Schweizerische Krarup-Telephon-Kabel

Autor(en): **Schild, K.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **81/82 (1923)**

Heft 10

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-38875

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

INHALT: Schweizerische Krarup-Telephon-Kabel. — Segelflug und Flugzeug-Bautechnik. — Wettbewerb für ein städtisches Gymnasium auf dem Kirchenfeld in Bern. — Zur Eröffnung des elektrischen Betriebes Zürich-Gotthard-Chiasso. — Miscellanea: Die neue Sitterbrücke bei Bruggen. Ueber die Schweissung der grossen Bronzeglocke des Berliner Domes. Schweizerische Zentralstelle für Ausstellungswesen. Ausfuhr elektrischer Energie. Eidgenössische Technische Hochschule. Kommission für Ausfuhr elektrischer Energie. Die Wasserkräfte Frankreichs. — Konkurrenzen: Gebäude für das internationale Arbeitsamt in Genf. Ausgestaltung der „Place de l'Ours" in Lausanne. Kornhausbrücke über die Limmat in Zürich. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein. Société Genevoise des ingénieurs et des architectes. Sektion Bern des S. I. A. Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. Maschineningenieur-Gruppe Zürich der G. E. P. S. T. S.

Band 81. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 10.

Schweizerische Krarup-Telephon-Kabel.

Von Dr. *K. Schild*, Bern, Privatdozent an der E. T. H. Zürich.[1])

Im Jahre 1913 hat die schweizerische Telegraphen-Verwaltung ein Telegraphen- und Telephonkabel zwischen Kandersteg und Goppenstein (Lötschbergkabel) und etwa fünf Jahre später ein Telephonkabel zwischen den Städten Zürich und Basel dem Betriebe übergeben. Unseres Wissens sind über diese bedeutenderen Kabel, die beide Erzeugnisse schweizerischer Fabriken sind, bisher keine Veröffentlichungen erfolgt. Einige Angaben über ihre Konstruktion und elektrischen Eigenschaften dürften deshalb von Interesse sein.

Man weiss, dass bei der Prüfung von Telephon-Leitungen vor allem die betriebsmässigen Sprechversuche eine hervorragende Rolle spielen. Daneben sind aber auch Gleich- und namentlich Wechselstrom-Messungen von Bedeutung, diese letztern deshalb, weil sie, wenn komplett durchgeführt, für alle charakteristischen Eigenschaften der Sprechkreise einen klaren, präzisen, ziffernmässigen Ausdruck liefern und so eine umfassende Beurteilung aller wichtigen, mit der Lautübertragung zusammenhängenden Fragen ermöglichen. Das zu diesem Ziel führende Messverfahren ist bekannt, indem es seit etwa 20 Jahren in der Literatur recht ausgiebig behandelt worden ist.[2]) Nicht dasselbe kann von den Berechnungsbeispielen gesagt werden, die sich in der Literatur nur spärlich und selten in kompletter Ausführung vorfinden. Da es bekannt ist, dass die Ausführung derartiger Berechnungen dem Anfänger oft etliche Schwierigkeiten bereitet, hielten wir es für anzeigt, den Berichten über die zwei schweizerischen Telephonkabel ein solches Beispiel in möglichst vollständiger Darstellung beizufügen.

Das Lötschbergkabel 1913.

Das im Jahre 1913 durch den rd. 14600 m langen Lötschbergtunnel gelegte Kabel ist ein kombiniertes Telegraphen- und Telephonkabel von 23,1 km Länge. Seine Telephonadern sind, analog wie bei dem seit 1906 im Betriebe stehenden und von den Felten & Guilleaume-Werken, Mülheim am Rhein stammenden Simplon-Kabel, nach dem Krarup-Verfahren mit Eisendraht umsponnen.[3]) Da die Terrain-Verhältnisse auf der Südseite des Lötschbergtunnels für eine oberirdische Linie ungünstig sind, wurde das Kabel bis nach dem rd. 6 km entfernten Goppenstein weitergeführt, woselbst erst die Ueberführung auf Freileitungen erfolgt; das andere Kabelende befindet sich dicht vor dem nördlichen Tunnelausgang in Kandersteg.

Die schweizerische Telegraphenverwaltung übergab seinerzeit die Lieferung des Kabels den beiden bekannten schweizerischen Kabelfabriken Aubert, Grenier & Cie. in Cossonay und Société d'exploitation des câbles système Berthoud-Borel in Cortaillod. Die Erteilung des Lieferungsauftrages erfolgte auf Grund eines Pflichtenheftes, aus dem wir folgende Bestimmungen über Beschaffenheit und elektrische Eigenschaften anführen:

Das Kabel ist in rd. 900 bis 1100 m langen Teilstücken zu liefern und soll enthalten: Für *Telephonbetrieb* acht Aderpaare aus 1,8 mm dicken, massiven Kupferadern, versehen mit einer Eisendrahtumspinnung nach System Krarup. Der Eisendraht soll sehr weich sein und eine Dicke von 0,3 mm haben. Zur Kennzeichnung ist in jedem Paare die eine Ader zu verzinnen. — Für *Telegraphenbetrieb:* Zwei Aderpaare gleicher Beschaffenheit wie die Telephonadern, jedoch ohne Eisendrahtumspinnung. — Alle Adern sind mit Papier bester Qualität unter Bildung von Lufträumen zu isolieren, je zwei solcher Adern miteinander zu verseilen und mit einem gemeinschaftlichen Papierband zu umwickeln. Die so hergestellten Paare sind in konzentrischen Lagen anzuordnen. In jeder Lage sollen zwei aufeinanderfolgende Paare zu Zählzwecken durch verschiedenfarbiges Papier gekennzeichnet sein. Das ganze Drahtbündel ist mit einer Umhüllung aus Baumwollband zu versehen und dann mit einem festanliegenden und luftdichten Bleimantel von etwa 3 mm Dicke zu umpressen. Zur Herstellung des letzteren darf nur reines Blei mit einem Zusatz von 3 % Zinn verwendet werden. Ueber dem Bleimantel folgen als weitere Schutzschichten zwei mit Asphalt getränkte Papierbänder, eine ebenfalls asphaltierte Umwicklung aus Jutegarn, dann eine Armatur aus Flacheisendraht und als äusserste Hülle nochmals zwei Lagen aus asphaltierter Jute.

