

1924 G 279

# Das Rheinlandfabel

Das erste deutsche Überland-Fernsprechfabel

fertiggestellt November 1921



3AG79 RHE

Herausgegeben vom  
Reichspostministerium

Gedruckt in der Reichsdruckerei

P 5288

# Inhalt

Die Entstehungsgeschichte des Rheinlandkabels	Seite
Von P. Craemer, Geheimem Oberpostrat im Reichspostministerium..	7
Die theoretischen Grundlagen des Fernkabels	
Von Professor Dr. F. Breisig, Geheimem Postrat im Reichspostministerium .....	16
Die Herstellung des Rheinlandkabels mit seinen Pupinspulen	
Von Dr. A. Ebeling, Direktor der Siemens & Halske A. G. ....	25
Bilder von der Herstellung des Kabels Dortmund—Köln	
im Carlswerk der Felten & Guilleaume A. G., Köln-Mülheim .....	35
Die Auslegung des Rheinlandkabels	
Von Dipl.-Ing. R. Deibel, Siemens & Halske A. G., Direktor der Deutschen Fernkabel-Gesellschaft G. m. b. H. ....	37
Übersichtskarte des Rheinlandkabels	

# Die Entstehungsgeschichte des Rheinlandkabels

Von P. Craemer, Geh. Oberposttrat im Reichspostministerium



Reichspostministerium in Berlin.

Telegraphen- und Fernsprechk  
Linien bilden das Nerven-  
geflecht des neuzeitlichen Wirt-  
schaftskörpers. Der von ihnen  
vermittelte Schnellnachrichten-  
verkehr bedingt die Leistungs-  
fähigkeit der einzelnen Glieder  
und des Ganzen. Die Zuver-  
lässigkeit des Nachrichtenaus-  
tausches gewährleistet den Zu-  
sammenhang aller Teile, sein  
Versagen führt früher oder später

zur Verkümmern der Wirtschaft. Das wichtigere, aber auch das empfindlichere der beiden Verkehrsmittel ist der Fernsprecher.

Aufgabe der Telegraphenverwaltung ist es, die Leistungsfähigkeit des Liniennetzes mit allen Mitteln der Organisation und der Technik hochzuhalten. Bei oberirdischer Linienführung läßt sich dies nur unvollkommen erreichen. Je ausgedehnter und je dichter ein Liniennetz mit dem Anwachsen des Verkehrs wird, um so anfälliger ist es gegen Störungen. Der Betriebszustand schwankt mit der Wetterlage. Ganze Gebiete können durch Unwetter vom Verkehr abgeschnitten werden, ein für unser Wirtschaftsleben unerträglicher Zustand. Der Ausbau des oberirdischen Liniennetzes ist zudem begrenzt. Bei seiner Gebundenheit an die Verkehrswege werden die Erweiterungsmöglichkeiten bald erschöpft. Durch die Zunahme der oberirdischen Starkstromanlagen wird der Raum für die Schwachstromlinien immer mehr beengt.



Dom in Magdeburg.

Wenn trotzdem die oberirdische Führung namentlich für die Fernsprechlinien bis in die Neuzeit hinein die Regel bildete, so liegen die Gründe dafür auf wirtschaftlichem und auf technischem Gebiete. Es war für die Telegraphenverwaltungen leichter, von Jahr zu Jahr die Mittel für die Vervollständigung des oberirdischen Netzes flüssig zu machen, als die hohen einmaligen Ausgaben für ein Kabelnetz aufzubringen. Gleichwohl würde der Bau großer unterirdischer Linien schon vor dem Kriege weiter gefördert gewesen sein, wenn dem bis gegen Ende des ersten Jahrzehnts unseres Jahrhunderts nicht technische Schwierigkeiten entgegenstanden hätten. Erst damals war die

Technik imstande, unter Benutzung der Pupinschen Erfindung, über die an anderer Stelle dieser Schrift Näheres gesagt werden wird, Kabelanlagen für den Sprechverkehr auf weite Entfernungen herzustellen.

In diese nun 12 Jahre zurückliegende Zeit fallen auch die Anfänge des Rheinlandkabels. Mitte November 1909 hatte ein schweres Unwetter die oberirdischen Telegraphen- und Fernsprechlinien im Umkreise der Reichshauptstadt auf lange Strecken hin zerstört. Wochenlang waren große Verkehrsgebiete des Reiches vom Fernsprechverkehr mit Berlin und über Berlin hinaus so gut wie abgeschnitten. Besonders empfindlich war das rheinisch-westfälische Industriegebiet betroffen worden, weil die westlich von Berlin verlaufenden Linienzüge am meisten gelitten hatten. Dieses Ereignis gab der Reichstelegraphenverwaltung den unmittelbaren Anstoß zu dem Entschluß, ein Fernkabel von Berlin nach dem Westen des Reichs — später Rheinlandkabel genannt — zu bauen. Schon ehe diese bestimmte Aufgabe vorlag, war in den Laboratorien der Telegraphenverwaltung und der großen Kabelwerke an dem Problem der Herstellung von Fernkabelanlagen emsig gearbeitet worden. Von den Kabelwerken war es die Firma Siemens & Halske, die bahnbrechend voranging und alles daran setzte, getreu ihren Überlieferungen, auch auf diesem neuen Gebiet der Schwachstromtechnik rechtzeitig leistungsfähig zu machen. Zu diesem Zweck hatte sie sich beizeiten das Recht, die Pupinsche Erfindung zu benutzen, für Deutschland gesichert und war infolgedessen allein in der Lage, ein den Anforderungen des Weitverkehrs entsprechen-



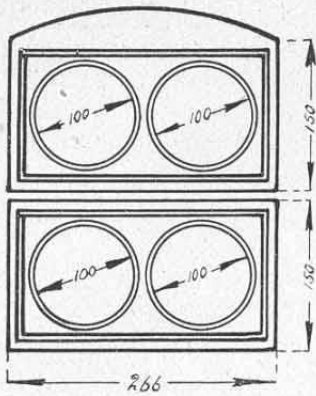
des Kabel mit allem Zubehör zu liefern. In engster Zusammenarbeit zwischen dem Telegraphenversuchsammt — jetzt Versuchsabteilung des Telegraphentechnischen Reichsamts — und der Firma Siemens & Halske wurde die Aufgabe der Konstruktion eines Fernkabels für den Verkehr von Berlin nach dem Westen, d. h. für eine Länge von mehr als 600 km, der Lösung entgegengeführt.



Rathaus in Hannover.

Ehe indes an die Ausführung gegangen werden konnte, war die Frage zu entscheiden, ob das Kabel zweckmäßig unmittelbar in die Erde zu betten oder ob ein besonderer Kanal zu seiner Aufnahme zu bauen sei. Die Telegraphenverwaltung entschied sich trotz der hohen Mehrkosten für einen Kanal, einmal weil im Kanal das Kabel für die bei der erstmaligen Ausführung notwendigen Versuche und Nacharbeiten überall leicht zugänglich war und fehlerhafte Teile ohne Schwierigkeit ausgewechselt werden konnten, dann aber auch, weil auf dieser wichtigen Strecke, wenn der erste Wurf gelang, schon bald mit einer Kabelvermehrung gerechnet werden mußte. Diese Erwartung hat auch nicht getäuscht, das zweite Kabel ist für die Strecke von Berlin bis Hannover inzwischen schon in Auftrag gegeben und soll im Jahre 1922 weiter fortgesetzt werden.

Der Kanal nimmt seinen Weg von Berlin über Potsdam, Brandenburg nach Magdeburg, von da über Helmstedt, Braunschweig nach Hannover, dann weiter über Minden, Bielefeld nach Dortmund. In Dortmund verzweigt er sich einerseits über Bochum, Essen, Mülheim (Ruhr) nach Düsseldorf mit einer Seitenlinie von Mülheim nach Duisburg, andererseits über Hagen, Schwelm nach Köln mit einer Seitenlinie von Schwelm nach Elberfeld-Barmen. So berührt er die Hauptverkehrsorte von Berlin in der Richtung nach dem Westen bis zu den Ufern des Rheins. Der Kanal besteht auf allen Strecken, soweit nicht örtliche Verhältnisse Abweichungen bedingen, aus zwei übereinander gelegten, zweizügigen Zementformstücken mit umstehendem Querschnitt. Jede der vier Öffnungen hat einen lichten Durchmesser von 100 mm. An allen Bruchpunkten und auf gerader Strecke in Abständen von 170 bis 200 m sind in den Kanal gemauerte Einsteigeschächte zur Unterbringung der Vöstellten und der Pupinspulenkasten eingebaut. Die Gesamtlänge des Kanals mit seinen Verzweigungen und Seitenlinien



beträgt 700 km, die Anzahl der Einsteigeschächte 6300, darunter 411 Spulenbrunnen. Mit dem Bau des Kanals wurde im Sommer 1912 von Berlin aus begonnen. Bei Kriegsanfang waren die Arbeiten bis jenseits Hannover vorgeschritten. Im Herbst 1916 waren sie trotz der durch den Krieg hervorgerufenen Unterbrechungen beendet. Der Bau der Kanäle war den einzelnen Oberpostdirektionen je für ihren Bezirk übertragen. Diese ließen die Arbeiten nach den allgemeinen Bauvorschriften der Reichs-Tele-

graphenverwaltung losweise durch Unternehmer ausführen. Die Ausführungsarbeiten boten mancherlei Schwierigkeiten, da man vielfach, z. B. in der Havelniederung von Potsdam bis in die Gegend von Magdeburg, sehr mit Grundwasser zu kämpfen hatte und auch anderwärts ungünstige Bodenverhältnisse der schnellen Durchführung der Arbeiten immer wieder Hindernisse in den Weg legten. Die Herstellung derartig ausgedehnter Überlandkanäle bildete eine ganz neuartige Aufgabe, bei der die Erfahrungen erst im Laufe der Bauausführung gesammelt werden mußten. Besondere Maßnahmen waren und sind noch erforderlich, um den Kanal zu entwässern. Bei der Wasserdurchlässigkeit der Deckelfugen und teilweise auch des Mauerwerks der Einsteigeschächte sowie des Kanals selbst — bei diesem hauptsächlich infolge unvermeidlicher Undichtigkeiten an den Stößen — ist der Wasserzudrang an manchen Stellen sehr stark. Der Kanal wirkt streckenweise geradezu als Drainage für den Straßenkörper. Das Wasser steigt und fällt mit der Niederschlagsmenge auf dem umgebenden Gelände und mit dem Grundwasserstand. Wenn nun auch die bleiumpresten Kabel vom Wasser, es sei denn, daß es schädliche Beimengungen enthält, nicht angegriffen werden, so sind doch die Wasseransammlungen als ein großer Übelstand anzusehen. Sie erschweren alle Arbeiten bei der Unterhaltung und Neulegung von Kabeln, sie beeinträchtigen die Haltbarkeit des Brunnenmauerwerks und des Kanalgefüges, sie begünstigen das Verrosten der Eisenteile in den Brunnen, führen zur Verschammung, ja zur vollständigen Verstopfung der Kanalzüge und begünstigen unter der Wirkung elektrischer Zerrströme in hohem Maße die Korrosion der Kabelbleimäntel. Namentlich die Korrosionsgefahr zwingt dazu, alle Maßnahmen zu treffen, um des Wassers Herr zu werden. Diese Maßnahmen bestehen beim Bau in einer zweckmäßigen Wahl des Kanalweges auf den einzelnen Teilstrecken, dann in der Verwendung von Kiesbettungen und Drainrohren unterhalb des Kanals, um das Wasser abzuleiten, ferner in einer möglichst vollständigen Fugendichtung und in wasserdichtem Verputz besonders gefährdeter

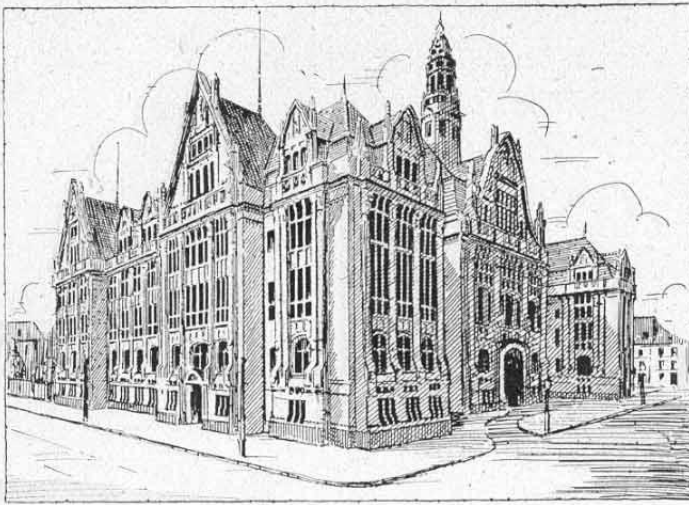
Brunnen. Aus dem fertigen Kanal wird das trotz aller Vorbeugungsmaßnahmen doch noch eindringende Wasser durch Abfluß- und Sickerrohre von den Brunnen aus entfernt. Wo dies nach den Bodenverhältnissen nicht möglich ist, müssen die Brunnen von Zeit zu Zeit ausgepumpt werden.

Während des Kanalbaues auf der Strecke Berlin—Magdeburg wurden die umfangreichen Vorarbeiten für die Anfertigung des Fernkabels nebst Pupinausrüstung von der Firma Siemens & Halske zum Abschluß gebracht, so daß Ende 1912 die Auslegung des Kabels beginnen konnte. Die Anzahl der im Kabel unterzubringenden Drähte war auf 52 Doppelleitungen festgesetzt, davon 24 mit 3 mm und 28 mit 2 mm Durchmesser. Aus den 52 Doppelleitungen lassen sich unter Ausnutzung der Viererschaltung 78 Stromkreise bilden. Die 3 mm starken Adern ermöglichen eine Sprechweite von etwa 800 km, d. h. eine Verständigung nicht nur zwischen Berlin und den Endpunkten am Rhein (rd. 600 km), sondern beiderseits noch um je 100 km und mehr darüber hinaus, sei es daß oberirdische Zubringerleitungen oder solche in Kabeln an den Endpunkten anzuschalten sind. Die 2 mm-Adern reichen für eine Verständigung auf etwa 450 km, also beispielsweise von Berlin bis Bielefeld oder von Köln bis Magdeburg. Die Anzahl der in dem Kabel unterzubringenden Adern findet ihre Grenze in der geforderten elektrischen Leistung, die den Drahtdurchmesser und den gegenseitigen Abstand der Drähte bestimmt, und in dem Außendurchmesser des Kabels, der höchstens etwa 80 mm betragen darf, wenn ein glattes Einziehen in die 100 mm weiten Kanalrohre möglich sein soll. Auch das im Hinblick auf die Beförderungsmöglichkeiten auf Landstraßen begrenzte Gewicht der einzelnen Kabellängen muß bei Bemessung der Aderszahl und des Durchmessers berücksichtigt werden. Die Auslegungsarbeiten lagen in der Hand der Firma Siemens & Halske. Sie waren im August 1913 bis Magdeburg (150 km) und im Spätsommer 1914, bald nach Kriegsbeginn, bis Hannover (weitere 150 km) vorgeschritten. Dann verursachte der Krieg eine jahrelange Unterbrechung, weil es trotz der Dringlichkeit der Weiterführung des Kabels nicht möglich war, die dazu nötigen Rohstoffe und Arbeitskräfte verfügbar zu machen. Gleich nach Friedens-



Rathaus in Dortmund.





