

Einfluss der Kabelkapazitäten auf die Fortpflanzung der Telephonströme

Autor(en): **Keller, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung = Bulletin technique / Administration des télégraphes et des téléphones suisses = Bollettino tecnico / Amministrazione dei telegrafi e dei telefoni svizzeri**

Band (Jahr): **1 (1923)**

Heft 1

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-873067>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Induktanzrolle an Stelle des Entladerelais ausgeführt worden. Die oscillographischen Aufnahmen ergaben folgendes Bild:

Der abgehende Strom wies bei gleicher Spannung ungefähr die dreifache Intensität auf als beim andern Entladesystem. Der ankommende Strom dagegen war trotz der stärkern Stromabgabe um 25% schwächer, weil ein erheblicher Teil des in die Leitung gesandten Stromes vom Induktanz-Neben-

schluss absorbiert wurde. — Die Verwendung von Induktanzrollen zur Kompensierung der Entladeströme übt demnach einen ungünstigen Einfluss auf die Zeichenbildung aus. Damit der ankommende Strom die zum Betriebe erforderliche Stärke erreicht, ist es nötig, mit einer wesentlich höheren Spannung zu arbeiten, trotzdem die Stromentnahme aus der Linienbatterie dreimal so gross ist als bei der Verwendung von Entladerelais.

Einfluss der Kabelkapazitäten auf die Fortpflanzung der Telephonströme.

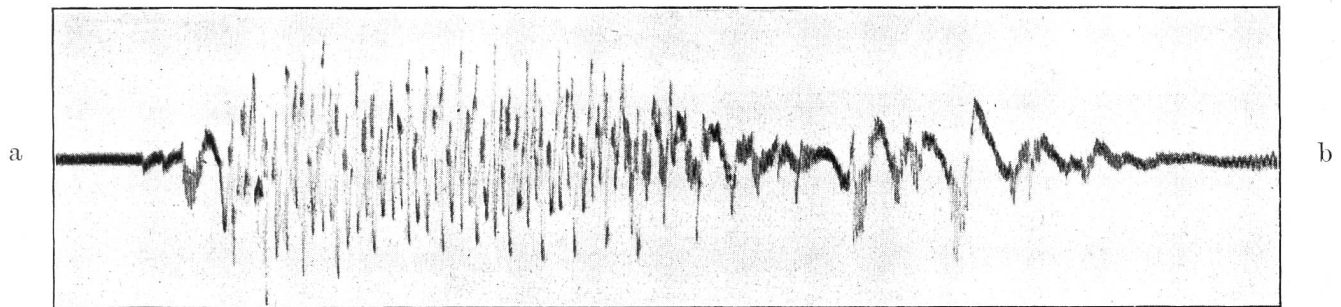
Von Dr. H. Keller, Bern.

Telephonströme sind komplizierte Wechselstromvorgänge, welche sich wellenartig über die Leitungen fortpflanzen. Da das Mikrophon die Sprache nur wenig verzerrt, stellen die hervorgebrachten Stromschwankungen ein ziemlich genaues Bild der Schall-schwingungen dar. Je nach Tonhöhe und Klangfarbe der Sprache zeigen diese Telephonströme bestimmte Formen und Periodenzahlen. Sie können mit Oszillographen sichtbar gemacht und photographiert werden. Da in allen Fällen verschiedenartige Wechselströme sich übereinander lagern, zeigen die

