

Elektrotechnische Zeitschrift

(Centralblatt für Elektrotechnik)

Organ des Elektrotechnischen Vereins
und des Verbandes Deutscher Elektrotechniker.

Verlag: Julius Springer in Berlin und R. Oldenbourg in München.

Redaktion: Gisbert Kapp und Jul. H. West.

Expedition nur in Berlin, N. 24. Monbijouplatz 3.

Die

Elektrotechnische Zeitschrift

erscheint — seit dem Jahre 1890 vereinigt mit dem bisher in München erschienenen CENTRALBLATT FÜR ELEKTROTECHNIK — in wöchentlichen Heften und berichtet, unterstützt von den hervorragendsten Fachleuten, über alle das Gesamtgebiet der angewandten Elektrizität betreffenden Vorkommnisse und Fragen in Originalberichten, Rundschau. Korrespondenzen aus den Mittelpunkten der Wissenschaft, der Technik und des Verkehrs, in Auszügen aus den in Betracht kommenden fremden Zeitschriften, Patentberichten etc. etc.

ORIGINAL-ARBEITEN werden gut honorirt und wie alle anderen die Redaktion betreffenden Mittheilungen erbeten unter der Adresse:

Redaktion der Elektrotechnischen Zeitschrift in Berlin
N. 24, Monbijouplatz 3.

Fernsprechnummer: III. 1168.

Die

Elektrotechnische Zeitschrift

kann durch den Buchhandel, die Post (Post-Zeitungs-Preisliste No. 2379) oder auch von der unterzeichneten Verlagshandlung zum Preise von M. 20,— (nach dem Ausland mit Porto-Aufschlag) für den Jahrgang bezogen werden.

ANZEIGEN werden von der unterzeichneten Verlagshandlung, sowie von allen soliden Anzeigegeschäften zum Preise von 40 Pf. für die 4gespaltene Petitzelle angenommen.

Bei jährlich 6 13 26 52 maliger Aufnahme
kostet die Zeile 85 30 25 20 Pf.

Stellegesuche werden bei direkter Aufgabe mit 20 Pf. für die Zeile berechnet.

BEILAGEN werden nach Vereinbarung beigelegt.

Alle Mittheilungen, welche den Versand der Zeitschrift, die Anzeigen oder sonstige geschäftliche Fragen betreffen, sind ausschliesslich zu richten an die

Verlagsbuchhandlung von JULIUS SPRINGER in Berlin
N. 24, Monbijouplatz 3.

Fernsprechnummer III. 529. - Telegramm-Adresse: Springer-Berlin-Monbijou.

Inhalt.

(Nachdruck nur mit Quellenangabe, und bei Originalartikeln nur mit Genehmigung der Redaktion gestattet.)

Versuche über Verwendung des hochgespannten Drehstromes für den Betrieb elektrischer Bahnen. Von Walter Reichel. S. 453.

Fernstromzeiger. Von Dr. Carl Michalke und Dr. O. Martienssen. S. 461.

Ueber die Ladung von Akkumulatoren bei konstanter Spannung. Von C. Heim. (Fortsetzung von S. 441.) S. 463.

Chronik. S. 465. London.

Kleinere Mittheilungen. S. 465.

Telegraphie. S. 465. Das Telegraphensystem Pollak und Virág und dessen Werth für die Praxis.

Elektrische Bahnen. S. 466. Elektromagnetische Weichenstellvorrichtung. — Der elektrische Betrieb auf der Londoner Stadtbahn.

Verschiedenes. S. 467. Preisliste der Firma Gans & Goldschmidt in Berlin. — Dritte internationale Acetylen-Fachausstellung in Paris 1900. — Unzulässigkeit metalldurchwirkter Dekorationsstoffe in der Nähe elektrischer Beleuchtung. — Associazione fra Esercenti Imprese Elettriche in Italia.

Patente. S. 467. Anmeldungen. — Zurückziehungen. — Ertheilungen. — Aenderungen des Inhabers. — Löschungen. — Gebrauchsmuster: Eintragungen. — Aenderungen des Inhabers. — Auszüge aus Patentschriften.

Vereinsnachrichten. S. 469. Verband Deutscher Elektrotechniker (Tagesordnung und Festplan für die achte Jahresversammlung am 17. bis 20. Juni in Kiel). — Angelegenheiten des Elektrotechnischen Vereins (Sitzungsbericht. — Vortrag des Herrn Ingenieur Dr. Max Breslauer: „Ueber Entwurf und Prüfung von Drehstrommotoren mit Hilfe des Diagramms der Mehrphasenmotoren“).

Briefe an die Redaktion. S. 475.

Geschäftliche Nachrichten. S. 476. Gesellschaft für elektrische Hoch- und Untergrundbahnen, Berlin. — Elektrizitäts-A.-G. vorm Schuckert & Co in Nürnberg. — Kontinentale Gesellschaft für elektrische Unternehmungen, Nürnberg.

Kursbewegung. — Börsen-Wochenbericht. S. 476.

Briefkasten der Redaktion. S. 476.

Versuche

über Verwendung des hochgespannten Drehstromes für den Betrieb elektrischer Bahnen.

Von Walter Reichel,

Oberingenieur der Siemens & Halske A.-G., Berlin.

Als man in der ersten Hälfte der achtziger Jahre in den Voltainduktoren, wie man damals die Transformatoren nannte, ein bequemes Mittel erkannt hatte, um den Wechselstrom zur wirtschaftlichen Kraftübertragung auf grosse Entfernungen nutzbar zu machen, tauchte auch sehr bald der Gedanke auf, diese Stromart für den Eisenbahnbetrieb anzuwenden. Meines Wissens war es zuerst die Firma Siemens & Halske, welche auf Veranlassung des Herrn Wilhelm von Siemens in dieser Richtung vorging. Schon unter dem 18. Januar 1886 suchte sie ein Patent auf Neuerungen in der Anwendung von Voltainduktoren nach, dessen erste beiden Ansprüche lauteten:

1. Auf einem mittels Wechselstrommotors elektrisch bewegten Fahrzeuge die Anbringung eines Voltainduktors, um dem Motor einen Strom von geringer Spannung zuführen zu können, während in den Zuführungsleitungen ein Strom von hoher Spannung cirkulirt.
2. Die Aufstellung von Voltainduktoren neben dem Gleise einer elektrischen Eisenbahn und die Verbindung der primären Windungen der Induktoren mit der Wechselstromquelle, der sekundären Windungen mit den Schienen oder den neben den Schienen isolirt angebrachten Leitern, von welchen der Strom mittels Gleit- oder Rollkontakten dem Fahrzeuge zugeführt wird.

Nachdem dann Ende der achtziger und Anfang der neunziger Jahre der verkettete Wechselstrom oder Drehstrom in die Praxis Eingang gefunden hatte, trachtete die Firma Siemens & Halske weiter danach, sich durch Ausführung von Versuchen Klarheit über die Anordnung einer Drehstrombahn zu verschaffen. Im Jahre 1892 wurde zu diesem Zwecke auf dem Grundstück des Werner-Werkes zu Charlottenburg ein zu Bahnzwecken dienender Schienenstrang von 360 m Länge einschliesslich einer Einviertelkreisbahn von etwa 40 m Halbmesser mit den drei Drehstromzuführungsleitungen versehen, und zwar wurden zwei oberirdische Leitungen gezogen, von denen je nach Belieben mittels zweier Schleifbügel oder mittels zweier Rollenkontakte der Strom entnommen werden konnte; die dritte Zuleitung wurde an die Schienen angelegt, von denen der Strom mittels der Laufräder abgenommen wurde. Die Spannung zwischen zwei Klemmen der Primärmaschine wurde zwischen 500 und 600 V möglichst konstant gehalten. Das Fahrzeug bestand aus dem Untergestell eines gewöhnlichen Strassenbahnwagens mit einfacher Plattform ohne Wagenkasten, ähnlich wie bei offenen Güterwagen. Dieses Untergestell war ausgerüstet mit einem Elektromotor, dessen Leistung mittels Schneckenübertragung 1:11 (Stahl auf Bronze) auf die eine Laufachse übertragen wurde. Der Motor arbeitete mit 1400 U. p. M., und es wurde infolgedessen eine Höchstgeschwindigkeit von etwa 25 km erreicht. Auf der Plattform des Wagens waren ausser den beiden erforderlichen Stromabnehmern auch noch die nöthigen Anlass- und Regulirwiderstände und die Schaltapparate untergebracht. Die primäre, feststehende Wicke-

lung des Motors konnte beim Anfahren in Dreieck geschaltet werden und wurde während der Fahrt, wenn es die Belastungsverhältnisse gestatteten, in Sternschaltung umgewandelt. Das Drehmoment des Motors war infolgedessen beim Anfahren mit Leichtigkeit mindestens auf das sechsfache desjenigen bei voller Fahrt zu bringen. In den mit Schleifringen versehenen, sekundären Theil schaltete man je nach Bedarf Widerstände ein.

Trotzdem eine grössere als die oben genannte Geschwindigkeit von 25 km bei den im Juli und August 1892 angestellten Versuchen nicht erreicht werden konnte, da die Strecke zu viele unübersichtliche Stellen enthielt und auch nicht lang genug war, so liess doch die Ausführung der ganzen Anlage deutlich erkennen, dass das versuchte System sich zu Bahnzwecken ganz gut eigne und auch die Leitungsanlage keine besonderen Schwierigkeiten bei der weiteren Ausbildung bieten würde. Es wurde deshalb in Aussicht genommen, eine grössere Bahnstrecke nach entsprechendem Umbau in regulären Betrieb zu nehmen.

Aus Anlass eines diesbezüglichen Gesuches um Ueberlassung einer geeigneten Bahnstrecke schenkte auch Seine Excellenz der Herr Minister der öffentlichen Arbeiten v. Thielen gelegentlich seiner Anwesenheit zu Anfang December 1892 der Probefahrt seine Aufmerksamkeit. Trotz des befriedigenden Ergebnisses der stattgefundenen Besichtigung konnte aber dem Antrage zunächst nicht Folge gegeben werden, da zu jener Zeit die Führung von oberirdischen Leitungen über dem von den gewöhnlichen Zügen befahrenen Bahnkörper nicht für anfänglich und der Umbau für zu schwierig befunden wurde.

Wenn auch die Firma Siemens & Halske, von der Wichtigkeit der Nutzbarmachung dieses Zweiges der Elektrizität überzeugt, für ein Bekanntwerden des Versuches dadurch Sorge trug, dass sie das Fahrzeug zur Weltausstellung nach Chicago sandte (siehe „Electrical World“ Jahrgang 1893, Band XII, No. 9, S. 164), so kam doch der Bau der Fernbahnen, für die sich der Drehstrom gerade infolge seiner leichten Umformbarkeit besonders gut eignet, zunächst nicht vom Flecke. Andererseits gelangten Projekte von mit Drehstrom betriebenen elektrischen Strassenbahnen gerade deshalb nicht zur Ausführung, weil bei diesen die Vortheile des Drehstromes gegenüber dem Gleichstrom infolge der dem Strassenbahnbetriebe eigenthümlichen Vorbedingungen, z. B. des steten Wechsels zwischen schwacher und starker Kraftäusserung, nicht zur Geltung kommen, wie aus nachstehenden Erwägungen leicht ersichtlich ist.

Um zunächst von der Stelle auszugehen, an der die elektrische Energie in mechanische umgesetzt wird, von den Betriebsmitteln, so konnte deren Einrichtung bei Drehstrom nicht so einfach, zweckmässig und betriebsicher gestaltet werden, wie bei Gleichstrom. Das Fahrzeug musste mindestens mit drei Stromabnehmern ausgerüstet werden, und den drei Zuführungsleitungen entsprechend musste auch eine grössere Anzahl von Leitungen zur Verbindung der Motoren mit den Stromabnehmern, Schaltern und Widerständen im Fahrzeuge angeordnet werden. Die gesammte elektrische Ausrüstung wurde etwas schwerer, als bei der Ausrüstung der Wagen mit Gleichstrommotoren. Das bedingte theilweise die Verwendung derselben Betriebsspannung von etwa 600 V, theilweise das Verhalten der Drehstrommotoren selbst und ihre Schaltung. Das Bestreben, innerhalb der Städte langsamer zu fahren, als ausserhalb dersel-

ben, und wenn möglich noch einen bis zwei Anhängewagen mitzuschleppen, brachte es mit sich, alle Laufachsen anzutreiben und wenigstens zwei Motoren zu verwenden. Dieselben konnten bei Ausbildung als Gleichstrommotoren in Hintereinanderschaltung für halbe Fahrt und in Nebeneinanderschaltung für schnelle Fahrt arbeiten. Dadurch wird bei halber Fahrt und auch beim Anfahren bei der folgerichtigen Benutzung der Nebeneinanderschaltung nach der Hintereinanderschaltung eine Energieersparnis erzielt.