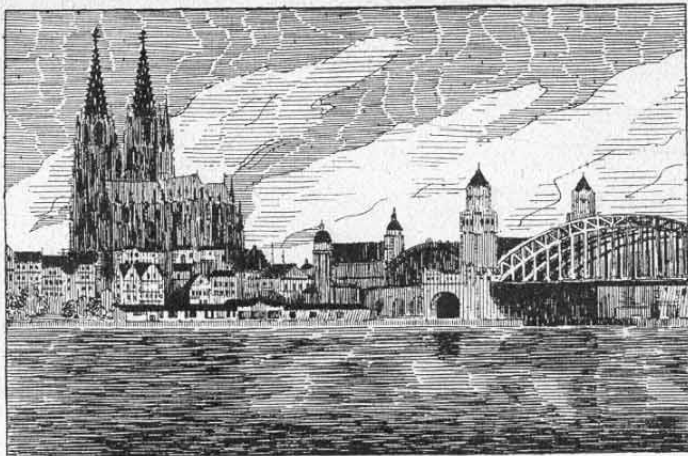
Stahlfabrik in Düsseldorf.

schluß wurde die Kabelanfertigung im Werk wieder aufgenommen und so gefördert, daß die Auslegungsarbeiten auf der nächsten Strecke, von Hannover bis Dortmund (213 km), im April 1920 in Angriff genommen werden konnten. Die Zwischenzeit war insofern nicht ungenützt vorübergegangen, als es an der Hand der bei dem Kabel

Berlin-Hannover gesammelten Erfahrungen gelang, in dem gegebenen Kabelquerschnitt eine erheblich größere Anzahl von Adern unterzubringen als bisher. Das Kabel Hannover-Dortmund besteht bei 80 mm Außendurchmesser aus 71 Doppeladern mit 98 Stromkreisen. Von den Adern ist ein Teil statt aus Kupfer aus Aluminium hergestellt, um mit diesem im Inland erzeugten Rohstoff Erfahrungen zu sammeln. Dabei muß allerdings bemerkt werden, daß die Reichweite bei Aluminiumadern gleichen Querschnittes wesentlich geringer ist als bei Kupferadern. Die Arbeiten an der Linie Hannover-Dortmund gingen nur langsam vorwärts, weil alle Lieferungen und Leistungen im Werk und draußen auf der Strecke immer wieder durch Ausstände, Unruhen und sonstige Schwierigkeiten verzögert wurden. Als im März 1921 Dortmund mit dem Kabel erreicht war, dauerte es aus den gleichen Gründen noch über ein halbes Jahr, bis der Einbau der Spulen und die Schaltarbeiten beendet waren, so daß diese Strecke erst Ende Oktober dem Betrieb übergeben werden konnte.

Noch vor Fertigstellung der Strecke Hannover-Dortmund waren die Arbeiten an den beiden anschließenden Linien nach Düsseldorf (76 km) und nach Köln (89 km) aufgenommen worden. Für diese beiden Endstrecken wurden die von Berlin bis Dortmund durchgeführten Stammadern von 3 mm und 2 mm Durchmesser nur etwa je zur Hälfte gebraucht. Infolgedessen ergab sich die Möglichkeit, in den Kabeln Dortmund-Düsseldorf und Dortmund-Köln neben diesen starken Adern noch eine größere Anzahl schwächerer Adern von 1,4 mm und 0,9 mm Durchmesser unterzubringen, so daß im ganzen in jedem der beiden Kabel 145 Doppeladern mit 214 Stromkreisen Platz fanden. Die schwächeren Adern werden zunächst dazu benutzt, dem

dringenden Bedürfnis nach einer Vermehrung der Verbindungen für den Nahverkehr zwischen den Hauptorten des rheinisch-westfälischen Wirtschaftsgebietes zu genügen. Sie lassen sich aber später auch für Verbindungen des Weitverkehrs verwenden, weil es der Technik inzwischen gelungen ist, durch



Dom und Rheinbrücke in Köln.

Einschaltung von Fernsprechverstärkern in bestimmten Abständen die Reichweite der schwachen Adern entsprechend zu steigern. Aus diesem Grunde werden in neuester Zeit Fernkabel nur noch mit Adern von 1,4 mm Durchmesser für große Reichweiten und von 0,9 mm Durchmesser für mittlere Reichweiten hergestellt. Diese letzten Fortschritte haben es auch ermöglicht, für die von den Strecken Dortmund-Düsseldorf und Dortmund-Köln abzweigenden Linien nach Duisburg und Elberfeld auf die starken Adern ganz zu verzichten und nur solche von 1,4 mm und 0,9 mm Stärke vorzusehen. Die Steigerung der Ausnutzung des Kabelquerschnittes (Berlin-Hannover = 52 Doppeladern mit 78 Stromkreisen, Hannover-Dortmund = 71 Doppeladern mit 98 Stromkreisen, Dortmund-Düsseldorf und Dortmund-Köln = 145 Doppeladern mit 214 Stromkreisen) gibt ein anschauliches Bild von den im Laufe der Bauausführung erzielten technisch-wirtschaftlichen Fortschritten. Diese bilden in gewisser Hinsicht einen Ausgleich für die Verzögerungen bei Ausführung des ganzen Werkes, indem die auf der Mittelstrecke und namentlich die auf den Endstrecken verwendeten Kabel infolge der vermehrten Aderzahl dem Verkehrsbedürfnis viel besser genügen, als wenn bei beschleunigter Ausführung ein Kabel der erstgewählten Bauart mit nur 52 Doppeladern für die ganze Strecke hätte verwendet werden müssen.

Das Gesamtgewicht des Rheinlandkabels beträgt 12 000 t. Davon entfallen 3600 t auf das Kupfer für die Leitungsdrähte, 900 t auf das Papier usw. für die Isolierhülle der Drähte und 7500 t auf das Blei für den Kabelmantel. Dazu kommen ferner noch 650 t für die Pupinspulen nebst Schutzkasten. Die gesamte Drahtlänge der Leitungen im Rheinlandkabel beläuft sich auf nicht weniger als 117 000 km.

Die Lieferung und Auslegung des Kabels mit allem Zubehör auf der Strecke Hannover-



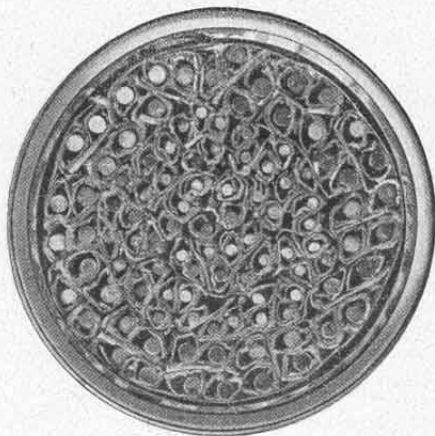
Dortmund-Düsseldorf nebst Abzweigung von Mülheim nach Duisburg war wieder der Firma Siemens & Halske übertragen worden. Für die Strecke Dortmund-Köln nebst Abzweigung von Schwelm nach Elberfeld lag die Lieferung des Kabels der Firma Felten & Guilleaume in Köln-Mülheim, die der Spulenausrüstung der Firma Siemens & Halske ob. Die Auslegungsarbeiten auf dieser Teilstrecke besorgte die Deutsche Fernkabelgesellschaft m. b. H. Diese Gesellschaft ist neuerdings unter Zusammenschluß der führenden Kabelwerke gegründet worden, um den Bau großer Fernkabelanlagen durchzuführen. Die Restarbeiten auf den Strecken Dortmund-Düsseldorf und Dortmund-Köln waren Mitte November beendet. Von diesem Zeitpunkt ab steht dem Verkehr eine zusammenhängende Fernkabelverbindung von Berlin über Magdeburg, Braunschweig, Hannover, Minden, Bielefeld nach den Hauptorten des rheinisch-westfälischen Wirtschaftsgebietes: Dortmund, Bochum, Essen, Mülheim (Ruhr), Duisburg, Düsseldorf, Hagen, Elberfeld-Barmen, Köln zur Verfügung. Die Verbindung kommt aber nicht nur den aufgezählten, unmittelbar in das Kabel eingeschalteten Städten zugute, sondern das ganze von dem Kabel berührte Gebiet hat seinen Teil daran, indem allen andern verkehrswichtigen Orten der Zugang zu dem Kabel auf dem Wege über diese Schaltstellen eröffnet wird. Im Bereich der Endstrecken Dortmund-Düsseldorf und Dortmund-Köln nebst Zweiglinien wird durch die Inbetriebnahme des Kabels auch die Einrichtung des Schnellverkehrs ermöglicht. Hierbei werden die in dichter Aufeinanderfolge herzustellenden Gesprächsverbindungen auf kurze Entfernungen, also beispielsweise zwischen Düsseldorf und Essen, ohne Inanspruchnahme der Meldeämter unmittelbar an den Verbindungsschranken ausgeführt und kommen auf diese Weise schnell zustande. Eine solche Verkehrsbeschleunigung ließ sich erst bewerkstelligen, nachdem durch Auslegung der vieladrigen Fernkabel die dazu nötigen zahlreichen Leitungsverbindungen geschaffen waren.

Mit dem Rheinlandkabel, das trotz aller Hindernisse nun glücklich fertiggestellt ist, hat die deutsche Technik ein Werk vollendet, auf das sie mit Recht stolz sein kann. Wieder einmal haben in den jüngst vergangenen Wochen schwere Stürme den oberirdischen Leitungsanlagen im Westen des Reichs großen Schaden zugefügt. Wieder wie schon so oft ertönten die bitteren Klagen über die Unterbrechungen des Telegraphen- und Fernsprechverkehrs. Dank dem Rheinlandkabel dürfen wir hoffen, daß derartige Unterbrechungen nicht mehr vorkommen werden. Künftig wird das Kabel, wenn es auch wegen der beschränkten Leitungszahl den ganzen jetzt auf den oberirdischen Drähten abgewickelten Verkehr leider nicht aufnehmen kann, für den wichtigsten Teil der

Verkehrsbeziehungen den sicheren Weg bilden, auf dem der Nachrichtenaustausch ungestört durch Sturm und Unwetter vonstatten gehen kann.

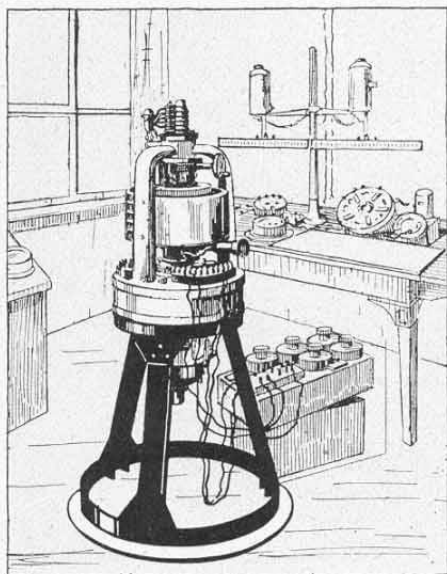
Rheinland und Westfalen sind mit dem übrigen Reich durch ein neues festes Band verknüpft. Möge es dazu dienen, den geistigen und wirtschaftlichen Zusammenhang mit dem Reich immer enger zu gestalten.

Allen aber, die in tätigem Eifer mit Kopf und Hand bei dem Schmieden dieses Bandes geholfen haben, den Angehörigen der Telegraphenverwaltung, den Angestellten und Arbeitern der Kabelwerke und der Fernkabelgesellschaft, den Wegebauverwaltungen in Land und Stadt, durch deren Gebiet das Kabel gelegt worden ist, sei der Dank des Vaterlandes gewiß.



# Die theoretischen Grundlagen des Fernkabels

Von Prof. Dr. F. Breisig, Geheimem Postrat im Reichspostministerium



Franke'sche Maschine  
für Messungen an Fernsprechkreisen.

In der Entwicklungszeit des Fernsprechens  
auf große Entfernungen ging man Schritt  
für Schritt auf Grund der Erfahrungen vor.  
Man hatte zwar eine Formel zur Berechnung  
der erreichbaren Sprechweite, aber diese war,  
wie man später erkannte, insofern falsch, als die  
wirkliche Reichweite stets günstiger war als die  
errechnete, so daß also die Leitungen eigentlich zu  
teuer gebaut wurden.

Man begann gleichzeitig, eine genauere Theorie  
der Vorgänge zu schaffen, und diese war etwa  
mit dem Jahre 1900 soweit gefördert, daß da-  
nach eine Fernsprechleitung für einen gegebenen  
Zweck sowohl ausreichend gut als auch sparsam  
gebaut werden konnte.

Die Grundlagen dieser Theorie sollen im folgenden dargestellt werden.

Das Fernsprechen ist eine Art der elektrischen Kraftübertragung. Von den Starkstrom-Kraftübertragungen unterscheidet es sich dadurch, daß die zu übertragenden Kräfte außerordentlich klein sind. Es ist auch nicht der Zweck der Anlage, große Kraftleistungen nach dem fernen Ende zu übertragen; nicht die Menge, sondern die Güte ist die Hauptsache. Die außerordentlich schwachen Ströme müssen in solcher Form ankommen, daß der Hörende die Sprache des am andern Ende Sprechenden möglichst leicht und vollkommen versteht.

Eine Fernsprechverbindung setzt sich, wenn wir von den Umschalteneinrichtungen absehen, die zum Anschalten beliebiger Teilnehmer dienen, aus drei für den elektrischen Vorgang wichtigen Teilen zusammen: dem Sender, der Leitung und dem Empfänger. Als Sender dient ein Mikrophon, nämlich eine Vorrichtung, in welcher zwischen einem durch die

Schallwellen des Sprechenden bewegten und einem festen Kohlenstück ein beide lose verbindendes liegt. Der Übergangswiderstand über dieses Stück ändert sich, wenn gegen das Mikrophon gesprochen wird, und es entstehen dadurch Stromänderungen, die zeitlich wie die Schalländerungen verlaufen; diese Stromänderungen werden vor dem Eintritt in die Leitung in Wechselströme zeitlich ähnlicher Form umgesetzt.

Im Fernhörer auf der Empfangsseite erzeugen diese Ströme dadurch Schallwellen, daß sie mittels eines Elektromagnets, den sie abwechselnd stärken und schwächen, eine Schallplatte hin und her bewegen, welche die Luft in Schwingungen versetzt.

Damit die so erzeugten Schallwellen denen des Sprechenden möglichst ähnlich sind, haben zunächst die Sende- und Empfangsapparate gewisse Anforderungen zu erfüllen, von denen hier nicht näher gesprochen werden soll.

Wir haben uns zu fragen, welche Anforderungen man an die Leitung zwischen Sender und Empfänger zu stellen hat, damit sie die charakteristischen Eigenschaften der ihr zugeführten Ströme bei der Abgabe an den Empfänger möglichst wenig ändert. Es kommt dabei auf drei Merkmale an: die Sprache muß eine bestimmte Lautstärke haben, damit sie von dem Hörenden ohne übermäßige Anstrengung aufgenommen werden kann; die Sprache muß ferner im Klang möglichst unverändert bleiben; und endlich dürfen andere Ströme, als die von dem bestimmten Sender ausgehenden, nicht in das Empfangstelephon gelangen. Wir bezeichnen die drei Forderungen als die nach genügender Lautstärke, unverzerrtem Klang und Störungsfreiheit.

Die Lautstärke im Empfänger wird zunächst herabgesetzt, wenn der elektrische Widerstand der Leitung hoch ist. Wenn man versuchsweise zwischen zwei Apparaten eine Leitung aus künstlichen Widerständen einschaltet, so ergibt der Sprechversuch, daß man gerade noch das Gesprochene verstehen kann, wenn ihr elektrischer Widerstand nicht mehr als 100 000 Ohm beträgt. Indessen gilt dies nicht auch für wirkliche Leitungen. Über eine 3 mm starke Doppelleitung, wie sie das Fernkabel Berlin-Rheinland als stärkste Leitungen enthält, mit einem elektrischen Widerstand von rund 5 Ohm für 1 km, sollte man, wenn nur der Widerstand zu berücksichtigen wäre, bis auf 20 000 km sprechen können. Man würde dagegen finden, daß dieselbe Lautstärke wie über 100 000 Ohm in künstlichen Widerständen, im Kabel allein schon bei 225 km Länge, also bei 1125 Ohm elektrischem Widerstand erreicht wäre. Durch die in diese Leitungen eingeschalteten Pupinspulen, von denen noch die Rede sein wird, ist bei der erwähnten Lautstärke, die an der untersten Grenze der Möglichkeit liegt, ohne Anschlußleitungen eine Übertragung bis auf 1300 km möglich. Das entspricht allerdings nur einem Leitungswiderstand von rund 6500 Ohm statt der 100 000 Ohm, die bei reinen Widerständen zulässig wären.



