Ausbreitungen von Schwingungen

Autor(en): **[s.n.]**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Pionier : Zeitschrift für die Übermittlungstruppen**

Band (Jahr): **23 (1950)**

Heft 2

PDF erstellt am: **16.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-561362

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

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

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

http://www.e-periodica.ch

Pionier

FEBRUAR 1950 NUMMER 2

Erscheint am Anfang des Monats — Redaktionsschluss am 19. des Monats
Redaktion: Albert Häusermann, Postfach 106, Zürich 40-Sihlfeld, Telephon (051) 23 95 24
Postscheckkonto VIII 15666
Jahresabonnement für Mitglieder Fr. 3.75, für Nichtmitglieder Fr. 4.50
Preis der Einzelnummer 50 Rappen. Auslandsabonnement Fr. 6.— (inkl. Porto)
Adressänderungen sind an die Redaktion zu richten
Administration: Stauffacherquai 36-38, Zürich, Telephon 23 77 44, Postscheck VIII 889
Druck: AG. Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei, Zürich

Ausbreitung von Schwingungen

Vorbemerkung der Redaktion: Der nachfolgende Artikel ist ein Auszug aus dem unlängst erschienenen «Kompendium der Radiotechnik» von Ing. Heinz Richter. Der Albert Müller Verlag AG. in Rüschlikon hat uns in überaus freundlicher Weise den Nachdruck gestattet und die Klischees zur Verfügung gestellt. Wir möchten es nicht unterlassen, nochmals auf diese sehr wertvolle Neuerscheinung hinzuweisen, die wir bereits in der Januarnummer als Buchbesprechung eingehend gewürdigt haben.

I. Allgemeines

Während man auf die elektrischen Verhältnisse bei der Abstrahlung von Schwingungen durch entsprechende Ausgestaltung der Sendeantennen unmittelbar Einfluss nehmen kann, ist das bei der Ausbreitung im allgemeinen nicht der Fall, wenn man von der freien Wahl eines homogenen Übertragungsmediums bei der Überbrückung kurzer Entfernungen absieht. Sobald die Schwingungen durch den freien Raum über grössere Distanzen übertragen werden sollen, sind wir von den zufälligen elektrischen Eigenschaften der überbrückten Strecke abhängig. Lediglich mit Hilfe der Sendeleistung und der Wellenlänge kann man sich den vorgegebenen Bedingungen einigermassen anpassen.

Die elektrischen Eigenschaften des zu bestreichenden Raumes können die Ausbreitung sowohl fördern als auch hemmen. Ein Beispiel für den ersten Fall bildet die Ionosphäre. Wäre sie nicht vorhanden, so wäre an die Überbrückung grosser Entfernungen mit Kurzwellen bei kleiner Sendeleistung überhaupt nicht zu denken. Die Ionosphäre bildet aber auch ein Beispiel für den zweiten Fall; sie ruft nämlich zum grössten Teil den «Empfangsschwund», eine gefürchtete Erscheinung, hervor.

Um eine drahtlose Verbindung in Abhängigkeit von der Wellenlänge, der Entfernung, der Tages- und Jahreszeit und der Sendeleistung wenigstens einigermassen in ihrer Güte bzw. Störanfälligkeit voraussehen zu können, hat man einerseits Ausbreitungstheorien entwickelt, anderseits durch zahlreiche Messungen Erfahrungsunterlagen gesammelt und daraus Mittelwerte gebildet. Die Theorien geben zwar einen guten Überblick über die für die Ausbreitung massgebenden physikalischen Verhältnisse; ihre zahlenmässige Auswertung liefert jedoch mitunter Resultate, die den wirklichen Ergebnissen erheblich widersprechen. Das ist verständlich, weil die Formeln stark schwankende Koeffizienten enthalten, die durch die zufällige Beschaffenheit des Übertragungsmediums bzw. seiner Umgebung bestimmt sind. Auch die durch Messung gewonnenen Zahlenwerte sind keineswegs als bindend, sondern nur als Richtwerte zu betrachten, mit denen man jedoch verhältnismässig gut arbeiten kann.

Quantitativen Untersuchungen und Ausbreitungsmessungen liegt gewöhnlich der Wert der «elektrischen Feldstärke» $\mathfrak{E}$ (Masseinheit V/m, mV/m, μV/m) zugrunde. Wie schon der Name sagt, ist sie ein Mass für die Stärke des von einem Strahler erzeugten elektrischen Feldes an einem bestimmten Ort. Die Feldstärke $\mathfrak{E}$ entspricht der Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten, die 1 m voneinander entfernt sind. Gelegentlich spielt auch die magnetische Feldstärke $\mathfrak{B}$ (Gauss) eine Rolle. Unter «Reichweite» einer elektrischen Schwingung versteht man weiterhin diejenige Entfernung vom Strahler, in der noch eine empfangsseitig verwertbare Feldstärke erzeugt wird.

Die hochfrequente Strahlung unterliegt auf ihrem Weg in der Nähe der Erdoberfläche vielen Einflüssen, unter denen die Reflexion, die Beugung und die Absorption an erster Stelle stehen. Die Dielektrizitätskonstante ε und die Leitfähigkeit σ des Untergrundes spielen dabei eine grosse Rolle, während die magnetische Durchlässigkeit (Permeabilität) μ gewöhnlich konstant ($\mu = 1$) gesetzt werden kann.

