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

Herausgeber: Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung

Band: 18 (1940)

Heft: 1

Artikel: Ueber die Streustrahlung der Erdoberfläche im Bereich der Rundspruchsender

Autor: Gerber, W. / Werthmüller, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-873283

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: 02.07.2025

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

Bern 1. II. 1940 № 1 Jahrgang - Année - Anno XVIII

Technische Mitteilungen

Herausgegeben von der schweiz. Telegraphen- und Telephon-Verwaltung

Bulletin Technique
Publié par l'Administration des Télégraphes et des Téléphones suisses

PTT

Bollettino Tecnico
Pubblicato dall' Amministrazione dei Telegrafi e dei Telefoni svizzeri

Inhalt — Sommaire — Sommario: Ueber die Streustrahlung der Erdoberfläche im Bereich der Rundspruchsender. — Kurzwellensender Schwarzenburg. L'émetteur à ondes courtes de Schwarzenbourg. — Anschluss der Radioapparate an das öffentliche Telephon-Rundspruchnetz. Raccordement des appareils radiophoniques au réseau public de télédiffusion. — Praktische Probleme des Fernsehens. — Der Hasler Zweischleifen-Impulsschreiber für Gleich- und Wechselstrom. L'impulsographe Hasler, à deux circuits enregistreurs, pour courant continu et alternatif. — Messung von Teilnehmeranschlüssen in automatischen Landzentralen. — Inländische Ferngespräche, Taxermässigung von 18 Uhr an. — Die Anfänge der elektrischen Telegraphie. Au temps des premiers télégraphes électriques. — Verschiedenes. Divers: L'onorevole consigliere federale Giuseppe Motta e il telefono. — Portraits des grands hommes de la Télécommunication. — Anrufschaltung in Linienwähleranlagen. — Connexion d'appel dans les installations de sélecteurs de lignes. — Lebensdauer von Erdkabeln. — Fernsehen in England. — Abgetriebene Radiosonden. — Les services radiotéléphoniques „outre-mer". — Eine Telegraphenkompagnie an der Arbeit. — Psychologie am Telephon. — Eine Hundegeschichte. — Frauen als Erfinderinnen. — Neue Grammophonplatten. — La machine à parler. — La radiodiffusion polyglotte. — Wissen Sie schon. — Epilogue d'une affaire mémorable. — Vor em Wältposcht-Dänkmol. — La phototélégraphie en couleurs. — Fachliteratur. Littérature professionnelle: Neuerwerbungen der Bibliothek der Telegraphenverwaltung. Nouvelles acquisitions de la bibliothèque de l'administration des télégraphes. Nuovi acquisti della biblioteca dell'amministrazione dei telegrafi. — Totentafel. Nécrologie: Prof. Dr. Johann Forrer. — Personalnachrichten. Personnel. Personale.

Ueber die Streustrahlung der Erdoberfläche im Bereich der Rundspruchsender.

W. Gerber und *A. Werthmüller*, Bern. 621.396.11

Mit Hilfe spezifischer Messmethoden wird die Zerstreuung primärer Wellenenergie an Inhomogenitäten der Erdoberfläche nachgewiesen. Es wird dabei gezeigt, wie die Streustrahlung in der Umgebung einer Sendeanlage wesentliche Beiträge zur unerwünschten Steilstrahlung liefert, und damit der Nahschwundbekämpfung von Fall zu Fall eine natürliche Grenze setzt.

In den klassischen Abhandlungen über die Ausbreitung der Bodenwelle wird die Erdoberfläche als homogener Leiter idealisiert. Damit wird das Uebertragungsvermögen der Erdoberfläche bei mittleren und langen Rundspruchwellen lediglich eine Funktion von Bodenleitfähigkeit und Frequenz. Auf dieser Grundlage hat z. B. das CCIR eine Schar von Ausbreitungskurven genormt.

Nach dem heutigen Stand unserer Erfahrungen besteht die Gewissheit, dass die vereinfachende Annahme einer homogenen Erdoberfläche für schweizerische Verhältnisse nicht zulässig ist, indem z. B. schon im Mittelland durch zufällig verteilte Inhomogenitäten bedeutende Energieanteile der Bodenwelle zerstreut werden. Mit dieser Erkenntnis, sowie auch wegen der nicht unbedeutenden Absorption durch den Baumbestand der Uebertragungsstrecken, verliert der klassische Begriff der Bodenleitfähigkeit seine physikalische Realität.

Die praktische Bedeutung der erwähnten Inhomogenitäten beschränkt sich aber nicht nur auf die Ausbreitungsdämpfung der Bodenwelle. Untersuchungen über den Nahschwund haben nämlich gezeigt, wie auch an der unerwünschten Steilstrahlung von Sendeanlagen Inhomogenitäten der Erdoberfläche massgebend beteiligt sind. In der Betrachtung dieser Vorgänge, die in ihrer allgemeinen Form als statistisches Problem erscheinen, wird man zweckmässig unterscheiden zwischen Nahfeld und Fernzone der Sendeantenne, d. h. zwischen der Rückstrahlung des Antennenareals und der Ablösung von Bodenwellenenergie in der weitern Umgebung. Wegen der grossen Bedeutung der Nahschwundbekämpfung in der Planung und im Betrieb der heutigen Großsender scheint die ausschliesslich senderseitige Betrachtung von Erdbodeneinflüssen vorerst gerechtfertigt. Es darf dabei aber nicht übersehen werden, dass gerade auf der Empfangsseite — z. B. in Gebirgstälern — sehr oft bedeutende Einflüsse der Erdoberfläche mitspielen, weshalb hier der Vollständigkeit halber auf das zwischen Sende- und Empfangsseite geltende Prinzip der Reziprozität verwiesen sei.

Die Streustrahlung der Erdoberfläche ist auch in der Flugpeilung bekannt, wo sie zu Peilunsicherheiten führt, die sich besonders beim Ueberfliegen von Hügel- und Berggegenden bemerkbar machen.

Feststellungen am Erdboden.

1. Misst man auf einem Ausbreitungsstrahl die Feldstärke der Bodenwelle kontinuierlich in Funktion des Ortes, so wird man von der idealisierten Dämpfungskurve abweichende örtliche Pegelunterschiede feststellen, die praktisch in allen Fällen auf vorhandene Inhomogenitäten der Erdoberfläche deuten. Mit diesem einfachen Vorgehen können also eventuell bestehende Inhomogenitäten rasch nachgewiesen werden. Als nächsten Schritt wird man sich über den Verbleib der zerstreuten Energie interessieren, wobei zur Bestimmung der Horizontalkomponenten am Erdboden ebenfalls ein einfaches Messverfahren dient, das auf dem unterschiedlichen Verhalten zwischen Linear- und Rahmenantennen im Bereich interferierender Wellenzüge beruht.

