

Funk + Draht

Objektyp: **Group**

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

Band (Jahr): **32 (1959)**

Heft 9

PDF erstellt am: **21.07.2024**

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.

Ultrakurzwellen-Übertragung durch Meteore

Von *Erwin Roessler*, Berlin

Rückblick auf die bisherige Erforschung der Wellenausbreitung

Man hat bekanntlich beim Studium der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen bereits dreimal die vorgefasste Meinung grundsätzlich ändern müssen. Das erste Mal musste man die Vorstellung aufgeben, dass sich die längeren elektromagnetischen Wellen genau so wie die kürzeren und wie das Licht geradlinig ausbreiten, als sich etwa um die Jahrhundertwende herausstellte, dass diese Wellen der Erdkrümmung folgen. Die zweite Entdeckung wurde nach dem Ersten Weltkrieg gemacht, als die Radioamateure zeigten, dass man mit den für unbrauchbar gehaltenen Kurzwellen bei kleinsten Sendeleistungen von Kontinent zu Kontinent telegraphieren kann. Als drittes erkannte man nach 1945, dass die Vorstellung von der Ausbreitung der Wellen unter 10 m Wellenlänge ergänzungsbedürftig war, weil nicht nur Beugung und Brechung, sondern auch die durch Inhomogenitäten bedingte Streuung zu berücksichtigen ist.

Diese dritte Erweiterung unseres Wissens vollzog sich in drei Schritten. Zunächst wurde der Einfluss der Inhomogenitäten in der Troposphäre gefunden, der die Reichweite aller Wellen mit weniger als 10 m Wellenlänge von der bisherigen Begrenzung auf Sichtweite (bei den üblichen Antennenhöhen etwa 50 km) bis auf etwa 400 km vergrösserte. Der zweite Schritt in der Anwendung der Streuenausbreitung wurde durch Inhomogenitäten in der Ionosphäre ermöglicht, die im Bereich der längeren Meterwellen, also zwischen etwa 5 und 10 m Wellenlänge, Reichweiten bis zu 2000 km ergaben. Der dritte Schritt, der hier näher behandelt werden soll, war die Ausnutzung der Streuung an den Ionenspuren der Meteore. Sie liefert zwar keine grösseren Reichweiten als die ionosphärische Streuenausbreitung, man kommt aber mit kleineren Leistungen und Antennen aus. Auch verschiebt sich der Anwendungsbereich bis in das Gebiet der kürzeren Meterwellen, also bis etwa 3 m Wellenlänge.

Ausbreitung der langen Wellen um die Erde

Vor der Behandlung des Teilgebiets der meteorischen Streuenausbreitung muss die Frage beantwortet werden, wie es überhaupt möglich war, dass die Natur durch 50 Jahre hindurch die Wissenschaft immer wieder überraschte, obwohl doch seit Maxwell (1831 bis 1879) die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in ihren Grundzügen theoretisch zu überblicken war. Auf diese Frage ist zu erwidern, dass die Maxwellschen Gleichungen nur unter vereinfachten Bedingungen leicht anwendbare Lösungen ergeben, z. B. für

die Ausbreitung im freien Raum. Dort ergibt sich, unabhängig von der Wellenlänge, eine geradlinige Ausbreitung wie beim Licht. Man wusste zwar, dass alle Wellen, wie beim Licht beobachtet, durch Beugung und Brechung von ihrer geraden Bahn abgelenkt werden, und die Arbeiten von Hertz bestanden zum grossen Teil darin, nachzuweisen, dass dieselbe Beugung und Brechung auch bei den längeren Wellen auftreten, aber man konnte zunächst nicht quantitativ berechnen, welchen Einfluss die Erde als Leiter und die Atmosphäre als Dielektrikum auf die Ausbreitung von Wellen haben werde, wenn deren Wellenlänge etwa neun Zehnerpotenzen grösser ist als die des Lichtes.

