

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 34 (1956)

Heft: 5

Artikel: Statistik der Weitdistanz-Nachtpropagation von Lang- und Mittelwellen

Autor: Ebert, W.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-874521>

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: 24.01.2026

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

Statistik der Weitdistanz-Nachtpropagation von Lang- und Mittelwellen*

Von W. Ebert, Bern

621.371.029.52/54

Zusammenfassung. Nach einer kurzen Darlegung, warum die Mittel- und Langwellen für den Rundspruch nach wie vor grosse Bedeutung besitzen, werden einige theoretische Überlegungen über Ionosphärenpropagation im allgemeinen angeführt und gezeigt, dass Raumwellenmessungen statistisch behandelt werden müssen. Es wird dargelegt, wie aus einer Raumfeldstärke-Registrierung die prozentuale Verteilungskurve der Momentanfeldstärke ermittelt und mit dem Rayleigh-, bzw. logarithmisch normalen Verteilungsgesetz verglichen wird.

Anhand von Weitdistanz-Nachtpropagationsmessungen von Mittelwellenrundspruchsendern, die für die Union Européenne de Radiodiffusion (UER) durchgeführt werden, wird gezeigt, dass die aus ein- bis zweistündigen Registrierungen ermittelte mittlere Verteilung recht gut mit der Rayleigh-Verteilung übereinstimmt.

Ohne den definitiven Schlussfolgerungen aus den seit dem Jahre 1952 laufenden Messreihen der UER über die Weitdistanz-Nachtpropagation von Lang- und Mittelwellen in Westeuropa vorzugreifen, wird kurz über einige Zwischenresultate, die auf eigener Verarbeitung von UER-Messmaterial basieren, berichtet. Es handelt sich vor allem um die Verteilung der täglichen, über je eine Registrierdauer von ein bis zwei Nachtstunden ermittelten Feldstärkemedianwerte im Verlauf von drei Jahren sowie um einen Versuch zur Konstruktion von Nachtpropagationskurven.

Es mag vielleicht seltsam erscheinen, dass wir uns heute, im Zeitalter der Ultrakurzwellentechnik, überhaupt noch mit Lang- und Mittelwellen befassen. Wenn man die Sache aber etwas näher betrachtet, so sieht man, dass nicht nur rein wissenschaftliches Interesse, sondern vor allem auch rundspruchtechnische Erwägungen für diese, heute etwas in Verruf geratenen Wellenbänder sprechen. Unter dem Eindruck des gegenwärtigen Wirrwarrs im Lang- und Mittelwellenbereich haben sich allerdings die Ansichten über die Verwendung dieser Bänder in den meisten europäischen Ländern grundlegend geändert. Noch bis vor kurzem versuchte man die Empfangslücken der nationalen Grossrundspruchsender, trotz der prekären Lage im Mittelwellenbereich, mit Mittelwellensendern zu stopfen. Heute hingegen hat sich fast überall die Erkenntnis durchgerungen, dass dieser Weg auf die Dauer nicht genügen kann.

Der unerwartet rasche Aufschwung des UKW-Rundspruchs, wie er sich als direkte Folge des auf politischen Überlegungen basierenden Kopenhagener Wellenverteilungsplanes einstellte, verschafft die Möglichkeit, die lokalen und regionalen Rundspruchemissionen in den UKW-Bereich zu verlegen und auf diese Weise das Mittelwellenband für zweckdienlichere Aufgaben frei zu machen. Wenn einmal der sogenannte «kalte Krieg im Äther» zu Ende und der Ge-

Résumé. Après un bref exposé des raisons pour lesquelles l'importance des ondes moyennes et longues en radiodiffusion demeure aujourd'hui aussi grande que par le passé, l'auteur développe quelques considérations théoriques sur la propagation dans l'ionosphère en général et démontre que les mesures d'ondes spatiales doivent être analysées par des méthodes statistiques. Il explique comment on obtient la courbe de répartition en pour cent des intensités de champ momentanées au moyen de l'enregistrement des intensités de champ dans l'espace et il établit des comparaisons avec la loi de répartition de Rayleigh, ou loi de répartition normale logarithmique.

Des mesures faites pour l'Union Européenne de Radiodiffusion (UER) sur la propagation nocturne à grandes distances des émetteurs de radiodiffusion sur ondes moyennes ont montré que la moyenne de répartition établie d'après des enregistrements d'une ou deux heures concordait assez bien avec la répartition selon Rayleigh.

Sans préjuger des conclusions définitives qui pourront être tirées des séries de mesures effectuées en Europe occidentale sur la propagation nocturne à grandes distances des ondes moyennes et longues depuis 1952 par l'UER, l'auteur expose les premiers résultats des analyses qu'il a faites des données recueillies jusqu'ici par l'UER dans ce domaine. Il s'agit principalement de la répartition des valeurs médianes quotidiennes de l'intensité de champ pour des périodes d'enregistrement nocturne d'une à deux heures, s'étendant sur trois ans et d'une tentative de construire des courbes de la propagation nocturne.

danke der Informationsfreiheit Allgemeingut geworden sein wird, ist die Zeit für einen neuen europäischen Lang- und Mittelwellenverteilungsplan gekommen. Dieser Plan wird so aussehen, dass ein grosser Teil der verfügbaren Kanäle entweder aus Exklusiv-Kanälen oder aus quasiexklusiven Kanälen, das heisst aus vorzüglich geschützten Frequenzen besteht. Die restlichen Kanäle sind für synchronisierte Netze und internationale Gemeinschaftsfrequenzen mit scharfen Toleranzbestimmungen in bezug auf Leistung und Frequenzkonstanz reserviert.

Es ist denkbar, dass in diesem neuen Plan der Kanalabstand von 9 auf 10 kHz verbreitert wird. Da zudem bei der Planung auf die geographische Verteilung frequenzbenachbarter Sender besser Rücksicht genommen werden kann, müssen die Empfangsgeräte nicht mehr so selektiv gemacht werden. Der Engpass der Übertragungsqualität, der beim heutigen Lang- und Mittelwellenrundspruch in erster Linie auf die abnormalen Erfordernisse der Selektivität der Empfänger zurückzuführen ist, kann damit weitgehend eliminiert werden.

Die Hauptaufgabe des künftigen Lang- und Mittelwellenrundspruchs besteht – unter Zugrundelegung der neuen Wellenverteilungskonzeption – nicht mehr darin, die hintersten Winkel eines Landes mit den nationalen Programmen zu versorgen – was mit UKW unter Umständen bedeutend besser geschieht –, sondern er hat als Vermittler eines oder mehrerer für ein Land wirklich repräsentativer Programme das

* Vortrag, gehalten anlässlich eines Kolloquiums «Über moderne Probleme der theoretischen und angewandten Elektrotechnik» im Physikgebäude der Eidg. Technischen Hochschule in Zürich, am 13. Februar 1956.

Kernstück des nationalen Rundspruchs zu bilden. Mit den ihm zur Verfügung stehenden Lang- oder Mittelwellen-Exklusivfrequenzen kann er einmal die normalerweise ganz im eigenen Lande liegenden Primärzonen der Sender bedienen, im weiteren ist er aber auch in der Lage, seine Stimme ungestört über ganz Europa verbreiten zu können. Die dadurch geschaffenen Fernempfangsmöglichkeiten werden dem Mittel- und Langwellenrundspruch erneut zu Bedeutung und Ansehen verhelfen.

Einige ausbreitungstheoretische Überlegungen

Die von einem Sender an irgendeinem Empfangsort erzeugte Feldstärke setzt sich im allgemeinsten Falle aus drei verschiedenen Komponenten zusammen, und zwar:

- aus der Bodenwelle, die sich längs des Erdbodens ausbreitet;
- aus der direkt einfallenden Welle, die die geometrische Summe aus direktem und am Erdboden reflektiertem Strahl darstellt, und
- aus an der Ionosphäre reflektierten Raumwellen.

Beschränkt man sich auf die Lang- und Mittelwellen-Ausbreitungsprobleme, so interessieren praktisch nur die Bodenwelle und die an der Ionosphäre reflektierten Wellen.

Aus entwicklungstechnischen Gründen konzentrierte sich die Ausbreitungsforschung zunächst auf die Bodenwelle, wobei rein mathematische Untersuchungen im Vordergrund standen. Erwähnt seien in diesem Zusammenhang die Arbeiten von *Sommerfeld, Watson, Van der Pol, Eckersley, Bremmer* und *Austin*. Man kann wohl sagen, dass heute die Entwicklung der Theorie der Bodenwellenpropagation praktisch zum Abschluss gelangt ist. Falls die Bodenkonzanten bekannt sind, lassen sich anhand dieser Theorien die Bodenwellenfeldstärken mit bemerkenswerter Genauigkeit vorausberechnen.

Ganz anders liegen die Verhältnisse bei den Raumwellen; besonders diejenigen im Mittel- und Kurzwellenbereich spielen in der modernen Ausbreitungsforschung eine ganz bedeutende Rolle.

Bekanntlich wird die obere Atmosphäre durch die Einwirkung ultravioletter Sonnenstrahlung ionisiert. Da der atmosphärische Druck in der Ionosphäre sehr gering ist, erfolgen Zusammenstöße zwischen Elektronen und Ionen sogar im unteren Teil der Ionosphäre verhältnismässig selten; infolgedessen geht die Rekombination nur sehr langsam vor sich. Die tagsüber erfolgte Ionisation bleibt daher auch bis in die Nacht hinein erhalten.