Bei Betrieb mit Drehstrom kann zwar durch die Hintereinanderschaltung der Motoren (Kaskadenschaltung) die Fahrgeschwindigkeit auf die Hälfte der grössten herabgemindert werden, jedoch sinkt dabei die höchste Zugkraft gewöhnlich auf die Hälfte und die Leistung auf den vierten Theil. Die Schaltung wird sehr verwickelt, und eine Ersparnis an Widerstandsmaterial ist nicht erzielbar. Man musste daher für halbe Fahrt Widerstände in den sekundären Theil einschalten und beim Anfahren ebenfalls nur mit Widerständen und nicht mit Schaltung arbeiten. Weiter bedingt die mit Rücksicht auf Beleuchtungsbetrieb gewählte Wechselzahl von 50 i. d. Sekunde für die Strassenbahndrehstrommotoren einen geringeren Zwischenraum von 1 bis $1\frac{1}{2}$ mm zwischen umlaufendem und feststehendem Theil gegenüber $2\frac{1}{2}$ bis 3 mm für die Gleichstrommotoren; daher mussten die Lager verlängert werden, wodurch Raum für die Konstruktion, also Leistungsfähigkeit verloren ging und ferner das öftere Erneuern der Lager nöthig war und der Betrieb sich theurer gestaltete. Endlich war der Hauptstrommotor für Strassenbahnzwecke, nämlich für das abwechselnde Befahren von ebenen Strecken und von stärkeren Steigungen, welche selbst bei Bahnanlagen in sonst vollkommen ebenen Städten immer auftreten, in sofern geeigneter, als seine Höchstleistung, also sein Gewicht nicht so gross zu sein braucht, als das des Drehstrommotors. Beide Motoren haben auf der Steigung dieselbe Zugkraft zu leisten, aber der Hauptstrommotor geht bei stärkerer Belastung unter gleichzeitig wachsender Zugkraft in der Drehzahl herunter, während der Drehstrommotor, welcher in seinem Verhalten dem Nebenschluss-Gleichstrommotor durchaus ähnlich ist, trotz gleichzeitig wachsender Zugkraft immer die gleiche Umdrehungszahl mit nur geringem Abfall beizubehalten bestrebt ist. Die Zugkraft des Hauptstrommotors ist von der Spannung unabhängig, während die des Drehstrommotors sich umgekehrt proportional dem Quadrate der Spannungen ändert.

Der Drehstrommotor würde daher für viele Fälle schwerer und theurer geworden sein, als der Gleichstrommotor. Infolgedessen würde auch die gesammte elektromotorische Ausrüstung der Betriebsmittel schwerer, das todte Gewicht derselben und damit auch der Kraftverbrauch grösser, die Hauptanlage und der Betrieb theurer geworden sein. Ein bestimmtes rechnerisches Beispiel zeigt den Unterschied zwischen Dreh- und Gleichstrommotor noch deutlicher.

Verlangt ist, dass ein Wagen von 20 Sitz- und 18 Stehplätzen nebst zwei Anhängewagen von gleichem Fassungsraume eine Steigung von $q = 40\%$ und 800 m Länge nehmen und auf der Horizontalen etwa 30 km/Std. höchste Fahrgeschwindigkeit entwickeln soll. Die Steigung liegt an einer Stelle der Strecke, wo die Spannung nicht unter 10% abgefallen sein darf. Mittelspannung 725 V, Spannung auf der Steigung 650 V.

Motorwagengewicht einschl. der elektrischen Einrichtung . . .	9,5 t
Gewicht beider Anhängewagen leer	8,5 t
Personen einschl. etwas Ueberlast 150 Personen zu rd. je 70 kg	10,5 t
Gesammlast $T =$	28,5 t.

Demnach ist zu entwickeln bei einer Uebersetzung von 1:5,1, bei Verwendung von zwei Motoren, bei einem Laufradius $r = 0,44$ m, bei einem Wirkungsgrad $\gamma = 0,94$ der Zahnradübersetzung:

1. auf der Steigung von 40%

$$M = \frac{T(q+8) \cdot r}{2 \cdot 5,1 \cdot \gamma} = \frac{28,5 \cdot (40+8) \cdot 0,44}{2 \cdot 5,1 \cdot 0,94} = 63 \text{ kgm.}$$

2. auf der Horizontalen

$$M = \frac{T(q+8) \cdot r}{2 \cdot 5,1 \cdot \gamma} = \frac{28,5 \cdot (0+8) \cdot 0,44}{2 \cdot 5,1 \cdot 0,94} = 11 \text{ kgm.}$$

Diesen Bedingungen entspricht ein Gleichstrommotor von rd. 1000 kg Gewicht, welcher auf der Steigung dem Zuge eine Geschwindigkeit von 19 km pro Stunde bei 650 V Spannung und auf der Horizontalen von rd. 31 km/Std. ertheilt. Das höchste für das Anfahren in Betracht kommende Drehmoment dieses Motors ist etwa 100 kgm.

Der für dieselben Lasten geeignete Drehstrommotor muss so stark sein, dass er bei 50 Wechseln i. d. Sekunde auch auf der Steigung 30 km Geschwindigkeit dem Zuge ertheilen kann, da die Drehzahl des Motors unveränderlich ist. Er hat dementsprechend eine $1\frac{1}{2}$ -mal so grosse Leistung aufzubringen als der Gleichstrommotor und wiegt daher auch 1230 kg. Sein höchstes Moment bei 650 V ist ebenfalls rd. 100 kgm und darf nicht mehr überschritten werden, ohne dass der Motor bis zum Kurzschlussstrom abfällt.

Der Vergleich ist zwar etwas übertrieben, aber er kennzeichnet die Sachlage gerade dadurch sehr deutlich. In diesem Falle können die sonstigen guten Eigenschaften des Motors, nämlich, dass er bei 725 V das $1\frac{1}{4}$ -fache und bei 800 V das 1,5-fache des höchsten Drehmomentes, also 150 kgm, leisten kann, eben leider nicht zur Geltung kommen, ausser man erhöht die Spannung durch stehende Zusatzumformer und ergreift sonstige Hilfsmittel, die man aber bei Gleichstrom in den meisten Fällen wahrscheinlich nicht brauchen würde. Für die vorliegenden Verhältnisse, welche der Wirklichkeit entnommen sind, eignet sich der Gleichstrommotor besser als der Drehstrommotor.

Zu dem Nachtheile etwaiger schwererer und theurerer Betriebsmittel kommt noch der der verwickelten Anordnung der Leitungen hinzu; dies war der Hauptgrund, der bisher die Einführung des Drehstromes für Strassenbahnen verhinderte. Gegenüber der allgemein bekannten Leitungsanordnung war es bei Drehstrombahnen nöthig, wenigstens zwei, besser jedoch drei Leitungen oberirdisch zu führen. Es entstand hierdurch eine sehr verwickelte Weichen- und Kurvenanlage und ein solches Gewirr von Drähten, dass man es keiner Stadt zumuthen konnte, sich mit dieser oberirdischen Stromzuführungsart zu befreunden. Die eine der drei Leitungen an Erde zu legen, wodurch eine Vereinfachung erzielt worden wäre, war wegen der damit verbundenen, bedeutenden Telephonstörungen bzw. wegen der bedeutenden Kosten für Verlegung von Doppelleitungen für den Telephonbetrieb nicht angängig. Da ausserdem mit Rücksicht auf etwaige Gefahren für den öffent-

lichen Verkehr eine höhere als die allgemein übliche Gleichstromspannung von 500 bis 600 V nicht gestattet worden wäre, und ferner mit den Spannungsverlusten bei Drehstrom mit Rücksicht auf die nachlassende Zugkraft der Motoren nicht so weit gegangen werden darf, als bei Gleichstrom, so wurde auch die Leitungsanlage schwerer und theurer und erforderte einen höheren Kapitalaufwand als bei Gleichstrom.

Wenngleich man nicht behaupten kann, dass in allen Fällen Gleichstrombetrieb für Strassenbahnen billiger ist als Drehstrombetrieb, da die Kosten sehr von den gegebenen örtlichen Verhältnissen abhängen, so hat doch die genauere Durchrechnung vieler praktischer Beispiele bewiesen, dass dies in den meisten Fällen zutrifft, weil die Vortheile, die der Drehstrom dem Gleichstrom gegenüber besitzt, nicht zur Geltung kommen können. Der Drehstrom wurde für Strassenbahnen meist nur indirekt in der Weise zur Verwendung gebracht, dass er in grösseren Kraftstätten mit einer Spannung von mehreren Tausend Volt erzeugt, nach entfernt liegenden Unterstationen geleitet und dort in Gleichstrom umgewandelt wurde.

Viel günstiger gestalten sich aber die Vorbedingungen für die Anwendung des Drehstromes bei Klein- oder Vorortbahnen mit eigenem Bahnkörper und bei Vollbahnen. Bei diesen ist er vielfach dem Gleichstrom bedeutend überlegen und kann in manchen Fällen, in denen an die Anwendung des letzteren überhaupt nicht mehr zu denken ist, mit dem grössten Erfolge noch nutzbar gemacht werden. Bei solchen Bahnen handelt es sich nicht um eine heftig schwankende Kraftentwicklung, wie bei Strassenbahnen, nicht um einen starken Wechsel der Zugkräfte auf der Horizontalen und auf Steigungen, sondern um einen ruhigen und gleichmässigen Kraftverbrauch, bei welchem die Motoren dauernd mit derselben Drehzahl arbeiten können. Da, wo stärkere Steigungen auftreten (beispielsweise bei Gebirgsbahnen), sind dieselben auch von längerer Dauer, sodass die Motoren nur mit Rücksicht auf diese und auf Dauerleistung bei der Bergfahrt zu bestimmen sind. Bei der Thalfahrt geben die Drehstrommotoren gleichzeitig die Fahrgeschwindigkeit durch ihre bremsende Wirkung genau regulierend, einen Theil des verbrauchten Stromes an das Netz zurück, welcher mit Vortheil wieder anderweitig nutzbar gemacht werden kann (Jungfraubahn, Gornergratbahn). Bei den Klein-, Vorort- und Fernbahnen gestattet ferner der eigene Bahnkörper die Verlegung blanker, oberirdischer Leitungen, in denen die Spannung des elektrischen Stromes beliebig hoch gewählt werden kann, womit Energielieferung auf grosse Entfernung verknüpft ist.

Da nach dem jetzigen Stande der Praxis im Motorenbau wohl angenommen werden darf, dass Gleichstrommotoren für Bahnzwecke sich für Spannungen über 1000 V noch nicht geräumig, sicher und billig genug werden ausführen lassen, so wird man bei Verwendung von Gleichstrom bei Kleinbahnen mit oberirdischer Stromzuführung kaum über 1000 V gehen wollen (Mittelspannung); dagegen kann man Drehstrommotoren für Bahnzwecke zur Zeit mit Spannungen bis etwa 4000 V bauen. Demnach sind folgende Fälle der Uebertragung der elektrischen Energie in blanken, oberirdischen Leitungen in Betracht zu ziehen:

1. Gleichstrom bis 1000 V abgenommen. Eine grössere Anzahl von Kraftstätten in bestimmten Abständen von einander, Zuhilfenahme von Akkumulatoren-Bufferbatterien.

2. Gleichstrom bis 1000 V abgenommen. Eine grössere Anzahl von Unterstationen in bestimmten Abständen, mit umlaufenden Umformern, welche hochgespannten Drehstrom in Gleichstrom umwandeln. (Manhattan Elevated and Metropolitan Street Railway New York). (Tronawanda Lockport und Niagara Fall, Street Railways).
3. Drehstrom bis 1000 V abgenommen und den Motoren unmittelbar zugeführt. Stehende Umformer längs der Strecke und Primärspannung beliebig. (Burgdorf-Thun).
4. Drehstrom 1000—4000 V abgenommen und den Motoren der Betriebsmittel unmittelbar zugeführt. Ein Kraftwerk mit gleich hoher Spannung. (Lecco-Colico-Gondrio.)
5. Drehstrom 4000—15000 V und mehr abgenommen, auf die Betriebsmittel umgewandelt und dann den Motoren zugeführt. Kraftwerk hat die gleiche Spannung (Fernbahnen).

