hingewiesen, daß große Belastungsschwankungen der Stromerzeuger im Kraftwerke die Anlage- und Betriebskosten erhöhen; deshalb sollte die Spannung der Leitung zwischen dem stromerzeugenden Kraftwerke und den Umformerstationen so groß sein, daß erstere alle Unterstationen der ganzen Linie speisen kann, um den Strombedarf unter den Strecken möglichst auszugleichen und gleichmäßige Belastung zu erzielen.

Während also eine Erhöhung der Spannung der Arbeitsleistung, zur Erzielung günstigerer Belastung, bis zur äußersten Grenze nicht begründet ist, soll im allgemeinen zur Speisung der Umformer-Unterstationen eine möglichst große Spannung im Kraftwerk gewählt werden.

III. Wahl der Spannung in der Arbeitsleitung.

Für die Wahl der Spannung der Arbeitsleitung kommt auch die mit Hilfe des Stromabnehmers zu entnehmende Stromstärke in Betracht.

Bei Anwendung von Gleichstrom kann eine beliebige Strommenge abgenommen werden, da die dritte Schiene als Leitung die Anbringung so vieler Stromabnehmer zuläßt, als der Zug Achsen hat.

Bei Luftleitungen als Stromabgabeleitung ist zu berücksichtigen, daß der Druck, den der Stromabnehmer von unten gegen den Draht ausübt, geringer sein muß, als die von der Leitung zu leistende höchste Belastung, um gefährliche Schwingungen des Fahrdrabtes zu vermeiden.

Erfahrungsmäßig beträgt die Stromstärke, die man mit einer Rolle abnehmen kann, 300 Ampère; stärkere Ströme verursachen Funkensprühen und rasche Rollenabnutzung.

Bei einer höchsten Stromstärke von 300 Ampère beträgt die von der Leitung entnommene Arbeit für je 1000 Volt etwa 500 PS.

Da bei den heutigen Bahneinrichtungen keine Lokomotiven mit höheren Leistungen als 1500 PS. nötig sind, so entspricht bereits eine Spannung von 3000 Volt in der Stromabgabeleitung den Betriebsverhältnissen der heutigen Vollbahnen, welche also als Grenze für die Spannungshöhe angenommen werden kann.

Bei Erwägung der Frage etwaiger Erhöhung dieser Spannungsgrenze kommt es auf die dadurch eintretenden Nachteile an. Bei den Geschwindigkeitsversuchen auf der Militärbahn Marienfelde-Zossen wurden die Arbeitsleitungen mit Strom von 12000 Volt gespeist, diese Spannung wurde auf dem Versuchswagen der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft auf 435 Volt, auf dem von Siemens und Halske auf 1150, beim Angehen auf 1850 Volt durch Abspanner herabgemindert und der Strom mit dieser Spannung den Triebmaschinen zugeführt.

Hierdurch leidet jedoch die Leichtigkeit der Fahrzeuge, und damit verliert man einen der Hauptvorteile des elektrischen Betriebes, da das Gewicht des Umformers mit der Leistungsfähigkeit der elektrischen Lokomotive oder des Triebwagens zunimmt; das Gewicht des Umformers für eine Lokomotive von 1200 bis 1300 PS. würde schon 15 t betragen.

Auf diese Weise die Spannung in den Arbeitsleitungen zu erhöhen, ist nicht zweckentsprechend, vielmehr muß diejenige Spannung als praktische Grenze angesehen werden, für welche die Triebmaschinen und Stromabnehmer noch mit einer den Erfordernissen des Betriebes entsprechenden Sicherheit hergestellt werden können.

Dies ist um so eher ausführbar, weil die Triebmaschinen und Ausrüstungsgegenstände für die Spannungen, welche sowohl wegen der Billigkeit der Leitungs- und Umformeranlagen, als wegen der zweckentsprechenden Wirkungsweise der Stromabnehmer für die heutigen Betriebsverhältnisse erforderlich sind, sicher hergestellt werden können.

Hinsichtlich der Frage der Verwendung hochgespannten Stromes vom Standpunkte der Lebensgefahr und Betriebsicherheit haben die anlässlich der Genehmigung der Burgdorf-Thuner Bahn von Brown, Boveri und Co. zur Erörterung dieser Frage aufgeforderten Fachmänner von europäischem Rufe: Sylvanus P. Thompson, Professor H. F. Weber und Gisbert Kapp in ihren Gutachten unabhängig und übereinstimmend die Verwendung des Hochspannungstromes befürwortet. Das Gutachten Weber's weist dazu durch eine Versuchsreihe nach, daß der elektrische Strom unter Umständen schon nahe bei 100 Volt lebensgefährlich werden kann, während anderseits selbst ein Strom von 3000 Volt nicht unbedingt lebensgefährlich sein muß, wenn die Verhältnisse günstig sind; es sei somit unbegründet, die Spannungen vom Standpunkte der Lebensgefahr zwischen bestimm-

ten Grenzen einzuengen. Die drei Gutachten stimmen darin überein, daß man durch richtige Vorkehrungen und gute Ausführung sowohl die Fahrgäste als die Bediensteten gegen die Gefährlichkeit der Hochspannung schützen kann.

Wohl treten manchmal Erscheinungen auf, die in ihrer Rätselhaftigkeit den unberechenbaren Wegen des Blitzes ähnlich sind, wenn nämlich der Strom infolge eines Dichtungsfehlers seinen Weg durch schwachleitende Gegenstände nimmt, sodaß den Menschen ahnungslos elektrische Schläge bei Berührung von Nichtleitern oder von Gegenständen treffen können, die anscheinend mit der Arbeitsleitung in gar keiner Verbindung stehen, aber mit der Erde nur schlecht leitend verbunden sind.

Die Triebmaschinen und Einrichtungen für den hochgespannten Strom lassen sich indes ohne jede Gefahr für Fahrgäste und Bedienstete im Eisenbahnwagen unterbringen, indem die die Hochspannung führenden Teile nicht nur mit einer Stromdichtungshülle, sondern noch mit einer leitenden geschlossenen Metallhülle verkleidet werden, welche an mehreren Stellen mit dem Untergestelle des Wagenkastens, somit auch mit den Fahrschienen und der Erde leitend verbunden ist. Diese Sicherheitsvorkehrungen müssen sich auf alle Metallbestandteile des Wagens, namentlich auch auf das Wagendach erstrecken, dessen Metallhülle gleichfalls mit der Erde in leitende Verbindung zu bringen ist. Die Metallhülle tritt erst dann in Wirksamkeit, wenn die Stromdichtung beschädigt wird, sie dient gewissermaßen als Blitzableiter, durch welchen der Strom in das Untergestell und so zur Erde abgeführt wird. Diese gut leitende Verbindung des Wagendaches und aller übrigen Metallteile des Wagens mit den Rädern und Schienen bietet den im Wagen befindlichen Menschen auch für den Fall völlige Sicherheit, wenn der Leitungsdraht reißen und auf den Wagen fallen sollte, da durch die gut leitende Verbindung der Metallhülle mit der Erde der beschädigte Teil der Leitung mit der Erde kurzgeschlossen wird, die nächste Sicherung schmilzt und der beschädigte Leitungsteil sofort selbsttätig stromlos wird. Versuche, welche der von der italienischen Regierung entsandte Ausschuss zur Überprüfung aller elektrischen Einrichtungen anstellte, wiesen dieses nach und bestätigten es.

Der Wagenbegleitung sind Hochspannungsleitungen nur dann zugänglich, wenn der Stromabnehmer herabgelassen ist, also die Wagenleitungen stromlos sind.

Wie im Falle des Herabfallens des Drahtes auf den Wagen selbst durch Vermittelung der Erdleitung des Wagendaches ein Kurzschluss entsteht und der betreffende Streckenteil einfach ausgeschaltet wird, so geschieht das auch, wenn der abgerissene Draht auf die Schienen fällt. Gefahr kann aber entstehen, wenn ein solcher gerissener Draht Menschen trifft, bevor er mit den Schienen in Berührung kommt. Die Bahnangestellten sind für solche Fälle mit entsprechenden Anweisungen versehen, Unbeteiligten ist das Betreten der Bahn ohnehin verboten und da, wo hochgespannte Leitungen an Landstraßen entlang führen, werden sie von selbst gemieden. An Wegübergängen ist die Gefährdung von Menschen durch die bei Straßenbahnen schon bekannten Sicherheitsaufhängungen

als ausgeschlossen zu betrachten, welche im Falle eines Drahtbruches selbsttätig Kurzschluss herbeiführen.

Auf den Bahnhöfen befindet sich das ganze Leitungsnetz beständig in stromlosem Zustande. Erst unmittelbar vor Ankunft des Zuges wird eingeschaltet und sofort nach Ankunft ausgeschaltet. Die Leitung auf den Bahnhöfen bleibt so lange stromlos, bis der Zug abfahren darf und wird auch dann nur so lange eingeschaltet, bis der Zug den Bahnhof verlassen hat. Hierdurch wird eine so vollständige Betriebsicherheit erzielt, daß, wenn auch trotz beständiger Aufsicht und Instandhaltung der Leitung ausnahmsweise der Leitungsdraht an einer Stelle reißen sollte, dies nur dann gefährlich sein kann, wenn der Verkehr im Bereiche der betreffenden Leitung ohnehin schon wegen des in Bewegung befindlichen Zuges verboten ist.

Es fragt sich nun, bis zu welcher Grenze die Erhöhung der Spannung begründet ist.

Wie oben schon näher ausgeführt, sind die durch Erhöhung der Spannung zu erreichende Verminderung des Leitungsquerschnittes und sonstige Ersparnisse an der Arbeitsleitung durch gewisse statische und bauliche Verhältnisse begrenzt. Auch bezüglich der Abstände der Umformerstationen von einander ist eine gewisse Grenze einzuhalten, da sonst die von einander unabhängigen Teilstrecken zu lang ausfallen, und im Falle notwendiger Leitungsausbesserungen zu lange Teilstrecken außer Betrieb gesetzt werden müßten.

Die Speiseleitung der Umformerstationen unterliegt nicht der mechanischen Beanspruchung und Abnutzung, kommt also hierbei nicht in Betracht.

Von besonderem Werte für Vollbahnbetrieb ist die Eigenschaft der Mehrphasen-Drehstrom-Triebmaschinen, daß sie bei Erhöhung ihrer Umdrehungszahl durch eine äußere Kraft Strom in die Leitung senden. Fährt ein Zug bergab und wird seine Geschwindigkeit größer, als der üblichen Umdrehungszahl entspricht, so wird der Zug durch die Triebmaschinen gebremst, die abgebremste Kraft wird jedoch nicht in Wärme umgesetzt, sondern fließt in Form elektrischen Stromes in die Leitung zurück. Daher wird die zur Überwindung der Steigung erforderliche Arbeitsmenge auf dem Gefälle großenteils wiedergewonnen. Die Betriebskosten der Vollbahnen mit großen Steigungen werden auf diese Weise bedeutend vermindert. Es kommt also beim Entwerfen neuer Linien nicht so sehr darauf an, möglichst geringe Steigungen zu erhalten, wenn sich nur die Gefälle gegen die Steigungen ausnutzen lassen; dadurch können auch die Kosten des Bahnkörpers verringert werden.

Die »Kaskaden«-Schaltung ermöglicht die Verminderung der gewöhnlichen Geschwindigkeit auf die Hälfte, so daß der Zug mit zweierlei Geschwindigkeit verkehren kann, wobei beim Übergange von der größeren auf die kleinere Geschwindigkeit die dem Unterschiede beider entsprechende Arbeitsmenge ebenfalls in Form elektrischen Stromes in die Leitungen zurückfließt und die Fahrgeschwindigkeit ohne Bremsen durch bloßes Umschalten der Triebmaschinen auf die Hälfte ermäßigt werden kann.

Die so zurückgewonnene Strommenge beträgt theoretisch 75 % der Arbeit, welche nötig war, um den Zug auf die ge-

wöhnliche Geschwindigkeit zu bringen. Hiervon geht der dem Wirkungsgrade der Triebmaschinen und der Leitung entsprechende Arbeitsverlust ab. Diese Eigenschaft der Mehrphasenstrom-Triebmaschinen und diese Schaltungsweise wird bei den Bahnen vorteilhaft Verwendung finden, auf welchen die Züge oft zu halten und anzufahren haben, also bei Stadtbahnen mit starkem Verkehre. Wie weit sich diese Wiedergewinnung verwirklichen läßt, muß die Erfahrung noch lehren; daß sie theoretisch möglich ist, beweist auch Professor W. Kübler, Dresden, in seiner Schrift »Der Drehstrommotor als Eisenbahnmotor 1903.«

Der Hochspannungstrom bietet noch den Vorteil, daß die durch ihn bedingten geringen Stromstärken die Verbindung der verschiedenen Leitungstrecken mit dem Weichenstellwerke und den Einfahrsignalen zur völligen Sicherung der Bahnhöfe ermöglichen, indem an beiden Bahnhofsenden einige hundert Meter Leitungstrecke aus- und einschaltbar hergestellt werden, die mit dem Weichenstellwerke derart verbunden sind, daß die Leitungstrecke nur dann einschaltbar ist, wenn die richtige Weichenstellung hergestellt ist. *)

IV. Einfluß des Dreiphasen-Drehstrom-Betriebes und des Drehstrom-Gleichstrom-Betriebes auf die Anlage- und Unterhaltungskosten der Einrichtung des Kraftwerkes und der Unterstationen.

Direktor Köhn äußert sich über diesen Vergleich folgendermaßen unter Zugrundelegung des von Direktor Cserháti und Direktor-Stellvertreter von Kandó oben angenommenen Beispielen einer 15 km langen Bahnstrecke.

Bei 90 % Nutzleistung der Triebmaschinen und 10 % Leitungsverlust beträgt die am Schaltbrette erforderliche Arbeit 500 000 Watt, der bei Gleichstrom von höchstens 700 Volt Spannung eine Stromstärke von 700 Amp. entspricht. Für einen mit 70 km Geschwindigkeit fahrenden und einen an-fahrenden Zug, für den nur der doppelte Strombedarf gerechnet werden soll, sind alsdann 2100 Amp. erforderlich, bei zwei gleichzeitig an-fahrenden Zügen steigt er auf 2800 Amp. Der mittlere Strombedarf, das Anfahren mit eingerechnet, wird für das tkm 35 Wattstunden kaum übersteigen. Verkehren also in 1,5 stündigen Zugfolgen nach beiden Richtungen Züge mit 300 t, so beträgt der mittlere Strombedarf

$$\frac{2 \times 300 \times 15}{1,5} \times 35 = 210\,000 \text{ Watt};$$

bei 700 Volt Spannung ist also die mittlere Belastung des Kraftwerkes 300 Amp.; der höchste Stromverbrauch ist also 7 bis 9mal so groß, wie der mittlere.

Da die Umformer für Drehstrom Gleichstrom im Betriebe ständiger Bedienung bedürfen, so sind für sie größere Häuschen erforderlich, als zur Unterbringung der Drehstromabspanner, welche durch die Streckenwärter ein- und ausgeschaltet werden können. Also werden nicht allein die Anlagekosten der Drehstrom-Gleichstromumformer erheblich höher ausfallen, als die der Drehstrom-Abspanner, sondern auch die Bedienungskosten im Betriebe. Die Betriebskosten vermehren sich außerdem

*) Natalis: Selbsttätige Blocksignal-Anlagen und Weichensicherungen auf der Schwebebahn Barmen—Elberfeld—Vohwinkel. Dingler's polytechnisches Journal 1902, Band 317, Seiten 125, 138 und 155.

durch die Unterhaltung und Erneuerung der beweglichen Teile des Drehstrom-Gleichstrom-Umformers, wogegen der Drehstrom-Abspanner, der nur aus ruhenden Teilen besteht, in kräftigster Weise fast unvergänglich hergestellt werden kann. Endlich spricht zu Gunsten des Drehstromes, dafs, wie auf der Valtellina-Bahn geschehen, durch Nebenschaltung der Drehstrom-Abspanner ein Ausgleich des Stromverbrauches zu erzielen ist, wie er in solcher Vollkommenheit bei Gleichstrom nicht erreicht werden kann.

Die Mittelmeer-Gesellschaft hat zunächst die Linie Mailand—Varese—Porto Ceresio am Luganer See durch die französische Thomson-Houston-Compagnie elektrisch einrichten lassen und die Strecke bis Varese am 20. Oktober 1901 dem öffentlichen Verkehre übergeben. Dieser folgten die Anschlüsse von Varese nach Porto Ceresio 1902 und von Gallarate nach Arona und Laveno am Langensee.



Mailand-Vareser Linien (Mittelmeerbahn).

Die ganze Länge dieser Linien (Textabb. 1) beträgt 130 km, sie zerfallen in folgende Strecken.

Strecken	Länge	Zahl der Gleise	Höchste Steigung	Kleinster Krümmungshalbmesser
	km			
Mailand—Rho	14	2	4	2000
Rho—Gallarate	27	2	6	800
Gallarate—Varese	18	1	10	500
Varese—Porto Ceresio	14	1	20	300
Gallarate—Arona	26	1	10	350
Gallarate—Laveno	31	1	8	600

Der hochgespannte Drehstrom wird im Dampfkraftwerke bei Tornavento am linken Ufer des Tessin mit 13 000 Volt Spannung erzeugt. Nahe dem Dampfkraftwerke liegt eine Wasserkraft, welche später auch für Betriebszwecke Verwendung finden soll. Der Drehstrom von 13 000 Volt wird mittels einer doppelten dreiphasigen Speiseführung den vier Umformerstationen

auf zwei verschiedenen in der Abb. —, Taf. — gestrichelten Leitungen zugeführt. Die eine mündet 19 km von Tornavento in Parabiago und führt bis Musocco weiter, die andere 11 km von Tornavento in Gallarate und führt von da über Gazzada nach Bisuschio auf der Strecke Varese—Porto Ceresio.

Die vier Unterstationen befinden sich in Musocco, Parabiago, Gallarate und Gazzada. Ihre Abstände sind: Mailand—Musocco 6 km, Musocco—Parabiago 17 km, Parabiago—Gallarate 17 km, Gallarate—Gazzada 14 km, Gazzada—Varese 5 km.

Ruhende Abspanner setzen die Spannung von 13 000 Volt auf 420 Volt herab und sind mit umlaufenden Umformern verbunden, welche 650 Volt Gleichstrom liefern, womit die Arbeitsleitung gespeist wird. Die Strecke ist mit einer dritten Schiene ausgerüstet, die Wagen-Ausstattung eine entsprechende, sie stimmt überein mit der seit Jahren im Betriebe bewährten Strecken- und Wagenausrüstung auf der Liverpooler Hochbahn, der Chicago-Metropolitan South Side Hochbahn und verschiedenen anderen amerikanischen Bahnen, so dafs vor auszusehen war, dafs sie sich auch auf dieser Strecke in technischer Beziehung bewähren würde. Ganz bedeutend soll der schnellere und dichtere elektrische Betrieb auf die Hebung des Verkehres und der Einnahmen eingewirkt haben.

Welche elektrische Betriebsweise die vorteilhafteste ist, wird die Erfahrung entscheiden. Es steht fest, dafs es gelungen ist, Hauptbahnen, Vollbahnen üblicher Bauart für Personen- und Güterverkehr mit Sicherheit elektrisch zu betreiben und dafs ein für die Geschichte des neuern Eisenbahnbetriebes bedeutsamer Fortschritt erreicht ist.

Auf Grund dieser allgemeinen Tatsache und des bei der Valtellina-Bahn angewendeten elektrischen Drehstrombetriebes, dessen nähere Beschreibung folgen wird, vergleicht nun Direktor Köhn zunächst den Dampflokomotivbetrieb und den Betrieb mit elektrischen Lokomotiven.

V. Vergleich zwischen Betrieb mit Dampf- und elektrischen Lokomotiven nach Köhn.

Wo Kohlen teuer und billige Wasserkräfte genügend vorhanden, werden letztere zur Krafterzeugung im allgemeinen vorteilhafter sein. Für den vorliegenden Vergleich wird deshalb nur die Krafterzeugung mittels Dampfes in Erwägung gezogen.

a) Einfluss der Kesselfeuerung.

Der Verdampfungsgrad des Lokomotivkessels ist etwa 6, der des ruhenden Kessels mindestens 7,5, unter gleichen Verhältnissen ist letzterer 25 % höher, weil auf 1 qm Rostfläche in der Stunde im Lokomotivkessel etwa 200 bis 500 kg Kohlen gegen 50 bis 100 kg im ruhenden Kessel zu verbrennen sind, und dazu ein sehr starker Luftzug erforderlich ist, so dafs die Rauchgase mit hoher Wärme entweichen.

Köhn ermittelt hiernach die durch elektrischen Betrieb auf Grund der Angaben in der »Statistik der Eisenbahnen Deutschlands« für das Rechnungsjahr 1900*) zu erzielenden Ersparnisse an Ausgaben für Kohlen, Koks und Prefskohle auf 23 716 000 M.

*) Organ 1902, S. 183.

b) Unterhaltung und Bereitstellung.

Noch schwerer als die Kohlenersparnisse fallen die Kosten der Unterhaltung der Lokomotivkessel und die Kosten für die bei Dampftrieb un vermeidliche Bereitstellung von Lokomotiven gegenüber ruhenden Kesseln ins Gewicht. Ein Lokomotivkessel kann nur kurze Zeit im Betriebe stehen, besonders stark wird die Feuerbüchse durch den häufigen Wechsel von Erhitzung und Abkühlung beansprucht. Ferner ist das Wasser der Wasserstationen für die Lokomotiven oft schlecht geeignet, und Wasserreinigungsanlagen sind nur an wenigen Stellen eingeführt; in besonderen Fällen werden selbst Ersatzkessel gehalten, um bei Unterhaltungsarbeiten des Kessels die sonst betriebsfähigen Teile der Lokomotive nicht unnötig lange dem Betriebe zu entziehen.

Die Instandhaltung der ruhenden Kessel ist wesentlich günstiger. Sie bleiben länger im Betriebe; wird dieser einmal ausgesetzt, so erfolgt die Abkühlung langsam, auch können die ruhenden Kessel durch die üblichen Wasserreinigungs-Einrichtungen mit gutem Wasser gespeist werden.

Aus der Statistik der Eisenbahnen Deutschlands für das Rechnungsjahr 1900*) geht hervor, daß die vorhandenen 19069 Lokomotiven 760,51 Millionen Lokomotiv-km zurücklegten, davon nur 511,91 Millionen Nutz-km. Jede Lokomotive hat also im Durchschnitte jährlich 40000 Lokomotiv-km und 26800 Nutz-km geleistet. Da nach den bei den elektrischen Straßenbahnen gemachten Erfahrungen ein Straßenbahn-Triebwagen einschließlic der Ersatzwagen bei 12 km/St. mittlerer Geschwindigkeit jährlich 40000 Nutz-km zurücklegt, so wird angenommen werden können, daß bei einer mittlern Geschwindigkeit von 25 km eine elektrische Lokomotive oder ein Triebwagen mindestens 80000 Nutz-km zurücklegen kann, umsomehr als die elektrische Lokomotive jeden Augenblick dienstbereit und im Verhältnisse zur Dampflokomotive eine einfachere Maschine ist, welche häufiger Unterhaltungsarbeiten nicht bedarf. Aus diesen Zahlen geht hervor, daß die Hälfte der Dampflokomotiven für den Bereitschaftsdienst und die Unterhaltungsarbeiten in Anspruch genommen sind. Man würde also bei elektrischem Betriebe mit der Hälfte der Lokomotiven auskommen können, also für die Eisenbahnen Deutschlands statt 19069 nur 9534 elektrische Lokomotiven nötig haben. Da nach der Statistik eine Lokomotive jährlich durchschnittlich 4294 M. Unterhaltungskosten verursachte, so würde durch den Wegfall von 9534 Dampflokomotiven eine Ersparnis von 42000000 Mark erzielt.

c) Tender.

