

# Übertragungsfunktionen bei Mehrwegempfang in hügeligem Gelände

Autor(en): **Debrunner, Walter E. / Zogg, Andreas**

Objektyp: **Article**

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**

Band (Jahr): **65 (1987)**

Heft 3

PDF erstellt am: **06.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-874800>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

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

# Übertragungsfunktionen bei Mehrwegempfang in hügeligem Gelände

Walter E. DEBRUNNER und Andreas ZOGG, Bern

*Zusammenfassung. Die Planung breitbandiger Funkssysteme bedingt die Berücksichtigung der durch Mehrwegeausbreitung verursachten Verzerrungen. Es wird das Auftreten von relevantem Mehrwege-Empfang diskutiert und über Ausbreitungsversuche in hügeligem Gelände berichtet. Der im Innern der Stadt beobachtete «Delay Spread S» stimmt gut mit den Angaben von Cox und Leck überein. Bei freier Sicht auf Geländestreureflexionsflächen sind jedoch Delay Spreads von über 10 µs gemessen worden. Die beobachteten Impulsantworten sind sehr von der Umgebung der mobilen Station abhängig und variieren sowohl quantitativ wie qualitativ von Ort zu Ort.*

## Fonctions de transmission dans le cas de la réception par trajets multiples en terrain vallonné

*Résumé. Lorsqu'on planifie des systèmes de radiocommunication à large bande, il importe de tenir compte des distorsions dues à la propagation par trajets multiples. Les auteurs examinent les cas importants de réception par trajets multiples et les résultats d'essais de propagation faits en terrain vallonné. Le «Delay Spread S» observé à l'intérieur d'une ville coïncide bien avec les indications de Cox et de Leck. En cas de visibilité directe sur des terrains à surface de réflexion par dispersion, on a toutefois mesuré des «delay spreads» de plus de 10 µs. Les réponses impulsionnelles dépendent fortement de l'environnement des stations mobiles et varient quantitativement et qualitativement d'un endroit à l'autre.*

## Funzioni trasmissive nella ricezione per cammini multipli su terreno ondulato

*Riassunto. Per pianificare sistemi di radiotrasmissione a larga banda bisogna tener conto delle distorsioni provocate dalla propagazione per cammini multipli. Gli autori esaminano il fenomeno della ricezione per cammini multipli e descrivono le prove di propagazione su terreno collinoso. Il «Delay Spread S» misurato in area cittadina corrisponde ai dati di Cox e Leck. Nelle zone pianeggianti con riflessione diffusa sono stati invece misurati Delay Spreads superiori a 10 µs. Le risposte agli impulsi dipendono dall'ubicazione della stazione mobile e variano sia quantitativamente che qualitativamente da località a località.*

## 1 Einleitung

Die ersten Funkssysteme sind den damaligen technischen Möglichkeiten entsprechend in Schmalbandtechnik ausgeführt worden. Technische Fortschritte insbesondere auf dem Gebiete der Mikroelektronik ermöglichen heute die Anwendung von Modulationsverfahren, die noch vor wenigen Jahren als utopisch bezeichnet worden sind. Während Geräte entsprechend dem jeweiligen Wissensstand gebaut werden können, ist bei Funkverbindungen der «Äther» ein durch die Natur gegebenes Element. Deshalb ist stets zu prüfen, inwieweit dessen Eigenschaften den Erfordernissen neuer Übertragungsmethoden entsprechen.

Infolge von Reflexions- und Beugungseffekten handelt es sich bei einem Funkkanal nicht unbedingt um ein breitbandiges Übertragungsglied. In New York haben Cox und Leck [3] eine Kohärenzbandbreite von etwa 280 kHz beobachtet. Gemäss Statistiken des Delay Spread S kann diese Kohärenzbandbreite beim Auftreten wesentlicher Geländestreuerungen jedoch um eine Grössenordnung geringer sein (s. Abschnitt 32). Die Übertragungsfunktion zwischen Sender und Empfänger ist deshalb in den verschiedenen Gebieten zu überprüfen. Im Rahmen einer solchen Untersuchung sind in der Stadt Bern und ihrer Umgebung bei 210 MHz und einer Bandbreite von 5 MHz Ausbreitungsmessungen durchgeführt worden. Nachfolgend werden experimentelle und theoretische Resultate gegeben.