Welcher der genannten Fälle benutzt wird, muss an Hand der Berechnung der Leitungsanlage und der Konstruktion der Betriebsmittel für den einzelnen Fall entschieden werden. Für manche Fälle der Fernübertragung aber liegt es von vornherein klar auf der Hand, dass die in letzter Linie genannte Art der Stromabnahme die allein anwendbare ist, so beispielsweise für eine elektrische Bahn von Berlin nach Hamburg von etwa 240 km Länge, bei welcher für einen Zug während des Beharrungszustandes vermuthlich etwa 1220 elektrische

Spannungsverlust für 1 km Hinleitung

$$e' = \frac{c}{Q} \cdot J = \frac{17,6 \cdot 1000}{1000} = 17,6 \text{ V.}$$

Spannungsverlust für 1 km Rückleitung

$$e'' = \frac{17,6 \cdot 1000}{4000} = 4,4 \text{ V.}$$

Bei 8 km Länge ist der Gesamtspannungsverlust

$$E' = 8(e' + e'') = 140 \text{ V} + 35 \text{ V} = 175 \text{ V,}$$

das sind 16% Spannungsverlust.

Es muss mithin die von den Umformern der Unterstationen abgegebene Gleichstromprimärspannung

$$E_I = 900 \text{ V} + 175 \text{ V} = 1075 \text{ V}$$

betragen. Damit die Umformer nicht so gross zu werden brauchen, sind Akkumulatorenbatterien aufgestellt und werden ausserdem noch Zusatzmaschinen angewendet, um weitere 7 km, also zusammen 8 + 7 = 15 km nach jeder Seite hin von den Unterstationen aus speisen zu können. Erforderlich sind dann 8 Unterstationen. Zur Kraftlieferung an diese dienen zwei Hauptkraftwerke für Drehstrom von 12—15000 V Spannung, welche etwa in 1/4 der ganzen Länge, also 60 km Entfernung von den beiden Endpunkten liegen würden.

II. Wir setzen voraus, dass nur eine Kraftstätte in der Mitte der Strecke sich befindet und entnehmen eine Spannung $E_{II} = 12000 \text{ V}$ Drehstrom aus den Zufüh-

Kostenaufstellung zu machen. Denn man kann auch ohne dieselbe die bedeutende Ueberlegenheit des Drehstromes für diesen Fall erkennen, für den seine Vortheile benutzt sind. Sie bestehen in:

1. Verwendung stillstehender Umformer (im Gegensatz zu umlaufenden, welcher der Wartung bedürfen) zur Erhöhung oder Erniedrigung der Spannung.
2. Motoren ohne Kommutatoren für hohe Spannung im Gegensatz zu den Gleichstrommotoren, bei denen erstens ein Feuern des Kommutators diesen selbst angreift und zweitens bei grösseren Spannungen und dem engen Bau ein Ueberspringen der Spannung nach dem Gehäuse oder von Bürste zu Bürste verursacht.

3. Die Vortheile ad 1 und 2 ergeben die Möglichkeit der Verwendung hoher Spannungen in den Uebertragsleitungen und der Energielieferung auf grosse Entfernung, grosse Kraftwerke mit guten Maschinen, wenig Bedienungsmannschaft, leichte Kontrolle des Fahrplans durch Selbstregelung der Fahrgeschwindigkeit durch die Motoren.

Der Umstand, dass die Einführung des elektrischen Betriebes, welche bei den städtischen Strassenbahnen eine so grosse Entwicklung erfahren hatte, bei den Vorort- und Fernbahnen keine befriedigenden Fortschritte machen wollte, veranlasste im November des Jahres 1897 die Firma Siemens & Halske auf Grund der vorstehenden Erwägungen und einer besonders von Seiten des Herrn Wilhelm von Siemens gegebenen Anregung zu dem Entschlusse, die Versuche mit Drehstrom wieder aufzunehmen, auf besonderem Gelände eine Ver-

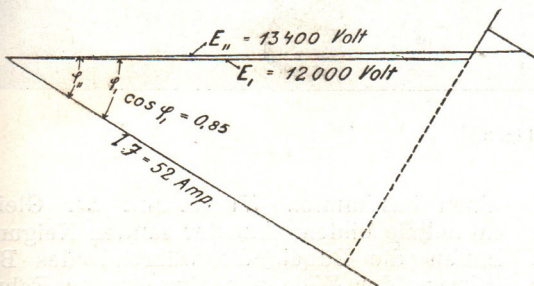


Fig. 1.

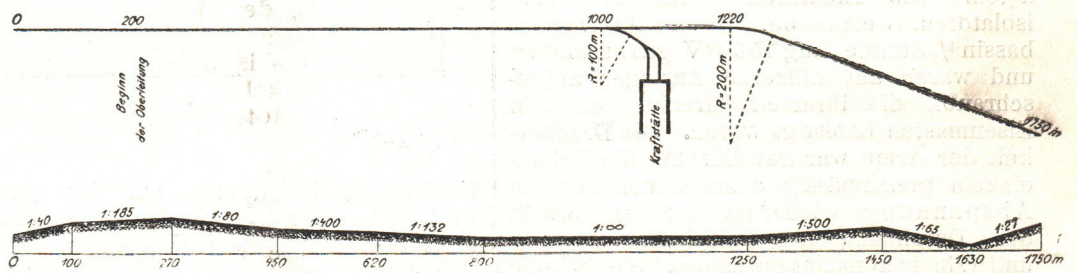


Fig. 2.

Pferdestärken an der Stelle der Abnahme aus den Zuleitungen erforderlich sein werden. Eine einfache Rechnung giebt hierüber Aufschluss. Es werden folgende Annahmen gemacht:

Je ein Zug fährt vom Endpunkte ab, sie kreuzen sich in der Mitte.

Q = Leitungsquerschnitt (in Kupfer gerechnet),

c = spezifischer Ohm'scher Widerstand pro Kilometer Leitung bei 1 qmm Kupferquerschnitt = 17,6 Ω ,

E_I = Primärspannung, E' = Spannungsverlust,

E_{II} = Sekundärspannung,

J = Stromstärke,

A_{II} = Arbeit bei E_{II} .

I. Entnahme von $E_{II} = 900 \text{ V}$ Gleichstrom aus der Zuführungsleitung an der äusserst entfernten Verbrauchsstelle (Fall II).

$$A_{II} = E_{II} J = 1220 \cdot 736 = 900\,000 \text{ Watt,}$$

$$J = \frac{900\,000}{900} = 1000 \text{ A,}$$

$$Q_1 = 1000 \text{ qmm für Hinleitung,}$$

$$Q_2 = 4000 \text{ „ „ Rückleitung.}$$

ungsleitungen an dem 120 km von der Kraftstätte entfernt liegenden Endpunkt. Dann ist

$$A_{II} = E_{II} J \cdot \cos \varphi_1 \cdot \sqrt{3} = 900\,000 \text{ Watt.}$$

$$J = \frac{900\,000}{12\,000 \cdot 0,85 \sqrt{3}} = \text{rd. } 52 \text{ A.}$$

$$Q = 100 \text{ qmm.}$$

Gesamtwiderstand der Strecke bei 120 km Länge und 100 qmm Querschnitt:

$$W = \frac{17,6}{100} \cdot 120 = \text{rd. } 21 \Omega, \text{ daher ist der Ohm'sche Spannungsverlust der Leitung } E_1 = W \cdot J = \text{rd. } 1100 \text{ V.}$$

Induktiver Spannungsverlust

$$E_i = C \cdot L J = 0,0059 \cdot 2,5 \cdot 120 \cdot 52 = 900 \text{ V.}$$

Graphisch zusammengesetzt (Fig. 1) ist der Gesamtspannungsverlust ermittelt zu 1400 V, d. i. rd. 10% der Primärspannung E_I von 13400 V.

Der Vergleich zeigt also, dass bei Fall 2 8 Unterstationen und 2 Kraftwerke, bei Fall 5 nur 1 Kraftwerk erforderlich sind.

Wir wollen davon Abstand nehmen, den Vergleich weiter auszuführen und eine

suchsbahn ins Leben zu rufen und die nicht unbedeutenden Ausgaben hierfür selbst zu bestreiten.

Für diesen Bau wurde folgendes Programm aufgestellt:

1. Erprobung der elektrischen Ausrüstung von Betriebsmitteln bei Verwendung von Drehstrommotoren, bei Geschwindigkeiten bis 60 km und Spannungen bis 10000 V.
2. Erprobungen geeigneter Stromabnehmervorrichtungen verschiedener Anordnung, Sicherung gegen Folgen von Drahtbrüchen, Ausbildung der Weichen, Kurven u. s. w.

Mit der Leitung der Versuche wurde der Verfasser betraut und als geeigneter Ort für dieselben wurde auf dem Gebiete der Gemeinden Gross-Lichterfelde und Zehlendorf die Teltowerstrasse ermittelt, welche etwa 3 km lang un bebaut und wenig befahren oder begangen ist. In zuvorkommender Weise ertheilten beide Gemeinden ihre Erlaubniss zur Benutzung des Geländes zu dem genannten Zwecke und es wurde daher unverzüglich im Frühjahr 1898 ans Werk gegangen und bis Anfang des Jahres 1899 die Anlage so fertiggestellt, wie sie aus dem Plan Fig. 2 ersichtlich ist. Die normalspurige Fahrstrecke wurde, um an

Kosten zu sparen, zunächst nur etwa 1,8 km lang, das Kraftwerk etwa in der Mitte angelegt. An Kurven waren vorhanden: eine von 200 m Halbmesser und solche von 100 und 40 m, welche zu der nach der Kraftstätte und dem Wagenschuppen abzweigenden Weichenanlage gehören.

Für die Oberleitung mussten, mit Rücksicht auf die Lage an einer öffentlichen Strasse, unterhalb der Leitungen Schutznetze angebracht werden und es konnten daher im Laufe der Versuche nur zwei Systeme von oberirdischen Leitungen probirt werden und zwar:

1. eine solche Anordnung, dass die Stromabnahme durch die Schleifkontakte von oben erfolgen konnte.
2. Stromabnahme durch Seitenschleifkontakte.

Der gewöhnliche Kontakt von unten mit Rolle oder Bügel, wie er bei den Strassenbahnen Lugano, Stansstad-Engelberg, Burgdorf-Thun, Lecco-Colico-Sondrio Verwendung findet, konnte nicht probirt werden und hätte wohl auch keine von den bereits bekannten wesentlich verschiedene Ergebnisse gezeitigt. Von den üblichen Rollenkontakten wurde ausserdem deshalb Abstand genommen, weil die Gefahr des Entgleisens der Rolle bei grösseren Geschwindigkeiten zu gross ist.

Oberleitung.

Bei der ersten Anordnung, Schleifkontakt von oben (Fig. 3 und 4), bestand die Oberleitung aus 3 parallelen 8 mm starken Hartkupferdrähten, die durch Bronceklemmstücke auf 3-fachen Glockenisolatoren festgehalten waren und in einer schrägen Ebene lagen. Die Isolatoren waren Porzellanisolatoren, welche bei Prüfung im Wasserbassin $\frac{1}{2}$ Stunde lang 15 000 V gut aushielten und waren auf hölzerne Ausleger aufgeschraubt, die ihrerseits drehbar an den Eisenmasten befestigt waren. Die Drehbarkeit der Arme war gewählt, um die Drähte einzeln gleichmässig abzuspannen und die Abspannung wiederum hat den Zweck, den Durchhang der Fahrdrähte Sommer und Winter konstant zu halten. Sie ist eine selbstthätige und wird in Abständen von je 500 m durch eine lose Rolle und einen Flaschenzug mit 6 Rollen bewirkt, sodass die Oberleitungsdrähte zusammen 1500 kg Zug erhalten. Die Drähte sind vor dem Flaschenzug in eine Oese eingehängt, nachdem sie vorher durch die normalen Spannvorrichtungen aus Hartgummi, von denen in jeder Leitung je 3 hintereinander sitzen, isolirt sind. Diese Isolation ist derartig gut, dass bei Prüfung in horizontaler Lage unter der Wassertraufe erst bei 21 000 V Feuererscheinungen auftraten.

