Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = 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 Telegrafenbetriebe

Band: 45 (1967)

Heft: 12

Artikel: Betrachtungen zum Entwurf troposphärischer Scattersysteme

Autor: Rappalier, Günther

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-874915

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: 13.07.2025

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

Betrachtungen zum Entwurf troposphärischer Scattersysteme

Günther RAPPALIER, Backnang

621.371.332.4

1. Die Überhorizontausbreitung

Richtfunkstrecken setzen normalerweise optische Sicht zwischen Sende- und Empfangsantenne voraus. Die Dämpfung zwischen beiden Antennen steigt in dem Mass, wie die erste Fresnelzone durch Hindernisse abgedeckt wird. Jenseits des Radiohorizontes nimmt die Empfangsleistung rasch ab, wenn die glatte Erdkugel [1] als Hindernis wirkt, jedoch weniger schnell, wenn das Hindernis scharfkantig [1] ist. Bei einem Abstand von mehr als 150 km zwischen den Radiohorizonten, also im Bereich der troposphärischen Streustrahl- oder Scatterausbreitung, nimmt die Empfangsleistung mit wachsender Entfernung erheblich schwächer ab *(Fig. 1)*. Wie die Erfahrung gezeigt hat, lassen sich mit geeignet ausgeführten Richtstrahlsystemen auch über Entfernungen von mehreren hundert Kilometern noch betriebssichere Nachrichtenverbindungen herstellen [2, 3].

Drei Arten von Überhorizontausbreitung lassen sich demnach unterscheiden:

- Beugung an glatter Erdkugel,
- Fresnel-Beugung an scharfkantigen Hindernissen,
- troposphärische Streustrahlung bei grösserer Entfernung der Radiohorizonte voneinander.

Für den letzten Fall, der im folgenden betrachtet werden soll, sind mittlerweile zahlreiche Messergebnisse veröffentlicht worden. Es gibt jedoch noch keine exakte Deutung des Ausbreitungsmechanismus. Aus den Messergebnissen konnten immerhin Planungsgrundlagen für troposphärische Streustrahlsysteme abgeleitet werden, die zu brauchbaren Voraussagen der Empfangsergebnisse führen [4, 5].

2. Theorie der troposphärischen Streustrahlausbreitung

Allen bisherigen Theorien [6, 7, 8] ist gemeinsam, dass innerhalb der Schnittflächen der Strahlenkegel von Sende- und Empfangsantenne (Scattervolumen) die Energie in Richtung zum Empfänger hin streut. Diese Streuung kann

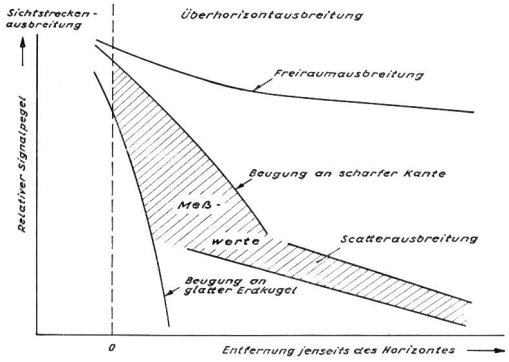

Fig. 1
Troposphärische Wellenausbreitung jenseits des Horizontes

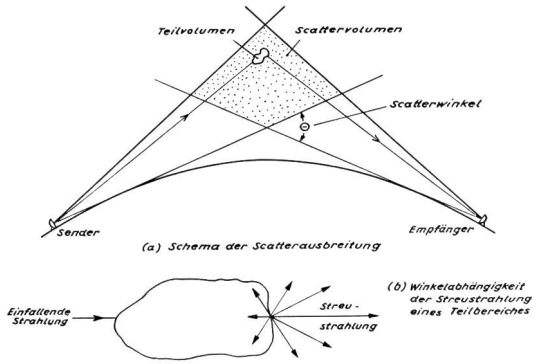

Fig. 2
Schematische Darstellung der Scatterausbreitung
(a) Schema der Scatterausbreitung
(b) Winkelabhängigkeit der Streustrahlung eines Teilbereiches

durch Schichten, Gasblasen oder Turbulenzen mit inhomogener Verteilung der Dielektrizitätskonstante verursacht werden. Der zur Empfangsantenne gelangende, durch Integration über das Scattervolumen entstandene Energieanteil wächst mit abnehmendem Schnittwinkel der Strahlenkegel (Scatterwinkel Θ) [9], vergleiche *Figur 2*.

Infolge der ständig schwankenden Verhältnisse innerhalb des Scattervolumens zeigen die Einzelstrahlen im Strahlenbündel der Empfangsantenne ein statistisches Verhalten nach Amplitude und Phase entsprechend einer *Rayleigh*-Verteilung, was sich als Kurzzeitschwund der Empfangsenergie äussert. Der zusätzlich auftretende Langzeitschwund beruht auf tages- und jahreszeitlichen Einflüssen auf die Troposphäre mit jährlichem Zyklus und meist *Gauss*scher Verteilung.

