

<b>Zeitschrift:</b>	Technische Mitteilungen / Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung = Bulletin technique / Administration des télégraphes et des téléphones suisses = Bollettino tecnico / Amministrazione dei telegrafi e dei telefoni svizzeri
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung
<b>Band:</b>	23 (1945)
<b>Heft:</b>	1: Alessandro Volta : zum Gedenken an seinem 200. Geburtstag
<b>Artikel:</b>	Ueber die vegetabile Absorption der Bodenwelle
<b>Autor:</b>	Gerber, W. / Werthmüller, A.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-873173">https://doi.org/10.5169/seals-873173</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 25.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Die Ergebnisse seines friedlichen Schaffens und die auf sie begründeten neuen Erfindungen wurden in der Folge leider dazu verwendet, die Vernichtungsmöglichkeiten ins Ungeheure zu steigern. Soll diese Feststellung ein Vorwurf gegenüber Volta sein? Ist es eine Anklage gegenüber der Wissenschaft, wie man ihr heute oft begegnet? Nein! Im Gegenteil, es ist eine Ermahnung und ein Weckruf für die Erziehung eines neuen Menschen, für die Schaffung einer neuen Gesellschaft, deren Weisheit letzter Schluss nicht mehr der Krieg sein wird. *Nicht Feldherren zimmern unser Glück, sondern Bauherren, die gleich einem Alessandro Volta zum Wohle der Menschen arbeiten.* Diesem Gedanken zu dienen und ihn zu verbreiten, das ist die Aufgabe derer, die vom Kriege verschont blieben und sich in friedlicher Arbeit jener wunderbaren Kraft bedienen, die Alessandro Volta in genialer Weise als erster den Metallen entlockte.

W. Schiess.

#### **Benützte Literatur.**

- Allocuzioni pronunciate nella solenne commemorazione di Alessandro Volta. Estratti del Congresso dei Fisici a Como. Bologna 1927.  
 Appleyard, Rollo. Bahnbrecher der elektrischen Nachrichtentechnik. Alessandro Volta. In: Electrical Communication, 5 (1926/27). S. 259—273.  
 Berini, C. Alessandro Volta. In: Technische Mitteilungen 1927, S. 116—118.  
 Bianchi, T. Vita di Alessandro Volta. Como 1829.  
 Centenario. Nel C' della morte di Alessandro Volta. Discorsi e note. Pubblicato dal Reale Istituto Lombardo di Scienze e Lettere. Milano 1927.

- Collezioni dell'opere del Cav. Conte Alessandro Volta. Vol. I—V. Firenze 1816.  
 Darmstädter, Ludwig. Naturforscher und Erfinder. Biographische Miniaturen. Bielefeld-Leipzig 1926.  
 Encyclopedie Italiana. Vol. XXXV. P. 572 ff.  
 Ettinghausen, A. Zum Gedächtnis an Alexander Volta. In: Elektrotechnik und Maschinenbau 45 (1927), S. 724 ff.  
 Feldhaus, Franz Maria. Ruhmesblätter der Technik. Bd. 1, S. 150, Leipzig 1924.  
 Fossati, Francesco. Effemeridi Voltiane. In: Raccolta storica di Como, Vol. IV. Como 1899.  
 Gemelli, Giovanni. Genealogia ed arma gentilizia della famiglia Volta. In: Raccolta storica di Como, Vol. IV. Como 1899.  
 Hennig, Richard. Die älteste Entwicklung der Telegraphie und Telephonie. = Sammlung Wissen und Können, Bd. 2. Leipzig 1908.  
 Mocchetti, Francesco. Elogio del Conte Alessandro Volta. Como 1833.  
 Opere. Le O' di Alessandro Volta. Edizione nazionale. Vol. I—VII. Milano 1918—1927.  
 Ostwald, Wilhelm. Elektrochemie. Ihre Geschichte und Lehre. Leipzig 1896.  
 Ostwald, Wilhelm. Die Entwicklung der Elektrochemie in gemeinvorständlicher Darstellung. Leipzig 1910.  
 Raccolta Voltiana. Edita per cura della società storica comense e del comitato esecutivo per le onoranze A. Volta. Como 1899.  
 Rivista delle comunicazioni 1927. Parte non ufficiale. Fasc. 7 e 8. Roma 1927.  
 Seebeck, August. Gedächtnisrede auf Alessandro Volta. Dresden 1846.  
 Volta, Alessandro. Briefe über thierische Elektricität (1792). Hrsg. von A. J. von Oettingen. = Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 114. Leipzig 1900.  
 Volta, Alessandro. Galvanismus und Entdeckung des Säulenapparates 1796 bis 1800. Hrsg. von A. J. von Oettingen. = Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 118. Leipzig 1900.

## **Ueber die vegetabile Absorption der Bodenwelle.**

Von W. Gerber und A. Werthmüller, Bern.

621.396.11

*Von der vegetabilen Leitfähigkeit ausgehend, werden zunächst die Verluste pro Einheit der Erdoberfläche ermittelt; dann wird die Dämpfung der Bodenwelle behandelt und dabei Temperatur und Jahreszeit berücksichtigt.*

Die Frage nach der Bedeutung, welche der Pflanzendecke unserer Erdoberfläche in der drahtlosen Uebertragung zukommt, ist schon ziemlich alt. Merkwürdigerweise findet sich aber in der klassischen Literatur eigentlich nur eine einzige Arbeit, die sich mit dem Problem einigermaßen auseinandersetzt. Sie stammt von Barfield<sup>1)</sup>), der gegen Ende der zwanziger Jahre eine erhebliche Dämpfung im Bereich der Hektometerwellen postulierte. Seiner Auffassung wurde zunächst auch allgemein und vorbehaltlos zugestimmt, dann aber kam es nach einiger Zeit zu einer Kontroverse<sup>2)</sup>: Barfields Standpunkt wurde wieder in Frage gestellt und als einseitig und übertrieben kritisiert. So erklärt sich denn die Tatsache, dass man in den folgenden dreissiger Jahren die Vegetation, selbst in unseren Gegenden, mehr oder weniger unbeachtet liess. Erst die neueren Untersuchungen über die Streustrahlung der Erdoberfläche<sup>3)</sup> haben uns ihre Anwesenheit wieder so rich-

<sup>1)</sup> R. H. Barfield. The attenuation of wireless waves over land. Journ. I.E.E. 1928, p. 204.

<sup>2)</sup> P. P. Eckersley. The calculation of the service area of broadcast stations. Proc. I.R.E. 1930, p. 1160.

<sup>3)</sup> W. Gerber u. A. Werthmüller. Ueber die Streustrahlung der Erdoberfläche im Bereich der Rundspruchsended. Techn. Mitt. 1940, S. 1.

tig ins Bewusstsein zurückgeführt und damit auch unsere Forschungsabteilung zu weiteren Untersuchungen veranlasst, mit dem Ziel, die für die vegetabile Absorption der Bodenwelle im Rundspruchfrequenzbereich 150...1500 kHz massgebenden physikalischen Gegebenheiten auf experimenteller Grundlage weiter abzuklären. Ueber deren Ergebnisse soll nunmehr im folgenden zusammenfassend berichtet werden.