Abbildung 1 zeigt die Konstruktion, die die Lieferfirmen auf Grund der Vorschriften dem Kabel gegeben haben. Die beiden Telegraphen-Aderpaare bilden den Kern und die acht Telephon-Doppeladern die äussere Lage. Der Durchmesser des Kabels beträgt über Blei gemessen 34 mm, über Armatur gemessen ungefähr 42 mm.

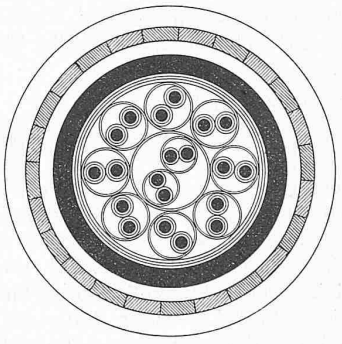


Abb. 1. Lötschberg-Telephonkabel, Querschnitt 1 : 1.

Betreffs der elektrischen Eigenschaften und Güte der Lautübertragung leisteten die Lieferfirmen im wesentlichen folgende Garantien: Telegraphierströme vom 60 Milliamp. im Max. dürfen auf den Telephonschleifen nicht hörbar sein. Ferner soll die spezifische Dämpfung der Sprechkreise den Wert $\beta = 0{,}022$ nicht überschreiten.

Hinsichtlich der Art der Verlegung des Kabels sei angeführt, dass es über seine ganze Länge hin in einem Kanal aus Zoreseisen ruht. Sämtliche Verbindungsmuffen sind so konstruiert, dass eine offene Verbindung, d. h. ein durchgehender Luftraum zwischen den einzelnen Teillängen besteht. Man wollte sich dadurch die Möglichkeit sichern, allfällig eindringende Feuchtigkeit durch streckenweises Durchblasen trockener Luft zu entfernen.

Die Abnahmeprüfungen ergaben, dass die Lieferungs-Vorschriften in allen wesentlichen Punkten erfüllt waren. Wir lassen einige der hauptsächlichsten Ergebnisse folgen:

Der Gleichstromwiderstand hatte für alle Aderpaare im Mittel den Wert 13,0 Ohm/km. Die gegenseitige Kapazität betrug für die Telegraphen-Aderpaare 0,0313, für die krarupierten Schleifen 0,0417 mf/km. Ferner stellte sich der Isolationswiderstand der Einzeladern, gemessen gegen alle übrigen und den Bleimantel, im Mittel auf rd. 10000 Megohm/km.

Die Prüfung mit Wechselstrom erfolgte mittels der Wheatstone'schen Brücke und einer Siemens'schen Hochfrequenzmaschine kleinen Modells. Nachstehend sind die Ergebnisse für je ein Telephon- und ein Telegraphen-Ader-

[1]) Ehemals Chef des Bureau für elektrotechnische Versuche und Materialprüfungen der schweizerischen Obertelegraphendirektion. *Red.*

[2]) *F. Breisig*, E. T. Z. 1899, Seite 192. *F. Breisig*, Theoretische Telegraphie von 1910, Seite 280. *Devaux-Charbonnel*, Lumière électrique 1909, Heft 24 bis 32.

[3]) *Vanoni*, Journal Télégraphique 1906, Seite 80. *Di Pirro*, Journal Télégraphique 1907, Seite 4.

paar zusammengestellt. Bei Wechselstrom mit einer Kreisfrequenz von 6220 (990 Perioden) wurde erhalten:

	Gewöhnl. Paar	Krarupiertes Paar
Wellenwiderst. (Charakterist.) Z:	$265.e^{-j35°31'}$	$487.e^{-j6°41'}$
Dämpfungsexponent βl:	0,699	0,349
Spezifische Dämpfung β:	0,0303	0,0151
Leitungswiderstand pro km:	12,93 Ω	14,40 Ω
Selbstinduktion pro km:	0,00069 H	0,00962 H
Gegenseitige Kapazität pro km:	0,0311 mf	0,0418 mf
Ableitung pro km:	etwa $1{,}5 \cdot 10^{-6}$	$1{,}3 \cdot 10^{-6}$

Da die nicht „krarupierten" Aderpaare für den Telegraphen-Verkehr bestimmt sind, so hätte die Untersuchung mit Wechselstrom für sie eigentlich unterbleiben können. Es bot sich aber hier eine ausgezeichnete Gelegenheit, den Einfluss einer Krarup-Umspinnung auf die Leitungs-Konstanten zu prüfen. Es geht unter anderm aus obiger Tabelle hervor, dass der Erfolg der Krarupierung in einer Herabsetzung der Dämpfung um rd. 50 % besteht.