Mit zunehmender Höhe über Boden ändert sich die chemische Zusammensetzung der Luft. Da die einzelnen Gase die verschiedenen Frequenzen der Sonnenstrahlung recht unterschiedlich absorbieren, zeigt die Elektronendichte in Funktion der Höhe einige ausgeprägte Maxima, das heisst, die Ionosphäre erscheint – elektrisch gesehen – geschichtet (Fig. 1).

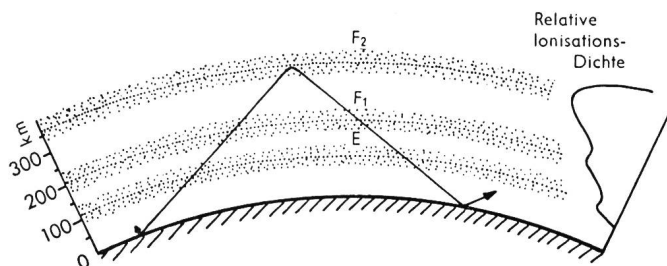


Fig. 1. Schichtung der Ionosphäre. Verlauf der Elektronendichte in Funktion der Höhe über Boden

Man unterscheidet zwei mehr oder weniger dauernd vorhandene Schichten, die E- und die F- oder F2-Schicht. Eine dritte Schicht, die F1-Schicht, ist normalerweise nur tagsüber vorhanden. Höhe und Grösse der maximalen Elektronendichte der einzelnen Schichten ändern sich mit der Tages- und Jahreszeit, da sich ja auch die Zusammensetzung und die Temperatur der Luft in den verschiedenen Höhen sowie die Intensität der von der Sonne einfallenden Strahlung in diesen Rhythmen ändern.

Dringt eine Radiowelle von der Erde her in die Ionosphäre ein, so hat sie die Tendenz, sich erdwärts zu beugen. Unter gewissen Umständen kann die Beugung so stark sein, dass die Welle wieder als sogenannte Raumwelle zur Erde zurückkehrt. Die Bahn, die eine elektromagnetische Welle in der Ionosphäre beschreibt, ist vom Gradienten des Brechungsindex des ionisierten Mediums abhängig. Die Bahn wird dort am stärksten gekrümmt sein, wo der Brechungsindex sich am stärksten ändert. Ändert er sich überhaupt nicht, so bleibt die Bahn geradlinig. Der Ablenkungswinkel α , den eine in die Ionosphäre eingetretene Welle an einem bestimmten Bahnpunkt erreicht hat, errechnet sich nach dem Gesetz von Snell:

$$\cos \beta = \mu \cdot \cos \alpha,$$

wobei μ der Brechungsindex am betrachteten Bahnpunkt bedeutet. Der Punkt, in dem $\alpha = 0$ wird, ist wichtig, entspricht er doch dem höchsten Bahnpunkt einer zur Erde zurückgebeugten Welle. Soll demnach ein unter dem Winkel β in die Ionosphäre eintretende Welle zur Erde zurückgebeugt werden, so ist ein Brechungsindex von $\mu = \cos \beta$ erforderlich. Bei vertikalem Einfall ist $\beta = 90^\circ$ und $\cos \beta = 0$. Die Welle muss also so weit in das ionisierte Gebiet eindringen, bis sie einen Punkt findet, wo der Brechungsindex 0 ist.

Gewöhnlich wird die maximale Elektronendichte einer ionosphärischen Schicht in der Form der sogenannten kritischen Frequenz ausgedrückt. Es ist die höchste Frequenz, die von der Schicht bei vertikalem Einfall noch zur Erde zurück reflektiert wird. Die kritische Frequenz entspricht einem Brechungsindex 0 im Punkt maximaler Elektronendichte der Schicht.

Infolge von Zusammenstößen zwischen den schwingenden Elektronen und den Gasmolekülen

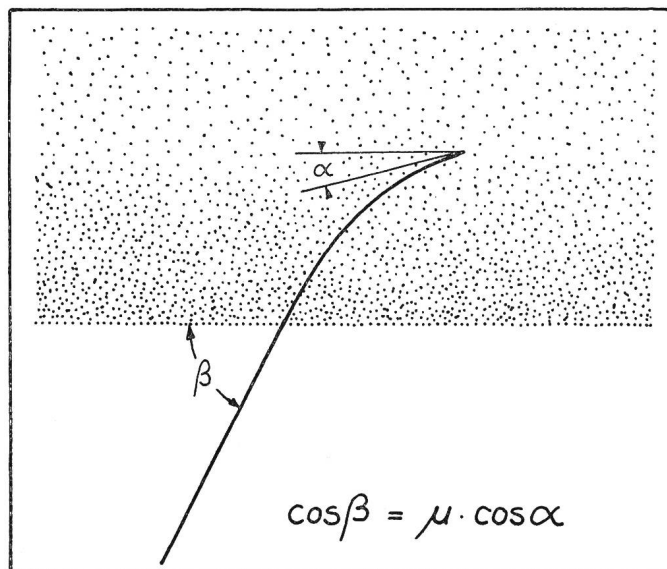


Fig. 2. Bahnverlauf einer elektromagnetischen Welle in der Ionosphäre

absorbiert die Ionosphäre Energie von den in sie eindringenden Wellen. In bezug auf die elektromagnetischen Wellen wirkt sie demnach so, als ob sie eine gewisse Leitfähigkeit σ aufweisen würde. Der Beitrag, den ein einzelnes Elektron zur Leitfähigkeit der Ionosphäre leistet, ist dann am grössten, wenn die Kreisfrequenz ω gleich der Stosszahl ν ist, mit anderen Worten, wenn 2π Zusammenstösse pro Periode zwischen einem Elektron und den Gasmolekülen auftreten. Die Stosszahl ν ist eine Funktion der Höhe. Da die Elektronendichte unterhalb 80 km Höhe sehr rasch abfällt, tritt für alle in Frage kommenden Frequenzen die maximale Leitfähigkeit der Ionosphäre in Höhen von 60 bis 80 km, also an der unteren Grenze der Ionosphäre auf. Die Verluste in grösseren Ionosphärenhöhen sind kleiner, da, trotz der hohen Elektronendichte, der Gasdruck sehr klein wird. Praktisch die gesamte Absorption, die eine Welle beim Eintauchen in die Ionosphäre erleidet, tritt dort auf, wo dieselbe in die Ionosphäre eindringt, und im Reflexionsfall, wo sie diese wieder verlässt.

Vergegenwärtigen wir uns nach diesen mehr allgemeinen Überlegungen die Felder eines Mittelwellen-Rundspruchsenders. Die Bodenwelle entspricht für die verschiedenen Bodenleitfähigkeiten recht gut den errechneten Werten. Am Tage ist die Dämpfung der Raumwelle so stark, dass sie praktisch vernachlässigt werden kann. Erst in Entfernungen von 600 bis 800 km vom Sender erreicht sie die gleiche Grössenordnung wie die Bodenwelle. Mit Einbruch der Dunkelheit nimmt die Raumwellenabsorption sehr rasch ab. Die stark gedämpfte Tagesraumwelle geht in eine schwach gedämpfte Nachtraumwelle über (Fig. 3). In Sendernähe hat die Nachtraumwelle infolge der geringen Steilstrahlung der üblichen vertikalen Mittelwellen-Sendeantennen sehr kleine Werte. In Funktion der Distanz steigt sie dann zu einem Maximum an, um in grossen Entfernungen theore-

tisch nach einem $1/r$ -Gesetz abzufallen. Nimmt man an der Erde und an der Ionosphäre verlustlose Reflexion an, so wird die Raumwellenfeldstärke am Empfangsort:

$$E = 300 \cdot \frac{\sqrt{N}}{r} \cdot \frac{2}{1 + 4n \left(\frac{H}{r}\right)^2} \cdot e(\beta)$$

N = Leistung in kW

n = Zahl der Reflexionen

r = Entfernung Sender Empfangsort in km

H = Schichthöhe in km

$e(\beta)$ = Vertikaldiagramm der Sendeantenne

Das Gebiet um den Sender, in dem die Bodenwelle grösser als etwa das Doppelte der Raumwelle ist, bezeichnet man als das schwundfreie Gebiet oder die sogenannte Nacht-Primärzone. Es ist das eigentliche Rundspruchversorgungsgebiet. Das Gebiet, in dem Boden- und Raumwelle ungefähr gleich gross sind, ist die sogenannte Selektiv-Fadingzone. Hier hängt die resultierende Feldstärke in erster Linie von der gegenseitigen Phasenlage der beiden Komponenten ab. Diese relative Phase ist frequenzabhängig und kann für die in einer modulierten Welle enthaltenen Frequenzkomponenten wesentlich verschiedene Werte annehmen. Zudem ändern sich die momentanen