Durch Versuche im Laboratorium liess sich zwar die Beugung an Kanten, nicht aber an einer Kugel mit einem gegen die Wellenlänge sehr grossen Halbmesser bestimmen. Man musste zum Grossversuch übergehen. Dieser setzte Sender ausreichender Leistung und genügend empfindliche Empfänger voraus, die erst entwickelt werden mussten. Die rechnerische Behandlung war zunächst nur unter vielen Vereinfachungen durchführbar, erst 1937 lieferten Bremmer und van der Pol ein für ein grösseres Wellengebiet brauchbares, genaueres Rechenverfahren.

Ausbreitung der Kurzwellen über die Ionosphäre

Bei den bisher geschilderten Überlegungen wurde, um überhaupt zu einem Ergebnis zu kommen, nur die Leitfähigkeit der Erdoberfläche berücksichtigt. Die relative Dielektrizitätskonstante der Atmosphäre wurde mit 1 angenommen und die Leitfähigkeit der Atmosphäre in grossen Höhen völlig vernachlässigt, obwohl diese Leitfähigkeit schon 1864 aus erdmagnetischen Messungen gefolgert worden war (Balfour, Steward); auch Heaviside und Kennelly hatten bereits 1903 auf ihren Einfluss hingewiesen. Die damals über die Eigenschaften der oberen Atmosphäre unabhängig von der Höhe vorliegenden Kenntnisse reichten nicht aus, diesen Einfluss in quantitativen Rechnungen zu berücksichtigen.

Erst mit den inzwischen entwickelten Röhrensendern konnte man die Ionosphäre anstrahlen, die reflektierte Leistung messen und so für die verschiedenen Frequenzen den Reflexionsfaktor und aus der Laufzeit der Wellen die Höhe der Schicht erhalten. Bis hinunter zu etwa 10 m Wellenlänge wurde ein wesentlicher Einfluss der Ionosphäre gefunden. Im Gebiet der Kurzwellen, etwa zwischen 10 und 100 m Wellenlänge, wirkt sie — wenigstens zu gewissen Tageszeiten — wie ein Spiegel, so dass auch mit schwachen

Sendern grosse Reichweiten zu erzielen sind. Der Einfluss der Ionosphäre auf die Wellenausbreitung ist von vielen Faktoren abhängig und keineswegs konstant. Er ist so schwer zu überblicken, dass noch heute, nach mehr als 30jähriger Ionosphärenforschung, noch ausreichend Stoff für weitere Untersuchungen vorliegt.

Streuausbreitung

Bei den bisher geschilderten Betrachtungen rechnete man mit einer homogenen Erdoberfläche und einer idealisierten, in horizontaler Richtung gleichfalls homogenen Ionosphäre und Troposphäre. So erhielt man für alle Wellenlängen über 10 m eine Wellenausbreitung zwischen zwei leitenden Kugelflächen. Bei den Wellen unter 10 m Wellenlänge setzte man auch die Änderung der Dielektrizitätskonstante der Luft mit der Höhe, die hauptsächlich auf der Abnahme des Wasserdampfes beruht, in Rechnung. In Übereinstimmung mit den Versuchen erhält man eine Brechung der Wellen um die Erde, die zusätzlich zur Beugung die Reichweite über den optischen Horizont hinaus vergrössert. Diese Vergrösserung kann durchaus beachtlich sein, darf aber keinesfalls mit der bedeutend grösseren Erweiterung der Reichweite durch die Streuausbreitung verwechselt werden.

Gelegentlich treten allerdings anomale Brechungen oder Reflexionen an Schichten auf, in denen sich die Dielektrizitätskonstante der Luft sprunghaft ändert, und durch wiederholte Reflexion zwischen zwei solchen Schichten oder zwischen einer Schicht und der Erdoberfläche werden die Wellen unter Umständen wie in einem Hohlleiter geführt (Duct-Ausbreitung). Durch solche, allerdings von der Witterung stark abhängigen Vorgänge wird die Reichweite der Wellen unter 10 m, jener Wellen also, die im allgemeinen nicht mehr von der Ionosphäre reflektiert werden, gelegentlich erheblich über den durch Beugung und Brechung gegebenen Betrag vergrössert.