Bei der elektrischen Lokomotive fällt das tote Gewicht des Kohlen- und Wasserbehälters und des Tenders fort, das mitzuschleppende tote Gewicht wird dadurch um 30 t bei jedem Zuge geringer, wofür ohne Mehrkosten Nutzlast befördert werden kann. Nach der Statistik beträgt die auf die Güterwagenachse entfallende Nutzlast 2,76 t. Wird die Eigenbelastung der Achse zu 7 t angenommen, so beträgt die ganze Achsbelastung 9,76 t. Für 30 t erspartes Tendergewicht lassen sich also 3,07 beladene Güterwagenachsen befördern, also

$3,07 \times 2,76 = 8,47$ Nutztonnen. Da die Lokomotiven Deutschlands wie oben angeführt 511,91 Millionen Nutz-km zurücklegten, so ergeben diese 8,47 Nutztonnen $511,91 \times 8,47 = 4345,877$ Millionen Nutztonnen-km und bei einer Einnahme von 3,54 Pf. für das Nutztonnen-km*) ein Mehr an Reineinnahme von 15 350 000 M.

d) Dampfverbrauch.

Die beste Schnellzug-Verbund-Lokomotive verbraucht unter günstigen Umständen 8 bis 9 kg Dampf für die PS-Stunde,**) ruhende Verbundmaschinen von mehr als 2000 PS-Leistung mit Dampf niederschlag und überhitztem Dampfe bei Vollbelastung 4,5 bis 5,5 kg.

Wenn nun auch die in der Dampfmaschine selbst, in den Kräfteerzeugungsmaschinen, in den Speise- und Nebenleitungen, in den Umformern und in den Triebmaschinen der elektrischen Lokomotive oder der Triebwagen auftretenden Verluste in Rechnung gezogen werden, so betragen diese höchstens 30 bis 40 ‰, so daß der Dampfverbrauch für die PS-Stunde auch nicht mehr als 8 bis 9 kg beträgt, die langsamer fahrenden Lokomotiven und namentlich die großen Güterzuglokomotiven erfordern wegen des größern Füllungsgrades in den Zylindern die 1,5 bis 2fache Dampfmenge. Bei den elektrischen Lokomotiven übt die Geschwindigkeit auf die Nutzleistung an sich keinen Einfluß, sodaß diese Lokomotiven für Güterzüge ebenso vorteilhaft arbeiten, wie für Schnellzüge, vorausgesetzt, daß sie der Geschwindigkeit entsprechend bemessen sind.

e) Die Lokomotive.

Die elektrische Lokomotive kann, selbst abgesehen vom Tendergewichte, bei gleicher Leistungsfähigkeit erheblich leichter sein, weil sie nur mit dem Gewichte der Triebmaschinen und der elektrischen Ausrüstung belastet ist und jede ihrer Achsen unmittelbar angetrieben werden kann. Die Leistungsfähigkeit einer Dampflokomotive ist ferner durch die im Kessel in der Zeiteinheit erzeugbare Dampfmenge beschränkt. Eine Lokomotive mit großer Leistungsfähigkeit erfordert daher einen Kessel mit großem Roste und großer Heizfläche und bedingt dadurch großes Gewicht, welches gewöhnlich größer ausfällt, als das durch die Zugkraft notwendige Reibungsgewicht, so daß alle Schnell- und Personenzuglokomotiven für das überschießende Gewicht Laufachsen besitzen. Die elektrische Lokomotive ist aber auch der Dampflokomotive darin noch überlegen, daß sie bei gleichem Reibungswiderstande fast die doppelte Zugkraft ausüben kann, denn während bei der Dampflokomotive nur 16 ‰ des Reibungsgewichts als Zugkraft wirken, beträgt diese Zahl bei der elektrischen Lokomotive 22 bis 30 ‰, wie Versuche auf den mit elektrischen Lokomotiven betriebenen amerikanischen und europäischen Bahnen nachgewiesen haben. Der Grund hierfür liegt zum Teil darin, daß die Triebkraft der elektrischen Lokomotive stetig ist, zum Teil vielleicht darin, daß durch den Stromübergang vom Rade zur Schiene Erwärmung und Trocknung beider stattfindet. Noch mehr zu

*) Zeitung des Vereins Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen 1903, S. 141.

**) Leitzmann, Zeitschr. d. Ver. d. Ing. 1899.

*) Organ 1902, S. 183.

Gunsten der Leistungsfähigkeit der elektrischen Lokomotiven fällt ins Gewicht, daß der Eigenwiderstand der Dampflokomotive für 1 t wegen der Reibung ihrer Teile, besonders wegen der unvermeidlichen Kuppelung der Achsen mehr als doppelt so groß ist, als der eines Wagens. Auf der wagerechten Strecke beträgt der Widerstand der Wagen: $W_w = 1,5 + 0,001 v^2$, der der Lokomotiven: $W_e = 4 \sqrt{a} + 0,002 v^2$, wobei a die Anzahl der gekuppelten Achsen, v die Geschwindigkeit in km/St. bedeutet. Da die Achsen der elektrischen Lokomotive nur zwei Lager mehr haben und sonst nur die geringe Reibung der gelenkigen Kuppelung, welche den umlaufenden Teil der Triebmaschine mit dem Rade verbindet, in Betracht kommt, so wird der Eigenwiderstand einer elektrischen Lokomotive nicht viel größer sein, als der eines Personenwagens mit derselben Achsenzahl. Nach den Leitzmannschen Mitteilungen verbrauchte eine vierzylindrige Lokomotive zwei- bis dreimal soviel Dampf für die an den Zughaken abgegebene PS-Stunde als für die nach den Dampfdruck-Schaulinien geleistete entfiel; der Unterschied wird durch die zur Weiterbeförderung des Lokomotiven- und Tendereigengewichtes erforderliche Arbeit und durch die Reibung der Maschinenteile aufgezehrt.

Auf jede Lokomotive kommen bei 26 800 Nutz-km 4296 M. jährliche Unkosten oder rund 16 Pf. für den Lokomotiv-Nutz-km. Die bei d und e zu erzielenden Ersparnisse an Dampfverbrauch und Leistungsfähigkeit der Lokomotiven können ohne Überschätzung zu 15 % angenommen werden, oder zu 2,5 Pf. für den Nutz-km, was bei 511,91 Millionen Lokomotivnutz-km 12,798 000 M. ergibt.

f) Ersparnis an Angestellten.

Jede Dampflokomotive erfordert mindestens zwei Leute. Für den Lokomotivführer ist wegen höherer Ansprüche an seine Ausbildung ein verhältnismäßig höherer Lohn zu rechnen, als für den Führer einer elektrischen Lokomotive, deren Einfachheit bei der Valtellina-Bahn höher gebildete Führer entbehrlich macht. Zudem erfordern die elektrischen Lokomotiven nur einen Führer, da der Zug nötigen Falles vom Bahnhofe aus durch Ausschaltung des Stromes auf der Strecke angehalten, auch leicht unter die Aufsicht und Maßnahmen des als Führer ausgebildeten Zugführers gestellt werden kann.

Man könnte somit jährlich für die Bahnen des deutschen Reiches mit 9534 elektrischen Lokomotiven an jeder 1200 M., im ganzen 11,440 000 M. Löhne ersparen.

g) Zusammenfassung der Ergebnisse a bis f.

Die oben ermittelten jährlichen Ersparnisse ergeben zusammen 105,264 000 M., die 5 % Zinsen eines Betrages von 1750.000 000 M., der bei 49930 km Bahnlänge 35 500 M/km zur Einrichtung des elektrischen Betriebes liefert. Dazu kämen die Beschaffungskosten der Lokomotiven nach der Statistik der Eisenbahnen Deutschlands für die Lokomotive 43 500 M. Da die Hälfte des vorhandenen Bestandes veräußert werden könnte, so würde bei einem Verkaufswert für die Lokomotive von nur 4350 M. ein Erlös von 41,720 000 M. zu erwarten sein, somit für ein Bahn-km 8300 M. Zur Umwandlung der deutschen Eisenbahnen für elektrischen Betrieb ständen also 43 800 M/km zur Verfügung.

Bei der rund 40 km langen Bahn Thun-Burgdorf betragen die Kosten für

Speiseleitung	112 000 M.
Umformer	128 000 «
Arbeitsleitung	280 000 «
Elektrische Ausrüstung von 6 Triebwagen, 2 Lokomotiven, Beleuchtung und Heizung der Anhängewagen	188 000 «
Bahnhofsbeleuchtung und elektrische Einrichtung der Werkstätte	16 000 «
Ersatzteile	24 000 «

im ganzen 748 000 M.

oder für ein Bahn-km 18 700 M.

Dazu kommen die anteiligen Kosten des Kraftwerkes in Spiez mit rund 2000 Kilowatt zu 240 M. = 480 000 M. oder für ein Bahn-km 12 000 «

also zusammen für ein Bahn-km 30 700 M.

Die 106 km langen Linien Lecco-Colico-Chiavenna und Colico-Sondrio haben, abgesehen von den wasserbaulichen Anlagen unter Voraussetzung der Errichtung eines Dampfkraftwerkes für den Bahn-km 40 500 M. gekostet.

Es ist wohl anzunehmen, daß sich die elektrische Umwandlung aller deutschen Eisenbahnen bei Verwendung von Drehstrom nicht höher stellen wird, wenn auch einzelne Strecken das zeh- und zwanzigfache kosten können. Noch sind aber mancherlei Vorteile und die Möglichkeiten weiterer Ersparnisse in Rücksicht zu ziehen.

h) Unterhaltung der Wagen.

Unter dem Rauche, dessen Wegfall für alle Beteiligten an sich unschätzbar ist, leiden auch die Wagen außen und innen, sodafs hohe Reinigungs- und Unterhaltungskosten entstehen. Das seltene Anlegen der Bremsen und das sanfte Anfahren der elektrischen Lokomotive schonen alle Wagenteile, insbesondere die Bremsklötze und Radreifen.

i) Unterhaltung des Oberbaues.

Die elektrische Lokomotive kann bei gleicher Leistung leichter sein als die Dampflokomotive und da die Anzahl der Triebachsen bei der elektrischen Lokomotive weniger beschränkt ist, so ist auch der Raddruck geringer zu halten, als bei der Dampflokomotive; die schädlichen Bewegungen und das stoßweise Anfahren fallen bei elektrischen Lokomotiven fast ganz weg. Der Oberbau kommt dadurch in günstigere Lage.

k) Sonstige Unterschiede.

Auf die Rückgewinnung von Arbeit im Gefälle auf die bei elektrischem Betriebe zu erreichende große Betriebsicherheit, ferner auf die Vermeidung der Rauchplage und auf die Anpassungsfähigkeit des elektrischen Betriebes an schwankende Anforderungen ist früher hingewiesen. Zu erwähnen ist noch die Einrichtung elektrischer Beleuchtung, Heizung und Lüftung der Wagen, der Bahnhöfe und der Strecke, sodafs besondere Kraftwerke für Bahnhöfe unter Umständen erspart werden können. —

VI. Vergleich der Betriebsarten nach Cserháti und von Kandó.

a) Allgemeines.

Am besten eignen sich nach den bisherigen Erfahrungen die elektrischen Lokomotiven bei durchgehenden Personen- und Eilzügen auf Hauptbahnen. Triebwagen erwiesen sich günstiger bei Ortszügen, deren Fahrgäste meist nur Handgepäck mitnehmen.

Bei Staatsbahnen entfällt die Tilgung der Anlagekosten, die der Einrichtungskosten ist nicht in Rechnung zu ziehen, weil Unterhaltung und Erneuerung der Teile der Bahneinrichtung in den Betriebsausgaben verrechnet werden müssen. Bei Privatbahnen mit langer Genehmigung ist die Tilgung der Baukosten als geringfügig außer Acht zu lassen. Für die Verzinsung müssen die Kosten der Triebfahrzeuge ausgeschieden werden, denn sie gelten als Ersatz für die bis zur Umgestaltung in Betrieb gewesenen Dampflokomotiven, die auf anderen Linien verwendet oder je nach ihrem Zustande außer Dienst gestellt und auf Rechnung der Erneuerungsmittel oder zu Lasten der Betriebseinnahmen allmählich durch elektrische Triebfahrzeuge ersetzt werden.

Daher bleiben für die Berechnung der Ausgaben nur die Zinsen aus den Einrichtungskosten des Kraftwerkes, der Stromzuleitung und der Umformer zu berücksichtigen. Diese können für den Vergleich aber nicht den Zugförderungskosten zugeschlagen werden, da einerseits Ersparnisse in den Betriebs- und Unterhaltungskosten, andererseits auch eine Erhöhung der Einnahmen durch den elektrischen Betrieb eintreten, die schätzungsweise als Gegenwerte dieser Zinsen zu betrachten sind.

b) Zugförderungskosten.

1. Arbeitsverbrauch. Nach genauen Versuchen auf der Valtellina-Bahn beträgt der Stromverbrauch für 1000 Bruttotkm 33,5 Kilowattstunden am Schaltbrette des Kraftwerkes; in dieser Zahl sind alle Verluste in den Leitungen, Umformern und Triebmaschinen enthalten.

Die Kosten der Stromerzeugung und Stromzuführung sind folgende:

Kosten im Kraftwerke für Bedienstete, Kanalaufsicht, Schmierstoffe, Unterhaltung der Turbinen und Stromerzeuger, Unterhaltung der wasserbaulichen Anlagen	27 540 M.
Kosten für die bei Aufsicht und Unterhaltung der Leitung Angestellten, Umformerwärter, Beschaffungen für die Leitungsunterhaltung	27 540 «
Zusammen	55 080 M.*)

Der durchschnittliche tägliche Stromverbrauch beträgt 9600 Kilowattstunden, also jährlich 3,504 000 Kilowattstunden; eine Kilowattstunde kostet daher 1,57 Pf. und 1000 Bruttotkm 0,52642 M., während auf dieser Linie vorher der Kohlenverbrauch der Dampflokomotiven durchschnittlich für 1000 tkm 1,91 M. betrug.

Da ohne Vermehrung der Angestellten im Kraftwerke und auf der Linie die doppelte Strommenge erzeugt und ein doppelt so starker Verkehr bewältigt werden könnte, so würden sich die Kosten bei voller Ausnutzung noch günstiger gestalten.

*) Diese Zahlen beziehen sich auf die erste Zeit des Betriebes, wo die Anzahl Züge eine geringere war als gegenwärtig.

2. Gewicht der Lokomotiven. Bei der elektrischen Lokomotive kann man 25 bis 30 % des Reibungsgewichtes als Zugkraft in Rechnung stellen, für Güterzüge braucht die Lokomotive also wenig Ballastgewicht.

Am günstigsten gestalten sich die Verhältnisse für die elektrische Beförderung von Reisenden, wenn nicht Lokomotiven, sondern Triebwagen angewendet werden, weil dann nur deren elektrische Ausrüstung in Betracht zu ziehen ist. Das Gewicht der Wagen der Valtellina-Bahn beträgt 20 t, dabei können sie 600 PS. entwickeln.

3. Zurückgewonnene Arbeit. Züge, die auf Gefällen über 4 ‰ hinunter fahren, geben ohne jede Verwicklung in der Einrichtung oder in der Handhabung einen Teil der Hebearbeit in Form elektrischen Stromes in der Leitung zurück. Die »Kaskaden«-Schaltung der Mehrphasenstrom-Triebmaschinen läßt sich bei Stadtbahnen mit starkem Verkehre, wo die Züge oft anhalten und anfahren müssen, mit Vorteil verwenden.

c) Unterhaltungskosten.

1. Lokomotiven. Die Dampflokomotiven leiden unter Staub, Sand, Regen, Schnee, bei Fahrt ohne Dampf auch dadurch, daß Ruß und Asche aus der Rauchkammer in die Zylinder gelangt. Die ortsfesten Dampfmaschinen und Stromerzeuger eines Kraftwerkes arbeiten in staubfreien, gut beleuchteten Räumen, die mechanische Kesselfeuerung arbeitet selbst für Braunkohlen mit bestem Erfolge; so werden Ersparnisse an Unterhaltung, Bediensteten und Heizstoff erzielt.

Die Bauart der Drehstrom-Triebmaschinen der elektrischen Fahrzeuge schließt deren empfindlichsten Teil, die Bewickelung, so dicht ab, daß weder Öl noch Wasser eindringen kann, nur die beiden Lagerschalen, die drei Schleifringe und deren Bürsten sind der Abnutzung angesetzt, die nur gering ist, weil auch sie gegen Staub und Schmutz geschützt sind. Vorkommende Unterhaltungsarbeiten beanspruchen nicht viel Zeit, weil alle Teile auswechselbar sind. Zapfen und Büchsen der Kuppelung der Triebmaschine mit dem Rade sind gehärtet und geschliffen. Durch die Veränderlichkeit der Umfangskraft der Treibräder der Dampflokomotiven werden die Radreifen ungleich abgenutzt, bei den Reifen elektrischer Lokomotiven ist die Abnutzung geringer und gleichmäßig. Lokomotiven und Tender haben Radbremsen, bei den elektrischen wird die Bremsung durch die »Kaskaden«-Schaltung der Triebwerke ersetzt, die Räder werden nur beim Anhalten gebremst, also ist die Abnutzung auch deshalb geringer.

Nach vorsichtiger Näherungsrechnung werden die Unterhaltungskosten der elektrischen Lokomotiven für den Lokomotiv-Kilometer 2,55 Pf. betragen gegen 7,65 Pf. bei Dampflokomotiven; die Lokomotiv-Werkstätten werden daher kleiner und einfacher als die jetzigen, und für gleich lange Strecken und gleich starken Verkehr werden wegen des geringeren Unterhaltungszustandes elektrische Lokomotiven in geringerer Zahl erforderlich werden.

2. Unterhaltung der Wagen. Durch sanftes Anfahren, selteneres Bremsen und Fortfall des Rauches werden die Wagen bei elektrischem Betriebe besser geschont.

3. Bahnunterhaltung. Bei gleicher Leistung ist das Gesamtgewicht der elektrischen Lokomotiven geringer, als das

der Dampflokomotiven und die Zahl der Triebachsen nicht so beschränkt, da bei Dampflokomotiven die Kuppelung kaum über vier Achsen hinausgeht. Der Raddruck der elektrischen Lokomotiven wird daher geringer ausfallen, die Federn brauchen nicht so kurz und steif zu sein, wie bei den Trieb- und Kuppelachsen der Dampflokomotiven. Mit der vierachsigen elektrischen Lokomotive können die gegenwärtigen Zugvorrichtungen schon bei 14 t Achslast auf das höchste erlaubte Maß beansprucht werden.

Der Dienst in den Tunneln und deren Unterhaltung wird durch Wegfall des Rauches leicht und billig, die in Bau und Betrieb teuren Lüftungsanlagen sind unnötig, die Schienen werden von der gefährlichen Säurewirkung befreit.

d) Kosten der Lokomotivmannschaften.

Auf der Valtellina-Bahn haben sich die Heizer der Dampflokomotiven als Wagen- und Lokomotivführer beim elektrischen Betriebe am besten bewährt, auch alle Zugführer wurden in der Handhabung der elektrischen Einrichtungen geschult, damit ein zweiter Beamter da ist, der den Fahrer ersetzen kann. Auf den elektrischen Lokomotiven und Triebwagen befindet sich die Mannschaft in geschlossenem Raume vor Witterungsunbilden geschützt, Arbeit ist von ihr kaum zu leisten, so daß sie leistungsfähiger ist, als bei den Dampflokomotiven. Nach den bei der Valtellina-Bahn gemachten Erfahrungen leisten die Fahrer trotz der Kürze der Bahnstrecke täglich 250 bis 300 Personenzug-km und etwa 200 Güterzug-km. Der elektrische Betrieb gestattet also bei größerer Schonung eine Verminderung der Mannschaften.

e) Vorteile des elektrischen Betriebes für den Verkehrsdienst.

1. Die Betriebssicherheit ist bei elektrischem Betriebe größer als bei Dampftrieb, weil der Zug nur dann in den Bahnhof ein- oder aus ihm ausfahren kann, wenn der diensttuende Beamte mit der richtigen Einstellung der Signale die betreffenden Leitungen in den Stromkreis eingeschaltet hat.

2. Wegen geringerer Betriebs- und Unterhaltungskosten kann man durch rascher fahrende leichte Züge dichteren Verkehr erzielen und so den Verkehr beleben. Durch Wegfall des Wassernehmens wird diese Hebung weiter begünstigt.

Schnell fahrende Dampflokomotiven sind der großen Kessel wegen schwer, vermindern also die Nutzlast der Züge und erfordern schweren Oberbau. Dieser große Achsendruck ist bei elektrischen Lokomotiven nicht unbedingt erforderlich, weil die Anzahl ihrer Triebachsen nicht so beschränkt ist. Daher können die Züge unter Beibehaltung der bestehenden Schienen schneller innerhalb der Grenzen des wirtschaftlichen Betriebes und der Betriebssicherheit mit einer Geschwindigkeit von 100 bis 120 km/St. fahren.

3. Beleuchtung und Arbeit für Nebenzwecke. Auf elektrisch betriebenen Bahnen ergibt sich die elektrische Beleuchtung der Züge und Bahnhöfe von selbst.

Da das Anfahren der Züge im Leitungsnetze bedeutende Spannungsschwankungen veranlaßt, empfiehlt es sich, die Beleuchtung der größeren Bahnhöfe mit Umformern und Speichern zu bewerkstelligen. Mit dem Hauptstrom können Kräne, Aufzüge, Schiebebühnen, Drehscheiben und geeigneten Falles

die Maschinen der Werkstätten und Bahnunterhaltung betrieben werden.

4. Funkenwurf. Die beträchtlichen Entschädigungen für die Folgen des Funkenwurfes für Wälder, Felder, Gebäude und Gewerbebetriebe fallen weg.

5. Kohlenfracht. Die auf Dampftrieb eingerichteten Kraftwerke können in vielen Fällen in der Nähe von Kohlenzechen errichtet werden, wodurch die Selbstfrachten für Dienstkohlen geringer werden, da ein Kraftwerk etwa 200 km beherrscht.

f) Geschwindigkeit.

Die Erzeugung großer Geschwindigkeiten verursacht keine solchen Schwierigkeiten wie bei Dampflokomotiven, bei denen Gewicht und störende Bewegungen mit der Geschwindigkeit zunehmen. Die Grenze der Geschwindigkeit wird allein durch wirtschaftliche Fragen bestimmt, denn die Steigerung der Geschwindigkeit über eine gewisse Grenze hinaus bringt nur geringen Zeitgewinn, dagegen erhebliche Betriebserschwerungen, da die Widerstände sich erhöhen und Fahrzeuge und Strecke viel stärker beansprucht werden. Wegen Wahrung der hierauf beruhenden Betriebsicherheit erscheint es nicht vorteilhaft, die Fahrgeschwindigkeit über 120 km/St. zu steigern, wenn man nicht zu heute ungewöhnlich erscheinenden Mitteln greifen will.

g) Ausnutzung von Wasserkraften.

Wo eine nicht zu teure Wasserkraft zur Verfügung steht, wird diese zur Krafterzeugung verwendet. Der elektrische Betrieb ist aber auch dann wirtschaftlich, wenn die Kraft durch Dampf erzeugt wird. Nach sehr vorsichtig angestellten Berechnungen kostet bei Linien mit dichtem Verkehre die PS.-Stunde am Radumfang bei elektrischen Fahrzeugen nicht so viel, wie bei Dampffahrzeugen, abgesehen von allen bereits aufgeführten Vorteilen des elektrischen Betriebes.

Steigt die Leistungsfähigkeit bei einzelnen Kraftwerken auf 1500 PS. und mehr, so wird Kessel- und Maschinenhaus unter die Leitung erfahrener Ingenieure gestellt werden können. Die Feuerung im Kesselhause wird dann nicht nur einigen Heizern anvertraut sein, vielmehr können alle Mittel der Wissenschaft zum Erkennen und sofortigen Beseitigen etwaiger Mängel angewendet werden.

h) Zusammenfassung.