Zwei weitere wichtige Begriffe sind die der «Bodenwelle» und der «Raumwelle». Ein Teil der Strahlungsenergie breitet sich längs der Erdoberfläche aus, entspricht also der Bodenwelle, während ein anderer Teil in den Luftraum, also unter einem mehr oder weniger steilen Winkel nach oben, abgestrahlt wird; diese Komponente heisst Raumwelle. Das Intensitätsverhältnis zwischen beiden ist — abgesehen von dem Einfluss der Antennenart — in erster Linie eine Funktion der Wellenlänge des Strahlers, und zwar tritt die Bodenwelle mit zunehmender Frequenz immer mehr in den Hintergrund. Die Bodenwelle ist vorzugsweise den Einflüssen der Erdoberfläche ausgesetzt, die Raumwelle

Der «Pionier»-Wettbewerb dauert nur noch bis zum 12. Februar 1950!

Denken Sie daran und senden Sie uns Ihre Lösung möglichst bald ein. Vielleicht können gerade Sie einen der Swissair-Rundflüge, ein Buch oder den wundervollen Rauchservice gewinnen. Auch die anderen Preise lohnen die kleine Mühe, die unsere Wettbewerbsaufgabe erfordert. Lesen Sie genau die Bedingungen in der Januarnummer des «Pionier»! Auch Ihre Sektion zählt auf Ihre Mitarbeit, damit sie den Sektionspreis gewinnen kann.

dagegen den gänzlich anderen Auswirkungen von elektrisch wirksamen Schichten in etwa hundert Kilometer Höhe. Es ist daher verständlich, dass bei Kurzwellen völlig andere Ausbreitungsverhältnisse als bei Langwellen vorliegen.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit v der elektromagnetischen Energie hat den Wert

$$v = \frac{c}{\sqrt{\mu \varepsilon}} \text{ [m/sec]} \qquad (1)$$

Darin ist $c = 3 \cdot 10^8$ m/sec. Für $\varepsilon = 1$ und $\mu = 1$ ist $v = c$, womit man in Luft praktisch rechnen kann. In anderen Medien ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit u. U. erheblich kleiner.

Von Interesse ist mitunter zu wissen, wie tief eine elektrische Schwingung in die Erde einzudringen vermag. Die Beziehung

$$d = \sqrt{\frac{\lambda \text{ cm}}{c\,\sigma}} \text{ [cm]} \qquad (2)$$

gibt die Schichtdicke d an, nach deren Durchlaufen die Schwingungsamplitude praktisch abgeklungen ist (etwa auf den $2 \cdot 10^{-3}$ten Teil der Anfangsamplitude). Wie man sieht, wird die Schwingung um so stärker absorbiert, je kleiner die Wellenlänge und je grösser die Leitfähigkeit ist. Beispielsweise ergibt sich bei $\lambda = 100$ m für Seewasser eine Eindringtiefe von etwa 1 m, während sie bei der gleichen Welle für Erdreich 18 m beträgt. Die Absorption ist also recht erheblich.

Ein wichtiger Faktor bei allen Ausbreitungsvorgängen ist die bereits oben erwähnte «Ionosphäre» oder «Haevisideschicht». Es handelt sich dabei um hauptsächlich durch Sonnenstrahlen ionisierte leichte Gase, die die Erdkugel schichtweise umgeben und elektrische Wellen oberhalb einer bestimmten Länge (etwa > 10 m) reflektieren. Man unterscheidet im wesentlichen vier Schichten in verschiedenen Höhen, nämlich die E_1-Schicht (Höhe etwa 100 km), die E_2-Schicht (Höhe etwa 170 km), die F_1-Schicht (Höhe etwa 200 km) und die F_2-Schicht (Höhe zwischen 100 und 500 km). Die Ionisation dieser Schichten und damit ihre elektrische Reflexionsfähigkeit ist während der Sonnenscheindauer wesentlich grösser als nachts, was ohne weiteres verständlich ist. Die Ionosphäre hat auf die Ausbreitungsvorgänge aller Wellen oberhalb etwa 10 m einen sehr grossen Einfluss, was später noch näher geschildert wird. Wellen unterhalb 10 m werden von ihr dagegen nicht mehr reflektiert, so dass sie in diesem Frequenzbereich unwirksam bleibt. Die Reflexionseigenschaften der Ionosphäre sind nicht nur täglichen, sondern auch monatlichen und jährlichen starken Schwankungen unterworfen.

Die nachfolgenden Abschnitte beschreiben die Ausbreitung der Schwingungen in Abhängigkeit von der Frequenz. Es ist dabei vorteilhaft, zwischen drei Gruppen zu unterscheiden: den langen und mittleren Wellen (200... 20 000 m), den kurzen Wellen (10...200 m) und den ultrakurzen Wellen (0,01...10 m). Diese Einteilung ist zwar nicht so weitgehend wie die sonst übliche; es zeigt sich jedoch, dass die Einordnung der Wellenlängen in drei grosse Gruppen, vom Standpunkt der Ausbreitung gesehen, vertretbar ist.