Wenn man die vegetabile Absorption der Bodenwelle quantitativ beurteilen will, gebührt zunächst der

#### **vegetabilen Leitfähigkeit**

der grossen holzbildenden Pflanzen ein gewisses primäres Interesse. Diese Leitfähigkeit ist vorwiegend elektrolytischer Natur. Sie ist somit auch temperaturabhängig, und zwar so stark, dass daneben sogar die jahreszeitliche Komponente der Lebensphase etwas zurücktritt. Fig. 1 zeigt den niederfrequenten Mittelwert der meistvertretenen Arten in Funktion der Temperatur — die grösste überhaupt beobachtete Leitfähigkeit hatte die sog. Schwarzpappel mit  $0,1 \Omega^{-1} m^{-1}$  bei  $+20^\circ C$  — wobei bei tiefen Temperaturen zwischen Laubhölzern (L) und Nadelhölzern (N) unterschieden wird. Mit zunehmender Frequenz ändern dann allerdings die Verhältnisse insofern, als die dielektrische Verschiebungsstromkomponente immer mehr Bedeutung erlangt — es sei hier an die bekannten Verhältnisse

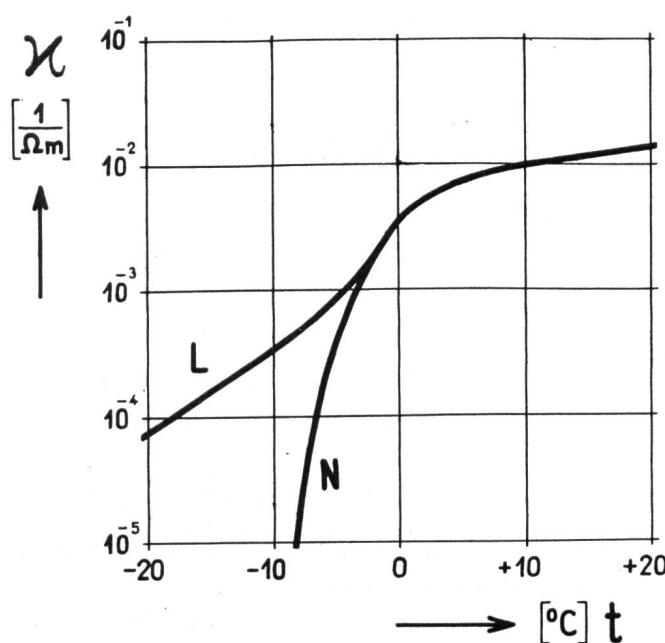


Fig. 1. Mittlere spez. Holzleitfähigkeit.

beim Halbleiter erinnert —, so dass z. B. im Bereich der Hektometerwellen die Verschiebungsstromkomponente bei tiefen Temperaturen bereits gleich oder grösser als die Leitstromkomponente wird.

Nach diesen einleitenden Feststellungen sei jetzt die

#### vegetable Absorption

als solche etwas näher betrachtet. Die Vegetation ist hierbei als eine Schicht mit vorwiegend vertikal orientierter Leitfähigkeit aufzufassen, welche durch die vertikal polarisierte Bodenwelle angeregt wird. An sich bildet die einzelne Pflanze darin ein aperiodisches Schwingungsgebilde, gemäss Fig. 2, mit den

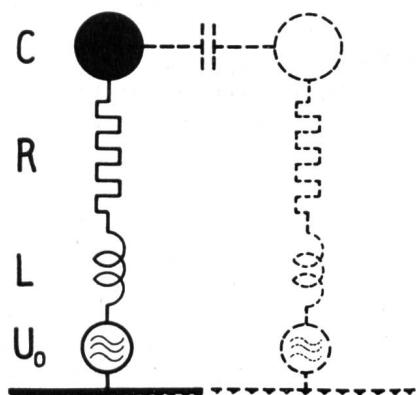


Fig. 2. Vegetables Schwingungselement.

als konzentriert gedachten Komponenten C, R und L. Die einzelstehende Pflanze ist allerdings in Wirklichkeit ein verhältnismässig seltener Ausnahmefall. Man hat deshalb prinzipiell eine Nähewirkung der konphas angeregten Nachbarpflanzen zu berücksichtigen. Diese äussert sich im wesentlichen in zwei Richtungen: die wirksame Kapazität C wird um den Betrag der Teilkapazität gegenüber den Nachbar-

pflanzen verringert, so dass u. a. die Eigenfrequenz erhöht wird; zudem tritt ein sekundäres Feld auf, das sich dem primären überlagert. Es entsteht also ein resultierendes Feld, über dessen Betrag im vorliegenden Frequenzbereich prinzipiell folgendes gilt: Die resultierende magnetische Feldstärke  $H'$  bleibt gegenüber der ursprünglichen Komponente  $H$  praktisch unverändert, während andererseits die resultierende elektrische Feldstärke  $E'$  stets kleiner ist als die ursprüngliche Komponente  $E$ . Das heisst, nur ein Bruchteil der  $E$ -Linien endigt auf der Erdoberfläche; die übrigen endigen auf den elektrischen Ladungen der vegetabilen Träger. Dabei ist der Durchgriff bei der unteren Grenzfrequenz, wo die Einzelpflanze noch verhältnismässig schwach und vorwiegend kapazitiv mitschwingt, am kleinsten, mit andern Worten, die Feldschwächung ist dort am grössten. Fig. 3 zeigt als wichtigstes Beispiel die diesbezüglichen Sommerbedingungen im Hochwald, auf Grund zahlreicher in Erdnähe ausgeführter Messungen.

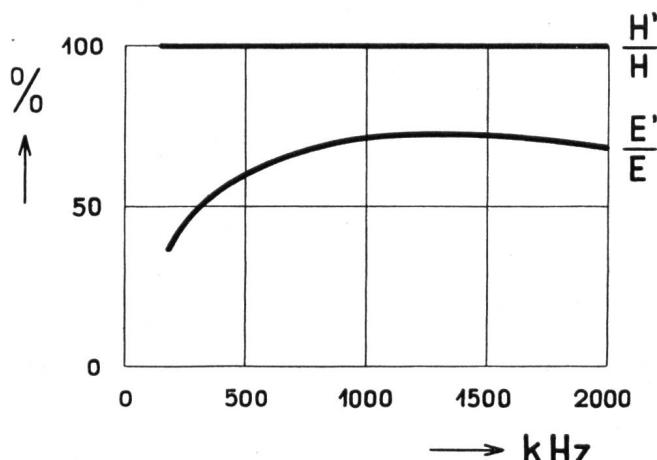


Fig. 3. Feldstärkenverhältnisse im Hochwald.

Nach dem soeben Gesagten ist also die Vegetationsschicht als dispergierendes Medium zu behandeln, und es stellt sich somit die etwas erweiterte Frage nach dem Frequenzgang der Absorption.