Die Ursache dieser Unterschiede liegt in einer Eigenschaft der Leiter, die man elektrische Kapazität nennt, und die sich zeigt, wenn die Leiter eine Oberfläche von erheblicher Größe haben. Die beiden Drähte einer Doppelleitung aus 3 mm starken Leitern, die sich im Kabel an der engsten Stelle bis auf etwa 1 mm nähern, bilden zwei einander gegenüberstehende Metallflächen, deren jede, selbst in der Projektion auf die Mittelebene, für jedes km Kabellänge einen Flächeninhalt von  $3 \text{ m}^2$  hat. Eine solche Anordnung, bei der zwei leitende Flächen durch ein Isoliermittel getrennt einander gegenüber stehen, nennt man je nach der Ausführungsform eine Franklinsche Tafel oder eine Kleistsche Flasche. Es ist bekannt, daß sie Elektrizität ansammelt, wenn man die beiden Flächen auf verschiedene Spannungen bringt. Daher heißen solche Apparate allgemein Kondensatoren. Die beim Fernsprechen verwendeten Spannungen sind allerdings nur sehr klein im Vergleich zu den bei Versuchen mit den genannten Apparaten verwendeten, daher auch die angesammelten Elektrizitätsmengen. Es kommt aber nicht auf die tatsächliche Größe, sondern auf die Verhältniswerte an. Daß die Flächen, statt wie bei Franklinschen Tafeln etwa quadratisch zu sein, lange schmale Streifen sind, macht die Sache nicht besser, sondern, wie wir sehen werden, schlimmer.

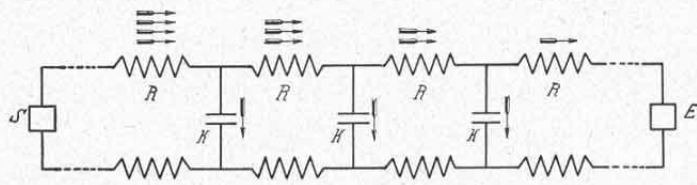


Abb. 1. Leitung mit Widerstand und Kapazität.

Diese elektrische Kapazität von Leitungen mit großer Oberfläche ist in Verbindung mit dem Leitungswiderstand das größte Hemmnis der Ferntelephonie. Um zu sehen,

wie man diese Wirkungen zu bekämpfen und zu vermindern hat, wollen wir die Fortpflanzungsvorgänge unter der Annahme von Leitern mit Widerstand und Kapazität etwas näher betrachten. Man vereinfacht die Vorstellung, wenn man sich statt einer Leitung, welche an jeder Stelle Widerstand und Kapazität vereinigt, eine Anordnung nach Abbildung 1 denkt, in der die Kapazität für ein Stück Leitung, sagen wir je 1 oder 2 km, zu einem Kondensator K zusammengefaßt ist, während die aufeinanderfolgenden Kondensatoren durch Widerstände R ohne merkliche Kapazität verbunden sind. Eine solche Anordnung in praktischer Ausführung nennt man eine künstliche Leitung. Der Sender S befindet sich an der linken, der Empfänger E an der rechten Seite der Anordnung. Wenn vom Sender ein Strom zum Empfänger fließt, so zweigt an jedem Punkte, wo ein Kondensator liegt, ein Teil des Stromes ab (durch Pfeile bezeichnet), zum Empfänger kommt also nur ein Bruchteil des vom Sender ausgehenden Stromes. Nur wenn der Strom solange in derselben Richtung fließt, bis alle Kondensatoren zu



einer der Spannung des Senders entsprechenden Höhe geladen sind, was aber bei Fernsprechströmen niemals der Fall ist, würde der volle Strom auch durch den Empfänger gehen. Bei den wechselnden Fernsprechströmen wird ein großer, in der Regel sogar weitaus der größte Teil des Stromes schon vor dem Empfänger von der Kapazität der Leitung aufgesogen, und nach dem Verhältnis des Endstromes zur Spannung des Senders hat die Leitung, wie die angeführten Zahlenbeispiele zeigen, scheinbar einen viel höheren Widerstand und daher eine geringere Reichweite, als man nach ihrem reinen Leitungswiderstand annehmen sollte.

Die Ladung und Entladung der Kondensatoren bei den besprochenen Vorgängen sind an sich nicht mit besonders großen Verlusten verknüpft; das isolierende Mittel des Kondensators wird dabei in einen Spannungszustand versetzt, in dem es eine gewisse Energie aufnimmt. Diese kann aber bei der Entspannung, also der Entladung, fast ganz zurückgewonnen werden. Die Vorgänge ähneln denen beim Aufziehen einer Uhrfeder, die auch die ihr zugeführte Energie beim Entspannen wieder abgibt. Nur wenn das Federmaterial nicht vollkommen elastisch ist, geht ein Teil der Energie beim Entspannen verloren. GleichermäÙe könnte auch die Kapazität der Leitungen fast ohne Verlust geladen und entladen werden, wenn nicht bei den gewöhnlichen Leitungen, wie nach Bild 1, die Ladeströme und Entladeströme für jeden einzelnen Kondensator den Weg vom Sender bis zu der Abzweigstelle und zurück durchlaufen müÙten.

Einen Strom durch einen Widerstand zu treiben bedeutet aber einen Aufwand von Arbeit, die in Wärme umgesetzt wird. Aus dem täglichen Leben ist die nützliche Anwendung dieses Vorganges in den Glühlampen bekannt; im Falle der telephonischen Übertragung wird diese Wärme, die aus der an sich geringen Energie der dem Mikrophon zugeführten Schallschwingungen bestritten werden muß, nicht nur ohne Nutzen vertan, sondern sie wirkt schädlich, indem sie dem Sender nutzlose Leistungen aufbürdet, ihn also in der Nutzleistung schwächt.

Ein möglicher Weg zur Vergrößerung der Reichweite von Fernsprechkabeln wäre, daß man Leiter geringeren Widerstandes, also stärkere Leiter verwendete. So ist man auch anfangs vorgegangen. Es ergibt sich aber aus Theorie und Praxis, daß man zur Verdoppelung der Reichweite einen Draht von vierfachem Querschnitt anzuwenden hätte, wenn man im übrigen den Raum für jeden Leiter im Kabel so vergrößerte, daß trotz der Vergrößerung der Leiter-Oberfläche die Kapazität den gleichen Wert behält. Dadurch werden aber nicht nur die Kosten des Kupfers für die Drähte selbst vervierfacht, sondern auch die anteiligen Kosten der Kabelschuköhülle, da in dem gegebenen Raum nur der vierte Teil der Aderpaare unterzubringen ist.

Nach den für eine gute Verständigung gestellten Ansprüchen würden die in Stadtnetzen gebräuchlichen Fernsprechkabel mit 0,8 mm starken Drähten für Fernverbindungen bis zu 36 km ausreichen. Um die zehnfache Entfernung zu überbrücken, müßte man Kabel mit 8 mm starken Drähten verwenden. Man sieht, daß dieser Weg praktisch nicht gangbar ist. In der Tat konnte der Gedanke, Kabel auf größere Entfernungen zu legen, erst ausgeführt werden, nachdem durch die Erfindung Pupins die Möglichkeit gegeben war, die schädlichen Wirkungen der Kapazität auf andere Art als durch Verstärkung der Leiter zu bekämpfen.

Es wurde vorhin gezeigt, daß die Verluste durch die Kapazität hauptsächlich daher rühren, daß die Ladungsströme bei jedem Wechsel den ganzen Weg vom Sender bis zur Abzweigungsstelle durchlaufen müssen. Offenbar wäre es vorteilhaft, wenn man diesen Weg abkürzen könnte, indem die zur Aufladung der Leitung erforderliche Energie in der Zwischenzeit zwischen zwei Ladungen entgegengesetzten Vorzeichens in der Nähe der zu ladenden Leitungsteile aufgespeichert und nachher wieder verwendbar gemacht würde.

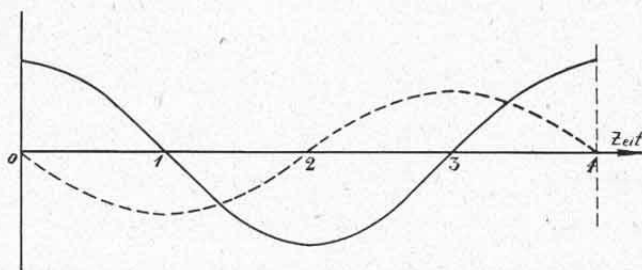


Abb. 2. Ladungsvorgänge am Kondensator.

Dies ist möglich infolge einer bestimmten zeitlichen Beziehung zwischen dem Ladungsstrom eines Kondensators und der im Kondensator aufgespeicherten Ladung. Wir wollen den Ladungsstrom des Kondensators als positiv bezeichnen, solange positive Elektrizität in

den Kondensator eintritt, als negativ, wenn positive Elektrizität austritt. Dann ist der Strom bei wachsender Spannung positiv, bei abnehmender negativ. Wenn die Spannung den höchsten positiven Wert erreicht hat, die Ladung also vollendet ist, so ist der bis dahin positive Strom auf den Wert Null gesunken und er wird bei sinkender Spannung negativ werden. Er wechselt wieder von negativen zu positiven Werten, wenn die Spannung und mit ihr die Ladung den größten negativen Wert erreicht haben.

Im Bilde 2 stellt die ausgezogene Wellenlinie dar, wie sich die Spannung und mit ihr die Ladung mit der Zeit ändern, indem sie bei 0 von einem positiven Wert ausgehen, im Zeitpunkt 1 den Wert Null, im Zeitpunkt 2 den negativen Höchstwert erreichen usw. Für die Stromstärke steht nach dem Besprochenen fest, daß sie bei 0 und 2 den Wert Null und dazwischen negative Werte hat, dagegen von 2 bis 4 wegen des Anwachsens der Spannung positive Werte. Daraus ergibt sich, daß die Stromstärke den durch die punktierte Wellenlinie angedeuteten Verlauf nimmt.

Ladung und Ladungsstrom eines Kondensators sind also zeitlich so gegeneinander versetzt, daß die Höchstwerte der einen Größe mit den Nullwerten der anderen zusammen treffen. Dieser Umstand macht es möglich, die in der Ladung enthaltene Energie vorübergehend auf der Leitung unterwegs aufzuspeichern, wenn man den Ladungsstrom zum Träger dieser Energie macht. Dieses läßt sich dadurch erreichen, daß man entweder den stromführenden Leiter mit einem Mantel aus Eisen umgibt, zweckmäßig mittels eines in enger Spirale um ihn gewundenen Eisendrahts, oder wenn man den stromführenden Leiter zum Teil als Wicklung um einen Eisenkern herumführt. Der Strom magnetisiert in beiden Fällen das Eisen und speichert dadurch eine bestimmte Energiemenge in ihm auf.

Beide Wege werden in der Technik der Fernsprechkabel benutzt. Kabel, deren Leiter spiralförmig mit Eisendraht bewickelt sind, werden nach dem dänischen Ingenieur, der sie zuerst vorgeschlagen hat, Krarupkabel genannt. Der andere Weg ist für die Praxis von dem Amerikaner Pupin bezeichnet worden.

Bei Leitungen nach Pupin werden möglichst in gleich großen Abständen in die eigentliche Leitung Spulen, in denen eine Wicklung aus Kupferdraht einen ringförmigen Eisenkern spiralförmig umgibt, so

eingeschaltet, daß die Leitungsströme die Wicklungen durchfließen müssen (Bild 3). Da somit auch die Ladungsströme für die zwischen je zwei Spu-

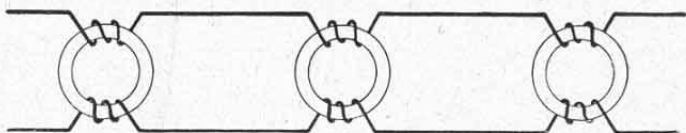


Abb. 3. Leitung mit Pupinspulen.

len liegenden Leitungsstücke durch die Spulen fließen und die Energie in dem magnetischen Felde aufspeichern, so ist die Möglichkeit für das beschriebene Wandern der Energie zwischen Leitungsteilen und Spulen geboten. Sie braucht daher nicht bei jedem Wechsel über den Weg von der Stromquelle bis zur Abzweigstelle befördert zu werden; statt der dabei entstehenden Verluste sind nur geringere zu decken, die im Widerstand der verbleibenden Wege und der Spulen und bei der Magnetisierung des Eisens auftreten.

Die Anwendung von Pupinspulen vermindert also die Verluste auf der Leitung und läßt daher vom Senderstrom einen größeren Teil als sonst nach dem Ende gelangen. Aus Erfahrung weiß man, wie groß das Verhältnis beider ohne Schaden für die Verstärkung werden darf, und nach den Werten des Widerstandes und der Kapazität kann man berechnen, welche Gesamtmenge an Induktivität man einer Leitung zufügen muß. Mit diesem Namen bezeichnet man eine Eigenschaft der Stromkreise,

die ein Maß der Fähigkeit darstellt, Energie im magnetischen Felde aufzuspeichern. Damit sind zur Lösung der ersten Aufgabe bei einem Fernkabel, eine genügende Lautstärke zu gewährleisten, die Mittel bezeichnet.

An zweiter Stelle wird verlangt, daß die Leitung den Klang der Sprache nicht in schädlicher Weise ändere. Man macht an künstlichen Leitungen nach Abb. 1, welche soviel Widerstand und Kapazität haben, daß sie einer langen wirklichen Leitung entsprechen, die Beobachtung, daß die Sprache dumpf klingt. Dies liegt daran, daß eine solche Leitung Wechselströme um so mehr schwächt, je größer die Frequenz ist. Da die Klänge der Sprache ihre Eigenart dadurch erhalten, daß zu bestimmten Grundtönen Obertöne treten, die für die einzelnen Laute und damit auch für die Person charakteristisch sind, so beeinträchtigt eine lange Leitung nach Abb. 1 oder eine wirkliche Leitung ohne geeignete Induktivität, z. B. eine gewöhnliche Kabelleitung, den Klang der Sprache dadurch, daß sie diese Obertöne zu sehr schwächt. Die Verstärkung der Induktivität einer Leitung hat an sich die Wirkung, daß die Töne verschiedener Höhe gleichmäßiger übertragen werden. Vermehrt man sie aber, wie im Falle von Pupinleitungen, durch Einfügung verteilter Spulen, so kann es offenbar nicht gleichgültig sein, ob man die Induktivität in großen Beträgen auf wenige Stellen oder in kleineren auf zahlreiche Stellen verteilt. Gerade in der Angabe einer Regel für eine praktisch genügende, aber noch wirtschaftlich brauchbare Art der Verteilung besteht der Erfolg und das Verdienst Pupins.

Nach dieser Regel kann man aus der bekannten Kapazität der Leitungen und der gemäß der ersten Aufgabe durchgeführten Berechnung der Induktivität denjenigen Abstand der einzelnen Spulenpunkte berechnen, bei welchem die Sprache auch mit gutem Klang ankommt. Es ergibt sich daraus ferner, wieviel Induktivität auf die einzelne Spule entfällt, und damit sind die erforderlichen Berechnungen abgeschlossen.

Als dritte Forderung war die der Störungsfreiheit bezeichnet worden. Es ist jedem Fernsprechteilnehmer bekannt, daß man hin und wieder mehr oder weniger verständlich fremde Gespräche hört, ohne daß eine Falschverbindung vorliegt. Durch die hohe Empfindlichkeit des Fernhörers und, nicht zu vergessen, des menschlichen Ohres werden noch Fernsprechströme wahrgenommen, die nur etwa den zweihundertsten Teil der Stärke der im Ortsbetrieb verwendeten Ströme haben. Man kann allerdings in der Regel nur einzelne leicht zu erratende Worte verstehen, aber die Erscheinung wirkt doch störend durch das Gefühl, daß das Sprechgeheimnis nicht gewahrt sei.

Die Ursache dieses „Nebensprechens“ bilden teils Mängel der Isolierung, teils Mängel in der Konstruktion der Stromkreise. Man verwendet für diese heutzutage nur



Doppelleitungen, so daß der Strom in dem einen Draht hin, im anderen zurückfließt. Benachbarte Stromkreise sind nur dann frei vom Nebensprechen, wenn die beiden Drähte jeder Doppelleitung von allen anderen Drähten und sonstigen Leitern den gleichen mittleren Abstand haben. Bei oberirdischen Leitungen genügt man dieser Forderung dadurch, daß man die Drähte nach bestimmtem Plan ihre Plätze am Gestänge vertauschen läßt, eine Maßnahme, die den Bau nicht wenig verwickelt macht. Bei Kabelleitungen, wo die Abstände der Drähte ebenso nur nach Millimetern zählen wie die Durchmesser, sind die gegenseitigen Einwirkungen erheblich größer, aber die Technik des Kabelaufbaues erleichtert es, die Forderung gleichen mittleren Abstandes zu erfüllen, weil man bei den Doppelleitungen jeden Leiter mit seinem Rückleiter zu einem Paar verseilt, d. h. beide spiralig umeinander schlagen kann. Nebeneinander liegende Doppelleitungen erhalten verschiedene Schlaglänge.