II. Ausbreitung langer und mittlerer Wellen

Die Ausbreitung der mittleren und langen Wellen ist vor allem durch das Vorhandensein einer starken Bodenwelle gekennzeichnet, die die Reichweite bei Tag bestimmt. Man nimmt an, dass die Raumwelle, die ja zur Ionosphäre gelangt und von dort reflektiert wird, tagsüber von den zwischen der Ionosphäre und der Erdoberfläche befindlichen Luftschichten stark absorbiet wird, so dass sie praktisch nicht zur Geltung kommt. In der Nacht fällt diese Absorption zu einem grossen Teil fort; die Ionosphäre ist dann ausserdem nach unten scharf begrenzt, so dass eine kräftige Reflexion der Raumwelle zur Erdoberfläche erfolgt. Dort überlagert sie sich mit der Bodenwelle. Das führt zu ganz erheblich grösseren Feldstärken, wenn eine phasenrichtige Superposition erfolgt. Die Wirkung kennt jeder Rundspruchhörer, denn ein guter Fernempfang ist auf diesem Wellenbereich vorzugsweise nach Sonnenuntergang möglich. Allerdings ändern sich die Verhältnisse, wenn Boden- und Raumwelle in Phasenopposition geraten. Sie heben sich dann je nach den Amplitudenverhältnissen mehr oder weniger auf. Da die Phasenlagen von den stark schwankenden Eigenschaften der Ionosphäre abhängen, kommt es zu sehr lästigen Feldstärkeschwankungen (Fadings), deren Beseitigung nach Sachlage der Dinge nicht möglich ist.

Aus diesen Erläuterungen ergibt sich, dass der Tagesfernempfang zwar schwächer als der Nachtempfang, dagegen praktisch frei von Schwunderscheinungen ist. Denn wenn die Raumwelle fehlt, kann sie sich auch nicht mit der Bodenwelle überlagern.

Die Ausbreitung der Bodenwelle folgt — allerdings unter vereinfachenden Annahmen — dem Gesetz

$$\mathfrak{E} = 120\,\pi \frac{h\,J_A}{\lambda\,D} \text{ [mV/m]} \qquad (3)$$

Hierin ist h = effektive Antennenhöhe (m), J_A = Antennenstrom (A) und D = Entfernung (km). Die Formel setzt eine unendlich grosse Leitfähigkeit der Erde voraus, was natürlich nicht der Fall ist. Trotzdem gibt Gleichung (3) einen guten Überblick über die Verhältnisse. Sie zeigt vor allem, dass die Feldstärke sowohl der Wellenlänge als auch der Entfernung umgekehrt proportional ist.

Setzt man die von einer Antenne abgestrahlte Leistung

$$N_s = 160 \cdot \left(\frac{\pi\,h\,J_A}{\lambda}\right)^2 \cdot 10^{-3} \text{ [kW]} \qquad (4)$$

in Gleichung (3) ein, so findet man

$$\mathfrak{E} = 300 \cdot \frac{\sqrt{N_s}}{D} \text{ [mV/m]} \qquad (5)$$

N_s muss in kW und D in km eingesetzt werden. Die Feldstärke wächst also leider nur mit der Wurzel aus der Antennenleistung. Das bedeutet natürlich, dass man beispielsweise die Leistung eines Senders bereits vervierfachen muss, wenn man die doppelte Reichweite haben will.

Den Einfluss der endlichen Leitfähigkeit σ der Erde kann man durch einen Faktor x berücksichtigen, der eine Funktion von σ ist. Der Faktor x kann Werte zwischen 1 und 0,1 annehmen, woraus man erkennt, dass die numerische Auswertung der Gleichungen (3) und (5) nur einen sehr problematischen Wert hat.

Die angegebenen Formeln gelten für eine ebene Erdoberfläche, berücksichtigen also nicht die Erdkrümmung,

Die schönste Funkstation ist wertlos, wenn Du nicht einwandfrei morsen kannst!

was jedoch für grosse Entfernungen erforderlich ist. Die Berücksichtigung der Erdkrümmung führt zu ausserordentlich verwickelten Gleichungen, die sich schwer auswerten lassen.

Der Einfluss der Ionosphäre auf die Raumwelle ist ebenfalls Gegenstand langwieriger Untersuchungen gewesen. Da eine exakte Berechnung dieses Einflusses im Hinblick auf die enormen Schwankungen jedoch keinen praktischen Wert hat, sei auf eine Darstellung dieser Verhältnisse verzichtet.

Messungen zeigen grundsätzliche Übereinstimmung mit den oben angegebenen theoretischen Formeln. Eine Beziehung, die halb auf rechnerischen Überlegungen, halb auf Messwerten beruht, ist die sogenannte Austin-Cohensche Formel. Sie lautet

$$\mathfrak{E} = 120\,\pi\,\frac{J\,h}{\lambda\,D}\cdot e^{-\frac{0{,}000047\,D}{\sqrt{\lambda}}}\ [\mathrm{V/m}] \qquad (6)$$

Beziehen wir diese Gleichung auf 1 kW ausgestrahlte Leistung, so erhalten wir

$$\mathfrak{E} = \frac{300}{D}\cdot e^{-0{,}0015\frac{D}{\sqrt{\lambda}}}\ [\mathrm{mV/m}] \qquad (7)$$

Die Zahlenwerte im Exponenten enthalten den Einfluss der für Meerwasser gültigen Leitfähigkeit σ. Um einen Überblick über die sonst in Betracht kommenden Werte von σ zu geben, bringen wir nachstehend die wichtigsten Zahlenangaben für verschiedenen Untergrund.

