

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:	62 (1984)
Heft:	1
Artikel:	One year results of sweep measurements of a radio link = Sweep-Messungen eines Richtfunkkanals : Resultate eines Jahres
Autor:	Liniger, Markus
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-875769

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: 12.01.2026

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

One Year Results of Sweep Measurements of a Radio Link

Sweep-Messungen eines Richtfunkkanals – Resultate eines Jahres

Markus LINIGER, Bern

Zusammenfassung. Während eines Jahres wurden Sweep-Messungen im 11-GHz-Band über eine Breite von 40 MHz auf einer 111 km langen Strecke durchgeführt. Empfang wurde ohne und mit Raumdoppelempfang (in-phase combiner). Die Resultate werden in der Form von Wahrscheinlichkeiten für die Koeffizienten der Approximationspolynome dargestellt, wobei die Amplitude des gleich- und des kreuzpolarisierten Empfangssignals in Dezibel betrachtet wird. Die Beschreibung der Wellenausbreitungseffekte, verknüpft mit jener der Übertragungsgeräte (Signatur), erlaubt es, die Wahrscheinlichkeit einer ausbreitungsbedingten Störung zu schätzen.

Mesures de balayage sur un canal d'une liaison hertzienne – résultats d'une année

Résumé. Des mesures portant sur un balayage de 40 MHz ont été effectuées pendant une année sur une liaison hertzienne de 111 km dans la bande de 11 GHz. La réception était assurée avec ou sans diversité d'espace (combineur de mise en phase). Les résultats sont présentés sous forme de probabilités pour les coefficients des polynomes d'approximation, l'amplitude du signal reçu en polarisation parallèle et croisée étant exprimée en dB. La description des effets de la propagation des ondes, liée à celle des équipements de transmission (signature), permet d'évaluer la probabilité d'une perturbation due à la propagation.

Risultati di un anno di misurazioni sweep su un canale ponte radio

Riassunto. Misurazioni sweep, con e senza ricezione a diversità di spazio (in-phase combiner), sono state effettuate durante il periodo di un anno su una banda larga 40 MHz di un ponte radio 11 GHz lungo 111 km. I risultati, dati per il canale a polarizzazione parallela e per quello a polarizzazione incrociata, vengono rappresentati in funzione della densità probabile d'approssimazione polinomiale dell'attenuazione in decibel. La descrizione della propagazione delle onde viene quindi messa in relazione con le prestazioni (signature) di equipaggiamenti numerici su ponte radio. Ciò permette di valutare la probabilità di disturbo nei canali.

1 Introduction

The transition of terrestrial radio links from analogue FM-FDM to digital transmission has revealed the greater sensitivity of the new systems to selective multipath fading. Therefore, for the past three years the Research and Development Division of the Swiss PTT has conducted sweep measurements over a 40 MHz wide RF-channel over several hops of its existing radio-link network. The measurement system, the method of analysis, and first results have been given in [1]. This paper deals with results which were recorded during one year on a 111 km hop at 11 GHz. The propagation characteristics combined with the properties of the radio-link equipment permit to estimate the quality and availability of the link.

2 Description of Experiment

The experiment was conducted on a hop of 111 km length and at 11.285 GHz. The transmitting antenna was a vertical polarized circular parabolic dish of 4.3 m diameter. Two offset-parabolic antennas (Type CM4671, *Thomson CSF*) with a diameter of 4 m were used for reception. Their vertical separation was 11.8 m. This allowed to study the influence of space-diversity reception. The two received signals were added with an electronic RF-combiner [2]. During the measurements the diversity path was switched in and out at hourly intervals. In addition, provisions were made to receive also the cross-polarized signal, in order to study it and its influence at frequency separations between 0 and 40 MHz.

The measurement system consists of the RF-part of an FM receiver and transmitter and a link analyzer RM-4 (*Wandel + Goltermann*).

The three measured analogue quantities, namely sweep voltage (corresponding to frequency), amplitude, and group delay are digitized and preprocessed by a com-

1 Einleitung

Die Umstellung von der analogen, frequenzmodulierten zur digitalen Übertragung im terrestrischen Richtfunk deckte die grössere Empfindlichkeit des neuen Systems in bezug auf selektive Schwunderscheinungen auf. Die Abteilung Forschung und Entwicklung der Schweizerischen PTT-Betriebe führt deshalb seit drei Jahren Sweep-Messungen über einen 40 MHz breiten RF-Kanal auf verschiedenen Teilstrecken des bestehenden Richtfunknetzes durch. Die Messanordnung, die Auswertemethoden und erste Resultate wurden bereits publiziert [1]. Die vorliegende Arbeit befasst sich mit den Ergebnissen, die auf einer 111 km langen Teilstrecke im 11-GHz-Band während eines Jahres registriert wurden. Die Ausbreitungsdaten, verknüpft mit den Geräteeigenschaften, ermöglichen eine Schätzung der Qualität und der Verfügbarkeit dieser Verbindung.

2 Beschreibung des Experiments

Das Experiment wurde auf einer 111 km langen Strecke mit einer Frequenz von 11,285 GHz durchgeführt. Zum Senden stand eine vertikal polarisierte Kreisparabolantenne mit einem Durchmesser von 4,3 m zur Verfügung. Zwei Offset-Parabolantennen (CM 4671 von *Thomson CSF*, Durchmesser 4 m) empfingen das Signal. Ihr vertikaler Abstand betrug 11,8 m. Damit war es möglich, den Einfluss des Raumdiversityempfangs zu studieren. Ein elektronischer Kombinator [2] summierte die Signale beider Antennen. Während der Messung wurde der Hilfspfad in stündlichen Intervallen ein- und ausgeschaltet. Das zusätzlich gemessene Signal der kreuzpolarisierten Antenne erlaubt neben anderem Untersuchungen zum Problem der Kreuzpolarisationsdämpfung von Signalen im Abstand von 0...40 MHz. Die Messeinrichtung setzt sich aus dem Radioteil einer handelsüblichen Richtfunkanlage und einem modifizierten Richtfunkmessplatz RM-4 (*Wandel und Goltermann*) zusammen.

ter (HP 2100). Two types of statistics are collected, long-term and short-term. Values for the longterm statistics are taken every 15 s and stored on magnetic tape. They consist of the results of an entire swept measurement as well as extreme and average values for the previous 15-second interval. If the variations of the measured values exceed given limits or if the amplitude falls below a given value, then the raw data are stored in addition to the longterm values. By means of this strategy a magnetic tape suffices for a recording period between 10 hours to 25 days depending on the fading activity.

3 Modelling of the Propagation Characteristics

The characteristics of the propagation path are described by the following quantities, taken during periods of heavy fading:

- Amplitude frequency response $A(f)$
- Group delay $D(f)$
- Amplitude of the cross-polarized signal $X(f)$

The measurements were conducted with or without space-diversity reception. The amplitude and the group delay or alternatively the cross-polarized signal are examined in pairs for their correlation.