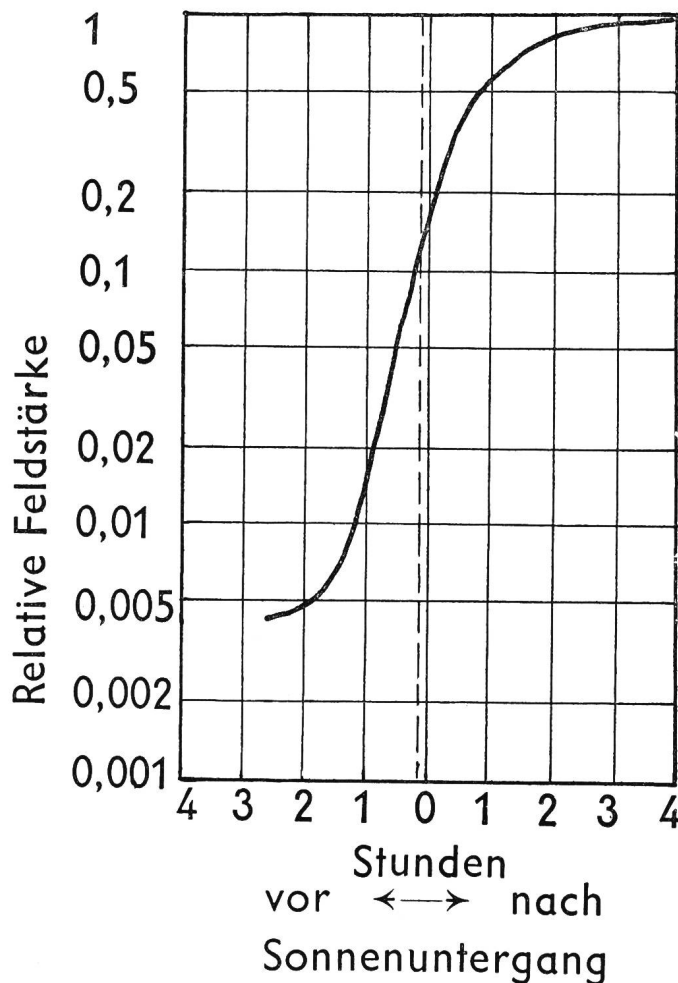


Fig. 3. Übergang der stark gedämpften Tagesraumwelle in eine schwach gedämpfte Nachtraumwelle

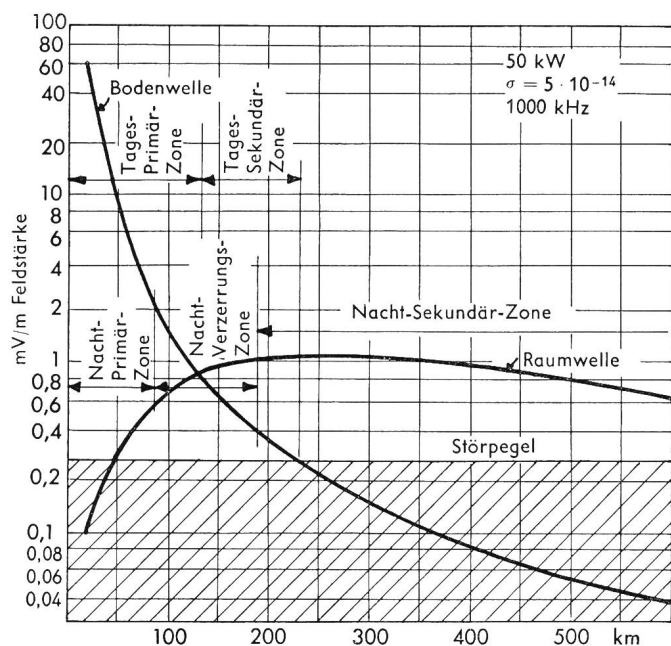


Fig. 4. Verlauf der Boden- und Raumwelle eines Mittelwellensenders in Funktion der Distanz. Aufteilung in die verschiedenen Empfangszonen

Ionosphärenbedingungen dauernd und verursachen so relative Phasenänderungen. Es treten daher schwabungsartige Schwankungen der Empfangsamplituden auf, begleitet von besonders stark störenden selektiven Verzerrungen. Mit einem brauchbaren Empfang ist hier nicht zu rechnen.

Anschliessend an die Zone mit selektiven Verzerrungen folgt die sogenannte Nacht-Sekundärzone. Sie wird durch die Raumwellen beherrscht. Der Rundspruchempfang ist hier von sekundärer Qualität, jedoch noch durchaus brauchbar. Das Fading ist normalerweise verhältnismässig langsam, das heisst mit einer Periodendauer von etwa einer halben bis einigen Minuten. Hier rührt dies von Interferenzen zwischen Wellen her, die leicht verschiedene Wege in der Ionosphäre zurückgelegt haben.

Raumwellenmessungen, ein statistisches Problem

Die auf eine sofortige praktische Verwertung der experimentellen Beobachtungen hin orientierte Ausbreitungsforschung hat sich vorerst mit reinen Amplitudenmessungen begnügt, ohne auf die exakte Analyse des komplizierten Raumwellenfeldes am Empfangsort näher einzutreten. Die einfachen Vorstellungen über den Reflexionsvorgang reichen nämlich für eine quantitative Verwertung nicht mehr aus. Es wurden daher schon von verschiedenen Seiten Feldstärkemessungen der Raumwelle unternommen, um die Abhängigkeit von der Entfernung und von anderen allfälligen Parametern festzustellen.

Unternimmt man selber den Versuch, solche Messungen durchzuführen, so sieht man bald, dass dies nicht so einfach ist. Punktweise Messungen scheiden zum vorneherein aus, weil die Nachtfeldstärke infolge Interferenz zwischen Wellen verschieden langer Lauf-

zeit starken Schwankungserscheinungen unterworfen ist. Man muss also die momentanen Feldstärken während einer gewissen Zeit beobachten und als Messwert für diese Beobachtungszeit einen geeigneten Mittelwert definieren. Aber auch die so erhaltenen Mittelwerte variieren von Tag zu Tag, ja von Stunde zu Stunde sehr stark. Dazu kommen rein örtlich bedingte Streuungen. Auch die Messmethode als solche kann die Resultate in entscheidender Weise beeinflussen.

Raumwellenmessungen sind daher in erster Linie ein statistisches Problem und lassen sich nur mit statistischen Methoden verwerten.

Betrachtet man Feldstärkeregistrierungen des Raumwellenfeldes, so sieht man, dass die momentanen Feldstärken starken Änderungen unterworfen sind, und zwar mit ganz unregelmässigen Amplituden und Periodendauern. Registriert man beispielsweise das Empfangsfeld während einer Stunde und misst auf dem Registrierstreifen, wie lange im Verlaufe dieser Stunde ein bestimmtes Feldstärkeniveau erreicht oder überschritten wurde (der Wert 1,5 mV/m wurde zum Beispiel während der Zeit A, B, C, D und E, total also A+B+C+D+E Minuten, oder während 87 % der Beobachtungszeit überschritten), so lässt sich aus den so für verschiedene Niveauewerte ermittelten Zeiten die prozentuale Verteilungskurve der Feldstärke während dieser Stunde angeben.

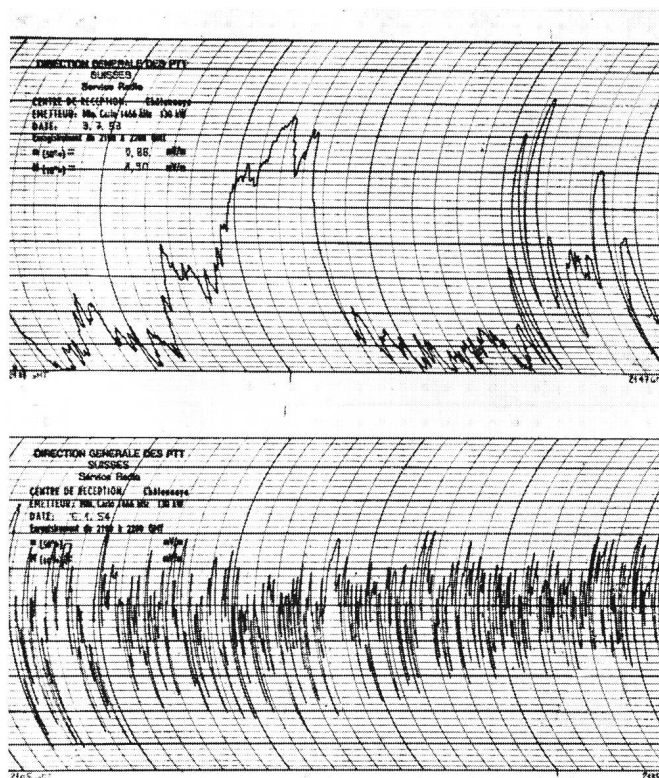


Fig. 5. Beispiele von Raumwellenregistrierungen des Senders Monte Carlo 1466 kHz in der Empfangsstation Châtônay

Es ist anzunehmen, dass diese experimentell ermittelten Verteilungskurven gewissen Gesetzen gehorchen. Diese Verteilungsgesetze der Feldstärke bilden die Grundlage der Ausbreitungs- und Empfangsfeldstatistik. Die praktische Ermittlung solcher Verteilungskurven nach dem angegebenen Verfahren ist eine äusserst mühsame und vor allem zeitraubende Aufgabe, wenn man bedenkt, dass Raumwellenregistrierungen nur dann einen Sinn haben, wenn sie über Monate und Jahre hinaus durchgeführt werden. Im nachfolgenden Beitrag von W. Fritz (s. S. 209) wird dargelegt, welcher Methoden sich die moderne Ausbreitungsforschung bedient, um diese Aufgabe möglichst rationell anzupacken.

Im Prinzip kommen drei Verteilungsgesetze für die Raumwellenfeldstärkeverteilung in Frage:

Rayleigh-Verteilung

$$P(E) = e^{-0,693 \left(\frac{E}{E_m} \right)^2}$$

Log-normale Verteilung

$$P(F) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot \int_F^\infty e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{F-F_m}{\sigma} \right)^2} \cdot dF$$

Linear-normale Verteilung

$$P(E) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot \int_E^\infty e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{E-E_m}{\sigma} \right)^2} \cdot dE$$

Die Verteilungskurve, die dem Gesetz von Rayleigh entspricht, ist durch folgende Formel gegeben:

$$P(E) = e^{-0,693 \left(\frac{E}{E_m} \right)^2}$$

Dabei bedeutet $P(E)$ die Wahrscheinlichkeit oder den Prozentsatz der Beobachtungszeit, während der ein gewisses Feldstärkeniveau E überschritten wurde. E_m ist der sogenannte Medianwert des Feldes, das heisst derjenige Feldstärkewert, der während 50 % der Beobachtungszeit überschritten wurde. Die Rayleigh-Verteilung basiert auf der Annahme, dass sich am Empfangsort n Wellenkomponenten gleicher Frequenz und angenähert gleicher Amplitude mit zufällig verteilten relativen Phasenlagen überlagern, wobei n nicht kleiner als etwa 4 sein sollte.