Auswirkungen des Langzeitschwundes müssen durch entsprechenden Regelumfang der Regelautomatik (AGC[1]) im Zwischenfrequenzteil des Empfängers aufgefangen werden. Die dadurch bewirkten Schwankungen der Übertragungsqualität lassen sich nicht vermeiden. Die Einflüsse des Kurzzeitschwundes können jedoch durch Diversitybetrieb – Mehrfachempfang nach Übertragungsweg, -frequenz oder Einfallswinkel in die Antenne – sehr wirksam verringert werden.

3. Die Übertragungsdämpfung

Die Berechnung der Dämpfung zwischen Sende- und Empfangsantenne unterscheidet sich bei troposphärischer Scatterausbreitung in einigen Punkten von jener bei Strecken mit optischer Sicht. Zur Grundübertragungsdämpfung tritt additiv die Überhorizontdämpfung, die die Streustrahlausbreitung berücksichtigt und die vom Scatterwinkel Θ abhängt, sowie ein Glied, das der Minderung des Antennengewinns gegenüber Sichtstreckenverhältnissen Rechnung trägt.

[1] Automatic Gain Control

Bei einer troposphärischen Scatterverbindung ist die Dämpfung zwischen isotropen Strahlern eine zeitlich stark veränderliche Grösse, die man sich aus einem festen und einem zeitlich veränderlichen Anteil zusammengesetzt vorstellt. Als Festwert sei hier der zeitliche Mittelwert der Stundenmittel des schlechtesten Monats Lt_m gewählt, da das Übertragungssystem für diesen ungünstigen Fall ausgelegt sein muss. Abweichend davon wird mitunter der entsprechende jährliche Mittelwert vorgezogen, der bei Landstrecken in gemässigtem Klima um etwa 10 dB geringer angenommen wird. Der veränderliche Anteil der Dämpfung wird als Schwankung um den gewählten Mittelwert herum aufgefasst, also als Fading L_x, das in x % des betrachteten Zeitraumes nicht überschritten wird, wobei L_x positive und negative Werte annehmen kann.

$$Lt = Lt_m + L_x \text{ (dB)} \tag{1}$$

Das gesamte Fading denkt man sich aus zwei Anteilen zusammengesetzt, dem Langzeitfading und dem Kurzzeitfading.

$$L_x = L_{xL} + L_{xK} \text{ (dB)} \tag{2}$$

Das Langzeitfading ist entfernungsabhängig, jedoch kaum frequenzabhängig. Beide Anteile sind zeitabhängig und lassen sich nur als Wahrscheinlichkeitsverteilungen darstellen, entweder einzeln gemäss Gleichung (2) oder als kumulative Augenblicksverteilung gemeinsam. Der erste Fall stellt eine Näherung dar und enthält gegenüber dem zweiten Fall Reserven.

Legt man den Zeitanteil des schlechtesten Monats fest, in dem eine Troposcatterverbindung nicht durch Überschreiten der Empfangsschwelle abreissen darf oder in dem eine bestimmte Rauschleistung im Gesprächskanal nicht überschritten werden soll, so ergibt sich auf das Jahr bezogen eine entsprechende Zuverlässigkeit der Verbindung, die jedoch in beiden Fällen zu verschiedenen Ergebnissen führen kann.

Der zeitliche Mittelwert der Stundenmittel des schlechtesten Monats der gesamten Übertragungsdämpfung lässt sich durch die bereits erwähnten Ergänzungen aus dem Sichtstreckenfall ableiten.

$$Lt_m = Lm - G_S - G_E - L_K + L_L \text{ (dB)} \tag{3}$$

$$Lm = L_o + Lm^* \text{ (dB)} \tag{4}$$

Damit ergibt sich aus den Gleichungen (1), (3) und (4) das gesamte Übertragungsdämpfungsmass, das in x % des schlechtesten Monats nicht überschritten wird.

$$Lt = L_o + Lm^* + L_X - G_S - G_E + L_K + L_L \text{ (dB)} \tag{5}$$

In diesen Gleichungen bedeutet (sämtliche Werte in dB):

Lt_m = zeitlicher Stundenmittelwert des schlechtesten Monats der gesamten Übertragungsdämpfung zwischen Sender und Empfänger,

Lm = zeitlicher Mittelwert des schlechtesten Monats der Dämpfung zwischen isotropen Strahlern bei Überhorizontausbreitung,

L_o = $32{,}44 + 20 \log f_{MHz} + 20 \log d_{km}$, Grundübertragungsdämpfungsmass (Freiraumdämpfung),

Lm^* = zeitlicher Mittelwert des schlechtesten Monats der über die Freiraumdämpfung hinausgehenden Überhorizontdämpfung,

L_x = gesamtes Fading, das in x % des schlechtesten Monats nicht überschritten wird,

L_{xL} = Langzeitfading, das in x % des schlechtesten Monats nicht überschritten wird,

L_{xK} = Kurzzeitfading, das in x % des schlechtesten Monats nicht überschritten wird,

G_S, G_E = Gewinn der Sende- beziehungsweise Empfangsantenne bezogen auf isotrope Strahler,

L_K = Kopplungsverlust der Antennen,

L_L = Dämpfung der Antennenzuleitungen und der Antennenweichen im Funkfeld.