Was zunächst die grossen holzbildenden Pflanzen anbelangt, wurden daher die Feldmessungen durch Messungen der Stromstärke  $I_B$  im Fusspunkt der Bäume ergänzt, wozu das in Fig. 4 skizzierte Gerät diente. Bezogen auf die ungestörte Feldstärke  $E$  der

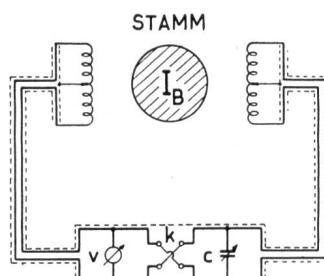


Fig. 4. Messung der Stromstärke im Baumstamm.

$v$  = symmetrisches Röhrenvoltmeter,

$c$  = Abstimmkondensator,

$k$  = Kommutator; damit können die Meßspulen gegenseitig umgepolzt werden, so dass  $I_B$  über die Gerätekonstante in Beziehung zu  $E$  gebracht wird.

freien Erdoberfläche, wurden so eigentliche Resonanzkurven aufgenommen. Das prinzipielle Ergebnis zeigt Fig. 5 unter Sommerbedingungen. Darin werden zwei typische Fälle unterschieden: der einzelstehende Baum im freien Feld und der Baum im Bestand. Diese Unterscheidung ergibt sich aus der soziativen und der elektrischen Nähewirkung. Der freistehende Baum wächst verzweigter und ausladender; er zeigt daher auch ein breiteres Resonanzband als der in der Gruppe stehende Baum, der mehr in die Höhe wächst und somit eher die Form eines homo-

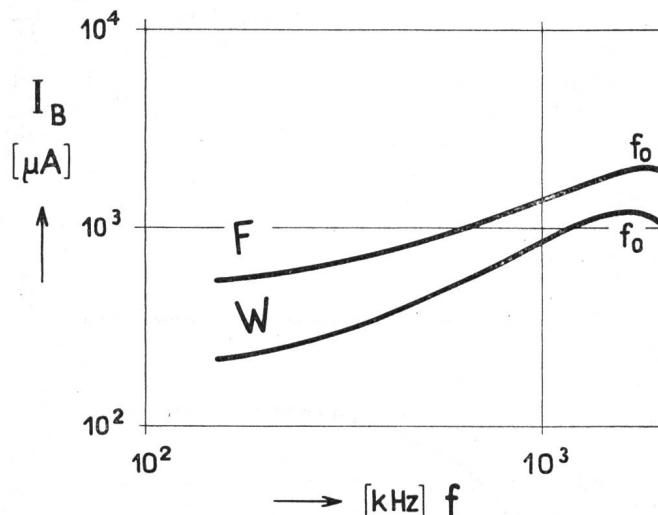


Fig. 5. Resonanzkurven mittelgrosser Bäume im freien Feld (F) und im Wald (W), bezogen auf  $E = 1 \text{ V/m}$ .

genen linearen Resonators annimmt. Zur elektrischen Nähewirkung ist das Wesentliche bereits gesagt worden. Sie hat hier praktisch zur Folge, dass der im Wald stehende Baum schwächer angeregt wird, und zwar ganz besonders im untern Frequenzgebiet. Die weitere Interpretation der Kurvenform ergibt sich natürlich unter dem Gesichtspunkt der Halbleiterresonanz. Immerhin mag noch interessieren, dass die aus der Figur ersichtlichen Eigenfrequenzen im Einzelfall wesentlich über- oder unterschritten werden; sie sind auch etwas temperaturabhängig. So kann man beispielsweise für sehr grosse Bäume eine Eigenfrequenz von rund 1 MHz annehmen; freistehend hat ein solcher Baum einen Sommerwert des Resonanzstromes in der Größenordnung 10...100 mA, bezogen auf  $E = 1 \text{ V/m}$ .

Die in Fig. 5 gezeigten Resonanzkurven lassen sich in dem zu betrachtenden Frequenzbereich auch formelmässig, als Glockenkurven, darstellen. Für den mittleren Feldbaum wird dann

$$I_{BF} \approx 2 \cdot 10^{-3} e^{-1,5 \left( \frac{f-f_0}{f_0} \right)^2} E \quad [\text{A}]$$

mit  $f_0 \approx 2000 \text{ kHz}$ ; und für den mittleren Waldbau wird

$$I_{BW} \approx 10^{-3} e^{-2 \left( \frac{f-f_0}{f_0} \right)^2} E \quad [\text{A}]$$

mit  $f_0 \approx 1700 \text{ kHz}$ , beidemal mit  $E$  in  $\text{V/m}$ . Diese Funktionen seien gleichzeitig als „mittlere Resonanzkurven“ aufgefasst. Um nun zu der absorbierten Leistung zu gelangen, kann man von der Vorstellung ausgehen, wonach der Baum ein Flussröhrengeschiebe

mit einheitlicher Stromdichte  $G$  darstellt — der Skineffekt kann vernachlässigt werden. Die Verluste pro Holzvolumeneinheit werden somit  $G^2/\pi$ , und es handelt sich in der Folge darum, die praktisch vorkommenden Beträge von mittlerer Stromdichte — in Brusthöhe gemessen — und Holzvolumen  $V$  in die Berechnungen aufzunehmen. Mit den Erfahrungswerten

$$V_B \approx 0,7 \text{ m}^3 \quad G \approx 20 I_{BF} \quad \pi \approx 0,01 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$$

wird demnach die vom einzelnen Feldbaum absorbierte Leistung

$$P_B \approx V_B \frac{G^2}{\pi} \approx 0,1 e^{-3 \left( \frac{f-f_0}{f_0} \right)^2} E^2 \quad \begin{array}{|c} P_B [\text{W}] \\ E [\text{Vm}^{-1}] \\ f_0 \approx 2000 \text{ kHz} \end{array}$$

Daraus folgt z. B. für das Mittelland, mit einer durchschnittlichen Baumdichte im freien Feld von  $0,0004/\text{m}^2$ , die von den Feldbäumen pro  $\text{m}^2$  Feldfläche absorbierte Leistung

$$S_B \approx 4 \cdot 10^{-5} e^{-3 \left( \frac{f-f_0}{f_0} \right)^2} E^2 \quad \begin{array}{|c} S_B [\text{Wm}^{-2}] \\ E [\text{Vm}^{-1}] \\ f_0 \approx 2000 \text{ kHz} \end{array}$$

In analoger Weise erhält man mit den Erfahrungswerten

$$\frac{\delta V}{\delta F} \approx 0,035 \text{ m} \quad G \approx 25 I_{BW} \quad \pi \approx 0,01 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$$

die im Mittelland pro  $\text{m}^2$  Waldfläche absorbierte Leistung zu

$$S_{Wa} \approx \frac{\delta V}{\delta F} \frac{G^2}{\pi} \approx 2 \cdot 10^{-3} e^{-4 \left( \frac{f-f_0}{f_0} \right)^2} E^2 \quad \begin{array}{|c} S_{Wa} [\text{Wm}^{-2}] \\ E [\text{Vm}^{-1}] \\ f_0 \approx 1700 \text{ kHz} \end{array}$$