Seewasser	10^{-11}
Flaches Sumpfland	10^{-12}
Offenes Land	10^{-13}
Hügeliges Land	$0{,}2 \cdot 10^{-13}$
Gebirgiges Land	10^{-14}

Die schon eingangs erwähnten Schwunderscheinungen treten bei mittleren und langen Wellen nach Sonnenuntergang, insbesondere während der Dämmerung, sehr häufig auf. Die Dauer des Feldstärkenabfalls liegt zwischen einigen Sekunden und einigen Minuten. Besonders störend ist der sogenannte «selektive Schwund», der nur einzelne Frequenzen der Seitenbänder erfasst. Es ergeben sich dann unangenehme Verzerrungen des Modulationszeichens. Man unterscheidet drei verschiedene, durch die Entfernung vom Strahler bestimmte Gebiete, in denen sich jeweils andere «Schwundverhältnisse» einstellen. Im Bodenwellengebiet überwiegt die Bodenwelle. Schwunderscheinungen sind nicht bemerkbar. Im Übergangsgebiet treten beide Wellen gleichzeitig auf, und im Raumwellengebiet ist nur noch die Raumwelle wirksam. In den beiden zuletzt genannten Zonen macht sich der Empfangsschwund praktisch kaum bemerkbar.

Das Bodenwellengebiet hat bei einem Mittelwert der Wellenlänge von etwa 2000 Meter einen Radius von rund 30 km, und zwar unabhängig von der Sendeleistung, da es nur auf das Verhältnis zwischen Boden- und Raumwelle ankommt. Um das (schwundfreie) Bodenwellengebiet noch weiter auszudehnen, kann man mit schwundfreien Antennen arbeiten.

Abschliessend sei noch erwähnt, dass auch die Sonnenfleckentätigkeit einen gewissen, allerdings nicht sehr starken Einfluss auf die Ausbreitung der mittleren und langen Wellen hat. Im grossen und ganzen kann man jedoch feststellen, dass der hier in seinem Verhalten beschriebene

Auf den 1. Januar 1950 ist Herr Oberstleutnant Wettstein, Feldtelegraphendirektor und Kommandant des Feldtelegraphen-Feldtelephondienstes, zum Oberst befördert worden. Damit hat ein in Zivil- und Militärdienst hervorragend bewährter Offizier die höchste Rangstufe unserer Waffe erreicht.

Oberst Wettstein wurde 1901 geboren. Seine Studien hat er an der ETH mit dem Diplom eines Elektro-Ingenieurs abgeschlossen. In seiner zivilen Stellung ist er Vizedirektor der Telegraphen- und Telephonabteilung der Generaldirektion PTT.

Er ist aus der Artillerie hervorgegangen: 1924 Artillerieleutnant, als Hauptmann Adjutant der Art. Brigade 6 und dann Kommandant der Feldbatterie 66. Als Major wechselte er zum Parkdienst über und leistete Dienst als Parkoffizier im Stabe des Inf. Rgt. 26. 1945 zum Oberstleutnant befördert, wurde er zum Ingenieur-Korps versetzt und mit der Neuorganisation des Feldtelegraphendienstes betraut. Die heutige Organisation dieses wichtigen Dienstzweiges mit den Betriebsgruppen ist sein ureigenes Werk. Durch die grossen Manöver des letzten Jahres hat die neue Form des Feldtelegraphendienstes ihre Feuerprobe glänzend bestanden, dessen Wichtigkeit nicht zuletzt dadurch dokumentiert wird, dass der Kommandant den Obersten-rang erhalten hat.

Alle Offiziere, Unteroffiziere und Pioniere gratulieren ihrem Kommandanten zur verdienten Beförderung aufrichtig und herzlich. -z

Frequenzbereich bei Anwendung entsprechend grosser Sendeleistung eine recht stabile, von Zufälligkeiten wenig abhängige Übertragung gewährleistet.

III. Ausbreitung kurzer Wellen

Die Ausbreitung der kurzen Wellen steht fast gänzlich unter dem Einfluss der Ionosphäre; die Bodenwelle spielt daher nur eine untergeordnete Rolle. Das hat seinen Grund vor allem darin, dass die Absorption, welche die mittleren und langen Wellen auf ihrem Weg zur Ionosphäre und zurück erfahren, bei den kurzen Wellen sehr geringfügig ist. Man kann daher auf die Bodenwelle, die natürlich noch stärker als bei langen Wellen den absorbierenden Wirkungen der Erdoberfläche unterworfen ist, praktisch verzichten. Übrig bleibt der fast verlustfreie Weg über die Ionosphäre, der angesichts der grossen Brechungswinkel an den ionisierten Schichten sehr lang sein kann. So kommt es, dass mit winzigen Sendeleistungen riesige Entfernungen überbrückt werden können, was man erst verhältnismässig spät erkannte.

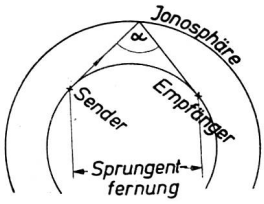

Abb. 1. Zur Reflexion kurzer Wellen an der Ionosphäre.