31 Amplitude frequency response $A(f)$

A total of 1.2 million sweeps without and 0.9 million with space diversity reception, taken during periods of heavy fading, were available for analysis. A polynomial of second degree namely, $A(f) = a_0 + a_1 f + a_2 f^2$, is fitted to the measured received levels in dB. The results are triple of coefficients (a_0, a_1, a_2). The probability densities $p(a_1, a_2 | \text{all } a_0)$ are shown graphically in Figures 1 and 2. Without diversity-protection (Fig. 1) large positive and negative linear distortions combined with negative parabolic distortions occur (① and ②), if a notch is situated above or below the measuring channel. If a notch falls within the channel, it produces positive parabolic distortion with only weak additional linear distortion ③. Space-diversity reception significantly reduces these distortions (Fig. 2). Level statistics that would be measured with a single

Die drei gemessenen analogen Größen, nämlich

- Sweep-Spannung (Frequenzinformation)
- Amplitude und
- Gruppenlaufzeit

werden durch den Prozessor HP 2100 digitalisiert und vorverarbeitet. Dabei entstehen eine Global- und eine Momentanwertdatei. Die Globaldatei enthält je 15 s eine Sweep-Messung und gibt stichprobenartig Auskunft über das gesamte Messintervall. Übersteigt die Variation der gemessenen Größen eine vorgegebene Schwelle oder sinkt das Empfangssignal unter einen bestimmten Wert, so werden zusätzlich die Rohdaten gespeichert. Mit Hilfe dieser Strategie genügt ein Magnetband je nach Schwundaktivität für ein Messintervall von 10 Stunden bis 25 Tagen.

3 Beschreibung der Ausbreitung

Die gemessenen Eigenschaften der Wellenausbreitung sind durch folgende Größen beschrieben:

- Amplitudenfrequenzgang $A(f)$
- Gruppenlaufzeit $D(f)$
- Amplitude des Crosspolarsignales $X(f)$

Die Messungen wurden über ein Frequenzband von 40 MHz mit und ohne Raumdiversityempfang durchgeführt. Die Amplitude und die Gruppenlaufzeit bzw. das kreuzpolarisierte Empfangssignal werden einzeln analysiert und paarweise auf ihre Korrelation untersucht.

31 Amplitudenfrequenzgang $A(f)$

Der Auswertung standen 1,2 bzw. 0,9 Millionen Sweeps (ohne bzw. mit Raumdiversityempfang) zur Verfügung, die während starker Schwundtätigkeit gesammelt wurden. Die Approximation des Pegels in Dezibels durch ein Polynom zweiten Grades $A(f) = a_0 + a_1 f + a_2 f^2$ liefert die Koeffiziententripel (a_0, a_1, a_2), deren Häufigkeit grafisch durch die Figuren 1 und 2 illustriert sind. Ohne Diversitätsschutz (Fig. 1) treten starke negative oder positive lineare Verzerrungen in Verbindung mit negativen paraboli-

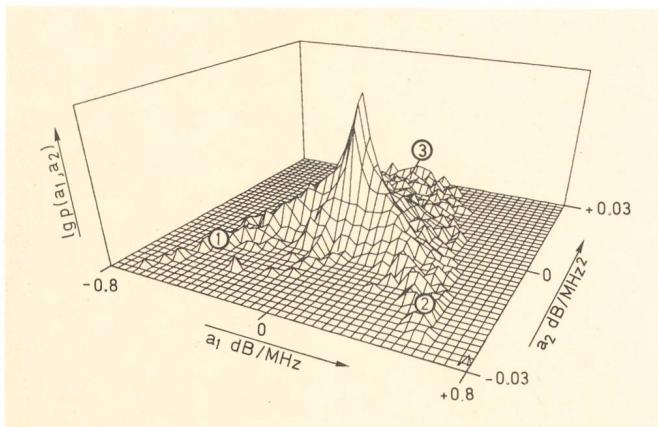


Fig. 1

Density function of the coefficients of the fit-polynomial – Dichtefunktion der Koeffizienten des Approximationspolynoms
Attenuation – Dämpfung (f) = $a_0 + a_1 \cdot f + a_2 \cdot f^2$ (1193785 Sweeps)
5 dB > $a_0 \geq -45$ dB
March 1981 to February 1982 – März 1981 bis Februar 1982
Without space diversity – Ohne Raumdiversityempfang

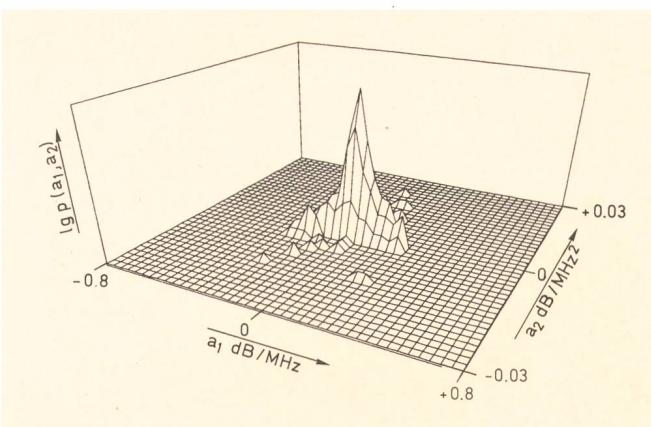


Fig. 2

Density function of the coefficients of the fit-polynomial – Dichtefunktion der Koeffizienten des Approximationspolynoms
Attenuation – Dämpfung (f) = $a_0 + a_1 \cdot f + a_2 \cdot f^2$ (839610 Sweeps)
5 dB > $a_0 \geq -45$ dB
May 1981 to February 1982 – Mai 1981 bis Februar 1982
With space diversity – Mit Raumdiversityempfang

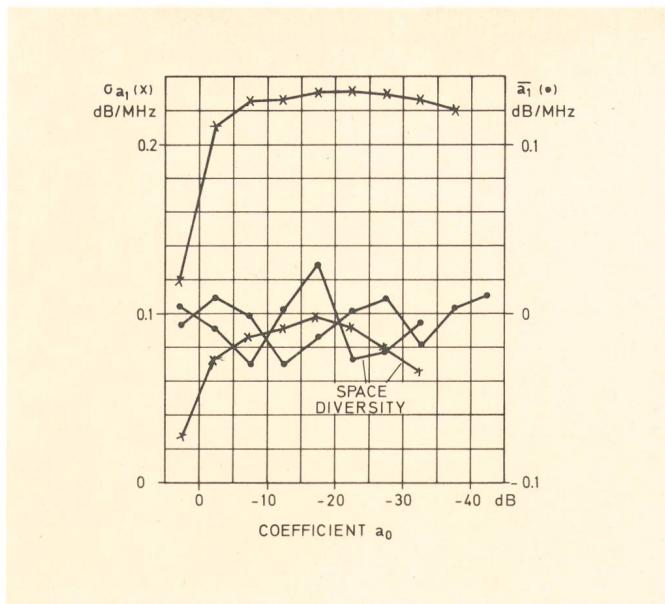


Fig. 3
Attenuation in dB — Dämpfung in dB
 Coefficient a_1 (linear term) — Koeffizient a_1 (linearer Term)
 Space diversity — Raumdiversityempfang
 Coefficient a_0 — Koeffizient a_0

carrier can be obtained from the new measurements via the probability density $p(a_0 | \text{all } a_1, a_2)$. From this the cumulative distribution function $P(a_0 \leq L)$, with L a threshold level, can be derived for the worst month, as shown in Figures 19 and 20 for the cases without and with space-diversity protection. The ratio of the two distribution functions gives the improvement factor obtained with space diversity reception and an electronic inphase combiner.

The analyses of the densities $p(a_0, a_1, a_2)$ yields further results, if the logarithm of the marginal density functions

$$p(a_1 | a_0 = \text{const, all } a_2), \quad p(a_2 | a_0 = \text{const, all } a_1) \quad (1)$$

are both approximated with Gaussian distributions. The resulting mean values \bar{a}_1 and \bar{a}_2 and the corresponding standard deviations σ_{a_1} and σ_{a_2} are plotted as functions of the coefficient a_0 of the fit polynomial (Fig. 3 and 4).