Das Ziel dieses Aufsatzes besteht in einer anschaulichen und einfachen Beschreibung der in hügeligem Gelände möglichen Übertragungsfunktionen. Die ausgewählten Beispiele sind typisch und stellen *keine* Extremfälle dar.

Es sollen dadurch Unterlagen für Systembetrachtungen zur Verfügung gestellt werden. Die angegebenen Formeln erlauben eine Abschätzung der zu erwartenden Verhältnisse.

## 2 Abschätzung der Empfangsbedingungen

### 21 Allgemeines

Es werden vorerst Formeln zur Abschätzung der Ausbreitungsverhältnisse im VHF/UHF-Bereich angegeben (s. auch [1, 2]). Zur Charakterisierung dient im allgemeinen die Übertragungsdämpfung zwischen Sende- und Empfangsantenne, wobei hier *isotrope* Strahlungsdiagramme vorausgesetzt sind. Die Freiraumausbreitung wird durch Formel (1) beschrieben

$$P_{ri} = P_{ti} \frac{\lambda^2}{D^2 \cdot (4\pi)^2} \quad (1)$$

Dabei ist  $P_{ri}$  die Empfangs- und  $P_{ti}$  die Sendeleistung,  $D$  ist die Distanz und  $\lambda$  die Wellenlänge.

Zusätzlich wird in der Praxis der Empfang durch die Beugungsdämpfung an Geländehindernissen und durch die Wirkung der näheren Empfängerumgebung beeinträchtigt. Der Einfachheit halber sind Geländebeugungsdämpfungen hier vernachlässigt. Bauwerke und Bäume der näheren Umgebung können sowohl als Beugungshindernisse wie als «Streurefektoren» wirken. Der möglichen Vielgestaltigkeit der Empfängerumgebung wegen sind die Verhältnisse statistisch zu beschreiben. Die in einer bestimmten Höhe über Boden beobachtete Empfangsfeldstärke ist mit einer statistischen Streuung  $\sigma$



von rund 7 dB log-normal verteilt. *Figur 1* zeigt für verschiedene Arten der Überbauung die Medianwerte der zusätzlichen Dämpfung bei 100 MHz in Funktion der Antennenhöhe [4].

## 22 Abschätzungen der Streureflexionen

Im VHF/UHF-Bereich sind Streureflexionen an Gebäuden, Hügeln und Bergen von Bedeutung. Es handelt sich dabei um die Überlagerung vieler Einzelreflexionen von zufälliger Amplitude und Phase. Die sich dadurch ergebende *Rayleigh-Verteilung* der Feldstärke lässt sich durch eine Lognormalverteilung mit einer statistischen Streuung  $\sigma$  von 5,6 dB approximieren. Des stochastischen Charakters wegen lassen sich, wie in Formel (2) angegeben, nur die Grössen der Empfangsleistungen abschätzen.

$$P_{si} = P_{ti} \alpha \cdot \frac{\sqrt{\Omega_t \Omega_r}}{D_t \cdot D_r} \cdot \frac{\lambda^2}{(4\pi)^3} \quad (2)$$

Dabei ist  $P_{si}$  bzw.  $P_{ti}$  die Empfangs- bzw. Sendeleistung,  $D_t$  bzw.  $D_r$  die mittlere Entfernung der streuenden Fläche vom Sender bzw. Empfänger und  $\Omega_t$  bzw.  $\Omega_r$  die Raumwinkel (in stereo-radian), unter welchen die streuende Fläche vom Sender bzw. Empfänger aus gesehen wird. Der «Reflexionskoeffizient»  $\alpha$  gibt das Verhältnis der gestreuten Welle zur einfallenden Welle an und darf als 0,5 angenommen werden [5]; für Frequenzen oberhalb 200 MHz ist bei bewaldeten Hängen ein geringerer Wert zu vermuten.