In Deutschland wurden bei 7 m Wellenlänge schon vor 1938 Reichweiten bis 750 km erzielt. Keinesfalls darf man aber diese gelegentlich beobachteten Überreichweiten mit den durch Streuausbreitung erzielten schwachen, aber beständigen Feldstärken weit hinter dem Horizont verwechseln. Die Entscheidung, welcher Ausbreitungsmechanismus vorgelegen hat, kann meistens schon auf Grund der Sendeleistung getroffen werden. Die vor dem Zweiten Weltkrieg verfügbaren, verhältnismässig kleinen Sendeleistungen schliessen die Beobachtung von Streuausbreitung meistens aus. Wenn damals sehr grosse Reichweiten beobachtet wurden, so hat es sich wohl immer um gelegentlich auftretende Überreichweiten gehandelt. Wenn auch diesen Überreichweiten wegen ihrer Unbeständigkeit keine Bedeutung für regelmässige Nachrichtenübertragung zukam, so mussten sie doch mit Rücksicht auf die gegenseitige Störmöglichkeit der UKW-Sender genauer untersucht werden. Bei diesen Untersuchungen wurde die troposphärische Streuausbreitung entdeckt.

Troposphärische Streuausbreitung

Voraussetzung für diese Entdeckung waren Sender grosser Leistung im Gebiet der Dezimeter- und Zentimeter-Wellen, denn erst mit solchen Sendern waren Reichweiten zu erzielen, bei denen die Abweichung von dem durch Brechung und Beugung bestimmten Ausbreitungsgesetz merklich wird. Solche Beobachtungen wurden in Deutschland schon während des Zweiten Weltkrieges gemacht,

doch waren derartige Sender erst nach dem Zweiten Weltkrieg für systematische Versuche verfügbar, z. B. die Sender von Radargeräten. Bei Radargeräten ist nicht nur die Entfernung von Bedeutung, aus der man mit dem eigenen Empfänger noch merkliche Echos erhält, sondern auch jene grössere Entfernung, in welcher der Sender durch fremde Empfänger gehört werden oder andere Empfänger stören kann. Diese Entfernungen versuchte Megaw bei Ausbreitungsmessungen über der Nordsee festzustellen.

Die Feldstärke nimmt hinter dem Horizont, wie zu erwarten war, nach dem durch die Beugung bestimmten Gesetz exponentiell ab, aber bei grösseren Entfernungen — bei Entfernungen, die man früher mit schwächeren Sendern niemals erzielt hatte — beginnt eine völlig neue Gesetzmässigkeit. Die Feldstärke ist bedeutend grösser als erwartet (bei Zentimeter-Wellen und einigen 100 km Entfernung 10^{25} mal grösser). Ähnliche Feststellungen machte Katzin bei Messungen über der Karibischen See, die ursprünglich den Zweck hatten, die Duct-Ausbreitung zu untersuchen.

Als Ursache für die beobachteten Abweichungen wurde die «infinitesimale (partielle) Reflexion» in der geschichteten Atmosphäre und die Streuung an den Inhomogenitäten der Luft angenommen. Es ist nicht einfach, diese Einflüsse quantitativ zu verfolgen, und auch heute kann man noch nicht entscheiden, welcher dieser beiden Vorgänge überwiegt. Sicher sind die Inhomogenitäten, verursacht durch die Turbulenz der Troposphäre, nicht zu vernachlässigen. Schon Megaw zeigte, dass die beobachtete Streuung durch Dichtunterschiede der Luft erklärt werden kann, wie sie auch zur Erklärung der Szintillation (des Flimmerns) der Sterne angenommen wurden.

Unter infinitesimaler Reflexion versteht man einen Vorgang, der sich in jedem stetig geschichteten Medium abspielt, meist aber wegen der geringen Grösse der reflektierten Leistung vernachlässigt wird. Denkt man sich nämlich eine Fläche, an der sich die Dielektrizitätskonstante um einen verschwindend kleinen Betrag ändert, so wird der Strahl nicht nur um einen infinitesimalen Winkel gebrochen, sondern von der durch die Fläche tretenden Leistung wird auch ein — gleichfalls infinitesimaler — Betrag durch Reflexion abgespalten. Durchsetzt der Strahl nun sehr viele solcher Flächen mit gleichsinniger Änderung der Dielektrizitätskonstante, so dass sich also die Dielektrizitätskonstante beim Strahleintritt von derjenigen beim Strahlaustritt um einen endlichen Betrag unterscheidet, so wird der Strahl in einer solchen Schicht endlicher Dicke nicht nur um einen endlichen Winkel gebrochen, sondern von seiner Leistung wird auch als Integralwert der unendlich vielen infinitesimalen Reflexionen eine allerdings sehr kleine Leistung durch Reflexion abgespalten.