4. Berechnung des Scatterwinkels

Richtet man auf dem Boden der hindernisfreien, glatten Erdkugel stehende Antennen mit ihren Charakteristiken aufeinander und in der Höhe auf den Horizont aus, so ist der Scatterwinkel Θ mit dem Grosskreisabstand Θ_o der Antennen identisch. Müssen Antennen wegen im Vordergrund liegender Hindernisse höher gerichtet werden, so wird $\Theta > \Theta_o$.

$$\Theta = \Theta_o + \Theta_1 + \Theta_2 \tag{6}$$

Der umgekehrte Fall tritt ein, wenn Antennen auf Erhebungen stehen, so dass die Horizontwinkel Θ_1 und Θ_2 negativ werden.

Die Winkelabstände können auch durch Entfernungen ersetzt werden. Dem Scatterwinkel entspricht dann die effektive Entfernung (Abstand der Radiohorizonte voneinander).

$$d_{eff} = d - d_1 - d_2 = k \cdot r_E \cdot \Theta \text{ in km}; \; k = 4/3 \tag{7}$$

Θ ist in Radian und der Erdradius r_E in km einzusetzen. Die Entfernungen d_1 und d_2 sind die Abstände der Hindernisse von den zugehörigen Endpunkten. In Gleichungen (7) sind negative Horizontwinkel vorausgesetzt.

Wie ersichtlich, wird man möglichst erhöhte Antennenstandorte aussuchen, damit der Scatterwinkel kleiner als der Grosskreisabstand der Stationen wird. Dadurch wird die von Θ abhängige Überhorizontdämpfung Lm^* klein gehalten.

Der Scatterwinkel und damit die effektive Entfernung sind aus geometrischen Beziehungen leicht zu berechnen [5]. Da es sich um einen kleinen Winkel von etwa 1°...3° handelt, wird er meist in Milliradian angegeben.

5. Bestimmung der Überhorizontdämpfung

Gemäss Gleichung (4) ist die Überhorizontdämpfung Lm* als der Anteil des zeitlichen Mittelwerts der Dämpfung zwischen isotropen Strahlern im Fall der Überhorizontausbreitung zu verstehen, der die Grundübertragungsdämpfung (Freiraumdämpfung) übersteigt. *Figur 3* zeigt die aus Messwerten gewonnene zeitliche Verteilung dieser Überhorizontdämpfung mit der effektiven Entfernung zwischen Sende- und Empfangsantenne als Parameter. Die Kurven stellen Gausssche Verteilungen der Stundenmittel im ungünstigsten Monat dar mit Streuungen σ zwischen 3 und 6 dB. Die Kurven ändern sich kaum, wenn statt stündlicher Intervalle kürzere bis herunter zu wenigen Minuten gewählt werden.

Figur 4 zeigt Schnitte durch Figur 3 für die Zeitanteile 50%, 90% und 99%. Der um 10 dB verringerte Kurvenverlauf der 50-%-Werte entspricht etwa der empirischen Gleichung nach *Yeh* [5] für den zeitlichen Stundenmittelwert des Jahres der Überhorizontdämpfung, d.h.

$$\mathrm{Lym}^* \approx \mathrm{Lm}^* - 10\ \mathrm{dB}. \qquad (8)$$

$$\mathrm{Lym}^* = 60 + 10 \cdot \left(\frac{\Theta}{17{,}45} - 1\right) + 10 \log (f/800)\ \mathrm{dB} \qquad (9)$$

Winkel Θ ist in Milliradian und die Frequenz f ist in MHz einzusetzen. Gleichung und Kurven gelten für Überlandstrekken in gemässigtem Klima und für eine Frequenz von 800 MHz. Zusatzglieder gestatten die Umrechnung auf abweichende Fälle von Frequenz – wie in Gleichung (9) – und Klima. Für Umrechnungen innerhalb des gemässigten Klimas

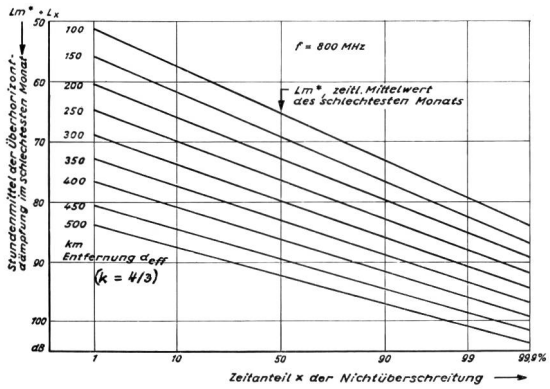

Fig. 3
Zeitliche Verteilung des Überhorizontalverlustes in Abhängigkeit von der Überhorizontentfernung, Lm* + L_x = f (x, d_{eff})

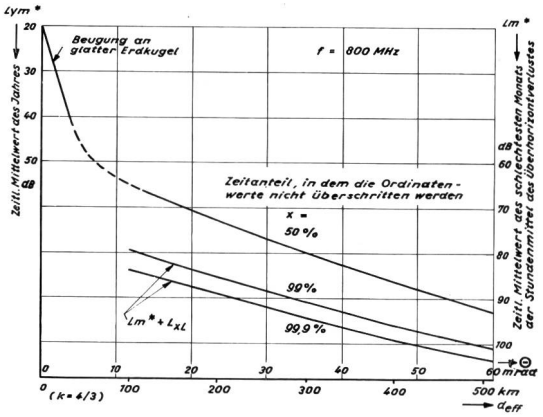

Fig. 4
Überhorizontverlust als Funktion des Scatterwinkels, Lm* = f (Θ bzw. d_{eff}).

wird der Wert $-0{,}2 \cdot (N_s - 310)$ empfohlen [5; 10]. Die Ergebnisse liefern Planungsgrundlagen mit nur einigen Dezibel Genauigkeit, die in Zweifelsfällen durch Streckenmessungen ergänzt werden müssen.