Aufgrund der beiden Ausdrücke (1) und (2) lässt sich das mittlere Leistungsverhältnis  $Q$  zwischen dem «gestreuten»  $P_{si}$  und dem «direkt» empfangenen Signal  $P_{ri}$  durch

$$Q = \frac{P_{si}}{P_{ri}} = \alpha \cdot \frac{\sqrt{\Omega_t \cdot \Omega_r}}{D_t \cdot D_r} 4\pi \cdot \frac{D^2}{D_t \cdot D_r} \quad (3)$$

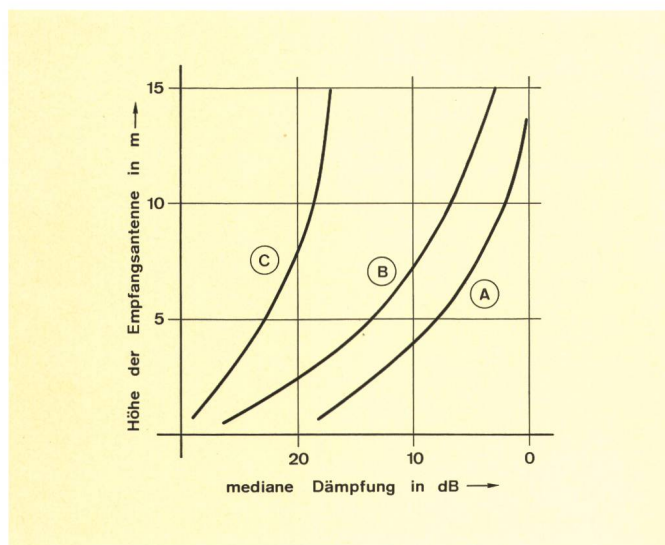


Fig. 1 Dämpfung durch nahe Empfängerumgebung (100 MHz)

- (A) ländliche Verhältnisse
- (B) kleinstädtische Verhältnisse
- (C) in Kernzonen von Städten

angeben. Dabei ist die Frequenzabhängigkeit von  $Q$  nur durch den Koeffizienten  $\alpha$  gegeben. Rechnerische Abschätzungen und Messungen zeigen, dass dieser Quotient in hügeligem Gelände einen Wert von  $-50$  dB... $-20$  dB aufweist. Also mögen Geländereflektionen für Zuverlässigkeiten bis zu 50 % noch vernachlässigbar sein.

## 23 Numerisches Beispiel

Unter der Planungssicherheit versteht man die Wahrscheinlichkeit, mit der die gewünschten Planungswerte eingehalten werden. Da bei Rundfunk- und Mobilfunksystemen eine Planungssicherheit von über 90 % gewünscht wird, sind bezüglich dieser Anwendungen Geländestreureflexionen unbedingt zu berücksichtigen. *Figur 2* soll anschaulich zeigen, wie das direkte und das reflektierte Signal in recht unterschiedlicher Weise gedämpft werden können. Deshalb ist einerseits der Einfluss der näheren Empfängerumgebung und sind andererseits die Wahrscheinlichkeitsverteilungen zu beachten. Variationen des Quotienten  $Q$  um mehr als 30 dB sind daher nicht auszuschliessen. Zuverlässige Planungsunterlagen bedingen somit eingehende experimentelle und theoretische Untersuchungen.