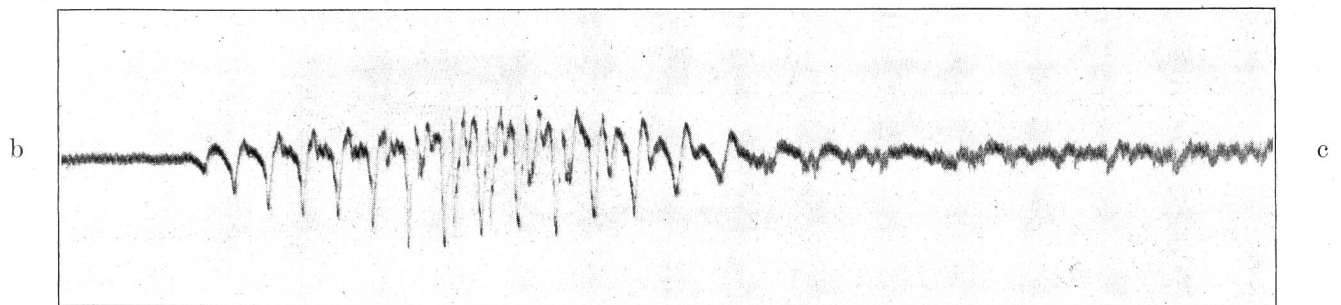
erhaltenen Oszillogramme einen sehr verwickelten Aufbau. Die wichtigsten dabei auftretenden Periodenzahlen liegen innerhalb der Grenzen 300 und 3000 Perioden pro Sek. Bei Kenntnis der Dauer der gesprochenen Worte können an Hand der Kurvenbilder alle darin vorkommenden Periodenzahlen herausgelesen werden. Die mittlere Periodenzahl liegt ungefähr bei 800. Abb. 1 zeigt eine photographische Aufnahme des Telephonstromes der übermittelten Worte: „Technische Mitteilungen“. Für deren Aussprache waren $1\frac{1}{2}$ Sekunden erforderlich.

Abbildung 1:

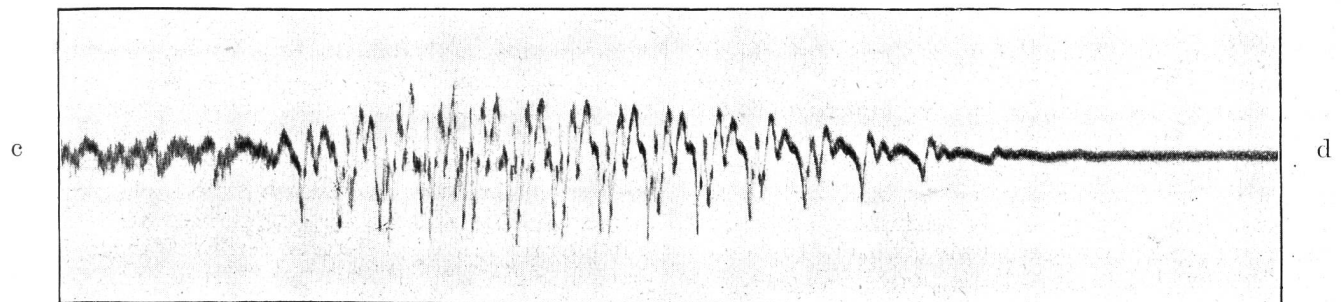
Tech-



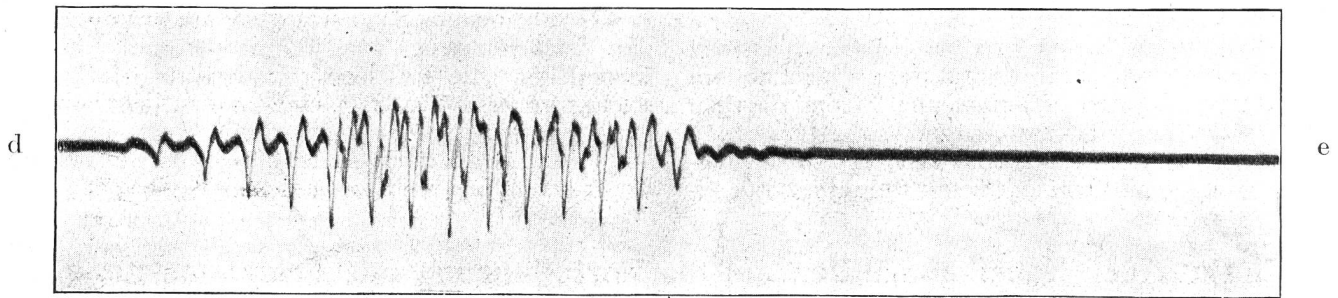
-nisch-



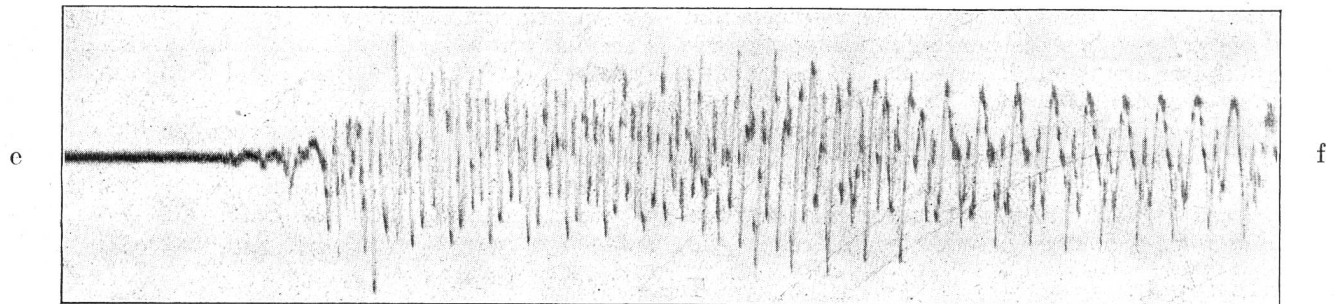
-sche



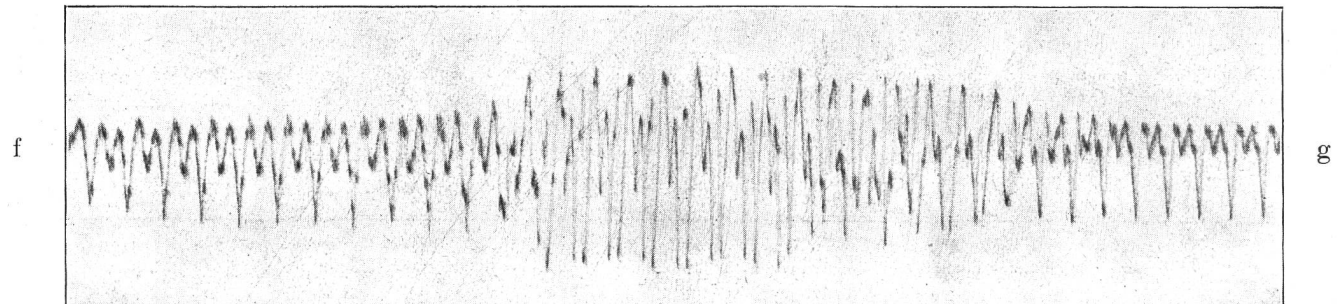
Mitt-



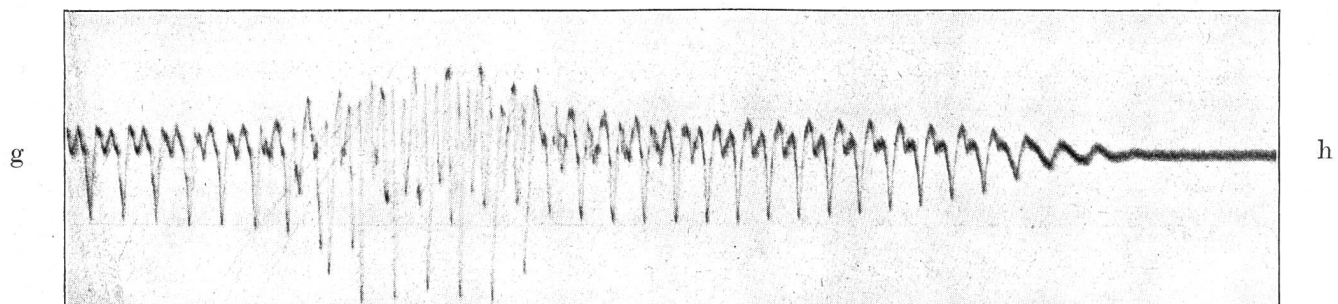
-ei-



-lung-



-ngen



Man kann der Kurve ohne weiteres entnehmen, dass man es hier mit Wechselstrom hoher Periodenzahl zu tun hat. Die Bilder der einzelnen Silben zeigen für den grössten Teil ihres Bereiches eine periodische Form. Bei der telephonischen Uebermittlung der Sprache handelt es sich um Uebertragung kleiner Energien. Je nach Empfindlichkeit der Hörer der Empfangsapparate genügen Leistungen von $0,1 \cdot 10^{-6}$ bis $15 \cdot 10^{-6}$ Watt, um die übermittelte

Sprache gut zu verstehen. Eine Reihe verschiedenartiger elektrischer Einflüsse, die im Wesen der betreffenden Leitung liegen, vor allem Leitungswiderstand, Kapazität, Wechselstromableitung, Selbstinduktion, bedingen einzeln oder in ihrer Wechselwirkung zueinander, dass die vom Mikrophon produzierte, ohnehin sehr kleine Energie der Sprachübermittlung nie in vollem Betrage den Empfangsapparat erreicht. Ein grosser Teil der Energie geht immer

längs der Leitung verloren. Diese Wirkung bedingt die Dämpfung in der Uebertragung. Zweck des Folgenden ist nun, in allgemein verständlicher Weise die dämpfende Wirkung der Leitungskapazität näher zu beschreiben.

Früher, als zur Uebertragung der Telephonströme ausschliesslich Freileitungen benützt wurden, kümmernte man sich wenig um die Theorie der Fortpflanzung der Telephonströme in den Leitungen. Man begnügte sich, jeweilen den Leitungs- und Isolationswiderstand festzustellen, und konnte in der Tat angenähert richtige Schlüsse ziehen über den Wirkungsgrad der Uebertragung. Man erblickte im Vorgang der