Beim Fernkabel wird, wie bei anderen modernen Kabeln in Fernlinien, die Aufgabe dadurch verwickelter, daß verlangt wird, daß man aus je zwei Doppelleitungen als Stammleitungen eine dritte Verbindung, die sogenannte Viererleitung schalten kann, deren Hinleitung die Zweige der einen Doppelleitung sind, während die Rückleitung aus den Zweigen der anderen Doppelleitung gebildet wird. Damit auch diese Viererleitung störungsfrei sei, müssen also die beiden Doppelleitungen nochmals umeinander verseilt sein. Dabei hat jede Stammleitung und der Vierer für sich eine besondere Drall- oder Schlaglänge. Trotz dieser Maßnahmen zeigen die einzelnen Kreise noch Nebensprechen, weil bei der Fabrikation kleine Abweichungen von der vollkommen regelmäßigen Lage der Drähte unvermeidlich sind. Dies muß an dem fertig verlegten Kabel ausgeglichen werden. Aus den Unterschieden der Abstände entstehen solche der Kapazitäten zwischen den einzelnen Leitern des Vierers. Um das Nebensprechen zu beseitigen, hat man auf einem Teil des Fernkabels das Verfahren angewendet, daß für alle einzelnen Kabelstücke zwischen je zwei Spulenpunkten die Kapazitätsunterschiede, die zu den Störungen Anlaß geben, gemessen werden, und daß man dann in den Lötstellen die einzelnen Adern eines Vierers, abweichend von ihrer natürlichen Reihenfolge, so verbindet, daß sich die Unterschiede im Durchschnitt ausgleichen. Da dieses Verfahren die Lötstellen unübersichtlich macht, hat man in neuester Zeit einen anderen Ausgleich versucht, bei dem die Adern zwischen zwei Spulenpunkten in der natürlichen Folge durchverbunden werden; die an der ganzen Länge sich ergebenden Unterschiede werden durch Zuschalten besonderer Kondensatoren ausgeglichen. Durch diese Verfahren, deren saubere Durchführung viel Zeit und Sorgfalt bei den Meß- und Lötcolonnen beansprucht, ist es gelungen, die Forderung der Störungsfreiheit in



solchem Maße zu erfüllen, daß die Leitungen im Fernkabel, zumal im Vergleich zu oberirdischen Leitungen, praktisch frei von störendem Nebensprechen sind.

Als das nunmehr vollendete Fernkabel Berlin–Rheinland im Jahre 1911 geplant wurde, kannte die Technik eine Einrichtung noch nicht, die kurz vor dem Kriege in den Laboratorien versucht und während des Krieges zu hoher Vollendung entwickelt wurde, nämlich die Anwendung von Verstärkern mit Elektronenströmen. Bei der Planung des Fernkabels Berlin–Rheinland mußte so gerechnet werden, daß ein Teil der Stromkreise auch noch für Entfernungen ausreichte, welche die Länge des geplanten Kabels (600 km) wesentlich überschritten. Dadurch erklärt sich die Wahl eines 3 mm starken Leiters für die leistungsfähigsten Adern und eines 2 mm starken für geringere Entfernungen. Die Ausbildung der Verstärker hat eine neue Grundlage für das Planen der Fernkabel geschaffen. Durch Verstärker ist es möglich, die Sprechströme unterwegs oder auch am Ende einer langen Strecke schrittweise oder mit einem Male so zu verstärken, daß sie im Fernhörer der Empfangsstelle gut wahrnehmbar werden, obgleich die Leitung ohne die Verstärker keine genügende Verständigung ermöglicht. In den neuen Fernkabeln des deutschen Netzes werden daher nur schwächere Drähte verwendet werden, solche von 1,4 mm Stärke für weite und 0,9 mm Stärke für kürzere Entfernungen. In die Leitungen aus dem dünneren Draht werden Verstärker in Abständen von 75 km, in die stärkeren in Abständen von 150 km eingeschaltet werden.

Die starkdrähtigen Leitungen des Fernkabels Berlin–Rheinland sind gleichwohl bis zum Ende durchgeführt worden; sie erlauben jetzt den Betrieb auf die ganze Entfernung ohne Zuhilfenahme der Verstärker und werden sich später für den großen Durchgangsverkehr nützlich erweisen.

# Die Herstellung des Rheinlandkabels mit seinen Pupinspulen

Von Dr. A. Ebeling, Direktor der Siemens & Halske A. G.

So einfach die Pupinsche Idee der Einschaltung von Selbstinduktionsspulen in Fernsprechkabelleitungen erscheint, um der Kapazität entgegenzuwirken, soviel praktische Schwierigkeiten fand man doch bei der Ausführung der Idee, als es sich darum handelte, Pupinkabel von Hunderten von Kilometern Betriebslänge zu verlegen, wie sie das etwa 600 km lange Rheinlandkabel hat. Die Schwierigkeiten sind in der Hauptsache darin begründet, daß die Einschaltung der Induktivität in Gestalt von zusätzlichen Spulen erfolgen muß und daß die dielektrischen Verluste, über deren Natur man zur Zeit der Pupinschen Erfindung noch keine Klarheit hatte, in pupinisierten Leitungen wesentliche Bedeutung gewinnen.

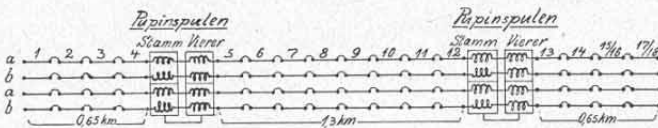
Die Spulen bringen in die Leitung nicht nur Induktivität ein, sondern auch Widerstand, so daß ein Teil des Gewinnes, der durch die Einschaltung der Induktivität erzielt wird, im Widerstand der Spulen verloren geht. Es war also eine der wichtigsten praktischen Aufgaben, Spulen mit möglichst geringem Widerstand zu bauen. Um einen geringen Gleichstromwiderstand zu erhalten, mußte man für die Spulen Eisen von möglichst hoher Permeabilität wählen. Damit dabei nicht zu hohe Eisenverluste entständen, mußte das Material fein unterteilt und auf eine gute Isolation der unterteilten Eisenteile gegeneinander besonderer Wert gelegt werden. Dadurch wird natürlich wiederum die resultierende Permeabilität des aus Eisen und Isoliermaterial bestehenden Kernes herabgesetzt. Die Unterteilung des Eisens allein genügt ferner nicht, ausreichend geringe Wirbelstromverluste zu erzielen. Es waren vielmehr ausführliche Untersuchungen erforderlich, um durch Zusätze zum Eisen einen hohen spezifischen elektrischen Widerstand zu erreichen, ohne die Permeabilität zu weit herabzusetzen. Umfangreiche Untersuchungen waren ferner anzustellen, um die geeignete Härte des Materials zu erzielen, damit die Spulen die nötige magnetische Konstanz erhielten, und um sie gegen Gleichstrommag-

netisierungen, wie sie bei Messungen und etwaiger Simultantelegraphie über die Leitungen vorkommen, unempfindlich zu machen.

Die Versuche, geeignete Kerne herzustellen, haben sich auf Kerne erstreckt, die aus Stahlbändern gewickelt wurden, auf Kerne aus geschichteten Blechen und aus aufgewickelten, dünnen Drähten und auf gepresste Kerne aus Eisenpulver in isolierenden Mitteln. Für das Rheinlandkabel wurden Kerne aus dünnen Eisendrähten verwendet. Bei der Fortpflanzung der Fernsprechströme über die Kabelleitung setzen sich die Verluste aus zwei Teilen zusammen, den Widerstandsverlusten im Kupferleiter und den dielektrischen Verlusten im Isoliermittel; die ersten sind vom Strom abhängig, die zweiten von der Spannung. In gewöhnlichen Kabeln mit niedriger Charakteristik und infolgedessen großen Strömen und kleinen Spannungen sind die dielektrischen Verluste neben den Kupferverlusten außerordentlich gering. Erst in Pupinleitungen mit hoher Charakteristik spielen die dielektrischen Verluste eine wesentliche Rolle. Infolgedessen lagen zur Zeit, als Pupin seine Erfindung machte, über die Bedeutung der dielektrischen Verluste in Fernsprechkabeln keine Erfahrungen und keine zuverlässigen Meßmethoden vor. Um diese Frage klarzustellen, wurde die Maschine von Hd. Franke, der mit ihr bereits 1891 an imprägnierten Kabeln dielektrische Verluste festgestellt hatte, umkonstruiert\*). Nach einer großen Reihe von Untersuchungen fand man, daß geringe Feuchtigkeitsrückstände im Kabel, die den Gleichstrom-Isolationswiderstand noch in keiner Weise beeinflussten, schon zu erheblichen dielektrischen Verlusten bei den Frequenzen der Fernsprechströme führten. Aufgabe der Kabelfabrikation war es, durch geeignete Me-

thoden diese Feuchtigkeitsrückstände so weit zu beseitigen, daß die dielektrischen Verluste für mit hohen Spannungen betriebene Pupinleitungen erträglich würden und die Wirkung der Pupinisierung nicht zu stark beeinträchtigten. Dabei kam es darauf an, die Trocknung in möglichst kurzer Zeit auszuführen und ohne das Papier stark zu beanspruchen.

*Kabel ganz geschaltet ohne Ausgleich*



*Kabel durch Kondensatoren ausgeglichen*

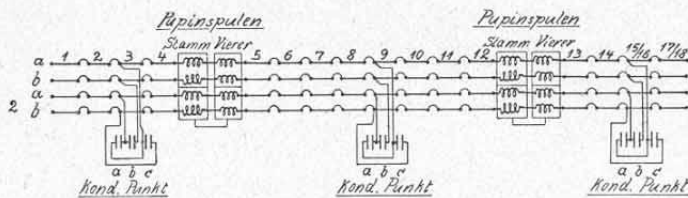


Abb. 1. Ausgleichsverfahren zur Beseitigung des Nebensprechens an einem Teilstück des Kabels.

\*) Die Abbildung auf Seite 16 zeigt die Frankesche Maschine in ihrer neuesten Form.

In verhältnismäßig kurzer Zeit sind auch diese Aufgaben einwandfrei gelöst worden. Um eine möglichst weitgehende Ausnutzung der Kabelleitungen zu erzielen, wurde das Rheinlandkabel nach dem Dieselhorst-Martin-System so ausgebaut, daß je zwei Doppelleitungen zu einer Viererleitung verspleißt sind, die es zum Doppelsprechen brauchbar macht, wodurch man 50 vom Hundert an Sprechkreisen gewinnt. Durch diese Fabrikationsausführung wurden zwar grobe Kapazitätsdifferenzen, die zum Nebensprechen führen, vermieden; immerhin kamen aber doch einzelne Fälle von Nebensprechen in einer Größenordnung vor, die weitere Maßnahmen erforderlich machte, um die übrigbleibenden Kapazitätsdifferenzen auszugleichen. Nach umfangreichen Versuchen des Ausgleiches durch verschiedene Kreuzungsmethoden, bei denen die zufällig vorhandenen Differenzen ausgenutzt werden sollten, entschloß sich die Siemens & Halske A. G. für den Ausgleich durch Zusatzkondensatoren. Maßgebend für diese Wahl war einmal, daß durch den Einbau von Zusatzkondensatoren, die immer nur an einer Stelle zwischen zwei Pupin-Spulenpunkten erforderlich sind, wie in Abb. 1 angedeutet ist, keinerlei Verschaltungen im Kabel vorkommen, was für den Betrieb und für ein schnelles Entfernen etwa im Kabel auftretender Fehler von großer Bedeutung ist, und ferner, daß man mit dieser Methode den praktisch höchsten Wert des Ausgleiches erzielen kann, da man die einzuzufügenden Kapazitätswerte genau zu bestimmen vermag.

Um die Viererleitung auszunutzen zu können, muß diese gleichfalls pupinisiert werden; es geschieht dies nach der von der Siemens & Halske A. G. angegebenen Methode. In jede Doppelleitung

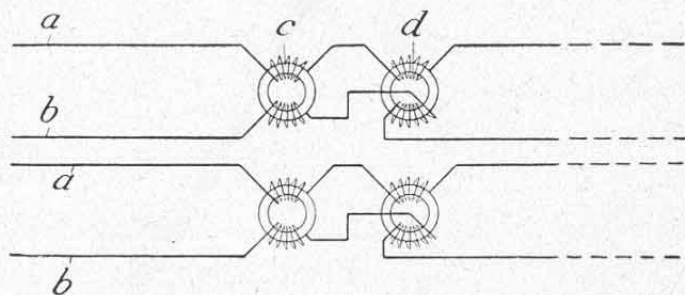


Abb. 2. Pupinisierung von Doppelsprechkreisen nach A. Ebeling.

wird ein doppelter Satz von Spulen gebracht, von denen der eine für die Doppelleitung und der zweite für die Viererleitung wirksam ist. Jede Spule besitzt, wie Abb. 2 zeigt, zwei Wickelungen, die in genauer Übereinstimmung auf den kreisförmigen Eisenkern aufgebracht sind, so daß Ströme kein Feld erzeugen, die in einer solchen Schaltung durch die beiden Wickelungen hindurchfließen, daß sie keine Magnetisierung hervorrufen. Da die Wickelungen der Spulen bei d denen bei c entgegengesetzt geschaltet sind, sind die Spulen bei c nur für das Sprechen in den beiden Doppelleitungen wirksam, die Spulen bei d nur für das Sprechen in der Viererleitung. Der zweite Satz von Spulen bei d kann auch auf einem gemeinsamen Eisenkern vereinigt werden, auf den dann vier Wickelungen gebracht werden.



Was die praktische Ausführung der Kabel der Siemens & Halske A. & S. betrifft, so wurde für die Leiter von 1,4 mm, 2 mm und 3 mm Durchmesser eine Aderform verwendet, die als Ballonader bezeichnet wird; ein starkes Papierband wurde in der Längsrichtung des Kupferleiters um diesen gefaltet und mit einem spiralig umwickelten Faden auf den Leiter festgeschnürt, wodurch die Ader als aus einer Reihe von kleinen Ballons bestehend erscheint; für die Leiter von 1,5 und 0,9 mm wurde die für normale Kabel übliche Ader mit einer spiraligen doppelten Umspinnung gewählt. Je zwei solcher Adern sind zu einer Doppelleitung verseilt und je zwei Doppelleitungen gegebenenfalls zu einem Adervierer. Die Adervierer sind dann in konzentrischen Lagen zur Seele vereinigt.

Das Rheinlandkabel enthält auf der Strecke Berlin—Magdeburg—Hannover bei einer Gesamtlänge von rund 300 km 28 Doppelleitungen oder 14 Adervierer mit 2 mm starken Kupferleitern und 24 Doppelleitungen oder 12 Adervierer mit 3 mm starken Kupferleitern. Bei vollständiger Pupinisierung sowohl der Doppelleitungen als auch der Viererleitungen wird man also 78 Sprechkreise besitzen; davon waren 42 für die Teilstrecken und 36 für die Gesamtstrecke gedacht. Die Adervierer von 2 mm Durchmesser bilden den inneren Teil

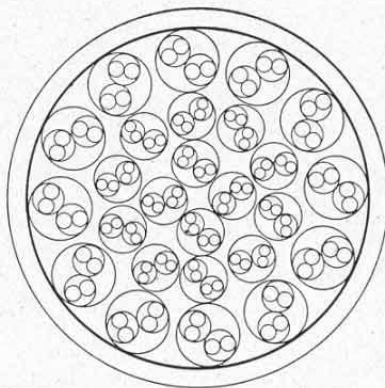


Abb. 3. Querschnitt durch das Kabel Berlin—Magdeburg—Hannover.

einen Schutz des 3,6 mm starken Bleimantels geliefert. Nur einzelne kurze Strecken sind als Erdkabel oder Flußkabel hergestellt; bei den Erdkabeln ist der Bleimantel mit einem in Asphalt eingebetteten Papierband umwickelt, über das eine Lage imprägnierter Zute und eine Lage trapezförmiger verzinkter Eisendrähte in einer Dicke von 1,7 mm aufgebracht ist; die Armatur wird dann ihrerseits durch ein asphaltiertes Zutepolster geschützt. Bei den Flußkabeln ist über der Lage der trapezförmigen Eisendrähte ein Zutepolster und darüber eine Lage von 8,6 mm starken verzinkten Rundeisendrähten aufgebracht, über die sich dann die äußere asphaltierte Zuteschicht legt.