Für die folgende geometrische Konfiguration wird eine Abschätzung durchgeführt: Sender und Empfänger sind 6 km voneinander entfernt. Eine von beiden Orten voll sichtbare Streureflexionsfläche mit einer mittleren Breite von 3 km und einer Höhenausdehnung von 200 m befindet sich in 9 km vom Sende- bzw. 4 km vom Empfangsort entfernt. Sie erscheint also unter den Raumwinkeln von 0,0375 und 0,00741 stereoradian. Gemäss Formel (3) ergibt sich bei einem «Reflexionskoeffizienten»  $\alpha = 0,25$  ein Verhältnis  $Q = 0,000234$ , d. h.  $-36,3$  dB. Gemäss der Berechnung wird dieser Wert mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % eingehalten, es handelt sich also um den *Medianwert*. Bei der Planung ist

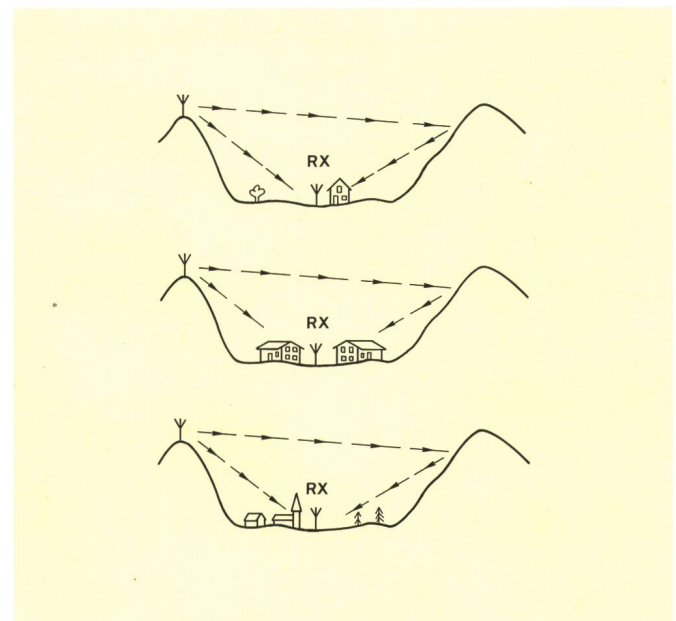


Fig. 2 Einfluss der näheren Umgebung auf das Amplitudenverhältnis (Echo/direktes Signal)