Die logarithmisch-normale Verteilung entspricht dem Gesetz von Gauss:

$$P(F) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot \int_F^\infty e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{F-F_m}{\sigma} \right)^2} \cdot dF$$

$P(F)$ ist die Wahrscheinlichkeit oder der Prozentsatz der Beobachtungszeit, während der die Feldstärke F in dB über 1 uV/m überschritten wurde. F_m ist wie-

derum der Medianwert, und zwar hier auch in dB über 1 uV/m. σ ist die Normalstreuung in dB.

Für $\frac{F-F_m}{\sigma} = \pm 1$ oder $F-F_m = \pm \sigma$

bzw. $F = F_m \pm \sigma$

wird $P(F) = 0,16$ bzw. $0,84$. Die Normalstreuung σ entspricht der Differenz zwischen variabler Feldstärke F und ihrem Medianwert F_m , innerhalb der 84 %—16 % = 68 % aller Beobachtungswerte liegen, oder anders ausgedrückt, während 68 % der Beobachtungszeit liegt die Feldstärke F innerhalb des Bereiches $F_m \pm \sigma$. In der Praxis drückt man die Streuung meistens nicht durch die Normalstreuung σ , sondern durch ein Streuungsmass aus, das durch die Differenz zwischen dem 10 %- bzw. 90 %-Wert der logarithmisch gemessenen Feldstärke F und deren Medianwert F_m gegeben ist. Man bezeichnet es als 10 %-Streuung $\sigma_{10\%}$. $\sigma_{10\%}$ ist das 1,28fache der Gaussischen Normalstreuung σ .

Dass der Logarithmus und nicht die Feldstärke selbst herangezogen wird, ist darauf zurückzuführen, dass die prozentualen Differentiale $dE/E = d \ln E$ der Feldstärke und nicht ihre absoluten Änderungen dE den Änderungen der Faktoren, die die Propagation beeinflussen, proportional sind.

Nimmt man nicht den Logarithmus der Feldstärke $F = 20 \cdot \log E$, sondern die Feldstärke E selber als Variable der Gaussischen Normalverteilung an, so erhält man die sogenannte linear-normale Verteilung:

$$P(E) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot \int_E^\infty e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{E-E_m}{\sigma} \right)^2} \cdot dE$$

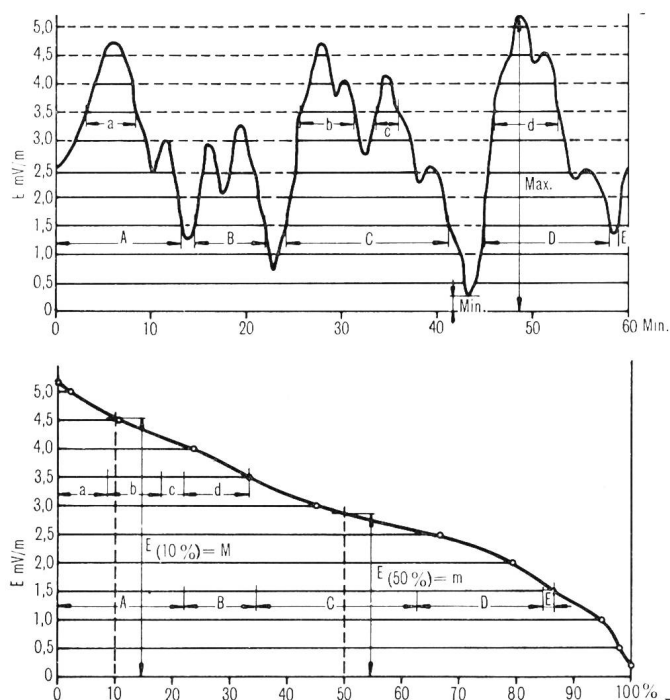


Fig. 6. Ermittlung der prozentualen Verteilungskurve der Momentanfeldstärke aus einer Raumwellenregistrierung

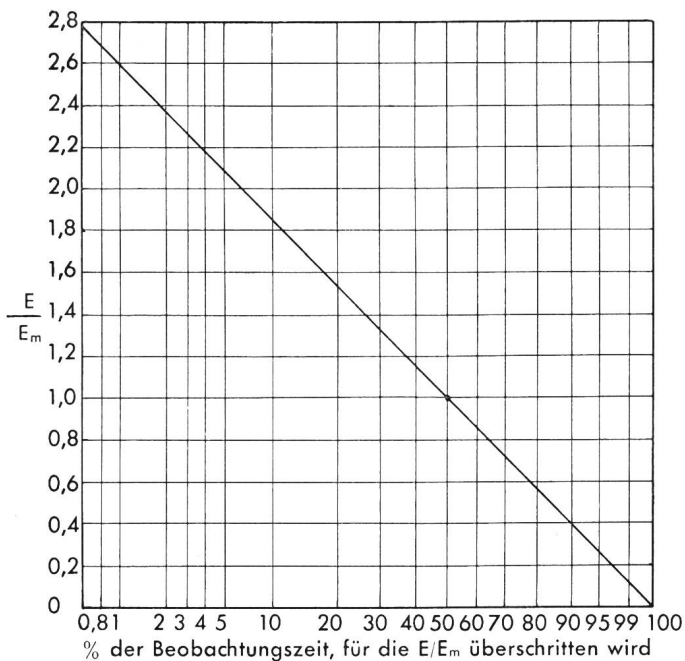


Fig. 7. Koordinatennetz, bei dem die Rayleigh-Verteilung einer Geraden entspricht

Um zu prüfen, ob eine gemessene Verteilungskurve der *Rayleigh*-, der *log-normalen* oder der *linear-normalen* Verteilung entspricht, ist es am zweckmässigsten, die Kurve in ein Koordinatensystem einzutragen, bei dem entweder die *Rayleigh*-Verteilung oder aber die Normalverteilung einer Geraden entspricht.

In der folgenden Figur 8 sind alle drei Verteilungskurven in einem *log-normalen* Verteilungsnetz eingetragen. Die Parameter σ , E_m und F_m der *linear-normalen* und der *log-normalen* Verteilung wurden dabei so gewählt, dass die Medianwerte und die 95 %-Werte übereinstimmen.

Welches Verteilungsgesetz ist nun für die uns interessierenden Weitdistanz-Nachfeldstärken massgebend? Beim Versuch, diese Frage aus Literaturangaben heraus zu beantworten, stösst man noch auf recht viele Fragezeichen. Dem Rapport Nr. 27 des Comité Consultatif International des Radiocommunications (CCIR) ist zu entnehmen, dass die Amplitudenverteilung eines an der Ionosphäre reflektierten und schnellen Fadingerscheinungen unterworfenen Signales, das während fünf oder weniger Minuten beobachtet wird, dem Gesetz von *Rayleigh* folgen soll. Die Amplitudenverteilung, die man aus einer Beobachtungszeit von 15 Minuten bis zu einer Stunde ermittelt, die aber den systematischen Tagesgang des Medianwertes unberücksichtigt lässt, scheint dem *log-normalen* Verteilungsgesetz zu folgen. Für Beobachtungszeiten von 5 bis 15 Minuten soll die Amplitudenverteilung einen Zwischenwert zwischen der *Rayleigh*- und der *log-normalen* Verteilung einnehmen. Nach japanischen Angaben gehorcht das Fading von Mittelwellen für eine Beobachtungszeit von 20 Minuten oder länger dem Gesetz von *Rayleigh*.

Die Ausbreitungsmessungen der Union Européenne de Radiodiffusion (UER)

Seit dem Jahre 1952 ist, von einer Arbeitsgruppe der UER organisiert, eine ausgedehnte Messkampagne über die Weitdistanz-Nachpropagation von Lang- und Mittelwellen im Gange, die sich über ganz Westeuropa erstreckt. Die schweizerische PTT-Verwaltung ist an dieser Messkampagne ebenfalls stark interessiert und hat daher von Anfang an mit der Registrierung von zwei ausländischen Mittelwellensendern aktiv mitgearbeitet. Sie ist ebenfalls Mitglied der erwähnten Arbeitsgruppe.