Without diversity reception the mean value \bar{a}_1 varies between -0.03 and $+0.01$ dB/MHz. For $a_0 \leq -5$ dB the standard deviation σ_{a_1} remains practically constant at a value of 0.23 dB/MHz. Or stated differently, positive and negative linear distortions are to a first approximation equally likely and independent of the fade depth (at $f=0$).

The mean value \bar{a}_2 of the parabolic distortions varies for small fade depths around zero and increases for $a_0 \leq -25$ dB towards positive values (Fig. 4). The reason for this behaviour is distortion caused by fading with a notch falling within the measuring bandwidth.

The application of the space-diversity system reduces the extent of the distortions approximately by a factor of 3.

32 Group delay $D(f)$

The evaluation of the group delay measurement is restricted in this part of the paper to its frequency re-

schen Verzerrungen auf (1) und (2), wenn sich ein Minimum (Notch) ober- bzw. unterhalb des Messkanals findet. Ein Minimum innerhalb des Kanals erzeugt positive parabolische Verzerrungen mit schwachen zusätzlichen linearen Anteilen (3).

Der Raumdiversityempfang reduziert diese Verzerrungen beträchtlich (Fig. 2).

Die Häufigkeit $p(a_0 | \text{alle } a_1, a_2)$ entspricht der bisher üblichen Angabe der Pegelstatistik, gemessen mit einem einzelnen Träger. Daraus folgt die Unterschreitungs-wahrscheinlichkeit $P(a_0 \leq L)$, die für die Fälle ohne und mit Diversityschutz in den Figures 19 und 20 dargestellt ist. Der Quotient der beiden Kurven 1 und 2 ergibt den Verbesserungsfaktor, erzielt durch den Raumdiversityempfang und den elektronischen Signalkombinator.

Die Auswertung der Häufigkeit $p(a_0, a_1, a_2)$ liefert weitere Aussagen, wenn die logarithmierten Randhäufigkeiten

$$p(a_1 | a_0 = \text{const. alle } a_2) \text{ bzw. } p(a_2 | a_0 = \text{const. alle } a_1) \quad (1)$$

durch Gaussverteilungen approximiert werden. Die daraus berechneten Mittelwerte \bar{a}_1 bzw. \bar{a}_2 und die zugehörigen Standardabweichungen σ_{a_1} bzw. σ_{a_2} sind in den Figures 3 und 4 in Funktion des konstanten Gliedes a_0 des Fitpolynoms aufgetragen.

Ohne Diversityempfang variiert der Mittelwert \bar{a}_1 zwischen -0.03 und $+0.01$ dB/MHz, die Standardabweichung σ_{a_1} bleibt für $a_0 \leq -5$ dB praktisch konstant auf einem Wert von 0.23 dB/MHz. Mit anderen Worten: Positive und negative lineare Verzerrungen treten in erster Näherung unabhängig von der Schwundtiefe (bei $f=0$) gleich ausgeprägt auf.

Der Mittelwert \bar{a}_2 der parabolischen Verzerrungen variiert um Null bei kleinen Schwundtiefen und steigt für $a_0 \leq -25$ dB gegen positive Werte an (Fig. 4). Der Grund dafür sind die Verzerrungen, die von Fadings her-rühren, deren Minimum in den Messkanal fällt.

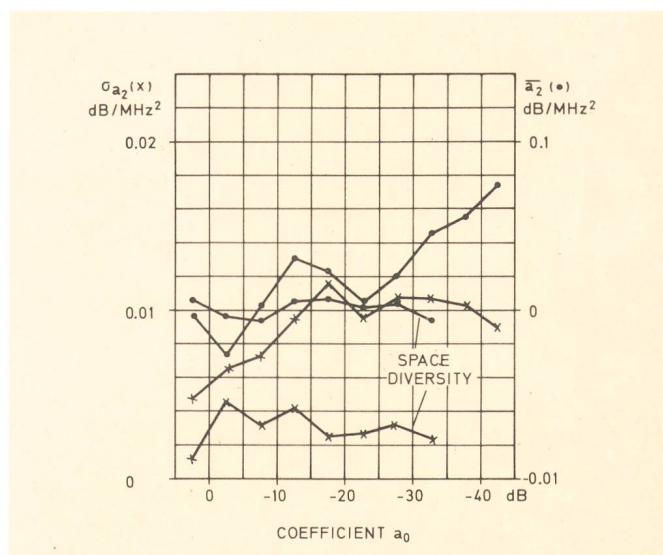


Fig. 4
Attenuation in dB — Dämpfung in dB
 Coefficient a_2 (parabolic term) — Koeffizient a_2 (parabolischer Term)
 Space diversity — Raumdiversityempfang

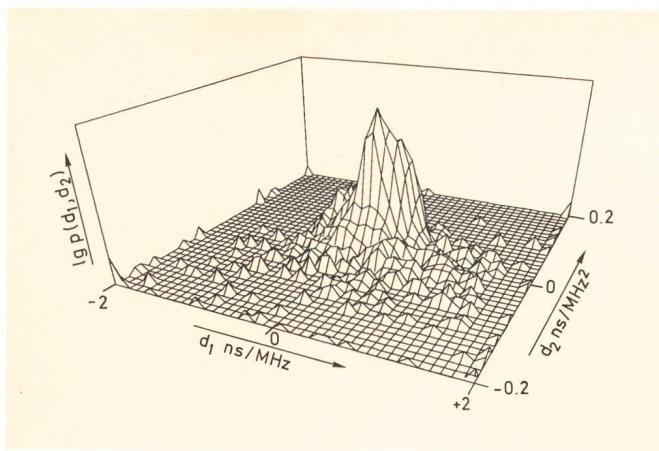


Fig. 5
Density function of the coefficients of the fit-polynomial — Dichte-funktion der Koeffizienten des Approximationspolynoms
Group delay — Gruppenlaufzeit ($f = d_0 + d_1 \cdot f + d_2 \cdot f^2$) (1101433 Sweeps)
 $-55 \text{ ns} > d_0 \geq 55 \text{ ns}$
March 1981 to February 1982 — März 1981 bis Februar 1982
Without diversity — Ohne Raumdiversityempfang

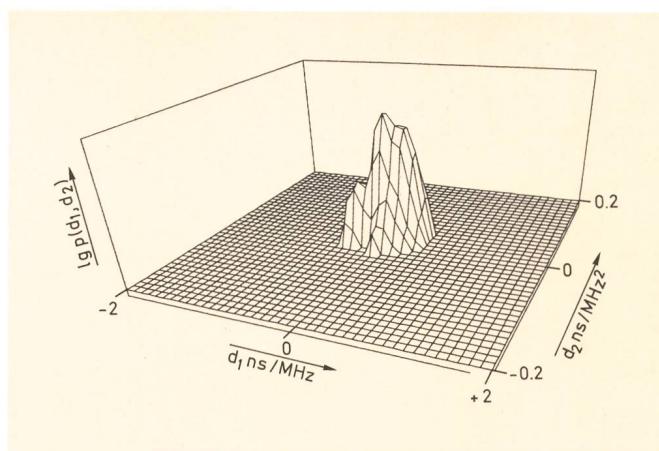


Fig. 6
Density function of the coefficients of the fit-polynomial — Dichte-funktion der Koeffizienten des Approximationspolynoms
Group delay — Gruppenlaufzeit ($f = d_0 + d_1 \cdot f + d_2 \cdot f^2$) (538661 Sweeps)
 $-55 \text{ ns} > d_0 \geq 55 \text{ ns}$
May 1981 to February 1982 — Mai 1981 bis Februar 1982
With space diversity — Mit Raumdiversityempfang

sponse alone, without taking into consideration the simultaneously measured amplitude response. It yields a first idea for the extent of the group delay distortions due to multipath propagation effects. To describe the group delay, the polynomial $D(f) = d_0 + d_1 f + d_2 f^2$ is used.