6. Langzeitfading und Kurzzeitfading

Im Zusammenhang mit Gleichung (2) wurde auf die Zweckmässigkeit hingewiesen, statt der Augenblicksverteilung den langzeitigen und den kurzzeitigen Anteil des Gesamtfadings getrennt zu betrachten. Die auf einem Troposcatterfunkfeld zu erwartenden zeitlichen Verteilungen des Langzeitfadings lassen sich aus Figur 3 als Differenz der Dämpfungswerte für beliebige Zeitanteile von x % und dem zugehörigen Wert für 50% mit der Entfernung als Parameter entnehmen.

Die Wirkung des Kurzzeitfadings äussert sich in kurzzeitigen Rauschschwankungen im Gesprächskanal und, sofern sich das Langzeitfading der FM-Schwelle nähert, in zunehmender Häufigkeit der Schwellenüberschreitungen, deren Zahl mit der Frequenz, der Grösse des Scattervolumens und der Entfernung wächst und allgemein einige bis einige zehn Male in der Sekunde beträgt. Die Einflüsse des Kurzzeitfadings lassen sich in bekannter Weise durch Mehrfachempfang beträchtlich einschränken. Durch Verringern von Zahl und Dauer der Schwellenüberschreitungen wird nicht nur die Zuverlässigkeit des Systems erhöht, durch Verringern des Intermodulationsrauschens (vgl. Abschnitt 10) kann auch die übertragbare Bandbreite vergrössert werden. Im Übergangsgebiet zwischen Beugung und troposphärischer Scatterausbreitung (gestrichelter Kurventeil in Figur 4) sind unter Umständen besondere Schaltungsmassnahmen erforderlich.

Aus *Figur 5* geht die unter der ungünstigsten Annahme einer Rayleigh-Verteilung des Kurzzeitfadings erzielbare

Verbesserung des Rauschabstandes im Gesprächskanal hervor. Zu beachten ist, dass die als Grenzfall genannte Voraussetzung nicht immer zutrifft, und dass in der Nähe der FM-Schwelle die Kurven für Kombination in die für Ablösung übergehen. Sind die Kurven der langzeitigen Dämpfung aus stündlichen Mittelwerten gewonnen, so ist die betrachtete Kurzzeit eine Stunde.

Infolge der Redundanz der Nachricht im Sprechkanal genügt es dort unter Umständen Kurzzeitmittelwerte zu betrachten ($L_{xK} = 0$) und die sich aus Figur 5 ergebende Verbesserung des Rauschabstandes in Rechnung zu stellen.

Anders ist es dagegen bei Übertragung von Wechselstromtelegraphie oder Daten. Hier führen Kurzzeitunterbrechungen von wenigen Millisekunden zu Zeichenverstümmelungen oder Ausfall und damit zu sinnentstellenden Fehlern. Bei derartigen Übertragungen können also die Kurzzeiteinflüsse nicht vernachlässigt werden. Unter diesen Umständen ist beispielweise vierfache Kombination am Platze, die für 99 % der betrachteten Kurzzeit den Einfluss des Kurzzeitfadings aufhebt.

7. Der Antennenkopplungsverlust

Die Grösse L_K in Gleichung (5) bringt zum Ausdruck, dass bei troposphärischer Scatterübertragung dem resultierenden Gewinn von Sende- und Empfangsantenne nicht der volle Wert beigemessen werden kann, wie er für Strecken mit optischer Sicht gültig ist. Die Differenz zwischen dem Sichtstreckenwert und dem effektiven Gewinn im Fall von Scatterausbreitung ist der Antennenkopplungsverlust (aperture-to-medium coupling loss).

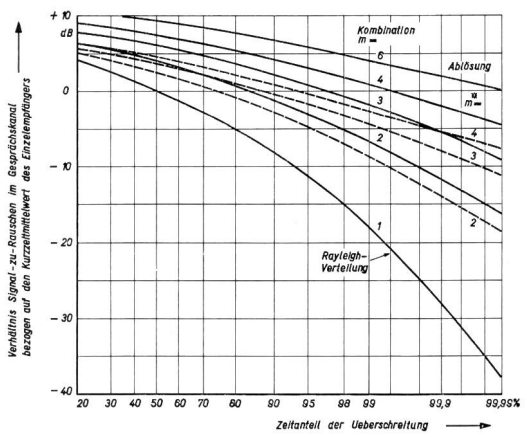

Fig. 5
Zeitliche Verteilung von Kurzzeitfading mit und ohne Mehrfachempfang

Bei Sichtstrecken steigt der Antennengewinn in dem Mass, in dem die Bündelungsschärfe der Antenne zunimmt. Bei troposphärischer Scatterausbreitung fällt keine ebene Wellenfront in die Antenne ein. Die Korrelation der auf die Antennenfläche auftreffenden Empfangsstrahlen nimmt mit steigender, in Wellenlängen gemessener Flächengrösse ab und ist ausserdem über das Scattervolumen von der Sendeantenne abhängig.