Zur Erläuterung des erwähnten Messverfahrens seien in einer mit s bezeichneten Richtung zwei gegenläufige vertikal polarisierte Wellen $\mathfrak{E}_1$ und $\mathfrak{E}_2$ angenommen, mit der resultierenden Feldstärke:

$$\mathfrak{E} = \mathcal{E}_1 \cdot e^{j\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} s + \Phi_1\right)} + \mathcal{E}_2 \cdot e^{j\left(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda} s + \Phi_2\right)} \quad (1)$$

Bezeichnet man ferner mit C das Aufnahmevermögen der Antennen, so gilt für die induzierte EMK in der vertikalen Linearantenne die Beziehung:

$$E_L = C_L \cdot |\mathfrak{E}| = C_L \cdot \left|\left(\mathcal{E}_1 \cdot e^{j\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} s + \Phi_1\right)} + \mathcal{E}_2 \cdot e^{j\left(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda} s + \Phi_2\right)}\right)\right|, \quad (2)$$

und für die vertikale Rahmenantenne:

$$E_R = C_R \cdot \left|\frac{\partial \mathfrak{E}}{\partial s}\right| = C_R \cdot \left|j\frac{2\pi}{\lambda}\left(-\mathcal{E}_1 \cdot e^{j\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} s + \Phi_1\right)} + \mathcal{E}_2 \cdot e^{j\left(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda} s + \Phi_2\right)}\right)\right| \quad (3)$$

Aus den Vorzeichen im Summanden der Gl. (2) und (3) folgt, dass sowohl die Maximalanzeigen als auch die Minimalanzeigen zwischen Linear- und Rahmenantennen örtlich um $\frac{\lambda}{4}$ distanziert sind.

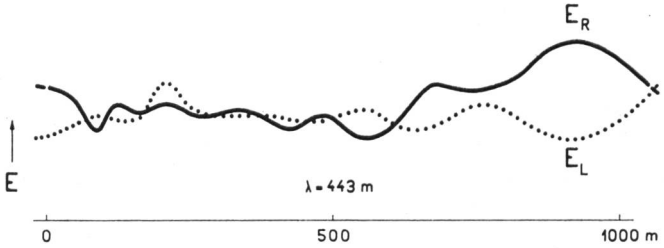


Fig. 1. Interferenzbild der Bodenwelle des Landessenders Sottens, aufgenommen mit vertikalen Linear- und Rahmenantennen auf einem Meßstrahl im Lauterbrunnental.

Nach Gl. (2) und (3) korrespondieren:

Anzeigen der Linearantenne	Amplitude der res. Feldstärke	Anzeigen der Rahmenantenne
$\begin{pmatrix}\text{Maximum}\\ C_L(\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2)\end{pmatrix}$ ←	$\begin{pmatrix}\text{Bauch}\\ \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2\end{pmatrix}$ →	$\begin{pmatrix}\text{Minimum}\\ C_R \cdot \frac{2\pi}{\lambda}(\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2)\end{pmatrix}$
$\begin{pmatrix}\text{Minimum}\\ C_L(\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2)\end{pmatrix}$ ←	$\begin{pmatrix}\text{Knoten}\\ \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2\end{pmatrix}$ →	$\begin{pmatrix}\text{Maximum}\\ C_R \cdot \frac{2\pi}{\lambda}(\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2)\end{pmatrix}$ (4)

wobei:

C_L = Höhe der vertikalen Linearantenne
C_R = Rahmenfläche mal Windungszahl.

2. Nach den bisherigen Erfahrungen sind Berg- und Talformationen in ihrer Wirkung auf die Wellenausbreitung die prevalierenden Inhomogenitäten der Erdoberfläche. Diese Tatsache ist auch aus den bereits veröffentlichten Feldstärkenplänen unserer Rundspruchsender direkt ersichtlich.[1]) Es sei lediglich noch hinzugefügt, dass bei den im Alpengebiet massgebenden Beugungserscheinungen dem Verhältnis der Wellenlänge zu den Gebirgsdimensionen eine wesentliche Bedeutung zukommt.[2])

[1]) *W. Gerber* und *A. Werthmüller*. Wellenausbreitung der schweizerischen Rundspruchsender. Techn. Mitt. schweiz. Telegr. u. Teleph. Verw. 1936. S. 121. Vgl. auch die Feldstärkenprofile auf S. 123 mit den typischen Maximas an den senderseitigen Hängen.

[2]) Daher auch die extreme Schattenbildung bei Ultrakurzwellen. Vgl. *W. Gerber* und *F. Tank*. Ueber die Ausbreitung von Ultrakurzwellen in der Schweiz. Schweiz. Arch. f. angew. Wiss. u. Techn. 1939. Sonderheft über Probleme des Fernsehens.

In praktischer Hinsicht ist der Tagesempfang in Gebirgsgegenden grundsätzlich benachteiligt, weil die Radiohörer im Bereich der Feldstärkenminima, d. h. in den Tälern konzentriert sind, während die relativ guten Empfangsfeldstärken im Bereich der Berggipfel praktisch unbenützt bleiben. Glücklicherweise ist der nächtliche Fernempfang gut, ganz besonders bei steil einfallenden Raumstrahlen, wie das z. B. im Berner Oberland für bestimmte oberitalienische Sender der Fall ist. Ein anderer glücklicher Umstand ist die Tatsache, dass überragende Berggipfel im Zuge der Wellenausbreitung merkbare Energieanteile direkter Raumstrahlen des Senders der Erde zubeugen, weshalb die Ausbreitungsdämpfung der Oberflächenwelle über längere Gebirgsstrecken etwas gemildert erscheint.

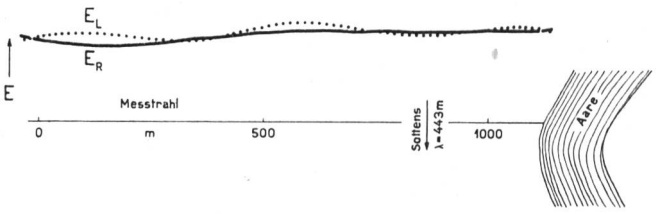


Fig. 2. Interferenzen der Bodenwelle des Landessenders Sottens, auf einem Meßstrahl senkrecht zur Aare bei Grenchen.

Von den energiezerstreuenden Wirkungen im Gebiet der Hochalpen zeigt Fig. 1 als Beispiel ein Messergebnis [3]) aus einem bekannten trogförmigen Tal.

Neben Berg- und Talformationen kommen als Streuzentren im Bereich mittlerer Wellenlängen weiter in Betracht: Flüsse, Seeufer, Wälder, metallische Leitungen, sowie die im Peilwesen mit „Sprungstellen" bezeichneten Stoßstellen in der Erdbodenstruktur. Eine kleine Auswahl diesbezüglicher Aufnahmen zeigen die Fig. 2 und 3.