Nach der Auslegung der ersten beiden Kabelstrecken Berlin—Magdeburg—Hannover hatte es sich als wünschenswert erwiesen, zur schnellen Feststellung etwa auftretender Fehler Messleitungen im Kabel zu besitzen, die auch nach Auftreten eines Fehlers im Kabel noch eine gute Isolation besäßen und somit zuverlässige Messungen gestatteten.

der Kabelseele, um den die Vierer der 3-mm-Leiter in einer Lage gelegt sind, wie es Abb. 3 zeigt. Da das Rheinlandkabel in Zementrohrkanäle mit besonderer Öffnung für jedes des Kabel eingezogen ist, so ist das ganze Kabel bis auf wenige Kabellängen als blankes Bleikabel ohne



Zu diesem Zweck wurde bei der Fortsetzung des Kabels über Hannover hinaus in den inneren Kern des Kabels ein Bleikabel mit schwächeren Kupferleitern von 1,5 mm Durchmesser gelegt. Es hätte für die Messungen natürlich genügt, eine einzelne Ader oder eine einzelne Doppelleitung in diesem Innenkabel unterzubringen; man wollte aber dieses Kabel auch für Telegraphieversuche ausnutzen und eine gewisse Notreserve in diesen Leitungen besitzen; deshalb sind in diesem Innenkabel 7 Doppelleitungen mit 1,5 mm starkem Leiter enthalten; sie besitzen keine Viererverseilung. Um dieses Innenkabel sind für die Strecke Hannover–Dortmund 34 Doppelleitungen mit 2 mm starken Leitern gelegt, von denen 24 zu 12 Adervierern verseilt und 10 weitere Doppelleitungen ohne Viererverseilung geblieben sind, und 30 Doppelleitungen oder 15 Adervierer mit 3 mm starkem Leiter. Man hat also auf dieser Strecke insgesamt 91 Sprech-

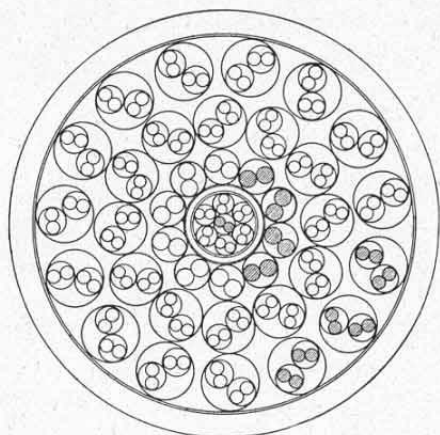


Abb. 4. Querschnitt durch das Kabel Hannover – Dortmund.

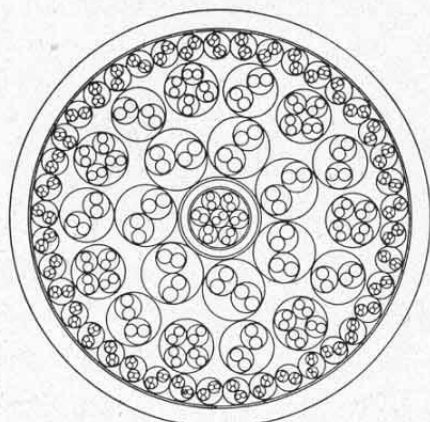


Abb. 5. Querschnitt durch das Kabel Dortmund – Düsseldorf und Dortmund – Köln.

kreise außer den im Innenkabel befindlichen zur Verfügung. Da die Verlegung dieses Kabels bald nach Beendigung des Krieges begonnen werden sollte und die Beschaffung von Kupfer noch mit Schwierigkeiten verknüpft war, entschloß sich die Reichspostverwaltung, zu Versuchszwecken einen Teil der Leiter aus Aluminium herzustellen, da dieses Material in Deutschland unabhängig vom Ausland auch für die Zukunft zu gewinnen war. Solche Aluminiumleitungen sind im Kabel Hannover – Dortmund vorhanden; im Kern 1 Doppelleitung von 1,5 mm und über dem inneren Bleimantel 4 Doppelleitungen von 2 mm und 3 Adervierer oder 6 Doppelleitungen von 3 mm. Den Aufbau des Kabels zeigt Abb. 4. Der äußere Durchmesser des blanken Bleikabels beträgt 80 mm; der Bleimantel besteht aus reinem Blei von 4 mm Dicke ohne einen Zinnzusatz, weil Zinn nach dem Kriege teuer und schwer zu erhalten war, während der Bleimantel des Kabels auf den vor dem Kriege verlegten Strecken

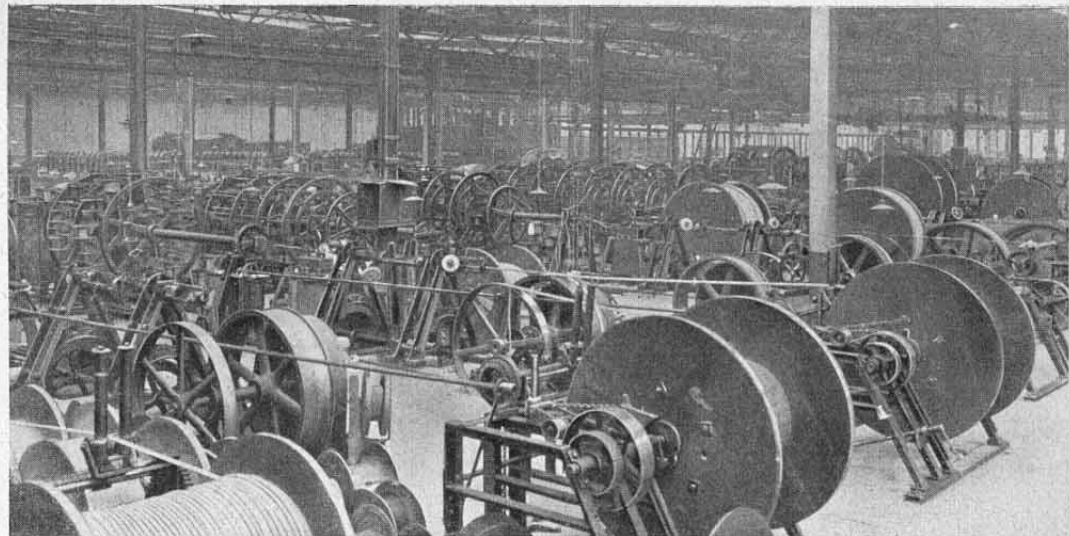


Abb. 6. Kabelverseilmaschinen im Kabelwerk der Siemenswerke.

Berlin–Magdeburg–Hannover einen Zusatz von 3 v. H. Zinn enthält. Da sich die Kabel mit einem Mantel aus reinem Blei trotz des im Verhältnis zur Kanalöffnung großen Durchmessers des Kabels gut einziehen ließen, ist fernerhin von einem Zinnzusatz zum Blei für das Rheinlandkabel abgesehen worden.

Auf den Strecken Dortmund–Düsseldorf und Dortmund–Köln sind um das Innenkabel mit 7 Doppelleitungen von 1,5 mm Durchmesser 14 Doppelleitungen oder 7 Vierer mit 3 mm starken, darüber 14 Doppelleitungen oder 7 Vierer mit 2 mm starken Leitern und 28 Doppelleitungen oder 14 Vierer mit 1,4 mm starken Leitern gelegt worden, welsch letztere aus fabrikationsmäßigen Gründen zu 7 Aderachtern vereinigt sind; darüber befindet sich eine Lage von 82 Doppelleitungen oder 41 Vierern mit 0,9 mm starken Leitern. Im ganzen sind 138 Doppelleitungen oder 207 Sprechkreise, ohne die 7 Doppelleitungen im Kern, vorhanden. Der Durchmesser über dem äußeren Bleimantel beträgt 80 mm. Alle Leiter sind bei diesen Kabeln Kupferleiter. Abb. 5 zeigt den Aufbau dieses Kabels.

Der Schutz des Bleimantels bei Erdkabelstrecken auf den Strecken jenseits von Hannover ist in der gleichen Weise wie auf der Strecke Berlin–Magdeburg–Hannover vorgesehen.

Abb. 6 zeigt den Saal des Kabelwerks der Siemens–Schuckertwerke in Gartenfeld, in dem die Adern besponnen und zum Kabel verseilt sind, Abb. 7 den Verladeplatz in Gartenfeld, auf dem eine große Menge fertiger Kabel auf Trommeln auf den Versand wartet.



Abb. 7. Verladeplatz für die Kabeltrommeln am Kabelwert der Siemenswerke

Für die Strecke Dortmund–Köln ist das Kabel von der Felten & Guilleaume A. G. Carlswerk, Mülheim a. Rhein, im Einverständnis mit der Reichspostverwaltung und der Siemens & Halske A. G., die zugehörenden Pupinspulen dagegen und die Ausgleichsmittel sind für diese Strecke von der Siemens & Halske A. G. geliefert.

Die Kerne der Pupinspulen des Rheintlandkabels sind, wie bereits erwähnt, aus dünnen Eisendrähten in Ringform von rechteckigem Querschnitt gewickelt, mit den erforderlichen Kupferwickelungen und mit einer schützenden Hülle aus Band versehen und dann in metallische Kappen eingeschlossen, in denen sie bis zur Weiterverarbeitung aufbewahrt wurden. Abb. 8 zeigt den Schnitt durch eine solche Spule; Größe und Gewicht der Spulen sind für die verschieden starken Kupferleiter verschieden. Das Gewicht der Spulen für 3 mm starke Kupferleiter beträgt beispielsweise das 3fache von dem für 2 mm starke Kupferleiter und das 6fache von dem für 0,9 mm starke Leiter. Die fertigen Spulen wurden dann in Zink-

kasten, in denen sie durch besondere Gestelle gehalten werden, untergebracht, die ihrerseits mit Isoliermasse ausgegossen wurden. Die Zinkkasten mit daran befindlichen Zinkmuffen wurden dann in Eisenkasten eingesetzt; der Raum zwischen Zinkkasten und Eisenkasten wurde

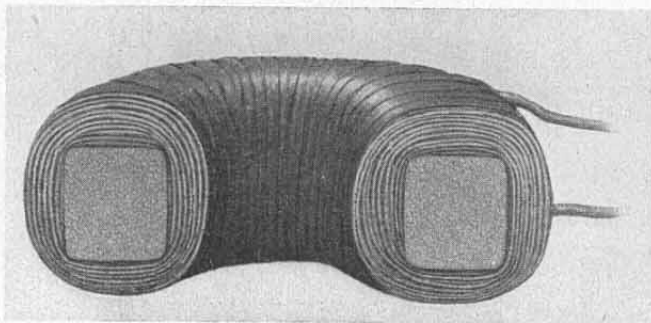


Abb. 8. Querschnitt durch eine Pupinspule.

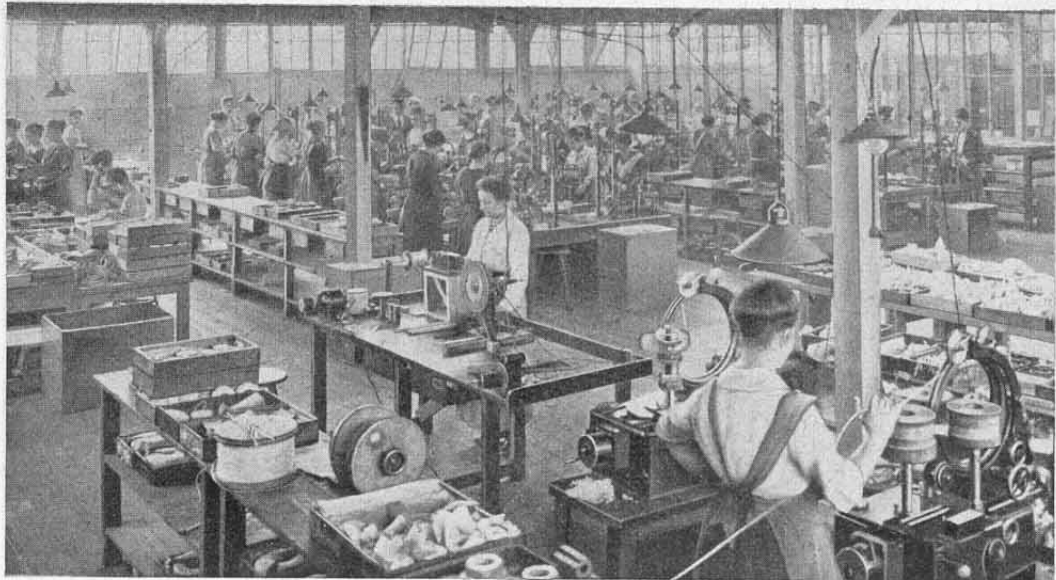


Abb. 9. Das Umwickeln der Eisenkerne für die Pupinspulen im Wernerwerk der Siemens & Halske A. G.

der Sicherheit wegen gleichfalls mit isolierender Masse vergossen. Die Zuleitungen zu den Spulen enden, durch Zählbretter übersichtlich geführt, in der Zinkmuffe, in der sie mit den Kabeladern bei dem Einbau der Spulenkasten verbunden werden.

Das Gewicht eines fertigen Pupinspulenkastens im Eisengehäuse für die Strecken Berlin–Magdeburg und Magdeburg–Hannover, der die Spulen für 52 Sprechkreise enthält, da hier die Pupinisierung der Vierer erst in der nächsten Zeit vorgenommen wird, beträgt 1200 kg, das eines Kastens für die Strecke Hannover–Dortmund, wo die Viererpupinisierung durchgeführt ist, für insgesamt 91 Sprechkreise 1750 kg und für die Strecken Dortmund–Düsseldorf und Dortmund–Köln mit insgesamt 207 pupinisierten Sprechkreisen rund 2000 kg.

Abb. 9 zeigt den Raum, in dem die Eisenkerne mit Kupferwickelungen versehen werden. Diese Bewickelung wurde noch teilweise mit der Hand, sonst mit Maschinen aufgebracht; neuerdings werden fast nur noch Maschinen hierfür verwendet. In der Montagehalle Abb. 10 werden die Anschlußdrähte an die fertigen Spulen gelötet und diese in die Kästen eingebaut. Während des Fabrikationsganges werden die Spulen dauernd Messungen unterworfen. Abb. 12 zeigt einen solchen Meßraum, in dem die Spulen in den Zinkkästen gemessen werden.