Abb. 1 veranschaulicht die Verhältnisse in einer kleinen Skizze. Sender und Empfänger befinden sich an zwei verschiedenen, weit voneinander entfernten Punkten der Erde. Der Sender strahlt seine Schwingungen unter einem bestimmten Winkel schräg nach oben ab. Sie treffen dabei auf die Ionosphäre, von wo sie reflektiert werden. Der vom ankommenden und abgehenden Strahl eingeschlossene Winkel sei α. Der abgehende Strahl fällt nun wieder zum Erdboden zurück und trifft dort auf den Empfänger.

Der Winkel α spielt eine grosse Rolle. Er bestimmt u. a. die «Sprungentfernung», die das Gebiet der sogenannten «toten Zone» umfasst. Es leuchtet ein, dass in diesem Gebiet, das zwischen den Schenkeln des Winkels α liegt, keine Schwingungsenergie vorhanden ist, denn der Strahl ist noch nicht von der Ionosphäre zurückgekehrt. Erst in der Sprungentfernung ist das der Fall und auch noch darüber hinaus; denn es handelt sich keineswegs um einen scharfen Strahl, sondern um ein ziemlich diffuses und breites Band, das von der reflektierten Raumwelle bestrichen wird.

Wenn man die Abhängigkeit des Winkels α von äusseren Einflüssen kennt, so ist man in der Lage, eine gute Kurzwellenverbindung im voraus zu übersehen. Zu den äusseren Einflüssen zählen vor allen Dingen die Reflexionseigenschaften der Ionosphäre, die durch Tageszeit, Jahreszeit und kosmische Faktoren bestimmt werden, also durch Daten, die wir nicht ändern, sondern denen wir uns bestenfalls anpassen können. Die richtige Wahl der Sendefrequenz ist ein vorzügliches Hilfsmittel hierfür. Wir erkennen das, wenn wir bedenken, dass die Reflexionsfähigkeit der Ionosphäre einerseits und die Absorption der zwischen dieser und dem Erdboden liegenden Schichten anderseits stark von der Wellenlänge abhängen. Kurze Wellen erleiden nur wenig Absorptionsverluste, werden aber nur bei starker Ionenkonzentration von der Schicht reflektiert; längere Wellen erfahren auch bei schwächerer Ionendichte noch eine hinreichende Reflexion, erleiden jedoch bereits spürbare Absorptionsverluste. Man wird daher bestrebt sein, im Hinblick auf möglichst kleine Absorption gerade die kürzeste Welle zu wählen, die noch von der Ionosphäre zurückgeworfen wird. Da die Ionenkonzentration während der Nachtstunden geringer als während der Tagstunden ist, muss man nachts längere Wellen wählen als tagsüber.

Experimente bestätigen diese Überlegungen im vollen Umfang, so dass man vom Standpunkt optimaler Übertragung aus etwa eine Einteilung in

Tagwellen von 10...18 m
Übergangswellen von 19...24 m
Nachtwellen von 25...40 m

vornehmen kann. Zu beachten ist übrigens, dass die Darstellung der Abb. 1 idealisiert ist. Nur in den seltensten Fällen handelt es sich um eine einmalige Reflexion; gewöhnlich hat man es mit mehr oder weniger zahlreichen «Zickzackreflexionen» zu tun, d. h. die Welle wird auf ihrem Weg vom Sender zum Empfänger mehrmals zwischen der Erdoberfläche und der Ionosphäre hin- und hergeworfen. Das bedeutet natürlich effektiv eine wesentlich grössere Entfernung zwischen Sender und Empfänger, als es der direkten Verbindung entspricht.

Der Einfluss der Jahreszeit ist im wesentlichen auf den davon abhängigen jeweiligen Sonnenstand zurückzuführen. Die Jahreszeitkurve überlagert sich also gewissermassen der Tageszeitkurve. Auf Grund zahlreicher Beobachtungen hat man besonders günstige Frequenzen ausfindig gemacht, die für eine bestimmte zu überbrückende Strecke ein Optimum an Übertragungsgüte und Sicherheit gewährleisten.

Durch Verändern der Sendefrequenz kann man also nicht nur den Winkel α der Abb. 1 beeinflussen, sondern sich auch den sonstigen Reflexionsbedingungen der Ionosphäre anpassen. So hat die Sendefrequenz beispielsweise einen gewissen Einfluss auf die Sprungentfernung bzw. die tote Zone. In Abb. 2 sehen wir die Lautstärke (die ein Mass für die Feldstärke ist) des empfangenen Signals in Abhängigkeit von der Entfernung für verschiedene Wellenlängen als Parameter. Man erkennt deutlich die tote Zone, die etwa zwischen 100 und 1000 km liegt, und den Einfluss der Wellenlänge auf deren Stärke und Lage. Die Kurven gelten für den Fall der Sonnenbestrahlung längs des ganzen Weges. Abb. 3 zeigt dieselbe Darstellung für Dunkelheit. Diese Unterlagen lassen sämtliche Faktoren, welche die Ausbreitung der Kurzwellen beeinflussen, gut erkennen.