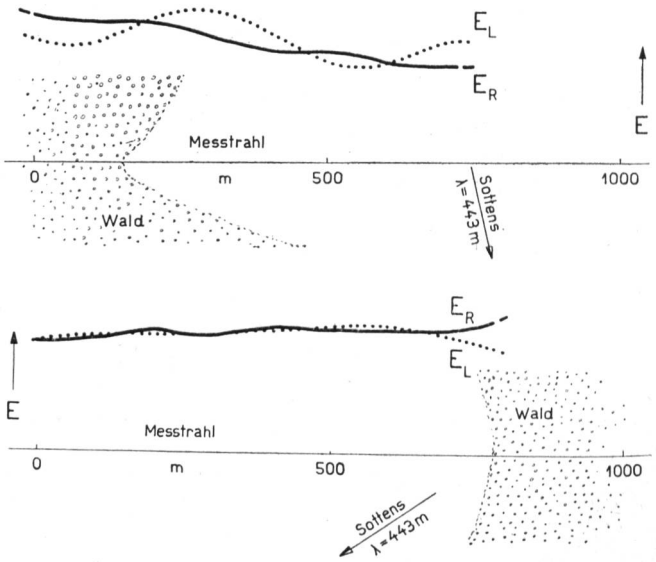


Fig. 3. Interferenzen der Bodenwelle des Landessenders Sottens im Bereich von Waldrändern, aufgenommen an warmen Oktobertagen.

[3]) Bei den in Fig. 1, 2 und 3 gezeigten Aufnahmen ist die Rahmenantenne stets auf den Sender zugerichtet. Ferner sind die Anzeigen der Linear- und Rahmenantennen, E_L und E_R, im ungestörten Feld der Bodenwelle aufeinander abgeglichen.

3. Beim heutigen Stand der Erfahrungen sind jedenfalls die durch den Baumbestand der Erdoberfläche gebildeten Inhomogenitäten am ehesten einer wenigstens überschlagsmässigen Berechnung zugänglich.

Man betrachtet den einzelnen Baum als vertikal polarisierten Strahler und erhält dann die resultierende Wirkung ganzer Baumbestände einfach durch Summierung der Strahlungsanteile, unter Berücksichtigung der Phasen.

Es seien nun im folgenden am Beispiel eines homogenen rechteckförmigen Waldes die Fernwirkungen der Mit- und Rückflusskomponenten berechnet. Die primäre anregende Welle bewege sich in der x-Richtung; sie sei vertikal polarisiert und im Bereich des betrachteten Waldstreifens als eben angesetzt. Ferner seien die Waldseiten als senkrecht bzw. parallel zur x-Richtung angenommen. Vergleiche Fig. 4.

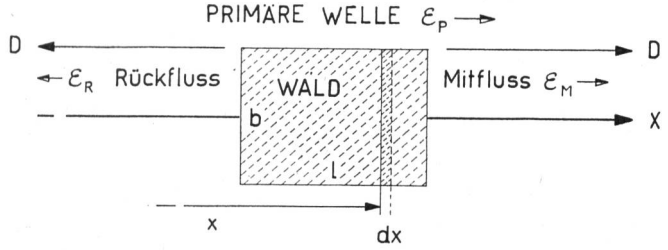


Fig. 4.

Im übrigen gelten für die Berechnungen, z. Teil im Sinne von Mittelwerten, die Bezeichnungen:

- b Dimension des Waldes parallel zur Wellenfront.
- l Dimension des Waldes in der Fortpflanzungsrichtung der Wellen.
- n Anzahl Bäume pro Flächeneinheit.
- h Wirksame Strahlungshöhe eines Baumes.
- I_B Stromstärke im Fusspunkt eines Baumes.
- λ Wellenlänge.
- D Distanz von der Waldmitte.
- $\mathfrak{E}, \mathcal{E}$ Elektrische Feldstärke.
- Φ, Ψ Phasenkonstanten

und die Masseinheiten: Volt, Ampère, Meter.

Zur Berechnung der horizontalen Fernwirkung eines einzelnen Baumes kann die bekannte Strahlungsformel

$$\mathcal{E}_B = \frac{120\,\pi \cdot h}{\lambda \cdot D} \cdot I_B \qquad (5)$$

herangezogen werden. Die resultierende Wirkung eines Waldstreifens b · dx, mit der Strombelastung

$$I_B \cdot n \cdot b \cdot dx,$$

beträgt dann in der x-Richtung, in Entfernungen, wo

$$D \gg b, \qquad (6)$$

$$d\mathcal{E}_{R,M} = \frac{120\,\pi \cdot h \cdot n \cdot b}{\lambda \cdot D} \cdot I_B \cdot dx$$

Die zu betrachtende Waldfläche sei jetzt durch eine primäre Welle von der Form

$$\mathfrak{E}_P = \mathcal{E}_P \cdot e^{j\left(\omega t + \Phi - \frac{2\pi}{\lambda} x\right)} \qquad (7)$$

angeregt. Der von der gesamten Waldfläche erzeugte *Rückfluss* wird damit:

$$\mathcal{E}_R = \frac{120\,\pi \cdot h \cdot n \cdot b}{\lambda} \cdot I_B \left| \int_l^D \frac{e^{j\left(\omega t + \Psi - \frac{4\pi}{\lambda} x\right)} \cdot dx}{D} \right|,$$

wobei im Winkel Ψ die Phasenanteile der Bezugspunkte, sowie die Phasenverschiebung der Sekundäremission gegenüber der anregenden Welle zusammengefasst sind.

Da in bezug auf die Fernwirkung

$$D \gg l \qquad (8)$$

ist, darf D vor das Integralzeichen gesetzt werden, und es wird dann nach Ausführung der Integration:

$$\mathcal{E}_R = \frac{60 \cdot h \cdot n \cdot b \cdot \sin \frac{2\pi l}{\lambda}}{D} \cdot I_B \qquad (9)$$

Die Rückflussgleichung (9) zeigt u. a., wie der Rückfluss in Funktion der Waldlänge periodisch zwischen Null und einem bestimmten Grenzwert schwankt, wobei zu beachten ist, dass bereits relativ kurze Waldstreifen

$$l = \frac{\lambda}{4} (1, 3, 5, \ldots)$$

hinsichtlich des Reflexionsvermögens voll wirksam sind.

Mit den gleichen Annahmen wie im Fall des Rückflusses gelten für den *Mitfluss* die Beziehungen:

$$\mathcal{E}_M = \frac{120\,\pi \cdot h \cdot n \cdot b}{\lambda} \cdot I_B \cdot \left| e^{j(\omega t + \Psi)} \int_l \frac{dx}{D} \right|$$

$$= \frac{120\,\pi \cdot h \cdot n \cdot b \cdot l}{\lambda \cdot D} \cdot I_B = \frac{120\,\pi \cdot h \cdot N}{\lambda \cdot D} \cdot I_B, \qquad (10)$$

wobei: N = Baumbestand des betrachteten Waldes.

Von einigem Interesse ist in diesem Zusammenhang noch das Verhältnis zwischen Mitfluss und Rückfluss:

$$\frac{\mathcal{E}_M}{\mathcal{E}_R} = \frac{\frac{2\pi l}{\lambda}}{\sin \frac{2\pi l}{\lambda}} \qquad (11)$$

Bei relativ kurzen Waldstreifen sind demnach Mitfluss und Rückfluss gleich stark, und mit zunehmender Waldlänge überwiegt der Mitfluss, periodisch schwankend, immer mehr.

Im Anschluss an die abgeleiteten Formeln mögen nun die folgenden Zahlenangaben, wenigstens grössenordnungsmässig, den praktischen Zusammenhang vermitteln.