Durch Sprechversuche wurde festgestellt, dass das Kabel sowohl für sich allein, als auch in Verbindung mit den hier in Frage kommenden Freileitungen und andern Kabeln eine vorzügliche Sprechverständigung ergab. Ein Abhören der telegraphischen Zeichen war auf den Telephon-Aderpaaren erst möglich nach beträchtlicher Ueberschreitung der normalen Telegraphierstromstärke, nämlich erst von etwa 70 Milliamp. ab. Dagegen zeigten alle Aderpaare etwas Starkstromgeräusch, herrührend von der elektrisch betriebenen Lötschbergbahn (15000 Volt, 16 Perioden). Das Kabel ist fast über seine ganze Länge hin (rd. 23 km) im Fahrdamm dieser Bahn verlegt, sodass eine Beeinflussung zu erwarten war. Es kann aber gesagt werden, dass normalerweise, d. h., wenn sowohl die Bahnanlage als auch das Kabel sich in gutem Zustande befanden, die festgestellten Geräusche nur so leise hörbar waren, dass von einer Beeinträchtigung der Sprechverständigung nicht die Rede sein konnte. Es gelang übrigens, durch nachträglich vorgenommene leitende Verbindung aller Einzelstücke des Zoreskanals, das an sich schon schwache Geräusch noch zu vermindern.

Das Telephonkabel Zürich-Basel.

Die unterirdische Führung von Sprechleitungen bietet wie bekannt gegenüber Freileitungen viele Vorteile dar. Es sei bloss darauf hingewiesen, dass ein Telephonkabel, weil sicher im Erdboden ruhend, allen störenden atmosphärischen Einwirkungen, wie Schäden durch Sturm, durch Schnee- und Winddruck, den durch Regen, Nebel und Schnee herbeigeführten Ableitungen usw. vollständig entzogen ist und normalerweise ohne Unterhalt eine stets gute und stets gleich bleibende Sprechverständigung ermöglicht. Ferner ist ein Kabel auch nicht den störenden Einflüssen von elektrischen Bahn- und Kraftleitungen ausgesetzt, was bei der grossen und immer wachsenden Zahl derartiger Anlagen von hervorragender Wichtigkeit ist. Diese Vorteile sind schon lange bekannt. Einer Auswirkung derselben standen aber lange namentlich zwei Faktoren hindernd im Wege: die verhältnismässig geringe Reichweite der Kabel für die Lautübertragung und der hohe Preis.

Hierin trat aber allmählich eine Aenderung ein. Durch Einführung der künstlich mit Selbstinduktion belasteten Kabel nach System Krarup[1]) und Pupin[2]) liess sich die Tragweite der Kabel annähernd verdoppeln (System Krarup), ja sogar vervier- bis verachtfachen (System Pupin). Die letzten Jahre haben in dieser Beziehung noch weitere Fortschritte gebracht; wir meinen die Vakuumverstärker, die sich aus der alten Liebenröhre und dem Audion von de Forest entwickelt haben und die nebst anderen wichtigen Anwendungen auch die Aussicht eröffnen, dass die Reichweite der Telephonleitungen eine unbegrenzte werden wird.

Aber auch das Kostenhindernis erfuhr eine gewisse Milderung, eine Errungenschaft, die sich an die Namen Dieselhorst und Martin[3]) knüpft. Der Erfolg des unter diesen beiden Namen bekannten Kabelsystems liegt darin, dass durch geeignete Verseilung und Kombination der Kabeladern die Anzahl der Sprechkreise künstlich vermehrt, die Aufnahmefähigkeit des Kabels erhöht werden kann. Es geschieht dies bekanntlich dadurch, dass je zwei Doppelleitungen miteinander verdrillt und so zu Viererleitern vereinigt werden. Jede der beiden Doppelleitungen eines Vierers bildet dann die Hin- bezw. die Rückleitung eines neuen Sprechkreises. Jeder Vierer ist an seinen Enden mit einer Hilfspule verbunden, einer sogenannten Abzweig- oder Duplexspule, an die drei Sprechapparate angeschlossen werden können. Vermöge dieses Kunstgriffes bietet beispielsweise ein Kabel mit 20 Doppeladern 30 voneinander unabhängige Sprechkreise dar, d. h. die Aufnahmefähigkeit wird um 50 % vergrössert. Diesem Gewinn stehen keine erheblichen Mehrkosten gegenüber und hierin liegt die wirtschaftliche Bedeutung des Dieselhorst-Martin-Systems.

Es ist verständlich, dass diese Fortschritte einerseits und die Vorteile der Kabel anderseits die Verwaltungen vieler Länder dazu veranlassten, in stets vermehrtem Masse zur Verlegung von Fernsprechkabeln überzugehen. So entschloss sich im Jahre 1913 auch die schweizerische Telegraphenverwaltung, die beiden Städte Zürich und Basel durch ein Fernsprechkabel zu verbinden, um dadurch den zwischen diesen bedeutenden Orten stark angewachsenen telephonischen Verkehr, dem die bestehenden oberirdischen Leitungen nicht mehr zu genügen vermochten, bewältigen zu können. Die Erstellung des neuen Kabels wurde im Jahre 1914 der schweizerischen Kabelfabrik Aubert, Grenier & Cie. in Cossonay übertragen. Infolge des Weltkrieges erfuhren jedoch sowohl die Fabrikation als auch die Verlegungsarbeiten so starke Verzögerungen, dass dessen Inbetriebnahme erst 1918 erfolgen konnte.

