

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

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 59 (1981)

Heft: 12

Artikel: Stimulator für Mehrwegschwund in Richtstrahlverbindungen

Autor: Jordi, Peter

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-874212>

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: 30.04.2026

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

Zusammenfassung. Das Verhalten von Richtfunkanlagen im Funkfeld mit Mehrwegausbreitung ist oft Gegenstand von Untersuchungen. Im Hinblick auf eine Laborsimulation des Funkfeldes wird auf die statistische und die analytische Beschreibung des Mehrwegschwundes eingegangen. Für den Bau eines dynamischen Simulators muss ausserdem das Schwundspektrum annähernd bekannt sein. Nach der Beschreibung dieses Simulators, der sowohl im Zwischenfrequenz- als auch im Mikrowellenbereich betrieben werden kann, wird noch kurz auf Simulationsergebnisse eingegangen.

Simulateur d'évanouissements par trajets multiples dans les liaisons hertziennes

Résumé. Le comportement des installations à faisceaux hertziens lors d'évanouissements par trajets multiples a souvent fait l'objet d'études. En ce qui concerne une simulation en laboratoire du champ de propagation, on s'en est tenu à la description statistique et analytique de l'évanouissement par trajets multiples. Pour construire un simulateur dynamique, il faut connaître assez en détail le spectre caractéristique des évanouissements. Après la description du simulateur, qui peut fonctionner aussi bien dans la gamme des fréquences intermédiaires que dans celle des microondes, on commente succinctement les résultats de la simulation.

Simulatore per l'evanescenza multipla nei collegamenti ponti radio

Riassunto. Dopo aver descritto il simulatore che può funzionare tanto nel campo delle frequenze intermedie quanto in quello delle microonde, si illustrano brevemente anche i risultati della simulazione. Inoltre, dev'essere noto approssimativamente lo spettro dell'evanescenza se si costruisce un simulatore dinamico. Dopo aver descritto il simulatore che può funzionare tanto nel campo delle frequenze intermedie quanto in quello delle microonde, si illustrano brevemente anche i risultati della simulazione.

1 Einleitung

Die Übertragungseigenschaften bei Richtfunk werden einerseits durch die Sende- und Empfangseinrichtungen, andererseits durch das Ausbreitungsmedium beeinflusst. Die Eigenschaften der Übertragungseinrichtungen können im Laboratorium bestimmt werden. Für grundsätzliche Untersuchungen ist es aber oft notwendig, den Einfluss des Funkfeldes in die Messungen einzuschliessen. Um kostspielige und zeitraubende Messungen auf Richtfunkstationen zu umgehen, ist es daher sinnvoll, das Funkfeld möglichst wirklichkeitsnah in Form einer «Black Box» nachzubilden.

2 Schwundarten

Man kann im wesentlichen die folgenden Schwundarten unterscheiden (Fig. 1) [1]:

- Normalausbreitung
- Schwund infolge Niederschlags
- Schwund infolge Mehrwegausbreitung

Im Falle der Normalausbreitung hat man mit Empfangssignalschwankungen von einigen Dezibel zu rechnen. Die Übertragung erleidet dabei keine Qualitätseinbusse.

Der Schwund infolge Niederschlags kann eine Verbindung je nach Radiofrequenz vollständig unterbrechen; einzig eine redundante Verbindung auf einer genügend tiefen Frequenz kann Abhilfe schaffen. Der zeitliche Anteil des Schwundes infolge Niederschlags an der gesamten Beobachtungszeit von etwa 9,5 Monaten liegt bei etwa 10^{-4} .

Der Schwund infolge Mehrwegausbreitung hat kurze, tiefe Pegeleinbrüche zufolge. Bei ungünstigen meteorologischen Verhältnissen kann Mehrwegausbreitung während mehrerer Stunden andauern. Der zeitliche Anteil des Mehrwegschwundes an der gesamten Beobachtungszeit von etwa 9,5 Monaten liegt in der Grössenordnung von 10^{-2} . Die Übertragungseigenschaften breitbandiger Übertragungskanaäle werden durch Mehrwegausbreitung wesentlich verschlechtert. Der Schwund infolge Niederschlags kann im Laboratorium mit Hilfe ei-

ner Dämpfung simuliert werden. Die Nachbildung von Mehrwegausbreitungsschwund verlangt eine kompliziertere Apparatur, die im folgenden beschrieben wird.

3 Mehrwegschwund

31 Verteilung des Empfangssignals

Mehrwegausbreitung tritt unter ganz bestimmten meteorologischen Bedingungen auf. So gelangen durch Reflexionen an stabilen horizontalen Luftschichten mit