Weiter interessiert noch die vom Krautbestand der Wiesen- und Ackerflächen absorbierte Leistung. Sie wurde für verschiedene Verhältnisse an Ort und Stelle experimentell bestimmt, und zwar im elektrischen Kondensatorfeld, mit einer grossflächigen Metallgaze und einem für die Versuche etwas modifizierten Q-Meter. Diese statistischen Messungen ergeben als Absorptionsverlust pro  $\text{m}^2$  unter Sommerbedingungen im Mittelland

$$S_{Wi} \approx 6 \cdot 10^{-10} f^{1,3} E^2 \quad \begin{array}{|c} S_{Wi} [\text{Wm}^{-2}] \\ E [\text{Vm}^{-1}] \\ f [\text{kHz}] \end{array}$$

Somit wären die hauptsächlichsten Absorptionskomponenten einigermassen erfasst. In unseren wichtigen Uebertragungsstrecken im Mittelland kommen natürlich alle drei mehr oder weniger gleichzeitig zur Geltung, indem verhältnismässig kurze Feld- und Waldstrecken einander ablösen. Der flächenmässige Waldbestand beträgt hier durchschnittlich 25%, so dass also unter Sommerbedingungen pro  $\text{m}^2$  mit der durchschnittlichen vegetablen Absorption

$$S_V \approx 0,25 S_{Wa} + 0,75 (S_{Wi} + S_B)$$

zu rechnen wäre. Betragsmässig ist jedoch der zweite Term eine Größenordnung kleiner als der erste; der Waldanteil prevaleert.

Der weitaus grösste Teil dieser Energie wird in der Vegetation an Ort und Stelle in Wärme umgewandelt,

der restliche Teil wird zerstreut — worüber bereits früher berichtet wurde. Dies ist übrigens auch leicht einzusehen, wenn man bedenkt, dass schon beim Baum der grösstmögliche Strahlungswiderstand mindestens eine Größenordnung kleiner ist als die resultierende Widerstandskomponente. Die Vegetation ist also im vorliegenden Frequenzbereich, energiemässig betrachtet, vorwiegend absorbierend.

### Dämpfung der Bodenwelle

Es handelt sich nun darum, die Wellenausbreitung in Erdnähe unter dem Gesichtspunkt dieser vegetabilen Verluste kennenzulernen. Dabei interessieren natürlich am meisten die eigentlichen Bedienungszonen der Sender, d. h. Senderentfernungen bis zu etwa 100 km, wofür auch die folgenden Betrachtungen im wesentlichen gedacht sind. Man wird dementsprechend zur Feldstärkenberechnung prinzipiell von der für die Wellenausbreitung zu ebener Erde streng gültigen Sommerfeldschen Theorie ausgehen. Der Feldstärkenbetrag am Empfangsort erscheint danach als Produkt des Feldstärkenbetrages der ideal leitenden Erdoberfläche mit einer Dämpfungsfunktion  $f(\varrho)$ , wobei man die Grösse  $\varrho$  als numerische Entfernung bezeichnet. Mit der von *B. van der Pol* für die Dämpfungsfunktion angegebenen Annäherung wird dann bekanntlich die Empfangsfeldstärke der Sende anlage

$$E = \frac{120 \pi h_e I}{\lambda d} \frac{2 + 0,3 \varrho}{2 + \varrho + 0,6 \varrho^2} \quad [\text{Vm}^{-1}]$$

wobei:

$$\begin{array}{ll} \lambda \text{ Wellenlänge in m} & h_e \text{ wirksame Antennenhöhe in m} \\ d \text{ Sendedistanz in m} & I \text{ Antennenstromstärke in A} \end{array}$$

d. h. im Fall der verhältnismässig kurzen Sendeantenne

$$E = \frac{9,5 \sqrt{P_s}}{d} \frac{2 + 0,3 \varrho}{2 + \varrho + 0,6 \varrho^2} \quad [\text{Vm}^{-1}]$$

wobei:  $P_s$  Strahlungsleistung in W

Somit besteht nur noch die Aufgabe, den Betrag der numerischen Entfernung anzugeben. Nach *Zenneck-Sommerfeld* lässt sich da für die vorliegenden Verhältnisse zunächst zeigen, dass zwischen der pro Einheit der kahlen Erdoberfläche absorbierten Leistung  $S_E$  und der Erdbodenleitfähigkeit  $\sigma$  die Beziehung gilt

$$S_E = \frac{E^2}{Z_o^2} \sqrt{\frac{\omega \mu}{\sigma}} \quad \begin{array}{l} Z_o \text{ Wellenwiderstand} \\ \text{des leeren Raumes} \end{array}$$

Diese Beziehung lässt sich nun aber auch auf die vegetabilen Verluste ausdehnen. Zu diesem Zweck wird die Grösse  $S_E$  durch die spezifischen Gesamtverluste  $S = S_E + S_V$  substituiert und an Stelle der wirklichen Erdbodenleitfähigkeit tritt einfach die diesen Gesamtverlusten äquivalente Erdbodenleitfähigkeit  $\sigma_*$ .

$$\sigma_* = \frac{E^4 \omega \mu}{Z_o^4 S^2} = \frac{E^4 \omega \mu}{Z_o^4 (S_E + S_V)^2} = \left[ \frac{1}{V\sigma} + \frac{Z_o^2}{V\omega \mu} \frac{S_V}{E^2} \right]^{-2}$$

Damit wird unter Berücksichtigung der vegetabilen Verluste die gesuchte numerische Entfernung

$$\varrho = \frac{5,8 \cdot 10^{-13} d f^2}{\sigma_*} = \begin{array}{l|l} d & [\text{m}] \\ f & [\text{kHz}] \\ \sigma & [\Omega^{-1} \text{m}^{-1}] \\ S_V & [\text{Wm}^{-2}] \\ E & [\text{Vm}^{-1}] \end{array}$$

Wie sich diese Beziehungen im praktischen Einzelfall auswirken, wird im Verlauf der Betrachtungen des jetzt folgenden Abschnittes über die

### Temperaturkorrelation der Bodenwellenfeldstärke

ersichtlich sein. Wie eingangs der Arbeit bereits angedeutet, verschwindet nämlich die für die vegetabilen Verluste massgebende Leitfähigkeit bei extrem tiefen Temperaturen fast vollständig, so dass man durch langfristige Beobachtungen der Bodenwellenfeldstärke weitere Einblicke in die Beziehungen der vegetabilen Absorption zur Ausbreitungsdämpfung bekommt, die übrigens nicht nur für das vorliegende Problem an sich, sondern auch ganz allgemein für den Rundfunkbetrieb von wesentlicher Bedeutung sind.