Das Fernsprechkabel Zürich-Basel ist ein Krarup-Kabel mit Viererverseilung nach dem Dieselhorst-Martin Prinzip. Seine Länge beträgt 85,82 km. Das Aderbündel besteht aus 48 massiven Kupferleitern von 2 mm Durchmesser (Abbildung 2.) Jede Einzelader ist mit 0,3 mm dickem Eisendraht umsponnen und mit Papier isoliert. Je zwei Adern sind miteinander zu einem Paar und je zwei Paare wiederum zu einem Adervierer verseilt. Die Anzahl der einfachen Sprechkreise ist somit 24, die der kombinierten 12. Die Paare in jedem Vierer und ebenso die Einzeldrähte in jedem Paare sind durch verschiedenfarbiges Papier gekennzeichnet. Die Vierer sind in zwei Lagen angeordnet, im Kern befinden sich drei, in der äusseren Lage die übrigen neun. Je zwei nebeneinander liegende Vierer in jeder Lage sind durch spiralförmig herum gewickelte, verschiedenfarbige Fäden zu Zählzwecken besonders bezeichnet. Beide Lagen werden durch Papierbänder zusammengehalten; im weitern trägt das Aderbündel eine Baumwollband-Umhüllung, darüber einen 2,5 mm dicken Bleimantel, der einen kleinen Zusatz von Antimon enthält. Ueber dem geteerten Bleimantel folgen als weitere Schichten eine imprägnierte Papierlage und eine geteerte Jutebewicklung. Die Röhrenkabel in den Stadtgebieten tragen ausserdem noch eine Armatur, bestehend aus 1,8 mm dicken, verzinkten Flacheisendrähten. Der Kabeldurchmesser beträgt über Blei 54 mm, über Armatur ungefähr 62 mm.

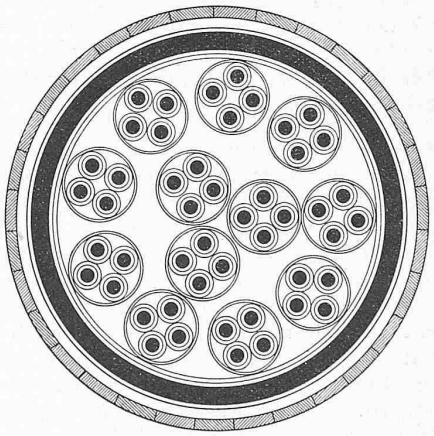


Abb. 2. Gotthard-Telephonkabel. — Querschnitt 1 : 1.

[1]) „E. T. Z." 1902, Seite 344. [2]) „E. T. Z." 1902, Seite 1059.
[3]) *C. Bauer*, „Das elektrische Kabel", 1910, Seite 199.

Im Stadtgebiete von Zürich und Basel wurden die Kabelstücke in Rohre eingezogen, auf der Ueberlandstrecke ruhen sie in einem Zoreskanal. Sämtliche Verbindungsmuffen sind so konstruiert, dass die Isoliermasse in die Kabelenden eindringen konnte, diese somit abschliesst.

Ueber das elektrische und sonstige Verhalten des Kabels mögen folgende Angaben orientieren: Im Mittel lieferten die Aderpaare bei Gleichstrom die Werte 10,9 Ohm für den Leitungswiderstand und 0,0759 mf für die gegenseitige Kapazität. Der Isolationswiderstand (jede Ader gemessen gegen Blei und alle übrigen Adern) erreichte im Mittel die Höhe rd. 15 000 Megohm/km.

Die Ermittlung der wirksamen elektrischen Werte der Sprechkreise erfolgte durch Messung ihrer Scheinwiderstände für offenes und kurzgeschlossenes Leitungsende bei Wechselstrom von 800 Perioden. Als Stromquelle wurde ein Vreeland'scher Oscillator verwendet.[1]) Wir beschränken uns darauf, die Ergebnisse für bloss zwei Sprechkreise anzuführen, für eine Doppel- und eine Viererleitung.

	Doppelleitung	Viererleitung
Charakteristik Z	$420 \cdot e^{-i\,7°16'}$	$260 \cdot e^{-i\,7°35'}$
Dämpfungsexponent βl . .	1,236	1,055
Spezifische Dämpfung β . .	0,0141	0,0127
Leitungswiderstand pro km .	11,80 Ω	5,95 Ω
Selbstinduktion pro km . .	0,00870 H	0,00461 H
Kapazität pro km	0,0500 mf	0,0690 mf
Ableitung pro km	$1{,}5 \cdot 10^{-6}$	$1{,}96 \cdot 10^{-6}$

Die Auswahl dieser beiden Leitungen ist so getroffen, dass die Werte von β annähernd die Mittelwerte für alle übrigen Sprechkreise darstellen. Die extremen Ziffern sind etwa 4 % höher, bezw. kleiner als die angegebenen.

Das Fernsprechkabel Zürich-Basel dient besonders dem telephonischen Verkehr zwischen Abonnenten dieser Städte. Für einen betriebsmässigen Fall wären der Dämpfung des Kabels noch etwa 0,8 für die beiden Telephonämter und im Maximum noch etwa 0,7 für die beidseitigen Abonnenten-Anschlussleitungen hinzuzufügen, sodass der telephonische Verkehr von Stadt zu Stadt sich abwickelt bei einem βl von 2,7 im Maximum. Dieser Wert entspricht einer Lautstärke, die als recht gut bezeichnet werden kann.[2]) Indessen sind in solchen Fragen letzten Endes einzig Sprechversuche entscheidend, da die Güte der Lautübertragung nicht nur von der Lautstärke abhängt, sondern noch von andern Faktoren, wie Deutlichkeit, Klangfarbe, ferner noch von etwaigen störenden Einflüssen, die aus dem Kabel selbst oder auch von aussen kommen können, usw.