Da in jedem Falle die gestreute Leistung nur einen sehr kleinen Teil der abgestrahlten ausmacht (bei 500 km Entfernung etwa das 10^{-9} -fache), so muss man mit Sendern von etwa 40 kW Leistung und bei Sendung und Empfang mit grossen Richtantennen arbeiten, die eine starke Bündelung der Strahlen ergeben. Mit derartigen Richtfunkverbindungen sind bereits mehrere Inseln an die benachbarten Fernsprechnetze angeschlossen worden (Sardinien, Minorca, Kuba, Porto Rico).

Ionosphärische Streuausbreitung

Die ionosphärische Streuausbreitung ist vor allem für Wellen zwischen 5 und 10 m Wellenlänge von Bedeutung. Sie beruht darauf, dass für diese Wellenlängen Inhomogeni-

täten in der Ionosphäre die gleiche Wirkung haben wie die Inhomogenitäten der Troposphäre für die Dezimeter- und Zentimeter-Wellen. Unter 5 m Wellenlänge hat die normale Ionendichte einen so kleinen Einfluss auf die Ausbreitung, dass keine merkliche Streuung zu beobachten ist. Man kann sinngemäss alles, was bisher über die troposphärische Streuung gesagt wurde, auf die ionosphärische Streuung übertragen. Bei troposphärischer Streuung beträgt die Entfernung S—E bis 500 km, das streuende Volumen V liegt unter 10 km Höhe. Bei ionosphärischer Streuung beträgt die Entfernung zwischen S und E bis zu 2000 km, das Volumen V liegt in etwa 100 km Höhe. In beiden Fällen ist die günstigste Bündelung schärfer als gezeichnet (etwa 2° Halbwertsbreite).

Ein wesentlicher Unterschied besteht allerdings doch zwischen diesen beiden Ausbreitungsarten. Das übertragbare Frequenzband ist bei der ionosphärischen Streuung wesentlich schmaler als bei der troposphärischen. Es ist so schmal, dass nach den heutigen Erfahrungen bei ionosphärischer Streuung Fernsehen oder Mehrfachtelefonie nicht übertragen werden können und als Betriebsart vorzugsweise Telegraphie und Fernschreiben, allenfalls mit mehreren Kanälen, in Betracht zu ziehen sind. Trotzdem hat man die Entdeckung der ionosphärischen Streuung seitens der Fernmeldepraxis mit grosser Aufmerksamkeit verfolgt, weil nunmehr die Überbrückung grösserer Meeresteile mit Ultrakurzwellen möglich ist. Strecken zwischen den USA und Island, Kanada und Grönland, England und Gibraltar sind bereits erfolgreich in Betrieb genommen worden. Durchweg handelt es sich dabei um Strecken von militärischer Bedeutung, auf denen der Nachrichtenbedarf durch eine Fernschreibverbindung befriedigt werden kann. Feldstärkemessungen aus letzter Zeit haben den für die troposphärische Streuung charakteristischen Feldstärkenverlauf in Abhängigkeit von der Entfernung noch bis 1100 km über See nachweisen können.