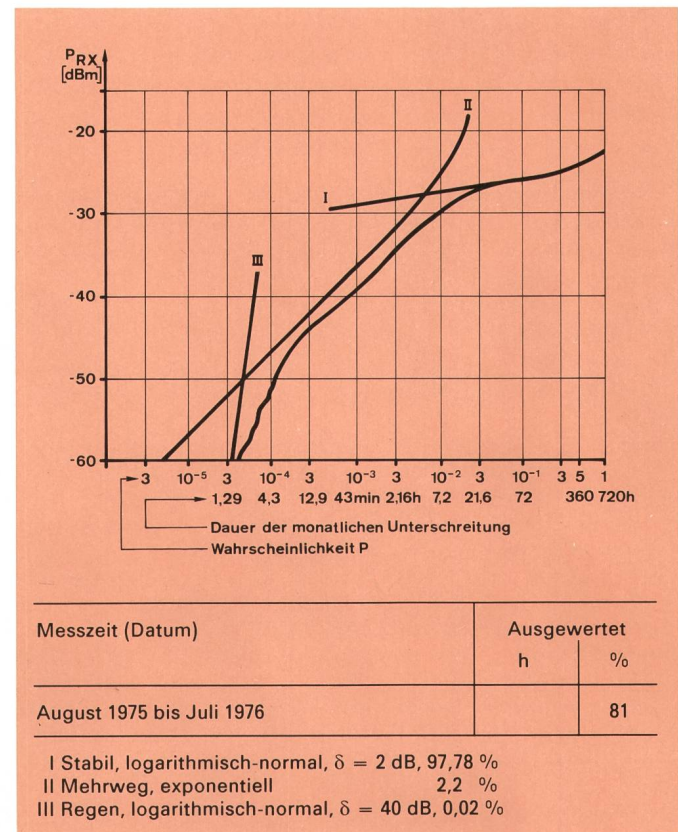


Fig. 1
 Unterschreitungswahrscheinlichkeit des Empfangssignals
 Strecke: Rochefort—Technisches Zentrum PTT, Bern
 Distanz: 51,5 km
 Frequenz: 11 155 MHz

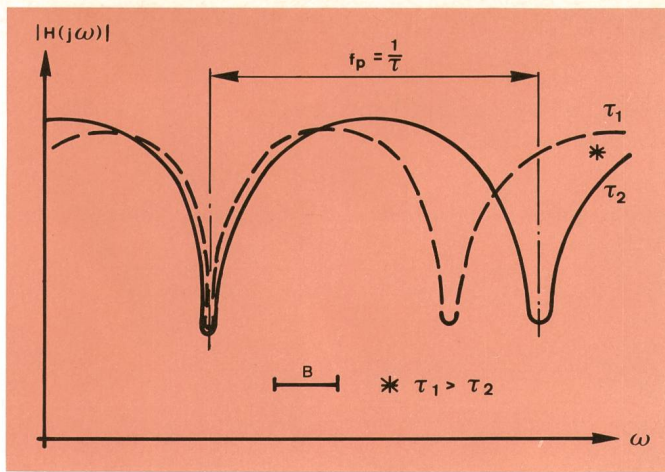


Fig. 2
Zweiwegausbreitung: Betrag der Übertragungsfunktion

unterschiedlichen Brechzahlen interferierende Wellen an den Empfangsort. Bei Mehrwegausbreitung liegen die Amplituden der Empfangssignalvektoren etwa in der gleichen Größenordnung, jeder Phasenwinkel zwischen 0 und 2π ist gleich wahrscheinlich und zufällig. Man kann die Vektoren in die komplexe Ebene projizieren und erhält zwei orthogonale Komponenten x und y . Die Werte der Komponenten sind wegen der Phasenbedingungen der Einzelvektoren normal verteilt. Der Betrag des Summenvektors der geometrischen Addition

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (1)$$

ist dann *Rayleigh*-verteilt [2].

Die Phase von r ist beliebig, und jeder Wert zwischen 0 und 2π ist gleich wahrscheinlich. Die zugehörige Unterschreitungswahrscheinlichkeit des Empfangssignals $P(A < S)$ ergibt sich aus [3]

$$P(A < S) = 1 - \exp(-10^{S/10}) \quad (2)$$

$$\text{mit } S = P - \overline{P_{RX}}$$

wobei

- A Dämpfung des Empfangssignals [dB]
- S Schwundschwellwert [dB]
- P Empfangsleistung [dBm]
- $\overline{P_{RX}}$ Mittlere Empfangsleistung [dBm]

32 Selektivschwund

Man hat während Perioden mit Mehrwegausbreitung festgestellt, dass im Übertragungsband der Übertragungsfaktor und die Phasenlaufzeit nicht konstant sind [4]. Beide sind frequenzabhängig — man spricht von In-Band-Selektivschwund oder kurz Selektivschwund.

Die Übertragungsfunktion für Zweiwegausbreitung lautet

$$H(j\omega) = 1 + re^{+j\omega\tau} \quad (3)$$

mit r Relative Amplitude des verzögerten Signals
 τ Laufzeitdifferenz

Der Übertragungsfaktor $|H(j\omega)|$ ist eine periodische Funktion von $\omega = 2\pi f$ und ist in *Figur 2* eingetragen.

Mit zunehmender Laufzeitdifferenz beziehungsweise Weglängenunterschied rücken die Minima des Übertragungsfaktors näher zusammen. Je breiter das Übertragungsband B im Vergleich zu $f_p = 1/\tau$ ist, desto ausgeprägter ist die Verzerrung des Übertragungsfaktors innerhalb des Übertragungsbandes.

Die Gruppenlaufzeit darf an die Stelle der Phasenlaufzeit gesetzt werden und hat qualitative Ähnlichkeiten mit dem Übertragungsfaktor [5]. Im besonderen hat die Gruppenlaufzeit dieselbe Periodizität f_p .

Bei Dreiwegausbreitung benützen im allgemeinen zwei von drei Strahlen annähernd den gleichen Ausbreitungspfad [6]. Der geringe Laufzeitunterschied dieser zwei Pfade erlaubt daher, die Dreiwegausbreitung auf Zweiwegausbreitung zu vereinfachen.