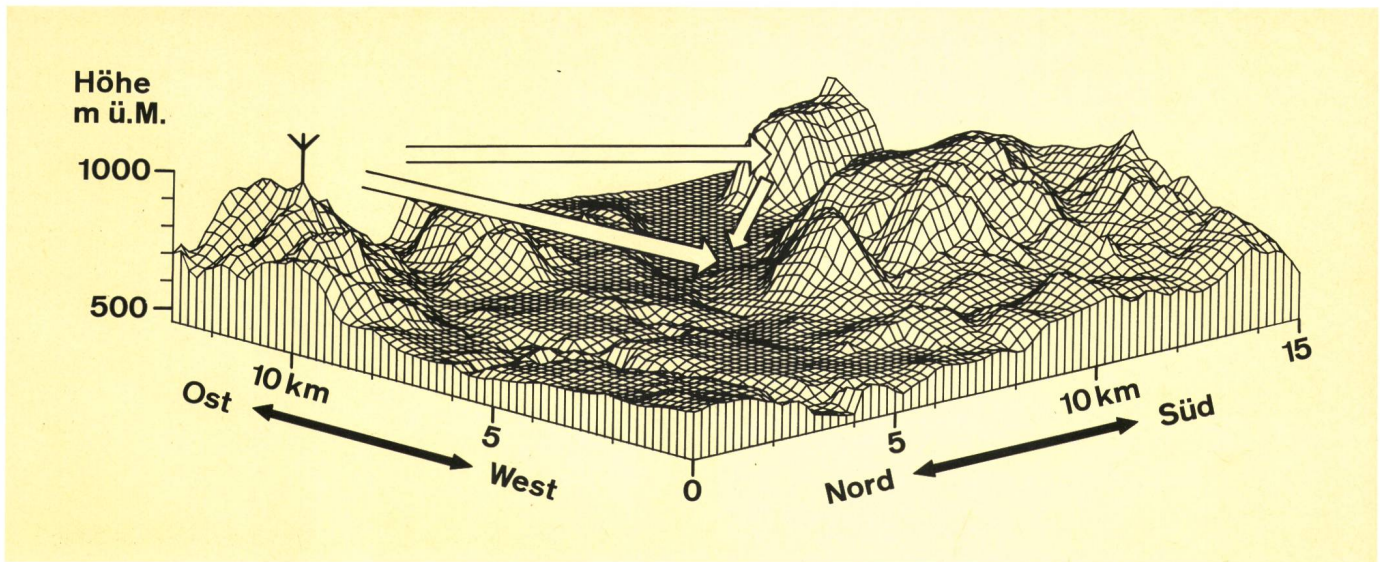


Fig. 3  
Relief mit Beispiel möglicher Signalwege

nun aber von Interesse, welche Werte auch in etwa 10 % der Fälle noch nicht überschritten werden. Alleine der statistischen Streuung  $\sigma$  der Rayleigh-Verteilung von 5,6 dB wegen treten mit den Wahrscheinlichkeiten von 16 % bzw. 7 % jedoch Leistungsverhältnisse von mehr als  $(-36,3 + 5,6 = -30,7)$  dB bzw.  $(-36,3 + 8,4 = -27,9)$  dB auf. Auch diese Grössenverhältnisse geben noch nicht zu Besorgnis Anlass.

Bei Empfang mit einer Fahrzeugantenne in 1,5 m über Boden sind die in Figur 1 angegebenen Daten mitzuberechnen. In kleinstädtischen Gebieten beträgt der Medianwert der Dämpfung also rund 23 dB und die statistische Streuung ist etwa 7 dB [4]. Für den vorhin berechneten Medianwert von  $Q = -36$  dB und die mediane Dämpfung von 23 dB ergibt sich in dieser Umgebung für den Quotienten  $Q$  ein Medianwert von  $-13$  dB, und an Empfangsorten *mit guter Sicht zum streuenden Geländehindernis* ist ferner die statistische Streuung  $\sigma = \sqrt{5,6^2 + 7^2}$  dB = 9 dB. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 16 % bzw. 7 % werden somit Leistungsverhältnisse von  $(-13 + 9 = -4)$  dB bzw.  $(-13 + 13,5 = +0,5)$  dB an diesen Orten zu beobachten sein. Bei freier Sicht auf Geländestreureflexionsflächen und gleichzeitiger Behinderung des Empfangs des «direkten» Signals sind also deutlich ungünstigere Bedingungen möglich.

### 3 Experimentelle Untersuchungen

#### 3.1 Messverfahren

Das zur experimentellen Untersuchung verwendete Verfahren basiert auf der Analyse empfangener Fernsehzeilen mit bekannter Modulation [6]. Bei Benützung bestehender Fernsehsender können damit an verschiedenen Orten Messungen im Bereich von 50 MHz... 700 MHz durchgeführt werden. Die besondere Modulation von 2 N aufeinanderfolgender Fernsehzeilen erlaubt Beobachtungen von bis zu  $N \times 64 \mu s$  verzögerten Echos. Wie eine Kontrolle für  $N = 1$  ergeben hat, sind Echos mit einer relativen Amplitude von  $-35$  dB noch erfassbar.