Die Kondensatoren für den Kapazitätsausgleich sind in Zink- und Eisenkästen, ähnlich den Spulenkästen, untergebracht; Abb. 11 läßt die einzelnen Teile eines solchen Kastens erkennen. Der innere Raum im Zinkkasten, in dem die Kondensatoren unter-



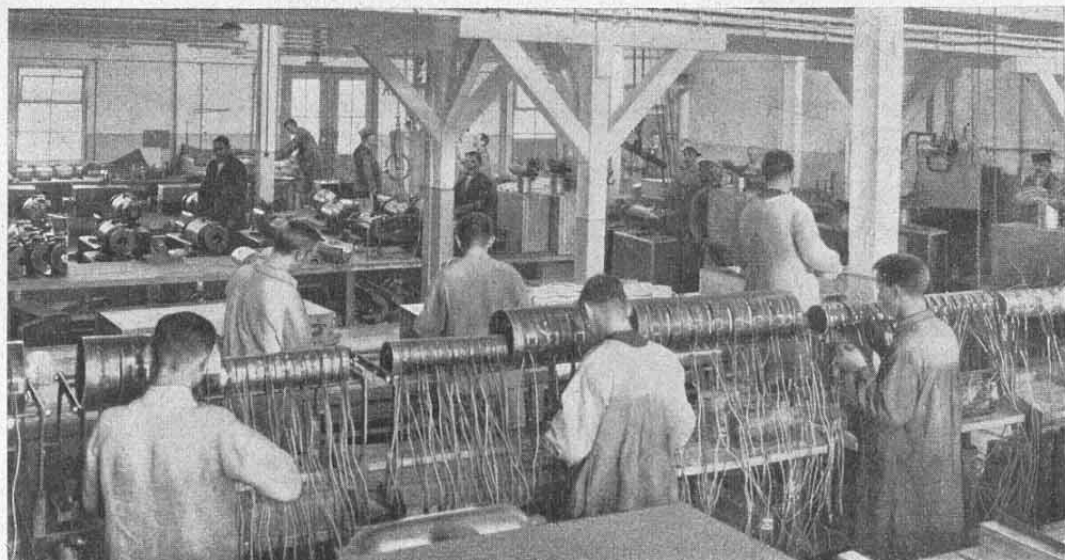


Abb. 10. Anlöten der Anschlußdrähte und Einbau der Pupinspulen in die Schutzkasten im Wernerwerk der Siemens & Halske A. G.

gebracht sind und der durch Verlötungen nach außen hin gegen Eindringen von Feuchtigkeit gesichert ist, wird nicht ausgegossen, während der Raum zwischen dem Zink- und Eisenkasten mit isolierender Masse vergossen wird.

Wenn auch das Rheinlandkabel infolge des Weltkriegs und der daran anschließenden politischen Wirren nur langsam seiner Vollendung entgegengegangen ist, so tut das doch der Bedeutung der erzielten technischen Leistungen keinen Abbruch. Daß man der Vollendung des Werkes mit Vertrauen entgegensehen konnte, zeigte sich bereits nach Fertigstellung der ersten kurzen Teillinie der Berlin-Magdeburger Strecke zwischen Burg und Plaue, auf der man sich durch Hintereinanderschalten verschiedener Doppelleitungen eine Sprechlänge des natürlichen Kabels von 600 km Länge herstellte. Die Lautstärke und die Güte der Sprache entsprach voll den Erwartungen, ja man kann vielleicht sagen, der Prophe-

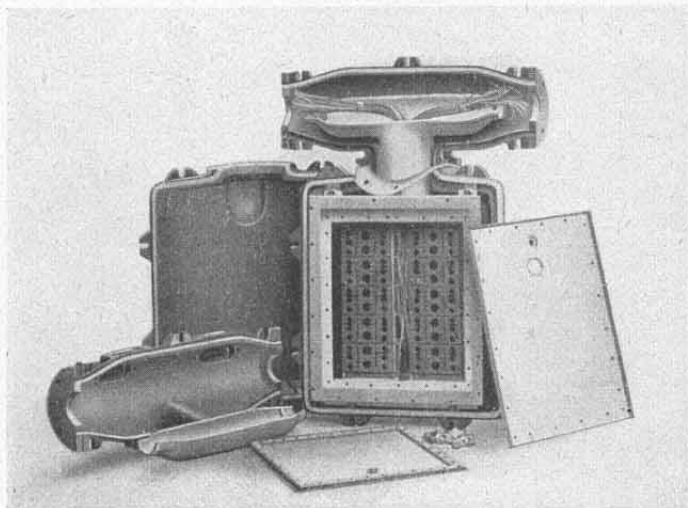


Abb. 11. Kasten mit Kondensatoren, geöffnet.

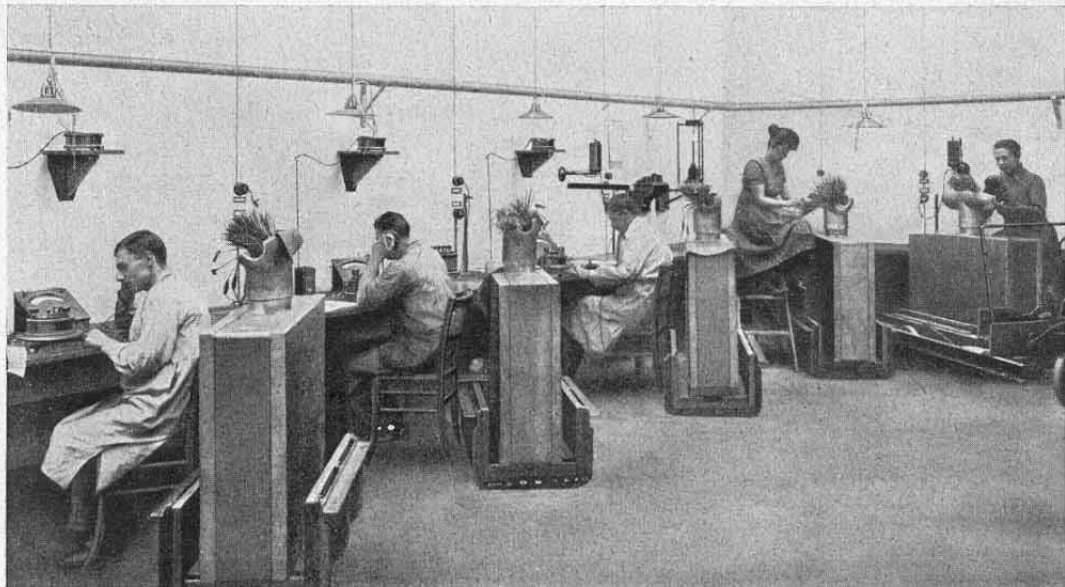


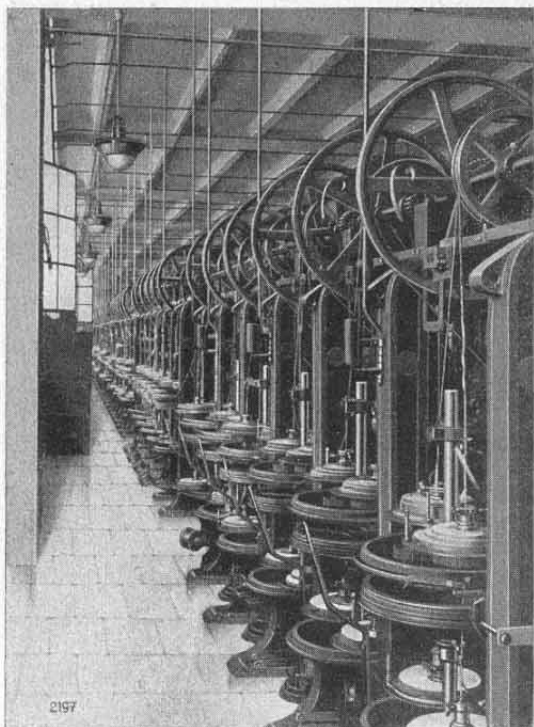
Abb. 12. Meßraum für Pupinspulen im Wernerwerk der Siemens & Halske A. S. G.

zeigung der Technik. Die Siemens & Halske A. S. G. hatte nämlich eine künstliche Leitung in der Form eines sogenannten Breisfigschen Standards vor Beginn der Arbeiten am Rheinlandkabel hergestellt, der die Lautstärke und die Sprachgüte des Rheinlandkabels darstellte, wie sie auf Grund der theoretischen Erkenntnisse erwartet wurden. Der Vergleich zwischen diesem künstlichen Rheinlandkabel und dem natürlichen, durch Hintereinanderschalten der Leitungen zwischen Burg und Plaue gewonnenen ließ keinerlei Unterschied erkennen.

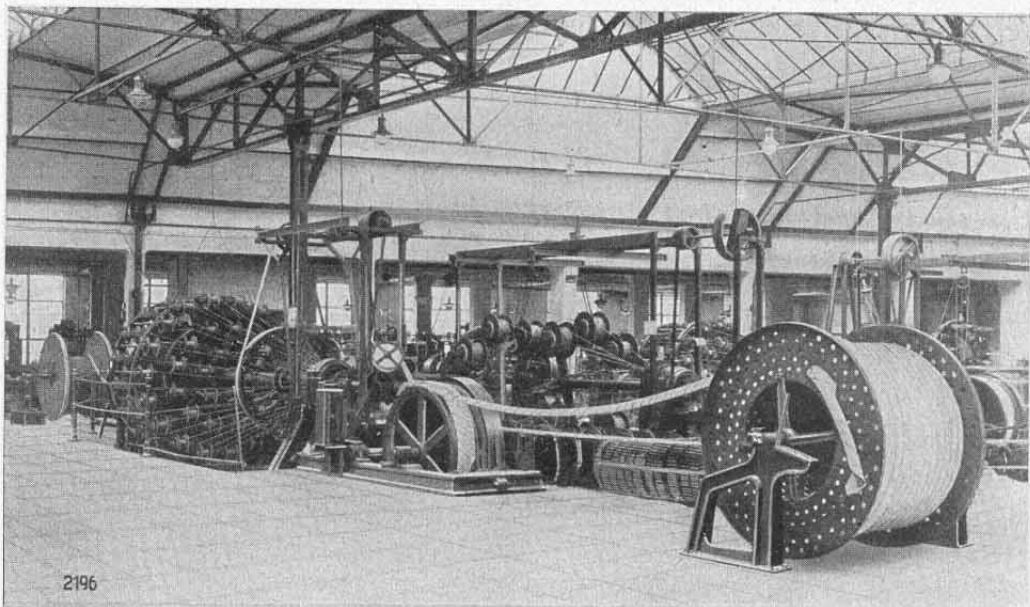
# Bilder von der Herstellung des Kabels Dortmund—Köln im Carlswerk der Felten & Guilleaume A. G. Köln-Mülheim



Aufbau des Kabels.

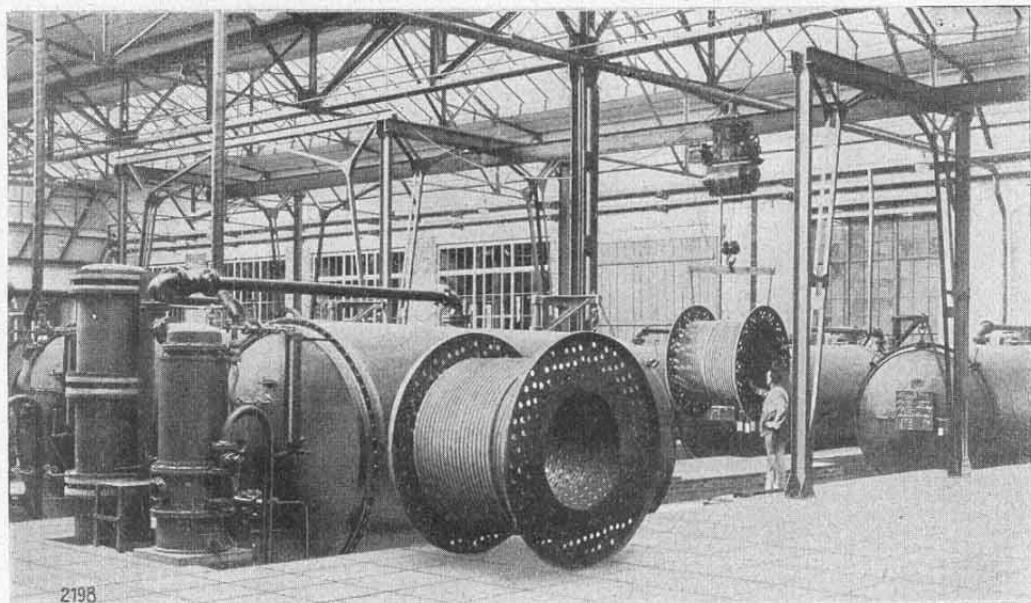


Fernsprech-Doppelader-Maschinen.



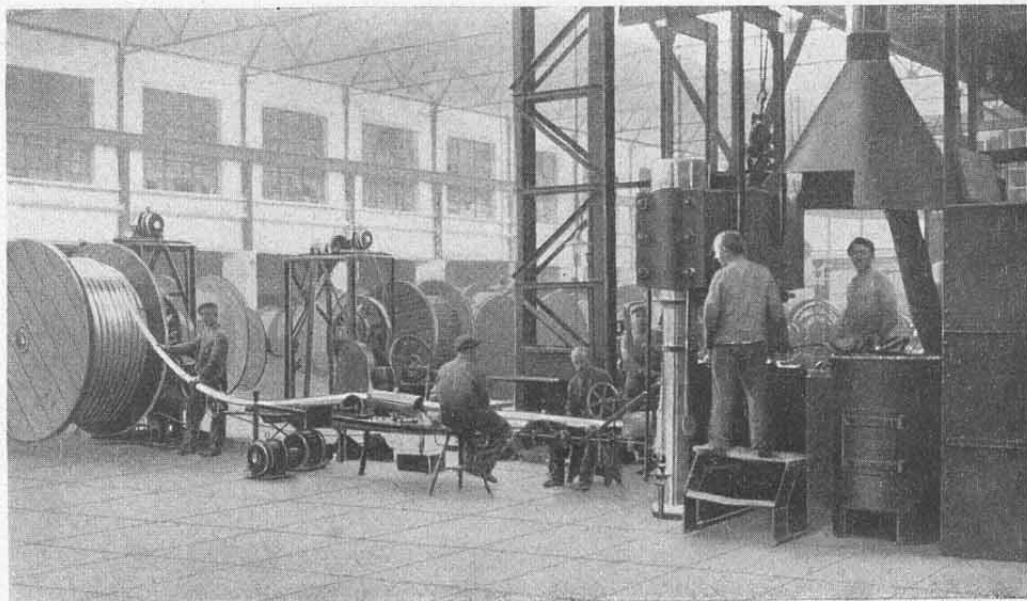
Verteilmaschinen.

# Bilder von der Herstellung des Kabels Dortmund—Köln im Carlswerk der Felten & Guillaume A.-G. Köln-Mülheim



2198

Trockenöfen.



Vleipressen.



# Die Auslegung des Rheinlandkabels

Von Dipl.-Ing. R. Deibel, Siemens & Halske A. G.,  
Direktor der Deutschen Fernkabel-Gesellschaft G. m. b. H.

Nachdem im Jahre 1910 die theoretischen Untersuchungen, die zur Herstellung eines Fernsprechkabels mit 1000 km Reichweite erforderlich sind, zu einem gewissen Abschluß gekommen waren, wurde mit den Vorarbeiten für die Bauausführung im Jahre 1911 begonnen. Bei der Neuheit der Anlage mußte von vornherein damit gerechnet werden, daß es erforderlich sein würde, das Kabel während der Bauzeit an allen Schnittstellen jederzeit leicht zugänglich zu machen, um notwendige Messungen schnell ausführen zu können. Da außerdem auf der für das erste deutsche Fernkabel gewählten Strecke, die Berlin mit dem niederrheinisch-westfälischen Industriegebiet und seinem Hinterland verbindet, mit einer baldigen Erweiterung zu rechnen war, sah man für diese Strecke von der Auslegung eines Erdkabels ab und beschloß, das Kabel in einen Zementkanal (Abb. 1) einzuziehen. Bei der Kreuzung von Wasserläufen (Abb. 2) oder Sumpfstrecken (Abb. 3) mußte der Kanal unterbrochen und die Unterbrechungsstelle durch ein Fluß- bzw. Erdkabel überbrückt werden.

Bei der großen Menge Material, das auf der Baustrecke zu verteilen und einzubauen war, mußte ein gutes Ineinandergreifen aller Arbeiten sichergestellt sein, wenn man



Abb. 1. Bau des Zementkanals.