Die Gründe, die die UER zur Aufnahme dieser Messkampagne bewogen hat, wurden zum Teil schon in der Einleitung gestreift. Die Verwaltungen und Rundspruchorganisationen, die die Empfangsfeldstärken an einem durch Raumwellen bedienten Empfangsort voraussagen wünschten, sei es nun, um die Empfangsqualität zu beurteilen oder den Grad der Störung, den ein entfernt liegender Sender gleicher Frequenz verursacht, abschätzen zu können, sind auf die sogenannten «Kairo-Kurven» des CCIR angewiesen. Im weiteren existieren die 1947 publizierten Kurven der Federal Communications Commission (FCC), die jedoch für die geomagnetischen Breiten von Nordamerika, nicht aber unbedingt auch für diejenigen von Europa Gültigkeit haben. In einem Anhang zum regionalen Rundspruchabkommen in Nordamerika, 1950, wurden ebenfalls Raumwellenkurven veröffentlicht. Alle diese Kurven sind sehr umstritten, weil keine davon auf Grund genügend langer Beobachtungen zustande kam. So benutzte das regionale Rundspruchabkommen 1950

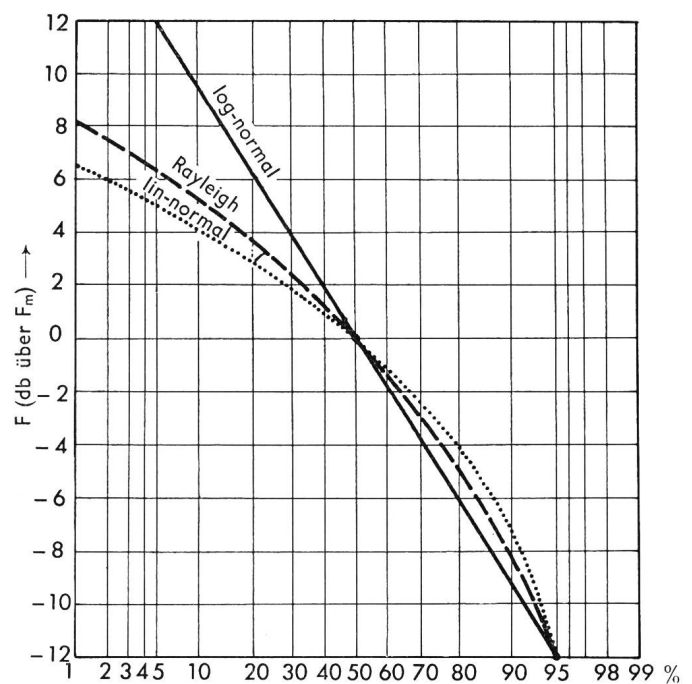


Fig. 8. Darstellung der *Rayleigh*-, der *log-normalen* und der *linear-normalen* Verteilung in einem *log-normalen* Verteilungsnetz. Die Parameter sind so gewählt, dass sowohl Median- als auch 95 %-Werte übereinstimmen

für Nordamerika nicht etwa die 1947 veröffentlichten FCC-Kurven, sondern hielt sich an eigene Kurven, von denen allerdings in einem erklärenden Kommentar die Rede ist, dass sie mit Vorsicht zu verwenden seien. Auch die Kairo-Kurve des CCIR wurde an der Wellenverteilungskonferenz von Kopenhagen sehr angezweifelt, obschon sie sich auf eine grössere Zahl von Messwerten stützt.

Die nun seit gut drei Jahren laufende UER-Messkampagne soll hier Abhilfe schaffen. Es gilt für künftige Wellenverteilungskonferenzen die notwendigen gut fundierten Unterlagen zu beschaffen. Endziel der Messkampagne ist die Schaffung zuverlässiger Nachtpropagationskurven.

Ohne den definitiven Schlussfolgerungen aus diesen laufenden Messreihen vorgreifen zu wollen, sei im folgenden doch kurz über einige Zwischenresultate, die auf eigener Verarbeitung des UER-Messmaterials basieren, berichtet.

Das der Messkampagne zugrunde liegende Registriernetz stützt sich auf die Sender:

Allouis	164 kHz
Lyon	602 kHz
Rom	845 kHz
Hörby	1178 kHz
Lille	1376 kHz
Monte Carlo	1466 kHz

Die einzelnen Übertragungsstrecken der Sender Rom, Hörby und Monte Carlo sind aus den Figuren 9, 10 und 11 ersichtlich.

Jeder Sender wird von den angeschlossenen Feldstärkeregistrierstationen in drei Nächten pro Woche gleichzeitig während je einer Stunde, das heisst von 2100 bis 2200 bzw. 2130 bis 2230 GMT, registriert. Gemessen wird an allen Empfangsorten einheitlich mit einer Rahmenantenne. Die Feldstärkeschwankungen werden mit Tintenschreibern, die einen Papiervorschub von 1 cm/Minute und Einstellzeiten von 1...3 Sekunden aufweisen, registriert und teils von Hand, teils maschinell auf die zugehörige Verteilungskurve ausgewertet. Als Messwerte für die betreffende Nacht und Übertragungsstrecke dienen der aus der einstündigen Beobachtung ermittelte Medianwert, das heisst der Feldstärkewert, der während 50 % der Beobachtungszeit überschritten wurde, das Quasimaximum, das heisst der Wert, der während 10 % der Beobachtungszeit überschritten wurde, und schlussendlich der Quotient aus Quasimaximum und Medianwert, der eine Abschätzung des Verteilungsgesetzes ermöglicht.

Sieht man sich die einzelnen so erhaltenen Verteilungskurven näher an, so erkennt man, dass es nicht immer einfach zu beurteilen ist, welchem Verteilungsgesetz sie am nächsten liegen. Nimmt man hingegen Mittelwerte von vielen Einzelkurven, so sieht man,

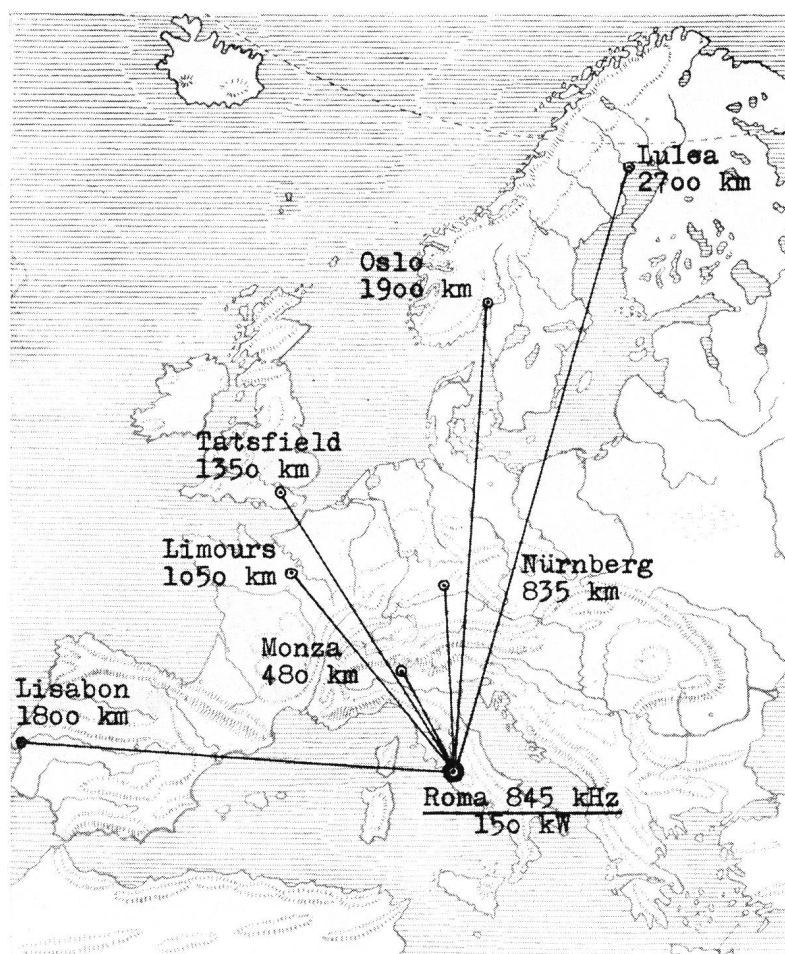


Fig. 9.