Das Modell für Selektivschwund kann man wie folgt ansetzen [6]:

$$H(j\omega) = a [1 - be^{\pm j(\omega - \omega_0)\tau}] \quad (4)$$

wobei $\omega_0/2\pi = f_0 =$ Frequenzen der Minimas von $|H(j\omega)|$

Der Parameter a bestimmt die minimale Durchlassdämpfung, während b für die Variation des Übertragungsfaktors innerhalb des Übertragungsbandes verantwortlich ist.

Die Berechnung der Verteilung des Empfangssignals bei Mehrwegausbreitung mit In-Band-Selektivität führt zu der *Rice*-Verteilung [2]. Das Empfangssignal (*Fig. 3*) setzt sich aus den Umwegstrahlen r und dem Hauptstrahl k zusammen, wobei r *Rayleigh*-verteilt und k konstant ist.

Die Dichtefunktion des Summenvektors lautet:

$$f(s) = \frac{s}{\delta^2} e^{-\frac{k^2+s^2}{\delta^2}} \cdot J_0\left(j \frac{ks}{\delta^2}\right) \quad (5)$$

$J_0\left(j \frac{ks}{\delta^2}\right) =$ Besselfunktion 0. Ordnung
 $\delta =$ Streuung

Für die Spezialfälle $k = \infty$ beziehungsweise $k = 0$ beschreibt der Ausdruck (5) eine *Gauss*-Verteilung beziehungsweise eine *Rayleigh*-Verteilung. Die entsprechen-

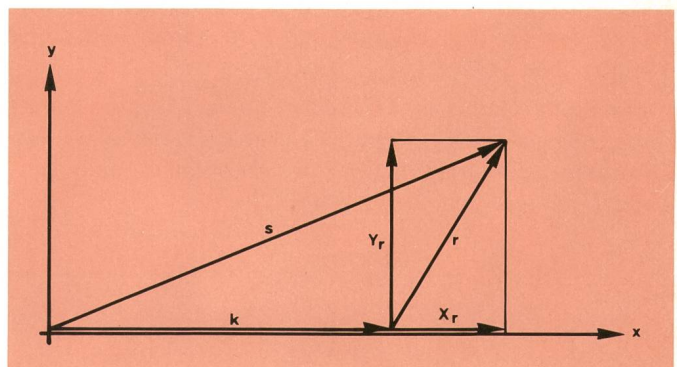


Fig. 3
Rice-Verteilung: zugehöriges Vektordiagramm

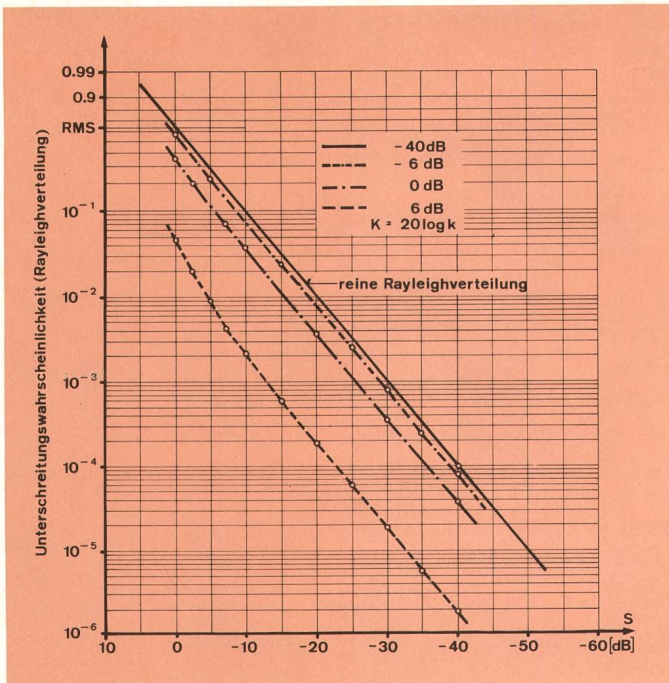


Fig. 4
Unterschreitungswahrscheinlichkeit des Schwundschwelligwertes S bei der Rice-Verteilung, K als Parameter ($K = 20 \lg k = A_b - A_a$)
Schwundschwelligwert bezüglich effektivem Mittelwert der Rayleigh-Verteilung

den Unterschreitungswahrscheinlichkeiten des Empfangssignals für verschiedene Werte von k sind in *Figur 4* dargestellt. Je grösser man somit den Vektor k wählt, desto mehr entfernt man sich von der ursprünglichen Rayleigh-Verteilung. Man hat einen Kompromiss zwischen der praktisch erreichbaren Tiefe des Selektivschwundes (Fig. 2) und der Annäherung an die Rayleigh-Verteilung zu bilden.

In [6] wird für das Modell (4) im 6-GHz-Bereich (Funkfeldlänge ≈ 40 km) eine Laufzeitdifferenz von $\tau = 6,3$ ns vorgeschlagen. Damit sollen etwa zwei Drittel aller Selektivschwundereignisse vom vorliegenden Modell erfasst werden.