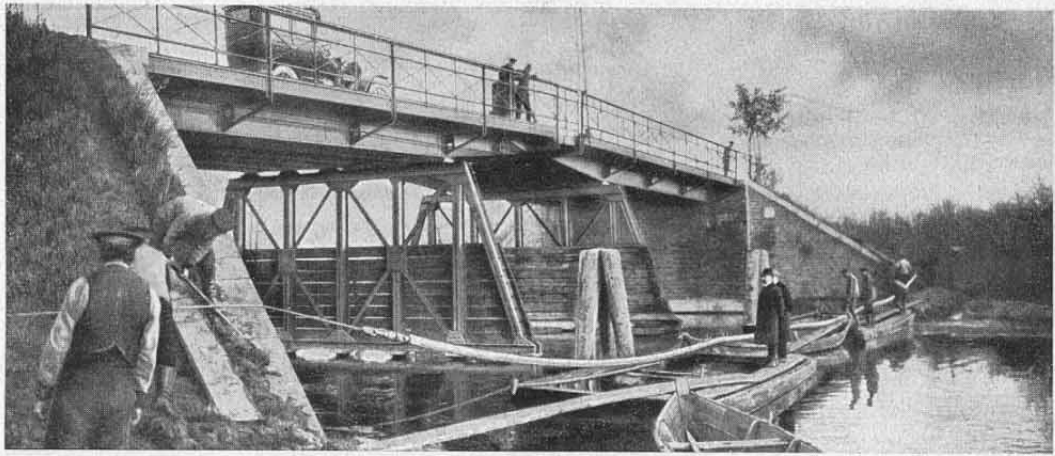


Abb. 2. Verlegung eines Flustabels.

wirtschaftlich und schnell arbeiten wollte. Das erforderliche Stammpersonal wurde daher aus dem allgemeinen Fabrikbetriebe losgelöst und zu einem Baubüro vereinigt, das sowohl in Personal als auch in Geldangelegenheiten weitgehende Selbständigkeit hatte, besonders alles erforderliche Hilfspersonal auf der Strecke einstellen und entlassen und auch die Art der Entlohnung den wechselnden Bedürfnissen anpassen konnte.

Das Baubüro gliederte sich in die Fahr- und Einziehkolonne, die alle Transporte und das Einziehen der Kabel in die Rohre zu erledigen hatte; die Spleißkolonne, die sowohl die Verbindungsmuffen als auch die Pupinspulenkasten und Endverschlüsse einzubauen hatte; die Meßkolonne, von der alle Kontrollmessungen auszuführen waren, und das eigentliche Büropersonal, das für die ordnungsmäßige Lagerhaltung,



Abb. 3. Verlegung eines Erdtabels auf Schwellenrost.



Abb. 4. Beladen des Lastkraftwagens.

die Kontrolle des Materialverbrauches, die Lohnzahlung und alle Abrechnungen verantwortlich war. Auf die Arbeiten dieser einzelnen Gruppen soll in nachstehendem etwas näher eingegangen werden.

Die fertigen Kabellängen wurden von der Fabrik aus teils auf dem Wasserwege, meist aber mit der Bahn in die Nähe der Baustrecke gebracht und von dort aus mit Lastkraftwagen weiterverteilt.

Bei Beginn der Arbeiten hatte man besondere Kabelwagen und zum Verladen der Kabel vom Bahnwagen auf den Kraftwagen tragbare Kräne benutzt. Im weiteren Verlauf der Arbeiten wurde jedoch auf diese besonders konstruierten Hilfsmittel verzichtet, und es wurden nur noch normale Kraftwagen von 5 t Tragfähigkeit verwendet. Mit



Abb. 5. Entladen des Anhängewagens.



Abb. 6. Kabelwinde im Betrieb.

Hilfe zweier Spindelwinden stellte die Kolonne die Tragfläche des Wagens auf die gleiche Höhe mit der des Eisenbahnwagens und schaltete hierdurch gleichzeitig die Federung der Hinterachse beim Überladen ab. Durch eine auf dem Wagen fest angebrachte Handwinde konnte dann die Kabeltrommel rasch vom Bahnwagen auf den Kraftwagen herübergezogen werden (Abb. 4). An der Auslegungsstelle wurden die Trommeln beim Herunterrollen vom Wagen mit derselben Winde gebremst (Abb. 5). Die Mengen, die diese Transportkolonne zu verteilen hatte, waren recht beträchtlich. Das Gesamtgewicht des Kabels nebst Spulenkästen und Nebenmaterialien betrug rund 14 000 t. Die Kabeltrommeln, die sowohl voll hin- als auch leer zurückbefördert werden mußten, wogen insgesamt 5 000 t. Für die Beförderung dieser rund 20 000 t waren insgesamt mehr als 3 000 Eisenbahnwagen erforderlich, hiervon für die Rückbeförderung der Kabeltrommeln und des übrigen Nebenmaterials allein etwa 1000 Wagen. Auf der Landstraße mußte für die Verteilung des Materials eine Strecke vom doppelten Erdumfang, d. h. etwa 80 000 km, gefahren werden. Hierzu wurden zwei vollständige Lastkraftzüge benutzt. Ein dritter Lastwagen nebst Anhänger war dauernd beschäftigt, Werkzeug und Material der Spleißkolonne zu befördern.

Die einzelnen Baulängen des Kabels mußten bei seinem großen Gewicht und dem im Verhältnis zum Rohrquerschnitt großen Durchmesser beschränkt werden. Die größte Länge betrug auf der Strecke Magdeburg-Hannover 200 m, sonst durchweg 170 m. Die durchschnittliche Länge war aber noch wesentlich kleiner, so daß insgesamt



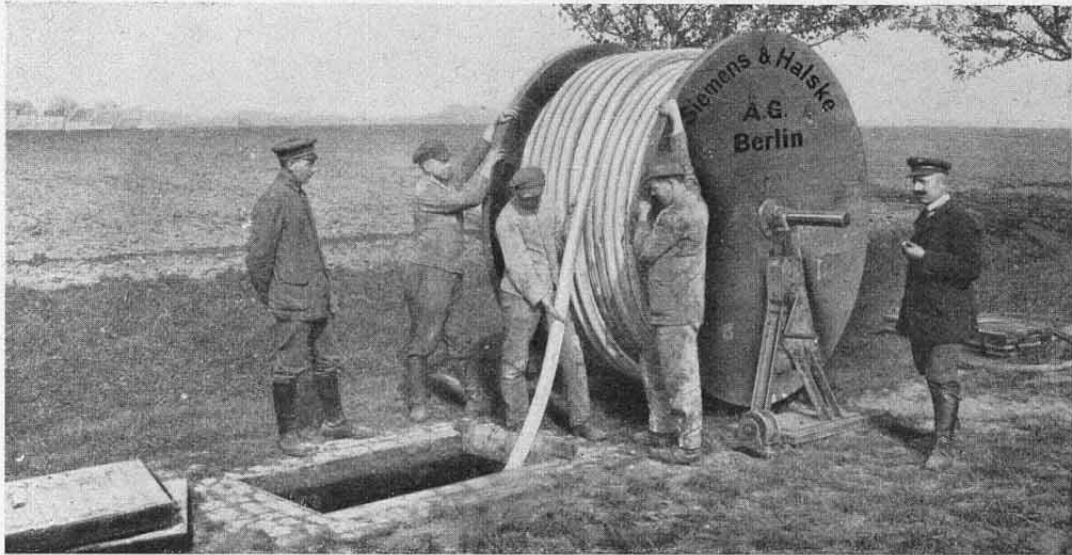


Abb. 7. Einziehen des Kabels.

etwa 6 000 Kabelstücke einzuziehen waren. Diese Arbeit war nur von einer besonders leistungsfähigen Einziehwinde zu bewältigen. Beim Bau der Winde mußte darauf geachtet werden, daß alle Einzelteile trotz der starken Beanspruchung auf der Landstraße in Hitze und Kälte, bei Staub und Regen unbedingt zuverlässig arbeiteten, besonders da nur das auf der Landstraße erhältliche, ständig wechselnde, ungelernete Personal zur Bedienung verfügbar war. Um alle umständlichen Einstellvorrichtungen zu vermeiden, wurde die Leistung des Antriebsmotors so bemessen, daß die Zugkraft der Winde das Kabel auch beim langsamsten Gang nicht zerreißen konnte.

Die Einziehgeschwindigkeit war in Stufen veränderbar bis zur Höchstgeschwindigkeit von 12 m minutlich. Das Ein- oder Ausschalten des Getriebes erfolgte durch einfaches Umlegen eines Hebels. Eine Reibkupplung gewährleistete hierbei ein sanftes Einschalten des Seilzuges. Um das zeitraubende Umsetzen der Kabelwinde einzuschränken, wurde eine 500 m lange Seilführung vorgesehen. Unterhalb der Kabelwinde war ein Ausleger angebracht, der es ermöglichte, dies 500 m-Seil sowohl in der Fahrtrichtung als auch in entgegengesetzter Richtung zu benutzen. Hierdurch wurde erreicht, daß die 9 000 kg schwere Winde nur alle 1 000 m einmal umgesetzt zu werden brauchte. Wegen ihres großen Gewichtes hatte die Winde mit abgebremsten Rädern im allgemeinen eine genügende Standfestigkeit, zumal da die Radfedern durch Schraubspindeln ausgeschaltet werden konnten und zu noch größerer Sicherheit Rohrstützen sich an breite Eisenkeile anlegen konnten, die in die Erde eingeschlagen wurden (Abb. 6). Sobald

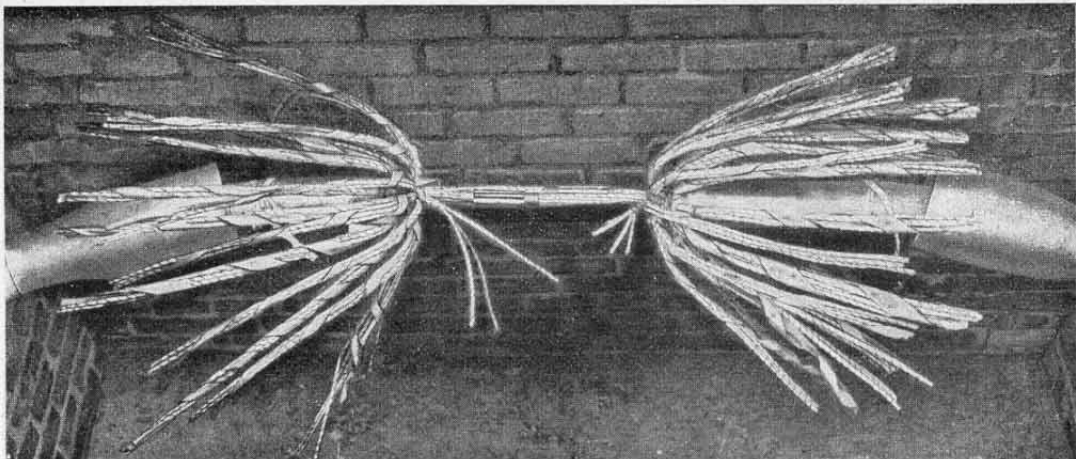


Abb. 8. Herstellung einer Verbindungsmuffe.

Die über die Brunnenöffnung geschobene Winde verankert war, konnte der Ausleger in die freie Brunnenöffnung hinuntergelassen und hier in seiner Seiten- und Höhenlage soweit verstellt werden, daß die Seilführungsrolle genau in der Nohrachse lag. Die sonst üblichen besonderen Führungsrollen brauchten daher für das Zugseil nicht in die Brunnen eingebaut zu werden.

Die Verständigung zwischen dem Windenführer und der Aufsicht an der Kabeltrommel (Abb. 7) geschah entweder durch akustische oder durch optische Signale.

Nach Beendigung der Einzieharbeiten schaltete man den Motor auf den Antrieb der Hinterradachse, und die Winde konnte, auf ebenen Straßen mit eigener Kraft fahrend, den Platz wechseln.

Einer besonderen Regelung bedurften die Spleißarbeiten, da von ihrer Zuverlässigkeit der Bestand der ganzen Anlage wesentlich abhängt. Vor Beginn der Arbeiten mußten die Kabelbrunnen gut getrocknet werden; dies war nicht immer leicht, da der Zementkanal infolge seiner Wasserdurchlässigkeit als Entwässerungsrohr wirkt. Besonders bei Beginn der Arbeiten, als man auf die Bewältigung eines großen Wasserandranges noch nicht eingerichtet war, machte die Trockenlegung der Brunnen recht große Schwierigkeiten. Später, als leistungsfähige Motorpumpen zur Verfügung standen, konnte auch bei Schneeschmelze bzw. in Überschwemmungsgebieten jeder Wasserandrang rasch und zuverlässig bewältigt werden, besonders nachdem alle freien Rohröffnungen durch konische Holzstopfen abgedichtet waren. Die wasserleer gepumpten Brunnen wurden durch Holzkohlenöfen gründlich ausgetrocknet und dann die Kabelenden in der üblichen Weise für die Spleißarbeit vorbereitet (Abb. 8). Die Verbindung der Adern erfolgte durch Kupfer-

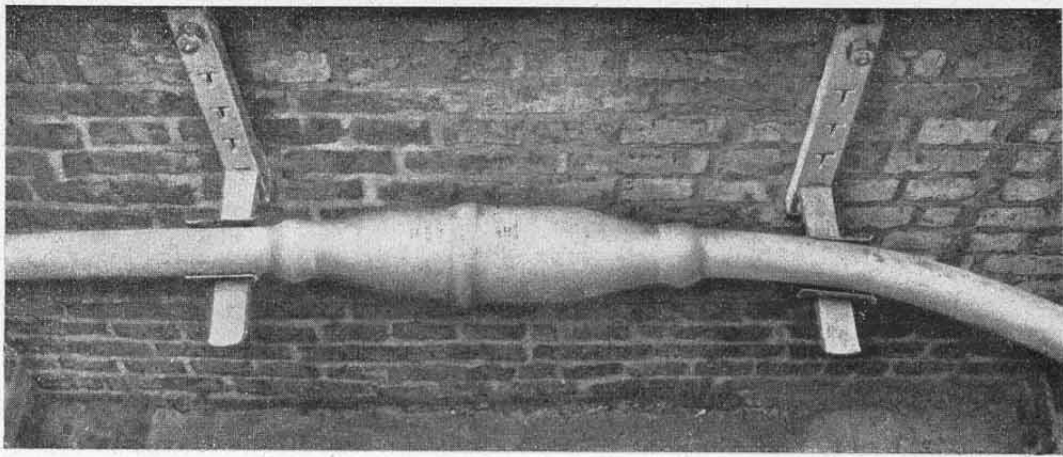


Abb. 9. Fertig verlötete Verbindungs-muffe.

röhrchen, die verlötet wurden. Besonders sorgfältig mußten hierbei die als Versuchsadern im Kabel vorhandenen Aluminiumadern behandelt werden. Auch diese wurden unter Verwendung eines besonderen Lotes mit dem Lötfolben verlötet. Die Isolierhüllen der einzelnen Adern des Kabels sind durch weiße, rote, blaue und grüne Fäden bzw. Papierbänder gekennzeichnet, die einzelnen Adervierer ihrerseits ebenfalls durch die gleichen vier Farben in abwechselnder Folge. Es konnten daher für alle diese Spleißarbeiten nur Löter verwendet werden, die nicht an Farbenblindheit leiden, besonders da die Unterscheidung der einzelnen Farben im künstlich beleuchteten Brunnen an und für sich nicht einfach, andererseits aber die unbedingt zuverlässige Verbindung der zusammengehörigen Adern für die zu erreichenden Nebensprechwerte von ausschlaggebender Bedeutung ist. Aus diesem Grunde wurde auch der Art der Brunnenbeleuchtung ganz besondere Sorgfalt geschenkt. Es wurden Versuche mit Acetylen-, mit Petroleum- und mit elektrischer Beleuchtung angestellt. Am besten für die Farbenunterscheidung ist unstreitig das elektrische Licht; leider ist der Transport der schweren Akkumulatoren nach der hierfür besonders zusammengestellten fahrbaren, mit Benzindynamo versehenen Ladestation und zurück derart umständlich und infolge des unvermeidlichen Bruchschadens derart teuer, daß die elektrische Beleuchtung nur anwendbar ist, wenn eine große Zahl von Kolonnen dicht beieinander arbeitet. Nach der ordnungsmäßigen Verlötung der zusammengehörigen Adern wurde die Lötstelle durch farbige Papierröhrchen isoliert. Die Vierer sind ebenfalls durch farbige Gruppenröhrchen zusammengehalten. Nach endgültiger Verlötung aller Adern wurde die noch offene Muffe gut getrocknet, mit Papier und Gummibändern dicht umwickelt und dann über sie eine Bleimuffe gelötet (Abb. 9). Zur größeren Sicherheit

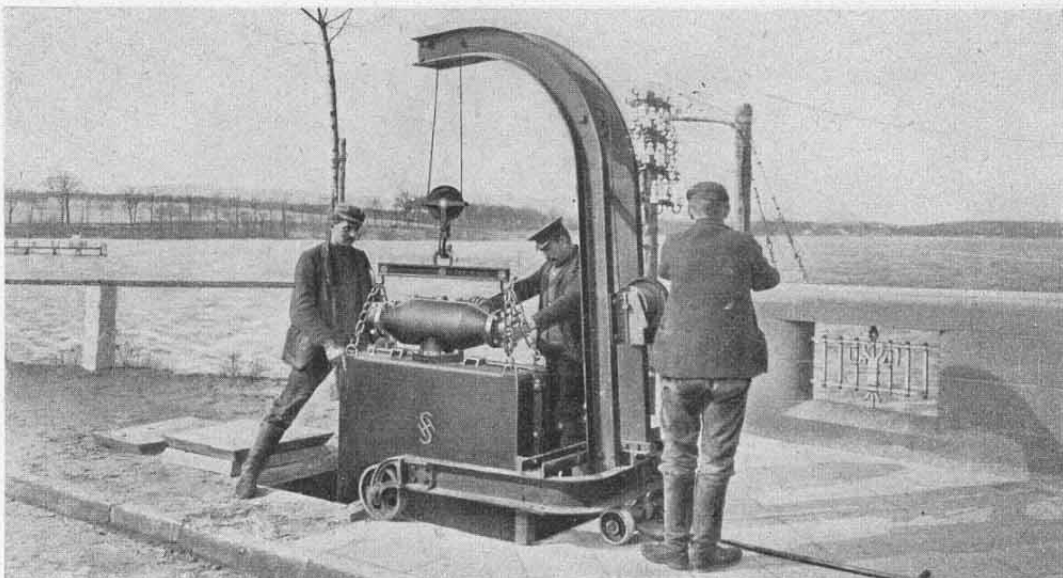


Abb. 10. Einsetzen eines Spulenkastens in den Brunnen.

wurde dann der Zwischenraum zwischen der Bleimuffe und den innenliegenden Gummibändern mit Isoliermasse ausgegossen. Der Muffenkern bleibt auf diese Weise ebenso luftdurchlässig wie das übrige Kabel.