Einige der hier vorerst interessierenden Waldangaben sind für die Uebertragungsstrecken: *Beromünster→Bern*, *Beromünster→St. Gallen* und *Sottens →Bern* statistisch ermittelt worden und geben bereits ein gutes Bild über die Verhältnisse im Mittelland. Demnach würde der Waldanteil an den Uebertragungsstrecken im Mittelland rund ein Viertel ihrer Gesamtlänge betragen, bei einer mittleren Länge der einzelnen Waldstrecken von etwa 300 m, in Richtung des Strahles gemessen.

Nach Angaben des *Burgerlichen Forstamtes* über die Waldverhältnisse in der Umgebung von *Bern* darf ferner die Baumdichte, bezogen auf Stämme

über 16 cm $\varnothing$, zu n = 0,05...0,06/m² angenommen werden; die mittlere Waldhöhe betrage 25...30 m, und die maximalen Baumhöhen etwa 30...40 m.

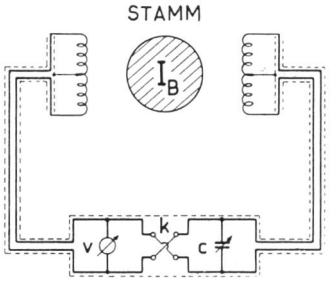


Fig. 5. Messanordnung zur Bestimmung der Amplitude des Schwingungsstromes in Baumstämmen.
V = Symmetrisches Röhrenvoltmeter;
C = Abstimmkondensator;
K = Kommutator. Damit können die Meßspulen gegenseitig umgepolt werden, so dass I_B unter Berücksichtigung der Gerätekonstanten direkt in Beziehung zu $\mathcal{E}_P$ gebracht wird. Die Gerätekonstante selbst kann leicht berechnet oder auch experimentell z. B. mit Hilfe eines stromführenden Drahtes bestimmt werden.

Die noch fehlende Amplitude des Schwingungsstromes im Fusspunkt der Bäume lässt sich von Fall zu Fall mit Hilfe einer Messanordnung nach Fig. 5 in einfacher Weise bestimmen. Bei solchen Messungen findet man u. a. eine starke Temperaturabhängigkeit infolge der elektrolytischen Leitfähigkeit des Holzes, sowie Abhängigkeiten von der jahreszeitlichen Lebensphase, der Holzart usw., worüber in einer späteren Veröffentlichung eingehender berichtet werden soll.

Im Dezember 1939 wurde z. B. aus statistischen Messungen in den Wäldern um Bern für mittlere Wellenlängen die Beziehung

$$I_B \approx \frac{\mathcal{E}_P}{3000} \qquad (12)$$

festgestellt. Schätzt man noch die wirksame Strahlungshöhe aus den angegebenen Baumhöhen zu 15 m, so erhält man für Mit- und Rückfluss die Betragsgleichungen

$$\mathcal{E}_M \approx \frac{F}{10\,\lambda\,D}\,\mathcal{E}_P \qquad \mathcal{E}_R \approx \frac{b \cdot \sin\frac{2\pi 1}{\lambda}}{60\,D}\,\mathcal{E}_P \qquad (13)$$

wobei:

F = Waldfläche in m²

Abschliessend sei noch darauf hingewiesen, dass die hier entwickelten Mit- und Rückflussgleichungen soweit gültig sind, als das primäre anregende Feld prevaliert und Dämpfungsglieder vernachlässigbar sind.

In ihrer Gesamtheit deuten die in diesem Abschnitt behandelten Erscheinungen auf das Bestehen eines von Fall zu Fall mehr oder weniger ausgeprägten Rückflusses im Gebiet der Oberflächenwellen[4]) hin und es scheint naheliegend, diese Möglichkeit gelegentlich mit Hilfe sehr kurzer Sendeimpulse am Senderstandort nachzuprüfen. Ferner sei in diesem Zusammenhang auch auf die unter Ziffer 2 zitierte Veröffentlichung verwiesen, wo dem Rückfluss bei Ultrakurzwellen einige Betrachtungen allgemeiner Natur gewidmet sind.

Raumstrahlung der Erdoberfläche.

1. Streuenergien der Erdoberfläche treten im Raume über dem Erdboden vorwiegend als Interferenzen mit der meistens prevalierenden direkten Senderstrahlung in Erscheinung. In der Vertikalebene über Sender und Streustrahler sind die entsprechenden Interferenzlinien mehr oder weniger hyperbelförmig, wie dies in Fig. 6 für einen punktförmigen Sekundärstrahler angedeutet ist.

Auch hier besteht wieder die Möglichkeit, den Streustrahler durch Aufnehmen von Feldstärkenprofilen zu analysieren. Messtechnisch wurde das Verfahren benützt, das die Verfasser bereits in der eingangs zitierten Veröffentlichung zu Strahlungsmessungen an Sendeantennen angegeben haben: Ein für Messzwecke geeignetes Flugzeug enthält ein registrierendes Feldstärkenmessgerät in Verbindung mit einer Rahmenantenne in der Symmetrieebene, ferner ein Bodenvisier- und Messmittel zur Höhenbestimmung. Fig. 7 zeigt die verwendeten Messgeräte.

Damit werden die erwähnten Feldstärkenprofile in einer vor dem Messflug bestimmten Vertikalebene mit konstanter Geschwindigkeit und Höhe für verschiedene Höhenwerte registriert. Für das Gelingen solcher Messungen ist allerdings eine im Vermessungsdienst geübte Flugzeugbesatzung erforderlich. Wird

[4]) Bei den gegenwärtigen Untersuchungen über troposphärische Reflexionen bei mittleren Wellenlängen wäre demnach eine gewisse Vorsicht geboten, besonders auch mit Rücksicht auf das von Jahreszeit und Temperatur abhängige Reflexionsvermögen des Baumbestandes.

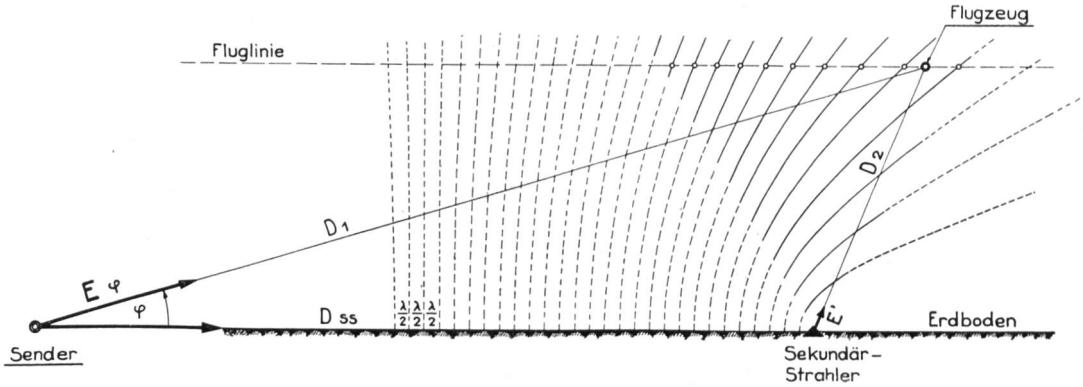


Fig. 6. Interferenzlinien von einem punktförmigen Sekundärstrahler der Erdoberfläche. Hyperbelschar: D_1—D_2 = p · λ, wobei p = ganzzahliger Parameter.