Der Versuch verschiedener Autoren [11], den Antennenkopplungsverlust in Abhängigkeit vom Verhältnis Scatterwinkel zu 3-dB-Winkel zu berechnen, ergab infolge unterschiedlicher Annahmen recht verschiedene, teils gegenläufige Funktionen [12, 13].

Nach französischen Messungen ist die Grösse des Antennenkopplungsverlustes im Bereich von 150...500 km Entfernung lediglich vom Gewinn der Antenne abhängig. Eine entsprechende Kurve $L_K = f\ (2\ G)$ wurde von der CCIR-Vollversammlung 1966 in Oslo in den Bericht F. 1. c (IX) aufgenommen. Einige Autoren vermuten noch immer eine Abhängigkeit von der Entfernung [14; 15]. Das ebenfalls in Oslo angenommene Studienprogramm 260 B (IX) soll den Sachverhalt klären helfen. Im Sichtstreckenfall muss L_K gegen null gehen.

8. Die Systemspanne der Troposcatteranlage

Nach Bestimmung der für Gleichung (5) erforderlichen Grössen liegt das gesamte Übertragungsdämpfungsmass fest, das in x % des ungünstigsten Monats nicht überschritten wird. Danach kann in üblicher Weise der zugehörige Rauschabstand im Gesprächskanal berechnet werden. Um möglist grosse Entfernungen überbrücken zu können, werden im Normalfall Antennen mit Durchmessern von 10 bis 20 Metern, in Ausnahmefällen auch mit grösseren Durchmessern sowie Sendeleistungen von 1 bis 10 kW verwendet.

Besonderes Augenmerk ist der FM-Schwelle des Empfängers eines troposphärischen Scattersystems zu schenken. Die Empfangsleistung an der FM-Schwelle ist durch folgende Gleichung bestimmt:

$$P_\varepsilon = 10 \log (\varepsilon' \cdot F' \cdot kTB) \qquad \text{(dBW)}$$

oder sofern die Faktoren der Gleichung in Dezibel gegeben sind

$$P_\varepsilon = -204 + \varepsilon + F + 10 \log B \text{ (dBW)} \qquad (10)$$

Eine Verkleinerung dieses Wertes bedeutet Erhöhung der Reichweite des Systems. Das Verhältnis Träger zu Rauschen an der FM-Schwelle ist $\varepsilon = 10...12$ dB. Die Rauschzahl F des Empfängers lässt sich durch Verwendung rauscharmer Empfangsverstärker klein halten. Die Empfangsbandbreite B kann durch schmale Filter oder Frequenzgegenkopplung bis zur zulässigen Klirrgrenze eingeengt werden.

Da im Gegensatz zu Sichtstrecken bei troposphärischen Scatterverbindungen das System häufig durch die Schwellenbedingung des Empfängers bestimmt sein wird, ist es zweckmässig, durch Umformung von Gleichung (5) die Systemspanne M zu definieren [16], die die Antennen in die Betrachtung einbezieht. Die Nennspanne des Systems ist durch die Differenz von Sendeleistung TP_s und Empfangsleistung an der FM-Schwelle sowie durch die Antennengewinne bestimmt.

$$M_o = P_s - P_\varepsilon + G_S + G_E \text{ (dB)} \tag{11}$$

Die wirkliche Systemspanne berücksichtigt darüber hinaus die örtlichen Gegebenheiten eines vorliegenden Falles.

$$M = M_o - L_L - L_K + v_{xm} \text{ (dB)} \tag{12}$$

Der Wert v_{xm} trägt der Verbesserung des Rauschabstandes im Gesprächskanal für x % der Kurzzeit bei einem Diversitygrad m Rechnung. Mit der Systemspanne M nach Gleichung (12) lässt sich eine auf isotrope Strahler bezogene langzeitige Ausbreitungsdämpfung A(x) überbrücken. Der Empfänger liegt dann gerade an der FM-Schwelle.

$$A(x) = L_o + Lm^* + L_{xL} \text{ (dB)} \tag{13}$$

Die Bedingung für diese Überbrückung lautet also

$$M \geq A(x) \text{ (dB)} \tag{14}$$

9. Die wichtigsten CCIR-Empfehlungen für troposphärische Scatterstrecken

Nach Empfehlung F. 3. b (IX) (Oslo, 1966) soll der 2500 km lange hypothetische Bezugskreis für troposphärische Scatterstrecken aus 2500/L gleichlangen Abschnitten zusammengesetzt sein, wobei L in km die Länge des betrachteten Scatterfunkfeldes ist und für das Verhältnis 2500/L die nächste ganze Zahl gewählt wird.