UER-Registriernetz des Senders Rom 845 kHz

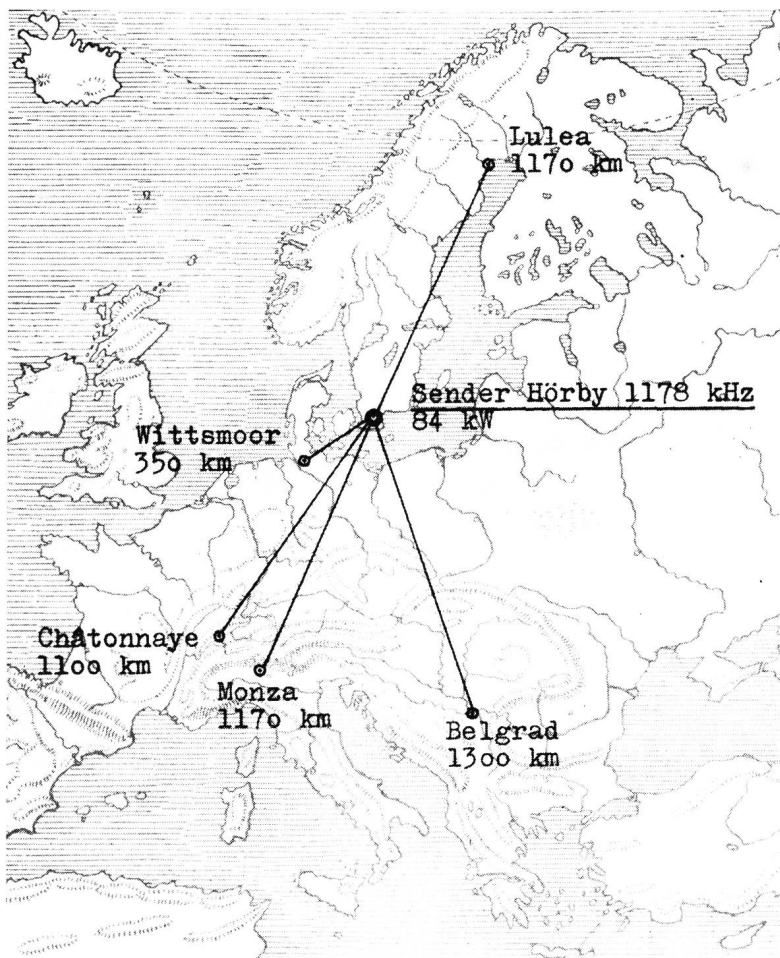


Fig. 10.
UER-Registriernetz des Senders Hörby 1178 kHz

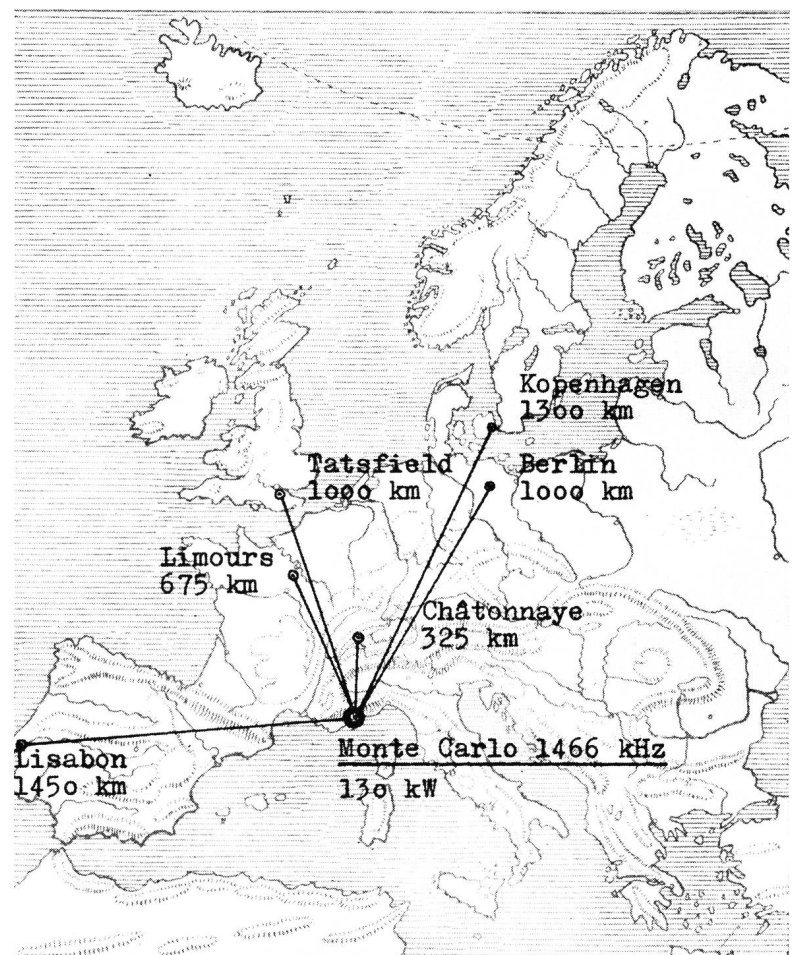


Fig. 11.
UER-Registriernetz des Senders Monte Carlo
1466 kHz

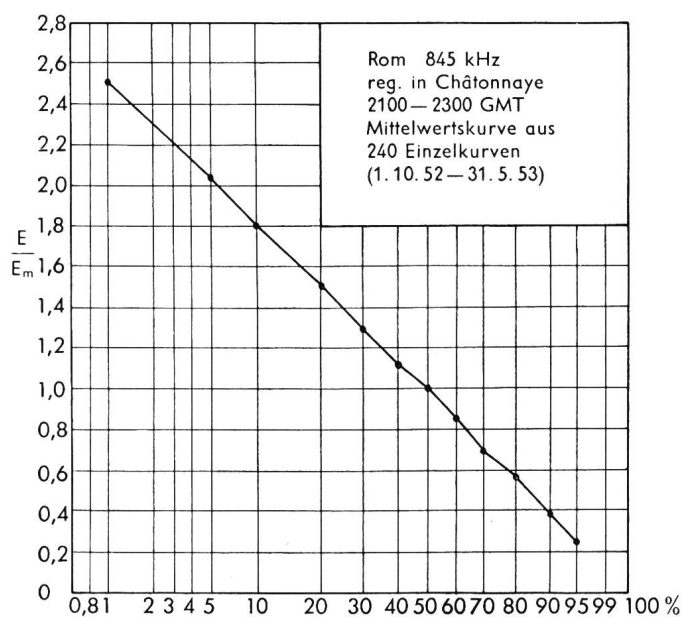


Fig. 12. Mittlere Verteilung der Momentanfeldstärke von zwei-stündigen Raumwellenregistrierungen (2100–2300 GMT) der Übertragungsstrecke Rom 845 kHz–Châtonnaye. Darstellung im Rayleigh-Netz

dass zumindest für die betrachteten Übertragungsstrecken die mittlere Verteilung gut mit der *Rayleigh*-Verteilung übereinstimmt (s. Fig. 12 und 13). Das Verhältnis von Quasimaximum (10%) zum Medianwert ist für eine einstündige Beobachtung im Mittel gleich 1,81 oder etwa 5,1 dB.

Genauere statistische Untersuchungen scheinen jedoch auf eine gewisse Frequenzabhängigkeit der Verteilungskurven hinzuweisen. Endgültige Resultate liegen noch nicht vor.

Während man von der Verteilung der Momentanfeldstärken von Lang- und Mittelwellen während einer Registrierdauer von 1 bis 2 Stunden nun weiss, dass sie zumindest in erster Näherung dem Verteilungsgesetz von Rayleigh folgt, ist über die Verteilung der täglichen, je über dieselbe Nachtstunde ermittelten Medianwerte über eine längere Zeitperiode recht wenig bekannt. Die Kenntnis dieser Verteilung ist jedoch Voraussetzung für die Konstruktion und Interpretation von Nachtpropagationskurven. Die meisten Verteilungskurven der täglichen über je eine Stunde ermittelten Medianwerte der Nachtfeldstärke in der Zeit vom 1. Juli 1953 bis 1. April 1955 weisen im Wahrscheinlichkeitsnetz in grober Näherung einen geradlinigen Verlauf auf. Die Verteilung der täglichen Medianwerte über die betrachtete Zeitperiode kann demnach in erster Näherung als log-normal betrachtet werden, was heissen würde, dass die Streuung der einzelnen Medianwerte (in dB ausgedrückt) um den Medianwert über die ganze Beobachtungszeit mehr oder weniger Zufallsgesetzen unterworfen wäre. Eine feinere Analyse ergibt allerdings, dass praktisch sämtliche Kurven die Tendenz haben, gegen die Quasiminima hin etwas rascher abzufallen. Die dB-Differenz zwischen dem Quasi-

maximum und dem Medianwert, bzw. zwischen dem Medianwert und dem Quasiminimum ergibt unmittelbar die entsprechende Streuung. Die Mittelwerte der Streuungen der täglichen Medianwerte über sämtliche Übertragungsstrecken sind:

	$\sigma_{10\%}$	$\sigma_{90\%}$	σ_{total}
Sender Roma, 845 kHz	4,34 dB	5,5 dB	9,84 dB
Sender Hörby, 1178 kHz	5,22 dB	6,28 dB	11,50 dB
Sender Monte Carlo, 1466 kHz	3,9 dB	5,74 dB	9,64 dB
Sender Allouis, 164 kHz	5,6 dB	7,65 dB	13,25 dB
Mittelwert	4,8 dB	6,3 dB	11,1 dB

Aus der Gesamtheit dieser Streuungen der Medianwerte über die betrachtete Zeitperiode lässt sich weder eine frequenz- noch distanzmässige Abhängigkeit erkennen.

Im folgenden sei noch kurz über einen Versuch berichtet, mit den bis heute vorliegenden Messresultaten eine Nacht-Propagationskurve für Mittel- und Langwellen zu berechnen. Auch hier soll den definitiven Resultaten in keiner Weise vorgegriffen werden.

Um das statistische Material nicht zu zersplittern, wurde dabei weder eine frequenzmässige Ausscheidung noch eine Unterteilung in Nord-Süd- oder Ost-West-Übertragungen vorgenommen. Es bestand aus den Messwerten der UER-Messkampagne vom 1. Oktober 1952 bis zum 2. April 1955 und umfasste die täglichen Medianwerte von ein- und zweistündigen Registrierungen der momentanen Nachtfeldstärken von Übertragungsstrecken der Sender Allouis 164 kHz, Lyon 602 kHz, Rom 845 kHz, Hörby 1178 kHz, Lille 1376 kHz und Monte Carlo 1466 kHz, und zwar von Übertragungsdistanzen von 325 bis 2700 km.