Dass sich die Bodenwellenfeldstärke nicht so stabil zeigt, wie man dies leicht hin annehmen gewohnt ist, darauf hat früher schon *Eppen*<sup>4)</sup> in einer vorläufigen Mitteilung hingewiesen, worin er bereits auch eine gewisse jahreszeitliche Abhängigkeit feststellt, ohne jedoch die möglichen Ursachen irgendwie zu diskutieren. Schliesslich sind ja, wenn man an das Problem herantritt, vielerlei Schwankungsursachen in Betracht zu ziehen, und es bedarf schon eines bedeutenden statistischen Materials, um mit Hilfe der Korrelationsrechnung das Wesentliche vom Unwesentlichen trennen zu können. Das ist nun aber für unsere Verhältnisse geschehen, und es kann für die hier meist interessierenden Übertragungsstrecken des Mittellandes vorweg erklärt werden, dass weder der komplexe Brechungsindex der Troposphäre, noch die natürlichen Schwankungen der Bodenleitfähigkeit, an der beobachteten Instabilität der Bodenwellenfeldstärke massgebend beteiligt sind. Verglichen mit der vegetabilen Absorption sind dies hier lediglich Effekte zweiter Ordnung, welche zudem meist noch den beobachteten resultierenden Feldstärkeschwankungen entgegengesetzt gerichtet sind. Einzig in bezug auf die luftelektrischen Erscheinungen konnte gelegentlich einmal ein kräftiger Effekt mit einiger Sicherheit festgestellt werden, und zwar im Bereich lokaler Wärmegewitter. Diese Aussagen stimmen nun allerdings mit gewissen ausländischen Veröffentlichungen nicht überein. So interpretieren z. B. *Friend* und *Colwell*<sup>5)</sup> die von ihnen unter ähnlichen Verhältnissen langfristig beobachteten Schwankungen als Einfluss einer verhältnismässig tief liegenden reflektierenden Region der Troposphäre. Während langer Zeit bestand auch die damit verwandte Auffassung, wonach sich schon in verhältnismässig kurzen Senderdistanzen eine erhebliche diffuse Zustrahlung aus der niedern Atmosphäre bemerkbar mache, indem sie dann die beobachteten Feldstärkenwerte gegenüber den berechneten überhöht. *Grosskopf*<sup>6)</sup> hat jedoch kürzlich darauf hingewiesen, dass es sich hier nur um eine scheinbare Diskrepanz handelt, entstanden durch die Benutzung prinzipiell unzulässiger Ausbreitungsformeln. Auf die vorliegenden Untersuchungen zurückkommend sei daher nochmals betont, dass sich das über die dominierende Bedeutung der vegetabilen Absorption Gesagte auf den eigentlichen Dienstbereich der Sende anlagen bezieht. In grösseren Entfernungen, wo sich die Erdkrümmung bereits bemerkbar macht, d. h. in den eigentlichen Schattenzonen, wären dagegen anteilmässig bedeutende Schwankungsbeiträge atmosphärischer Inhomogenitäten ohne weiteres zu erwarten. Ebenso sei nicht in Abrede gestellt, dass gelegentliche extreme Stratifikationen der niedern Atmosphäre ausnahmsweise auch auf kürzere Sendeentfernungen eine gewisse Bedeutung erlangen können.

<sup>4)</sup> F. Eppen. Ueber periodische Schwankungen der Feldstärke von Funksendern. ENT 1933, S. 108.

<sup>5)</sup> A. W. Friend, R. C. Colwell. The heights of the reflecting regions in the troposphere. Proc. I.R.E. 1939, S. 626.

<sup>6)</sup> J. Grosskopf. Die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen über inhomogenem Boden. Hochfrequenztechn. u. Elektroak. 62 (1943) 103.

Das entscheidende Experiment für die vorliegende vegetabile Interpretation der Feldstärkenschwankungen der Bodenwelle wurde vor mehreren Jahren mit Hilfe des Berner Stadt senders durchgeführt, als schon frühere Beobachtungen im näheren Umkreis der Landessender Beromünster und Sottens gewisse richtungsabhängige, waldbedingte Schwankungen gezeigt hatten. Hierbei wurde, vom Stadt sender ausgehend, quer durch den verhältnismässig nahe gelegenen Bremgartenwald, ein Feldstärkenprofil mit einer Rahmenantenne, in Abhängigkeit von Jahreszeit und Waldtemperatur überprüft. Die eigentliche Waldstrecke beginnt in 1,4 km Entfernung vom Sender, nach einem Zwischengebiet, das schon ziem-

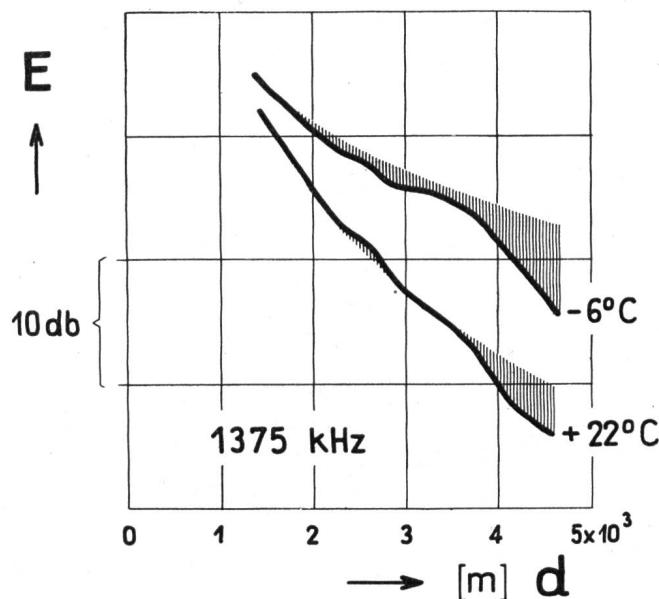


Fig. 6. Feldstärkenprofil quer durch den Bremgartenwald, in Abhängigkeit der Waldtemperatur.

lich stark mit Einzelbäumen durchsetzt ist und etwa 200 m Baumgruppen aufweist, und hat in Richtung des Senders eine Ausdehnung von 4 km. Von diesen Messungen zeigt Fig. 6 je ein unter Sommer- und Winterbedingungen aufgenommenes Feldstärkenprofil und dazu mit Hilfe von Schraffuren die theoretische Korrektur dieser Ausbreitungskurven, die sich unter Voraussetzung einer mittleren Erdleitfähigkeit  $\sigma = 10^{-2} \Omega^{-1} m^{-1}$  ( $10^{-13} EME$ ) berechnet, wenn  $S_{wa}$  entweder voll in Rechnung gesetzt oder gleich Null angenommen wird. Die grösste über die Gesamtstrecke beobachtete Schwankung erreichte 12 db! Ferner zeigt Fig. 7 noch zwei Schwankungsprofile vegetabil gemischter Uebertragungsstrecken.