Empfehlung 397-Ersatz (Oslo 1966) unterscheidet gütemässig zwei Klassen von Troposcattersystemen. Bei solchen Systemen, die auch durch Richtstrahlstrecken mit optischer Sicht, Erdkabel usw. ersetzt werden könnten, sollen die für diese Systeme empfohlenen Rauschleistungen eingehalten werden. Sofern die Verwendung derartiger Systeme und die Einhaltung dieser Rauschleistungen auf äusserste Schwierigkeiten stösst, gelten herabgesetzte, provisorische Bedingungen. Die mittlere bewertete einminütige Rauschleistung von 7500 pW, die in 20 % eines beliebigen Monats nicht überschritten werden soll, erhöht sich auf 20 000 pW. Der Wert 47 500 pW in nicht mehr als 0,1 % eines beliebigen Monats erhöht sich auf 63 000 pW und 0,5 %. Für den Zeitanteil der Zulässigkeit von 1 000 000 pW (Integrationszeit 5 ms) werden in beiden Fällen 0,05% des ungünstigsten Monats zugelassen. Dieser Wert ist für die Übertragung sowohl von Wählzeichen, als auch von Tonfrequenz-Telegraphie ausreichend. Zum Unterschied von Richtstrahlstrecken mit optischer Sicht, für die zur Zeit noch die kilometrisch lineare Aufteilung der Rauschleistung längs des Bezugskreises gilt, soll die Rauschleistung am Ende des hypothetischen Bezugskreises für Troposcatterlinien durch statistische Kombination der Rauschleistung eines jeden seiner Funkabschnitte berechnet werden.

Die CCIR-Empfehlungen beziehen sich auf Mittelwerte der Rauschleistung, die bisherigen Betrachtungen jedoch auf zeitliche Mittelwerte (Medianwerte). Bei log-normalen zeitlichen Verteilungen mit der Streuung σ beträgt dieser Unterschied 0,115 σ^2.

10. Abschätzung des streckenbedingten Nebensprechens

Da die Streustrahlübertragung innerhalb der Strahlenkegel der Antennen auf zahlreichen unterschiedlich langen Wegen erfolgt, können erhebliche Laufzeitunterschiede auftreten, die – analog zum Nebensprechen durch Kabelreflexionen – streckenabhängiges Intermodulationsrauschen hervorrufen. Seine Vorrausberechnung wurde verschiedentlich [19] versucht, da es unter Umständen merklich grösser als das thermische Grundrauschen des Empfängers werden kann und die übertragbare Bandbreite einschränkt. Als einfachstes Verfahren, die Grösse der Intermodulation durch Mehrwegeausbreitung abzuschätzen, hat sich die Betrachtung der maximalen Laufzeitdifferenz innerhalb der 3-dB-Breite α der Strahlenkegel und ihr Vergleich mit der eines bekannten Funkfeldes bewährt. Für diese maximale Laufzeitdifferenz gilt aus der Geometrie des Funkfeldes folgende Näherungsgleichung:

$$\Delta\tau_{max} \approx \frac{d}{2c} \cdot \alpha\,(\Theta + \alpha) \cdot 10^{-6} \text{ (s)} \tag{15}$$

Unter der Annahme, dass sich die maximalen wie die mittleren Laufzeitdifferenzen verhalten, gilt für das Verhältnis der ausbreitungsbedingten Nebensprechleistungen:

$$\frac{P_{n1}}{P_{n2}} = \left(\frac{f_{n1}}{f_{n2}}\right)^2 \cdot \left(\frac{\Delta f_{s1}}{\Delta f_{s2}}\right)^2 \cdot \left(\frac{\Delta\tau_1}{\Delta\tau_2}\right)^4 \tag{16}$$

In diesen Gleichungen bedeutet:

- d = Abstand der Stationen voneinander (km),
- c = $3 \cdot 10^5$ km/s, Lichtgeschwindigkeit,
- α = 3-dB-Winkel der Antennencharakteristik (mrad),
- Θ = Scatterwinkel (mrad),
- f_n = höchste Modulationsfrequenz,
- Δf_s = Summenhub gemäss äquivalentem Volumen nach *Holbrook-Dixon*,
- $\Delta\tau$ = mittlere Laufzeitdifferenz im Scattervolumen.

Berechnungen nach Gleichung (16) ergaben gute Übereinstimmung mit aus der Literatur bekannten Messwerten sowie mit russischen Beiträgen [20] für die CCIR-Vollversammlung in Oslo, 1966.

11. Ein Überhorizont-Richtfunksystem für 4×120 Gesprächskanäle

Figur 6 zeigt die schematische Darstellung eines ausgeführten Überhorizont-Richtfunksystems für 4×120 Gesprächskanäle mit Doppelempfang und folgenden technischen Daten:

Systembezeichnung	FM 120/2200-1 kW/RD
Zahl der Gesprächskanäle	maximal 4×120, dazu bei Bedarf maximal 4 Dienstkanäle in Gesprächslage
Basisfrequenzband	6...600 kHz
Frequenzbereich	2060...2300 MHz
Modulationsart	FM
Zwischenfrequenz	70 MHz (Durchschalteebene)
Kanalhub (Effektivwert)	100 kHz
Bandbreite	3,5 MHz
Sendeleistung	1 kW
Empfängerrauschzahl	9 dB
FM-Schwelle des Empfängers	–90 dBm
ZF-Regelumfang	100 dB
Systemwert S_n für n = 120 Kanäle	182 dB
Mehrfachempfang	Raum-Doppelempfang mit Basisfrequenz-Kombination
Antennen	je Endstelle zwei Parabolreflektoren von 10 m ⌀
Erreger	kreuzpolarisierte runde Hornstrahler
Antennenleitungen	Hohlleiter R22 (Nennmass 109×54 mm)
Leistungsröhre	Klystron 3 K 2500 SG