Das bei Streuung übertragbare Frequenzband ist durch den Wegunterschied zwischen den einzelnen Strahlen bestimmt. Bei troposphärischer Streuung ist die streuende Stelle in der Troposphäre etwa 200 km vom Sender entfernt. Die Hauptleistung ist auf einen Winkel von weniger als 1° beschränkt. Zwischen den Randstrahlen und dem Strahl, der über den Grosskreis verläuft, beträgt der Wegunterschied etwa 25,6 m, das übertragbare Frequenzband also etwa 11,7 MHz, die zulässige Dauer des einzelnen Zeichens $0,1 \mu\text{s}$. Kürzere Zeichen würden, da sie über den Mittelstrahl und über die Randstrahlen zu verschiedenen Zeiten zum Empfänger kommen, unzulässig verbreitert werden. Wenn man dieselbe Überlegung auf ionosphärische Streuung überträgt, so kommt man für eine Entfernung Sender—Streuestelle von 500 km und eine Bündelung von 5° immer noch zu einer Bandbreite von 187 kHz, also bedeutend mehr, als für eine Fernschreibverbindung gebraucht wird. Dass diese Bandbreite tatsächlich nicht ausnutzbar ist, hat seine Ursache in der Struktur der Ionosphäre, deren Inhomogenitäten viel grösser sind als die der Troposphäre.

Deshalb machen sich manchmal noch Strahlen bemerkbar, die etwa 30° vom Mittelstrahl abweichen, die also unter den obigen Annahmen Wegunterschiede von rund 150 km ergeben, also nur ein Frequenzband von 2 kHz zulassen. Das reicht tatsächlich nur noch für Fernschreibverbindungen aus. Infolge der meist verwendeten Antennenbündelung von nur einigen Grad Halbwertsbreite können so weit abliegende Randstrahlen aber nur dann wirksam werden,

wenn sich in der Ionosphäre neben den nur schwach streuenden Inhomogenitäten, welche die ausnutzbare Streuung ergeben, noch Stellen finden, die so stark ionisiert sind, dass sie fast eine Reflexion verursachen. Solche starken Ionisationen entstehen tatsächlich, und zwar durch Meteore, allerdings nur kurzzeitig, weil sich die Ionen bald wieder gegenseitig neutralisieren. Der Maßstab ist dabei so gewählt, dass die bisher betrachtete ionosphärische Streuung nahezu verschwindet. Die beobachteten grossen Amplituden, die etwa in Abständen von 10 s auftraten, werden durch die anomale, viel stärkere Ionisierung der Meteorspuren verursacht.

Meteorische Streuung

Kurzzeitige grosse Feldstärken wurden schon bei den ersten Versuchen mit ionosphärischer Streuung beobachtet. Sie wurden damals nur als lästige Störungen empfunden und konnten bald als Folge des Eindringens von Meteoren in die Ionosphäre erklärt werden. Unter Meteore sind dabei nicht jene grösseren kosmischen Körper zu verstehen, die bis in die obere Troposphäre gelangen und beim Verglühen als leuchtende «Sternschnuppen» sichtbar werden, sondern jene höchstens stecknadelkopfgrossen Teilchen, die schon in der oberen Ionosphäre verdampfen und, für das Auge unsichtbar, Ionenstreifen von mehreren Kilometern Länge hinterlassen.

Dass Ingenieure in Kanada aus diesen unliebsamen Störungen ein neues, sehr nützliches Nachrichtenverfahren machten, ist ein Schulbeispiel für geistvolle Ingenieurarbeit. Bevor man aus der «Not» der meteorischen Störung die «Tugend» einer meteorischen Streuung machen konnte, musste allerdings auf die Telefonie im Gegenprechbetrieb verzichtet und das Vorurteil überwunden werden, dass zur Nachrichtenübermittlung eine kontinuierliche Verbindung notwendig ist.

Intermittierende Übertragung bei verschiedenen Nachrichtenarten

In den Anfängen der drahtlosen Telegraphie und auch bei der Einführung der kurzen Wellen war man wegen der geringen Sendeleistungen weit davon entfernt, eine für den Empfang dauernd ausreichende Feldstärke zu erhalten. Oft kam erst nach stundenlangem Warten die gewünschte Verbindung zustande; dann wurde die vorliegende Nachricht so schnell abgesetzt, als es die Güte der Verbindung (Lautstärke, Schwunderscheinungen, Störungen) zuließ. Der Traum jedes Funkers war deshalb eine von Tages- und Jahreszeit unabhängige und mindestens so betriebssichere Funkverbindung wie eine Verbindung über Draht. Eine derartige Forderung führt aber keinesfalls zum wirtschaftlichsten Verfahren, wenigstens dann nicht, wenn man als Betriebsart Telegraphie betrachtet.