Schwunderscheinungen sind bei kurzen Wellen fast stets zu bemerken, was bei dem starken Einfluss der instabilen Ionosphäre nicht verwunderlich ist. Sie haben eine wesentlich kürzere Dauer als bei den langen Wellen und treten auch in kürzeren Intervallen auf. Das erklärt sich ohne weiteres aus der höheren Schwingungszahl der Kurzwellen, die bei gleicher Änderungsgeschwindigkeit der Ionenkonzentration eine höhere Überlagerungsfrequenz («Schwebung») ergibt. Die Feldstärke pendelt in Abständen von Sekunden, ja Sekundenbruchteilen zwischen einem Maximum und einem Minimum hin und her.

Eine interessante Erscheinung ist das Auftreten von «Mehrfachechos» als Folge der wiederholten Reflexionen an der Ionosphäre. Da die Energie auf verschiedenen Wegen am Empfangsort ankommen kann — etwa auf dem direkten Weg oder auf der durch «Mehrfachreflexion» bedingten Strecke — treffen die Signale nacheinander mit verschiedenen Laufzeiten ein. Experimentell kann man diese

Erscheinung besonders gut bei der Aussendung eines kurzen Signals feststellen. Bei solchen Versuchen hat man z. B. aus der gemessenen Laufzeit errechnet, dass manche Signale mehrmals den Erdball umkreisen und dann erst auf den Empfänger treffen.

Während die Mehrfachreflexion im praktischen Funkbetrieb mitunter stört und die Anwendung mancher Verfahren, z. B. der Bildtelegraphie und des Fernsehens, in diesem Wellenbereich ganz unmöglich macht, leistet sie für Forschungszwecke wertvolle Dienste. So gibt sie z. B. für die Erforschung der Ionosphäre, die physikalisch ein recht kompliziertes Gebilde ist, wichtige Unterlagen. Die oben erwähnten Laufzeitdifferenzen lassen sich nach dem heutigen Stand der Technik mit grosser Genauigkeit feststellen. Aus der Laufzeit ergibt sich unmittelbar die Entfernung des reflektierenden Objekts vom Sender, so dass man die Höhe der einzelnen Schichten bestimmen kann. Die Amplitude der Echos lässt weiterhin Rückschlüsse auf die Absorption des Übertragungsweges und die Reflexionsfähigkeit der Schicht zu.

Die Ausbreitung der Kurzwellen wird durch erdmagnetische und kosmische Vorgänge stark beeinflusst. Die erdmagnetischen Erscheinungen wirken sich gewöhnlich in einem plötzlichen Absinken der Feldstärke aus, so dass oft mehrere Stunden lang kein Empfang möglich ist. Zu den kosmischen Störungen zählen in erster Linie die Einflüsse der Sonnenflecken, deren Auftreten gewöhnlich mit Änderungen in der Ionosphärenstruktur parallel läuft. Selbstverständlich lassen sich diese Erscheinungen nicht beseitigen, sondern höchstens durch Wellenwechsel oder Vergrösserung der Antennenleistung in ihren Auswirkungen herabmindern.

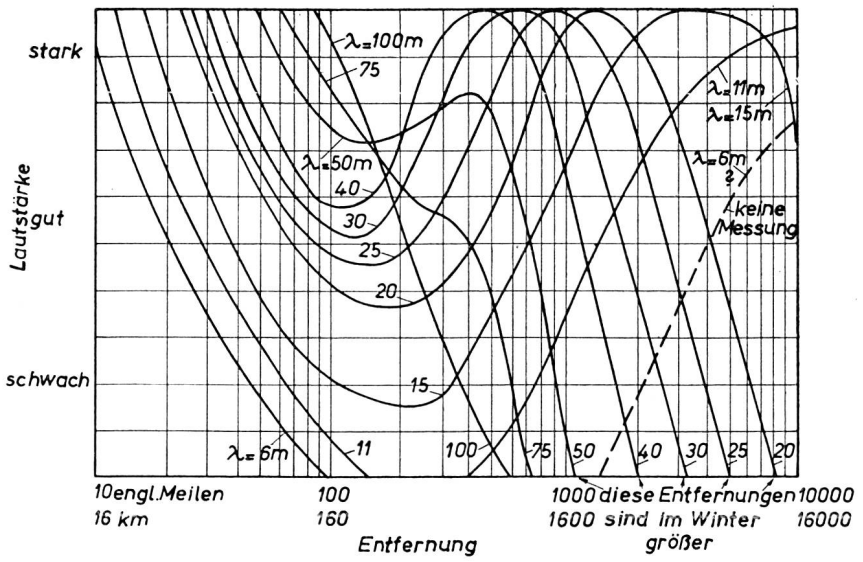

Abb. 2. Lautstärke als Funktion der Entfernung bei Kurzwellen, Sendeleistung 10 kW, bei Helligkeit.