Wie bereits erwähnt, ist auch die tägliche Feldstärkenbeobachtung recht aufschlussreich, vorausgesetzt, dass sie genügend langfristig am selben Empfangsort durchgeführt wird. Fig. 8 zeigt solche Aufnahmen.<sup>7)</sup> Die in linearem Maßstab aufgetragene Empfangsfeldstärke schwankt demnach ganz be-

<sup>7)</sup> Diese Aufnahmen beziehen sich auf den gegenwärtigen Betriebszustand der Sendeanlagen, d. h. sämtliche davon abweichenden Betriebszustände sind auf den jetzigen Zustand umgerechnet, so dass die Emissionsbedingungen als konstant zu betrachten sind.

trächtlich, wobei sowohl die Grobstruktur als auch die Feinstruktur der Diagramme in enger Korrelation zur Lufttemperatur der Erdnähe stehen. Vgl. Fig. 9. Die Korrelationsbetrachtung zeigt dann zunächst die mittleren Grenzwerte für „extrem warm“ und „extrem kalt“

$$\begin{array}{ll} \text{Beromünster} \rightarrow \text{Bern}: & 5,6 \leftrightarrow 15,2 \\ \text{Beromünster} \rightarrow \text{St. Gallen}: & 2,7 \leftrightarrow 8,0 \\ \text{Sottens} \rightarrow \text{Bern}: & 2,5 \leftrightarrow 9,0 \end{array} \times 10^{-3} \text{Vm}^{-1}$$

Daraus lassen sich nun weiter die Erdverluste und die vegetabilen Verluste trennen, wenn man die vegetabilen Verluste bei grosser Kälte vernachlässigt. Man erhält so unter Berücksichtigung der Senderstrahlung als Leitfähigkeit  $\sigma$  der kahlen Erde die mittleren Werte

$$\begin{array}{ll} \text{Beromünster} \rightarrow \text{Bern}: & 0,34 \\ \text{Beromünster} \rightarrow \text{St. Gallen}: & 0,43 \\ \text{Sottens} \rightarrow \text{Bern}: & 0,43 \end{array} \times 10^{-2} \Omega^{-1} m^{-1}$$

und für die mittlere vegetabile Absorption  $S_v$

$$\begin{array}{ll} \text{Beromünster} \rightarrow \text{Bern}: & 11 \\ \text{Beromünster} \rightarrow \text{St. Gallen}: & 11 \\ \text{Sottens} \rightarrow \text{Bern}: & 15 \end{array} \times 10^{-5} E^2$$

Es ist nun mehr recht interessant, diese indirekt ermittelten vegetabilen Verluste mit den aus dem Vegetationsbestand berechneten Verlusten zu vergleichen. Mit den Waldanteilen von 21,3% bzw. 30,1% bzw. 25,1% der einzelnen Uebertragungs-

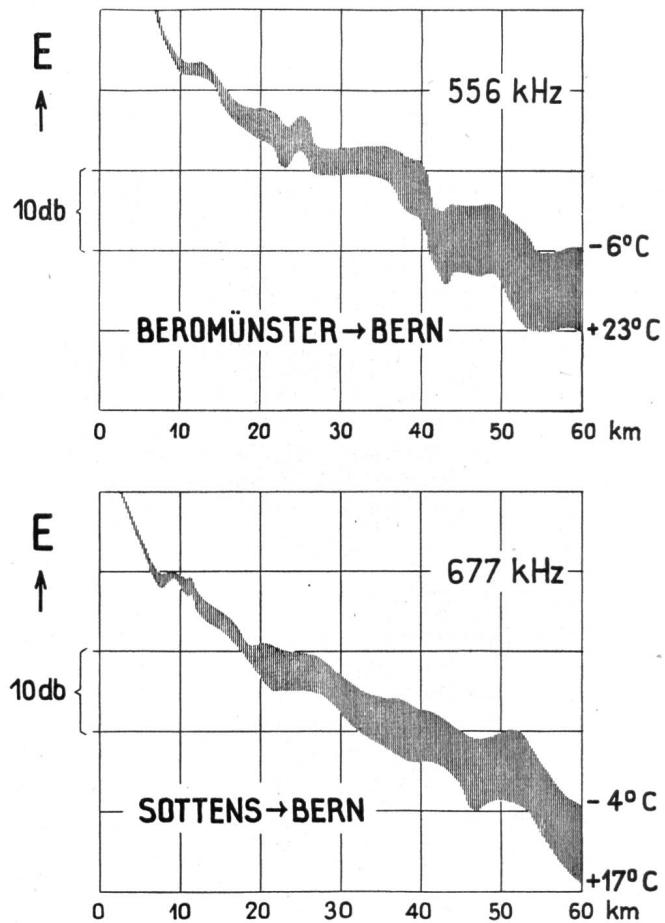


Fig. 7. Schwankungsprofile wichtiger Uebertragungsstrecken des Mittellandes.