33 Schwundspektrum

Der zeitliche Verlauf der Umhüllenden des Empfangssignals während Mehrwegausbreitung weist darauf hin, dass sich die reflektierende Luftschicht mit einer geringen Geschwindigkeit bewegt. Wegen dieser Schichtgeschwindigkeit wirkt sich der Dopplereffekt am Empfangsort aus. Die Empfangsfrequenz erfährt eine Dopplerverschiebung um maximal $\pm f_D$ ($f_D =$ Dopplereffekt) [7]. Es lässt sich eine spektrale Leistungsdichte des Empfangssignals um f_0 angeben, die einen Verlauf nach *Figur 5* hat.

Zur Bestimmung der Dopplereffekt f_D ist die Beziehung zwischen der mittleren Schwunddauer einer bestimmten Schwundtiefe und der Dopplereffekt herangezogen worden. Es gilt nach [7]

$$f_D \approx \frac{(P/P_0)^{1/2}}{T_u \cdot \sqrt{2} \pi} \quad (6)$$

mit

- P Empfangsleistung
- P_0 Mittlere Empfangsleistung

T_u Mittlere Schwunddauer bei der Schwelle
 $S = P_y - P_0$

Aus [1] hat man für f_D die in der *Tabelle I* festgehaltenen Werte erhalten.

Tabelle I. Werte der Dopplereffekt f_D bei entsprechender Grundfrequenz f_0

| f_0 [GHz] | f_D [10^{-3} Hz] |
|-------------|-----------------------|
| 2 | 0,5...0,8 |
| 7 | 1,5...2,5 |
| 11 | 2,5...4,0 |

4 Aufbau des Simulators

4.1 Grundsätzliches

Zur Nachbildung eines Rayleigh- oder Rice-verteilt Empfangssignals bedient man sich eines Vierpols, der nach dem Bildungsgesetz dieser Verteilungen aufgebaut ist. Das zugehörige Blockscheema ist in *Figur 6* dargestellt.

Das radiofrequente Signal wird im hochfrequenten Teil auf drei Pfade aufgeteilt. Dabei wird im Pfad 2 die Phase des Signals um $\pi/2$ gedreht. In den anschliessenden Ringmodulatoren B (Pfade 1 und 2) erfolgen die Amplituden- und die Phasenmodulation mit einem bandbegrenzten Rauschsignal. Das Ausgangssignal nach dem Kombinator (Pkt.1 I) hat somit eine Amplitude, die der Rayleigh-Verteilung folgt (Abschnitt 31) mit einer zwischen 0 und 2π gleich verteilten Phase.

Die Eigenart des Selektivschwundes wird erreicht, indem der Simulator mit einem dritten Pfad versehen wird. Das diesen Pfad 3 durchlaufende Signal wird mit der zusätzlichen Laufzeit τ der Gl. (4) versehen. Die Ausgangsgrösse (Pkt. II) ist dann Rice-verteilt; für kleine konstante Signale k gilt, wie erwähnt, mit guter Näherung die Rayleigh-Verteilung.

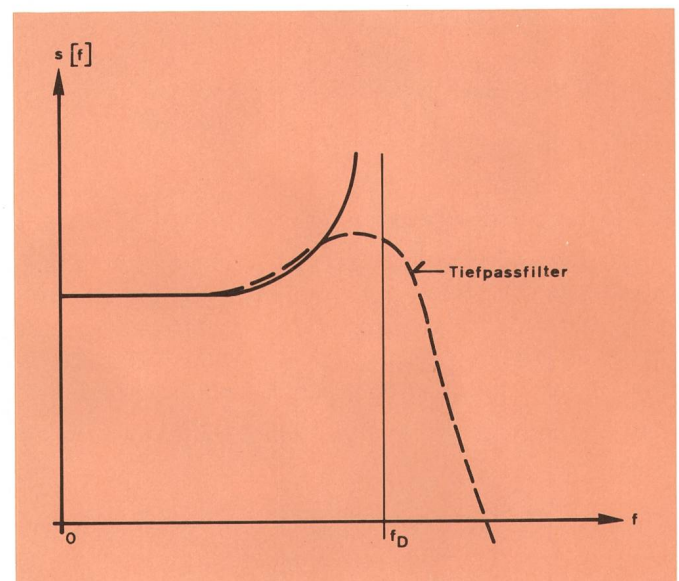


Fig. 5
Spektrale Leistungsdichte des Empfangssignals bei Zweiwegausbreitung

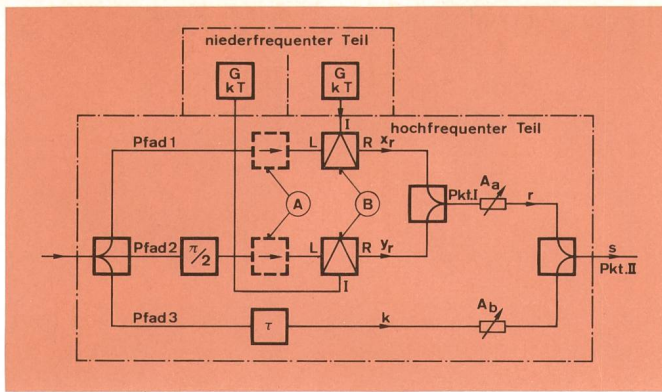


Fig. 6
Grundständiger Aufbau des Simulators
 A Diese Richtleiter werden nur im HF-Teil für die RF-Ebene eingesetzt

42 Der niederfrequente Teil

Das Modulationssignal der Ringmodulatoren in Fig. 6 ist ein durch die Dopplerfrequenz f_D begrenztes Rauschsignal. Es wird durch eine pseudozufällige Binärfolge mit anschließender Filterung durch einen aktiven Tiefpass erzeugt. Die Filtercharakteristik ist in Fig. 5 angedeutet.