Figures 5 and 6 illustrate the density functions of the recorded distortions. The extent of the distortions is detailed in Figures 7, 8 and 9. Fig. 7 gives a plot of $p(d_0 | \text{all } d_1, \text{ all } d_2)$, whereas Fig. 8 and 9 depict the mean value and the standard deviation of the coefficients d_1 and d_2 . The behavior of the curves indicates a strong dominance of negative group-delay distortions, which means that non-minimum phase fading is infrequent. According to Figure 9 positive parabolic group-delay distortions, d_2 , are connected with negative values d_0 and vice versa. This behavior reinforces the above mentioned statement that a prevailing portion of all fading is minimum-phase fading.

Of particular interest is the correlation between non-minimum-phase fading and the fade depth a_0 . Figure 10

Der RF-Kombinator im Raumdiversityempfangssystem reduziert, wie schon erwähnt, das Ausmass der Verzerrungen um ungefähr einen Faktor 3.

32 Gruppenlaufzeit $D(f)$

Die Auswertung der Gruppenlaufzeit beschränkt sich in einem ersten Teil auf deren Verlauf ohne Berücksichtigung des gleichzeitig gemessenen Amplitudenfrequenzganges. Sie gibt einen Anhaltspunkt über das Ausmass der Gruppenlaufzeitverzerrungen infolge Mehrwegausbreitung. Dabei wird zur Beschreibung der Gruppenlaufzeit $D(f)$ das Polynom

$$D(f) = d_0 + d_1 f + d_2 f^2$$

Die Figuren 5 und 6 illustrieren die Häufigkeit der aufgetretenen Verzerrungen. Über das Ausmass derselben geben die Figuren 7, 8 und 9 ausführliche Auskunft. Die

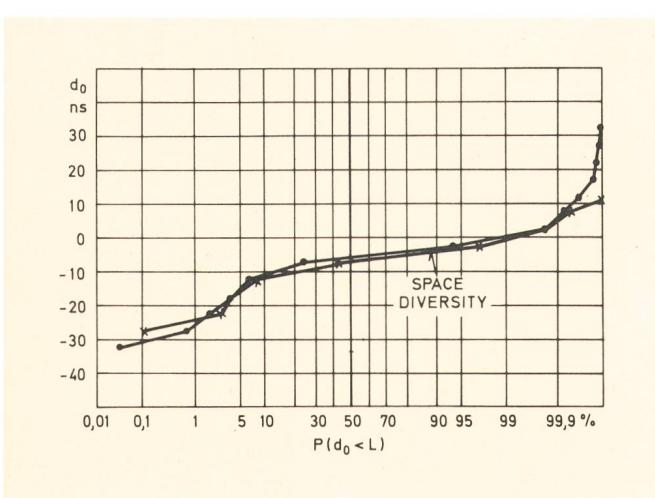


Fig. 7
Group delay — Gruppenlaufzeit
Distribution function of the coefficient d_0 of the fit-polynomial — Verteilungsfunktion des Koeffizienten d_0 des Approximationspolynoms $D(f) = d_0 + d_1 f + d_2 f^2$
Space diversity — Raumdiversityempfang

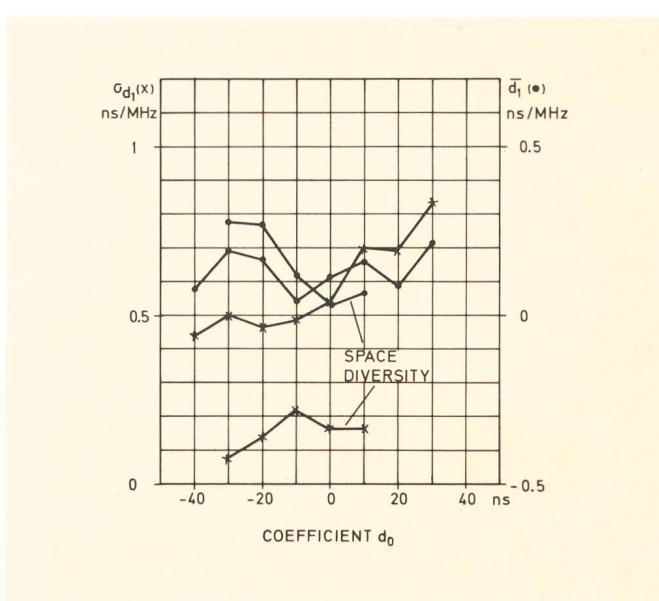


Fig. 8
Group delay — Gruppenlaufzeit
Coefficient d_1 (linear term) — Koeffizient d_1 (linearer Term)
Space diversity — Raumdiversityempfang
Coefficient d_0 — Koeffizient d_0

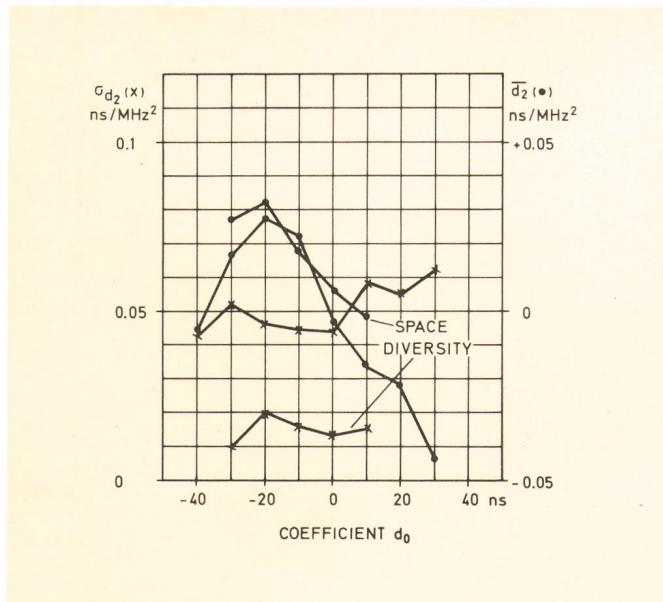


Fig. 9
Group delay — Gruppenlaufzeit
 Coefficient d_2 (parabolic term) — Koeffizient d_2 (parabolischer Term)
 Space diversity — Raumdiversityempfang
 Coefficient d_0 — Koeffizient d_0

shows the density function $p(d_0, a_0)$ which is detailed numerically in *Figure 11*. For $a_0 \geq -25$ dB minimum-phase fading occurs almost exclusively. As soon as a_0 falls below -25 dB, the probability for non-minimum-phase fading increases.

The density function can be determined as

$$p(d_0) = \int p(a_0) \cdot p(d_0 \mid a_0 = \text{const.}) da_0. \quad (2)$$

This gives an indication for the specifications of adaptive equalizers which, depending on the required quality of a radio-link connection, have to be able to equalize both classes of fadings.