Sprachübermittlung etwas ganz ähnliches wie die elektrische Kraftübertragung in der Starkstromtechnik, obschon beide Stromarten in bezug auf Leistung und eintretende Verluste, namentlich infolge der sehr verschiedenen Periodenzahlen, erheblich voneinander abweichen. Man wählte den Leitungswiderstand nach Möglichkeit gering, damit vom Wechselstromerzeuger, dem Mikrophon, ein möglichst grosser Strom durch die Leitung nach dem entfernten Ort fliessen konnte. Den einzigen Leitungsverlust, den man dabei erkannte, war die Energieabgabe längs der Leitung in Form von Stromwärme. Erst nach Einführung der Schwachstromkabel zur Uebermittlung der Sprechströme auf grössere Entfernungen erkannte man allgemein die Unzulänglichkeit der früheren Betrachtungsweise und folgte rasch dem Wege, der durch theoretische Berechnungen wohl vorbereitet war. Es stellte sich nämlich heraus, dass Sprechströme in Kabeln viel stärker gedämpft wurden, als auf Grund des Leitungs- und Isolationswiderstandes zu erwarten war. Ein Beispiel möge dies näher erläutern:

Wir wählen erstens eine Freileitung aus 3 mm starkem Bronzedraht. Für diese gelten die elektrischen Werte:

Leitungswiderstand der Schleife pro km: 5,0 Ohm
Kapazität pro km: 0,0054 Mikrofarad
Selbstinduktion pro km: 0,0023 Henry.

Beträgt die Schleifenlänge dieser Leitung 900 km, so kann am entfernten Ende der Sprechstrom praktisch gerade noch ausreichend den Hörer erregen. Die Dämpfung beträgt hier in technischem Mass $\beta l = 3$.

Nun wählen wir zweitens für die Fortleitung des Sprechstromes ein interurbanes Kabel mit Papierisolation mit Kupferleitern von 1,8 mm Durchmesser. Für dieses Kabel gelten die elektrischen Werte:

Leitungswiderstand pro km: 13,6 Ohm
Kapazität pro km: 0,0465 Mikrofarad
Selbstinduktion pro km: 0,00065 Henry.