Das Blockschema eines der beiden niederfrequenten Teile zeigt Fig. 7. Die nachfolgenden Dimensionierungsangaben — sie sind empirisch ermittelt worden — gelten für die Simulation von Mehrwegausbreitung eines 11-GHz-Richtfunkfeldes mit der Länge von 50 km.

Die pseudozufällige Binärfolge wird durch ein rückgekoppeltes 20stufiges Schieberegister generiert. Die Clockfrequenz für das Schieberegister ergibt sich aus

$$f_c = n \cdot f_D \quad (7)$$

Wählt man n zu klein, setzt sich das Rauschsignal aus zu wenigen Spektrallinien zusammen. Mit zunehmendem n fallen mehr Spektrallinien in die Rauschbandbreite, jedoch verlieren die Spektrallinien ihre Frequenzunabhängigkeit. Mit $n \approx 20$ wurde auf experimenteller Basis ein günstiger Wert gefunden [8]. Ein RC-Rechteckgenerator mit integriertem Teiler erzeugt das Clocksignal. Für $f_D = 3,25$ MHz, $n = 20$ und einem Teilverhältnis von $2^{18}:1$ erhält man die Taktfrequenz f_T von 17 kHz für das Rechtecksignal.

Um die Wahrscheinlichkeit, dass die Periodenanfänge der beiden Pseudozufallsfolgen zusammenfallen, zu ver-

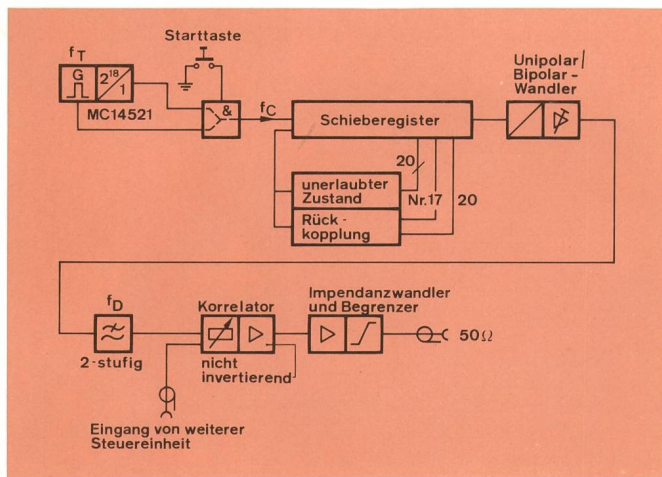


Fig. 7
Blockschaltbild des niederfrequenten Teiles

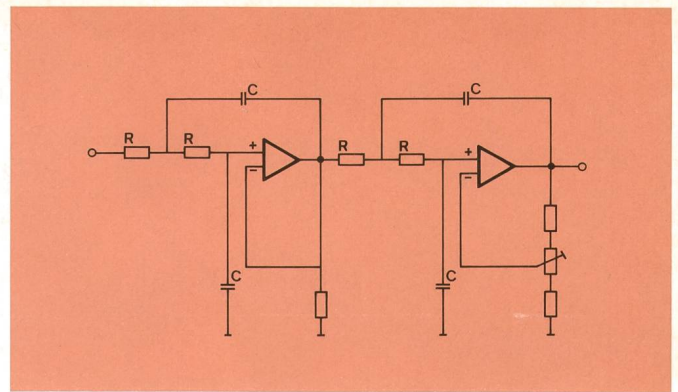


Fig. 8
Tiefpassfilter

ringern, können die beiden Schieberegister mit je einer von aussen zugänglichen Taste an das Taktsignal der Frequenz f_T ($f_T = 2^{18} \cdot f_c$) angelegt werden.

Auf das Schieberegister folgt eine Signalwandlung unipolar/bipolar. In der anschließenden Verstärkerstufe können die Amplitude und die Nullsymmetrie des Ausgangssignals eingestellt werden.

Das Tiefpassfilter besteht aus zwei aktiven Filtern zweiter Ordnung (Fig. 8). Das erste weist eine Verstärkung von 1 auf, während das zweite Filter zur Einstellung der in Fig. 5 angedeuteten Überhöhung dient. Eine Überhöhung von 3 dB hat sich als günstig erwiesen.

Die Zeitkonstante der Filter — sie liegt zwischen 40 und 320 s — erfordert hochwertige Bauelemente.

Im nachfolgenden Verstärker wird neben einer Impedanzanpassung an 50Ω auch eine Strombegrenzung vorgenommen, die eine Überlastung der Ringmodulatoren verhindert.

Sollen zwei Funkfelder nachgebildet werden, zwischen denen eine gewisse Korrelation besteht, so kann das niederfrequente Steuersignal eines zweiten Simulators über ein Widerstandsnetzwerk in die Steuereinheit des ersten eingespeist werden. Die Korrelation der zwei nachgebildeten Funkfelder kann zwischen 0 und 1 variiert werden.

Die niederfrequenten Teile sind zusammen mit der Speisung in einem 19-Zoll-Gestell (Fig. 9) untergebracht.