Unternommene Sprechversuche lieferten in der Hauptsache folgende Ergebnisse: Die Lautübertragung war sehr befriedigend. Die Sprache klang kräftig, klar und pronon-ziert. Indessen machten sich die bekannten Erscheinungen des Mit- und Uebersprechens etwas bemerkbar. Es zeigte sich eine leichte Sprechinduktion zwischen den nebeneinanderliegenden Viererleitungen und ebenso zwischen den Aderpaaren und den durch sie gebildeten Vierern und umgekehrt. Diese Erscheinungen, die wohl schwerlich bei einem Duplexkabel ganz zu vermeiden sein werden, traten aber, wie gesagt, in nur geringfügigem Masse auf, sodass die Inbetriebnahme auch der kombinierten Sprechkreise unbedenklich erfolgen konnte.

Beispiel für die Berechnung der Wechselstrom-Konstanten einer Fernsprechleitung.

Wenn es sich darum handelt, sämtliche effektiven Konstanten einer längeren Fernsprech-Doppelleitung durch Messung zu ermitteln, so ist die Auswahl der diesem Zwecke dienenden Messmethoden nicht gross. Es dürfte zur Zeit wohl kein anderes Verfahren in Frage kommen können als dasjenige, das sich auf den Leerlauf- und den Kurzschluss-Widerstand der Leitung stützt.

Wir lassen hier ein Berechnungsbeispiel folgen für eine Telephon-Doppelleitung, die nach dieser Methode gemessen wurde. Es bezieht sich auf ein krarupiertes Aderpaar des vorstehend beschriebenen Lötschbergkabels.

Bei Wechselstrom von 990 Perioden ($\omega = 6220$) lieferte die Messung der Scheinwiderstände für offenes (U_1), bezw. für kurzgeschlossenes Leitungsende (U_2) folgende, in komplexe Form gekleidete Resultate:

$$U_1 = 1176\, e^{j\,24°38'} \qquad U_2 = 202\, e^{-j\,38°0'}$$

Diese beiden Messwerte sind ausreichend für die Bestimmung der elektrischen Eigenschaften unseres Telephon-Aderpaares. Im folgenden soll dies zunächst kurz gezeigt werden.

Es seien V_0 und J_0 die Symbole für Wechselspannung und Wechselstrom am Anfang der Doppelleitung, ebenso seien V_e und J_e die entsprechenden Werte für das Leitungsende. Dann gelten, wenn die Leitungslänge mit l bezeichnet wird, folgende Gleichungen:

$$V_0 = V_e \frac{e^{\gamma l} + e^{-\gamma l}}{2} + J_e Z \frac{e^{\gamma l} - e^{-\gamma l}}{2} \quad . \quad . \quad (1)$$

$$J_0 = J_e \frac{e^{\gamma l} + e^{-\gamma l}}{2} + \frac{V_e}{Z} \frac{e^{\gamma l} - e^{-\gamma l}}{2} \quad . \quad . \quad (2)$$

Hierin bedeutet Z den Wellenwiderstand oder die Charakteristik und γ die Fortpflanzungskonstante der Leitung. Diese beiden Grössen werden definiert durch die Beziehungen:

$$Z = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{A + j\omega K}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

und

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(A + j\omega K)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Unter der Wurzel stehen die vier Grundkonstanten der Leitung, nämlich der Widerstand R, die Selbstinduktion L, die Ableitung A und die gegenseitige Kapazität K für 1 km des Aderpaares.

Für offenes, bezw. kurzgeschlossenes Leitungsende gehen die Gleichungen 1) und 2) über in

$$\left.\begin{aligned} V_0 &= V_e \frac{e^{\gamma l} + e^{-\gamma l}}{2} \\ J_0 &= \frac{V_e}{Z} \frac{e^{\gamma l} - e^{-\gamma l}}{2} \end{aligned}\right\} \text{für Leerlauf}$$

und

$$\left.\begin{aligned} V_0 &= J_e Z \frac{e^{\gamma l} - e^{-\gamma l}}{2} \\ J_0 &= J_e \frac{e^{\gamma l} + e^{-\gamma l}}{2} \end{aligned}\right\} \text{für Kurzschluss}$$

Hieraus folgt:

$$U_1 = Z \frac{e^{\gamma l} + e^{-\gamma l}}{e^{\gamma l} - e^{-\gamma l}} \quad \text{und} \quad U_2 = Z \frac{e^{\gamma l} - e^{-\gamma l}}{e^{\gamma l} + e^{-\gamma l}}$$

Also ist:

$$Z = \sqrt{U_1 U_2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

$$e^{2\gamma l} = \frac{1 + \sqrt{U_2/U_1}}{1 - \sqrt{U_2/U_1}}$$

und hieraus:

$$\gamma l = 1/2 \text{ lg. nat.} \frac{1 + \sqrt{U_2/U_1}}{1 - \sqrt{U_2/U_1}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Die Fortpflanzungskonstante γ, als komplexe Grösse, zerfällt in einen reellen und einen imaginären Teil. Wir setzen:

$$\gamma = \beta + j\alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

und nennen β die kilometrische oder spezifische Dämpfung und α die Phasenkonstante. Diese bedeutet die Phasendifferenz der Strom- oder Spannungschwingungen in Leitungspunkten, die 1 km auseinander liegen. Oft wird α wegen eines gewissen Zusammenhanges mit der Wellenlänge auch Konstante der Wellenlänge genannt. Da nämlich eine Welle sich über 2π Bogengrade erstreckt und eine Phasendifferenz von 1 Bogengrad einer Leitungslänge von $1/\alpha$ km entspricht, so befinden sich die Strom- oder

[1]) *A. Tobler* und *K. Schild*, «Journal Télégraphique», 1916, S. 121.
[2]) *F. Breisig*, «E. T. Z.», 1914, S. 649.