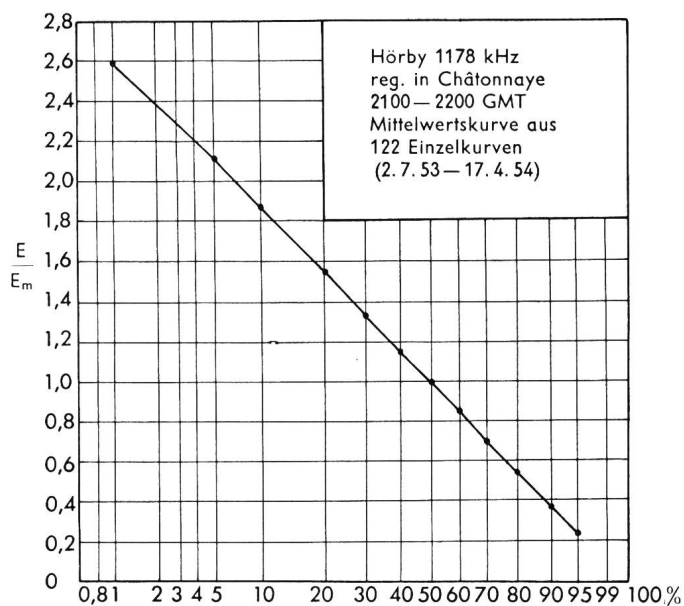


Fig. 13. Mittlere Verteilung der Momentanfeldstärke von einstündigen Raumwellenregistrierungen (2100–2200 GMT) der Übertragungsstrecke Hörby 1178 kHz–Châtonnaye. Darstellung im Rayleigh-Netz

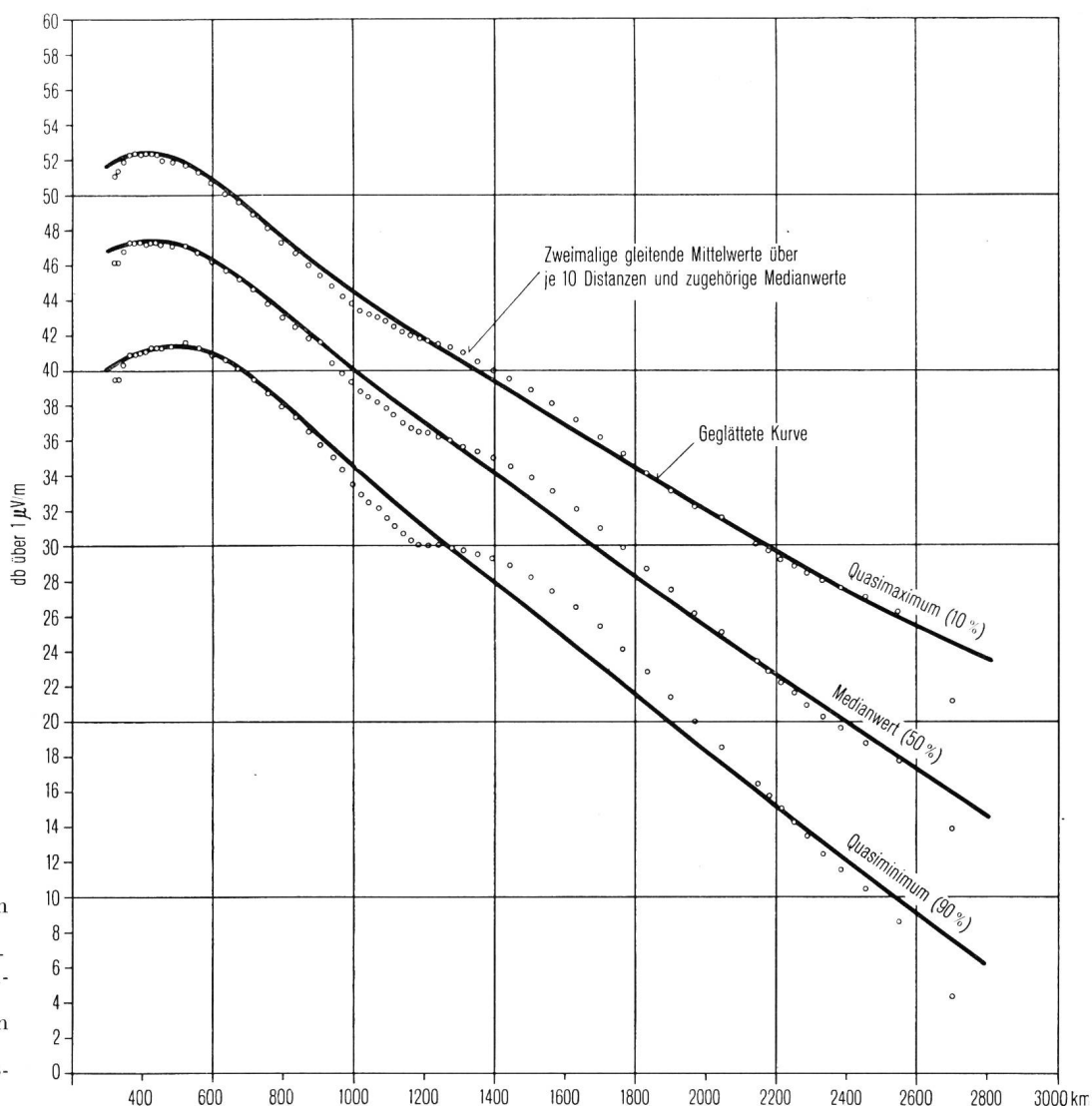


Fig. 14.

Aus den UER-Messwerten berechnete Mittel- und Langwellen-Nachtpropagationskurven (Punkte: zweimalige gleitende Mittelwerte über je 10 Distanzen und zugehörige Medianwerte; ausgezogen: geglättete Kurven)

Verarbeitet wurden insgesamt 7197 einzelne Medianwerte von ein- oder zweistündigen Registrierungen. Davon entfielen:

- 9,6 % auf die Frequenz 164 kHz
- 6,0 % auf die Frequenz 602 kHz
- 35,7 % auf die Frequenz 845 kHz
- 19,2 % auf die Frequenz 1178 kHz
- 0,8 % auf die Frequenz 1376 kHz
- 28,7 % auf die Frequenz 1466 kHz

Für jeden Messpunkt wurden die einzelnen Medianwerte nach steigender Grösse geordnet und aus der so erhaltenen Reihe das Quasimaximum (10 %), der Medianwert (50 %) und das Quasiminimum (90 %) der täglichen Medianwerte für den betreffenden Messpunkt und die entsprechende Beobachtungsperiode ermittelt. Die so gewonnenen Werte wurden hernach auf 1 kW Antennenleistung reduziert und in dB über 1 μ V/m ausgedrückt. Der Einfluss der elektrisch verschieden langen Sendeantennen auf die Grösse der Raumstrahlung wurde durch Anbringen eines distanzabhängigen Korrekturfaktors berücksichtigt, das heisst, sämtliche Messwerte wurden auf eine elektrisch kurze Sendeantenne bezogen.

Um aus den mit verhältnismässig grossen Streuungen behafteten Messwerten geglättete mittlere Kurven zu erhalten, wurde, getrennt für die Quasiminima, die Medianwerte und die Quasimaxima der täglichen Medianwerte der einzelnen Messpunkte, folgendes Verfahren angewendet:

Von den nach steigenden Distanzen der Übertragungsstrecke geordneten Messwerten und von den dazugehörigen Distanzen wurden gleitende Mittel über je 10 Werte gebildet. Diese neuen, gemittelten Distanzen und Messwerte wurden daraufhin noch ein zweites Mal dem gleichen Verfahren unterworfen, das heisst der gleitenden Mittelwertbildung über je 10 Distanzen und Messwerte. Aus den auf diese Art erscheinenden Propagationskurven, die noch etwas geschlängelt aussehen, wurden die geglätteten, mittleren Kurven erhalten. Figur 14 zeigt sowohl die durch zweimalige gleitende Mittelwertbildung der Distanzen und Messwerte erhaltenen Kurvenpunkte als auch die geglätteten mittleren Propagationskurven. Sie stellen die Quasiminima, die Medianwerte und die Quasimaxima der täglichen Nachtfeldstärke-Medianwerte dar, ausgedrückt in dB über 1 μ V/m,

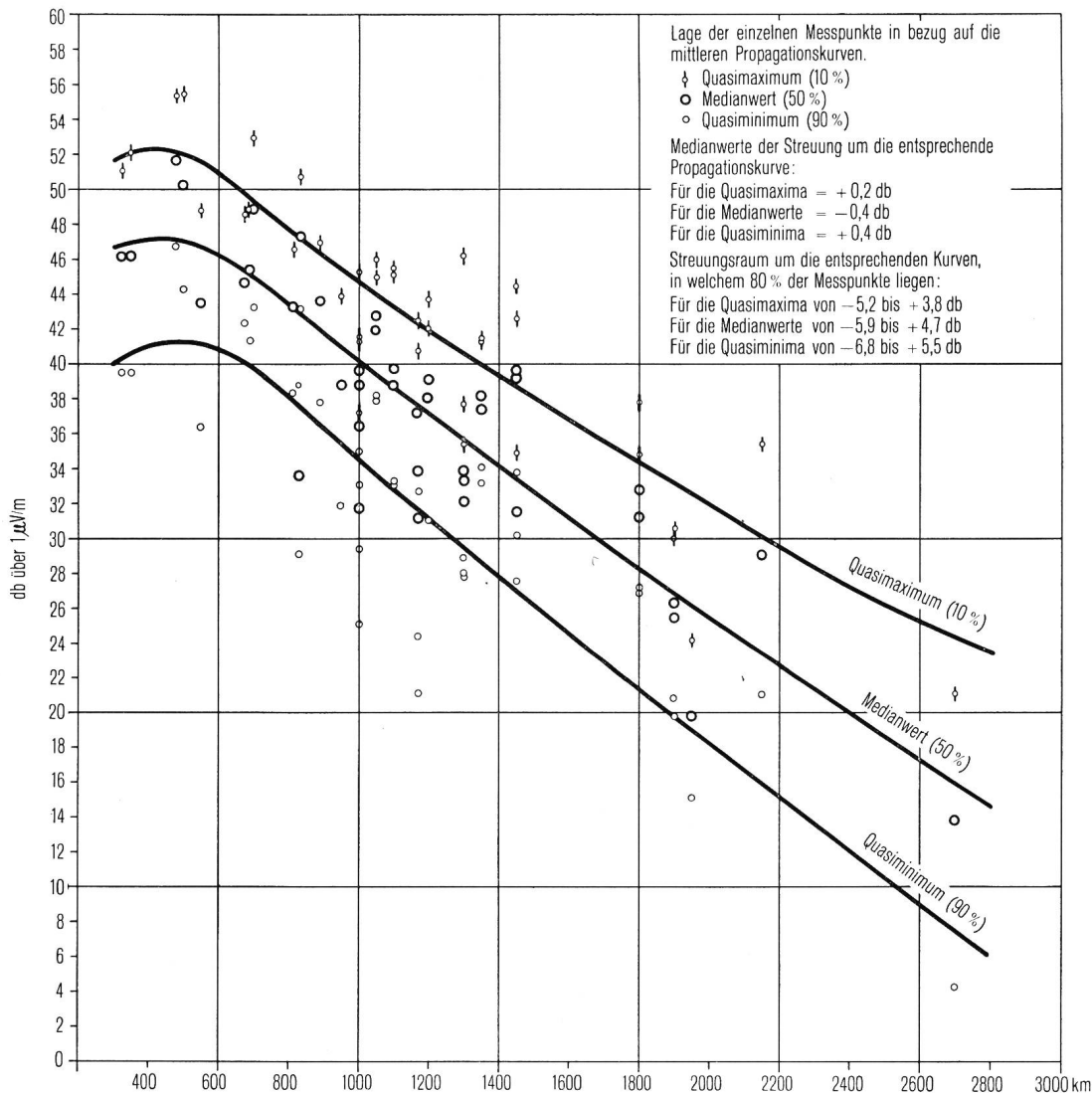


Fig. 15.
Mittel- und Langwellen-Nachtpropagationskurven mit den Einzelwerten, aus denen sie berechnet wurden