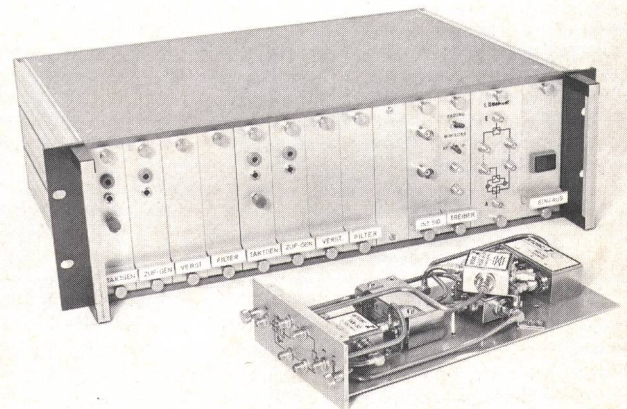


Fig. 9
Simulator mit Einschub HF-Teil für ZF-Ebene

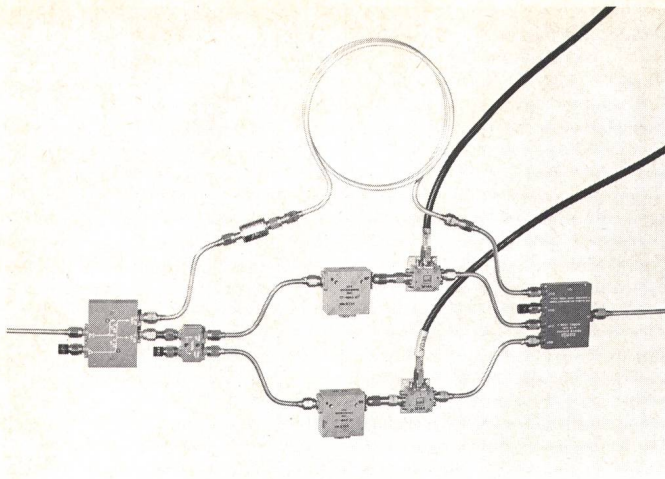


Fig. 10
Aufbau des hochfrequenten Teiles für RF-Ebene

43 Der hochfrequente Teil

Der Simulator kann in den ZF- oder den RF-Pfad einer Richtfunkanlage geschaltet werden. Der hochfrequente Teil ist grundsätzlich nach Fig. 6 aufgebaut.

Der hochfrequente Teil für die ZF-Ebene ist in einem Einschub (Fig. 9) untergebracht. Mit Ausnahme des 90° -Leistungsteilers kann dieser Teil im Bereich von 2...200 MHz eingesetzt werden. Die Grunddämpfung beträgt 13 dB.

Den hochfrequenten Teil für die RF-Ebene zeigt Fig. 10. Es besteht je ein derartiger Aufbau für die Frequenzbereiche 4...8 und 8...14 GHz. Die Grunddämpfung beträgt $\approx 15,5$ dB bei 7 GHz oder $\approx 16,5$ dB bei 11 GHz. Mit dieser Anordnung — die Ringmodulatoren (Fig. 6) sind nach hoher Isolation (≈ 35 dB) zwischen den Ein-

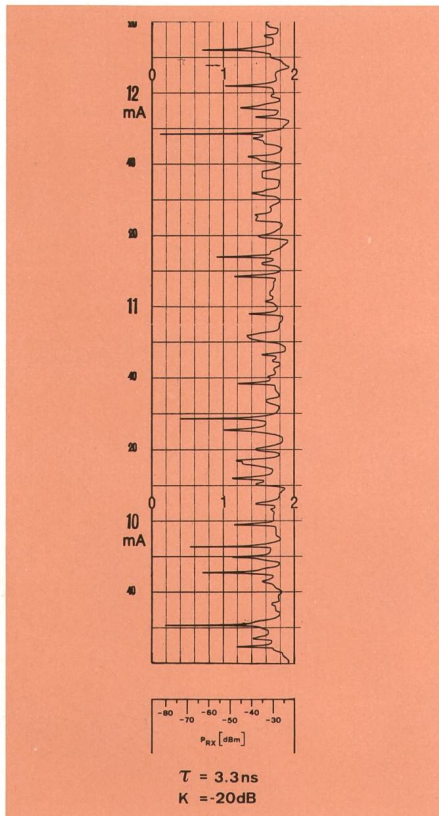


Fig. 11
Papierstreifenregistrierung des Empfangssignals

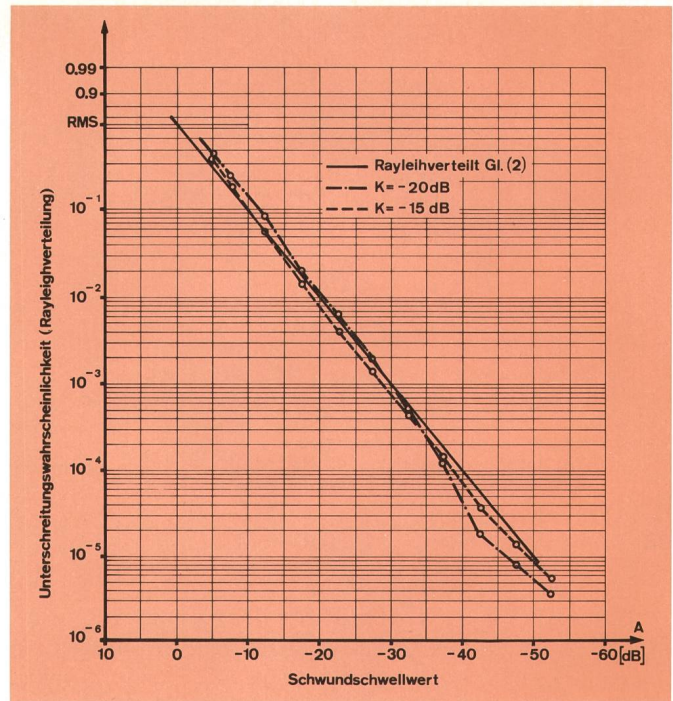


Fig. 12
Schwundverteilung

gängen R und L ausgesucht worden — erreicht man Schwundtiefen bis zu $S = -60$ dB.