Später im Laufe der Versuche wurde die Leitungsanlage umgebaut und nach Angaben des Herrn Oberingenieurs Frischmuth für Seitenschleifkontakte eingerichtet. Hierbei (Fig. 5) liegen alle drei Leitungen in einem Abstand von 1 m von einander in einer Vertikalebene; statt der drehbaren Holzarme wurden U-Eisen nach einer Ellipse gekrümmt angebracht. In der Richtung der grossen Achse derselben sind Zugorgane zwischen die Endpunkte der U-Eisen derart eingespannt, dass an ihnen die Isolatorstützen etwas schräg nach aussen stehend befestigt werden konnten. Auf diesen sind mittelst Hanfseil die kräftigen 3-fachen Porzellanlockenisolatoren aufgedreht. Die Leitungen können seitlich etwas ausweichen, sind also in ähnlicher Weise nachgiebig aufgehängt wie bei den bekannten Auslegern für Kontakt von unten. Die seitlich über die Isolatoren ausladenden, metallischen Tragschnäbel der 8 mm Kupferdrähte laufen

in Metallringen aus, welche mit Druckschrauben und Federringen die Hälse der Isolatoren fest umklammern.

Als Tragmaste für die Oberleitung sind Gittermaste aufgestellt, die ca. 1,9 m tief in den Erdboden eingelassen sind. Als Abspannmaste sind stärkere eiserne Gittermaste verwendet, die ebenfalls 1,9 m tief in der Erde stehen. Dieselben sind des grossen seitlichen Zuges (von 1500 kg) wegen mit 1,5 cbm Beton umgossen. Die Abspannmaste sind auch zugleich Tragmaste. Die

der tiefste Durchhang der Oberleitung an irgend einer Stelle der geraden Strecke, bei Seitenkontakt von der Gleismitte seitlich genügenden Abstand haben. Bei Seitenkontakt wird die Weiche noch einfacher, weil die Arbeitsleitungen für die gerade Strecke glatt durchlaufen können, und nur der erste in der Weiche selbst stehende Mast soweit zurückgesetzt werden muss, dass die von ihm ausgehenden nach dem nächsten Mast führenden Arbeitsleitungen nicht parallel zur Gleismitte laufen, sondern

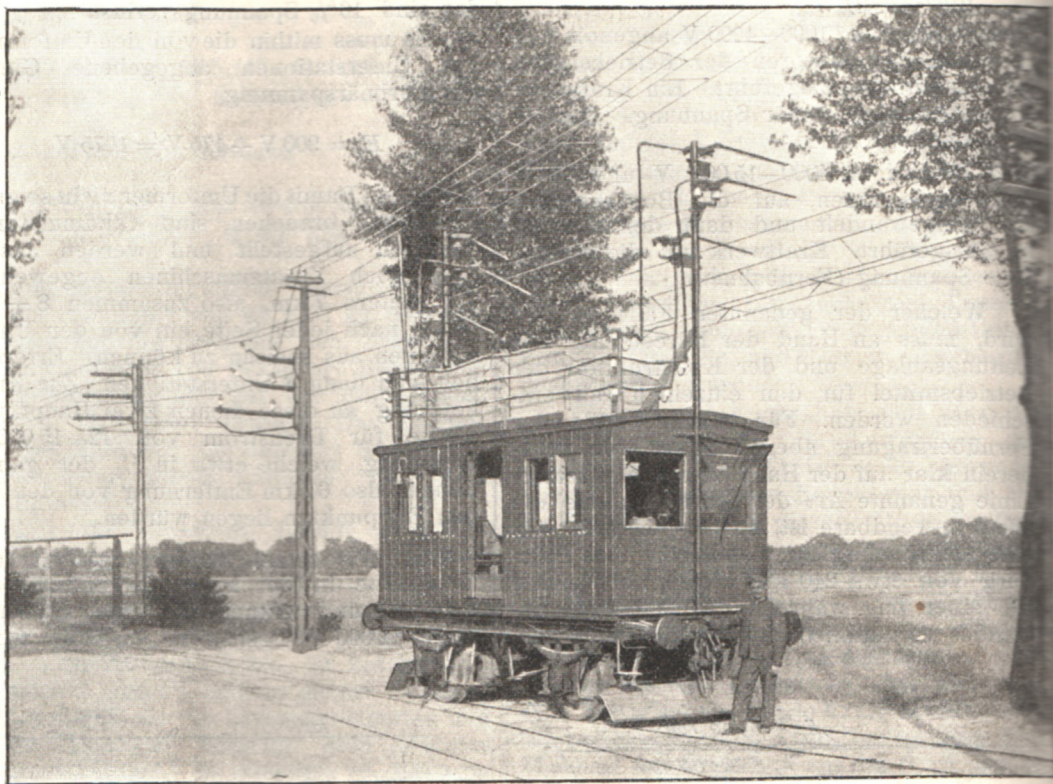


Fig. 3.

Entfernung der Masten auf der geraden Strecke beträgt 40 m, in den Kurven haben dieselben entsprechend geringeren Abstand. Bei 40 m Abstand der Masten betrug der Durchhang rd. 150 mm. Die Masten wurden, um das Berühren derselben auch bei Kurzschluss mit Hochspannung ungefährlich zu machen, jeder einzeln durch die Schienen sorgfältig geerdet und zwar mit 8 mm starker Kupferleitung, die beiderseits verschraubt und verlötet war.

An der Einfahrt zur Kraftstätte muss entsprechend der Schienenweiche unten, eine Oberleitungs-Luftweiche vorhanden sein. Diese ist entsprechend dem Bau des Stromabnehmers in der Art ausgebildet, dass an der betreffenden Stelle die zur Kraftstätte abgehenden Fahrleitungen vollständig unterbrochen und die Speiseleitungen in solcher Höhe über die Strasse geführt werden, dass die Lokomotive mit Stromabnehmer darunter hindurchfahren kann. Die Schleifstücke der Stromabnehmer, deren Drehung durch Anschläge begrenzt ist, schweben an dieser Stelle vollständig in der Luft, sodass Auflaufstellen für die Arbeitsleitungen geschaffen werden müssen. Zu diesem Zweck waren bei Kontakt von oben je an einem Mast der geraden durchlaufenden Strecke und am ersten Mast der seitlich abgehenden Strecke die Isolatoren so tief gesetzt, dass die Schleifstücke der Stromabnehmer in ihrer tiefsten Lage über die Isolatoren weggingen und erst allmählich auf den wenig ansteigenden Fahrdrähten zum Kontakt kommen. Dieses leichte Ansteigen der Fahrdrähte giebt geringen Stoss beim Auflauf. Die Isolatoren müssen bei Kontakt von oben hier tiefer liegen, wie

einen bestimmten Winkel mit der Gleismittellinie bilden. Auf der sanften Neigung laufen die Bügel, die während des Befahrens der Weiche senkrecht zur Fahrtrichtung stehen, auch bei grösserer Geschwindigkeit stosslos auf.

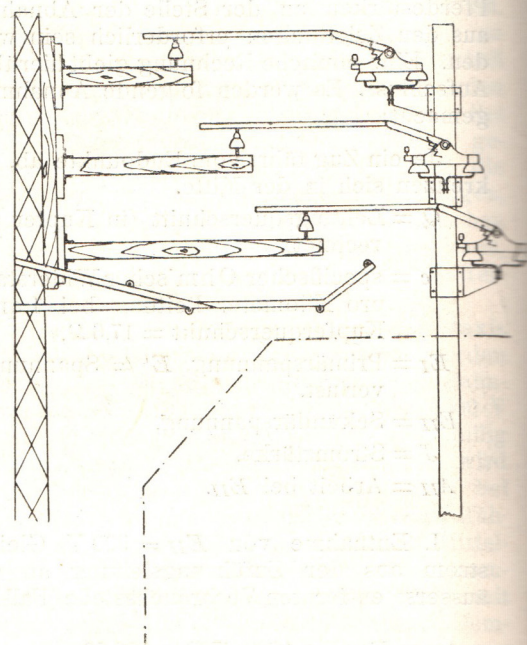


Fig. 4.

Die Strecke kann an dieser Stelle natürlich nicht mit Strom, sondern nur mit lebendiger Kraft durchfahren werden; die Stellung des Stromabnehmers hierbei ist durch Fig. 6 und 7 erläutert.

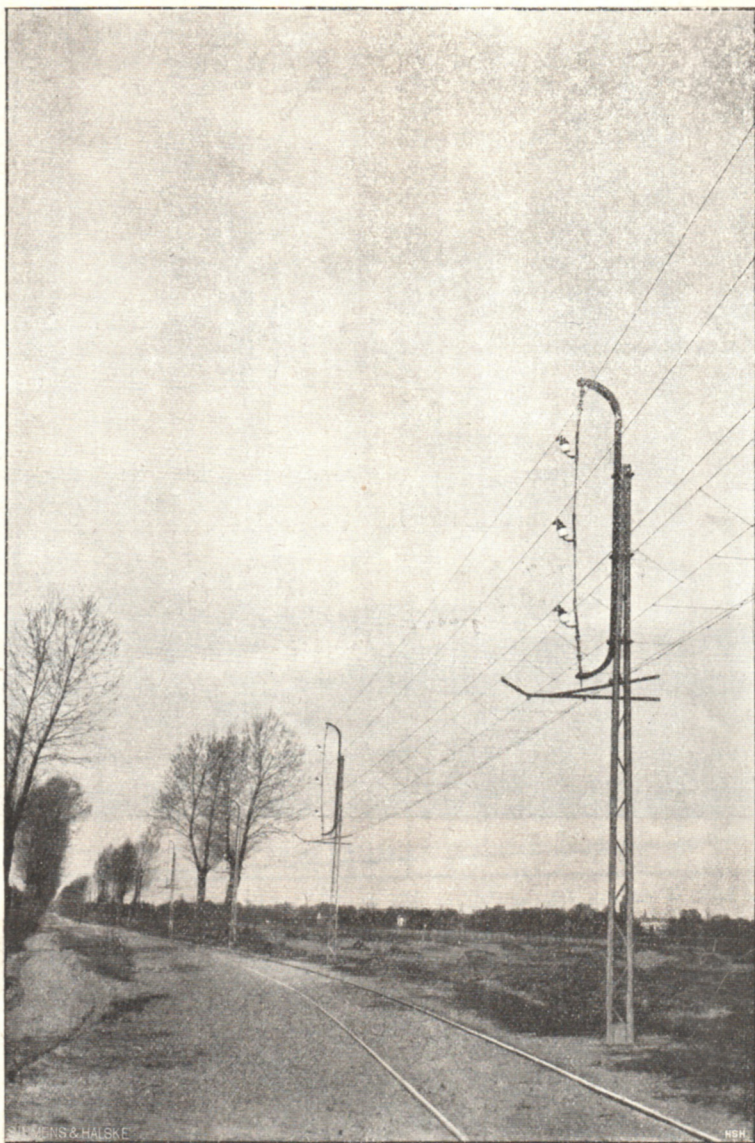


Fig. 5.