Telephonie und Telegraphie

Man neigt heute zu der Annahme, dass Telephonie allgemein die vorteilhafteste Art der Nachrichtenübertragung ist, und zwar in der Betriebsart «Gegensprechen», bei der man gleichzeitig sprechen und hören kann, weil je ein Kanal für Sendung und Empfang vorhanden ist. Die Betriebsart «Wechselsprechen» erfordert eine gewisse Sprechdisziplin, weil nur ein Kanal vorhanden ist, der abwechselnd zum Senden oder Empfangen dient. Zweifellos bietet die

Telephonie den Vorteil des unmittelbaren persönlichen Kontaktes, aber ebenso zweifellos den Nachteil, dass beide Teilnehmer gleichzeitig sprechbereit sein müssen, es sei denn, dass auf eine Antwort verzichtet werden kann, wie dies bei Meldungen und Befehlen der Fall ist.

Dieser Nachteil wirkt sich vor allem dann aus, wenn ein Gespräch zwischen Orten mit merklich verschiedener Ortszeit zu führen ist. Die Telegraphie, vor allem das Fernschreiben, ist aber auch dann vorteilhafter, wenn man nicht sofort antworten kann, weil vorher Akten einzusehen oder Erkundigungen einzuziehen sind.

Übertragungsdauer

Bei Telephonie darf die Übertragungsdauer nicht länger als das Gespräch sein, bei Telegraphie ist dagegen eine Verlängerung der Übertragungsdauer zulässig, weil sich die Antwort ohnedies um die Zeit verzögert, die der Partner zu ihrer Formulierung benötigt. Oft erwartet der Teilnehmer die Antwort erst für den nächsten Tag. Unter solchen Verhältnissen ist es völlig belanglos, wenn in der Übermittlung einer Nachricht eine Verzögerung von Sekunden oder Minuten, manchmal sogar von Stunden, eintritt. Dass es wirtschaftliche Vorteile bieten kann, eine solche Verzögerung in Kauf zu nehmen, ist aus der Tatsache ersichtlich, dass Brieftelegramme zu einer bedeutend ermässigten Gebühr befördert werden. Es gibt allerdings auch Dienste, bei denen solche Verzögerungen keinesfalls zulässig sind, z. B. Fernschreiben in der Flugsicherung.

Intermittierende Übertragung

Wenn auf Telephonie im Gegensprechbetrieb verzichtet und eine Verzögerung in der Nachrichtenübertragung zugelassen werden kann, dann ist aber auch eine kontinuierliche Nachrichtenübertragung nicht unbedingte Voraussetzung, und man kann sich mit den hohen Feldstärken begnügen, die nur etwa alle 10s für Bruchteile einer Sekunde auftreten.

Damit kein Teil der Nachricht verlorengeht, muss die Nachricht vor der Sendung gespeichert und dann mit erhöhter Telegraphiergeschwindigkeit abgesetzt werden. Der Grad dieser Beschleunigung ist durch den durchschnittlichen Anteil brauchbarer Übertragungszeit bestimmt. Beim Empfang müssen die mit erhöhter Telegraphiergeschwindigkeit durchgegebenen Bruchstücke der Nachricht gespeichert, verlangsamt und wieder zusammengesetzt werden.

Die Verzögerung, die sich bei diesem Verfahren für die Nachricht ergibt, ist grösser als der mittlere Abstand brauchbarer Übertragungszeiten, denn das Fassungsvermögen muss so bemessen werden, dass sie auch noch die längsten Lücken zwischen den Übertragungen überbrücken kann. Im ungünstigsten Fall, nämlich bei gefülltem Speicher, wird die Nachricht um eine dem Fassungsvermögen entsprechende Zeit verzögert; diese Verzögerung kann sowohl bei der Sendung als auch beim Empfang entstehen. Nach dem, was man heute über die Häufigkeit brauchbarer Meteore weiss, ist es unwahrscheinlich, dass sich diese Verzögerungszeiten auf einen Betrag herabsetzen lassen, der für Telephonie im Gegensprechbetrieb erträglich wäre. Selbst wenn man sich zum Wechselsprechbetrieb entschliesst, sind die Wartezeiten, die sich zwischen Hören und Sprechen ergeben, zu lang. Verzichtet man aber auf sofortige Antwort, was bei der Durchgabe von Befehlen und Meldungen durchaus zulässig ist, dann ist intermittierender Betrieb auch bei Telephonie anwendbar. Für Telegraphie und Fernschreiben, auch bei

Bildtelegraphie und Fernsehen, sind die entstehenden Verzögerungen ohne jede Bedeutung.