Die Spulenkasten wurden, um eine besondere Transportkolonne zu sparen, möglichst schon vor Beginn der Spleißarbeit in die Brunnen hinabgelassen (Abb. 10). Um sie bei längerem Lagern in den Kabelbrunnen gegen das Eindringen von Feuchtigkeit zu schützen, wurde die Zinkmuffe von der Fabrik vollständig verlötet angeliefert und erst kurz vor Beginn der Spleißarbeiten aufgelötet. Die Einschaltung der Kasten in das Kabel geschah in ähnlicher Weise, wie bei den Verbindungsmuffen angegeben ist. Nach Spleißung aller Adern, Trocknung des Adernbündels und Verlötung der Zinkmuffe wurde die Eisenschutzmuffe aufgebracht (Abb. 11) und der Raum zwischen Zinkmuffe und Eisenmuffe mit asphaltähnlicher Masse vergossen. Der Einbau eines Spulenkastens erforderte etwa doppelt soviel Zeit wie die Herstellung einer Verbindungsmuffe.

Bei der großen Länge des Kabels war es notwendig, etwa alle 30 km Untersuchungsstellen einzubauen, um vorkommende Fehler schnell und sicher eingrenzen zu können. Die Bauart und Unterbringung dieser Untersuchungsstellen hat während der Bauzeit mehrfach gewechselt, bis es gelang, eine zuverlässige und den Betriebsbedürfnissen angepasste Lösung zu finden. Von Anfang an hatte man Apparate mit Ölisolation gewählt, da diese eine dauernd zuverlässige Isolation auch in feuchter Luft gewährleisten und somit sowohl in Kellern als auch in ungeheizten Räumen aufgestellt werden



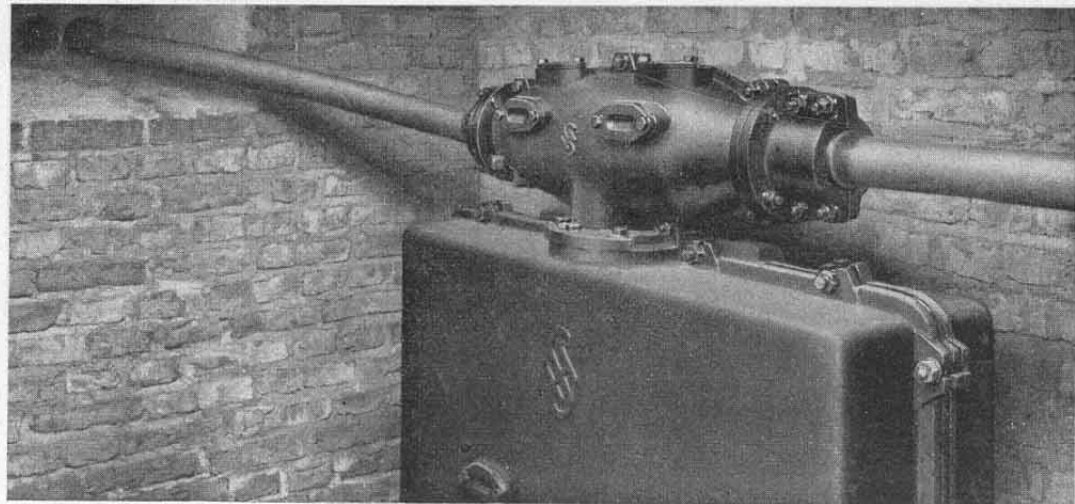


Abb. 11. Fertig eingebauter Pupinsspulenkasten.

können. Zunächst hatte man, um den vollständig unterirdischen Charakter der Kabelanlage zu wahren, die Untersuchungsstellen in Kabelbrunnen untergebracht. Als man aber bei den ersten Fehlerbeseitigungen im Jahre 1914 die Apparate benutzen wollte, stellte es sich heraus, daß diese Anordnung insofern nachteilig war, als bei Schneeschmelze die Kanäle voll Wasser standen und auch die Brunnen selbst bis zum Rande gefüllt waren. Da die Brunnen durch die Rohrkanäle Verbindung mit den Nachbarbrunnen haben, dauerte es einen vollen Tag, bis es gelang, den Wasserspiegel im Untersuchungsbrunnen soweit zu senken, daß mit den Messungen begonnen werden konnte. Ein derartiger Zeitverlust wäre bei der wirtschaftlichen Bedeutung der Anlage unerträglich. Alle Untersuchungsstellen wurden daher entweder in benachbarte Postanstalten gelegt oder in besonderen Häuschen untergebracht (Abb. 12). Auch die Art der Untersuchungsverbindungen wechselte im Laufe der Jahre mehrfach, bis es gelang, eine Anordnung zu finden, die auch ungeübtem Personal die Bedienung rasch und störungsfrei ermöglicht.

Da bei einem derart langen Fernsprechkabel die Beseitigung des störenden Nebensprechens von ausschlaggebender Bedeutung ist, wurde ein besonders sorgfältiger Meßdienst eingerichtet. Der Meßtrupp hatte die Aufgabe, besondere Spleißvorschriften aufzustellen, nach denen die Adern in den Verbindungsmuffen zu schalten waren. Ebenso wichtig wie die Aufstellung der Listen war naturgemäß die Prüfung, ob diese Vorschriften auch richtig ausgeführt worden waren. Während der ganzen Dauer der Spleiß-

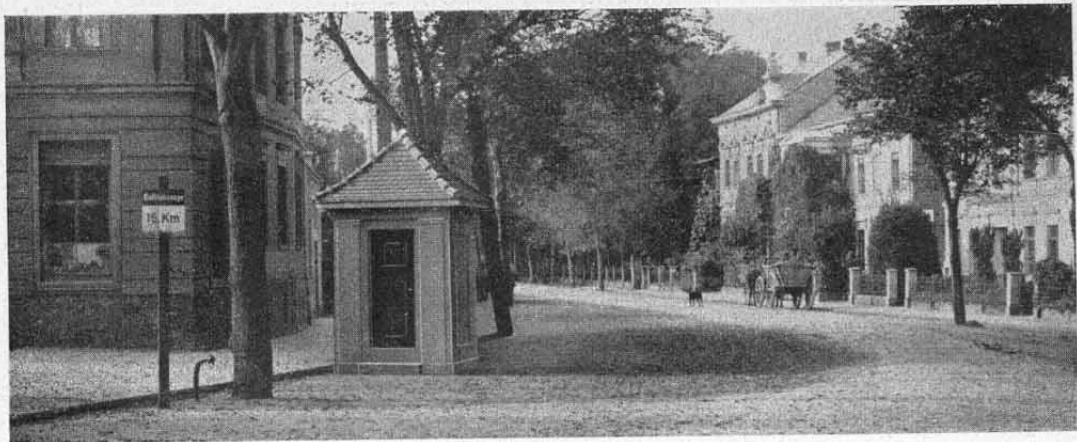


Abb. 12. Untersuchungshäuschen.

arbeiten wurden daher Überwachungsmessungen gemacht (Abb. 13). Alle Verbindungsmuffen eines Spulensfeldes wurden zu genau der gleichen Zeit hergestellt. Sofort nach Fertigstellung einer Lage Alderverbindungen wurde die Art der Verbindungen aller Muffen geprüft und erst bei Nichtigmeldung die nächste Lage in Angriff genommen. Nachdem alle Verbindungen in dem 1700 m langen Pupinspulensfeld in Ordnung befunden waren, wurden die Spulenkasten eingeschaltet, mehrere Spulensfelder zusammengefaßt und dann nochmals geprüft.

Sobald eine größere Strecke fertig gespleißt war, prüfte die Meßkolonne das Kabel mit Hilfe von Druckluft auf Dichtigkeit aller Längen und Verbindungsstellen. Dann wurde es zur Abnahme gestellt.

Im Baubüro selbst wurden alle Einzelheiten zusammenfassend geregelt. Hier wurden die Meßergebnisse zusammengestellt, die Unterlagen für die Statistik bearbeitet und vor allem die Lohnzahlungen vorbereitet. Da zeitweise bis zu 400 Menschen auf der Strecke beschäftigt waren, erforderte die Abrechnung naturgemäß viel Arbeit. Das notwendige Material mußte aus der Fabrik abgerufen bzw. ergänzt werden. Auch waren Instandsetzungsarbeiten am Wagenpark und Arbeitsgerät rechtzeitig vorzunehmen, um Stockungen in der Arbeit zu vermeiden.

Die erste Kabellänge, und zwar ein Flußkabel durch die Havel in Brandenburg, wurde im Spätherbst 1912 gelegt. Die Auslegungsarbeiten gingen zunächst von Brandenburg in der Richtung nach Berlin, dann aber von Brandenburg aus stets in westlicher Richtung vorwärts. Die erste Teilstrecke, Berlin-Magdeburg, war im August 1913 fertiggestellt, die zweite Teilstrecke, Magdeburg-Hannover, sollte etwa im



Abb. 13. Meß- und Prüfwagen.

September 1914 fertig sein. Als der Krieg ausbrach, fehlten nur noch wenige Kabel-längen. Sofort wurden alle irgendwie verfügbaren Kabel, gleichgültig welcher Aders-zahl und Aderstärke, zusammengeholt, in die Rohre eingezogen und durch vorläufige Verbindungsstellen miteinander verbunden. Bereits wenige Wochen nach Kriegsaus-bruch konnten wenigstens die wichtigsten Leitungen auf dieser Strecke in Betrieb ge-nommen werden. Allmählich wurden dann die behelfsmäßigen Kabel gegen die end-gültigen ausgewechselt.

Während des Krieges ruhte die Auslegung auf der ganzen Strecke. Sofort nach dem Umsturz sollte mit dem Weiterbau von Hannover aus begonnen werden, aber die Unsicherheit der politischen Lage und die Arbeitsunlust, die damals herrschten, machten dies lange Zeit hindurch unmöglich. Erst im Frühjahr 1920 gelang es, die Arbeiten wieder aufzunehmen, sie gingen aber zunächst immer noch sehr schleppend vorwärts. Die erforderlichen Arbeitskräfte zu beschaffen war damals eine schwierige Aufgabe, zumal da die Bevölkerung gegen diese, nur vorübergehend in der Ortschaft wohnenden Leute mehr als mißtrauisch war. Die noch bestehende Rationierung der Lebensmittel machte auch die Verpflegung eines derartigen Wanderbetriebes sehr schwierig. Die Verpflegungs-frage konnte nur durch Bereitstellung von Küchenwagen (Abb. 14) und durch Gewäh-rung besonderer Verpflegungszuschüsse gelöst werden.

Sobald eine Entspannung auf dem Lebensmittelmarkt eintrat, fand das Bereit-stellen von gemeinsamen Küchenwagen keinen rechten Anklang mehr; die Beschaffung gemeinsamer Schlafgelegenheiten, an die zeitweise auch gedacht war, wurde von vorn-herin mit großer Mehrheit als Eingriff in die persönliche Freiheit abgelehnt.

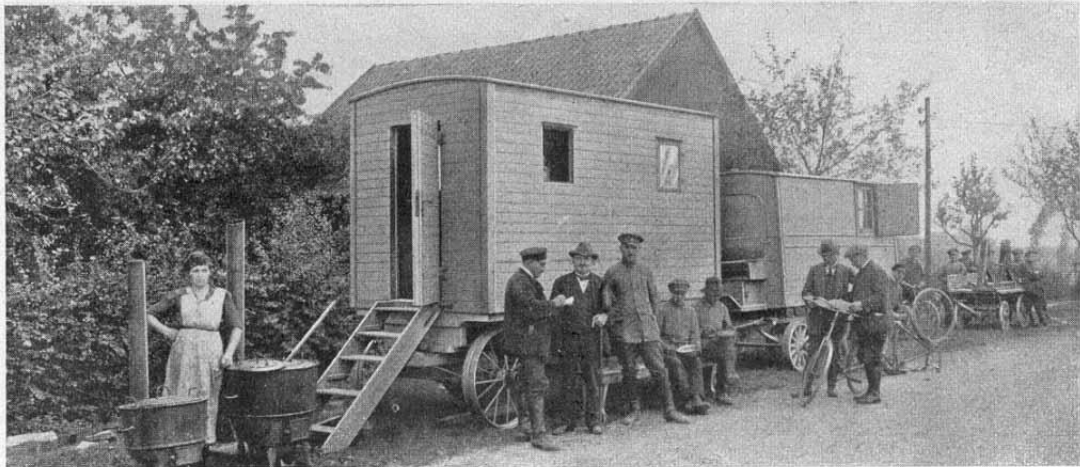


Abb. 14. Küchenwagen.

Nach Eintritt geordneter Verhältnisse gelang es, die Arbeiten wieder voll in Gang zu bringen und später auch Leistungen zu erzielen, die denen in der Vorkriegszeit nahe kamen. Die Höchstleistung wurde im Sommer 1921 erreicht, und zwar konnten bis zu 20 km Kabel in einer Woche verlegt werden.

Ebenso erfreulich wie diese allmähliche Leistungssteigerung ist auch die Anhänglichkeit, die ein großer Teil des Personals gezeigt hat. Obwohl bei den Auslegungsarbeiten von Montag früh bis Sonnabend abend ununterbrochen gearbeitet wurde, so daß bei dem regelmäßigen Schichtwechsel viel Nachtdienst vorkam, der auf der ungeschützten Landstraße große Anforderungen an jeden Beteiligten stellte, war doch bei Beendigung der Arbeiten zum Teil noch das gleiche Personal wie am Anfang beschäftigt. Ingenieure, Kraftfahrer, Spleißer und Hilfsarbeiter, die die erste Kabeltrommel 1912 in Brandenburg abgeladen und eingebaut hatten, haben auch 1921 die letzte Trommel am Rhein abgeladen und den letzten Endverschluß eingebaut und gemessen.





## Übersichtskarte des Rheinlandkabels

### Längenangaben

Berlin—Hannover	..... 300 km
Berlin—Dortmund	..... 513 ..
Berlin—Düsseldorf	..... 590 ..
Berlin—Köln	..... 602 ..

### Erläuterungen

a)	Kabel mit 52 Doppelladern	=	78	Stromkreisen
b)	"	"	71	"
c)	"	"	145	"
d)	"	"	166	"
e)	"	"	174	"