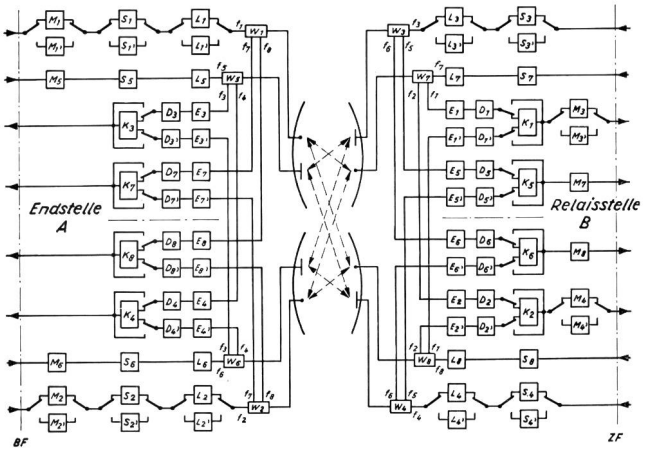

Fig. 6
Schematische Darstellung eines Überhorizont-Richtfunksystems für 4×120 Gesprächskanäle mit teilweiser Gerätereserve
D = Demodulator
E = Empfänger
K = Kombinator
L = Leistungssender
M = Modulator
S = Steuersender
W = Antennenweiche

Der Teilaufbau [17] des Systems erfolgte für die Deutsche Bundespost im Jahre 1958, die Erweiterung im Jahre 1961. Die überbrückte Entfernung beträgt nahezu 200 km.

Die Betriebsergebnisse entsprachen voll den Erwartungen und bewiesen die Eignung des Systems sowohl für Telephonwählbetrieb als auch für die Übertragung von Telegraphiekanälen mit normalen WT-Systemen und ebenso für die Beschaltung mit trägerfrequenten Rundfunkkanälen [18].

Von den vier auf die zwei Antennen je Station geschalteten Linien sind senderseitig zwei mit Gerätereserve versehen. Diese Anordnung wurde aus Gründen der Frequenzökonomie gewählt. Bei vollautomatischer Umschaltung arbeiten die Leistungssender in Reservestellung auf eine Ersatzantenne (Leistungsabsorber). Bei Ausfall eines der zwei Empfangszweige je Linie wird der Kombinator für den betriebsbereiten Zweig überbrückt, bis der defekte Einschub ausgetauscht ist. Der jeweilige Schaltzustand der Gesamtanlage wird auf einem Leuchtschaltbild sichtbar gemacht. Bei Beschränkung auf 3×120 Gesprächskanäle kann unter Fortfall des Geräteersatzes die vierte Linie als Schutzkanal aufgebaut werden. Das System lässt sich durch entsprechende Erweiterung mittels parametrischer Verstärker, Frequenzgegenkopplung, Vierfachempfang, erhöhter Sendeleistung unter Verwendung grösserer Antennen auch für grössere Entfernungen verwenden.

Dieses Schmalbandsystem wurde 1967 durch Breitbandsysteme für die Übertragung von Farbfernsehen und von Gesprächskanälen über Parabolantennen von 18 m Durchmesser ergänzt.

Adresse des Autors: Günther Rappallier, c/o AEG-Telefunken AG D-7150 Backnang

Literaturübersicht

[1] *K. Bullington.* Radio Propagation Fundamentals. The Bell System Technical Journal, 36 (1957), No. 3.

[2] *St. C. Fritsch.* Improved Methods for Path Loss Calculations for Tropospheric Beyond-Horizon Transmission. The Western Electric Eng., III (1959), No. 2.

[3] *H. Carl.* Ergebnisse und Bewertung von Messungen der troposphärischen Horizontausbreitung auf mehreren verschiedenartigen Strecken in Mittel- und Südosteuropa. Nachrichtentechnische Zeitschrift (NTZ) 13 (1960), Heft 12.

[4] *C. A. Parry.* A Formalized Procedure for the Prediction and Analysis of Multichannel Tropospheric Scatter Circuits. 1959 IRE National Convention Record, Part. 8.

[5] *L. P. Yeh.* Simple Methods for Designing Troposcatter Circuits. IRE Transactions on Communications Systems, Sept. 1960.

[6] *H. G. Booker* and *W. E. Gordon.* A Theory of Radio Scattering in the Troposphere. Proceedings of the Institute of Radio Engineers (IRE), April 1950.

[7] *H. Staras.* Tropospheric Scatter Propagation – a Summery of recent Progress. RCA Review, March 1958.

[8] *F. Villars* and *V. F. Weisskopf.* On the Scattering of Radio Waves by Turbulent Fluctuations of the Atmosphere. Proceedings of the IRE, Scatter Propagation Issue, Oct, 1955.