Die empfohlene Leistung des Eingangssignals beider hochfrequenten Teile ist durch den Arbeitspunkt der Ringmodulatoren bestimmt und liegt bei +13 dBm.

5 Simulationsergebnisse

Die Arbeitsweise des Simulators ist überprüft worden, indem man Statistiken von realen mit simulierten Emp-

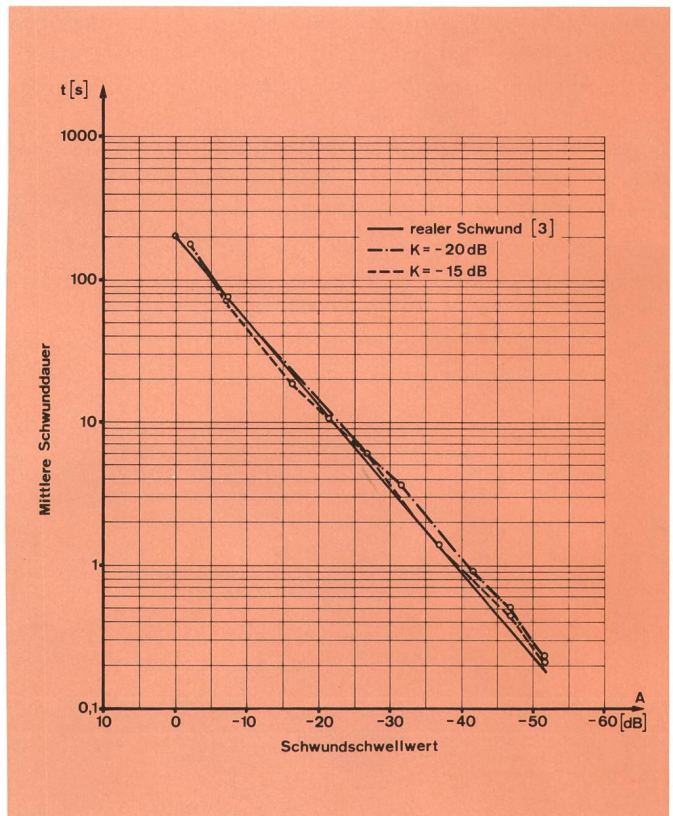


Fig. 13
Mittlere Schwunddauer

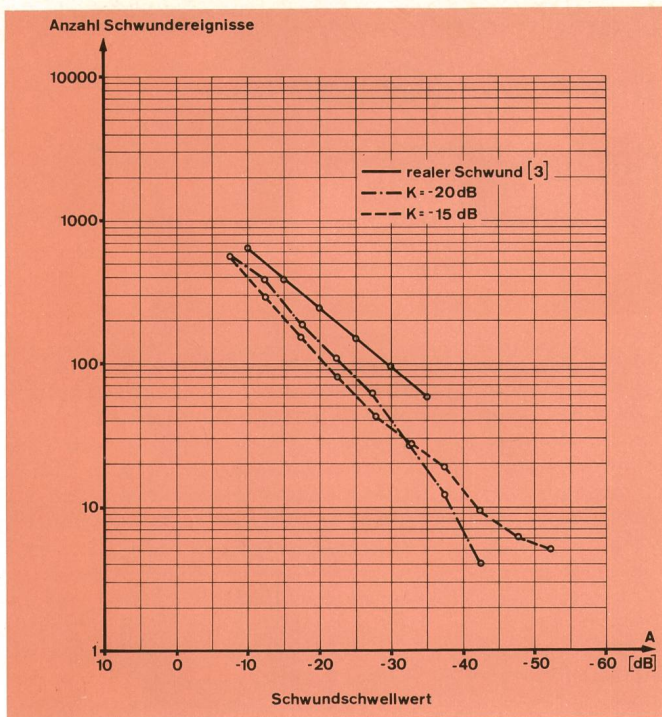


Fig. 14
Anzahl Schwundereignisse

fangssignalen verglichen. Dazu verwendete man ein Messsystem [9] mit einem Minicomputer. Neben der Papierstreifenregistrierung sind die Empfangssignale zur Erstellung der Statistiken auf Magnetband gespeichert worden. Bei den nachfolgenden Messergebnissen wurde die Simulation im ZF-Pfad mit $A_a - A_b = 15$ dB beziehungsweise 20 dB durchgeführt. Der Laufzeitunterschied betrug $\tau = 3,3$ ns. Während je 55 Stunden ist Mehrwegausbreitung simuliert worden.

Einen Ausschnitt aus der Papierstreifenregistrierung des Empfangssignals zeigt Figur 11. In Figur 12 ist die Verteilung des Empfangssignals aufgetragen. Ein weiteres Mass zur Beschreibung von Schwund ist die mittlere Dauer eines Schwundeinbruchs in Funktion dessen Tiefe. In Figur 13 ist die mittlere Dauer von realem und von simuliertem Schwund dargestellt. Schliesslich ist die Anzahl der Ereignisse für verschiedene Schwundschwellwerte aus Figur 14 ersichtlich.