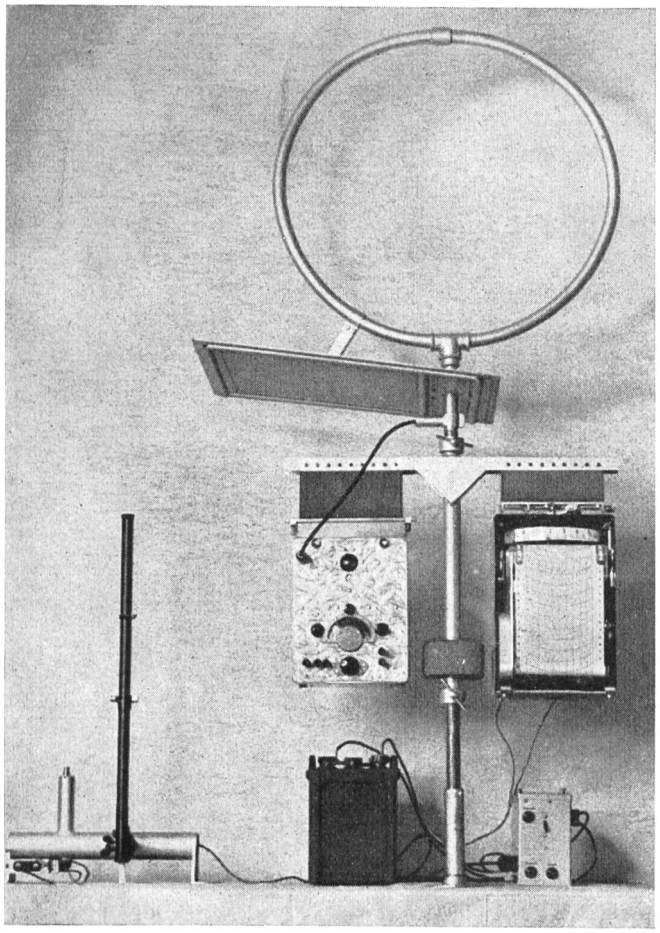


Fig. 7. Registrierendes Feldstärkenmessgerät für Strahlungsmessungen im Flugzeug.

ferner beim Einbau der Messantenne auf eine möglichst unverzerrte Funkbeschickungskurve geachtet, und werden die Fehlermöglichkeiten in der Höhenbestimmung z. B. durch Anwendung photogrammetrischer Mittel ausgeschaltet, so können bei einigermassen ruhigen Luftverhältnissen bedeutende Messgenauigkeiten erreicht werden.

2. Mit dem beschriebenen Messverfahren sind im schweizerischen Mittelland eine Reihe von Messflügen in Höhen von 1200 bis 5700 m ü. M. ausgeführt worden. Diese Messungen haben ohne Ausnahme gezeigt, wie bereits bei dem relativ mässig gebrochenen Gelände, wie es das Mittelland darstellt, bedeutende Energieanteile aus dem Bereich der Bodenwellen von der Erdoberfläche nach oben zerstreut werden. Im Rundspruchbetrieb können dadurch, besonders bei den heutigen Spezialantennen mit verminderter Steilstrahlung, massgebende Beiträge zur unerwünschten Steilstrahlung geliefert werden, womit den senderseitigen Möglichkeiten der Nahschwundbekämpfung von Fall zu Fall eine natürliche Grenze gesetzt ist. Bei der Wahl eines Senderstandortes wird man deshalb auch das Streuvermögen der Landesgegend in Betracht ziehen müssen, wobei besonders die der Sendeantenne zunächst liegenden Streustrahler zu beachten sind.

Einen Begriff von dem bedeutenden Umsatz von Bodenwellenenergie in Raumstrahlung gibt die in Fig. 8 gezeigte Aufnahme aus der Gegend des Landessenders Beromünster. Der komplizierte Kurvenverlauf deutet auf ein Gemisch von interferierenden Wellenzügen, das nun mehr oder weniger durch Messflüge in verschiedenen Höhen analysiert werden kann.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass Berg- und Talformationen unter den bereits aufgezählten Inhomogenitäten der Erdoberfläche auch im Bereich der Raumstrahlung als massgebende Streustrahler in Erscheinung treten. Ein Ergebnis diesbezüglicher Messungen aus der näheren Umgebung des Landessenders Beromünster ist in Fig. 9 wiedergegeben, wobei die römischen Ziffern mit Fig. 8 korrespondierende Maxima bezeichnen.

Da die sekundären Strahler der Erdoberfläche in ihrer Ausdehnung, mit der Wellenlänge verglichen,

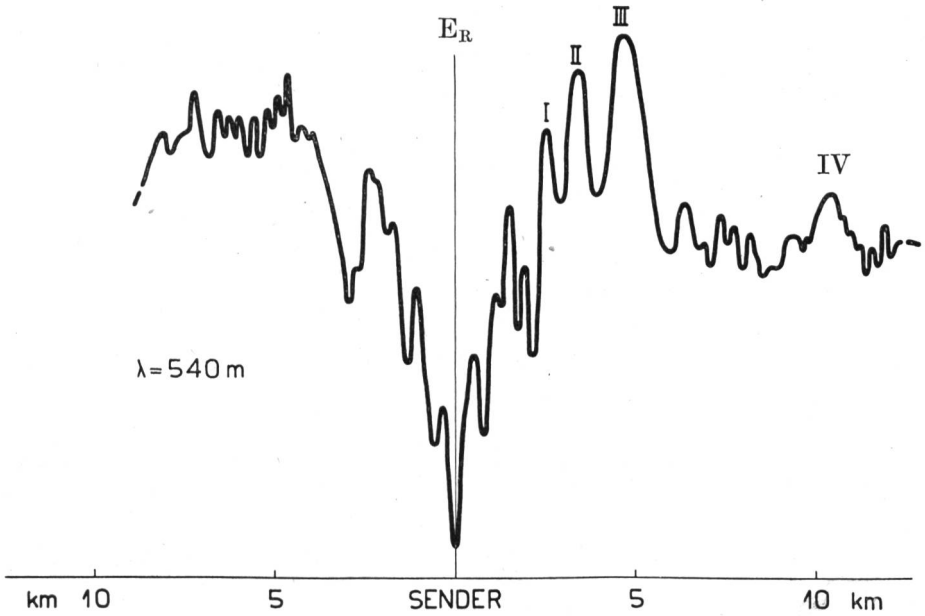


Fig. 8. Feldstärkenprofil in einer Vertikalebene über dem Landessender Beromünster, aufgenommen in 3000 m ü. M. mit Eidg. Grundbuchamt.