Abb. 11. Die Rekord-Segelflüge vom 24. August 1922 in der Rhön am Westabhang der Wasserkuppe; oben der Eindecker „Vampyr" (Flugdauer 3 h 10 min), unten der Eindecker „Edith" (Flugdauer 1 h 25).

Spannungsschwingungen in allen um $2\pi/\alpha$ km von einander abstehenden Leitungspunkten im nämlichen Bewegungszustand, d. h. in Phase. Somit ist die Wellenlänge gegeben durch die Beziehung:

$$\lambda = \frac{2\pi}{\alpha} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

Hieraus ist zu erkennen, dass die Phasenkonstante α massgebend ist für die Grösse der Wellenlänge.

Aus den Gleichungen (5), (6) und (7) auf Seite 117 lassen sich die Grössen Z, γ, β und α ermitteln, sofern die Scheinwiderstände U_1 und U_2 bekannt sind.

Zur Berechnung der vier Grundkonstanten der Leitung dienen die Gleichungen (3) und (4). Es folgt nämlich aus diesen

$$\gamma l Z = l(R + j\omega L) \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

und

$$\frac{\gamma l}{Z} = l(A + j\omega K) \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

Es ist nun noch darauf hinzuweisen, dass der von den Gleichungen (6) und (7) gelieferte Winkel αl nur dann richtig ist, wenn die Leitungslänge l kleiner ist als die Wellenlänge λ. Trifft diese Bedingung nicht zu, so muss zum berechneten Wert von αl noch 2π oder ein ganzes Vielfaches davon addiert werden. Es geht diese Tatsache aus Gleichung (8) hervor.

Um festzustellen, ob und allfällig was für ein Zusatz zu αl gemacht werden muss, bedarf es eines Kriteriums. Ein solches lässt sich aus den Gleichungen (4) und (7) gewinnen.

Es ist nämlich:

$$(R + j\omega L)(A + j\omega K) = \beta^2 - \alpha^2 + 2j\alpha\beta.$$

Werden hierin die reellen und die imaginären Glieder einander gleich gesetzt, so entstehen zwei neue Gleichungen, aus denen β und α berechnet werden können. Man findet:

$$2\alpha^2 = (\omega L \omega K - AR) + \sqrt{[A^2 + (\omega K)^2]\,[R^2 + (\omega L)^2]} \quad (11)$$

$$2\beta^2 = -(\omega L \omega K - AR) + \sqrt{[A^2 + (\omega K)^2]\,[R^2 + (\omega L)^2]} \quad (12)$$

Diese allgemeinen Ausdrücke für α und β lassen sich für bestimmte Fälle wesentlich vereinfachen. Ist z. B. R gegenüber ωL und A gegenüber ωK vernachlässigbar klein, was bei künstlich mit Selbstinduktion belasteten Leitungen zutrifft, so gelangt man nach einigen Umformungen zu folgenden, einfachen Zusammenhängen:

$$\alpha = \omega\sqrt{KL} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

und

$$\beta = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{K}{L}} + \frac{A}{2}\sqrt{\frac{L}{K}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

Die Grundkonstanten einer Leitung sind zum vornherein wenigstens angenähert bekannt, bei Kabeln z. B. aus Messungen an einzelnen Fabrikationslängen oder anderswie. Mit Hülfe von Gleichung (13) kann also αl angenähert berechnet werden. Durch Vergleich dieses Wertes mit dem aus Gleichung (6) gefundenen lässt sich mit Sicherheit feststellen, ob und wie der letztere zu korrigieren ist.

Auf Grund der gegebenen theoretischen Erläuterungen ist es nun möglich, unser Zahlenbeispiel vollständig durchzurechnen.

Nach Gleichung (5) hat man:

$$Z = \sqrt{U_1 U_2} = \sqrt{1176 \cdot 202}\cdot e^{j\frac{24^0 38' - 38^0 0'}{2}} = 487 \cdot e^{-j\,60^0 41'}$$

Ferner ist:

$$\sqrt{\frac{U_2}{U_1}} = \sqrt{\frac{202}{1176}}\, e^{-j\frac{38^0 0' + 24^0 38'}{2}} = 0{,}415 \cdot e^{-j\,31^0 19'} =$$

$$= 0{,}354 - j\,0{,}216.$$

Hieraus ergibt sich weiter:

$$\frac{1 + \sqrt{U_2/U_1}}{1 - \sqrt{U_2/U_1}} = \frac{1{,}354 - j\,0{,}216}{0{,}646 + j\,0{,}216} = \frac{1{,}371 \cdot e^{-j\,9^0 3' 50''}}{0{,}681 \cdot e^{j\,18^0 29' 20''}} =$$

$$= 2{,}013 \cdot e^{-j\,27^0 33' 10''}$$

Nach Gleichung (6) ist nun

$$\gamma l = {}^1/_2 \text{ lg. nat. } 2{,}013 \cdot e^{-j\,27^0 33' 10''} =$$

$$= {}^1/_2\,[2{,}3 \cdot \text{lg. brigg. } 2{,}013 + j\,332^0 26' 50'].$$

Der Winkel $\varphi = 27^0 33' 10''$ muss unter allen Umständen positiv sein, da die Phasenkonstante α eine positive Grösse ist. Aus diesem Grunde ist an Stelle von $-\varphi$ der Winkel $+(360 - \varphi)$ einzuführen. Drückt man diesen in Bogengraden aus, so erhält man weiter:

$$\gamma l = {}^1/_2\,[2{,}3 \times 0{,}3038 + j\,5{,}802] = 2{,}922 \cdot e^{j\,83^0 7' 55''}$$