33 Cross-polarized signal $X(f)$

The measurement of the cross-polarized signal yields informations about the correlation between the copolarized useful signal and the cross-polarized interfering signal. Also important is the dispersion of the latter, which can be described by modeling the cross-polarized

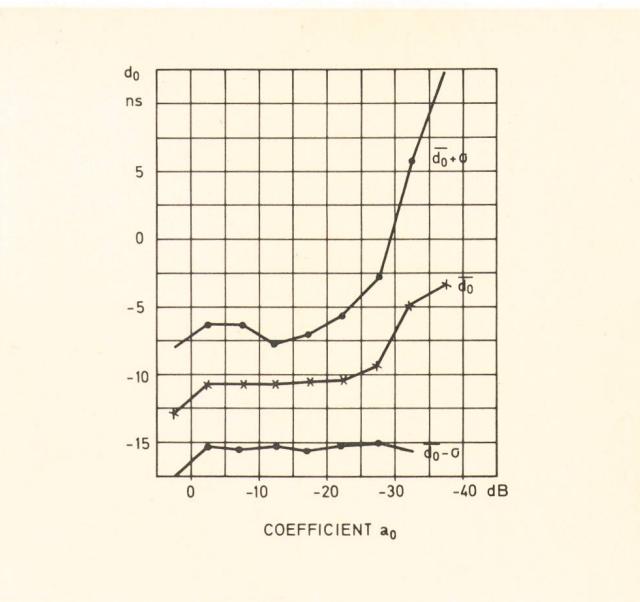


Fig. 11
Correlation group-delay vs fade depth — Korrelation von Gruppenlaufzeit und Schwundtiefe
 Coefficient a_0 — Koeffizient a_0

Verteilungsfunktion des konstanten Gliedes ist in *Figur 7*, der Mittelwert und die Standardabweichung des linearen bzw. parabolischen Anteiles sind in den *Figuren 8* bzw. *9* aufgetragen.

Der Verlauf der Kurven weist auf eine starke Dominanz von negativen Gruppenlaufzeitverzerrungen hin, was bedeutet, dass sogenannte «non minimum phase»-Fading selten auftreten. Gemäss *Figur 9* sind positive parabolische Gruppenlaufzeitverzerrungen d_2 mit negativen konstanten Termen d_0 verknüpft bzw. negative d_2 mit positiven d_0 . Dieser Sachverhalt unterstreicht, dass die viel häufigeren negativen Gruppenlaufzeitwerte von «minimum phase»-Fadings erzeugt werden.

Von besonderem Interesse ist die Korrelation zwischen der Häufigkeit von «non-minimum-phase»-Fading und der Schwundtiefe a_0 . *Figur 10* illustriert die in der *Figur 11* zahlenmässig angeführte Häufigkeit $p(d_0, a_0)$. Für $a_0 \geq -25$ dB sind fast ausschliesslich «minimum phase»-Fadings aufgetreten. Sinkt a_0 unter -25 dB, so nimmt die Häufigkeit der «non minimum phase»-Fa-

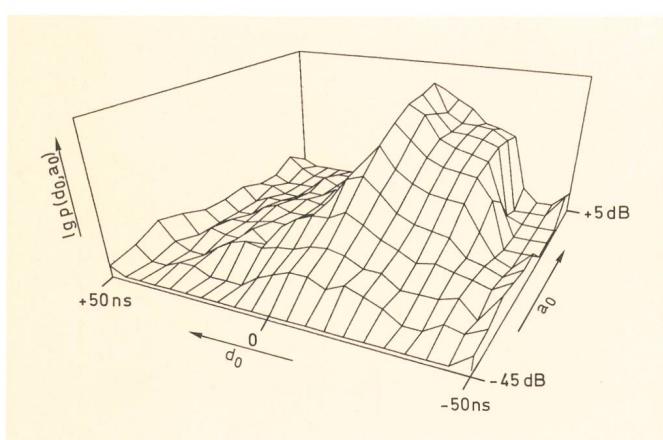


Fig. 10
Correlation-matrix of group-delay vs attenuation — Korrelationsmatrix von Gruppenlaufzeit und Schwundtiefe
 Values at $f = 0$ — Werte bei $f = 0$

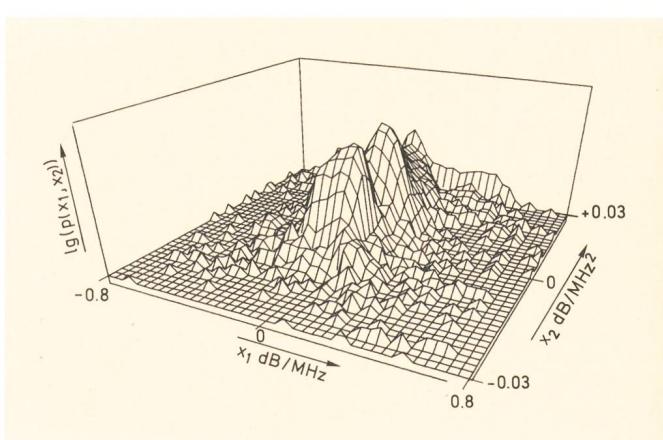


Fig. 12
Density function of the coefficients of the fit-polynomial — Dichtefunktion der Koeffizienten des Approximationspolynoms
 Cross-polar-signal — Kreuzpolarisiertes Signal
 $(f) = x_0 + x_1 \cdot f + x_2 f^2$ $-30 \text{ dBm} > x_0 \geq -75 \text{ dBm}$

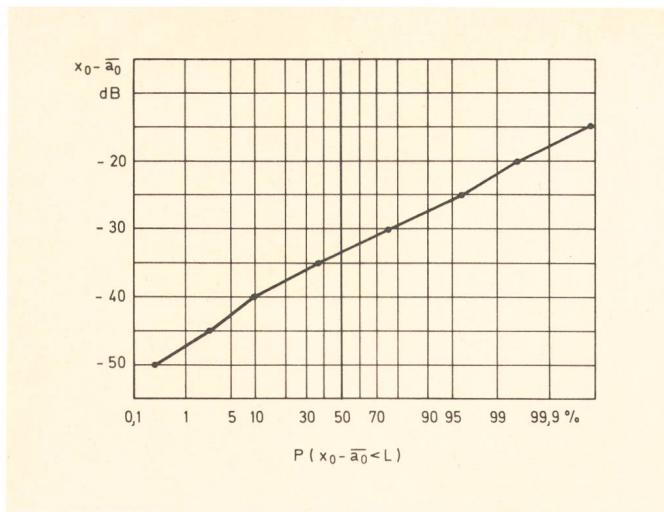


Fig. 13

Cross-polar-signal — Kreuzpolarisiertes Signal

Distribution function of $x_0 - \bar{a}_0$ — Verteilungsfunktion von $x_0 - \bar{a}_0$

signal $X(f)$ with a second-order polynomial similar to $A(f)$. The probability density of the coefficients x_1 and x_2 of the fit polynomial $X(f) = x_0 + x_1 f + x_2 f^2$, which is shown in *Figure 12*, indicates strong positive parabolic and small linear distortions. The probability density $p(x_0 - \bar{a}_0 | \text{all } x_1, \text{ all } x_2)$ exhibits a near normal distribution around the average value of -33 dB with a standard deviation of 5 dB (*Fig. 13*). \bar{a}_0 is the received level during undisturbed propagation. The cross-polarized signal $X(f)$ is not as distorted for $x_0 - \bar{a}_0 \geq -30$ dB as the copolarized one, $A(f)$, and shows only similarly large distortions as $A(f)$ for $x_0 - \bar{a}_0 \leq -35$ dB (*Fig. 14* and *15*).