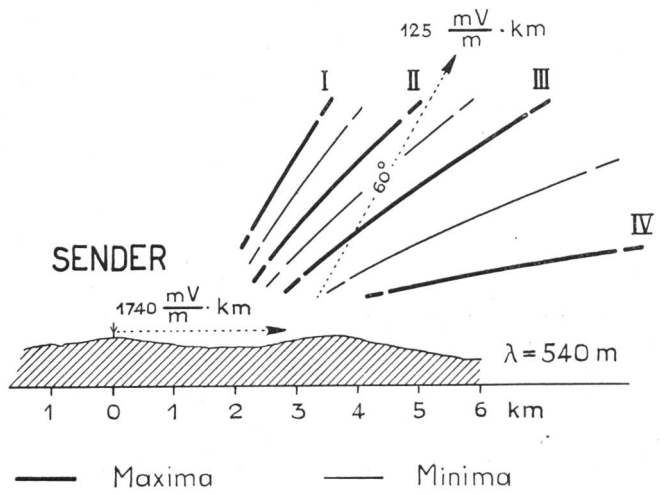


Fig. 9. Interferenzlinien und Intensität der Streustrahlung eines Hügelzuges.

nicht konzentriert sind und anderseits die Flughöhe praktisch begrenzt ist, ist die Auswertung der Flugzeugmessungen in bezug auf Intensität und Phase der Fernwirkung mit gewissen Schwierigkeiten verbunden. An Stelle des praktisch unbekannten Phasenintegrals wird man sich von Fall zu Fall mit angenäherten Berechnungen begnügen müssen. So wurde z. B. im Fall der Fig. 9, wo ein zur Senderichtung senkrecht stehender Hügelzug reflektiert, die 60°-Fernwirkung mit Hilfe eines Divergenzfaktors von der Form

$$\frac{1}{\sqrt{d\,(d + 2{,}9)}}$$

ermittelt. Bezüglich der Phase sind in den Interferenzlinien Andeutungen vorhanden, wonach die *Huygens*'schen Zentren der Sekundäremission über den gesamten senderseitigen Hang verteilt sind, mit einer Zugehörigkeit von Interferenzgebieten zu bestimmten Hangpartien, so dass z. B. die Interferenzlinie I mit einer Ausstrahlung in der Nähe der Talsohle und die Interferenzlinie IV mit einer Ausstrahlung in der Kammgegend korrespondieren würde.

Für die Nahschwundbekämpfung ist übrigens die Kenntnis der Phasenlage einzelner Streustrahler wohl in den meisten Fällen unwesentlich, indem die für ein bestimmtes Nahschwundgebiet massgebende Phasenlage der Streustrahlung aus einer sehr grossen Anzahl einzelner Beiträge resultieren wird.

Da wo es die Antennenkonstruktion gestattet, scheint es dagegen bei einem Verdacht auf intensive Streustrahlungen angezeigt, die Sendeantenne versuchsweise mit und ohne Nebenmaximum im Steilstrahlungsbereich zu erregen, wodurch die Phasenlage der Steilstrahlung der Sendeantenne gegenüber der Streustrahlung der Erdoberfläche kommutiert werden kann.

3. Bei Waldformationen lässt sich die Raumstrahlung mit den im vorhergehenden Abschnitt eingeführten Grössen berechnen, was im folgenden am Beispiel der Fig. 4 geschehen möge.

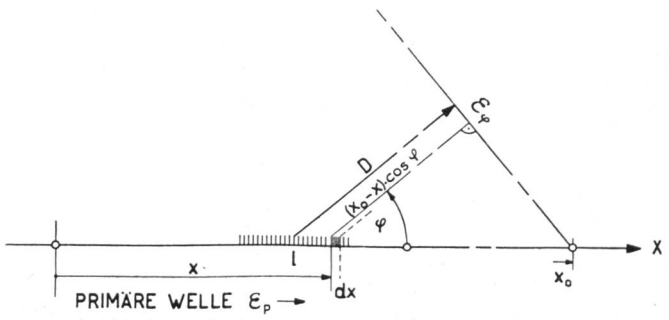


Fig. 10.