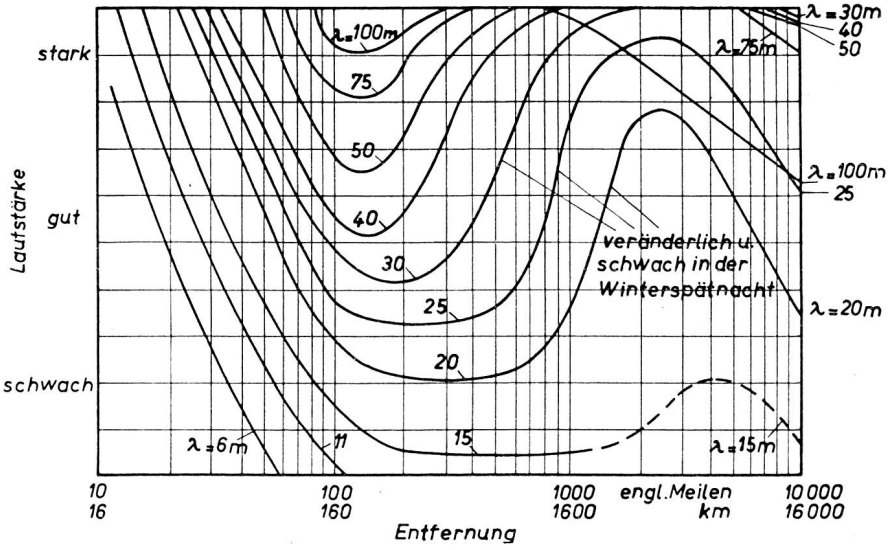

Abb. 3. Lautstärke als Funktion der Entfernung bei Kurzwellen, Sendeleistung 10 kW, bei Dunkelheit.

IV. Ausbreitung ultrakurzer Wellen

Ultrakurzwellen, worunter hier die Wellen unter etwa 10 m verstanden werden sollen, erfahren keine Beeinflussung durch die Ionosphäre. Selbstverständlich ist diese Angabe der Wellenlänge keine scharfe Grenze; es kommen einerseits Fälle vor, in denen noch Reflexionen bis $\lambda = 5$ m beobachtet werden, anderseits wird die Ionosphäre gelegentlich schon von einer Welle $\lambda = 15$ m durchstossen. Im allgemeinen jedoch kann man bei $\lambda \leqq 10$ m mit einer Durchdringung der Ionosphäre rechnen. Die Schwingungsenergie wird also mit nur geringen Verlusten in den Weltenraum abgestrahlt, wo ohnehin kaum mit Absorption zu rechnen ist. Daraus erklärt sich die in den letzten Jahren beobachtete Reflexion elektrischer Signale vom Mond oder von Meteoren in Erdnähe. Die Ultrakurzwellen sind also heute schon ein gutes Hilfsmittel der Astronomie, das zweifellos in den kommenden Zeiten noch erheblich an Bedeutung gewinnen wird.

Ultrakurzwellen lassen sich weiterhin ähnlich wie das Licht gut bündeln und richten. Je kürzer die Wellenlänge ist, um so genauer folgt die Ausbreitung optischen Gesetzen, so dass man auch von «quasioptischen Wellen» spricht. Eine gute Bündelung mit Hohlspiegeln, deren Durchmesser gross gegenüber der Wellenlänge ist, ist leicht zu erreichen.

Das quasioptische Verhalten der Ultrakurzwellen bringt mancherlei Vorteile mit sich. Vor allem erlaubt die gerichtete Übertragung eine ausserordentlich wirtschaftliche Ausnutzung der Sendeenergie. Ein Nachteil ist die begrenzte Reichweite dieser Wellen. Sie ist nämlich nicht wesentlich grösser als die Sichtweite, was auf Grund des quasioptischen Verhaltens verständlich ist. Die Sichtweite ist jedoch bei Ausbreitung über freiem Gelände oder über dem Meer durch die Erdkrümmung begrenzt. Will man daher eine möglichst grosse Reichweite erzielen, so müssen Sender und Empfänger so hoch wie irgend angängig über dem

Erdboden aufgestellt werden. Die Sichtweite S eines Senders und Empfängers lässt sich nach der Formel

$$S = 3{,}57 \cdot \sqrt{h}\ [\mathrm{km}]$$

bestimmen, wobei h = Höhe der Station (in m) über dem Erdboden ist. Steht also beispielsweise ein Sender 100 m hoch, so beträgt seine Sichtweite etwa 35 km.

Praktische Messungen zeigen grössere Reichweiten, als es der rechnerischen optischen Sicht entspricht. Das rührt davon her, dass die Wellen bei flachem Abstrahlungswinkel, d. h. bei annähernd parallelem Verlauf zur Erdoberfläche, in der Atmosphäre eine nicht unbeträchtliche Brechung erfahren. Die Dielektrizitätskonstante der Luft und die Lufttemperatur haben auf diese Erscheinung einen erheblichen Einfluss.

Die Bodenwelle erfährt eine sehr starke Absorption längs der Erdoberfläche, weshalb sie für eine praktische Übertragung kaum in Frage kommt. Es ist wegen der guten Bündelungsmöglichkeit im übrigen einfach, das Zustandekommen der Bodenwelle von vornherein zu unterdrücken.

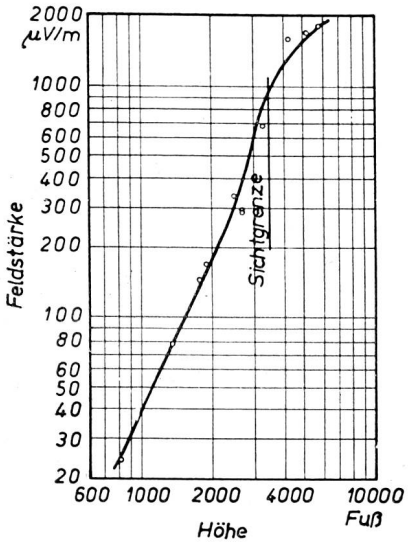

Abb. 4. Feldstärke als Funktion der Höhe bei λ = 73 cm, Entfernung 116 km.