Bei Vernachlässigung der Kapazität ist auf Grund des Leitungswiderstandes und unter Berücksichtigung der Reichweite der obenerwähnten Freileitung zu erwarten, dass der Sprechstrom im Kabel eine Strecke von $900 \frac{5}{13,6} = 330$ km überwinden könne,

bis dieselbe Dämpfung ($\beta l = 3$) auftritt. Infolge der Wirkung der Kapazität der Kabeladern wird aber diese Dämpfung schon nach Durcheilen der Strecke von 79 km erreicht. Mit Hilfe von Freileitungen können wir in der Tat Sprechströme über grössere Strecken transportieren, als mit Hilfe von gewöhnlichen Kabeln.

βl ist das technische Mass für die Dämpfung. Ueber die Bedeutung dieser Grösse können wir uns durch folgende Entwicklung Klarheit verschaffen. Angenommen, man schicke einen Sprechstrom durch irgendeine Leitung. Nach Durcheilen einer Strecke von 1 km hat der Strom schon einen Teil seiner Energie verloren. Die Stromstärke, die am Anfang der Leitung J_0 betrug, hat sich um einen gewissen

Betrag verringert und sei nur noch $J_1 = \frac{J_0}{a}$, somit $a = \frac{J_0}{J_1}$. Die Zahl a , die stets grösser ist als 1, gibt

an, um wie vielmal kleiner der ankommende als der abgehende Strom ist für eine Leitungslänge von 1 km. Am Ende des zweiten Kilometers ist die Stromstärke $J_2 = \frac{J_1}{a} = \frac{J_0}{a^2}$, nach l Kilometern $J_l = \frac{J_0}{a^l}$, somit

$$a^l = \frac{J_0}{J_l}$$

a^l nennt man die räumliche Dämpfung der Stromstärke. Sie gibt die Verhältniszahl der Stromstärken am Anfang und am Ende der l km langen Leitung. Es hat sich als bequem herausgestellt, statt die Dämpfung in a^l anzugeben, nur den natürlichen Logarithmus dieser Zahl zu nennen. Die Dämpfungswerte können auf diese Weise durch eine bedeutend kleinere Zahlenreihe ausgedrückt werden. Jeder Zahl a können wir die Form geben $a = e^\beta$, wo $e = 2,718$ die Basis der natürlichen Logarithmen und β der zugehörige Exponent oder Logarithmus ist. a^l wird in dieser mathematischen Ausdrucksweise $a^l = e^{\beta l}$. Man nennt die Grösse β die räumliche Dämpfungskonstante oder Dämpfungszahl pro km und βl die Dämpfungszahl für die l km lange Leitung. In unserm Beispiel für eine 900 km lange Freileitung und für ein 79 km langes Kabel, für welche $\beta l = 3$ beträgt, haben wir daher folgende Beziehung von Anfangs- zur Endstromstärke:

$$\frac{J_0}{J_l} = e^{\beta l} = 2,718^3 = 20,$$

d. h. nur ein Zwanzigstel des vom Mikrophon erzeugten Sprechstromes erreicht den Hörer am Ende der Leitung. Tabelle 1, welche eine Gegenüberstellung einiger Dämpfungswerte βl zu den entsprechenden Verhältniszahlen $\frac{J_0}{J_l}$ gibt, möge den Zusammenhang dieser Zahlen veranschaulichen. *)

*) Gilt unter der Voraussetzung, dass die Fernsprechleitung am Ende über einen der Charakteristik Z der Leitung entsprechenden Widerstand geschlossen ist.