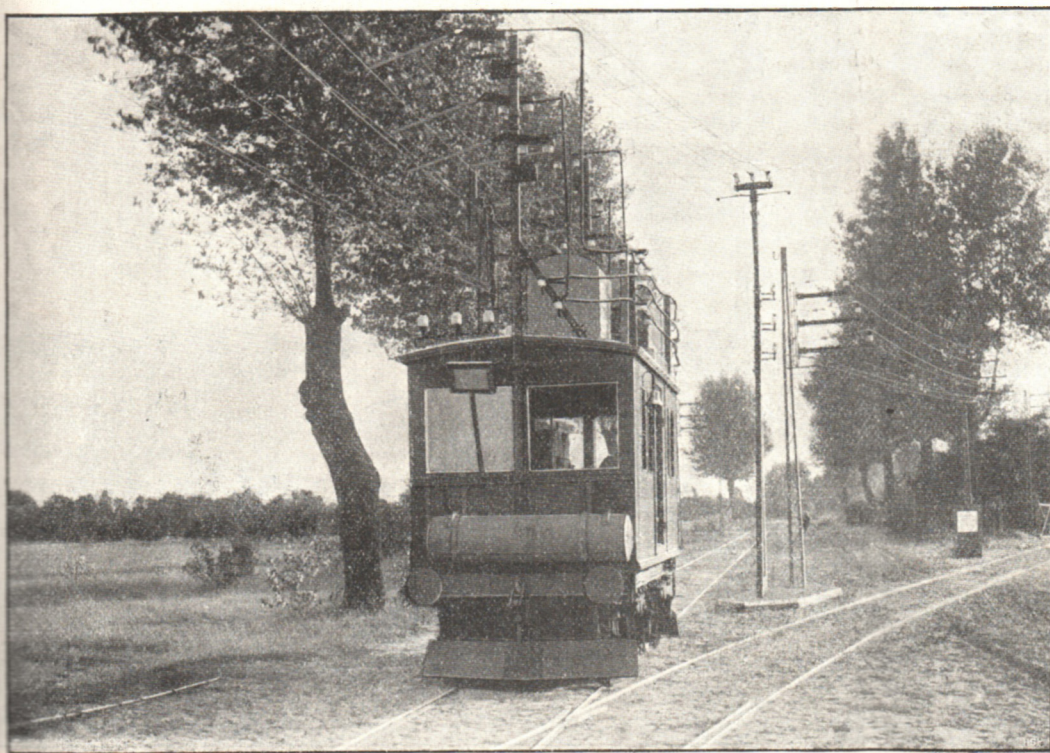


Fig. 6.

Für die gesamte Strecke waren seitens der Gemeinde Schutznetze vorgeschrieben, die verhindern sollten, dass beim etwaigen Bruch einer Leitung diese auf die Erde fällt. Sie bestehen aus 4 parallelen 5 mm starken verzinkten Stahldrähten, die auf eisernen Auslegern an den Masten befestigt sind. Die Längsdrähte sind in Ab-

ständen von 1,5 m durch Querdrähte aus 4 mm starkem Stahldraht mit einander und durch die Ausleger mit den eisernen Masten leitend verbunden.

Zur Sicherung gegen Blitzgefahr sind endlich noch in die Oberleitung Hörnerblitzableiter, je einer in jeder Phase, induktionsfrei eingeschaltet.

Die Stromabnehmer bestanden zuerst für Kontakt von oben aus kräftigen Aluminiumstücken, die um eine wagerechte Achse drehbar und an einem eisernen Rohre befestigt sind. Die Schleifstücke können in einer zu den Fahrdrähten senkrechten Ebene schwingen und werden durch eine Feder gegen den Draht angepresst. Die Drehpunkte der Schleifstücke sind, um gleich grosse Ausschläge zu geben, entsprechend den 3 Fahrdrähten versetzt. Die Bügel sind gleich lang. Zur thunlichst gleichmässigen Abnutzung der Schleifbügel war die Leitung im Zickzack (200 mm) verlegt, und zur Verminderung starker Funkenbildung bei grösserer Geschwindigkeit und namentlich um die nachfolgenden Messungen sicher ausführen zu können, waren je zwei Stromabnehmer an die Lokomotive angesetzt.

Bei dem zweiten System der Seitenschleifkontakte (Fig. 8) liegen die Drehpunkte der Kontaktbügel, die zum Zwecke des Kontaktgebens um eine senkrechte Achse schwingen, alle in gleicher Höhe, daher sind die Bügel verschieden lang und stehen verschieden steil. Sie drehen sich zum Zwecke des Unterfahrens von Ueberführungen u.s.w. ausserdem um eine wagerechte Achse. Alle drei Bügel lassen sich gleichzeitig von den Leitungen vom Führerstand aus mittels Schneckenvorgelege abdrehen. Alle drei senkrechten Bügeldrehachsen sind von den wagerechten Drehachsen der Bügel durch kräftige Hartgummiisolatoren isolirt. Alles weitere ist aus der Fig. 8 ersichtlich. An den Weichen werden die Leitungen unterbrochen, die Bügel stellen sich senkrecht zur Fahrriichtung, laufen dann bei Beginn der Weichenleitung sanft wieder auf. Arbeitsleitungen und Stromabnehmer hielten bis 30 000 V aus.

Die Kraftstätte ist als eine Unterabtheilung derjenigen der elektrischen Strassenbahn Gross-Lichterfelde - Steglitz - Lankwitz - Südende ausgeführt und mit einer Akkumulatorenbatterie und Gleichstrommotoren zum Antriebe einer Drehstromdynamo ausgerüstet. Diese ist 12-polig für normal 770 V und 120 bis 250 A bei 500 U. p. M. und 50 Perioden gebaut und vollständig umschaltbar, sodass Spannungen von 385 bis 4000 V entwickelt werden können. Ausserdem ist noch ein Drehstromumformer mit einem Umsetzungsverhältniss $\frac{750}{10\,000}$ V bei $\frac{157}{11,5}$ A normal aufgestellt. Es war nun möglich, die bei den Versuchen verwendeten drei verschiedenen Spannungen zu erzeugen.

1. 750 V unmittelbar,
2. 2000 V unmittelbar,
3. 10 000 V durch Umformung.

Die Isolation und Führung der Leitungen nach aussen war dementsprechend eingerichtet. Die erforderlichen Schutzvorkehrungen, Erdung des Umformers und Dynamokörpers und geerdete Schutzkästen gegen unfreiwillige Berührung von mit Hochspannung in Verbindung stehenden Instrumenten u.s.w. waren getroffen. Die Einrichtungen in der Kraftstätte zeigten während der Dauer der Versuche ein durchaus sicheres Arbeiten.

Die Einrichtungen der Lokomotive waren zunächst so getroffen, dass für die erste Zeit die Versuche mit Schaltapparaten und Anlassern für stationären und nicht für Bahnbetrieb vorgenommen wurden. Es wurde auch der Umformer*) von 10 000 V auf 750 V Spannung auf einem besonderen Anhängewagen mit Stromabnehmer nach-

*) Um Missverständnissen vorzubeugen, machen wir darauf aufmerksam, dass an verschiedenen Stellen dieses Artikels das Wort „Umformer“ gebraucht, aber „Transformator“ gemeint ist. D. Red.

geschleppt, um besser die Schleifkontakte an der Arbeitsleitung von der Maschine aus beobachten zu können und um zunächst auf der Maschine, die keinen eisernen Kasten hat, von der Hochspannung ganz frei zu sein, endlich auch hauptsächlich deshalb, weil infolge der Grösse der Widerstände und der Apparate kein Platz mehr auf der Maschine war. Die Versuche mit 2000 V aber wurden mit der Maschine in der in Fig. 3 abgebildeten Weise vorgenommen.

Auf die Lokomotive wurde dann später ein eiserner Oberkasten, in dem auch die Umformer Platz fanden, aufgesetzt und sie erhielt das Aussehen nach Fig. 8 und eine Ausrüstung gemäss folgender Beschreibung.

Das Untergestell der Lokomotive ist von einem gewöhnlichen zweiachsigen Plattformwagen für Vollbahnen mit normaler Zug- und Stossvorrichtung, durchgehender Zugstange entnommen und ganz aus Eisen gebaut. Die Handspindelbremse ist eine doppelseitige Klotzbremse mit Stahlgusschuhen, welche auch mit Druckluft betätigt werden kann. Der Durchmesser der Laufräder beträgt 1000 mm, der Radabstand 2800 mm, die Länge der Plattform 4000 mm, die Breite der Plattform 2200 mm, die Gesamtlänge mit Buffern 6300 mm, die Höhe der Plattform 1200 mm. Das Untergestell ist durch die Räder gut leitend mit den Schienen verbunden. Zwischen Achsgabeln und Achsbuchsen sind noch besondere Verbindungsleitungen angebracht.

In dem aus kräftigem Eisenblech ausgeführten Oberkasten liegt der Führerstand von 1,3 m Länge in der Mitte mit offenen Seitenthüren versehen. Beide Stirnwände desselben sind verglast und unterhalb der Brüstung durch eiserne Thüren von den beiden Räumen für Umformer, Motor, Kompressor, Widerstandsschalter und Hochspannungsausschalter abgetrennt. Zum Aufsteigen auf die Lokomotive dienen ein Fusstritt und zwei Handgriffe. Um beim Aufsteigen gegen Potenzialdifferenzen gesichert zu sein, ist der Fusstritt und der erste Handgriff von der Lokomotive und dem Untergestell durch Porzellanisolatoren vollständig isolirt. Dies hat den Vortheil, dass, falls durch irgend welche Umstände die Erde, von welcher aus die Lokomotive bestiegen wird, und letztere selbst verschiedene Potenzial haben sollten, dieses für den Einsteigenden vollständig unschädlich gemacht ist, da er von dem Potenzial der Erde auf den isolirten Tritt und erst von diesem wieder auf das Potenzial der Lokomotive kommt. Der Boden der Lokomotive ist mit gut geerdetem Blech belegt. Desgleichen sind alle im Wagen befindlichen Gehäuse und Gestelle von Apparaten gut geerdet. Die Erdung aller der für gewöhnlich keine Spannung führenden Theile war zu dem Zwecke vorgesehen, dass durch gutes Erden keine für die beim Versuche Beteiligten gefährlichen Spannungen auftreten können, selbst wenn einige dieser Apparate durch Isolationsfehler Spannung erhalten sollten; in diesem Falle kann nur Kurzschluss eintreten.

Zum Schutz gegen im Wege liegende Gegenstände sind an der Lokomotive zwei Bahnräumer angebracht.

Das Gewicht der vollständig ausgerüsteten Lokomotive betrug mit Motoren, Luftkompressor, 3 Stromabnehmern und Anlasswiderständen 16 000 kg.

Die Lokomotive ist mit zwei Drehstrommotoren c. D. M. 20/35 ausgerüstet, einem auf jeder Achse für 650 V bis 850 V, 30 PS normaler und 120 PS Höchstleistung bei 650 V.

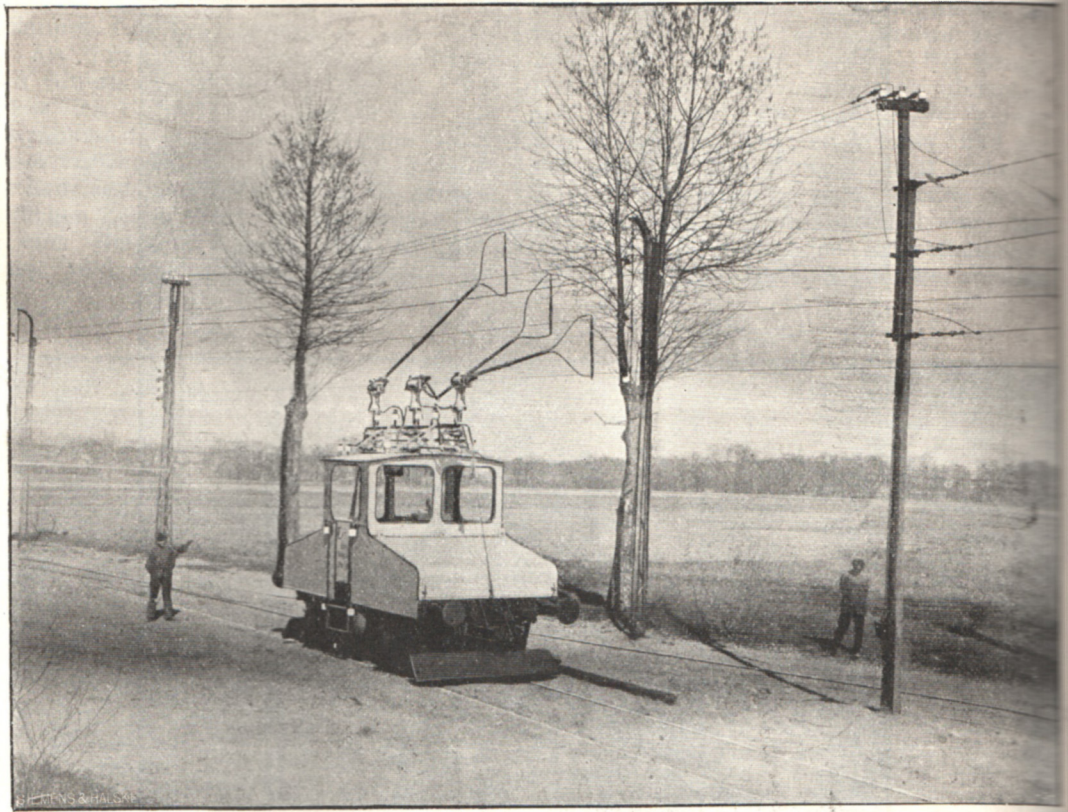


Fig. 7.