Cserháti und von Kandó fassen die Vorteile des elektrischen Betriebes wie folgt zusammen:

»Möglichkeit der Ausnutzung der Wasserkräfte oder Ersparnis an Heizstoff; leichtere Lokomotiven, deren Eigenwiderstand geringer ist; teilweiser Rückgewinn der Hebearbeit auf Gebirgsbahnen; billigere und leichtere Unterhaltung der Betriebsmittel, also geringere Anzahl von Lokomotiven und kleinere Werkstätten; Schonung der Wagen; geringere Lohnkosten durch Ausfall des Heizers oder Lokomotivführers; größere Betriebssicherheit, Möglichkeit dichten Verkehrs mit leichten Zügen; größere Geschwindigkeiten auf dem vorhandenen Oberbaue, bequeme Beleuchtung der Züge und Bahnhöfe; Wegfall von Rauch und Funkenwurf.«

Diesen Vorteilen steht ein nicht unbedeutender Aufwand an Kapital für Einrichtungskosten gegenüber. Die

Frage der Geldbeschaffung kann jedoch nicht gegen den elektrischen Betrieb sprechen. Wie bei der Valtellina-Bahn kann eine Gesellschaft für die elektrischen Umgestaltungsarbeiten und den Betrieb gebildet werden, dem Bahneigentümer erwachsen dann keine Kosten, denn die Abgaben an die Betriebsgesellschaft werden aus den Ersparnissen gedeckt. Eine andere Lösung wäre die, daß die Bahn-Eigentümerin die elektrische Ausrüstung auf eigene Kosten ausführt und die elektrischen Lokomotiven mit Vorteil als Ersatz der alten außer Betrieb zu setzenden Dampflokomotiven auf Rechnung des Betriebes beschafft. Die Lieferung des elektrischen Stromes könnte durch eine Unternehmung erfolgen, wenn die Bahneigentümerin selbst kein Kraftwerk errichten will.

i) Eignung der Bahnen für den elektrischen Betrieb.

Der elektrische Betrieb wird sich nur dann wirtschaftlich vorteilhafter als der mit Dampflokomotiven gestalten, wenn nicht allein der Personenverkehr durch Verteilung auf kleine Züge mit größerer Geschwindigkeit, sondern auch der die Haupteinnahmequelle bildende Güterverkehr durch Einführung schwererer Güterzüge und höherer Geschwindigkeit einbezogen wird.

Dieses kommt jedoch nur auf Bahnen mit sehr dichtem Personen- und Güterverkehre zur Geltung, nicht auf Neben- und Kleinbahnen, wo die etwa zu erwartende Verkehrsteigerung die Einrichtungskosten für den elektrischen Betrieb nicht verzinsen würde. Jede namentlich neue Linie muß also auf ihre wirtschaftliche Eignung für den elektrischen Betrieb besonders untersucht werden.

Im allgemeinen dürften sich folgende Bahnen zur Einrichtung des elektrischen Betriebes eignen:

Bahnen, zu deren Betrieb genügende Wasserkräfte vorhanden sind.

Bahnen in einem Kohlengebiete, wo für das Dampfkraftwerk minderwertige Kohlen und Kohlenabfälle verwendet werden können.

Gebirgsbahnen, bei denen die in der Steigung aufgewendete Arbeit im Gefälle teilweise wiedergewonnen werden kann, insbesondere in Verbindung mit den ersten beiden Verhältnissen.

Stadt- und Vorortbahnen mit dichtem Verkehre.

Bahnen mit langen und vielen Tunneln, bei denen die Schäden von Rauch und Gasen vermieden werden sollen, namentlich in den beiden vorhergehenden Fällen.

Eingleisige Bahnen, bei denen der steigende Verkehr ein

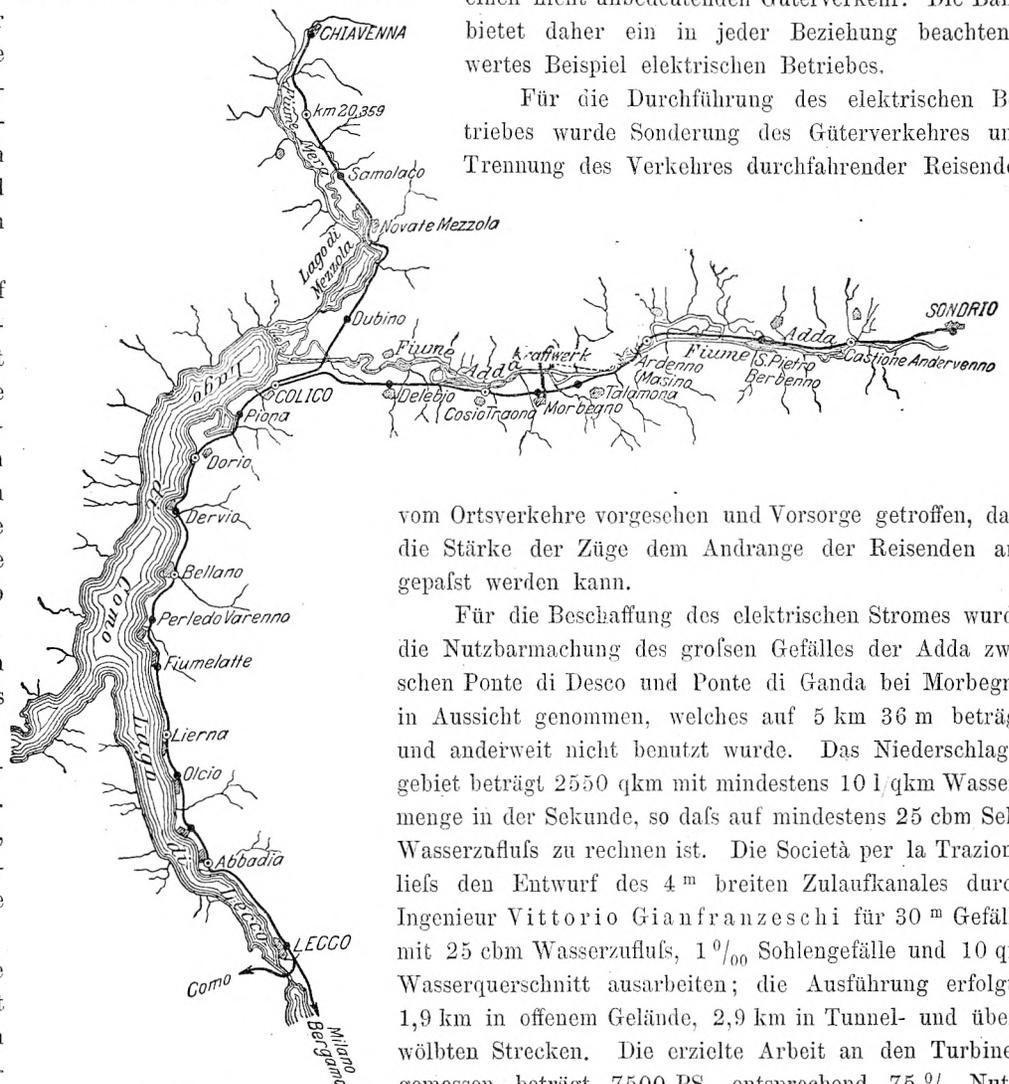
zweites Gleis erfordern würde, wenn der elektrische Betrieb mit schwereren Zügen und größerer Fahrgeschwindigkeit das zweite Gleis entbehrlich macht.

VII. Die elektrischen Einrichtungen auf der Valtellina-Hauptbahn Lecco-Colico-Chiavenna und Colico-Sondrio.

Diese von der Società Italiana delle Strade Ferrate Meridionali Esercente la Rete Adriatica gewählte Versuchslinie hat zahlreiche Krümmungen, lange Tunnel und viele kleine Bahnhöfe. In Chiavenna schließt die Linie an die Pässe zum Engadin und über den Splügen an, die Linie Colico-Sondrio vermittelt den Verkehr über den Bernina-Paß und das Stifiser Joch (Textabb. 2). Neben dem starken Verkehre der Vergnügungs-Reisenden im Sommer bringen Wein und die Rohstoffe für zahlreiche gewerbliche Anlagen an der Linie, namentlich Spinnereien und Webereien, einen nicht unbedeutenden Güterverkehr. Die Bahn bietet daher ein in jeder Beziehung beachtenswertes Beispiel elektrischen Betriebes.

Für die Durchführung des elektrischen Betriebes wurde Sonderung des Güterverkehres und Trennung des Verkehres durchfahrender Reisender

Abb. 2.



Maßstab 1 : 425 000.

vom Ortsverkehre vorgesehen und Vorsorge getroffen, daß die Stärke der Züge dem Andränge der Reisenden angepaßt werden kann.

Für die Beschaffung des elektrischen Stromes wurde die Nutzbarmachung des großen Gefälles der Adda zwischen Ponte di Desco und Ponte di Ganda bei Morbegno in Aussicht genommen, welches auf 5 km 36 m beträgt und anderweit nicht benutzt wurde. Das Niederschlagsgebiet beträgt 2550 qkm mit mindestens 10 l/qkm Wassermenge in der Sekunde, so daß auf mindestens 25 cbm Sek. Wasserzufluß zu rechnen ist. Die Società per la Trazione ließ den Entwurf des 4 m breiten Zulaufkanales durch Ingenieur Vittorio Gianfranceschi für 30 m Gefälle mit 25 cbm Wasserzufluß, 1 ‰ Sohlgefälle und 10 qm Wasserquerschnitt ausarbeiten; die Ausführung erfolgte 1,9 km in offenem Gelände, 2,9 km in Tunnel- und überwölbten Strecken. Die erzielte Arbeit an den Turbinen gemessen beträgt 7500 PS. entsprechend 75 ‰ Nutzwirkung.

a) Das Kraftwerk.

Das Turbinen-Stromerzeuger-Gebäude bietet bei einer Länge von 51,1 m, einer Breite von 21,7 und einer Höhe von 15 m in seinem untersten Maschinenraume Platz für vier Tur-

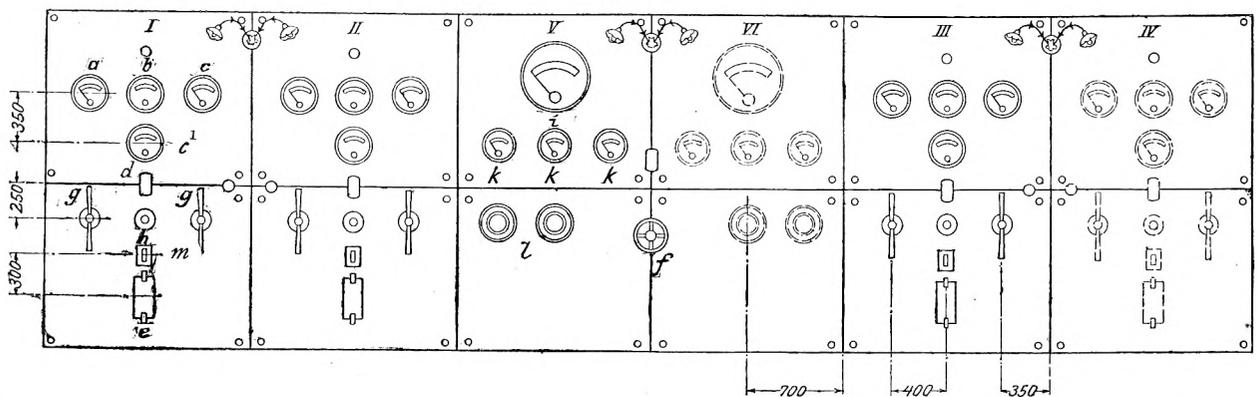
binen-Stromerzeuger. An diesen Raum schließt sich ein dreigeschossiger Vorbau an, welcher im Erdgeschoße das Schaltbrett, eine Werkstätte, das Dienstzimmer des Aufsichtsbeamten, Aborte und in den oberen Geschossen Wohnungen enthält. Vorerst sind drei Turbinen-Stromerzeuger aufgestellt; die von Ganz und Co. gelieferten Francis-Turbinen haben je 2000 PS. bei 150 Umläufen in der Minute, nach Bedarf ist eine vierte von 3000 bis 4000 PS. vorgesehen.

Jedes der beiden 68 m langen, unter 45° geneigten, 2,5 m weiten Turbinenzufußrohre ist durch besondere Schieber abschließbar, um Unterhaltungsarbeiten an einer Turbine vornehmen zu können, ohne den Betrieb der andern zu stören; auch die zur Verhinderung des Eindringens schwimmender Gegenstände in die Turbinen vor den Zufußrohren befindlichen Vorkammern sind jede für sich abschließbar. Das Gefälle kann bei Hochwasser um 4 m abnehmen. Die Turbinen sind so angeordnet, daß ein Teil des Gefälles drückend, ein Teil saugend wirkt (vergl. Abb. 1 bis 3, Taf. LXXXVIII), daher liegt das Turbinenabflußrohr bei jedem Wasserstande eingetaucht.

Das Triebrad ruht auf der verlängerten Welle des Stromerzeugers. Jeder Satz Turbinen-Stromerzeuger hat daher nur zwei Lager, die mit Ringschmierung versehen und für Wasserkühlung eingerichtet sind. Die Beaufschlagung erfolgt durch verstellbare Fink'sche Leitschaufeln, deren Verstellung von Hand und durch einen Umdrehungsregler mit zwischengeschalteter Steuermaschine geschehen kann. Zur Schaltung der Stromerzeuger neben einander können die Leitschaufeln auch vom Schaltbrette aus mittels eines auf die Steuermaschine wirkenden Kettenzuges verstellt werden. Die Steuermaschinen werden wegen Unreinheit des Addawassers durch Öl unter 10 at Druck betrieben. Jede Turbine ist mit einer Öl-Druckpumpe gekuppelt, welche das Öl in einen Speicher pumpt. Ein Hartung'scher Pendelregler wirkt auf einen Verteilungsschieber, welcher das Zylinderpaar der Steuermaschine entweder mit dem Öl-Speicher oder mit dem Saugbehälter der Ölpumpe verbindet. Jede Veränderung der Umdrehungsgeschwindigkeit der Turbinen verursacht also auch eine Druckänderung im Zylinder der Steuermaschine also Verstellung der Leitschaufeln und des Wasserzufflusses zu den Turbinen.

Die Stromerzeuger sind von der Elektrizitäts-Gesellschaft vormals Schuckert und Co. als Dreiphasenstromerzeuger mit 15 Wellen und beweglichem Indikator ausgeführt. Die Maschinen geben unmittelbar bei einer Phasenverschiebung von $\cos. \varphi = 0,7$ und gewöhnlicher Belastung Drehstrom von 20000 Volt, jede kann bei 1560 PS. wirklicher Turbinenleistung 1050 Kw. hergeben. Bei dieser gewöhnlichen Belastung erleidet die Bewicklung nur etwa 45° Erwärmung über die des Maschinenraumes. Bei dem Übergange vom Leerlaufe auf 1500 PS. Belastung sinkt die Spannung bei gleichbleibender Umdrehungszahl nur um 15%. Bei plötzlicher Entlastung von Vollbelastung auf Leerlauf steigt sie nur um 10%. Der Kurzschlußstrom ist der sechsfache des gewöhnlichen. Die Stromerzeuger sind so bemessen, daß sie diesen Kurzschluß-Strom zwei Minuten ohne Schaden ertragen können. Für die Dauer einer halben Stunde können sie auch Strom von 30000 Volt Spannung liefern. Die unmittelbar gekuppelten Erreger sind mit einem selbsttätigen Umschalter versehen, der beim Durchgehen der Turbinen einen Widerstand in den Erregerstrom-Kreis schaltet, um eine schädliche Spannungserhöhung im Speisestrom-Kreise zu vermeiden, falls die Turbinen-Regelung nicht wirken sollte. Diese Maßregel ist getroffen, um zu vermeiden, daß die Vorrichtungen an der Schalttafel durch Spannungsüberhöhung zerstört werden, und es ist erreicht, daß die Spannung auch bei Steigerung der Umdrehungszahl auf 250 in der Minute nicht über 25000 Volt wächst. Das Gewicht eines Stromerzeugers beträgt 69,3 t, wovon 43,8 t auf den Umlaufteil mit Welle entfallen. Die Schalttafel ist für vier Stromerzeuger und zwei Speiseleitungen eingerichtet. Zunächst wird für den elektrischen Bahnbetrieb nur eine Leitung benutzt; sobald die geplante Verlängerung der Bahn von Lecco nach Mailand hergestellt wird, soll auch die zweite angebracht werden. Hinter dem Schaltbrette befinden sich die beiden Gruppen von Sammelschienen, zu denen von jedem Stromerzeuger gut gedichtete unterirdische Kabel führen. Alle auf der Vorderseite der Schalttafel angebrachten Vorrichtungen dienen für die Niederspannung, um die Bedienung mit dem hochgespannten Strome nicht in Berührung kommen zu lassen. (Textabb. 3). Gegen Überlastung sind die Stromerzeuger

Abb. 3.



- I, II, III, IV. Stromerzeuger-Tafel.
 V, VI. Tafel für die äußeren Stromkreise.
 a. Voltmesser der Stromerzeuger.
 b. Gleichlauf-Voltmeter.
 c. Ampèremesser für den Stromerzeuger.

- d. Voltmesser-Umschalter.
 e. Schalter für den Erregerstromkreis.
 f. Handrad für den Erregerwiderstand.
 g. Schalterhebel.

- h. Handrad für den Widerstand des Erregerfeldstromkreises.
 i. Voltmesser für den äußeren Stromkreis.
 k. Ampèremesser für den äußeren Stromkreis.
 l. Elektrizitätszähler.

durch Abschmelzsicherungen in Porzellan-Röhren geschützt. Jede der beiden Speiseleitungen hat drei Ampère-Messer, je einen für jede Phase, einen Wattzähler, einen Spannungsmesser und einen dreipoligen Ausschalter. Alle Handhaben der dreipoligen Ausschalter für die Hochspannung von 20 000 Volt sind vor dem Schaltbrette angeordnet und mit einer vollkommen abgedichteten Übertragung versehen. Nur die Handhaben der beiden Ausschalter für die äußeren Stromkreise müssen im Schaltraume selbst bewegt werden. Die Speiseleitungen sind beim Austritte aus dem Gebäude auf einem eisernen Träger befestigt, auf welchem auch die Blitzableiter angebracht sind. Zur Unterstützung dieser Blitzableiter, und um die statischen Entladungen unausgesetzt zu ermöglichen, ist noch ein einfaches Wasserspiel eingerichtet, welches aus drei Wasserstrahlen besteht, die aus einem mit der Erde leitend verbundenen wagerechten eisernen Rohre mittels dreier senkrecht ausziehbarer Röhren aufsteigen und dann oben in drei vier-

eckigen, mit den drei Phasen der Speiseleitung in Verbindung stehenden Zinkkasten aufgefangen werden. Die für das Wasserspiel gebrauchte Kraft ist verhältnismäßig gering, da der seiner Länge nach stellbare 15^{mm} starke Wasserstrahl dem erzeugten Strome einen starken Widerstand entgegengesetzt, während er für elektrostatische Entladungen gut leitend wirkt. Die Wasserstrahlen lassen bei 20 000 Volt Spannung etwa 0,1 Amp. durch. Der Wasserverbrauch für alle drei Strahlen beträgt in der Sekunde 2,5 l. Das Wasserspiel hat sich außerordentlich gut bewährt.

Alle Meßvorrichtungen haben niedrige Spannung und sind mit den Nebenwicklungen besonderer Umformer geschaltet, welche die Spannung von 20 000 auf 55 Volt herabsetzen. Die Ausschalter beider Speiseleitungen mit den Handhaben im Schaltraume haben Hörnerform mit senkrechter beweglicher Schneide. Für jede Phase liegt der Ausschalter in Marmorkästen (Textabb. 4).

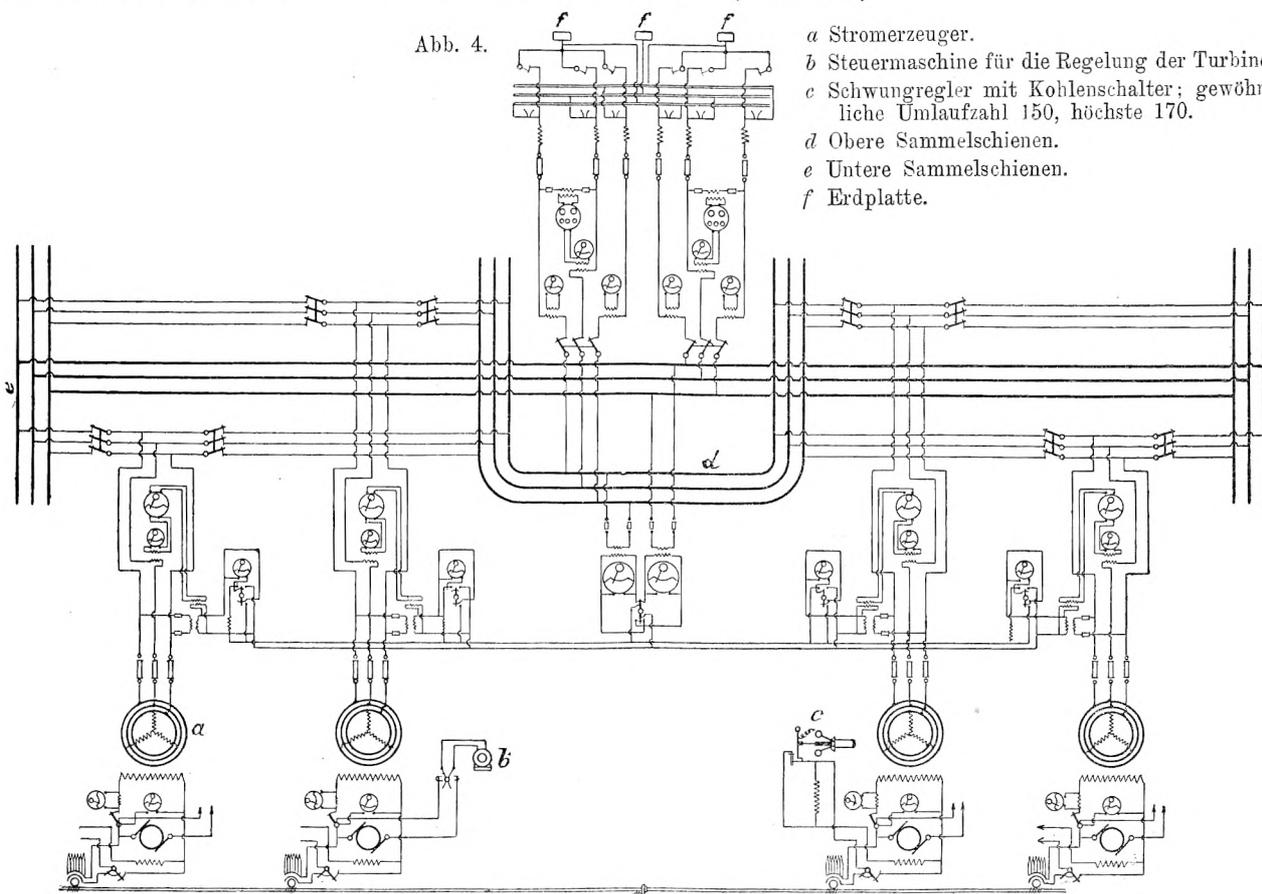


Abb. 4.

- a Stromerzeuger.
- b Steuermaschine für die Regelung der Turbine.
- c Schwungregler mit Kohlschalter; gewöhnliche Umlaufzahl 150, höchste 170.
- d Obere Sammelschienen.
- e Untere Sammelschienen.
- f Erdplatte.

Schaltungs-Übersicht des Kraftwerkes.

b) Die Speiseleitung.

Die Speiseleitung (Textabb. 1) besteht aus drei blanken auf stromdichten Porzellanlocken (Textabb. 5 und 6) angebrachten Kupferdrähten auf 25/30 cm starken Lärchenholzpfählen. Zwischen Morbegno und Castione vor Sondrio, zwischen Colico-Abbadia, und Colico-km 20,555 zwischen Samolaco und Chiavenna haben die Drähte 7^{mm} Durchmesser, auf den übrigen Strecken 8^{mm}. Die letzte Umformerstation liegt 5 km vom Ende der Arbeitsleitung in Sondrio, ebenso liegt die letzte Umformerstation 5 km vor Chiavenna und 7 km vor Lecco. Die von den einzelnen Umformerstationen gespeisten Strecken haben folgende Längen:

	km
Lecco-Abbadia	7,000
Abbadia-Lierna	8,200
Lierna-Bellano	9,700
Bellano-Dorio	7,700
Dorio-Colico	6,300
Colico-Cosio Traona	11,900
Cosio-Ardenno Masino	10,900
Ardenno-Castione	12,200
Castione-Sondrio	5,680
Colico-km 20,555 auf d. Linie n. Chiavenna	20,555

Die ganze Länge der Speiseleitung beträgt 90 km.