Tabelle 1:

βl	$\frac{J_0}{J_l}$
0	1
1	2,73
2	7,42
3	20,15
4	55,0
5	148
6	408
7	1 110
8	3 025
9	8 240
10	22 400
11	60 400

Jede Doppelleitung in einem Kabel stellt uns im Grunde nichts anderes dar als einen Kondensator. Die beiden Drähte sind die Belegungen, die Papierisolation der Adern und dazwischenliegende Luftschichten bilden das Dielektrikum. Infolge der grossen Längen der Kabel und der relativ sehr kleinen Abstände von Ader zu Ader besitzen diese Kondensatoren erhebliche Kapazität. Wir können daher die isolierte Leitung mit Hilfe einer Gleichstromquelle mit einer beträchtlichen Elektrizitätsmenge aufladen, den a-Draht beispielsweise positiv, den b-Draht negativ. Schliessen wir nachher diesen geladenen Kondensator über ein Galvanometer, so gleichen sich die Ladungen durch das Instrument als Stromstoss aus und die anfänglich aufgespeicherte elektrische Energie geht verloren. Der Ausschlag im Galvanometer wird um so grösser, je grösser die kilometrische Kapazität, je länger das Kabel und je höher die angelegte Spannung war. Zur Vereinfachung des Folgenden setzen wir noch voraus, dass die Induktivität der Leitung so gering sei, dass wir sie vernachlässigen können, ebenso die Ableitung. Wir haben in diesem Falle nur noch den Leitungswiderstand und die Kapazität zu berücksichtigen. Die Auffassung wird noch wesentlich erleichtert, wenn wir uns an Stelle einer natürlichen Kabelleitung, wo die Kapazität über die ganze Länge der Leitung gleichmässig verteilt ist, ein künstliches Kabel denken, wo die Kapazität nur in einzelnen Punkten, beispielsweise in der Mitte jedes einzelnen Kilometers, in Form eines Kondensators eingeschaltet wird. Wir können auf diese Weise mit kleinen Widerstandsspulen und Kondensatoren ein beliebig langes Kabel kilometerweise künstlich nachbilden und die Widerstände und Kondensatoren so

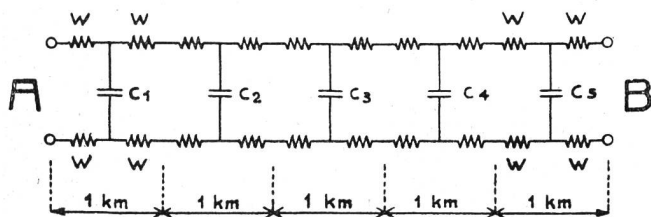


Abbildung 2:

bemessen, dass die künstliche Leitung gleich viel Widerstand und Kapazität erhält wie die natürliche Kabelleitung. Wenn wir das oben erwähnte inter-

urbane Kabel mit 1,8 mm Kupferleitern auf diese Weise durch eine Kunstleitung ersetzen, erhalten wir ein Leitungsgebilde nach Abb. 2, wobei c_1, c_2, c_3, c_4 usw. Kondensatoren von je 0,046 Mikrofarad und w Widerstände von 3,4 Ohm sind. Der kilometrische Schleifenwiderstand ist gleich $4w$ oder 13,6 Ohm. A bedeutet Anfang und B Ende der Leitung.

An Hand dieser künstlichen Leitung wollen wir nun klarlegen, warum am Empfangsort ein Wechselstrom grosser Periodenzahl (Sprechstrom) nur stark gedämpft ankommen kann. In A werde gesprochen, in B sei der Hörer eingeschaltet. Parallel zum Empfangsapparat in B liegen die Kondensatoren c_1, c_2, c_3 usw. mit ihren kapazitiven Widerständen $\frac{1}{\omega c_1}, \frac{1}{\omega c_2}, \frac{1}{\omega c_3}$ usw. Es existieren somit so viele Neben-