Nach Gleichung (8) ist

$$\beta l = 0{,}3498 \text{ und } \alpha l = 2{,}901$$

Die Leitungslänge l beträgt 23,1 km. Es ist somit:

$$\beta = 0{,}01513 \text{ und } \alpha = 0{,}1255$$

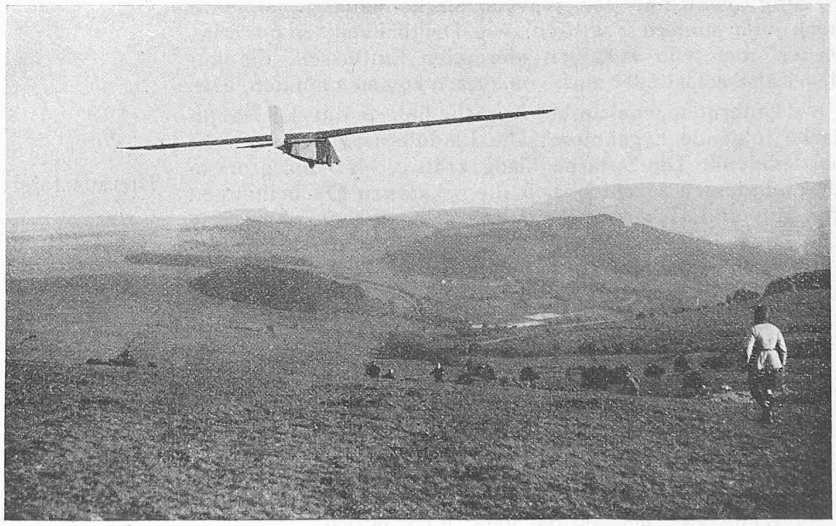


Abb. 10. Der Eindecker von Espenlaub (Spannweite 18 m) am Südostabhang der Wasserkuppe, 1922.

Es ist nun zu kontrollieren, ob der für al gefundene Wert von 2,901 richtig oder ob ein Zusatz von 2π oder einem Vielfachen davon noch beizufügen ist. Ueber diese Frage gibt Gleichung (13) Aufschluss. Messungen an einzelnen Fabrikationslängen des Kabels lieferten im Mittel die Werte: $K = 0{,}042$ mf und $L = 0{,}0095$ H.

Somit ist:

$$al = \omega l \sqrt{KL} = \frac{6220 \times 23{,}1}{10^3} \sqrt{0{,}042 \times 0{,}0095} = 2{,}873,$$

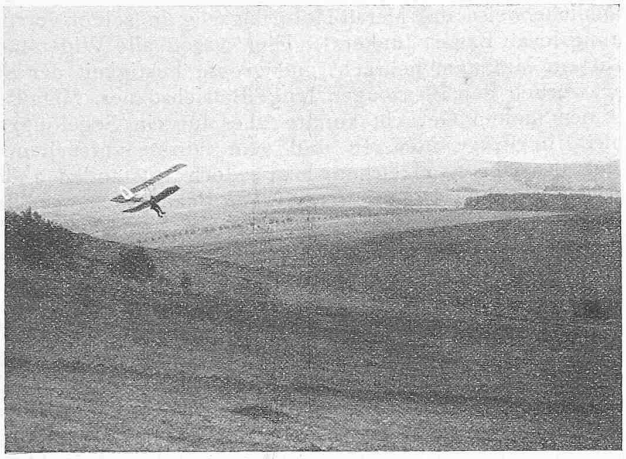


Abb. 1. Hänge-Gleitflugzeug von Schulz und Pelzner am Südostabhang der Wasserkuppe, 1921.

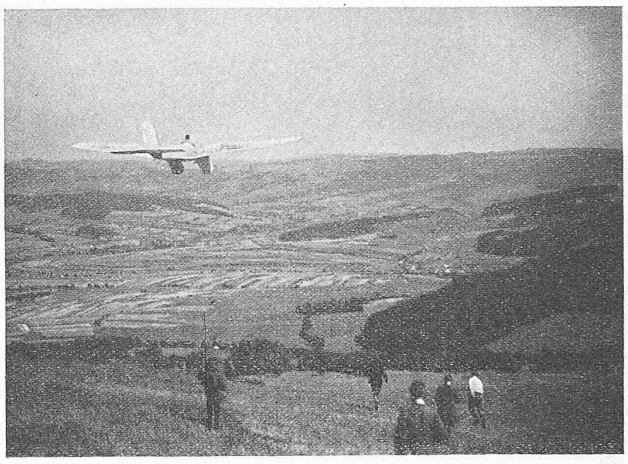


Abb. 2. Der Eindecker von Klemperer „Blaue Maus" (Aachen) am Rhön-Wettbewerb 1921 (vergl. Abb. 3 bis 6).

woraus folgt, dass ein Zusatz im vorliegenden Falle nicht zu machen ist. Es kommt dies davon her, dass die Kabellänge kleiner ist, als die Wellenlänge. Nach Gleichung (8) beträgt diese $2\pi : 0{,}1255 = 50{,}06$ km.