Abb. 8.

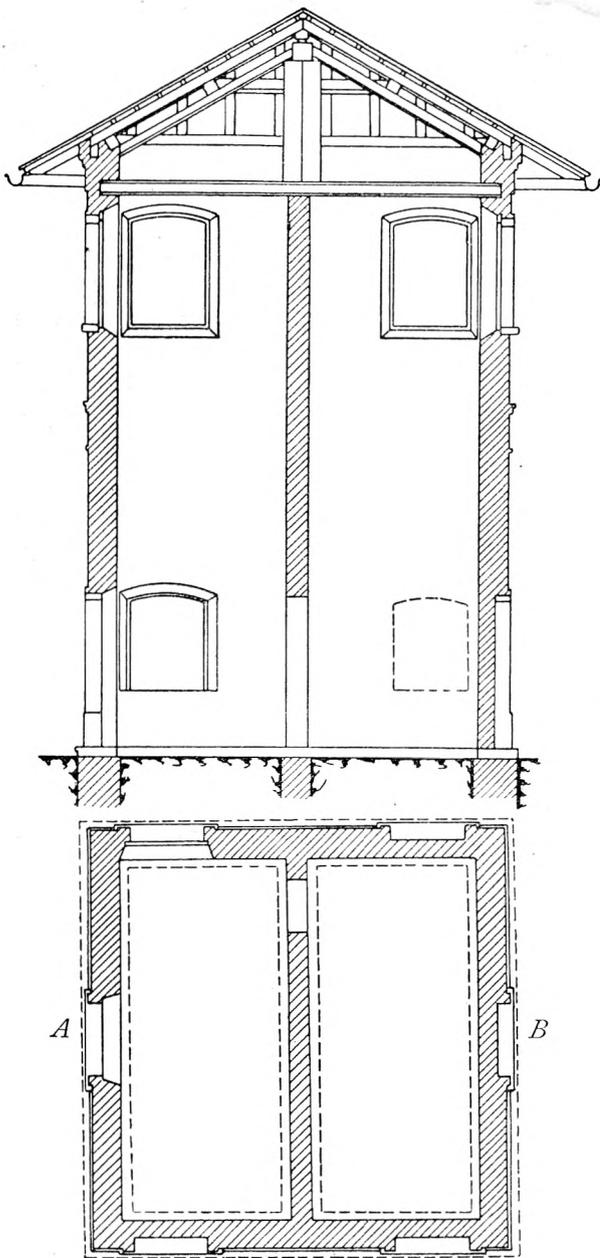
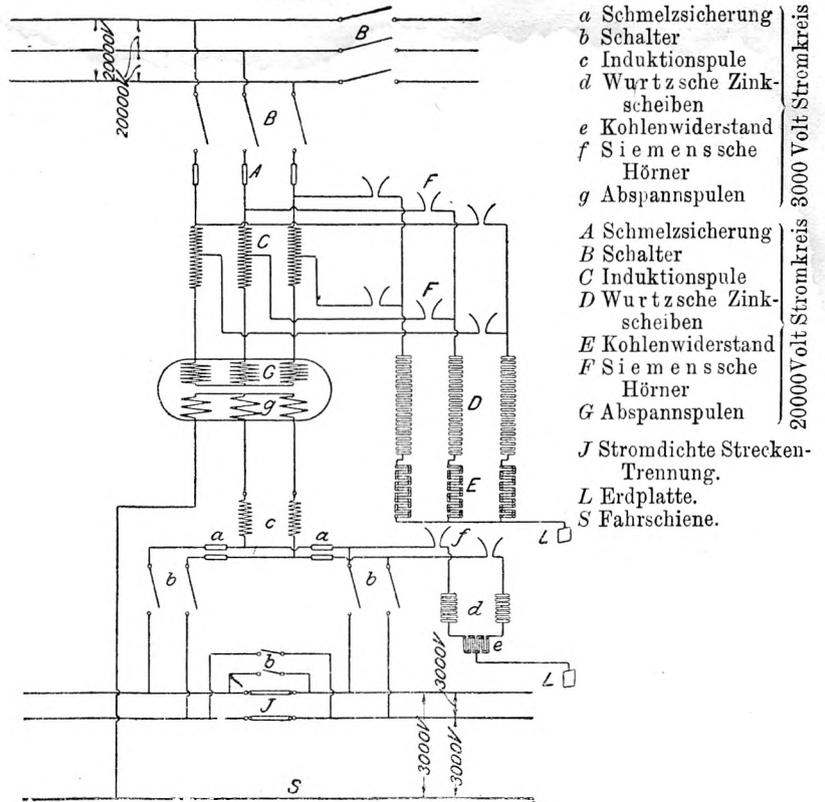


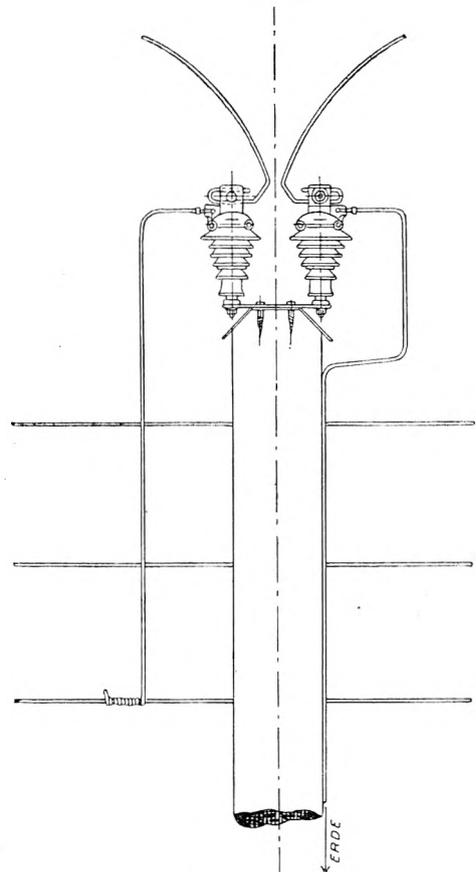
Abb. 9.



Schaltungs-Übersicht einer Abspanner-Station.

- a Schmelzsicherung
 - b Schalter
 - c Induktionspule
 - d Wurtz'sche Zinkscheiben
 - e Kohlenwiderstand
 - f Siemensche Hörner
 - g Abspannsulen
- } 3000 Volt Stromkreis
- A Schmelzsicherung
 - B Schalter
 - C Induktionspule
 - D Wurtz'sche Zinkscheiben
 - E Kohlenwiderstand
 - F Siemensche Hörner
 - G Abspannsulen
- } 20000 Volt Stromkreis
- J Stromdichte Streckentrennung.
 - L Erdplatte.
 - S Fahrtschiene.

Abb. 10.



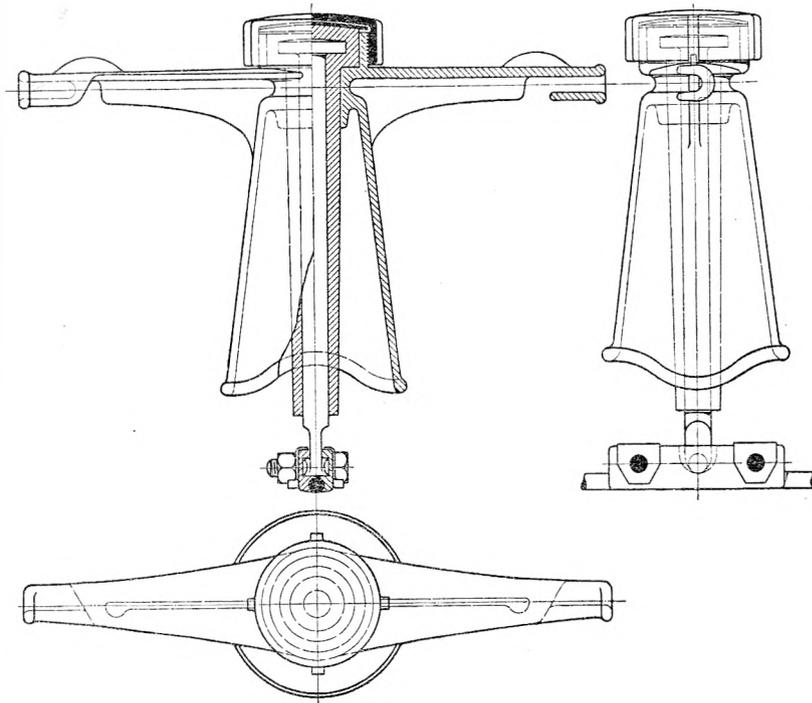
Blitzableiter der Speiseleitung.

einheiten E und e, an welche die Erdleitung L anschließt. Ein Nebenpol der Umformer ist mit der Schienenrückleitung S verbunden, die beiden anderen g sind durch je einen doppel-poligen Ausschalter b, durch Sicherungen a und je eine Induktionsspule c an die beiden Arbeitsleitungsstrecken angeschlossen, welche rechts und links stromdicht gesondert von der Station ausgehen. Durch eine zweite Brücke b kann die eine Leitungstrecke mit der andern zum Zwecke der Versorgung mit Strom verbunden werden. Infolgedessen kann sowohl der Umformer, als auch jede Leitungstrecke, ohne den Betrieb auf den übrigen Abspannstationen und Leitungstrecken zu stören, stromlos gemacht werden. Längs der ganzen Speiseleitung sind Hörnerblitzableiter angebracht, welche mit den Erdleitungs-widerständen auf den Leitungspfählen befestigt sind (Textabb. 10). Da die Umformer für Abspannung alle neben einander arbeiten, so nehmen mehrere die Belastung durch den Strecken-verkehr auf.

c) Die Arbeitsleitungen.

Die Arbeitsleitungen bestehen aus zwei auf freier Strecke in 6 m Höhe, in Tunneln in 4,8 m Höhe über den Schienen gespannten Kupferdrähten von 8 mm Durchmesser. In den Leitungen kommen keine Lötungen vor; die Drahtenden werden durch Verbindungsstücke gezogen und mit Bolzen befestigt (Textabb. 11). Dasselbe gilt für die Anschlüsse an die strom-

Abb. 11.

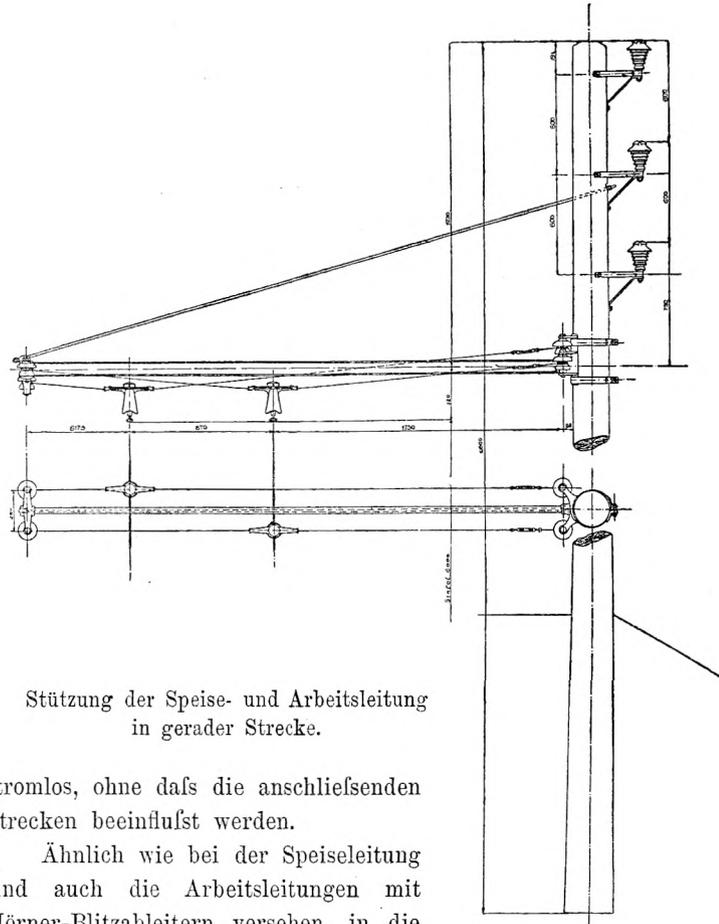


Stromdichter Träger der Arbeitsleitung von Ambroin.

höfen sind die Pfähle mit zwei Auslegern rechts und links versehen (Textabb. 13). Die stromdichten Stützen von Ambroin werden mittels 5 mm starker verzinnter Stahldrähte auf die beiderseits angebrachten stromdichten Glocken (Textabb. 14) gehängt. Der Bolzen der Ambroin-Stromdichter trägt am untern Ende zur Aufnahme der Drahtalterbacken beiderseits scheibenförmige Ansätze, in welche kreisförmige Ausschnitte in den Drahtalterbacken hineinpassen. Die Backen werden durch Bolzen zusammengepresst, um den Draht zu halten. Die Aufhängung ist beweglich und schon bei schnellfahrenden Zügen die Leitung. Auf den Bahnhöfen sind die Arbeitsleitungen so angeordnet, daß der Zug nicht einfahren kann, wenn das Einfahrtsignal auf »Halt« steht (Textabb. 15). Das bewirken je etwa 300 m lange Strecken vor jedem Bahnhofe, die durch zwei stromdichte Anschlüsse in der Regel stromlos gehalten werden, und nur dann vom Bahnhofe aus mittels eines Umschalters unter Strom gesetzt werden, wenn die Einfahrtsignale auf »Frei« stehen. Durch das Ausschalten dieser Schutzstrecken werden die darauf folgenden Strecken nicht berührt, weil sie außerhalb der ausgeschalteten Strecken um den Bahnhof herum verbunden sind. Von dieser Verbindungsschleife zweigt eine Leitung ab, durch die die Bahnhofsleitungen selbst mittels eines Schalters mit Strom versorgt werden können. Wird also die Bahnhofsleitung ausgeschaltet, so wird sie

dichten Streckentrennungen und die Weichen. Für jeden Arbeitsdraht sind besondere Aufhängestromdichtungen vorgesehen, welche an zwei besonderen Spanndrähten angebracht sind. Zum Halten der Spanndrähte sind in Geraden meistens Pfähle mit einem Ausleger (Textabb. 12), in Krümmungen beiderseits Pfähle verwendet (Textabb. 7), welche durch zwei Bohlen quer gegen einander abgesteift sind, auf den Bahn-

Abb. 12.



Stützung der Speise- und Arbeitsleitung in gerader Strecke.

stromlos, ohne daß die anschließenden Strecken beeinflusst werden.

Ähnlich wie bei der Speiseleitung sind auch die Arbeitsleitungen mit Hörner-Blitzableitern versehen, in die Erdleitungswiderstände eingeschaltet sind. Die Blitzableiter sind unmittelbar auf den Leitungspfählen befestigt (Textabb. 10).

Bei den Weichen ist der Strom zur Vermeidung der Kreuzung stromführender Drähte mit verschiedener Stromphase an den Kreuzungstellen zweier Drähte dadurch unterbrochen, daß vier in Teeröl getränkte Holzstücke von etwa 6 m Länge eingeschaltet sind. Außerdem sind bei der Weiche selbst die äußeren Drähte soviel tiefer angebracht, daß die Stromabnehmerrolle nur diese berührt. Zwischen jenen Holzstücken ist eine senkrechte, gondelförmig geschnittene Bohle eingefügt, welche die eine Rollenseite beim Einlaufe in die Kreuzung herabdrückt. Auf der eingleisigen Strecke endigen die zwei äußeren Drähte am nächsten Leitungspfähle. Beim Durchfahren der Weiche werden die Triebmaschinen, falls der Strom nicht überhaupt ausgeschaltet ist, als Einphasen-Maschinen beansprucht.

Der Abstand der Leitungspfähle auf gerader Strecke beträgt 40 m, in Krümmungen vermindert er sich bis 30 m

Halbmesser allmählig auf 26 m. In den Tunneln beträgt die Teilung der Drahthalter in der Geraden 34 m, in den Krümmungen geht sie bis auf 26 m herab. Der Abstand der beiden Arbeitsleitungsdrähte ist 870 mm. Die Fahr­schienen, welche als Rückleitung dienen, sind an den Stößen mit Kupferbügeln von 6 mm Durchmesser verbunden, welche in den Schienen-

löchern mittels kegelförmiger Hülsen befestigt sind. Außerdem sind die Schienen alle 500 m durch kupferne Querdrähte verbunden.

d) Die Betriebsmittel.

Die Eil- und Personenzüge wurden anfangs durch Triebwagen, die Güterzüge durch elektrische Lokomotiven befördert.

Man ist jedoch bald dazu übergegangen, die Eil- und Personenzüge bis 250 t mit 60 bis 70 km/St. Geschwindigkeit und die Güterzüge bis 400 t mit 30 bis 35 km/St. Geschwindigkeit auf 10⁰/₀₀ Steigung fahren zu lassen.

1. Triebwagen.

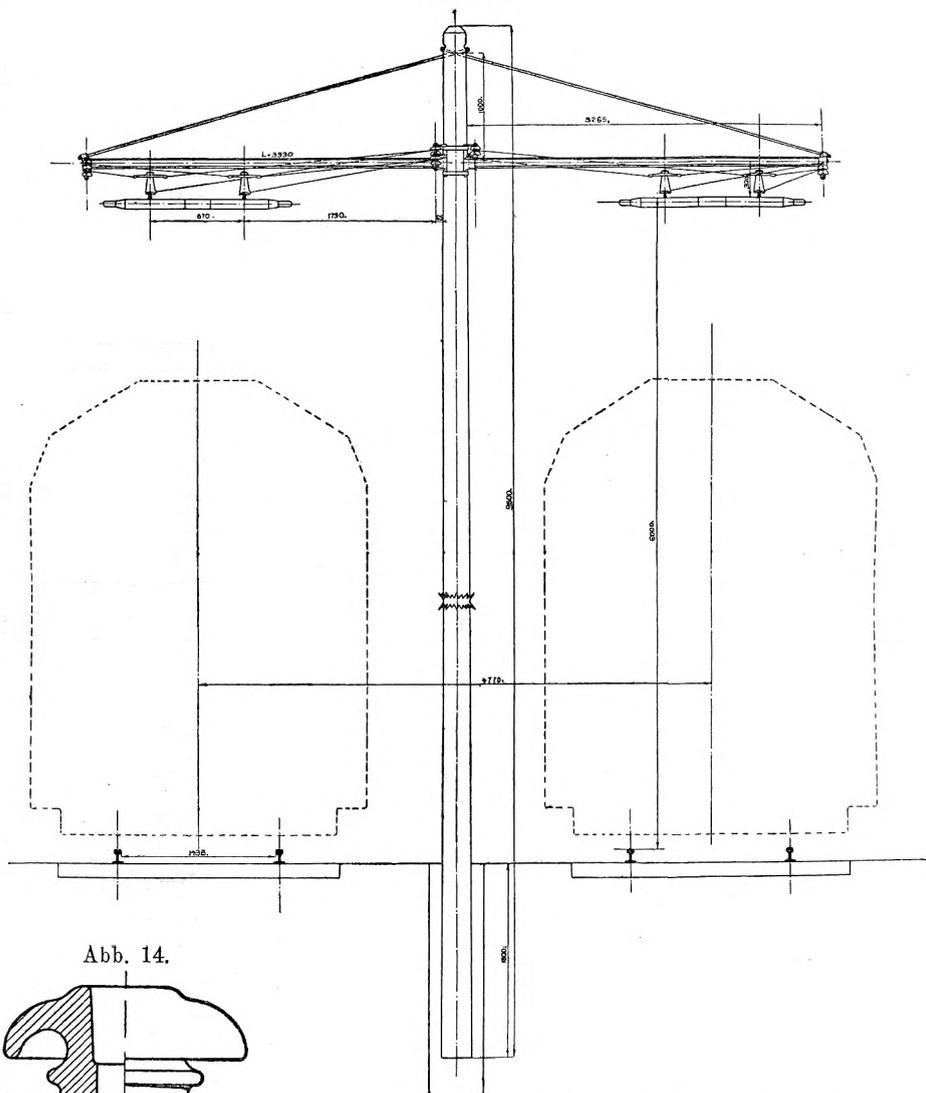
(Abb. 1 und 2, Taf. LXXXIX.)

Die Bauart der 19,14 m langen Wagen stimmt mit der üblichen der vierachsigen Drehgestellwagen überein, mit dem Unterschiede, daß die Drehgestelle, die je zwei Triebmaschinen aufzunehmen haben, stärker gebaut und mit stärkeren Drehzapfen versehen sind. Das Gewicht der Triebwagen einschließlich der elektrischen Einrichtung beträgt 53 t. Sie können 5 bis 7 zweiachsige gewöhnliche Personenzüge von 10 bis 12 t Eigengewicht mit 65 km/St. Geschwindigkeit in der Stunde auf 10⁰/₀₀ Steigung befördern. Von den zehn Triebwagen sind fünf als Prunkwagen mit reichster innerer Einrichtung für Eilzüge ausgeführt, die übrigen fünf sind als Personenzüge mit I. und III. Klasse ausgestattet. An beiden Wagenden befindet sich der Führerstand. Jeder Wagen enthält einen Gepäckraum und ein kleines Gehäuse für die Luftpumpe mit selbsttätigem Ein- und Ausschalter und Luftbehälter.

Die elektrische Einrichtung der Wagen zerfällt in drei Gruppen:

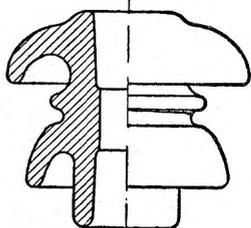
- a) Einrichtungen zur Abnahme, Leitung, Verteilung, Ein- und Ausschaltung des Arbeitstromes: Stromabnehmer, Wagenleitungen, Hauptschalter.
- β) Triebmaschinen, Anlafsvorrichtungen, Widerstände und Luftpumpe.
- γ) Einrichtungen zur Beleuchtung, Heizung und Lüftung.

Abb. 13.



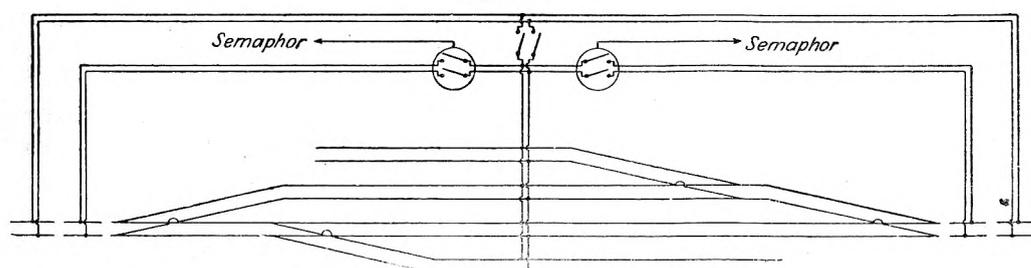
Stützung der Arbeitsleitung auf Bahnhöfen.

Abb. 14.



Stromdichte Stützen der Tragdrähte der Arbeitsleitung.

Abb. 15.