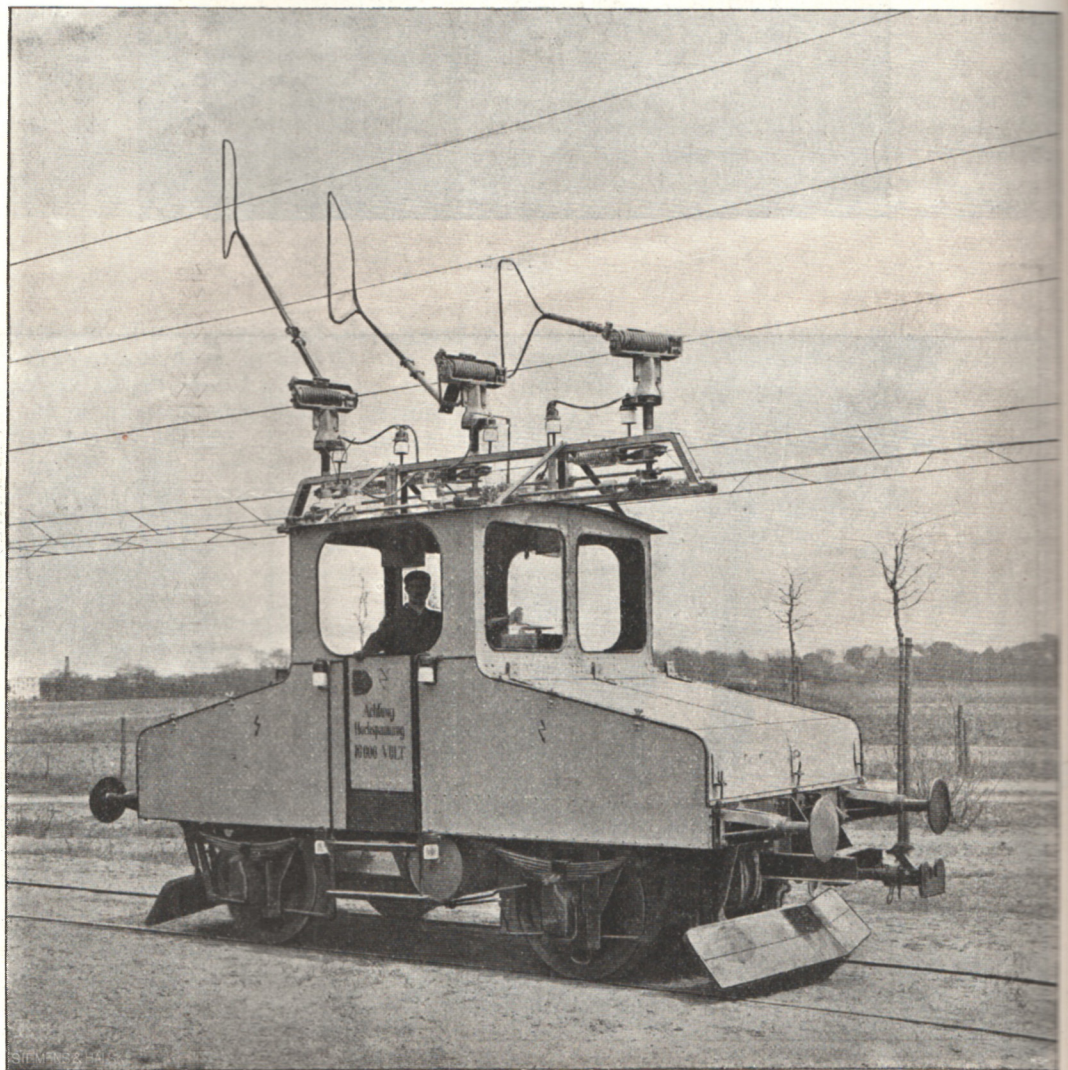


Fig. 8.

Die Zuführungsleitungen gehen zu dem festen Theile. Der bewegliche Theil ist ein Stabanker, mit Schleifringen und Lüftung ausgerüstet. Die Luft zwischen dem beweglichen und dem festen Theile beträgt 1,5 mm. Die Kurven des Motors Fig. 9 geben Aufschluss über sein Verhalten. Nach demselben ist der höchste Wirkungsgrad

88,5 %, der höchste Leistungsfaktor 0,87, die höchste Leistung bei 650 V 120 PS für den Motor. Diese erhöht sich bei 850 V auf 200 PS für den Motor. Bei normaler Leistung ist der Wirkungsgrad 87 %, $\cos \varphi = 0,79$, der Drehzahlabfall 1,5 %, das normale Drehmoment beträgt 21,6 kgm, das höchste Drehmoment 96 kgm. Die Kurven zeigen, wie

die Leistung von einem gewissen Punkte wieder kleiner wird, was von dem immer grösser werdenden Drehzahlabfall und dem Drehmomente, das in einem ganz bestimmten Punkte seinen Höhepunkt erreicht und dann wieder kleiner wird, herrührt. Wenn der Motor so stark belastet wird, dass er sein

gestellt. Die Motoren sind wie Gleichstrommotoren für Strassenbahnen in das Untergestell mit doppelten Federn eingehängt und können um die Achsen als Drehpunkt schwingen. Zur Veränderung der Geschwindigkeit sind zwei Zahnräderpaare vorhanden mit den Uebersetzungen 1:4,65 für 40 km Geschwin-

ein für 750 V gebauter Fahrshalter benutzt; derselbe ist in seinem Innern mit einer Schaltwalze für die Umkehrung der Fahrtrichtung und mit einer Fahrwalze versehen, welche das Ein- und Ausschalten des festen Theils der Motoren besorgt. Die Fahrwalze ist durch zwei Kettentriebe mit den Anlassern für die rotirenden Theile der Motoren mechanisch gekuppelt. Dreht man die Fahrwalze vorwärts, so wird daher gleichzeitig Stufe für Stufe der Anlasser herausgenommen. Beim Fahren mit 750 V steht der Fahrshalter direkt mit den Oberleitungsstromabnehmern, beim Fahren mit 10000 V dagegen durch Vermittelung des Umformers von 10000 V auf 750 V und eines Hochspannungs-Hauptausschalters von 10000 V in Verbindung. Bei den Versuchen mit 2000 V können die Zuführungsleitungen zu dem primären Theil der Motoren von dem Fahrshalter abgeklemmt und das Einschalten für Vorwärtsfahrt durch den Hochspannungs-Hauptausschalter und für Rückwärtsfahrt durch einen zweiten ebensolchen Haupthilfsausschalter jedoch ohne Benutzung des Umformers besorgt werden. Die Kontakte des Fahrhalters sind dann stromlos, sodass derselbe nur zur mechanischen Bewegung der Anlass-Vorrichtung dient. Die Umkehrwalze des Fahrhalters ist so eingerichtet, dass bei Verwendung von Zusatzumformern (z. B. bei 10000 V) verschiedene Spannung abgenommen werden kann. Das hat den Zweck, beim Anfahren durch höhere Spannung (850 V) grössere Zugkräfte zu erzielen, als bei normaler Fahrt mit geringerer Spannung (650 V). Die Umkehrwalze enthält endlich noch Stellungen, bei welchen nur zwei Phasen eingeschaltet sind, die Fahr-geschwindigkeit also auf die Hälfte vermindert werden kann. Zum Anlassen und Regeln waren nur acht Stufen erforderlich. Die Anlasser waren vollständig von einander getrennt, um ein leichtes Abschalten jedes Motors zu ermöglichen und etwaige Ungleichheiten im Synchronismus der Motoren bei nicht übereinstimmenden Laufraddurchmessern zu vermeiden. Anlasser, Fahrshalter und Hochspannungsausschalter haben sämtlich geerdete Gestelle und sind ausserdem mit eisernen Schutzkästen umkleidet. Der Fahrshalter ist in der Mitte der Lokomotive an einer der beiden eisernen Stirnwände angeschraubt und hat ein starkes eisernes Gehäuse. Der Hochspannungsausschalter dagegen ist ausserhalb des Führerstandes an dem überdachten Raume für den einen Umformer und die Anlasser in dem entsprechenden Raume für den anderen Umformer untergebracht (siehe Fig. 10). Der Hochspannungsausschalter ist mit Röhrenfunkenlöschung, der Fahrshalter mit magnetischer Funkenlöschung und Abriss der einzelnen Phasen nach einander versehen. Die Verbindungsleitungen zwischen Fahrshalter, Anlasswiderständen und Motoren sind sämtlich auf das Sorgfältigste isolirt, sodass sie bis 4000 V aushalten und sind zur Sicherheit gegen mechanische Beschädigung und Durchscheuern noch mit kräftigen Gummischläuchen von 6 mm Wandstärke überzogen. Die Leitungen zwischen den Stromabnehmern und Umformern sind mit einem stärkeren Eisenrohre überzogen und vollkommen gegen Berührung, sowie äussere Einflüsse geschützt.

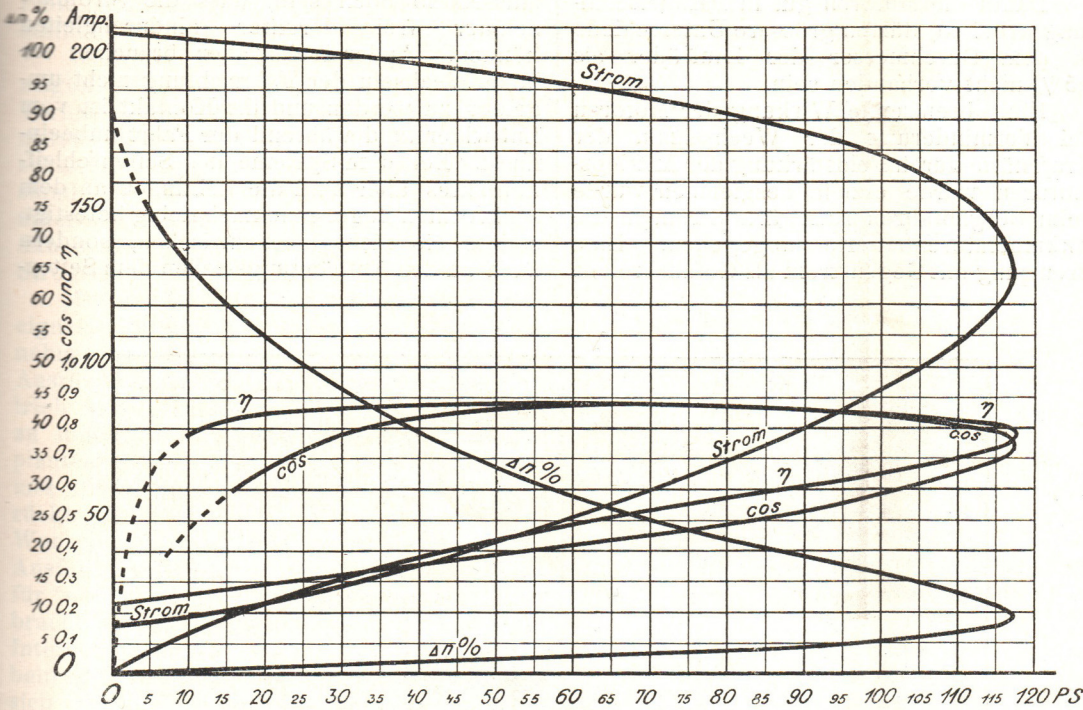


Fig. 9.