bezogen auf 1 kW Antennenleistung und elektrisch kurze Sendeantenne (G kleiner als 90°), in Funktion der Übertragungsdistanz.

Die Figur 15 zeigt sowohl die berechneten Kurven als auch die Einzelwerte, aus denen die Kurven berechnet wurden. Aus ihr ist ersichtlich, wie die tatsächlichen Messwerte um die berechneten Kurven streuen. Die Medianwerte der Streuungen für alle drei Kurven sind sehr klein, und zwar:

- für die Quasiminimum-Kurve: +0,4 dB
- für die Medianwert-Kurve: -0,4 dB
- für die Quasimaximum-Kurve: +0,2 dB

Das bedeutet, dass die geglätteten Kurven im Mittel sehr gut mit den tatsächlichen Messwerten übereinstimmen.

Betrachtet man den Streuungsraum der Messwerte um die Kurven, das heisst den Raum um die entsprechenden Kurven, in dem 80 % aller Messwerte liegen, so erhält man folgende Zahlen:

- Streuungsraum um die Quasiminimum-Kurve:
-6,8 bis +5,5 dB
- Streuungsraum um die Medianwert-Kurve:
-5,9 bis +4,7 dB

Streuungsraum um die Quasimaximum-Kurve:
-5,2 bis +3,8 dB

Wie können die so konstruierten Propagationskurven praktisch verwendet werden? Dies sei am besten anhand eines Beispiels erläutert. Nehmen wir an, wir wollen wissen, welche maximale Störfeldstärke von einem 100-kW-Mittelwellensender mit elektrisch kurzer Antenne in 1600 km Distanz zu erwarten ist.

Die Feldstärkezunahme eines 100-kW-Senders gegenüber 1 kW beträgt 20 dB

Quasimaximumwert der täglichen Medianwerte für 1 kW in 1600 km Distanz gemäss Kurve 37 dB

Kurvenstreuung 3,8 dB

Verhältnis Quasimaximum/Medianwert der momentanen Feldstärke 5,1 dB

Während 10 % der Zeit zu erwartende Störfeldstärke . 65,9 dB über $1\mu\text{V/m}$ oder $1950\mu\text{V/m}$

Der vorliegende Versuch zur Konstruktion einer Nachtpropagationskurve hat, wie ersichtlich, zu ganz interessanten Resultaten geführt. Die definitiven UER-Nachtpropagationskurven werden vor-

aussichtlich die Messwerte einer ganzen Sonnenfleckenperiode umfassen und sowohl die Frequenz als auch die geographische Breite des Reflexionspunktes als Kurvenparameter enthalten.

Probleme und Methoden der Analyse zeitlich variabler Pegel*

Von W. Fritz, Bern

621.317.341

Zusammenfassung. Die statistische Betrachtung zeitlich variabler Grössen wird infolge des damit verbundenen Arbeitsaufwandes vielfach gemieden. Und trotzdem ist es meist die einzige Möglichkeit, um Einblick in unregelmässige Vorgänge zu erhalten. Es werden eine Reihe technischer Hilfsmittel beschrieben, die je nach Anwendungsfall eine beträchtliche Zeitersparnis ergeben. Am Schluss folgt die Beschreibung eines vom Verfasser entwickelten Pegelanalysators, der automatisch nach eingestelltem Programm arbeitet.

Résumé. On s'abstient très souvent d'établir des statistiques par rapport au temps sur des grandeurs variables du fait du travail considérable qui en découle. Et pourtant c'est généralement la seule possibilité qu'on ait de se faire une idée exacte de processus irréguliers. L'auteur décrit un certain nombre de moyens techniques qui, selon leur application, permettent d'économiser un temps précieux. Pour terminer, il fait la description d'un analyseur de niveaux qu'il a lui-même mis au point et qui fonctionne automatiquement selon un programme bien défini.

1. Einleitung

Grundlegende Untersuchungen im Gebiet der Wellenausbreitung sind stets mit umfangreichen statistischen Erhebungen verbunden. In der experimentellen Forschung überhaupt, ganz unabhängig, ob im Bereich der Elektrizität, Mechanik, Hydraulik usw., steht man vor dem Problem, unregelmässige Schwankungen zu untersuchen und allenfalls eine Korrelation mit andern Variablen zu finden. Man wird auch hier selten ohne eine statistische Betrachtung der Variablen zum Ziel kommen. Die Beschaffung der hierzu notwendigen statistischen Unterlagen erfordert jedoch ohne den Einsatz von technischen Hilfsmitteln enorme manuelle Auswertungsarbeit. Die heutige Zeit mit ihrem chronischen Zeit- und Personalmangel verunmöglicht deshalb manche dringend benötigte Untersuchung, besonders wenn sie sich über längere Zeit erstreckt. So wurden auch wir gezwungen, nach technischen Hilfsmitteln Ausschau zu halten, um die dauernd laufenden Untersuchungen auf dem Gebiet der Wellenausbreitung mit möglichst geringem Arbeitsaufwand weiterzuführen.

Da dieses Problem auch bei ausländischen Rundfunk- und Forschungsanstalten aktuell ist, entstanden verschiedenorts Geräte, um die Auswertarbeit zu vereinfachen. Im folgenden soll versucht werden, eine Übersicht über die bekannten Systeme zu geben. Am Schluss folgt die Beschreibung einer Eigenkonstruktion, bei der unter Begehung neuer Wege ein vollautomatisches und vielseitig verwendbares Auswertegerät geschaffen wurde.

Die folgenden Betrachtungen sind auf die Forderungen der Wellenausbreitungsforschung zugeschnitten, haben aber sinngemäss auch für andere Gebiete der Technik Gültigkeit. Meistens ändert nur der Messwertwandler. Bei Feldstärkemessungen ist es immer eine definierte Antenne, die eine der Feldstärke proportionale Spannung an den Eingang eines Messempfängers gibt. Der Ausgang liefert einen in quasi

linearer oder logarithmischer Beziehung zur Antennenspannung stehenden Gleichstrom für die direkte Speisung eines 5-mA-Registrierinstrumentes.

2. Indirekte Auswertungsmethoden

Sie sind gekennzeichnet durch eine vorgängige Registrierung der Messgrössen in irgendeiner Form. Das erhaltene Dokument lässt sich beliebige Zeit später auswerten.

2.1. Die Handauswertung

Es ist die klassische Methode, die ohne technische Hilfsmittel auskommt, dafür aber sehr arbeitsintensiv ist.

Das Registrierpapier soll eine Breite von etwa 150 mm haben. Der Vorschub richtet sich nach der Geschwindigkeit der Pegeländerungen und beträgt bei Feldstärkemessungen meist 1 cm pro Minute oder 6 cm pro Stunde. Nach erfolgter Registrierung wird der Papierstreifen in gewünschte Zeitabschnitte unterteilt. Entsprechend der verlangten Genauigkeit zieht man 6 bis 20 Niveaulinien (vgl. Fig. 6 im Beitrag W. Ebert, S. 202 der vorliegenden Nummer). Für jedes Niveau wird die Dauer der Überschreitungen partiell herausgemessen und summiert. Für die Registrierdauer von einer Stunde mit 1 cm Vorschub pro Minute und 10 Niveaulinien muss durchschnittlich mit zwei Arbeitsstunden für die Auswertung gerechnet werden. Dazu kommt noch das Berechnen der Verteilung und das Aufzeichnen der Verteilkurve, aus der dann die gewünschte Information zu entnehmen ist. Für den Auswertenden ist diese Methode sehr monoton, so dass durch Unachtsamkeit leicht Fehler entstehen. Auch das Registrierinstrument kann je nach seiner Dämpfung und der Reibung der Schreibfeder auf dem Papier fehlerhaft aufzeichnen. Am besten bewährt hat sich eine aperiodische Dämpfung mit maximal 1 Sekunde Einstellzeit für Vollausschlag.

2.2. Das Kurvenabtastgerät

Eine Zeiteinsparung konnte mit einem durch unsere Forschungs- und Versuchsanstalt konstruierten

* Vortrag, gehalten anlässlich eines Kolloquiums «Über moderne Probleme der theoretischen und angewandten Elektrotechnik» im Physikgebäude der Eidg. Technischen Hochschule in Zürich, am 13. Februar 1956.