The correlation between the useful signal $A(f)$ and the interfering signal $X(f)$ has to be evaluated in order to estimate the interference between a cross-polarized in-band- or adjacent-channel and the operating channel. *Figure 16* shows the probability density of the correlated occurrence of pairs of (x_0, a_0) , from which a measure of the inband signal-to-interference ratio can be derived. The cross-polarized signal decreases proportionally to

dings zu. Sie kann mit der Formel (2) bestimmt werden, welche durch geeignete Wahl der Integrationsgrenzen von a_0 die Wahrscheinlichkeit positiver Werte von d_0 innerhalb eines gegebenen a_0 -Intervall liefern. Sie gibt einen Anhaltspunkt für die notwendigen Eigenschaften eines adaptiven Entzerrers, der, je nach der Anforderung an die Qualität einer Verbindung, beide Klassen von Fadings ausgleichen muss.

$$p(d_0) = \int p(a_0) \cdot p(d_0 | a_0 = \text{const.}) da_0. \quad (2)$$

33 Kreuzpolarisiertes Signal $X(f)$

Die simultane Messung des gleich- und des kreuzpolarisierten Signals liefert Angaben über die Korrelation der beiden. Ebenso wichtig scheint auch die Beschreibung des kreuzpolarisierten Signals $X(f)$ als solches, die analog zu jener von $A(f)$ durchgeführt wird.

Die Häufigkeit der Koeffizienten x_1, x_2 des Approximationspolynoms $X(f) = x_0 + x_1 f + x_2 f^2$, die in *Figure 12* aufgezeichnet ist, weist auf starke positive parabolische und schwache lineare Anteile hin.

Die Häufigkeit $p(x_0 - \bar{a}_0 | \text{alle } x_1, x_2)$ ist mit guter Näherung normalverteilt um den Mittelwert -33 dB und der Standardabweichung von 5 dB (*Fig. 13*). \bar{a}_0 steht hier für den Mittelwert des copolaren Signales $A(f)$ während ruhiger Ausbreitung.

Das kreuzpolarisierte Signal $X(f)$ ist für $x_0 - \bar{a}_0 \geq -30$ dB bedeutend weniger verzerrt als das copolare $A(f)$ und weist erst ähnlich grosse Amplitudenvariationen wie dieses auf, wenn $x_0 - \bar{a}_0 \leq -35$ dB wird (*Fig. 14* und *15*).

Für die Schätzung des Einflusses eines kreuzpolarisierten Gleich- oder Nachbarkanals wurden weitere Resultate über die Korrelation zwischen dem Nutzsignal $A(f)$ und dem «Störsignal» $X(f)$ ausgewertet. *Figure 16* zeigt die Häufigkeit des korrelierten Auftretens des Paares (x_0, a_0) , aus welchem ein Mass für den Gleichkanalstörabstand abgeleitet werden kann. Bis zu einem Schwundwert $a_0 \approx -15$ dB sinkt — in Wechselbeziehung mit dem Nutzsignal — auch der Pegel des kreuz-

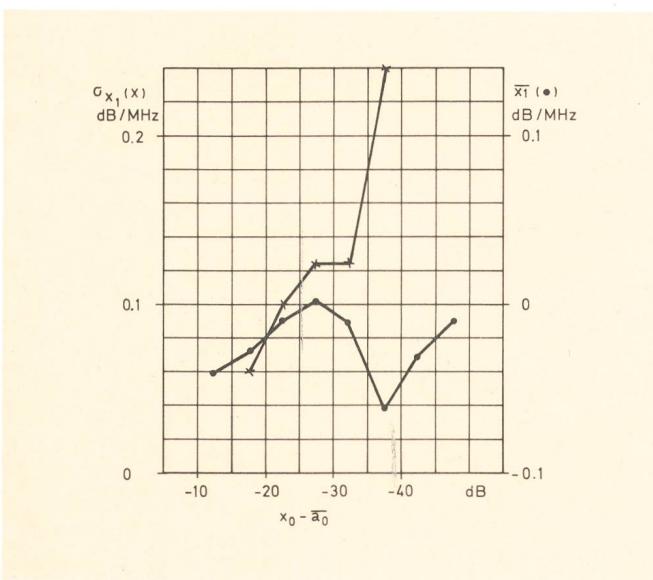


Fig. 14

Cross-polar signal — Kreuzpolarisiertes Signal

Coefficient x_1 (linear term) — Koeffizient x_1 (linearer Term)

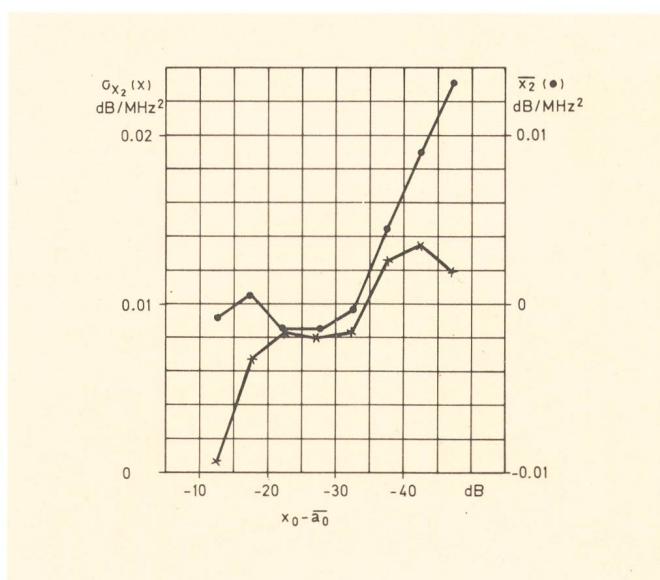


Fig. 15

Cross-polar signal — Kreuzpolarisiertes Signal

Coefficient x_2 (parabolic term) — Koeffizient x_2 (parabolischer Term)

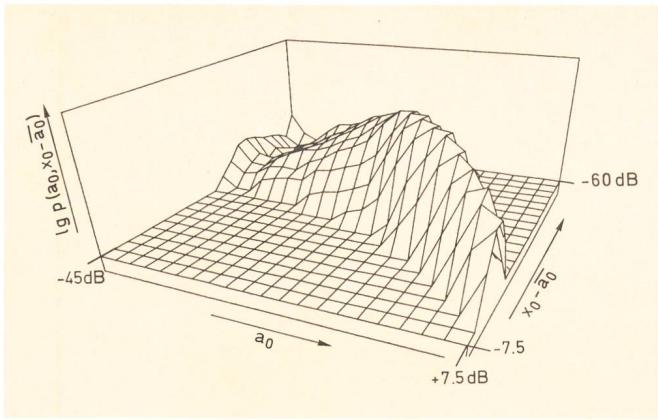


Fig. 16
Correlation-matrix co-vs cross-polar signal — Korrelationsmatrix von gleich- und kreuzpolarisiertem Signal
CO-polar reception without space-diversity — Gleichpolarisierter Empfang ohne Raumdiversityschutz

the useful signal for fading down to approximately -15 dB. The cross-polarized signal remains practically constant and is uncorrelated with the copolarized one for $a_0 \leq -20$ dB. Intersections at fixed levels of the copolarized signal yield the density functions $p(x_0 | a_0 = \text{const.})$, for each of which the average value and the standard deviation can be determined. Figure 18 shows the function of the average $\bar{x}_0(a_0)$ and of $\bar{x}_0(a_0) \pm \sigma_{x_0}(a_0)$, which were obtained from the results of Figure 16.

The influence of an adjacent cross-polarized signal ($\Delta f = 30$ MHz) is illustrated by the results of Figure 17. This signal exhibits a slightly larger standard deviation and the average $\bar{x}_0(f_0 - 15 \text{ MHz}, a_0(f_0 + 15 \text{ MHz}))$ increases asymptotically towards a 5 dB larger value than that for the inband signal. This fact is also shown in Figure 18.