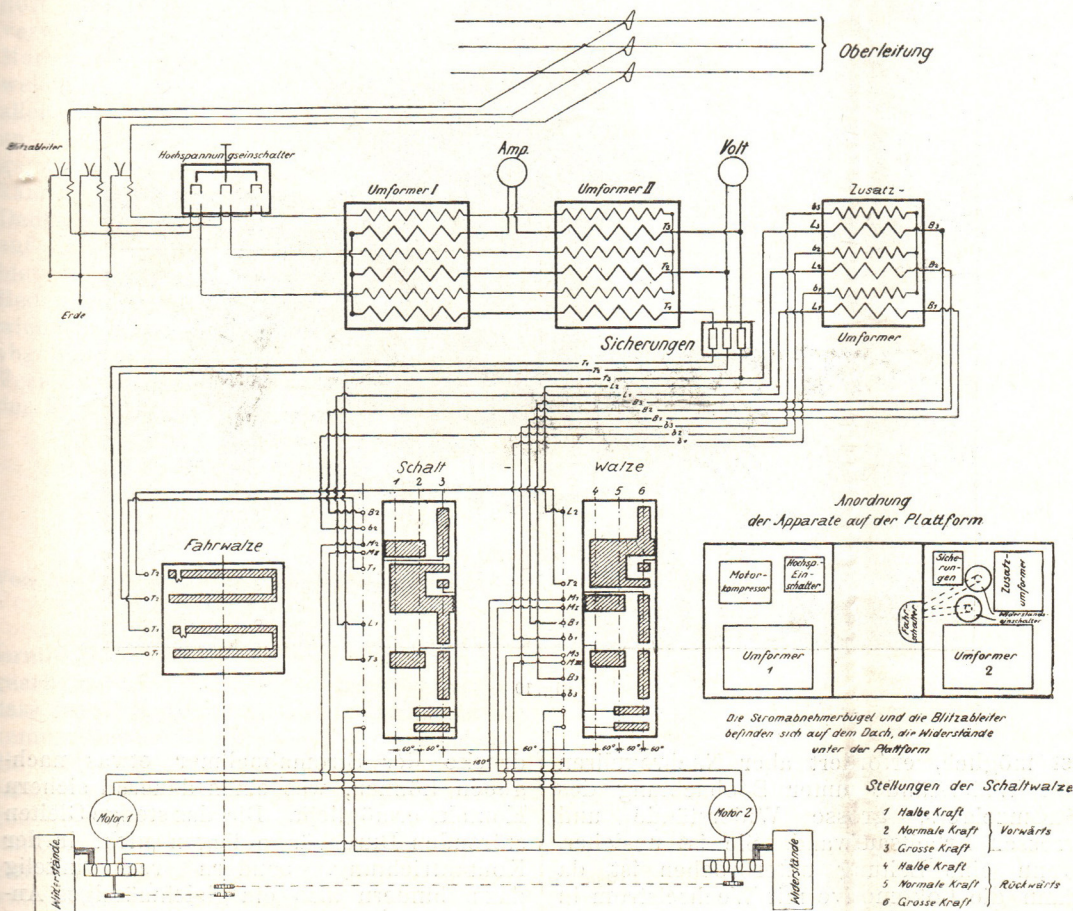


Fig. 11.

höchstes Moment erreicht hat und die Belastung wird noch grösser, so fällt er ab und bleibt endlich stehen. Das Moment ist in diesem Falle gering und ein Wiederanlaufen wird nur durch ein Rückwärtsgehen mit der Schaltkurbel und Einschalten des Widerstandes in den beweglichen Theil erreicht.

Das Motorgehäuse ist aus Gusseisen, das wirksame Magneteisen aus Blechen her-

digkeit und 1:3,15 für 60 km Geschwindigkeit i. d. Stunde.

Für das Fahren mit 750, 2000 und 10000 Volt wurden dieselben Motorgestelle und dieselben umlaufenden Theile verwendet, nur wurden für das Betreiben der Motoren unmittelbar mit 2000 V die festen Theile ausgewechselt. Wie aus dem Stromschema (Fig. 11) ersichtlich ist, wird für das Ein- und Ausschalten und Anlassen der Motoren

Die Widerstände sind gewöhnliche Packetwiderstände, unterhalb des Wagenfussbodens aufgehängt und durch Schutzkästen gegen Feuchtigkeit und Staub geschützt. Ihre Lage ist in der Nähe der Anlasser gewählt, damit die Verbindungsleitungen möglichst kurz werden. In dem Mittelspannungsstromkreise ist für jede der

drei Leitungen je eine Sicherung eingefügt; für den Hochspannungsstromkreis sind auf dem Fahrzeuge keine solchen angeordnet, da sich nur ein Fahrzeug auf der Strecke befindet und daher die Sicherungen in der Kraftstation genügen. Dagegen ist auch auf der Lokomotive für jede Phase je 1 Blitzableiter angeordnet. In je einem Kasten mit Glasscheiben ist ein Spannungszeiger und ein Stromzeiger derart angebracht, dass eine Berührung ausgeschlossen ist. Die Instrumente dienen hauptsächlich zur Messung der Stromstärken und Spannungen beim Anfahren.

Die Umformer, eingerichtet zur Uebertragung von 10 000 V auf 750 V, sind, wie schon erwähnt, in den überdachten Hohlräumen untergebracht, welche zwischen den Stirnwänden des Führerstandes und den Buffern gebildet sind. Sie sind ohne weiteres für den Führer nicht zugänglich. Soll an demselben eine Instandsetzung vorgenommen werden, so lässt sich mit Leichtigkeit nach Lösen einiger Schrauben das gewölbte Ueberdachungsblech anheben und jede Umformerspule ausbauen (Fig. 10). Der Nullpunkt des Umformers und sein ganzes Gestell ist geerdet.

Zur Erzeugung der Druckluft dient ein Motorkompressor.

Mit dem vorstehend beschriebenen Einrichtungen wurden gemäss dem Programm vom November 1897 die Vorversuche im Sommer und Herbst 1899 und die endgültigen Versuche im Frühjahr 1900 nach erfolgtem Umbau der Leitungen und der Lokomotive in erschöpfender Weise angestellt. Ausser in der Bestätigung der bereits bekannten Eigenschaften der Drehstrommotoren gipfeln bei den Versuchen die erzielten Erfolge in erster Linie darin, dass es gelungen ist, die zum Betriebe der Fahrzeuge erforderliche elektrische Energie bei einer Hochspannung von 2000 V bis 10 000 V von den Arbeitsleitungen abzunehmen und entweder unmittelbar oder umgewandelt den Motoren zuzuführen. Die getroffenen Einrichtungen erwiesen sich hierbei als unbedingt zuverlässig und dürfen als Richtschnur für die weitere konstruktive Thätigkeit angesehen werden. Das Endergebniss der angestellten Beobachtungen für das Betriebsmittel ist kurz folgendes:

Das Anfahren der Maschine auf 60 km Geschwindigkeit bei 30 t Last erfolgte in 60 Sekunden mit 700 V Spannung und 190 A Stromstärke. Die Anfahrzeit der Maschine allein bei einer Geschwindigkeit von 40 km/Std. betrug 14 Sekunden bei 640 V und 180 A bei einer Geschwindigkeit von 60 km/Std. 30 Sekunden. Bei Fahrt mit 30 t Zuglast und 60 km/Std. verbrauchte die Maschine 70 A, 700 V, $\cos \varphi = 0,8$. Die Anzugskraft ändert sich wie bekannt mit dem Quadrat der Spannung. Daher kann durch Steigerung der Spannung im Motorstromkreise von 670 V auf 950 V die Anzugskraft auf das Doppelte der Anzugskraft bei normaler Spannung gebracht werden. Durch Anwendung von Umformern (Betrieb mit 10 000 V) auf den Betriebsmitteln lässt sich dies durch Zuschalten von Wicklungsabtheilungen derselben ganz leicht erreichen. Es werden alsdann Drehmomente erzeugt, die bis zu zehnmal so hoch sind, als die bei normaler Fahrt zu entwickelnden. Die Geschwindigkeitsregulierung kann erreicht werden:

1. durch Einschalten von Widerstand in den sekundären Theil; dies bedingt Energieverlust,
2. durch Unterbrechung einer Leitung zum sekundären Theile,
3. durch Kaskadenschaltung.

Bei der zweiten Methode hat der Motor eine etwas kleinere maximale Zugkraft, die

Leistung wird entsprechend der halben Drehzahl kleiner; Wirkungsgrad und $\cos \varphi$ werden kleiner, aber jedenfalls ist die Methode bedeutend besser als die Widerstandsregulierung. Das gleiche gilt von der Kaskadenschaltung, bei welcher aber die Zugkraft auf die Hälfte und die Leistung auf den vierten Theil sinkt.

Damit die Motoren gut in Parallelschaltung arbeiten, dürfen grössere Unterschiede in dem Durchmesser der Laufräder als 0,5% nicht vorhanden sein.

Eine bremsende Wirkung der Motoren bei Verminderung der Wechselzahl der Kraftstätte durch Feldstärkung der Antriebsmotoren wurde erzielt, desgleichen wurde beim Bergabfahren rückwärts Strom in die Akkumulatorenbatterie abgegeben. Eine Bremsung mit Gegenstrom als Gefahrenbremse

das Bestreben hat, an den Höhepunkten der Leitungen abzuspringen, wodurch bei noch grösseren Geschwindigkeiten jedenfalls starke Funkenbildungen und unsicherer Kontakt auftreten würden. Ferner können die Stromabnehmer nicht in einfacher Weise von der Leitung abgezogen werden und Ueberführungen, Stationen u. s. w. müssen so hoch sein, dass die Stromabnehmer frei darunter hindurchgleiten können. Andererseits aber brauchen sie beim Wechseln der Fahrriichtung nicht umgelegt zu werden und ihr Kontakt ist vom Luftwiderstand während der Fahrt unbeeinflusst. Bei dem Systeme des Seitenschleifkontaktes aber sind die Leitungen an dem senkrechten Zugorgane nachgiebig befestigt, sodass sie nicht bloss zwischen, sondern auch an den Aufhängungsstellen dem Seiten-

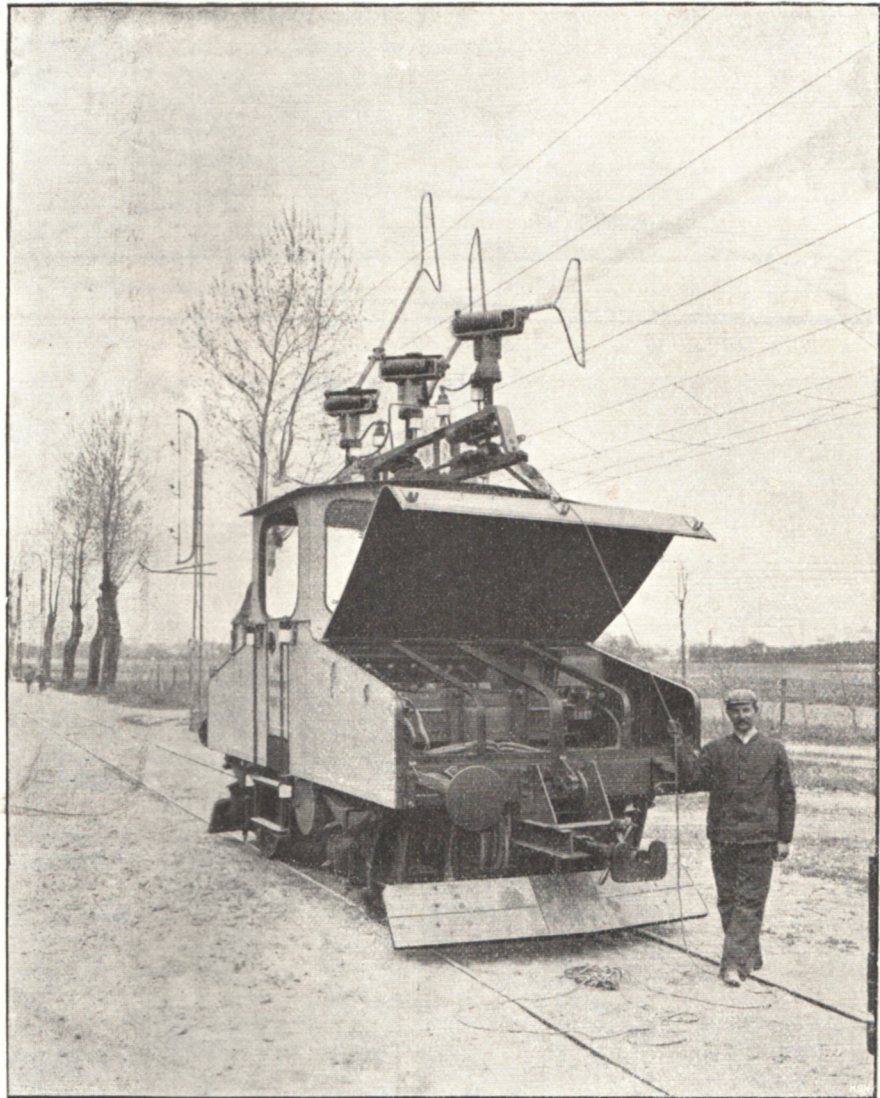


Fig. 10.

ist möglich, erfordert aber Nachregulieren der Widerstände unter Beobachtung des Stromzeigers, grosse Widerstände und grossen Arbeitsaufwand. Sie ist unsicher, wenn eine Leitung unterbrochen ist, da dann die Lokomotive mit Wechselstrom in gleicher Richtung weiter läuft.