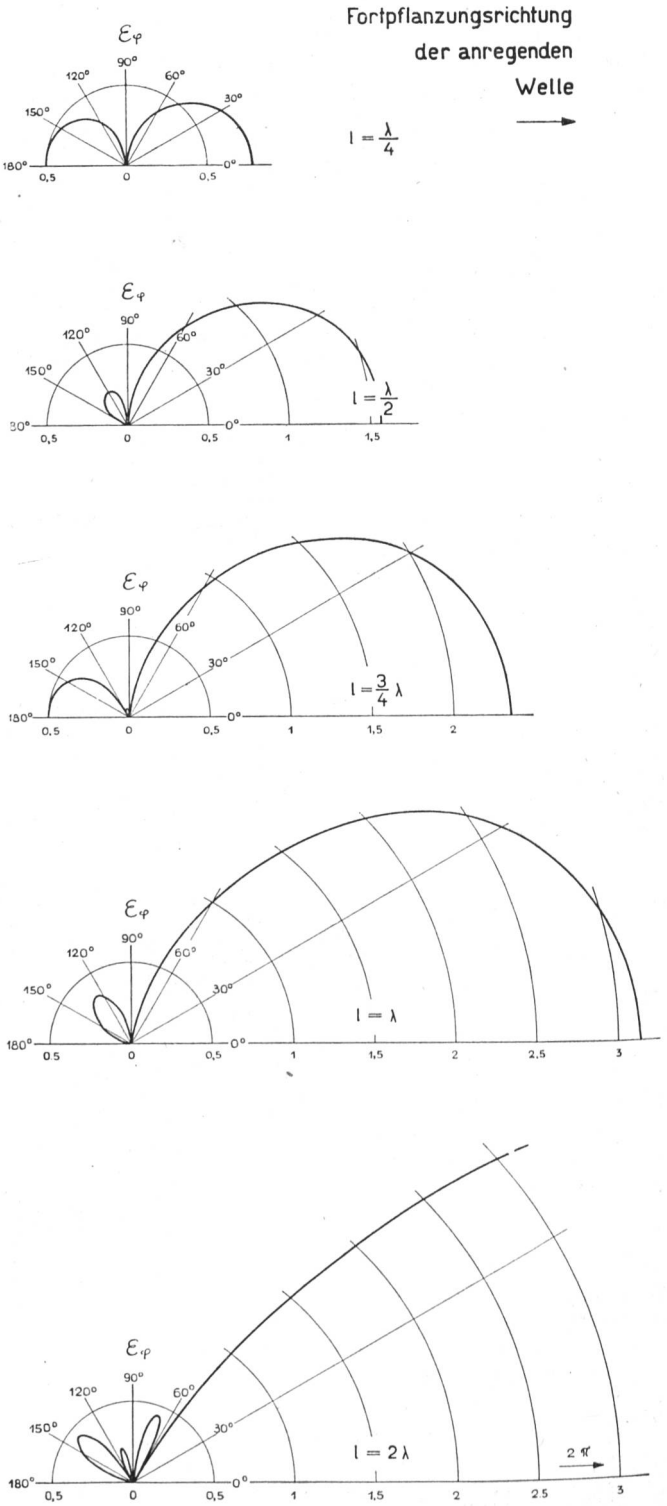
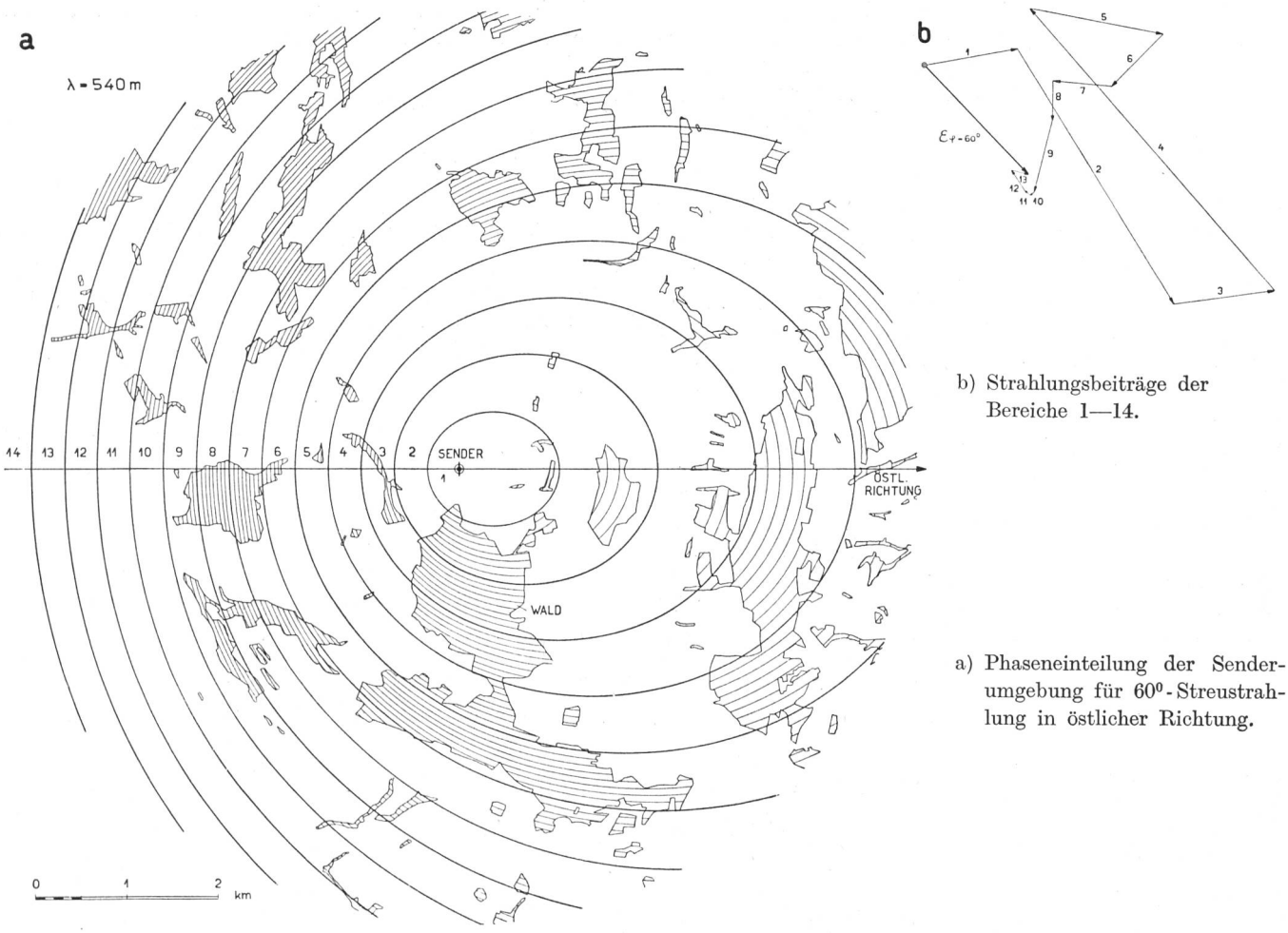


Fig. 11. Raumstrahlung verschieden langer Waldstreifen.



b) Strahlungsbeiträge der Bereiche 1—14.

a) Phaseneinteilung der Senderumgebung für 60°-Streustrahlung in östlicher Richtung.

Fig. 12. Resultierende Streustrahlung von Waldformationen im 5-km-Umkreis eines Landessenders.

Da im Bereich der Rundspruchwellen die Baumhöhe kürzer als die Viertelwelle ist, kann für die Raumstrahlung eines einzelnen Baumes nach Gl. (5) gesetzt werden

$$\mathcal{E}_B = \frac{120\,\pi \cdot h}{\lambda \cdot D} \cdot I_B \cdot \cos\varphi, \qquad (14)$$

wobei mit φ der Abstrahlwinkel gegenüber dem Erdboden, im Sinne von Fig. 10, bezeichnet ist.

Auf Grund der für die Verhältnisse am Erdboden bereits benützten Ansätze wird dann die Beziehung für das vertikale Strahlungsdiagramm eines Waldstreifens:

$$\mathcal{E}_\varphi = \frac{120\,\pi \cdot h \cdot n \cdot b}{\lambda} \cdot I_B \cdot \cos\varphi \cdot \left| \int_1 \frac{e^{j\left(\omega t + \Psi - \frac{2\pi x}{\lambda}(1-\cos\varphi)\right)} \cdot dx}{D} \right|$$

$$= \frac{120 \cdot h \cdot n \cdot b}{D} \cdot \frac{\cos\varphi \cdot \sin\frac{\pi l}{\lambda}(1-\cos\varphi)}{1-\cos\varphi} \cdot I_B \qquad (15)$$

Fig. 11 zeigt in Polarkoordinaten nach Gl. (15) berechnete Strahlungsmuster für

$$l = \frac{\lambda}{4},\ \frac{\lambda}{2},\ \frac{3}{4}\lambda,\ \lambda \text{ und } 2\lambda,$$

wobei die eingetragenen Masseinheiten den Betrag des trigonometrischen Terms der Gl. (15) angeben.

Bei komplizierten Waldformationen wird die Streustrahlung mit graphischen Integrationen bestimmt, wozu man die Waldflächen in Phasenzonen möglichst fein unterteilt.

In dieser Weise wurde z. B. die resultierende 60°-Streustrahlung der Waldformationen im 5 km-Umkreis des Landessenders Beromünster für die östliche Senderichtung zu

$$\mathcal{E}_\varphi \cdot D_\varphi = \frac{29 \cdot n \cdot h}{R_B}(\mathcal{E}_P \cdot D_P)\ \frac{\text{Volt}}{\text{m}} \cdot \text{m}$$

ermittelt, wobei:

$\mathcal{E}_P \cdot D_P$ = Horizontalintensität des Senders, und

$R_B = \frac{\mathcal{E}_P}{I_B}$ = „Spezifischer Baumwiderstand".