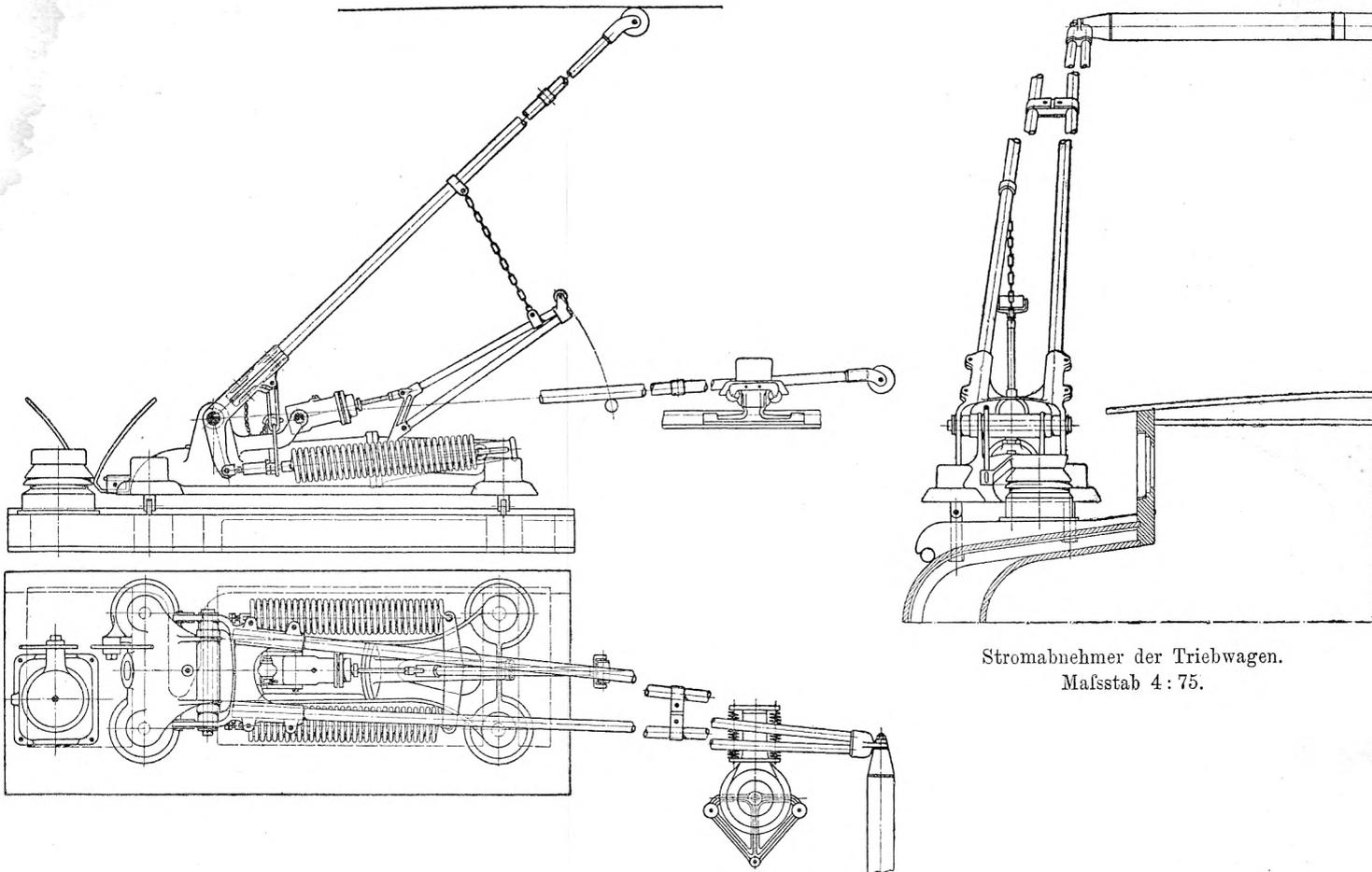
Abhängigkeit der Arbeitsleitung in Bahnhöfen von den Einfahrtsignalen.

α) Stromabnehmer, Leitungen und Fahrschalter.

Der Stromabnehmer (Textabb. 16) besteht aus einer Stange von nicht leitendem Stoffe und trägt zwei 650^{mm} lange stromdicht von einander getrennte Rollen von 80^{mm} Durch-

messer aus Elektrolytkupfer, die auf stromdichten Kugellagern laufen; der Strom kann also nicht seinen Weg durch die Kugeln nehmen, sondern wird durch an beiden Enden der Stromabnehmerrolle untergebrachte Kohlenstromschließer ab-

Abb. 16.



Stromabnehmer der Triebwagen.
Maßstab 4:75.

genommen und mittels stromdichter Kabel in den Wagen geleitet. Den Stromabnehmer trägt ein Röhrengestell, das an seinem untern Ende drehbar in den Stromabnehmergestellen gelagert ist, welche mittels Porzellanstützen auf dem Wagendache befestigt sind. Die Lagerung gestattet der Stromabnehmerrolle genügende Verstellbarkeit, um sich auch dann an die Arbeitsleitung anzuschmiegen, wenn die Fahrdrähte nicht genau in einer Ebene liegen. Das Heben und Senken des Stromabnehmers geschieht durch Luftdruck. Um hierbei zu verhindern, daß der Stromabnehmer an die Aufhängevorrichtung schlage, ist ein Glycerin-Dämpfer eingeschaltet, wodurch die Bewegung des Stromabnehmers vor Berührung der Fahrdrähte oder der Aufhängevorrichtung verzögert wird. Für jede Fahrrichtung ist auf dem Wagen ein Stromabnehmer vorhanden.

Der Arbeitstrom von 3000 Volt wird durch biegsame Kabel in den Wagen geleitet, wo die Hochspannungsleitungen durchweg in mit dem Untergestelle des Wagens gut leitend verbundene Metallrohre eingelegt sind. Eine Abzweigung der Hochspannungsleitung führt zu einem Umformer von 8 km Leistung; dieser liefert Strom von 100 Volt Spannung für die Triebmaschine des Luftprozesses, für die Beleuchtung, Heizung

und für die Lüftungsfächer. Die Hauptleitung endigt im Kasten der Hauptschalter in den beiden Führerständen. Die beiden Leitungen von den Rollen der Stromabnehmer können durch Herausnehmen von Stücken, die in einem gußeisernen Kasten untergebracht sind, von einander getrennt werden, was geschehen muß, wenn der eine Stromabnehmer untauglich wird und die Fahrt mit den anderen fortgesetzt werden soll.

Der Haupt-Fahrschalter hat sechs Stöpsel-Stromschließer, die in eine um eine senkrechte Welle drehbare Scheibe eingeschraubt sind. Jedem Stromschließerstifte entspricht eine stromdicht gefalste Metallhülse; beim Herausziehen erzeugen die federnden Stifte eine geringe Luftverdünnung, die den Lichtbogen auslöscht. Die Scheibe der Stromschließerstifte ist durch einen aus dem Schalterkasten herausragenden Schalthebel um 60° drehbar, um die Fahrrichtung umzukehren. Dieser Hebel kann nur bewegt werden, wenn der Schalter stromlos ist. Das Aus- und Einschalten des Hauptschalters kann von Hand mit Schalthebel oder mit der Luftpumpe erfolgen.

Teile, die hochgespannten Strom führen, sind nur im Kasten der Abschmelzsicherungen und des Hauptschalters zugänglich. Damit der Wagenführer diese Teile nicht bei ein-

geschaltetem Strome berühren kann, steckt der Schlüssel zu jenen beiden Kästen in dem Ventilgehäuse, das mit dem Luftzylinder der Stromabnahmevorrichtung verbunden ist und kann aus diesem nur herausgenommen werden, wenn der Ventilhebel so gestellt ist, daß der Stromabnehmer herabgelassen ist. Es könnte vorkommen, daß der Wagenführer den Hauptschalterkasten öffnet, den Schlüssel herausnimmt und den Stromabnehmer in die Höhe läßt; um auch diese Möglichkeit zu vermeiden, kann der Schlüssel nur bei geschlossener Türe aus dem Schlosse gezogen werden. Daher können die Türen jener Schalt- und Sicherungskasten nur dann geöffnet werden, wenn der Wagen stromlos ist.

β) Triebmaschinen, Anlafsvorrichtungen, Widerstände, Luftpumpe.

Jedes Drehgestell des Triebwagens trägt eine Hoch- und eine Niederspannungs-Triebmaschine, deren Feldmagnet am Drehgestelle festgeschraubt ist, während der Anker durch eine gegliederte Kuppelung mit den Triebrädern verbunden ist.

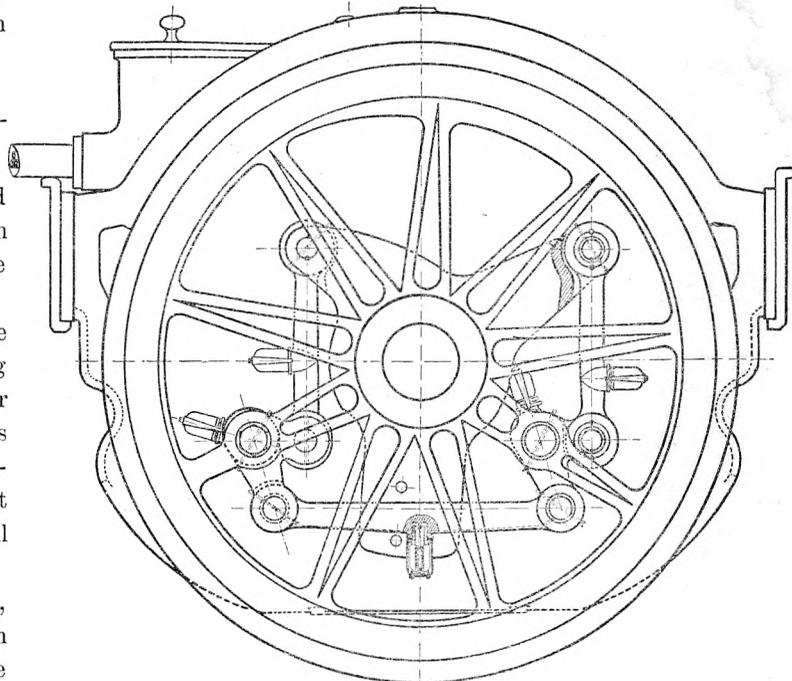
Diese Kuppelung (Textabb. 17) gestattet der Wagenachse bis zu einer gewissen Grenze freie Bewegung in jeder Richtung bei gleicher Winkelgeschwindigkeit des Räderpaares. Der Anker ist auf eine hohle Welle gepreßt, deren Lichtweite so groß ist, daß die Wagenachse dem Spiele der Tragfedern entsprechende Bewegungen ausführen kann. Die hohle Welle ist in den Schildern des Feldmagneten gelagert, also ist kein Teil der Triebmaschine ungefedert.

Der hochgespannte Strom gelangt in den Feldmagneten, die Bewicklung des Ankers ist so bemessen, daß der Strom darin nur 300 Volt Spannung besitzt. Das Anfahren und die Geschwindigkeitsänderung erfolgen daher nur in dem Stromkreise von 300 Volt.

Die Umdrehungszahl der Drehstrom-Triebmaschinen ist eine stetige und hängt von der Polwechselzahl und der Polzahl der Maschine ab. Bei zwei Triebmaschinen können durch die »Kaskaden«-Schaltung zwei Geschwindigkeiten hervorgerufen werden, indem der Strom aus dem Anker der einen Triebmaschine in den Feldmagneten der zweiten geführt wird, wodurch die Umdrehungszahl auf die Hälfte verringert wird.

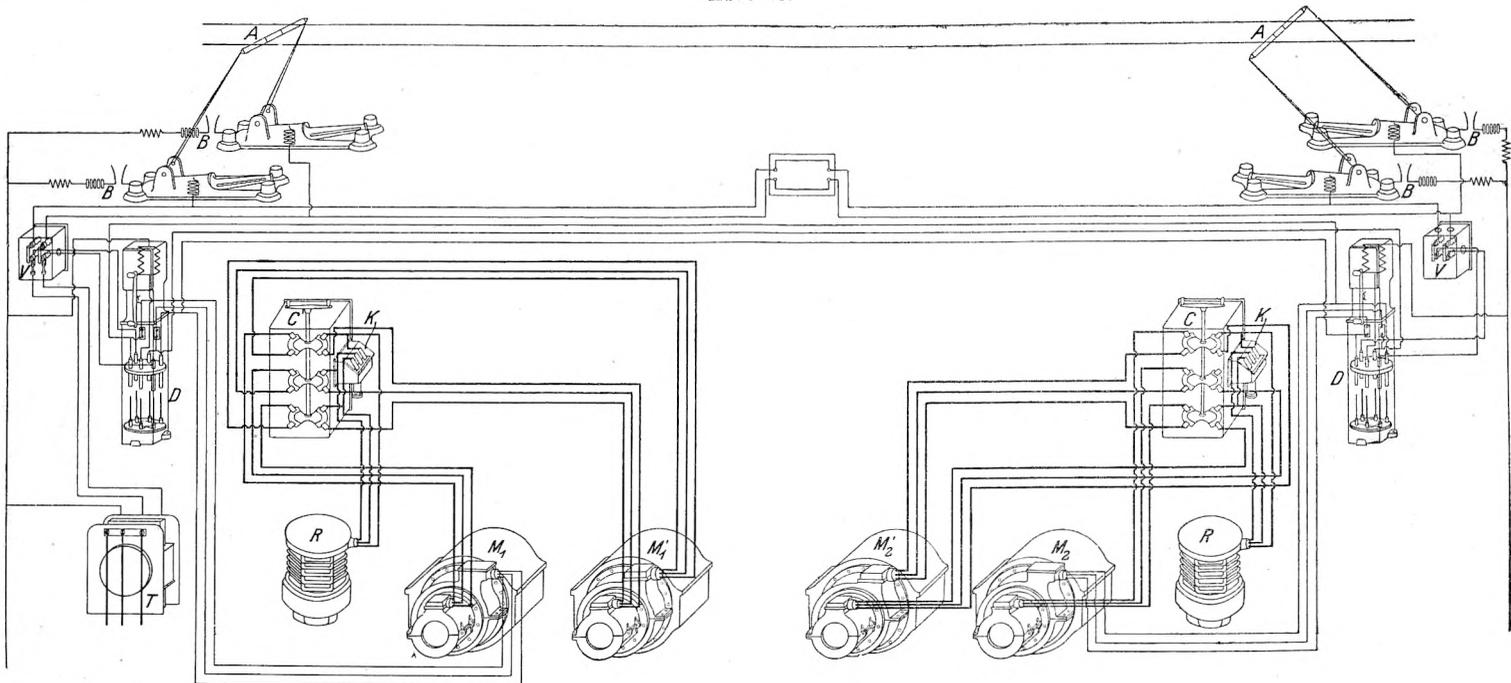
Die Schaltung des Triebwagens ergibt sich aus Textabb. 18.

Abb. 17.



Kuppelung des Ankers der Triebmaschine mit der Wagenachse.
Maßstab 1:15.

Abb. 18.



Schaltung der Triebmaschinen eines Triebwagens.

A Stromabnehmer.
B Blitzschutz.
C Fahrtschalter.
D Hauptschalter.

K Kurzschließer.
M₁M₂ Hochspannungs-
M₁'M₂' Niederspannungs-Triebmaschinen.
R Wasserwiderstand.

T Abspanner für Beleuchtung, Heizung,
Lüftung, Luftpumpe.
V Verteilungskasten mit den Schmelz-
Sicherungen.

Die Anordnung der Vorrichtungen im Führerstande aus Abb. 4 bis 6, Taf. LXXXVIII. Die in jedem Wagen für jede Fahr- richtung vorhandenen Anfahrvorrichtungen sind mit einander durch Kette und Drahtzug verbunden.

Der Hebel der Anfahrvorrichtung hat drei Stellungen. (Textabb. 19, a, b, c.) In der »Ruhe«-Stellung a sind die Triebmaschinen ausgeschaltet, der Lufthahn ist unbeweglich, in der Stellung b für »geringe Geschwindigkeit« sind die Trieb- maschinen in »Kaskaden« geschaltet, in der Stellung c für »große Geschwindigkeit« sind nur die Hochspannungs-Trieb- maschinen eingeschaltet.

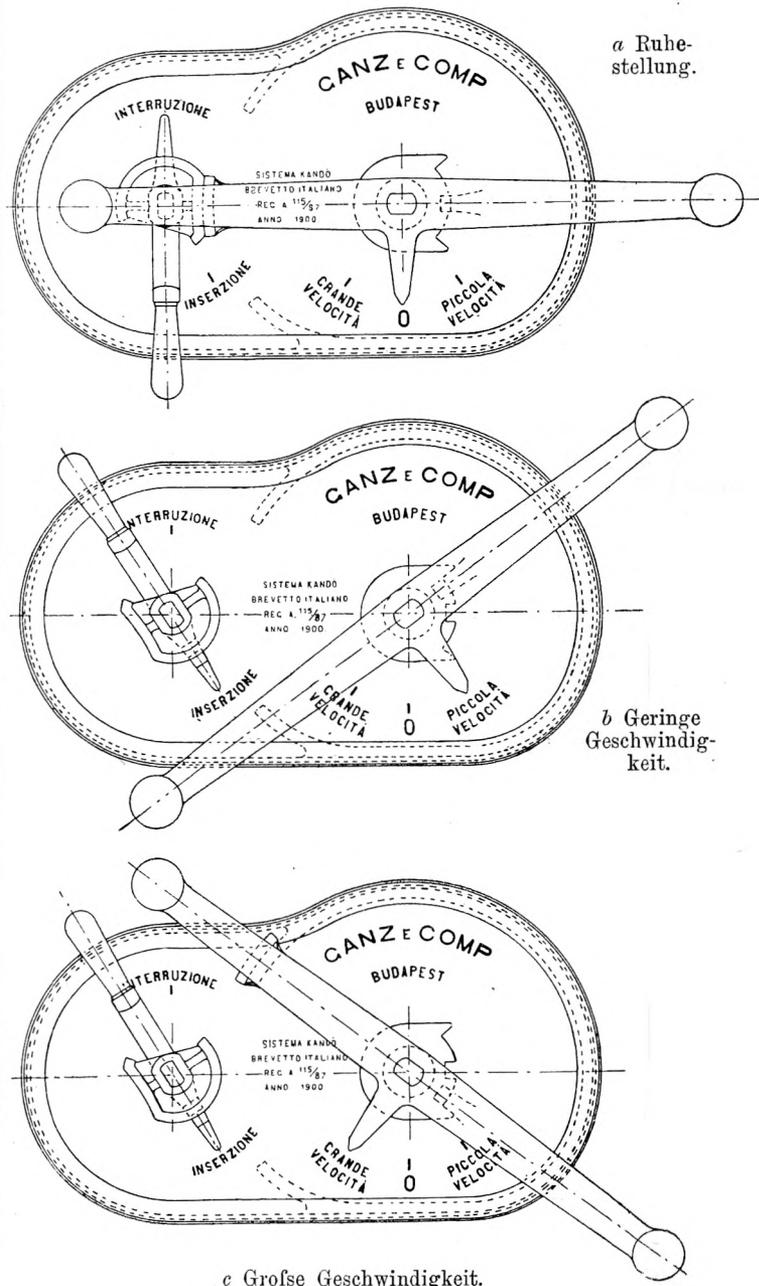
Während der Anfahrzeit werden in den Stromkreis des Ankers mittels dreier Schleifringe Widerstandsbehälter ein- geschaltet. Mit Abnahme des Widerstandes nähert sich die Ge- schwindigkeit der Triebmaschinen der Gleichförmigkeit. Der Widerstandsbehälter besteht aus einem gufiseisernen Kasten mit Kühlrippen, in welchen drei Bündel unten ausgezackter Eisen- bleche eingehängt sind. In diesen Behälter wird von unten Sodalösung mittels Preßluft eingepreßt. Solange der Flüssig- keitsspiegel die Blechbündel nicht erreicht, sind die Anker- stromkreise offen und die Triebmaschine in Ruhe. Berührt die Flüssigkeit die Blechspitzen, so schliessen sich die Stromkreise, die Triebmaschine läuft an, ihre Geschwindigkeit nimmt mit der benetzten Oberfläche der Blechbündel zu. Beim höchsten Flüssigkeitsstande läuft die Triebmaschine mit voller Ge- schwindigkeit, wobei die Ankerstromkreise selbsttätig kurz ge- schlossen werden. Der Kurzschliefer wird ebenfalls durch Preßluft bewegt. Zur Vergrößerung der Kühlfläche der Wider- standsbehälter sind diese bei Erfordernis mit Kühlröhren ver- sehen. Das Heben des Flüssigkeitsspiegels im Widerstands- behälter geschieht durch Verstellung des Lufthahnes der An- fahrvorrichtung.

Der Vorgang des Anfahrens ist folgender. Zuerst wird der Schalthebel der Anfahrvorrichtung auf »kleine Geschwin- digkeit« (b Textabb. 19) eingestellt, der Lufthahn geöffnet und der Luftzutritt mit einem kleinen Drosselventile geregelt; hier- durch wird zunächst der Hauptschalter des 3000 Volt-Strom- kreises geschlossen und der Flüssigkeitsspiegel im Widerstands- behälter je nach der Stellung des Drosselventiles langsam oder schnell gehoben, bis der Kurzschluss der Triebmaschine erfolgt, dann fährt der Wagen mit »halber Geschwindigkeit«. Soll auf »große Geschwindigkeit« (c Textabb. 19) umgeschaltet werden, so ist zuerst der Lufthahn zu schliessen, wodurch der Hauptstrom ausgeschaltet wird; dann wird der Schalthebel auf »große Geschwindigkeit« umgestellt, wodurch die Nieder- spannungs-Triebmaschine abgeschaltet und der Widerstands- behälter mit dem Anker der Hochspannungs-Triebmaschine verbunden wird; nun werden Lufthahn und Drosselventil ge- öffnet, worauf der Wagen in kurzer Zeit mit voller Geschwin- digkeit fährt. Diese Art der Geschwindigkeitsregelung ist ähnlich der Reihen-Gleich-Schaltung der Gleichstrom-Triebmaschinen. Das Anfahren ist ebenso sparsam, wie bei letzteren. Der Wagenführer beobachtet beim Anfahren die unmittelbar vor ihm angebrachten Ampère- und Voltmeter und regelt dementsprechend mit dem Drosselventile die Geschwindigkeit des Anfahrens. Schalthebel und Lufthahn stehen in solcher Ab-

hängigkeit, daß man die Handgriffe nur in der beschriebenen Reihenfolge vornehmen kann; ferner kann der Lufthahn nur dann bewegt werden, wenn der Schalthebel genau in die Stellung für »kleine« oder »große Geschwindigkeit« eingestellt ist. Im Führerstande ist der Kasten für die Abschmelz- sicherungen und ein Umschalter für die Triebmaschine der Preßpumpe untergebracht. Letzterer hat drei Stellungen. In der ersten Stellung sind der Ausschalter und der selbsttätige Umschalter der Triebmaschine des Luftpressers hinten, in der zweiten neben einander geschaltet, in der dritten beide aus- geschaltet. Wird der selbsttätige Umschalter unbrauchbar, so kann der Wagenführer den Luftpresser mit dieser Einrichtung von Hand einschalten.

Im Führerstande befinden sich ferner: der Hahn der

Abb. 19.



Drei Stellungen der Anfahrvorrichtung.

Westinghouse-Bremse, eine Handbremse, eine Luftpumpe für Handbetrieb, um den Stromabnehmer auch in dem Falle anheben zu können, wenn kein Druck im Luftbehälter vorhanden ist, schliesslich ein Ventil für die Luftpeife.

Die Luftpumpe mit ihrer Triebmaschine, der Luftbehälter und der selbsttätige Umschalter sind in einem besondern Gehäuse untergebracht (Textabb. 20). Der selbsttätige Umschalter D schaltet die Triebmaschine B aus oder ein, je nachdem der Druck im Luftbehälter 0,1 bis 0,2 at kleiner oder grösser ist, als der regelmässige Druck von 6 at. Die Luftpumpe liefert die Luft für alle elektrischen Vorrichtungen, für Hauptschalter, Widerstandsbehälter, Stromabnehmer, Signalpfeife und auch für die Westinghouse-Bremse.

γ) Beleuchtung, Heizung und Lüftung.

Der 100 Volt-Stromkreis des Umformers von 8 Kw führt zu einem kleinen Schaltbrette im Gepäckraume. Von diesem zweigen die Leitungen für Beleuchtung, Heizung und Lüftung ab. Deren Ein- und Ausschaltung besorgt der Zugführer.

Für die Beleuchtung dienen kleine Deckenlampen und Wandarme, die mit Dreiphasen-Glühlampen und mit gewöhnlichen Glühlampen für Gleichstrom von 23 Volt versehen sind. Um den Wagen auch bei herabgelassenem Stromabnehmer zu beleuchten, ist im Wagen ein kleiner Speicher untergebracht, dessen Umschalter sich ebenfalls auf dem Schaltbrette des Gepäckraumes befindet. Die Heizkörper bestehen aus auf stromdichte Unterlage gewickelten Widerstandsdrähten; in den Prunkwagen sind sie in die Stirn- und Querwände hinter Bronzegittern eingebaut, in den Personenwagen unter den Sitzen verteilt.