Aus den Gleichungen (9) und (10) ergibt sich weiter:

$$\gamma l Z = 1423 \cdot e^{j\,76^0\,27'} = 333{,}4 + j\,1383 = l(R + j\omega L)$$

$$R = 14{,}43\,\Omega \quad \text{und} \quad L = 0{,}00963\ \text{H}$$

$$\frac{\gamma l}{Z} = 0{,}0060 \cdot e^{j\,89^0\,49'} = 19{,}2 \cdot 10^{-6} + j\,0{,}006 = l(A + j\omega K)$$

$$K = 0{,}0418\ \text{mf} \quad \text{und} \quad A = 0{,}83 \cdot 10^{-6}$$

Zum Schlusse noch eine kleine Kontrollrechnung. Die vier Grundkonstanten in Gleichung (14) eingesetzt, gibt für die spezifische Dämpfung den Wert

$$\beta = \frac{1}{10^3}\left[7{,}21 \sqrt{\frac{0{,}0418}{0{,}00963}} + 0{,}4 \sqrt{\frac{0{,}00963}{0{,}0418}}\right]$$

$$= \frac{1}{10^3}\left(14{,}9 + 0{,}19\right) = 0{,}01510$$

Es stimmt, wie man sieht, dieses Resultat mit dem aus Gleichung (6) erhaltenen β ausgezeichnet überein.

Segelflug und Flugzeug-Bautechnik.

Von Dipl.-Ing. *Walter Fritsch*, Aachen.

Die grossen Fortschritte, die im vergangenen Jahre auf dem Gebiete des motorlosen Segelfliegens erzielt wurden, zunächst in Deutschland, sodann, angestachelt durch die ausserordentlichen Leistungen, in England und neuerdings auch in Frankreich, haben allgemein solche Bewunderung und solches Interesse hervorgerufen, dass es die Leser der „S. B. Z." vielleicht interessieren mag, auch aus der baugeschichtlichen Entwicklung und der Bautechnik des Segelfluges etwas zu hören.

Auf die aerodynamischen Vorgänge beim Segelflug, auf die Möglichkeiten der Energiegewinnung aus der Luft gegenüber dem mit Energie ausgerüsteten Motorflugzeug braucht hier nicht eingegangen zu werden, da Ing. R. Gsell in seiner Skizze aus dem Segelflug-Wettbewerb in Gstaad („S. B. Z." vom 10. Juni 1922) mit vorzüglicher Anschaulichkeit darüber berichtet hat. Auch der Aufsatz über die Entwicklung des (Motor-) Flugzeuges von Oberleutnant H. Jenny im Frühjahr 1920 (Bd. 75, S. 139 ff.) ist sehr lesenswert, da er einen ausgezeichneten, übersichtlichen Auszug aus der Entwicklung der Flugtechnik darstellt.[1])

Man sieht aus allem, wie Motor- und Segelflug aus gleichen Kinderschuhen aufwachsen, bis sich schliesslich der grundlegende Unterschied herauskristallisiert. Der Motorflieger sucht durch einen möglichst kräftigen, zuverlässigen Motor von den jeweiligen Witterungsverhältnissen und Zufälligkeiten der Luft unabhängig und unbehelligt zu werden, der Segelflieger hingegen versucht, sich ihnen anzupassen, um sie ausnützen, und die Energie, die Kraft zum Fliegen aus ihnen gewinnen zu können.

Zunächst war man auch beim Motor-Flugzeug noch vor allem auf leichtes Gewicht bedacht; als dann aber die Entwicklung der Motoren-Industrie leistungsfähigere Flugzeugmotoren schuf, traten Festigkeit und gute Form in den Vordergrund, die schliesslich zum Metallflugzeug führten. Der Segelflieger dagegen hat als obersten Grundsatz mög-

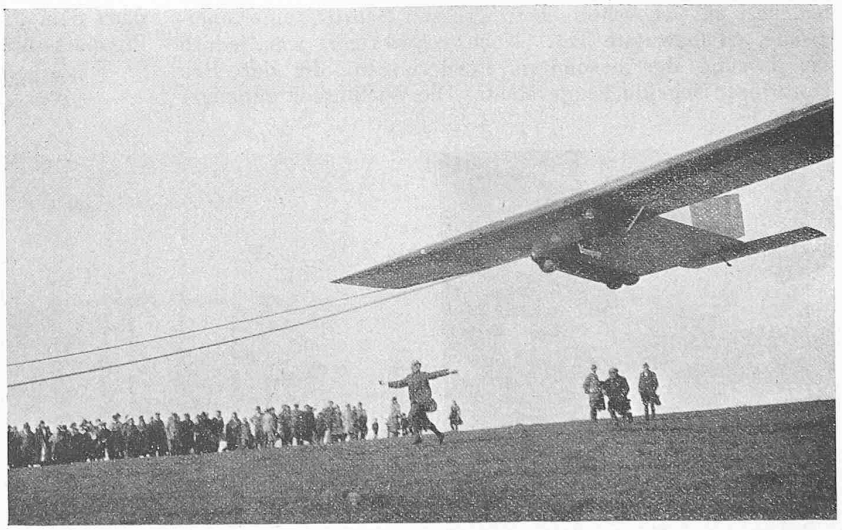


Abb. 9. Der Start des Eindeckers „Vampyr" (Hannover) an der Wasserkuppe 1922 (vergl. Abb. 8 u. 11).

[1]) Nicht zu vergessen der ersten Arbeit des schweizerischen Segel-Flug-Pioniers *Carl Steiger* (Kilchberg b. Zch.), der schon vor 15 Jahren in diesem Blatte (Bd. 51, 4. April und 2. Mai 1908) Wege gezeigt und Formen vorgeschlagen hatte, die seither in hohem Masse sich als richtig erwiesen haben. Von den Ausführungen von cand. ing. E. Meyer in letzter Nummer hatte Herr Fritsch keine Kenntnis. *Red.*