Nach den früheren Angaben, und

$$\mathcal{E}_P \cdot D_P = 3000\ \frac{\text{Volt}}{\text{m}} \cdot \text{m}$$

würde demnach für die Verhältnisse im Dezember:

$$\mathcal{E}_\varphi \cdot D_\varphi \approx 24\ \frac{\text{Volt}}{\text{m}} \cdot \text{m}$$

Wie in Fig. 12 gezeigt, sind die Zonen gleicher Phase für die Kote des Antennenareals eine Ellipsenschar mit der Sendeantenne im westlichen Brennpunkt; die teilweise bedeutenden Phasenanteile der Höhendifferenzen im Gelände wurden gesondert in der Tabelle berücksichtigt.

Natürlich ist auch die Raumstrahlung der Waldformationen, nach dem bereits Gesagten über jahreszeitliche und Temperatureinflüsse, in starkem Masse variabel.[5])

4. In einer früheren Veröffentlichung haben die Verfasser bereits darauf hingewiesen,[6]) dass der Oberflächengestalt des Antennenareals im Steilstrahlungsbereich einer Sendeantenne wesentliche Bedeutung zukommt, indem der bodenreflektierte Strahlungsanteil bereits durch relativ geringe Geländeneigungen merkbar beeinflusst wird — ein Effekt, der ganz besonders bei den Sendeverhältnissen unseres Landes in Erscheinung tritt. Einem praktischen Fall entsprechend, wurde damals das Raumstrahlungsdiagramm eines vertikalen konzentrierten Dipols über einer geneigten Ebene berechnet und am Beispiel einer T-Antenne illustriert.

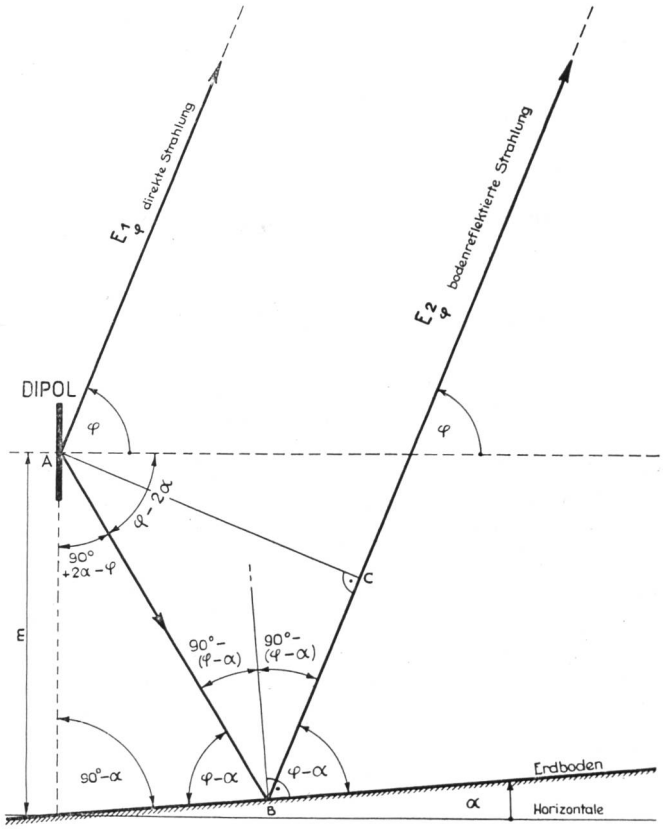


Fig. 13.

Für die in Fig. 13 gewählten Verhältnisse mit idealer Leitfähigkeit des Antennenareals wurde damals für das Strahlungsdiagramm über der Falllinie die Formel aufgestellt:

$$\mathcal{E}_\varphi = \frac{60\,\pi \cdot h_{eff} \cdot I}{\lambda \cdot D} \sqrt{\cos^2\varphi + \cos^2(\varphi-2\alpha) + 2\cos\varphi \cdot \cos(\varphi-2\alpha) \cdot \cos\left[\frac{4\pi m}{\lambda} \cdot \sin(\varphi-\alpha) \cdot \cos\alpha\right]} \tag{16}$$

Fig. 14 zeigt ein für die erwähnte T-Antenne nach Gl. (16) seinerzeit berechnetes Raumstrahlungsdiagramm; die Schwerpunktshöhe m war 0,086 λ bei einer Neigung des Antennenareals $\alpha = 3°$. Man erkennt darin deutlich die bedeutende Unsymmetrie im Steilstrahlungsgebiet, welche die relativ kleine Geländeneigung bereits hervorbringt.

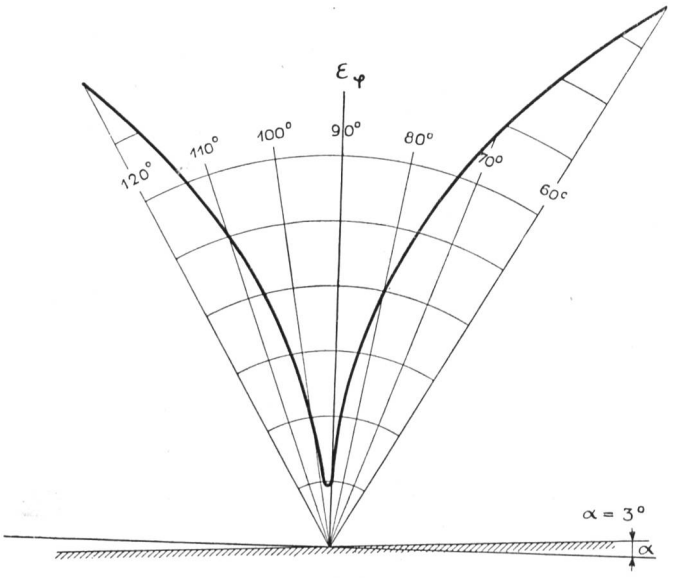


Fig. 14.

Für grössere Werte der Schwerpunktshöhe entsprechend den Verhältnissen moderner „Höhendipole" zeigt Gl. (16) u. a., dass die Nullstellen zwischen Haupt- und Nebenmaximum im Vertikaldiagramm mit zunehmendem Geländewinkel verwischt werden. In dieser Richtung hat *Brückmann*[7]) seither einige Berechnungen durchgeführt.

Während im Fall eines geneigten ebenen Antennenareals einfache Ueberlegungen der geometrischen Optik noch zulässig sind, wird die Berechnung des vertikalen Strahlungsdiagrammes kompliziert, sobald das Antennenareal Krümmungen aufweist, wie dies bei Sendeanlagen unseres Landes der Fall ist.

Zum Schlusse möchten die Verfasser noch die wertvolle Mitarbeit des Eidg. Grundbuchamtes an den Flugzeugmessungen erwähnen, wofür besonders Herrn Vermessungsdirektor Baltensperger, sowie der Flugzeugbesatzung, den Herren Frischknecht und Wipfli, auch an dieser Stelle bestens gedankt sei.

Bern, im Dezember 1939.

[5]) Waldeinflüsse lassen sich daher aus einem Gemisch von Streustrahlungen experimentell trennen, indem man die Interferenzmessungen je an einem möglichst heissen Sommertag und an einem möglichst kalten Wintertag ausführt.

[6]) 1. c., S. 124.

[7]) *H. Brückmann.* Ueber den Einfluss von Geländeunebenheiten in der Nähe von schwundvermindernden Antennen. TFT 26 (1937) 7.