Die getroffenen Sicherheitsmaassregeln, nämlich das absolute Erden sämtlicher Theile und Gehäuse von Apparaten, die der Berührung ausgesetzt sind, gewährt einen sicheren Schutz.

Die Versuche mit den beschriebenen Leitungsanordnungen bei Kontakt von oben und Seitenkontakt entschieden zu Gunsten des Letzteren. Es zeigte sich nämlich, dass bei Kontakt von oben die Anordnung von Stromabnehmern und Leitungen zwar für die Geschwindigkeiten bis 60 km noch verwendbar ist, aber doch der Kontaktbügel

drucke der Stromabnehmer etwas nachgeben können, was einen dauernd sichern Kontakt ermöglicht. Die das stetige Gleiten störenden Durchhänge liegen nicht in der Kontaktichtung, sondern rechtwinkelig dazu, hindern also ein gleichmässiges Anliegen der Stromabnehmer nicht und bewirken ausserdem eine gleichmässige Abnutzung der Schleifstücke. Die Stromabnehmer lassen sich mittels einer geeigneten Vorrichtung leicht von den Leitungen abziehen, daher hat sich auch diese Art der Stromabnahme sehr gut bei den Versuchen bewährt und scheint auch schon deshalb für Fernbahnbetrieb sehr geeignet zu sein, weil bei zweigleisiger Strecke nur Maste in der Mitte ohne lange Ausleger erforderlich sind. Es lassen sich ausserdem mit Leichtigkeit Kurzschlussvorrichtungen anbringen, welche beim Reissen von Leitungen diese

an Erde legen, bevor sie herabgefallen sind und dadurch Schutznetze überflüssig machen.

Sollten solche verlangt werden, so ist ihre Anbringung bei dem Schleifkontakte trotzdem leicht möglich. Endlich werden, was mit die Hauptsache ist, Weichen und Kurven infolge der senkrechten Lage der Leitungen übereinander ausserordentlich einfach.

Während der Fahrten mit 10000 V zeigten die Stromabnehmer ein besseres Verhalten als bei niedriger Spannung. Es traten zwar hin und wieder infolge des schlechten Oberbaues und des kurzen Radstandes der zweiachsigen Maschine Kontaktunterbrechungen auf, dieselben waren aber unbedeutend und unschädlich, da ja die Stromstärke sehr niedrig ist.

Mit der Lösung der Aufgabe, eine geeignete Leitungsanordnung und Stromabnehmereinrichtung sowie eine geeignete Ausrüstung der Betriebsmittel für den Betrieb von Fernbahnen mit Hochspannung zu finden, ist die Verwirklichung einer geplanten Ausführung bedeutend erleichtert und der Zeitpunkt einer solchen näher gerückt. Es soll daher an dieser Stelle der Wunsch ausgesprochen werden, dass der Ausfall vorstehend beschriebener Versuche, für welche nicht unbedeutende Opfer gebracht werden mussten, zur Hebung des Interesses für die Fernbahnen wesentlich beitragen möchte. Etwaige Zweifler werden sich der Ueberzeugung nicht mehr verschliessen dürfen, dass eine Ausführung elektrisch betriebener Fernbahnen möglich ist und nicht zu denjenigen Aufgaben gehört, die in das Land der Phantasie zu verweisen sind, und vor denen man den Muth verlieren müsste. Der Schwierigkeiten, welche auftreten können, wird man unter allen Umständen Herr werden, da man sich an der Hand der bisherigen Erfahrungen ganz vollkommen über dieselben klar sein kann. Vor Allem aber möge es uns Deutschen vergönnt sein, den ersten Schritt auf diesem neuen und hochwichtigen Gebiete der Industrie zu thun, und dabei alle Bedenken zu besiegen, damit uns nicht wiederum von anderen Nationen der Rang abgelaufen wird, wie dies leider mit der Verwerthung unserer guten Gedanken schon der Fall war.

Fernstromzeiger.

Von Dr. Carl Michalke und Dr. O. Martiensen.

In Anlagen, bei denen von zwei entfernten Stationen auf ein gemeinsames Netz gearbeitet wird, ist es oft wünschenswerth, dass jede Station den Konsum der anderen kennt. Bei Verwendung von Stromzeigern, die nicht direkt in die Leitung, sondern parallel zu Messwiderständen in den Leitungen geschaltet werden, können die Stromstärken in der entfernten Station derart gemessen werden, dass von dem Messwiderstand in der Leitung der einen Station zwei Messleitungen zur entfernten Station gezogen und dort das Messgeräth aufgestellt wird. Um gegenseitig die Stromstärken ablesen zu können, würden $2 \times 2 = 4$ Messleitungen erforderlich sein. Namentlich bei grösseren Entfernungen der Stationen ist diese Anordnung umständlich und kostspielig. Bei geeigneter Schaltung kann nun die Anzahl der Messleitungen auf eine einzige vermindert werden.

Es möge von zwei entfernten Stationen (Fig. 12) ein gemeinsames Netz gespeist werden. Der Strom der Station I werde durch den Stromzeiger S_1 , der Strom in der Station II

durch den Stromzeiger S_2 gemessen. Beide Stromzeiger sind parallel zu Messwiderständen geschaltet. Die beiden + Pole der Stationen seien durch eine Leitung l verbunden, in die in der Station I ein Stromzeiger s_1 , in der Station II ein Stromzeiger s_2 geschaltet ist.

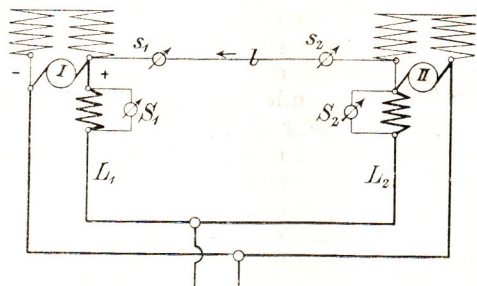


Fig. 12.

Ist nun

- J_1 der Strom der Station I in der Leitung L_1 ,
- J_2 der Strom der Station II in der Leitung L_2 ,
- i der Strom in der Leitung l ,
- R_1 der Widerstand der Leitung L_1 von + Pol zum Verzweigungspunkt der Leitung,
- R_2 der Widerstand der Leitung L_2 von + Pol zum Verzweigungspunkt der Leitung,
- w der Widerstand der Leitung l ,

so ist

$$i w = + (J_2 R_2 - J_1 R_1).$$

Es herrschen also bestimmte Beziehungen zwischen den drei Strömen i, J_1, J_2 .

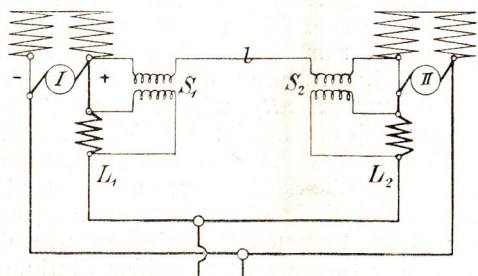


Fig. 13.

In Station I kann i und J_1 abgelesen und J_2 entweder rechnerisch oder aus Tabellen ermittelt werden.

Es ist

$$J_1 = + J_2 \frac{R_2}{R_1} - i \frac{w}{R_1},$$

$$J_2 = + J_1 \frac{R_1}{R_2} + i \frac{w}{R_2}.$$

Anstatt auf derartige umständliche Weise die Fernstromstärken zu ermitteln, können Differentialinstrumente mit 2 Wicklungen verwandt werden, von denen die eine Wicklung ein Feld proportional i , die andere ein Feld proportional J_2 oder J_1 giebt (vgl. Fig. 13). Die Amperewindungen der Instrumente kann man alsdann so wählen, dass die erzeugten Felder bei Stromdurchgang von i und J_2 oder J_1 sich wie

$$i \cdot \frac{w}{R_1} : J_2 \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

oder wie

$$\frac{i \cdot w}{R_2} : J_1 \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

verhalten. Es ist dann das resultierende Feld im Stromzeiger S_1 oder S_2 (Fig. 13) und

dementsprechend der Ausschlag des Instruments in Station II proportional J_1 , in Station I proportional J_2 .

Bei dieser Anordnung kann zwar mit einem Messgeräth sofort ermittelt werden, wie gross die Belastung der anderen Station ist, die Anordnung hat aber den Uebelstand,

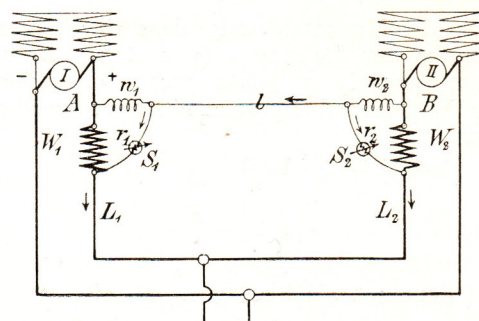


Fig. 14.

dass Specialausführungen für den Stromzeiger erforderlich sind. Um sich auch hiervon frei zu machen, kann eine in Fig. 14 dargestellte Schaltungsanordnung benutzt werden, bei der in den Stromzeigern S_1 und S_2 nicht die Felder summirt, sondern bei der an den Klemmen der Stromzeiger die Zweigspannungen der beiden Leitungen summirt werden, sodass an Stelle des aus zwei Feldern resultirenden Feldes eine aus zwei Spannungen resultirende Spannung tritt.

Es sei (Fig. 14):

- J_1 der Strom in der Leitung L_1 , deren Widerstand einschliesslich des Messwiderstandes R_1 ist,
- J_2 der Strom in der Leitung L_2 , deren Widerstand einschliesslich des Messwiderstandes R_2 ist,
- i der Strom in der Leitung l ,
- i_1 " " " dem Widerstand w_1 ,
- i_2 " " " " " " " " w_2 ,
- c_1 " " " " Stromzeiger S_1 ,
- c_2 " " " " " " " " S_2 .

Die Stromstärke in den Stromkreisen der Stromzeiger S_1 und S_2 sei verschwindend klein gegenüber der Stromstärke in den Leitungen L_1 und L_2 .

Ferner seien W_1 und W_2 die Messwiderstände in den Leitungen L_1 und L_2 und r_1, r_2 die Widerstände des Stromzeigers S_1 und S_2 .

Vorausgesetzt sei ferner, dass in den Leitungen L_1, L_2 und l kein nennenswerther Stromverlust etwa durch Isolationsfehler stattfindet und dass auf dieser Strecke keine Schalter sich befinden. Die Stromrichtung in Leitung l kann beliebig angenommen werden, die Stromrichtung in den Leitungen der Stromzeiger S_1 und S_2 ist durch die Bedingungen festgelegt, dass bei Strom in der Leitung L_2 , aber stromloser Leitung L_1 , die Stromrichtung im Stromzeiger S_1 bestimmt ist, umgekehrt die Stromrichtung im Stromzeiger S_2 bestimmt ist, wenn Leitung L_1 Strom führt, die Leitung L_2 aber stromlos ist.

In der Fig. 14 sind diese Stromrichtungen durch Pfeile angedeutet; in Richtung derselben sollen die Ströme positiv gerechnet werden.

Um zu erkennen, unter welchen Bedingungen bei dieser Schaltung die Stromzeiger jeder Station den Strom der anderen anzeigen, nehme man an, dass die Maschine der Station II ausgeschaltet sei; dann muss der Stromzeiger S_1 der Station I stromlos bleiben, gleichgültig, wie stark der Strom der Maschine I ist. Dies ist der Fall, wenn