schlüsse zum Empfangsapparat in B als Kondensatoren in die Leitung eingeschaltet sind. Je länger die Leitung ist, um so mehr Nebenschlüsse treten auf. Der grösste Teil des Sprechstromes wird daher nicht den weiten Weg durch alle die Widerstände w einschlagen, sondern sich durch die einzelnen Kondensatoren verzweigen, die ja gegen Wechselstrom nicht vollkommen abriegeln. Durch diese Nebenschlussstromkreise fliessen Ströme i_1, i_2, i_3 usw., die den Empfangsapparat nicht erreichen und somit nutzlos Sprechstromenergie aufzehren. Nur ein kleiner Teil des Stromes gelangt zum Empfangsapparat. Aus der Formel für den kapazitiven Widerstand $\frac{1}{\omega c}$ jedes einzelnen Kondensators c , wo ω die Kreisfrequenz ($2\pi \times$ Periodenzahl) und c die Kapazität des Kondensators in Farad bedeutet, geht ohne weiteres hervor, dass der Widerstand für die durchtretenden Wechselströme i am kleinsten sein wird, wenn ω eine sehr grosse Zahl ist. Mithin werden die Nebenschlussströme i_1, i_2, i_3 usw. für die Wechselströme hoher Periodenzahl grösser werden als für diejenigen niedrigerer Schwingungszahl. Daraus resultiert, dass die Wechselströme hoher Periodenzahl im Kabel stärker gedämpft werden. Es verbleibt somit ein kleinerer Nutzstrom für die hohen Obertöne in den Sprechlauten. Die hohen Tonnuancen der Sprache werden durch das Kabel schlechter übermittelt als die tiefen Grundtöne. Man vergleiche Abb. 1. Die kleinsten Zacken des Kurvenbildes sind die übermittelten hohen Töne. Der ankommende Wechselstrom würde daher bei Verwendung der Kabelleitung ein verändertes Kurvenbild ergeben, der Art, dass diese kleinen Zacken mehr oder weniger verschwinden und nur die grossen Kurvenzüge erhalten bleiben. Die Kurven verflachen, und im angelegten Hörer des Empfangsapparates wird ein veränderter Ton wahrgenommen, weil die ursprünglich vorhandenen Obertöne fehlen. In der Tat klingt die Sprache über eine Freileitung, welche stets nur kleine Leitungskapazität besitzt, heller und klarer, über eine gewöhnliche Kabelleitung dumpfer und verschwommener (Kabelton). Man nennt diese Erscheinung die Verzerrung der Telefonströme.

Der Einfluss der Kabelkapazitäten auf die Fortpflanzung der Telefonströme kann noch in einer

anderen Darstellungsweise anschaulich gemacht werden. Denken wir uns bei A an die künstliche Leitung (Abb. 2) eine Gleichstromquelle angeschlossen, mit dem positiven Pol beispielsweise am oberen Leiter, während am Ende der Leitung bei B ein Empfangsapparat eingeschaltet sei, so fliesst ein Strom in der Richtung von A nach B durch den oberen Leiter und in Richtung von B nach A im unteren Leiter. Die Spannung zwischen den Drähten ist in der Nähe der Stromquelle am höchsten und nimmt kontinuierlich ab, je weiter wir uns von der Stromquelle entfernen. Die Spannung ist am kleinsten am Ende der Leitung, d. h. an den Klemmen des Empfangsapparates. Die mit c_1 , c_2 , c_3 usw. bezeichneten Kondensatoren nehmen daher, gemäss den herrschenden Spannungen, bestimmte elektrische Energien auf. Wir denken uns nun die Stromquelle veränderlich, und zwar so, dass die EMK vom Maximum abnimmt, bis der Wert Null erreicht ist. Damit sinkt auch die Spannung an den einzelnen Kondensatoren vom ursprünglich bestehenden Wert bis auf Null. Die elektrische Energie, die in den einzelnen Kondensatoren aufgespeichert war, wird nun frei und jeder Kondensator schickt seine Ladungen nach beiden Seiten über die Leiter. Diese Entladeströme heben sich teilweise gegenseitig auf, der Rest geht

in der Leitung als Joule'sche Wärme verloren. Steigt nun die Spannung in umgekehrter Richtung wieder an, so laden sich die Kondensatoren in umgekehrtem Sinne. Die aufgespeicherte Energie wird wiederum ausschliesslich von der Stromquelle geliefert, wobei noch in Betracht fällt, dass durch die Leitung bis zu den Kondensatoren Verluste durch die Widerstände W auftreten. Somit muss bei Anlegen einer Wechselstromquelle an die Kabelleitung die elektrische Energie, die die Kondensatoren erhalten, immer von der Stromquelle mit den erwähnten Verlusten aufgebracht werden. Diese Ladungsenergie geht bei jedem Wechsel der Stromrichtung im Kabel nutzlos verloren. (Bei 800 Perioden 1600mal pro Sek.) Die ankommende Energie im Empfangsapparat ist daher kleiner als die produzierte Energie der Stromquelle.