4 Connection between Propagation Data and Properties of the Radio Equipment

The signature of a receiver specifies its sensitivity to multipath propagation effects. It can be transformed from the $(\lambda, \Delta f)$ -space into the expanded polynomial space as was shown previously in [1]. The Boolean function $S(a_1, a_2)$ is equal to 1 for all cases of a degraded transmission channel (e. g. $\text{BER} \geq 10^{-6}$), otherwise $S=0$.

The probability P_D , indicating a transmission system degraded on a particular hop by distortion, can be calculated as $P_D(\text{BER} \geq \text{BER}_0)$

$$P_D = \int_0^L p(a_0) \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} S(a_1, a_2) p(a_1, a_2 | a_0 = \text{const.}) da_1 da_2 da_0 \quad (3)$$

This value has to be augmented by the probability P_L , taking into account the falling of the level below a threshold level L , namely

$$P_L(P_{\text{RX}} \leq L) = \int_{-\infty}^L p(a_0 | \text{all } a_1, \text{ all } a_2) da_0 \quad (4)$$

The probability P_L is equivalent to the well-known Rayleigh distribution obtained from single-carrier measure-

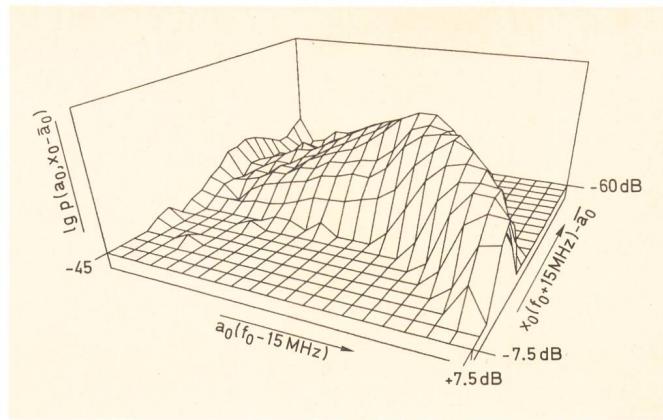


Fig. 17
Correlation-matrix of co-vs cross-polar signal — Korrelationsmatrix von gleich- und kreuzpolarisiertem Signal
CO-polar-level at centrefrequency -15 MHz — Gleichpolarisierter Pegel bei Mittenfrequenz -15 MHz
Cross-polar-level at centrefrequency $+15$ MHz — Kreuzpolarisierter Pegel bei Mittenfrequenz $+15$ MHz

polarisierten Signals. Unterhalb von $a_0 \leq -20$ dB bleibt x_0 unkorreliert mit a_0 praktisch konstant.

Für festes a_0 lässt sich die Häufigkeit $p(x_0 | a_0 = \text{const.})$ bestimmen, für die die Mittelwerte $\bar{x}_0(a_0)$ und $\sigma_{x_0}(a_0)$ berechnet werden können. Figur 18 zeigt den Verlauf dieses Mittelwertes $\bar{x}_0(a_0)$ bzw. von $\bar{x}_0(a_0) \pm \sigma_{x_0}(a_0)$.

Der Einfluss eines frequenzmäßig benachbarten kreuzpolarisierten Signals ($\Delta f = 30$ MHz) wird durch die Figur 17 illustriert. Dieses weist eine leicht grösitere Standardabweichung auf als ein gleichfrequentes Signal, und die Funktion $\bar{x}_0(f_0 - 15 \text{ MHz}, a_0(f_0 + 15 \text{ MHz}))$ verläuft asymptotisch gegen einen 5 dB höheren Wert. Dieser Sachverhalt ist ebenfalls in der Figur 17 dargestellt.

4 Verknüpfung der Ausbreitungsdaten mit Geräteeigenschaften

Wie in [1] erläutert, kann die Signatur, die die Empfindlichkeit der Geräte in bezug auf Mehrwegausbreitungs-

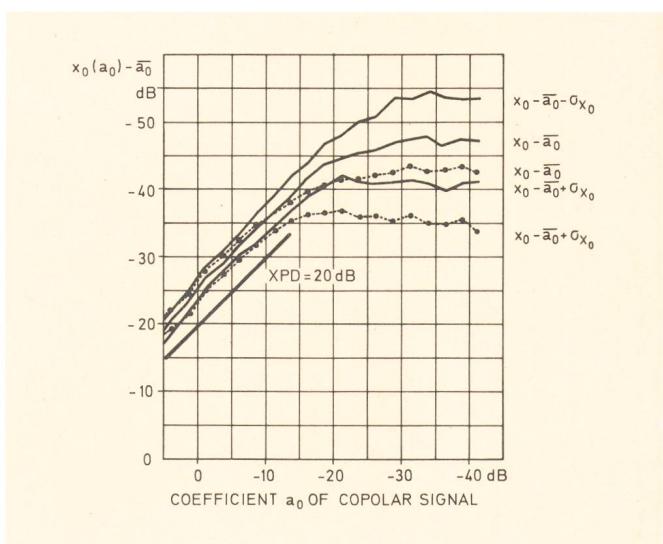


Fig. 18
Correlation co-crosspolar signal — Korrelation zwischen gleich- und kreuzpolarisiertem Signal
co-channel — Gleichkanal ($f_1 = f_2$)
... ● ... ● ... Adjacent-channel — Nachbarkanal (30 MHz)
Coefficient a_0 of copolar signal — Koeffizient a_0 des Nutzsignals

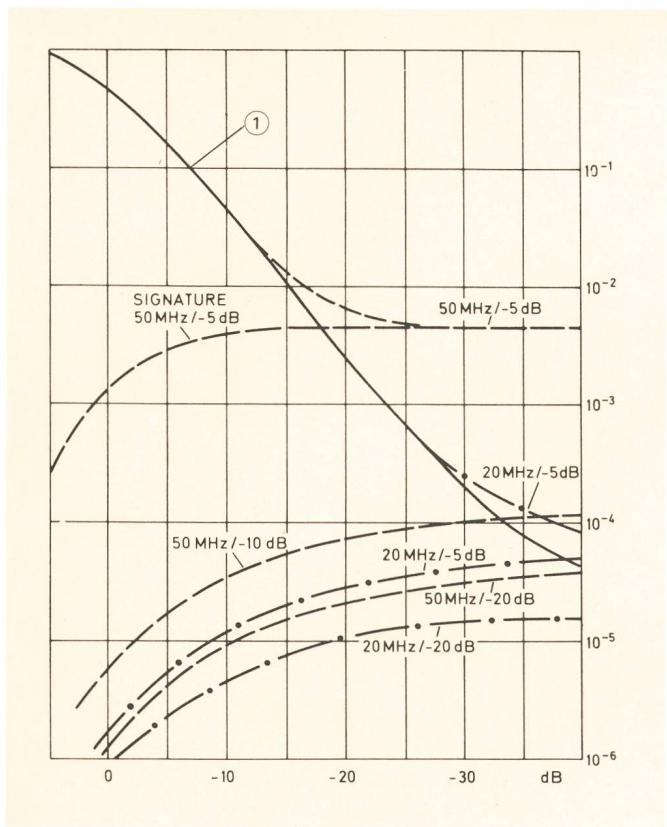


Fig. 19
Outage probability vs fade margin L without space diversity — Ausfallwahrscheinlichkeit vs Schwundmarge L ohne Raumdiversityempfang
Signature — Signatur
Coefficient a_0 — Koeffizient a_0

ments and multiplied by a hop-dependent factor. It is plotted for the examined hop in Figure 19 as curve 2. The application of space-diversity reception reduces this probability by the improvement factor I . Curve 2 in Figure 20 gives directly the distribution function with diversity reception, as derived from the measurements.