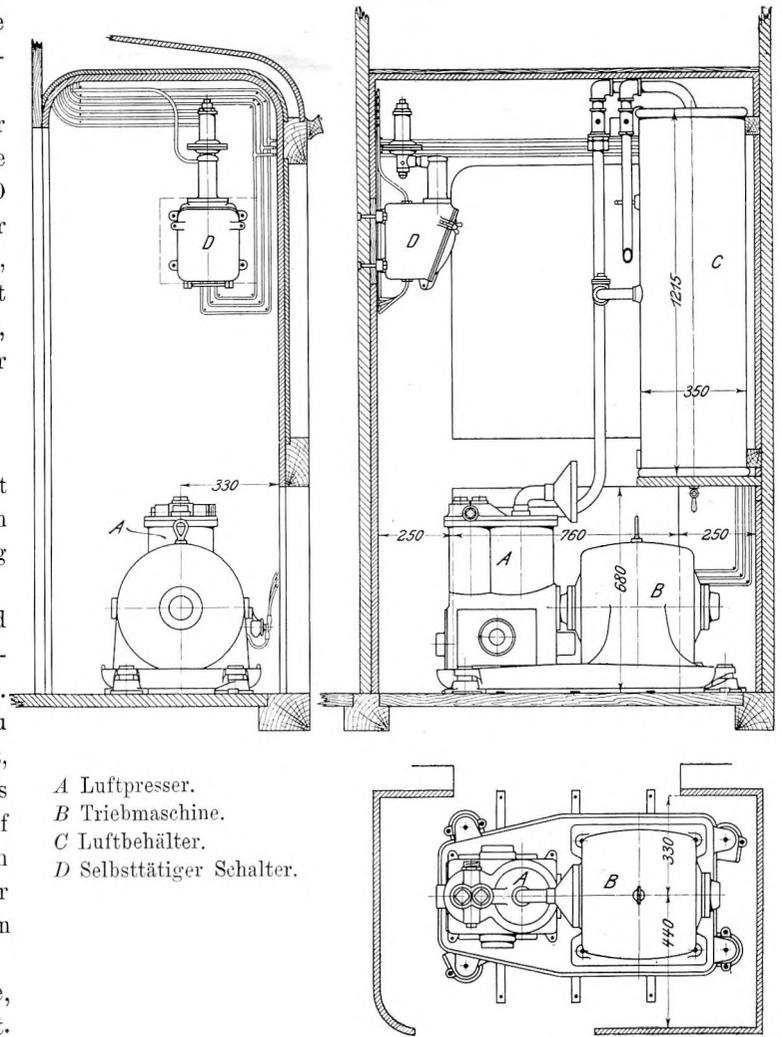
Die Lüftung der Prunkwagen wird durch langsam gehende, zweiflügelige, elektrisch betriebene Schraubenfächer bewirkt.

2. Lokomotiven.

a) Die älteren Lokomotiven. (Abb. 1 bis 4, Taf. XC).

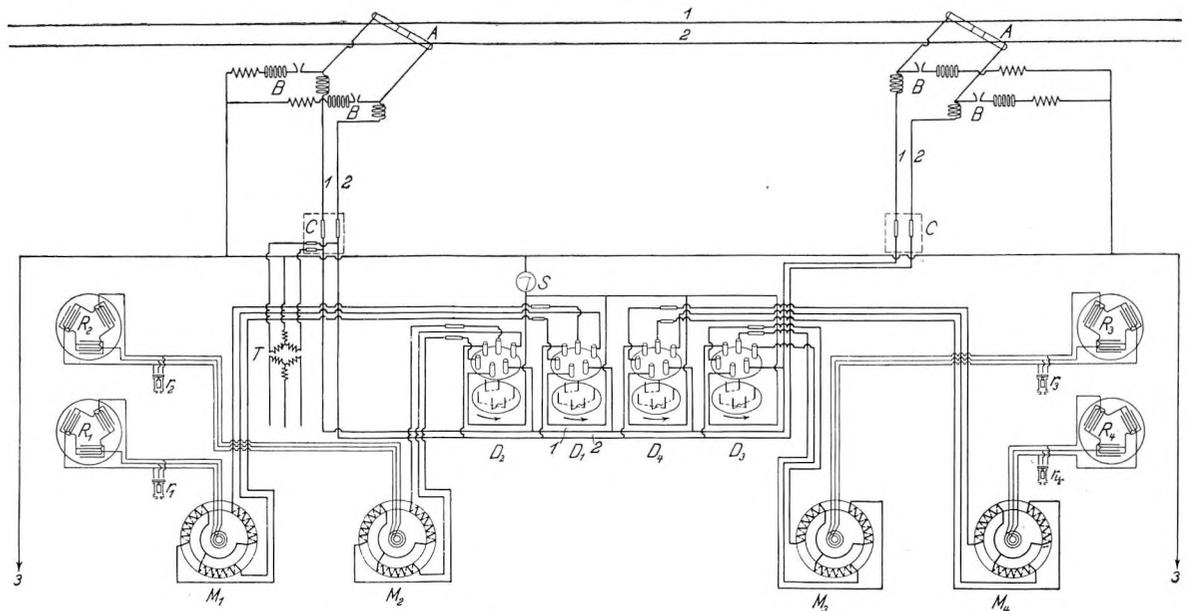
Die vierachsige 10,306 m lange Lokomotive besteht aus zwei miteinander gelenkig verbundenen Gestellen, die seitlich und oben mit gefalteten Lederstreifen abgeschlossen sind. Jede der vier Achsen trägt eine Hochspannungs-Triebmaschine von 150 PS. Dauerleistung. Bauart und Kuppelung stimmen überein mit denen der Wagen-Triebmaschinen. Die Anlaufvorrichtungen sind in einem gufiseisernen Kasten untergebracht. Wenn die Lokomotive, wie hier, nur für eine Geschwindigkeit

Abb. 20.



A Luftpresser.
B Triebmaschine.
C Luftbehälter.
D Selbsttätiger Schalter.

Abb. 21.



A Stromabnehmer. D₁ bis D₄ Anlaufvorrichtung. r₁ bis r₄ Kurzschliefer.
B Blitzschutz. M₁ bis M₄ Triebmaschinen.
C Verteilungskasten. S Ampèremesser.

gebaut ist, können die Triebmaschinen je nach der erforderlichen Zugkraft, welche am Ampèremesser beobachtet werden kann, einzeln ab und zugeschaltet werden. Im Innern der Lokomotive ist die Luftdruckpumpe mit dem zugehörigen Umformer, der zugleich auch den Strom für die Beleuchtung liefert, der selbsttätige Umschalter für die Luftpumpe, eine Hand-Luftpumpe, der Luftbahn der Westinghouse-Bremse und eine Handbremse untergebracht. In der niedrigeren Verlängerung des Lokomotivkastens befinden sich die Widerstände. Die Schaltungsweise der Lokomotive veranschaulicht Textabb. 21.

Das Gewicht der Lokomotive beträgt 46 t; sie kann bei 30 km/St. Geschwindigkeit gewöhnlich 5000 kg, höchstens 8000 kg Zugkraft entwickeln und dementsprechend auf einer Steigung von 10 ‰ noch 450 t angehängter Last befördern.

Während des Verschiebens auf den Bahnhöfen werden beide Stromabnehmer angelegt, da bei geringer Geschwindigkeit auch der in der Fahrtrichtung vordere anstandslos benutzt werden kann.

VIII. Neue elektrische Lokomotiven für Personen- und Lastzüge.

Beschreibung.

I. Allgemeines.

Das Vertrauen der Eisenbahndirektion zur Beförderung der Züge mittels Drehstrom geht daraus hervor, daß am 15. Oktober 1902 gleich nach Eröffnung des regelmäßigen elektrischen Betriebes auf allen drei Linien der Valtellina-Bahn eine geschlossene Ausschreibung für die Lieferung von weiteren drei elektrischen Lokomotiven erfolgte, die eine bedeutend größere Leistung besitzen sollten, als die der ersten Lieferung und die zur Beförderung von schweren Last- und Personen-Zügen gleich gut geeignet sein mußten.

Die wesentlichsten Bedingungen waren folgende:

Die Lokomotive soll mit zwei zweiachsigen, unter einem Rahmengestelle angeordneten, also nicht mit zwei gelenkig verbundenen Gestellen, wie die zuerst gelieferten, versehen sein.

Die Mannschaft soll bequem und sicher von der Lokomotive in den nächsten Wagen gelangen können.

Die Lokomotive soll in beiden Richtungen bei gleicher Sicherheit mit der höchsten Geschwindigkeit fahren können.

Die Triebmaschinen sollen nebst dem umlaufenden Teile elastisch aufgehängt sein. Die Verwendung von Zahnrädern ist ausgeschlossen.

Die Triebmaschinen sollen zwei Fahrgeschwindigkeiten ermöglichen und bei 30 bis 40 km/St. Geschwindigkeit mindestens 6000 kg, bei 60 bis 70 km/St. mindestens 3500 kg. Zugkraft am Radumfang entwickeln. Beim Anfahren soll die Zugkraft so groß sein, daß ein Zug von 400 t einschließlich der Lokomotive auf der Geraden in 1 ‰ Steigung in 55 Sek. von 0 auf 30 km/St., und ein Zug von 250 t in 110 Sek. von 0 auf 60 km/St. beschleunigt wird. Diese Beschleunigung soll auch bei einer Spannung von 2700 Volt zwischen den zwei Arbeitsdrähten erreicht werden können.

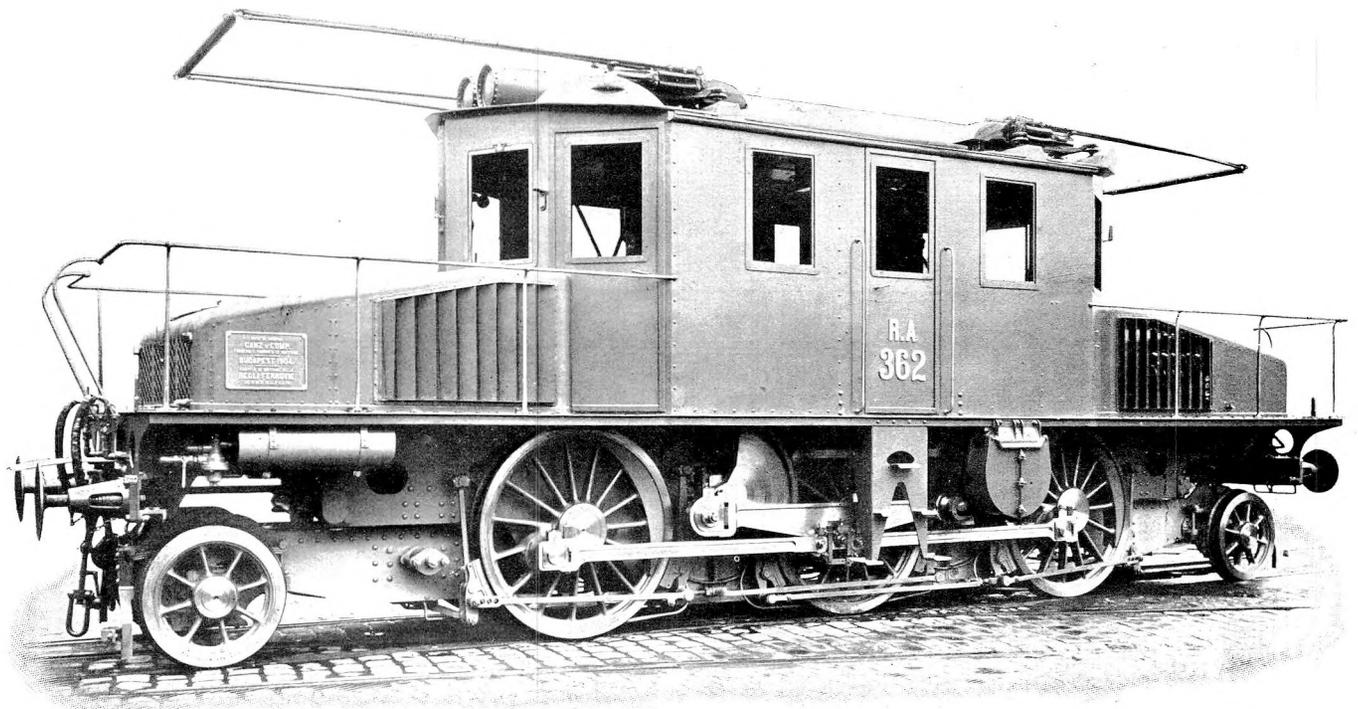
Das Anfahren soll mit einem Zuge von 250 t selbst auf einer Steigung von 20 ‰ möglich sein.

Die elektrische Einrichtung der Lokomotive soll derartig angeordnet sein, daß das Anfahren und die Beschleunigung von 0 auf 30 km/St. in Zeitabständen von 120 Sek. mindestens 30mal wiederholt werden kann.

Die Triebmaschinen sollen eine Überlastung um 100% mindestens 100 Sek., und eine solche um 50% mindestens eine Stunde aushalten, und 10 Stunden mit voller Belastung und voller Geschwindigkeit laufen, wobei die Erwärmung über die Wärme der Umgebung nicht mehr, als 60° C . betragen soll.

Das Werk Ganz und Co. hat Lokomotiven mit vier

Abb. 22.



gleichmässig auf den Achsen sitzenden Triebmaschinen ähnlich, wie bei den zuerst gelieferten Wagen und Lokomotiven angeboten, vor der Vergebung der Bestellung aber ein Anerbieten zur Auswahl gestellt, nach welchem die Triebmaschinen zwischen den Achsen angeordnet und durch Kuppelstangen mit den Triebachsen verbunden waren. Die Bestellung ist auf Grund dieser letztern Anordnung bei Ganz und Co. erfolgt.

Die erste Lokomotive ist im Mai, die letzte im Juli 1904 abgeliefert. Nach sehr genauer Prüfung im zerlegten Zustande und nach Vornahme aller in dem Bedingnishefte vorgeschriebenen Proben ist die erste Lokomotive Ende Juni, und die übrigen zwei im Monate September bei Last- und Personenzügen ohne den geringsten Anstand dem regelmässigen Verkehre übergeben worden. Die Abnahmeversuche wurden unter Teilnahme einer von der italienischen Regierung entsendeten Abordnung vorgenommen. Unter den Mitgliedern befand sich auch Prof. Arno, der nach Beendigung der Versuche seine Zufriedenheit in folgende Worte kleidete: »Die Ergebnisse der heutigen Versuche bilden einen wahrhaft bewunderungswürdigen Fortschritt.«*)

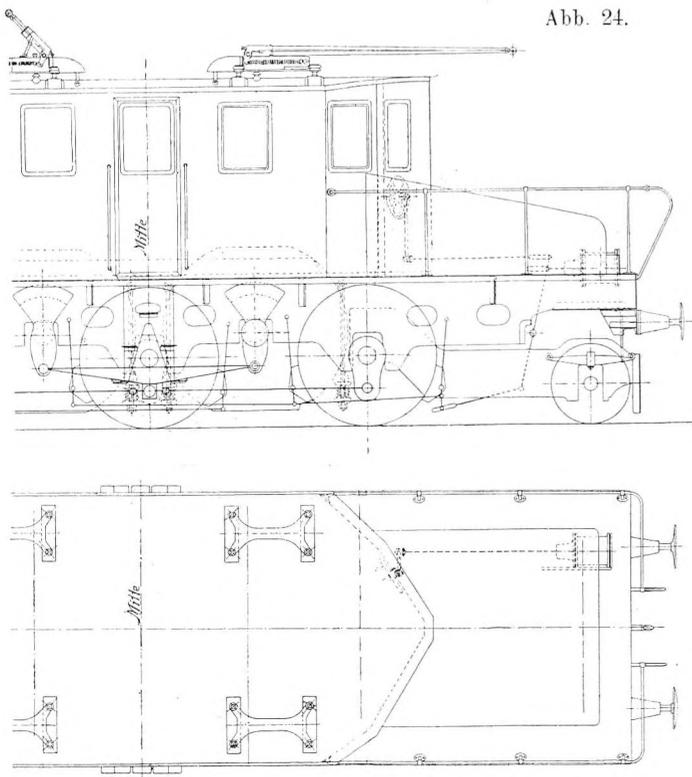
II. Lokomotivgestell und Triebwerk.

(Abb. 1—11, Taf. XCI).

Die zur Ausführung gelangte Bauart (Textabb. 22 bis 24) ist fünfachsiger mit drei Kuppelachsen und zwei Laufachsen, von denen je eine Lauf- und Triebachse in einem Drehgestelle gelagert sind. Die äusseren Kuppelachsen haben eine seitliche Verschiebbarkeit von 25 mm, der Drehzapfen des einen Drehgestelles (Abb. 6 und 8, Taf. XCI) hat eine seitliche Verschiebbarkeit von 25 mm nach jeder Seite, der des andern ist fest, gestattet also nur Verdrehung des Drehgestelles.

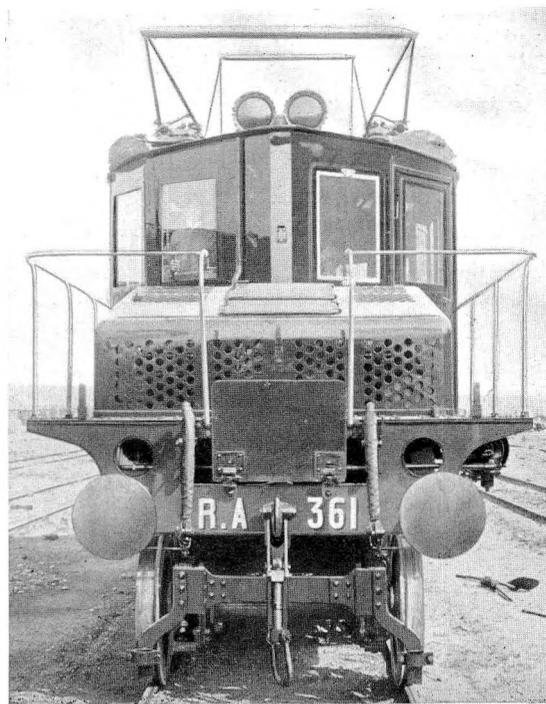
Je eine Hoch- und Niederspann-Triebmaschine sind in

*) L'Electricita No. 44 vom Jahre 1904, Seite 693.

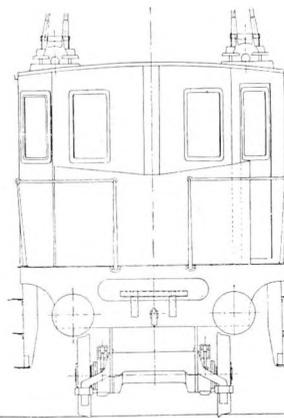


einem Gehäuse vereinigt, die Achse geht durch die Rahmenlager durch und trägt an beiden Enden Kurbelarme. Die Kurbelzapfen der beiden Achsen der Triebmaschinen sind durch eine Kuppelstange verbunden, die die Mittelachse unmittelbar, die äusseren Kuppelachsen aber mittels Kuppelstangen antreibt.

Abb. 23



Die Lager der Kurbelzapfen der Mittelachse haben lotrechtes Spiel, damit die gegenseitige Bewegung zwischen den ungefederten Kurbelzapfen der mittlern Triebachse und den gefederten der Kuppelstange der Triebmaschinen frei bleibt.



Die nicht gewählte gleichmässige Anordnung der Triebmaschinen und der Triebachsen hat den Nachteil, dass die gegliederte Kuppelung unzugänglich ist, was im Betriebe zu Störungen Veranlassung geben kann. Aus diesem Grunde hat die Rete Adriatica abweichend von der erfolgten Ausschreibung eine Bauart verlangt, bei der die Triebmaschinen zwischen den Triebachsen angeordnet sind, und hat den Gedanken des Antriebes mittels Kuppelstangen aufgeworfen. Unabhängig davon ist derselbe Gedanke auf Anregung des Herrn Oberbauverwesers Gölsdorf in Wien auch bei Ganz und Co. verfolgt worden. Das Ergebnis dieser Untersuchungen ist die von Koloman von Kando ersonnene, oben bereits erwähnte, patentierte Bauart (Abb. 3 Taf. XCI). Die Anordnung der Drehgestelle rührt von der Direktion der Rete Adriatica her, Führerhaus und Lokomotivgestell sind von der Maschinen-Bauanstalt der Ungarischen Staatsbahnen entworfen.

Die Drehgestellrahmen sind mittels gelenkiger Hängeeisen an die Lager der äusseren Kuppelachsen gehängt (Abb. 1, 2 und 3

Taf. XCII). Die Anordnung der unverschieblichen Unterstützung des Rahmens auf dem einen Drehgestelle zeigt Abb. 2, Taf. XCII und die der seitlichen Verschieblichkeit Abb. 1 und 3, Taf. XCII Die Kurbelzapfen der äußeren Triebäderpaare und die Verbindung der Kuppelstangen mit der Kuppelstange der Triebmaschinen sind mit Rücksicht auf die seitliche Verschieblichkeit der äußeren Triebäderpaare als Kugelgelenke ausgeführt.

III. Führerhaus und Widerstandsräume.

Das Führerhaus (Abb. 1 und 5, Taf. XCI) hat seitliche Einsteigetüren und auf jeder Stirnseite noch eine Tür, durch welche man auf den mit Geländer versehenen Umgang und zum nächsten Wagen gelangen kann. Alle elektrischen Einrichtungsteile mit Ausnahme der Widerstände sind im Innern des Führerhauses untergebracht, letztere stehen in den abgeschrägten Schutzgehäusen vorn und hinten so, daß die der Überwachung bedürftigen Teile vom Führerhaus aus zugänglich sind.

Die schrägwandigen Schutzgehäuse haben an den Stirnflächen runde und seitlich kiemenartige Öffnungen, um ausgiebige Kühlung der Wasserwiderstände durch den Luftzug während der Fahrt herbeizuführen. Auf dem Dache des Führerhauses sind die Sockel der Stromabnehmer, die »Trolleybases«, und zwei Preßluft-Behälter befestigt.

IV. Elektrische Einrichtung.

Die elektrische Verbindung der nachfolgend beschriebenen Vorrichtungen ist aus der Schaltungsübersicht Taf. XCIII und die Preßluft-Verteilung aus der Übersicht der Leitungsrohre Taf. XCIV ersichtlich.

IV. 1. Stromabnehmer. (Textabb. 25).

Im allgemeinen ist die Anordnung dieselbe, wie auf den im Jahre 1901 gelieferten elektrischen Fahrzeugen. Die Stromabnehmerwalze ist unverändert, nur die Kupferwalzen sind durch galvanisch stark verkupferte Mannesmann-Rohre ersetzt.

Die stromdichten Stützen der Stromabnehmersockel (Textabb. 25) sind wegen größerer Festigkeit nicht aus Porzellan, sondern aus einer gußeisernen Schale mit »Stabilität« und

Porzellan-Fütterung hergestellt. Die Ölbremse ist statt durch eine Kette, durch einen Bolzen *b* mit zwei Anschlägen mit der Stromabnehmergabel verbunden. Der Luftzylinder des Sockels ist so eingerichtet, daß die Stromabnehmerwalze bei der größern Geschwindigkeit stärker an die Arbeitsdrähte gepreßt wird. Diese Anordnung schont die Arbeitsleitung und sichert gute Berührung bei der größern Geschwindigkeit. Zu diesem Zwecke sind in den Luftzylindern zwei Kolben angeordnet, der eine bei der geringern Geschwindigkeit wirkende hat begrenzten Hub; wird nun der Umschalterhebel am Hauptluftschalter auf große Geschwindigkeit umgestellt, so wird dabei der zweite Kolben selbsttätig unter Druck gesetzt, drückt das Querhaupt am Sockel weiter heraus und spannt die Federn stärker. Die Stromabnehmergabel drückt in herabgelassenem Zustande auf Messer-Stromschließer, die beim Herablassen selbsttätig ausschnappen, auf diese Weise wird der herabgelassene Abnehmer stromlos, er kann auch von dem zweiten Stromabnehmer durch die gemeinschaftliche Leitung keinen Strom bekommen. Die elektrischen und Preßluft-Zuführungen sind gegen äußere Einflüsse durch eine eiserne Kappe *G* (Textabb. 25) geschützt.