[9] *K. A. Norton, P. L. Rice* and *L. E. Vogler.* The Use of Angular Distance in Estimating Transmission Loss and Fading Range for Propagation through a Turbulent Atmosphere over Irregular Terrain. Proc. Inst. Radio Engrs., 43 (1955), S. 1488.

[10] *R. W. Cannon, D. Wilkinson* and *G. C. Rider.* Operational Experience with a Tropospheric-Scatter Radio-Relay Link. Proc. IEE, 113 (1966), No. 9, S. 1490/1494.

[11] *W. J. Hartmann* and *R. E. Wilkerson.* Path Antenna Gain in an Exponential Atmosphere. B. Studs, I. Research NBS, Vol. D November 1959, S. 273/286.

[12] *L. P. Yeh.* Experimental Aperture Medium Coupling Loss. Proceedings of the IRE, Febr. 1962, S. 205.

[13] *D. C. Hogg.* The Aperture-to-Medium Coupling Loss in Beyond-Horizon Propagation. Proceedings of the IRE, Juni 1962, S. 1529.

[14] *L. P. Yeh.* Experimental Aperture-to-Medium Coupling Loss. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-14 (1966), No. 5, S. 665/666.

[15] *Ed Dyke.* Boithias' and Other Papers on Antenna Coupling Loss. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-14 (1966), No. 5, S. 665...666.

[16] *F. Du Castel.* Propagation tropospherique et faisceaux hertziens transhorizon. Editions Chiron, Paris, 1961.

[17] *K. Hoffmann.* Überreichweiten-Richtfunk. Elektrotechnische Zeitschrift B, (ETZ) 12 (1960), Heft 13.

[18] *E. Dietrich.* Ergebnisse und Erfahrungen an einer Überhorizontverbindung im Weitverkehrsnetz der Deutschen Bundespost. NTZ, 13 (1960), Heft 12.

[19] Bericht zur Frage 298 (IX), CCIR-Dokument IX/1029, (Oslo, 1966).

[20] Beitrag der UdSSR zur Frage 260 (IX), CCIR-Dokument IX/94 der Periode 1963...1966.

Hinweis auf eingegangene Bücher

Röhren. Tabellenbuch, herausgegeben von *F. Fritz.* Böblingen, SEL Standard Elektrik Lorenz AG, Codex-Verlag, 1967. Ca. 180 S., zahlr. Abb.

Das neueste Röhrenbuch wurde vor allem durch die Aufnahme der für Farbfernsehempfänger bestimmten Röhrentypen erweitert. Es enthält die technischen Daten und Sockelschaltungen der gebräuchlichen, bis Ende 1966 auf den Markt gekommenen Empfänger- und Bildröhren sowie Spezialröhren, einschliesslich Kleinsenderöhren. Ausserdem sind die wichtigsten amerikanischen Typen enthalten, darunter die Compactrons. Eine Vergleichsliste ermöglicht die Feststellung einer allenfalls vorhandenen äquivalenten deutschen Röhre. Dieses Röhrenhandbuch stellt für Benutzer in Werkstatt und Labor eine wertvolle Hilfe dar, zumal es auch die älteren Röhrentypen berücksichtigt.

Telefunken. **Laborbuch Band 4** für Entwicklung, Werkstatt und Service. München, Franzis-Verlag, 1967. 356 S., 410 Abb., Preis Fr. 11.65.

Dieses Taschenbuch ist aus der Zusammenfassung der überarbeiteten Anhänge der Röhrentaschenbücher 1964...1966 entstanden. Es will Anregungen für die Lösung spezieller Schaltaufgaben vermitteln und Auskunft über Fragen aus der Hochfrequenz- und Nachrichtentechnik, Elektronik und Elektroakustik geben. Das Werk beginnt mit praktischen Übersichten, wie Genauigkeitskennzeichnung von Zahlen, Gausssche Methode zum Lösen linearer Gleichungssysteme, Besselfunktionen usw. Zwei Schwerpunkte bilden die Stereophonie und das Farbfernsehen, das etwa einen Viertel des Bandes einnimmt. Der Rest ist beansprucht von Schaltungs- und Anordnungsbeispielen, praktischen Erfahrungen, Tabellen, Erläuterungen, Daten, kleinen Lehrstücken. Alles ist leicht verständlich exakt und für die Praxis geschrieben. Labor-Band 4 ist vor allem für den täglichen Gebrauch in Labors und Werkstätten sowie als Unterrichtshilfe gedacht. *R.*

Ziffern- und Symbolanzeigeröhren. Datenbuch. Nürnberg, Standard Elektrik Lorenz AG, 1967. 24 S., versch. Abb.

Dieses Datenbuch gibt eine Übersicht über die von SEL angebotenen Ziffern- und Symbolanzeigeröhren, die heute bei Datenverarbeitungsanlagen, Maschinensteuerungen, Waagen, digitalen Zähl- und Messgeräten, Personensuchanlagen, Waren- und Spielautomaten usw. in zunehmendem Masse Anwendung finden. Nach einleitenden Erläuterungen zu den Begriffen und technischen Angaben sind für alle Röhrentypen die charakteristischen Daten zusammengestellt und die Sockelschaltungen angegeben. Einige Schaltungen für Anzeigeröhren schliessen als Anwendungsbeispiele die Broschüre ab.