In einer folgenden Abhandlung über das Wesen der Pupinisierung von Kabeln soll gezeigt werden, wie diese schädlichen Wirkungen der Kabelkapazitäten zum Teil kompensiert werden können. In der Tat ermöglichen solche mit Induktionsspulen versehene Pupinkabel, die Telephonströme über grössere Strecken zu senden als bei Verwendung gewöhnlicher Kabelleitungen.

Das Welttelegraphendenkmal in Bern.

Von E. Eichenberger.

A. Geschichtliches.

Im Jahr 1908 fand in Lissabon der zehnte internationale Telegraphenkongress statt. In der Schluss-sitzung vom 11. Juni machte der Vorsitzende, Herr Alfredo Pereira, Generaldirektor des portugiesischen Post- und Telegraphenwesens, den Vorschlag, es sei im Jahre 1915 ein Welttelegraphendenkmal in Paris zu errichten zur Erinnerung an die fünfzig-jährige Tätigkeit des Welttelegraphenvereins. Für die Erstellung des Kunstwerkes sei ein Betrag von höchstens 200,000 Franken in Aussicht zu nehmen.

Der Vertreter Frankreichs, Herr Unterstaatssekretär Simyan, verdankte diese Anregung, schlug aber als Standort des Denkmals *Bern* vor, wo eben das Weltpostdenkmal errichtet werde. Es sei vorzuziehen, die beiden Kunstwerke am gleichen Orte aufzustellen. Der so abgeänderte Vorschlag wurde von der Versammlung einstimmig gutgeheissen. Im Namen des Bundesrates verdankte der schweizerische Vertreter, Herr Obertelegraphendirektor Vanoni, die Ehre, die der Schweiz mit diesem Beschlusse zuteil geworden war.

Im Sommer 1909 ernannte der Bundesrat ein internationales Preisgericht, dem die Aufgabe zufiel, unter den von der Stadt Bern zur Verfügung gestellten Plätzen den passendsten auszuwählen, einen Wettbewerb unter den Künstlern der ganzen Welt zu veranstalten und die einlaufenden Entwürfe zu beurteilen. Das Preisgericht, das unter dem Vorsitz

von Herrn Architekt Jost aus Lausanne seines Amtes waltete, setzte sich aus den hervorragendsten Sachverständigen Europas zusammen. Es arbeitete für den Wettbewerb ein Reglement aus, das folgende Hauptbestimmungen enthielt:

Das Denkmal soll die Gründung des Welttelegraphenvereins klar zum Ausdruck bringen; es ist auf dem Helvetiaplatz in Bern aufzustellen. Am Wettbewerb können alle Künstler der Welt teilnehmen, ohne Rücksicht auf ihre Volkszugehörigkeit oder ihren Wohnsitz. Das Preisgericht verfügt über einen Betrag von 20,000 Franken, der zur Ausrichtung von Preisen bestimmt ist. Der höchste Preis kann die Summe von 8000 Franken erreichen. Keinen Preis erhält der Künstler, dem die Ausführung des Denkmals übertragen wird. Die Erstellungskosten des Kunstwerkes sollen den Betrag von 170,000 Franken nicht übersteigen.

Auf diese Ausschreibung hin gingen 92 Entwürfe ein.

Nach langen Beratungen und nach mehrmaliger Sichtung der Modelle kam das Preisgericht zum Schlusse, dass keiner der eingelangten Entwürfe zur Ausführung empfohlen werden könne. Dem Bundesrate sei eine zweite Ausschreibung zu beantragen, die durch allgemeine Bekanntgabe der Bedingungen auf breitere Grundlage zu stellen sei.

Tatsächlich hatte die zweite Ausschreibung noch grösseren Erfolg als die erste. Es liefen 106 Entwürfe