IV. 2. Triebmaschinen.

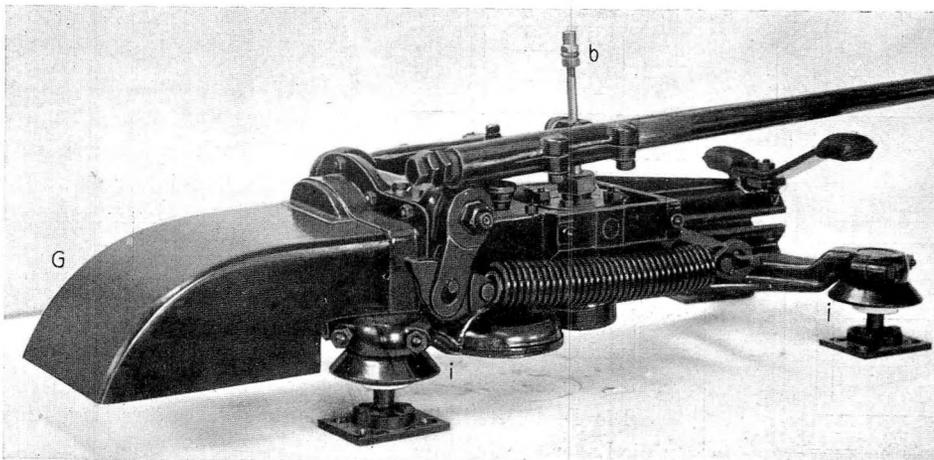
Die vorgeschriebenen beiden Geschwindigkeiten werden durch Schaltung der Triebmaschinen in »Kaskade« oder »Single« erreicht, je eine Hoch- und Niederspannungs-Maschine sind in einem Gehäuse vereinigt. Solcher Doppelmotoren (Textabb. 26) sind zwei vorhanden.

Die bei den im Jahre 1901 gelieferten Fahrzeugen angewendete gleichmittige Anordnung der Triebmaschinen und der Triebachsen hatte den großen Vorteil, daß das Lager nicht von Lagerdrücken beansprucht wurde. Bei der Übertragung der Kraft durch Kuppelstangen entstehen bedeutende Seitendrucke auf die Lager, da der Luftraum zwischen Ring und Anker aber nur 2 mm beträgt, und Änderung höchstens um Zehntel von Millimetern zulässig ist, mußte dafür gesorgt werden, daß die Maschinenlager nicht durch die Druckkräfte beansprucht werden.

Die Lager *L* (Textabb. 26) des Ankers sind zu diesem Zwecke in die Schilde der Maschinen eingebaut, erst die aus dem Gehäuse hervorragenden Enden *E* der Welle sind im Lokomotiv-Rahmen gelagert. Die Maschinenlager haben daher nur das Gewicht des Ankers zu tragen und sind zum Zwecke reichlicher Schmierung als Ringschmierlager ausgebildet. Jede Doppelmotoren wird mit vier durch die Ösen *O*, *O* (Textabb. 26) des Untergehäuses gesteckte Hängeschrauben in den Lokomotiv-Rahmen gehängt und mit deren Hilfe eingetellt. Die Gehäuse sind gegen das Eindringen von Feuchtigkeit und Staub dicht verschraubt und verlötet.

Die Schleifringe *S* sind leichter Zugänglichkeit halber, und um für

Abb. 25.



die Triebmaschine Platz zu gewinnen, außerhalb des Rahmens angebracht, also die Wickelungsenden des Ankers durch die ausgebohrte Achse, durch den durchbrochenen Kurbelarm und den Kurbelzapfen in einer Gegenkurbel K (Textabb. 27) zur Schleifringachse geführt.

Die Bürstenträger T (Textabb. 27) sind an dem Rahmen befestigt und durch ein nach zwei Seiten aufklappbares Gehäuse G geschützt. Diese Anordnung gestattet die Überwachung der Schleifringe selbst während eines kurzen Zugaufenthaltes, ja sogar deren Auswechslung, wenn Ersatz vorhanden ist.

IV. 3. Hauptstromschalter und Magnetschalter, für selbsttätige Ausschaltung. (Textabb. 28)

Der Hauptstrom-Schalter ist genau so gebaut wie der der ersten Lieferung, nur geschieht das Verdrehen der Stromschliefs-Stöpselscheibe nicht von Hand, sondern durch zwei kleine Luftzylinder. Der früher über dem Hauptstrom-Schalter vorhandene Höchst-Ausschalter ist fortgelassen und durch einen in die Prefsluftleitung eingeschalteten Magnetschalter ersetzt, der bei länger anhaltender Überlastung der Triebmaschine den Hauptstrom-Schalter ausschaltet; auf Überlastungen von kurzer Dauer wirkt dieser Höchst-Schalter nicht ein.

Die Scheibe mit den Stromschliefs-Stöpseln wird durch Prefsluft ein- und ausgeschaltet und zwar so, daß ein Funkenziehen unmöglich ist.

Abb. 27.

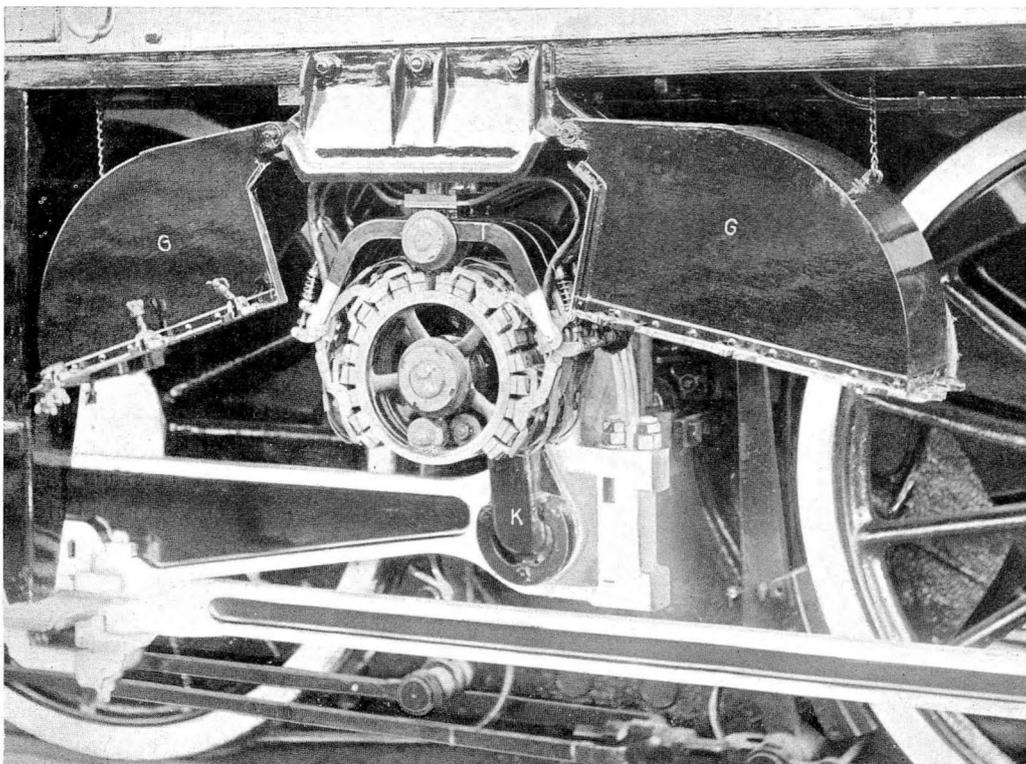
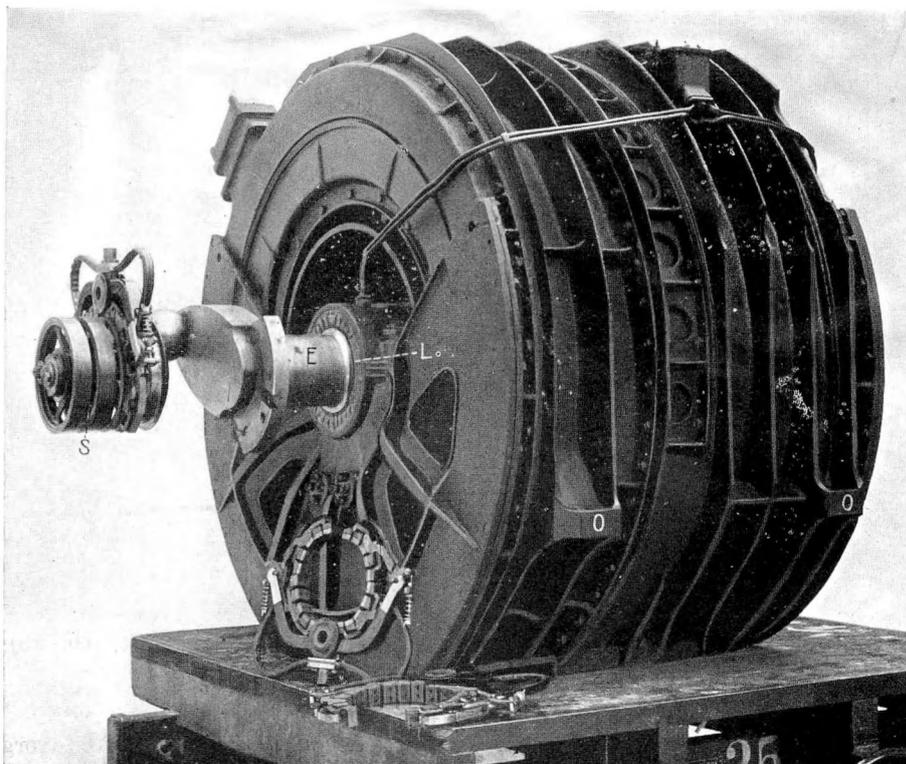


Abb. 26.



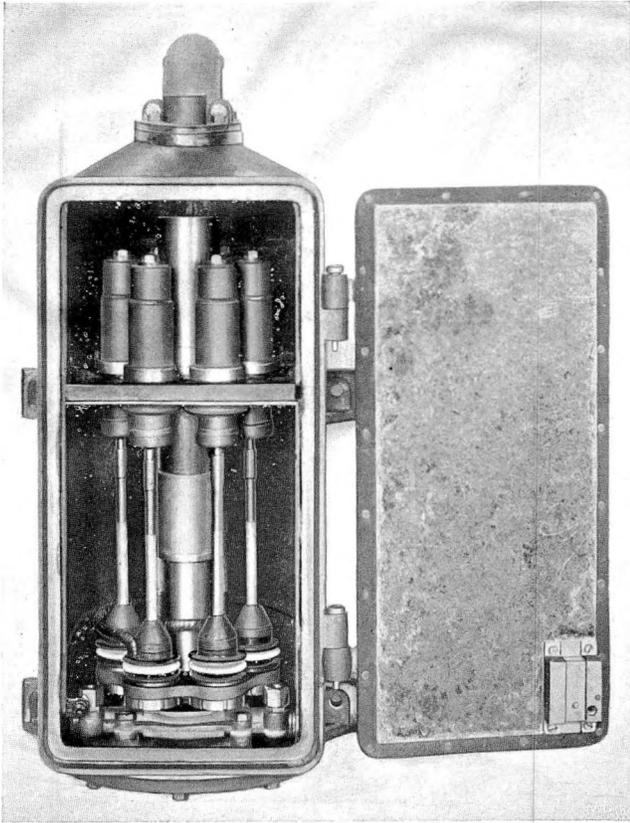
IV. 4. Geschwindigkeitsregler.

Der neue Fahrshalter (Textabb. 29) unterscheidet sich von dem früheren in der Anordnung der Stromschliefs-Bürsten und Messer und auch dadurch, daß der Fahrshalter von 1901 von Hand umgestellt wurde, während der neue mittels Prefsluft bewegt wird. Die Stromschliefsmesser M sind fest, und die aus dünnen Kupferblechen gebildeten Bürsten Z auf einer lotrecht beweglichen Stange angebracht, letztere trägt unten einen Kolben, der sich in einem geschlossenen Zylinder C bewegt.

Die tiefste Stellung des Fahrhalters entspricht der kleineren Geschwindigkeit, tritt nun Prefsluft unter den Kolben, so wird die Kolbenstange mit den Bürsten in die Höhe gestoßen; diese Stellung entspricht der größern Geschwindigkeit.

Da der obere Zylinder mit dem Hauptbehälter ständig ver-

Abb. 28.



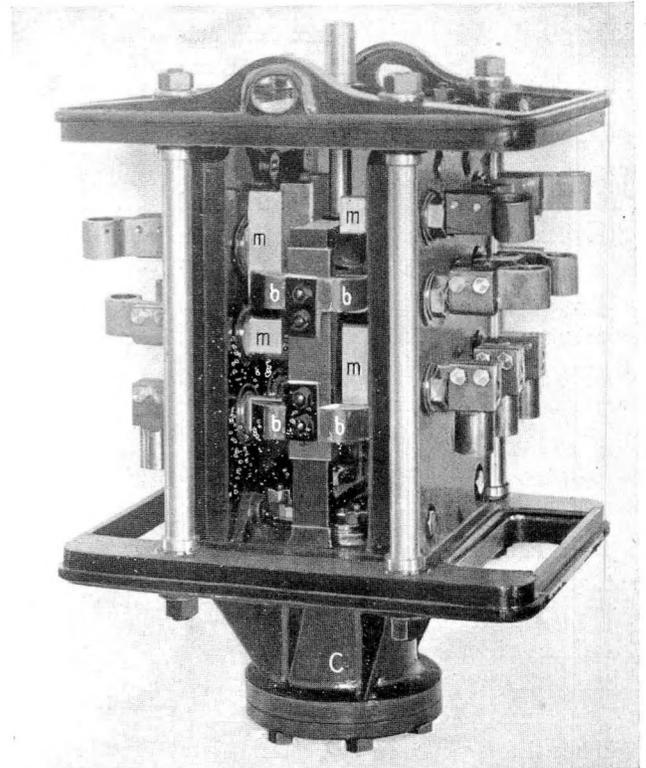
bunden ist, wird der Kolben mit dem Bürstenträger in der tiefsten Stellung festgehalten.

Für beide Triebmaschinen dient nur ein Fahrshalter.

IV. 5. Widerstände.

Zwei Lokomotiven sind mit Wasserwiderständen, eine auf

Abb. 29.



Wunsch der Eisenbahndirektion versuchsweise mit Metallwiderständen versehen.

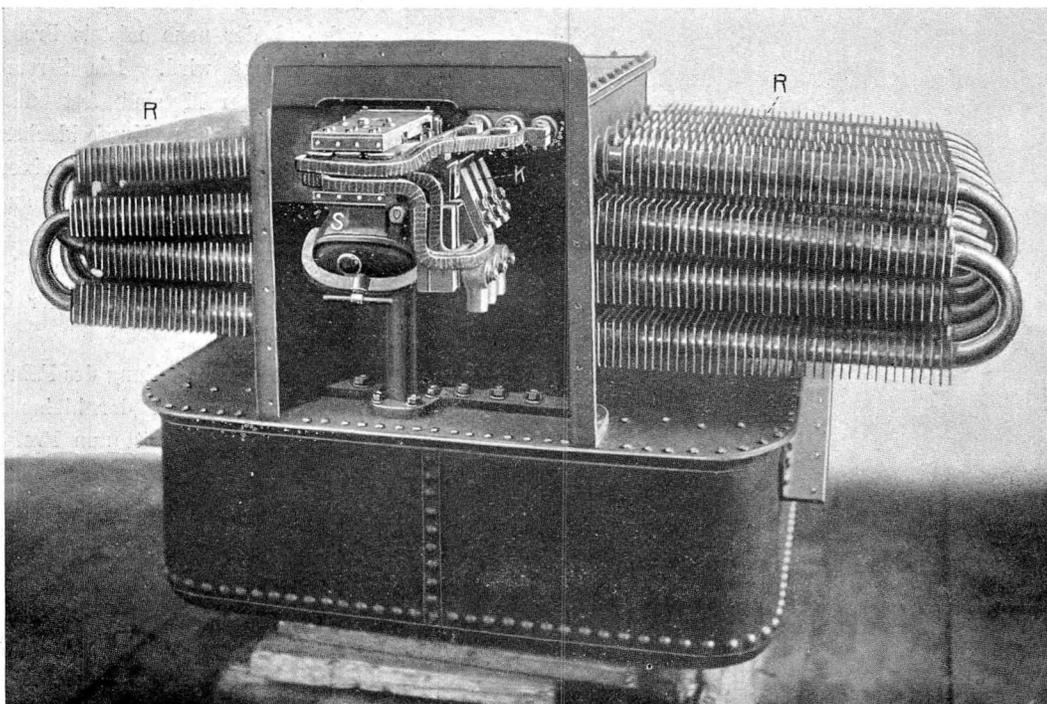
Der Wasserwiderstand (Textabb. 30) unterscheidet sich von dem der Bauart von 1901 in der Ausbildung und durch eine Vervollkommnung des Steuerventiles am Gehäuse.

Um eine möglichst gute Kühlung zu erreichen, kamen schweißeiserne gerippte Rohre RR zur Anwendung, die sich bei Tätigkeit des Widerstandes mit Wasser füllen und solange gefüllt bleiben, bis der Kurzschließer K den Widerstand stromlos hält; das beim Anfahren erwärmte Wasser wird daher während der Fahrt schnell gekühlt.

Das Steuerventil S hat die Aufgabe, den Luftzutritt in dem Widerstandsgehäuse zu regeln, das Kurzschließen und das rasche Sinken des Wasserspiegels beim Ausschalten zu besorgen. Das Steuerventilgehäuse ist vom Führerhaus aus zu öffnen, und nach Lüftung der Schraube des Hügels B leicht nachzusehen.

Der Metall - Widerstand (Textabb. 31) ist aus mäanderartig gebogenen Neusilberstreifen N so zusammengebaut, daß die Bänder von allen Seiten gekühlt werden.

Abb. 30.



Von den einzelnen Abschnitten führen feuerbeständig und stromdicht umhüllte Drähte zu dem Schaltkopfe (Textabb. 32).

Die Stromschließer-Bürsten sind auf der innern Mantelfläche eines Zylinders angeordnet, deren Hälften um ein Gelenk Ch drehbar sind, somit leicht geöffnet und zugänglich gemacht werden können. Das Ein- und Ausschalten der verschiedenen Stufen der Widerstände geschieht durch Drehen der Messerwelle W und zwar von dem Hauptluftschalter aus, der, wie unten gezeigt wird, eine entsprechende Umgestaltung erfuhr.

Auf dem Deckel des Fahr Schalters ist ein doppelter Luftzylinder C zur Ausschaltung der Widerstände mittels Prefsluft durch den Höchststromschalter; bei dieser Ausschaltung durch Prefsluft wird das Handrad auch mitgenommen, und da diese Bewegung ziemlich heftig erfolgt, wurde das Handrad ganz glatt ohne vorstehende Teile und Speichen ausgeführt.

IV. 6. Haupt-Luftschalter.

Alle Prefsluft-Einrichtungen mit Ausnahme der Stromabnehmer werden von dem Haupt-Luftschalter betätigt (Textabb. 33). Der Hebel H_1 betätigt die kleinen Luftzylinder im Hauptstromschalter und dient zur Richtungsänderung, der Handgriff zeigt nach der Fahrriechtung, Hebel H_2 betätigt den Fahr Schalter für Niederspannung (Textabb. 29) und dient zur Geschwindigkeitsänderung; seine Stellung nach rückwärts entspricht der kleinern, nach vorn der größern Geschwindigkeit. Hebel H_3 betätigt die Wasser-Widerstände und dient zum Anfahren.

In der Ruhelage steht dieser Hebel rechtwinkelig zur Lokomotivachse und kann vom Führer auch dann bequem gehandhabt werden, wenn er sich, wie etwa beim Verschieben, aus dem Fenster hinausbeugen muß. Zieht der Führer den Hebel H_3 gegen sich, so wird bei einer Verdrehung von etwa 12° der Hauptstromschalter eingeschaltet, gleichzeitig strömt Prefsluft zum Widerstande und schließt diesen von der äußern Luft ab. Beim Weiterdrehen des Hebels H_3 strömt Prefsluft durch den Steuerventilkopf des Widerstandes in dessen innern Raum, die Flüssigkeit hebt sich und die Lokomotive fährt an. Jeder Stellung des Hebels H_3 entspricht eine andere Höhe des Wasserspiegels, also eine gewisse Stromstärke, der Führer kann daher mit diesem Haupthebel die

Abb. 31.

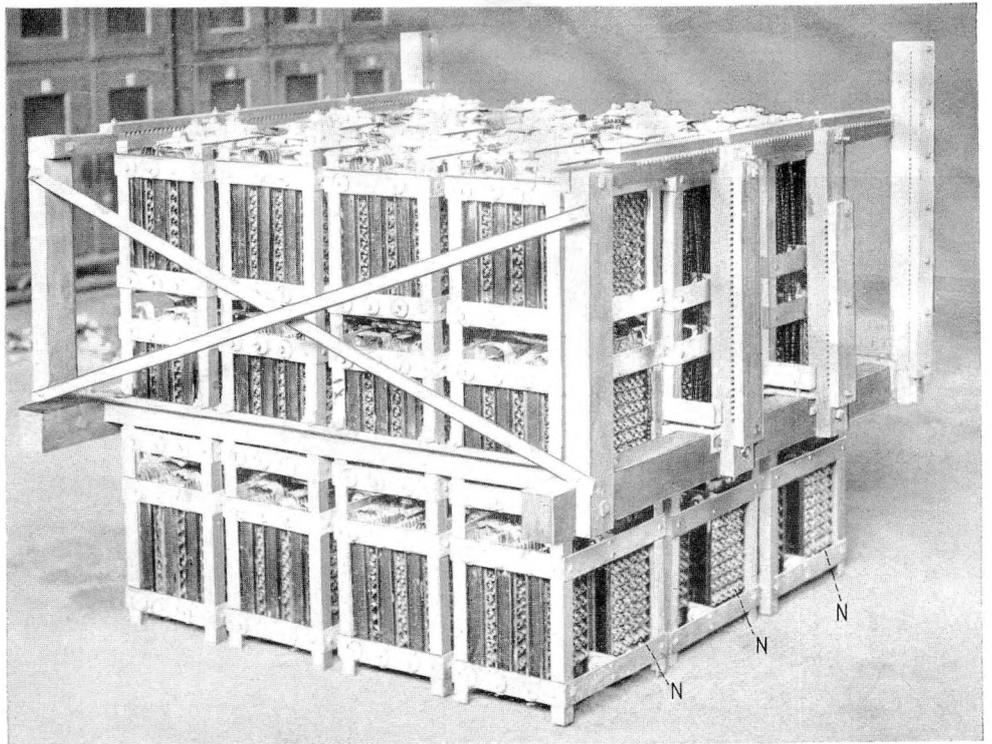
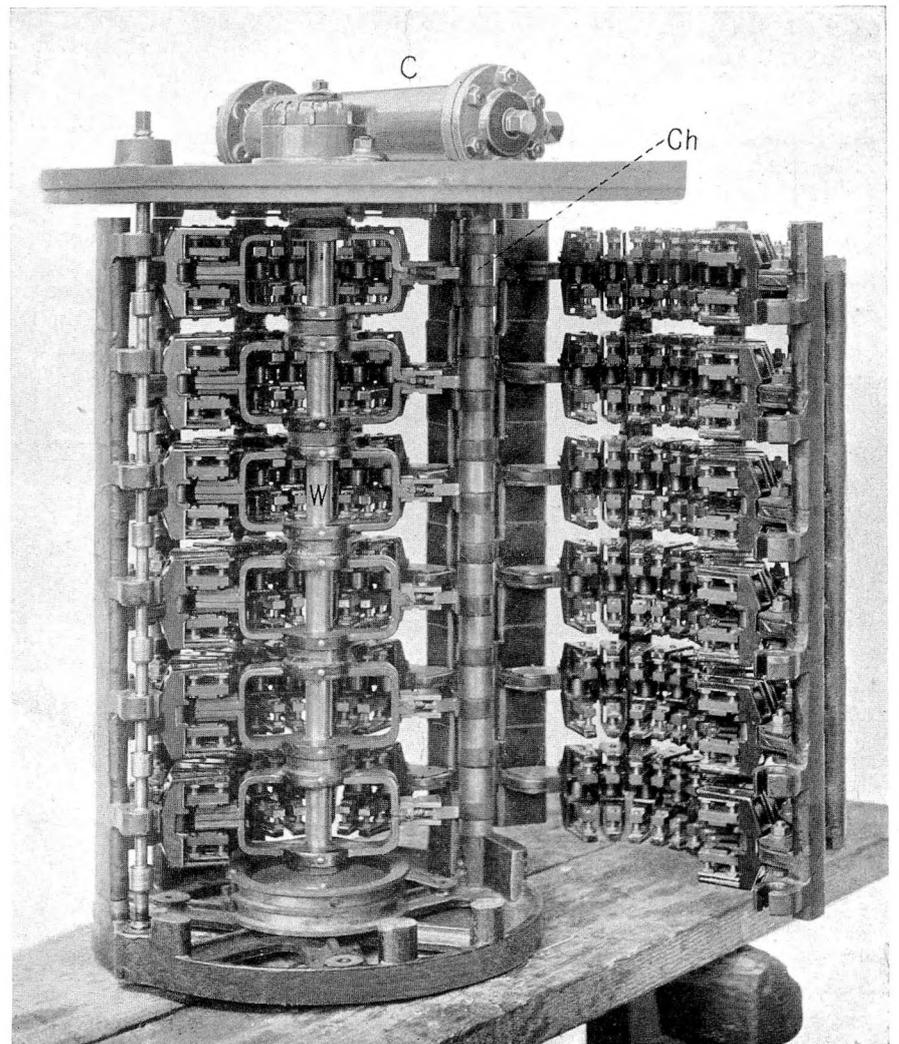


Abb. 32.