Eigenschaften der meteorischen Streuenausbreitung

Die vom Meteor erzeugte Ionisationsspur ist in Richtung der Meteorbewegung sehr gross im Verhältnis zu der verwendeten Wellenlänge. Die auftreffende Welle wird also teils durch Reflexion, teils durch Beugung beeinflusst. Wesentliche Feldstärken wird man an der Empfangsstelle nur erwarten dürfen, wenn die Spur in einer Ebene liegt, die senkrecht zu der durch Sender, Meteor und Empfänger gelegten Ebene steht.

Zeitliche Verteilung

Die Häufigkeit der Meteore ist erheblichen Schwankungen unterworfen. Besonders auffällig ist eine tägliche Periode, die durch den Umlauf der Erde um die Sonne bedingt ist. Am Morgen, wenn sich die Erdbewegung zur Fallbewegung der Meteore addiert, ist die Anzahl der günstigsten Meteorspuren etwa 10mal grösser als am Abend, wenn Erd- und Fallbewegung entgegengesetzte Richtungen haben. Ausser der täglichen Periode sind jahreszeitliche Schwankungen festzustellen, die mit der Neigung der Erdachse zur Ebene der Erdbahn zusammenhängen. Sie haben für die nördliche und südliche Hemisphäre entgegengesetzten Verlauf. Auf ihrer Bahn um die Sonne kreuzt die Erde ferner verschiedene Spuren alter Kometen, in denen der kosmische Staub besonders dicht ist. Dann steigt die Zahl der günstigen Meteore erheblich über den Durchschnitt an (Schauer).

Die drei obengenannten Schwankungen sind auf Vorgänge innerhalb des Sonnensystems zurückzuführen. Der kosmische Staub, dem die Meteore entstammen, gehört auch zum grössten Teil zum Sonnensystem, macht also die Bewegung der Sonne innerhalb der Milchstrasse mit. Es ist zwar nicht ausgeschlossen, dass die Erde gelegentlich durch kosmische Staubwolken wandert, die nicht zum Sonnensystem gehören. Dann würde sich die Zahl der Meteore erhöhen. Dass aber ihre Zahl in menschlich übersehbaren Zeiträumen unter den derzeitigen Durchschnitt sinkt, ist recht unwahrscheinlich.

Bandbreite

Die einzelnen Meteorspuren sind zylinderförmige Streuelemente. Infolge ihrer verhältnismässig hohen Ionisation werden an ihnen auch die kürzeren Meterwellen noch merklich gestreut. Dass gleichzeitig in dem für eine Übertragungsstrecke zu betrachtenden Raum mehrere günstige Meteorspuren gleichzeitig auftreten, ist verhältnismässig unwahrscheinlich. Meistens ist nur ein einziger Übertragungsweg vorhanden. Deshalb kann man sehr breite Frequenzbänder übertragen. Bei Bildtelegraphie-Übertragungen wurden Bänder von 100 kHz benutzt, aber es scheint dies keinesfalls die obere Grenze zu sein.

Diese grosse Bandbreite bildet einen der wichtigsten Unterschiede zwischen der meteorischen und der ionosphärischen Streuenausbreitung. Sie macht es möglich, auch solche Nachrichten mit Ultrakurzwellen pausenlos über Entfernungen bis 2000 km zu übertragen, für die ein Frequenzband von 10 kHz Voraussetzung ist. Lässt man Unterbrechungen zu, verzichtet man auf Speicherung und wiederholt dafür die Sendung so lange, bis sie in allen ihren Teilen angekommen ist, so kann man sogar die Nachricht selbst mit 100 kHz übertragen.

Fortsetzung folgt