Eine auf Messungen beruhende Feldstärkenkurve in Abhängigkeit von der Höhe zeigt Abb. 4. Die Wellenlänge betrug 73 cm, die Entfernung 116 km. Die Messung zeigt, dass auch ausserhalb der optischen Sicht, die im vorliegenden Fall etwa 3500 m beträgt, noch erhebliche Feldstärken auftreten. Sie fallen nach Unterschreiten der Sichtgrenze allerdings verhältnismässig schnell ab.

Abb. 5 zeigt die Feldstärke des früheren Berliner Ultrakurzwellensenders als Funktion der Entfernung bei λ = 6,9 m und h = 138 m. Wird die Sichtgrenze überschritten, so fällt die Feldstärke zwar schneller als innerhalb der optischen Sicht, aber keineswegs sprunghaft ab. Ähnliche Beobachtungen ergaben sich bei einer amerikanischen Messung nach Abb. 6, für die ein Sender mit λ = 6,8 m auf einem Hochhaus in New York aufgestellt war.

Schwunderscheinungen treten bei Ultrakurzwellen auf geringe Entfernungen und innerhalb der optischen Sicht gewöhnlich nicht auf, werden jedoch ausserhalb der Sichtgrenze mit verschiedener Dauer und Intensität beobachtet. Da die Ionosphäre als Ursache ausscheidet, muss wohl die Atmosphäre hierfür verantwortlich gemacht werden.

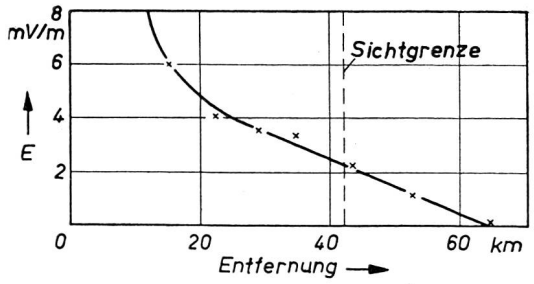

Abb. 5. Feldstärke in Abhängigkeit von der Entfernung beim früheren UKW-Sender Berlin, λ = 6,985 m, Sendeleistung 145 Watt.

Vor allem ist es der schwankende Brechungsindex, der ähnliche Wirkungen wie die schwankende Ionisation der Ionosphäre bei kurzen Wellen hervorruft. Man kann mit Feldstärkeschwankungen bis 1:100 als Folge dieser Einflüsse rechnen.

Sehr störend sind Reflexionen an festen oder beweglichen Gegenständen auf der Erde. Sie beeinträchtigen leider die Anwendung ultrakurzer Wellen für besondere Zwecke, z. B. für das Fernsehen, recht erheblich. Diese Reflexionen sind im allgemeinen um so zahlreicher und unübersichtlicher, je kürzer die verwendete Welle ist. Die reflektierte Strahlung überlagert sich der direkten Komponente und ruft starke Interferenzen hervor, die räumlich etwa im Abstand von einer Wellenlänge auftreten.

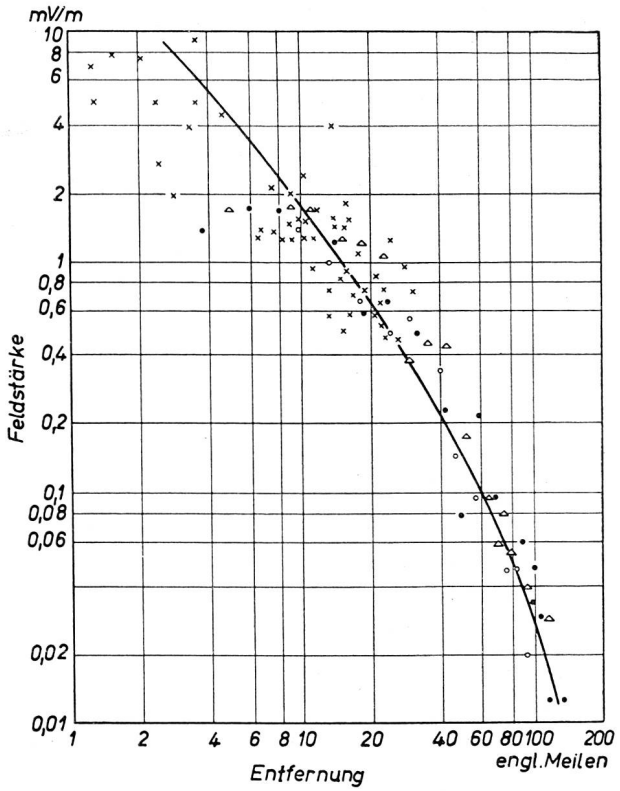

Abb. 6. Feldstärke in Abhängigkeit von der Entfernung, λ = 6,8 m, Sendeleistung 2 kW, Sender in 400 m Höhe.

Auch Du hast das Recht, den Morsekurs zu besuchen!