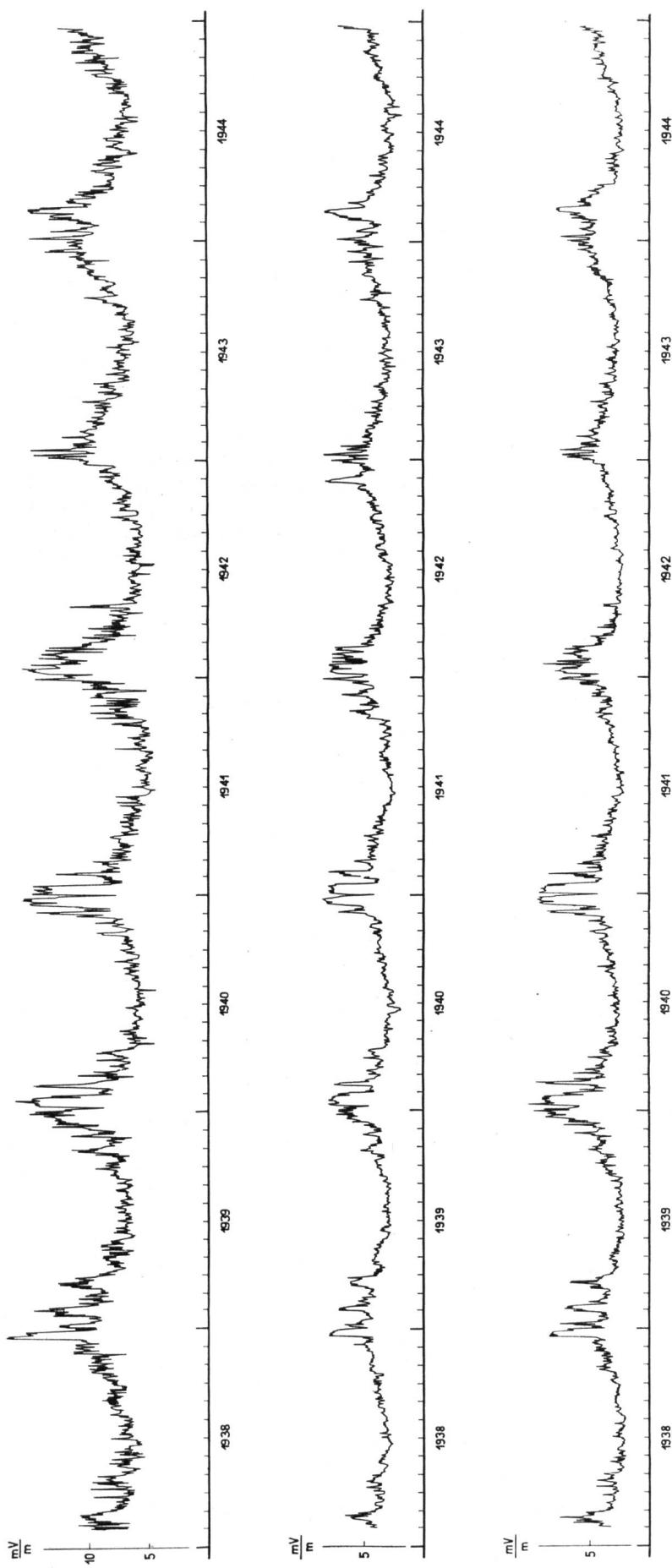


Fig. 8. Schwankung der Mittagswerte der Bodenwellenfeldstärke der Landessender Beromünster (100 kW, 556 kHz) und Sottens (100 kW, 677 kHz) in Bern und St. Gallen.

Oben: Beromünster → Bern = 62 km.      Mitte: Beromünster → St. Gallen = 93 km.      Unten: Sottens → Bern = 63 km.

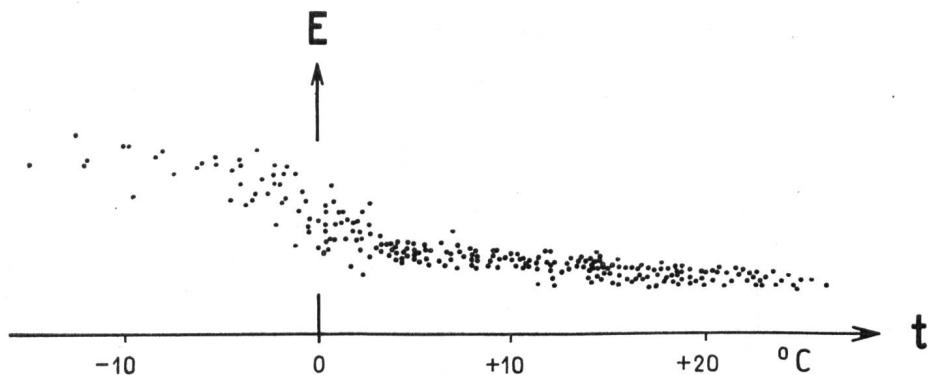


Fig. 9.

Feldstärken-Temperaturkorrelation der Uebertragungsstrecke:  
Sottens → Bern.

strecken würden sich diese Verluste  $S_V$  nach früher berechnen als

$$\begin{array}{ll} \text{Beromünster} \rightarrow \text{Bern:} & 8 \\ \text{Beromünster} \rightarrow \text{St. Gallen:} & 10 \quad | \times 10^{-5} E^2 \\ \text{Sottens} \rightarrow \text{Bern:} & 13 \end{array}$$

Das heisst, die Uebereinstimmung darf unter den obwaltenden Umständen eigentlich als überraschend gut bezeichnet werden. Die für die Emmentaler

streng eindeutig. Schon deshalb nicht, weil sich die Temperaturangaben nicht direkt auf die Vegetation beziehen, sondern den üblichen Luftpunktmessungen meteorologischer Observatorien entstammen. Die grösste Streuung wird normalerweise im Gebiet der tiefen Temperatur beobachtet. Es ist dies übrigens auch der Bereich, wo die Uebertragungsdämpfung auf die natürlichen Schwankungen der Erdbodenleitfähigkeit empfindlich wird, da dort die vegetabile Dämpfung

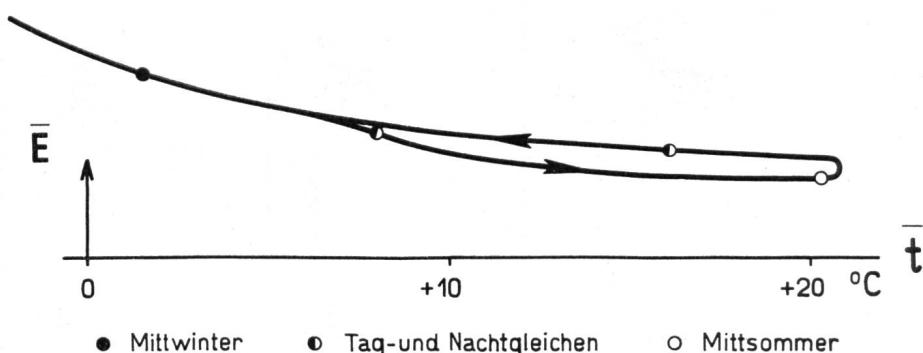


Fig. 10.

Jahreszeitliche Aufspaltung der Temperaturkorrelation  
(Schleifenbildung).

Strecke des Landessenders Beromünster etwas grössere Diskrepanz erklärt sich übrigens zwangsläufig durch die Tatsache, dass der Waldbestand dieses Profils verhältnismässig stark unterteilt ist, d. h. intensiver angeregt wird, und auch die Dichte der einzelstehenden Hölzer wesentlich grösser ist als im Mittel-land.

Die Temperaturbeziehung der Bodenwellenfeldstärke ist natürlich, wie aus Fig. 9 ersichtlich, nicht

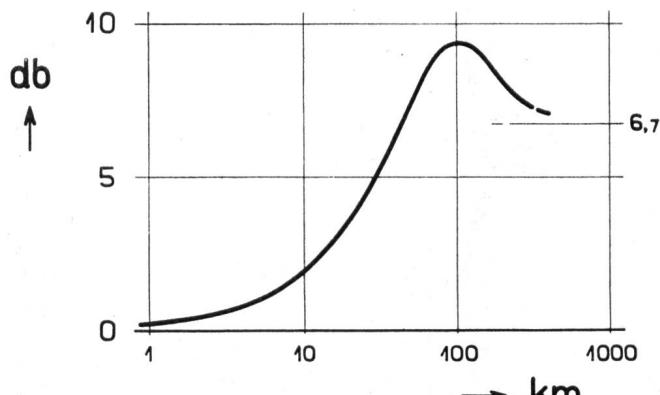


Fig. 11. Theoretisches Schwankungsprofil der Uebertragungsstrecke: Beromünster → St. Gallen.

wegfällt. In der wärmeren Jahreszeit sind dagegen die natürlichen Schwankungen der Erdbodenleitfähigkeit in der Feldstärkenstatistik wohl merkbar, aber nicht prevalierend —, so z. B. im vergangenen Herbst, wo das Grundwasserniveau, infolge der aussergewöhnlich intensiven Regenfälle, allgemein ange- stiegen ist.