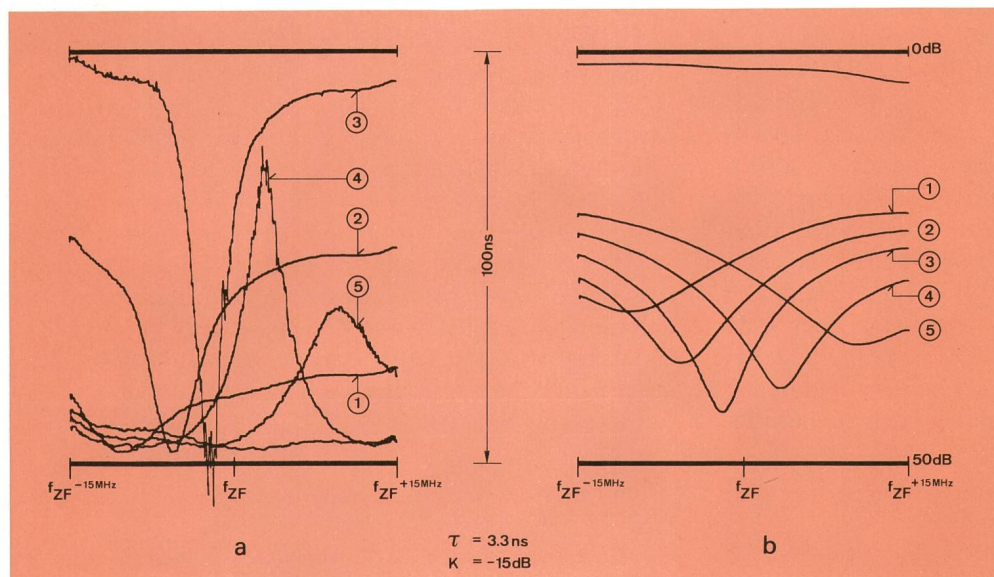


Fig. 15
Gruppenlaufzeit und differentielle Verstärkung des Übertragungskanals bei Selektivschwund, $f_{BB} = 500$ kHz
a) Gruppenlaufzeit
b) Differentielle Verstärkung
1...5 Momentanaufnahmen

Der simulierte Mehrwegschwund ist statistisch recht gut an den realen Schwund angeglichen.

Die Erzeugung von Selektivschwund mit Hilfe des Mehrwegausbreitungssimulators ist in Figur 15 illustriert, dabei zeigt Figur 15 a die Gruppenlaufzeit, Figur 15 b die differentielle Verstärkung. Die fünf «Momentanaufnahmen» zeigen, wie der Selektiveinbruch den Übertragungskanal langsam «durchwandert».

6 Schlussbemerkungen

Die Simulatoren sind bereits mehrmals eingesetzt worden. Im besonderen wurde mit ihnen das dynamische Verhalten von Raumdiversity-Kombinatoren überprüft. Ebenso eignen sich die Simulatoren zur Untersuchung von Schutzschalt- oder Umschaltssystemen. Ein weiteres Anwendungsgebiet dürfte in der Überprüfung von automatischen Entzerrern von digitalen Richtfunkanlagen liegen.

Bibliographie

- [1] Liniger M. Untersuchung der Mehrwegausbreitung bei Richtfunkverbindungen. Bern, Generaldirektion PTT, Abt. Forschung und Entwicklung, Bericht VD 35.013F, 28. 11. 1976.
- [2] Kern K. Mathematische Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung in der Funkübertragungstechnik. Bad Windsheim, Der Fernmeldeingenieur 19 (1965) 4 und 6, S. 1 und S. 2.
- [3] Liniger M. Dämpfungen auf Richtfunkverbindungen unter besonderer Berücksichtigung der Mehrwegausbreitung. Bern, Techn. Mitt. PTT 56 (1978) 5, S. 178.
- [4] Crawford A. B. and Jakes W. C. Selective Fadings of Microwaves. Murray Hill, Bell System Technical Journal 31 (1952) 1, p. 68.
- [5] Fehlhaber L. Zweiwegeausbreitung im Richtfunk auf Funkfeldern mit direkter Sicht und freier erster Fresnelzone. Darmstadt, Fernmeldetechn. Zentralamt (FTZ), TBr 27, Juni 1970.
- [6] Rummler W. D. A New Selective Fading Model: Application to Propagation Data. Murray Hill, Bell System Technical Journal 58 (1979) 5, p. 1037.
- [7] König P. Simulation von Mehrwegeempfangssignalen für die Untersuchung von Mobilfunksystemen. Bern, Generaldirektion PTT, Abt. Forschung und Entwicklung, Bericht VD 31.062F, 1. 7. 1975.
- [8] Jordi P. Mehrwegschwundsimulator für Frequenzen oberhalb 2 GHz. Bern, Generaldirektion PTT, Abt. Forschung und Entwicklung, Bericht VD 35.014A, 9. 3. 1977.
- [9] Liniger M. Datenerfassung mit dem HP-Prozessor 2100. Bern, Generaldirektion PTT, Abt. Forschung und Entwicklung, Bericht VD 35.004A, 3. 2. 1975.