In addition the same figures show curves representing the probabilities P_D for the signatures with $\Delta f = 20$ or 50 MHz and $20 \lg \lambda = -5$ to -25 dB ($\lambda = 1 - r$, r = magnitude of the second vector in a two-ray model).

The sum

$$P(L) = P_D(L) + P_L(L) \quad (5)$$

gives the probability of degraded transmission due to a low input level or to propagation distortions.

As a further influence the interference due to inband and adjacent channels has to be taken into account. A transmission system with a given S/N, e. g. 20 dB, is only feasible with the present antenna system in the experiment and in the presence of an inband interferer down to fading depths of approximately -20 dB. This event will occur with a probability of $3 \cdot 10^{-3}$ (Fig. 19) resp. $3 \cdot 10^{-4}$ (Fig. 20). For that purpose better antennas and eventually an adaptive cross polarization interference canceler are required.

The influence of the adjacent channel is approximately 5 dB larger than that of the inband channel. However, this is reduced due to filtering, e. g. by 15 dB, resulting in a fading margin of approx. 30 dB.

effekte beschreibt, vom $(\lambda, \Delta f)$ -Raum in den erweiterten Polynomraum abgebildet werden. Die Boole'sche Funktion $S(a_1, a_2)$ ist 1, falls das Kriterium für die Störung der Übertragung (z. B. $BER \geq 10^{-6}$) erfüllt ist, andernfalls gilt $S = 0$.

Die Wahrscheinlichkeit P_D , dass das Übertragungssystem auf einer bestimmten Strecke durch Verzerrungen gestört ist, berechnet sich dann nach

$$P_D = \int_0^L p(a_0) \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} S(a_1, a_2) p(a_1, a_2 \mid a_0 = \text{const.}) da_1 da_2 da_0 \quad (3)$$

Zusätzlich zu diesem Wert P_D muss die Wahrscheinlichkeit P_L , dass der Empfangspegel unter die Schwelle L sinkt, berücksichtigt werden.

$$P_L(P_{RX} \leq L) = \int_{-\infty}^L p(a_0 \mid \text{all } a_1, \text{ all } a_2) da_0 \quad (4)$$

Die Wahrscheinlichkeit P_L entspricht der bekannten, mit Trägermessungen bestimmten und mit einem von der Strecke abhängigen Faktor multiplizierten Rayleighverteilung. Sie ist für die untersuchte Strecke in Figur 19 als Kurve 1 eingetragen. Die Verwendung von Raumdiversityempfang reduziert die Wahrscheinlichkeit um den Verbesserungsfaktor I . Die Kurve 2 in Figur 20 gibt die direkt aus den Messresultaten abgeleitete Unterschreitungswahrscheinlichkeit an.

Weiter sind in diesen Figuren Kurvenscharen eingezeichnet, die die Wahrscheinlichkeiten P_D für die Signaturen mit $\Delta f = 20$ und 50 MHz bzw. $20 \lg$

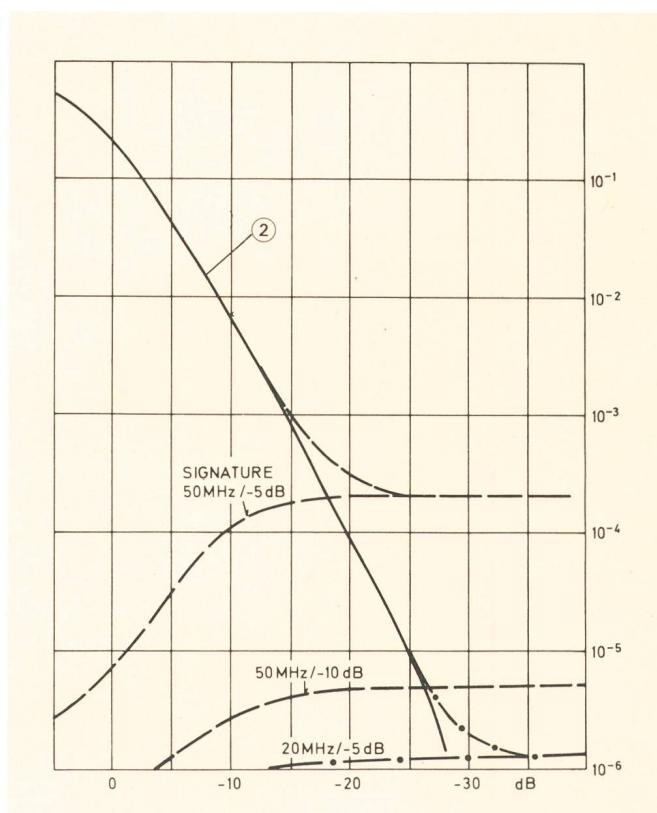


Fig. 20
Outage probability vs fade margin L with space diversity — Ausfallwahrscheinlichkeit vs Schwundmarge L mit Raumdiversityempfang
Signature — Signatur
Coefficient a_0 — Koeffizient a_0

5 Conclusions

The propagation data presented were collected during an unfavourable month and on a hop with frequent multipath propagation fading. The combination of these results with the properties of the radio equipment gives an indication for its required signature and permits an estimation of the influence of inband- and adjacent-channel interferences. A transmission system exhibiting a signature 20 to 30 MHz wide and a value λ , where $20 \lg \lambda \approx -15$ to -20 dB, should make possible a connection in accordance with CCIR recommendations.

5 Schlussfolgerungen

Die vorliegenden Daten über die Ausbreitung wurden für einen ungünstigen Monat auf einer Strecke mit häufigem Mehrwegschwund ermittelt. Die Verknüpfung mit den Geräteeigenschaften gibt einen Anhaltspunkt für die notwendige Signatur und erlaubt eine Schätzung des Einflusses von Gleich- und Nachbarkanalstörern. Ein System mit einer Signatur von $\Delta f = 20 \dots 30$ MHz und $20 \lg \lambda \approx -15 \dots -20$ dB wird eine CCIR-konforme Verbindung ermöglichen.

$\lambda = -5 \dots -25$ dB darstellen ($\lambda = 1 - r$, r = Größe des zweiten Vektors im Zweiwegmodell). Die Summe

$$P(L) = P_D(L) + P_L(L) \quad (5)$$

gibt die Wahrscheinlichkeit an, dass das System wegen zu tiefem Eingangspegel oder infolge von Verzerrungen gestört ist.

Als weiterer Einfluss muss die Störung durch Gleich- oder Nachbarkanäle berücksichtigt werden. Wird durch ein Übertragungssystem ein S/N von beispielsweise 20 dB gefordert, so ist dies mit der vorhandenen Antennenanlage nur bis zu einer Schwundtiefe von etwa -20 dB in bezug auf einen Gleichkanalstörer erfüllt. Dieser Wert wird mit einer Wahrscheinlichkeit von $3 \cdot 10^{-3}$ (Fig. 19) bzw. $3 \cdot 10^{-4}$ (Fig. 20) unterschritten.

Hier müssten bessere Antennen und gegebenenfalls ein adaptiver Crosspolar signal canceler eingesetzt werden.

Der Nachbarkanal weist einen rund 5 dB stärkeren Einfluss auf, ist aber entsprechend der Filterung z. B. um 15 dB gedämpft. Daraus ergibt sich eine Schwundmarge von etwa 30 dB.