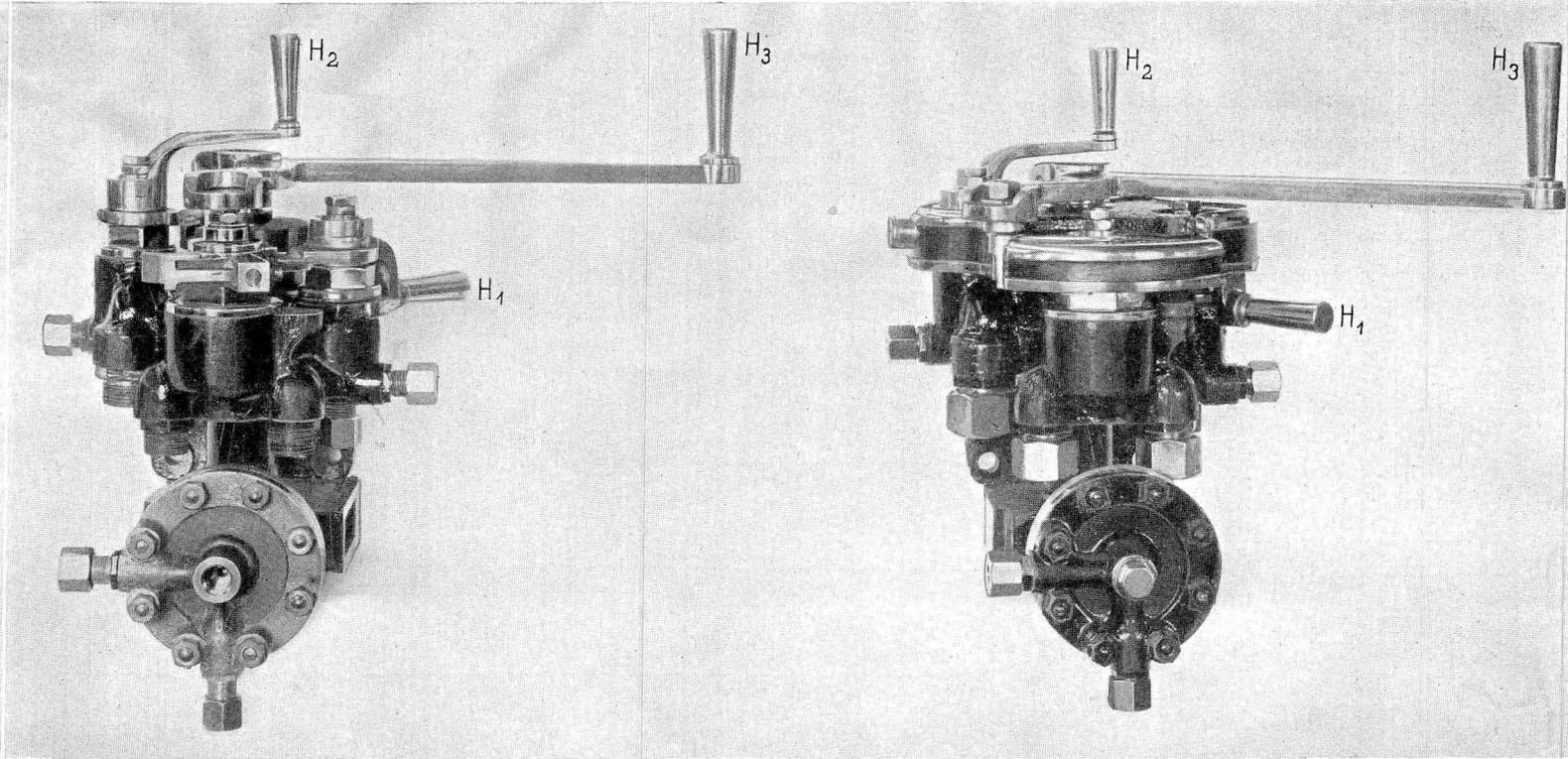
Anfahrstromstärke beliebig ändern. Letztere bleibt, solange der Hebel in einer Stellung ruht, beständig.

Die drei Hebel sind durch Schleifen in solche gegenseitige Abhängigkeit gebracht, daß der Hebel H_3 nur dann bewegt werden kann, wenn sich die beiden anderen Hebel in der äußersten Stellung befinden, und umgekehrt können die Hebel

H_1 und H_2 nur bewegt werden, wenn der Hebel H_3 in der Grundstellung liegt, Richtungswechsel und Änderung der Geschwindigkeit können also nur bei ausgeschaltetem Hauptschalter vorgenommen werden.

Der Haupt-Luftscharter für die Lokomotive mit Metallwiderstand trägt statt des Hebels H_3 ein Handrad R (Textabb. 34),

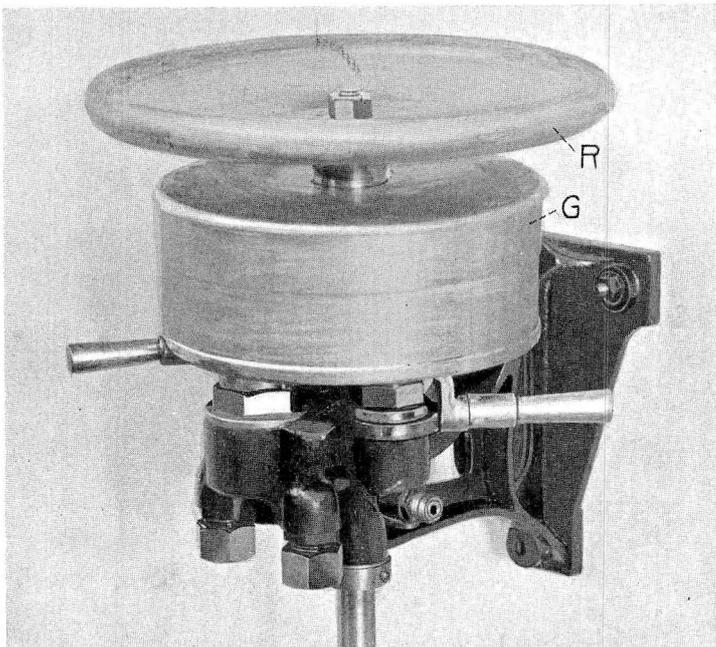
Abb. 33.



dessen Welle unten durch Ketten mit der Welle des Fahrswitchers in Verbindung steht.

Da die Bewegung der Welle des Fahrswitchers wegen der vielen Stromschlüsse ziemlich viel Kraft erfordert, ist zwischen Welle und Handrad ein Planetengetriebe im Gehäuse G eingeschaltet. Um die Messerwelle umzustellen, muß das Handrad 2,5 mal gedreht werden.

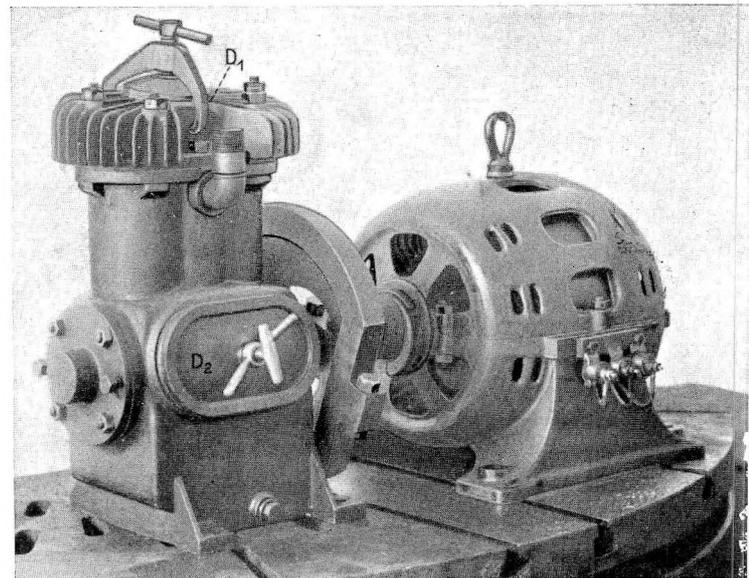
Abb. 34.



IV. 7. Luftpumpe (Textabb. 35)

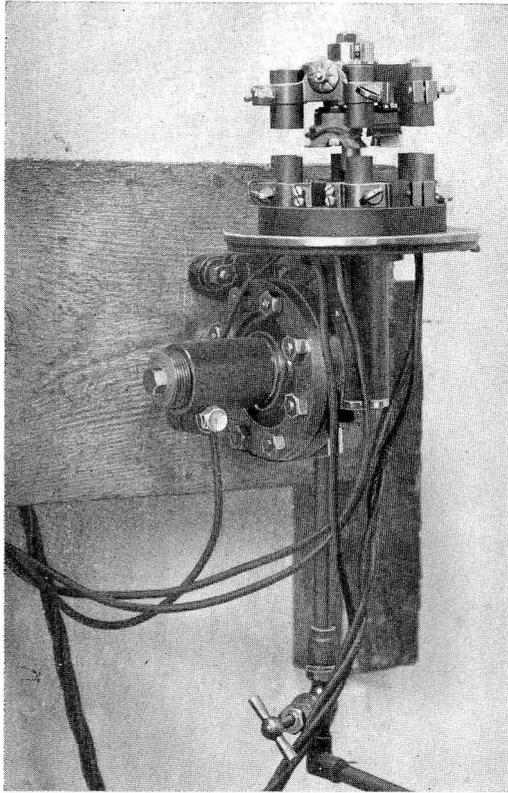
Die Pumpen der zuerst gelieferten Valtellina-Fahrzeuge waren Ventilpumpen, die während des Ganges ein recht unangenehmes Geräusch verursachten. Die neuen Pumpen haben statt der Ventile einen Drehschieber und arbeiten geräuschlos. Schieber und Kurbellager sind unter den leicht abnehmbaren Deckeln D_1 und D_2 (Textabb. 35) leicht zugänglich, so daß sie selbst während der Fahrt untersucht werden können.

Abb. 35.



Der selbsttätige Aus- und Einschalter des Pumpenantriebes (Textabb. 36) erlitt gegen früher keine nennenswerten Änderungen.

Abb. 36.



Die Anbringung der beschriebenen Vorrichtungen im Innern des Führerhauses ist in Abb. 5, Taf. XCII und der Führerstand selbst in Textabb. 37 dargestellt.

Die Schaltungsübersicht der elektrischen (Taf. XCIII) und Prefluft-Leitungen (Taf. XCIV) bedürfen keiner weiteren Erklärung, da man den Zusammenhang der einzelnen Teile der Einrichtung mit Hilfe der Buchstabenbenennung verfolgen kann.

Sind die Behälter D und F leer und soll die Lokomotive angelassen werden, so wird zunächst der Hahn d abgesperrt und der Dreiweghahn f so gestellt, daß die Handpumpe Q durch den Stromabnehmer-Schalter G mit einem der beiden Stromabnehmersockel verbunden ist. Nach Ingangsetzung der Handpumpe strömt Luft in die Luftzylinder und der Abnehmer geht in die Höhe. Jetzt bekommt die Triebmaschine der Luftpumpe Strom durch den Abspanner s und kann durch den Handschalter t in Gang gesetzt werden. Die Prefluft geht durch das Rückschlagventil B, das behufs Vermeidung des Geräusches mit einer Ölbremse versehen ist.

Von diesem Ventile strömt die Luft durch ein geripptes Bogenrohr, in dem sie sich abkühlt und durch das sie in dem Ölabscheider C gereinigt, in den Behälter D geführt wird. Der Hahn D muß vor Einlassen der Pumpe geöffnet und zurückgestellt werden. Die zwei Hauptluftschalter J sind durch drei Rohrgruppen a, b, c mit einander verbunden. Unter jedem Hauptfahrtschalter sind diese Rohre mit Absperrhähnen versehen. Die Hähne des Fahrtschalters, bei welchem der Führer steht,

müssen geöffnet, die der andern Seite geschlossen sein. Vergißt der Führer die Umstellung der Hähne durch den Hebel U₁ (Textabb. 37), so kann keine der Vorrichtungen in Tätigkeit gesetzt werden. Die Rohre b sind unabhängig vom Hebel U₁ jedes für sich absperrbar, wodurch im Falle des Schadhafwerdens die eine oder andere Gruppe der Triebmaschinen ausgeschaltet werden kann.

B. Zugkraftversuche.

Die Versuche wurden vorgenommen, um festzustellen, ob die in der Ausschreibung verlangte Zugkraft auch wirklich erreicht werden kann. Hierzu wurde ein Versuchswagen zwischen die Lokomotive und den Zug eingereiht. Während der Messungen wurde wiederholt eine Zugkraft von 9000 kg am Zughaken beim Anfahren beobachtet. Dies ergibt einschließlic der zur Ingangsetzung der Lokomotive nötigen Kraft eine Zugkraft von rund 12 t am Radumfang der Lokomotive, wobei noch kein Gleiten der Räder zu bemerken war. Da das Reibungsgewicht der Lokomotive 42 t beträgt, so betrug die Reibungsziffer 0,286.

Die auf Taf. XCV dargestellten Messungen beziehen sich auf eine regelmäßige Fahrt zwischen Lecco und Abbadia, daher treten die oben erwähnten großen Zugkräfte nicht auf.

Leider sind gelegentlich dieser Versuche keine Messungen über den Stromverbrauch vorgenommen worden.

Mit einem der Triebwagen sind im Kraftwerke am 20. April 1904 nachts genaue Messungen des Stromverbrauches während der Fahrt des Wagens von Lecco nach Bellano und zurück angestellt; das Ergebnis ist aus nachstehender Zusammenstellung zu entnehmen.

Zusammenstellung

der Messergebnisse, aufgenommen am 20. April 1904 nachts während der Probefahrt Lecco-Bellano und zurück.

Gewicht des Zuges 116 t. — Triebwagen Nr. 305 und sechs Anhänger

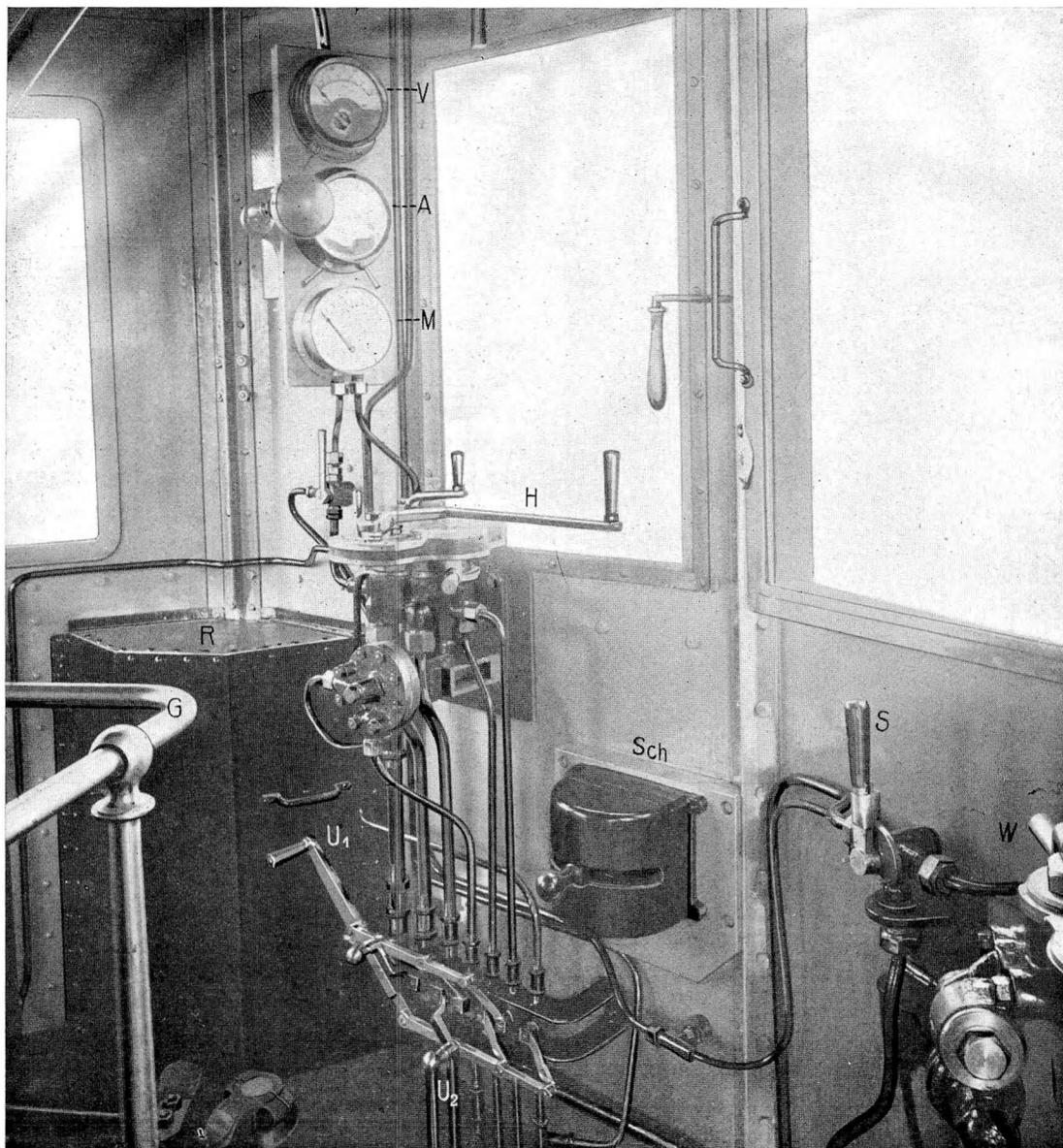
Station	Entfernung		Anzahl der tkm	Kilowattsekunden im Kraftwerke gemessen	
	zwischen je zwei Stationen km	von Lecco km		+	—
Lecco		— 0,020	812	124800	2800
Abbadia . . .	7,008	6,988	285	52200	3100
Mandello . . .	2,453	9,441	659	94500	1670
Lierna	5,680	15,121	750	79600	6210
Varenna . . .	6,468	21,589	377	47000	8480
Bellano . . .	3,261	24,850			
Bellano . . .	—	—	377	58300	—
Varenna . . .	—	—	750	90500	3100
Lierna	—	—	659	74500	4020
Mandello . . .	—	—	285	43600	3620
Abbadia . . .	—	—	812	99300	4760
Lecco					
			5766	764300	37760

Verbrauchte Wattstunden für 1 tkm $\frac{764300}{3,6 \times 5766} = 36,6$

Zurückgegebene „ „ 1 „ $\frac{37760}{3,6 \times 5766} = 1,8$

Unterschied 34,9

Abb. 37.



V Voltmesser.
 A Ampèremesser.
 M Druckmesser.
 H Haupt-Luftschalter.
 R Gehäuse für den Widerstandskopf.

Sch Handschalter für die Luftpumpe.
 S Sandstreuer.
 U₁ Hauptschalter für die Luftleitungen.

U₂ Umschalterhebel zur Ausschaltung einer Triebmaschinen-Gruppe.
 G Schutzgeländer.

Der Verbrauch für 1 Nutz t/km beträgt auf der Strecke Lecco—Bellano 34,9 Wattstunden. Darin sind aber die Verluste der Hochspannleitung von Morbegno bis zum Abspanner in Abbadia, die allein eingeschaltet war, und die der Niederspannleitung Lecco—Bellano enthalten.

e) **Gestaltung des Dienstes für Stromerzeugung, Leitungsaufsicht und -Erhaltung, Zugförderung und Verkehr.**

Außer vier Kanalwärtern für die Kanalüberwachung und Schleusenbedienung sind die folgenden Beamten in der anzugebenden Weise beschäftigt. Im Kraftwerke dauert der Dienst täglich 18 bis 20 Stunden und wird in drei Schichten versehen.

Jede Schicht besteht aus einem Elektriker, einem Maschinenwärter und einem Schmierer, außerdem sind für alle drei Schichten ein Obermaschinist und dessen Stellvertreter, im ganzen also elf Angestellte im Kraftwerke tätig.

Den Dienst bei der Leitungs-Aufsicht und -Erhaltung versehen drei Monteure, außerdem auf jeder Umformer-Station je ein Tagelöhner, der bei der Leitungsaufhängung mitgewirkt hat. Diese sind mit Werkzeug und etwas Vorratsbestand ausgerüstet, um kleinere Mängel sofort ausbessern zu können. Jeder Bahnwärter, der sowohl Strecke wie Oberleitung nachzusehen hat, trägt ein Heft bei sich, dessen Blätter aus zwei Teilen bestehen; auf dem innern eingehafteten Teile sind alle Mängel vorge-

druckt, die an der Leitung vorkommen können, der äußere, leicht abtrennbare Teil dient dem Wärter zur Meldung der Stelle nach Kilometerzahl oder Pfahlnummer, wo er Beschädigungen wahrgenommen hat. Diesen Teil sendet er dem nächsten Bahnhofsvorstande ein, welcher das weitere zu veranlassen hat. Ist die Beschädigung derartig, daß auch der Stromabnehmer darunter leiden könnte, so wird auch die Zugmannschaft verständigt, damit die Züge die Stelle mit herabgelassenem Stromabnehmer befahren. Bei gehöriger Schulung kann man dieselben Bediensteten mit der Strecken- und Leitungsüberwachung beauftragen.

Den Zugbeförderungsdienst auf den Lokomotiven und Triebwagen versieht je ein Mann, welcher auch im Zugbegleitungsdienste als Zugführer geschult ist; auf den Zügen befinden sich daher ständig zwei Beamte, die in der Führung des Zuges in jeder Hinsicht geübt sind.

f) Schlufsbemerkung.

Am 10. Juli 1904 hat die »Società Italiana per le strade ferrate meridionali« die ganze Einrichtung der Valtellina-Bahn übernommen, von diesem Tage an wird der Betrieb bereits von der genannten Verwaltung ausgeübt, nachdem das liefernde Werk von Ganz und Co. bis dahin die ganze Bahn innerhalb einer zweijährigen Gewährzeit zu betreiben hatte. Diese Gewährfrist lief erst am 15. Oktober 1904 ab. Daraus, daß die Verwaltung diese Frist um ein volles Vierteljahr verkürzt hat, folgt, daß sie die ganze Anlage und Betriebs-einrichtung der Bahn als in allen Teilen bewährt und dauernd betriebstüchtig ansieht.

Die großartig angelegte und gediegen durchgeführte Unternehmung kann demnach als eine wohl gelungene bezeichnet werden und wird bereits vielfach als Vorbild für ähnliche Anlagen selbst unter minder günstigen Verhältnissen der Stromgewinnung betrachtet.

P—n.