Die Fig. 9 zeigt die Temperaturkorrelation über ein einzelnes Jahr. Würde man nun darin die einzelnen Punkte nach der Jahreszeit unterscheiden, so würde man eine Aufspaltung der Korrelation, d. h. eine Schleifenbildung feststellen, wobei die den verschiedenen Temperaturen entsprechenden Feldstärkenwerte im Frühsommer tiefer liegen als im Herbst. Diese Schleifenbildung ist sowohl von Strecke zu Strecke, als auch von Jahr zu Jahr, etwas verschieden. Fig. 10. Sie ist jedenfalls in erster Linie der Ausdruck der jahreszeitlichen Lebensphase der Vegetation, d. h. des Nährsalzumsatzes usw. Besonders deutlich zeigt sich gelegentlich in einem „späten Frühjahr“ das spontane „Erwachen der Natur“. Es ist im übrigen auch denkbar, dass der jahreszeitliche Gang der Erdbodenleitfähigkeit einen gewissen Anteil an der Schleifenbildung hat.

Die weitere Betrachtung der in Fig. 8 gezeigten Feldstärkenschwankungen führt u. a. noch zu der

Frage, inwieweit das Schwankungsverhältnis von der Senderentfernung abhängig ist, da doch die St. Galler Strecke, obschon sie wesentlich länger ist als die beiden andern, sich in bezug auf die Schwankungen davon kaum unterscheidet. Sie lässt sich beantworten, wenn man das Verhältnis der Dämpfungsbeträge  $f(\rho)$  mit und ohne vegetabiler Absorption in Funktion der Senderentfernung berechnet. Für die St. Galler Strecke gelangt man dann so zu der in Fig. 11 gezeigten

Streckenabhängigkeit, d. h., die Instabilität nähert sich in St. Gallen einem verhältnismässig flachen Maximum und fällt mit zunehmender Entfernung asymptotisch auf den Grenzwert 6,7 db.

Wie schon bei früherer Gelegenheit, so hat auch diesmal das *Forstamt der Burgergemeinde Bern* unsere Untersuchungen in zuvorkommender Weise durch Rat und Tat unterstützt, wofür ihm wiederum allerbestens gedankt sei.

## Die Erzeugung sinusförmiger Wechselströme über sehr breite Frequenzbereiche.

Von H. Jacot, Bern.

621.396.615.1:621.317

### Einleitung.

Um in der Fernsprechtechnik die verschiedenen Messungen ausführen zu können, muss man im besonderen eine Stromquelle zur Verfügung haben, die den nötigen sinusförmigen Wechselstrom liefert; diese Quelle muss, je nach den Bedürfnissen, verschiedene Bedingungen erfüllen. Aus diesen Gründen hat sich die Schwachstromindustrie seit ihren Anfängen mit der Entwicklung und der Herstellung solcher Stromquellen oder Oszillatoren befasst; diese müssen die erforderliche Wechselstromleistung für den gewünschten Frequenzbereich erzeugen.

Vor dem Erscheinen der Elektronenröhre wurden diese Wechselströme mit der gewünschten Frequenz durch kleine Wechselstromgeneratoren oder Quecksilberlampen erzeugt. Die Elektronenröhre gestattete, diese sinusförmigen Ströme für ganze Frequenzbereiche viel wirtschaftlicher zu gewinnen. Tritt zwischen dem Ausgang und dem Eingang eines Verstärkers eine Kopplung auf, d. h. wird ein Teil der Ausgangsenergie zum Eingang zurückgeführt, so entstehen bekanntlich Wechselströme, die anfänglich nicht vorhanden waren. Die auf diese Weise erzeugten Schwingungen müssen aber unterhalten werden, mit andern Worten, ihre Amplitude muss konstant bleiben. Hierfür müssen zwei Bedingungen erfüllt sein:

1. Die absolute Grösse der Spannung durch den Verstärker und den Kopplungskreis muss mindestens ebenso gross sein, wie diejenige am Eingang.
2. Die Spannung muss durch den Verstärker und den Kopplungskreis eine Drehung von  $2n\pi$  erfahren, wobei  $n$  immer eine ganze Zahl bedeutet.

Die Kopplung lässt sich mechanisch oder elektrisch bewerkstelligen. Eine mechanische Kopplung ist z. B. in den Stimmgabelsummern, die in gewissen Trägerstromsystemen Anwendung finden, verwirklicht. Die elektrische Kopplung wird durch parallel- oder in seriegeschaltete Resonanzkreise erreicht. Die Frequenz des erzeugten Wechselstromes ist bestimmt durch die Resonanzfrequenz des Kopplungskreises. Um verschiedene Frequenzen zu erhalten, muss man somit jedesmal den Wert der Kapazität und der Induktivität ändern, was zur Folge hat, dass diese Bauelemente sehr gross werden, sobald man einen etwas weiteren Frequenzbereich haben will. Es ist deshalb unmöglich, mit einem gewöhnlichen verän-

## Nouveau type d'oscillateur à gamme de fréquence variable très étendue.

Par H. Jacot, Berne.

621.396.615.1:621.317

### Introduction.

Pour effectuer les diverses mesures de transmission téléphonique, il faut, en particulier, avoir à disposition une source de courant alternatif sinusoïdal qui, suivant les cas, devra remplir plusieurs conditions. C'est pourquoi le développement et la fabrication de telles sources de courant, c'est-à-dire d'oscillateurs pouvant produire à une puissance convenable toute la gamme des fréquences désirées, a été un des problèmes auquel s'est attachée dès ses débuts l'industrie des courants faibles.

Avant l'apparition de la lampe amplificatrice, les courants alternatifs de la fréquence désirée étaient fournis par des petits alternateurs ou des lampes à mercure. La lampe amplificatrice permet d'obtenir d'une manière plus économique des courants sinusoïdaux pour toute la gamme des fréquences. On sait que si, dans un amplificateur, il y a une réaction entre la sortie et l'entrée, c'est-à-dire qu'une certaine quantité de l'énergie de sortie est ramenée à l'entrée, cela peut faire naître des courants alternatifs qui n'existaient pas à l'origine. Les oscillations ainsi produites doivent encore être entretenues; à cet effet deux conditions doivent être remplies:

1<sup>o</sup> après un tour complet à travers l'amplificateur et le circuit de couplage, le module de la tension doit être au moins égal ou plus grand que celui de la tension de départ.

2<sup>o</sup> la phase de la tension doit être, après un tour complet, la même, à un facteur de  $2n\pi$  près, que la phase initiale.

Le couplage peut se faire mécaniquement ou électriquement. Un couplage mécanique est réalisé par exemple dans les oscillateurs à diapason qu'on utilise dans certains systèmes à courants porteurs. Le couplage électrique est constitué par des circuits résonnantes en parallèle ou en série. La fréquence du courant alternatif engendré sera déterminée par la fréquence de résonance du circuit de couplage. Pour obtenir des fréquences différentes, il faut donc changer chaque fois la valeur de la capacité et de la self et, si on désire avoir une gamme de fréquences assez étendue, ces éléments auraient tout de suite des dimensions assez grandes. Il n'est pas possible en effet, avec un condensateur variable ordinaire, de faire varier la fréquence dans une gamme très étendue.