Die Übertragungsfunktion eines Funkkanals, die linearen Verzerrungen und die Tiefpass-Impulsantwort sind je gleichwertige Informationen und werden mathematisch durch komplexe Funktionen dargestellt. Zu ihrer Bestimmung sind komplexe Werte (z. B. Amplitude und Phase) zu messen und zu verarbeiten. Anstelle des Real- und Imaginärteils dürfen jedoch auch deren Linearkombinationen, wie die Inphase- und Quadraturkomponente des Fernsehsignales, benützt werden. Am Empfangsort sind deshalb diese beiden Komponenten mit einem Transientenrecorder (20 MHz, 8 bit) erfasst und anschliessend in einem Rechner (PC: 256 kBytes) verarbeitet worden. Wie bei allen Messungen von Verzerrungen (linearer und nichtlinearer Art) ist das gesendete Signal bekannt, und die Übertragungsfunktion lässt sich aufgrund des empfangenen Signals bestimmen. Der Einfachheit halber werden im folgenden nur die Zeitverläufe der berechneten Beträge der Impulsantworten diskutiert (vergleiche auch [7]).

Für die ersten Versuche ist der sich auf dem höchsten Punkt der Umgebung von Bern befindende TV-Sender Bantiger (210 MHz) benützt worden. Von einem Sendort in tieferer Lage aus wären einerseits die Geländehindernisse etwa gleich angestrahlt worden, und es hätten sich deshalb auch gleich starke Geländereflexionen ergeben, während andererseits das direkte Signal, der niedrigeren Senderhöhe wegen, grössere Beugungsdämpfungen erfahren hätte. Bei Abstrahlung der Signale durch einen Stadtsender wären somit *bezüglich des direkten Signals* stärkere Geländereflexionen empfangen worden. Eine Turnstile-Antenne – d. h. ein Kreuzdipol mit horizontaler Rundstrahlcharakteristik – in 2 m Höhe diente als Empfangsantenne. Nur Messorte, an denen beispielsweise eine befriedigende Qualität von Mobilfunkverbindungen erwünscht ist, sind berücksichtigt worden. Der naturgegebenen örtlichen Feinstruktur wegen wurden an diesen 27 Orten im Abstände von je etwa 1,6 m bis zu 36 Messungen durchgeführt (total 952).

Die stark überhöhte Reliefdarstellung in *Figur 3* dient als Beschreibung der topographischen Verhältnisse. Voralpen und Jura liegen 25 km von Bern entfernt und sind



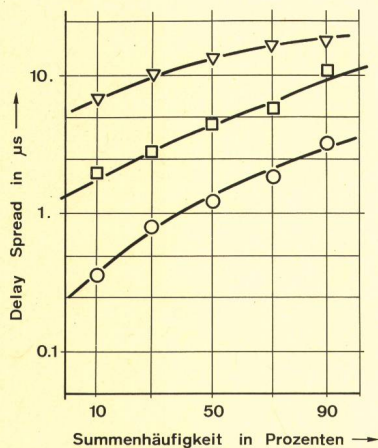


Fig. 4  
Wahrscheinlichkeitsverteilung des Delay Spread S  
○ 322 Messungen an günstigen Orten  
□ 316 Messungen an «mittleren» Orten  
▽ 314 Messungen an relativ ungünstigen Orten

hier deshalb nicht von Bedeutung. Der Höhenbereich der Umgebung von Bern beträgt 550 m...950 m ü. M.: Die kleinen Berge und Hügel sind teilweise bewaldet und voneinander um 5 km...10 km entfernt. In Lausanne, Genf und Luzern wären wesentlich intensivere und stärker verzögerte Geländestreureflexionen zu erwarten (grössere Raumwinkel und Entfernungen). Die Umgebung von Bern kann als Beispiel mittlerer Verhältnisse betrachtet werden.

### 32 Statistiken zur Beschreibung der Grössenordnungen

Statistiken sind für physikalische Erklärungen und technische Berechnungen von bedingtem Nutzen, erlauben jedoch einen anschaulichen Vergleich der Grössenordnungen. Für die Bedingungen innerhalb der Städte stellt der Delay Spread S eine gebräuchliche Grösse zur Charakterisierung der Ausbreitungsverhältnisse dar. Wenn mit  $E(\tau)$  die Amplitude der Impulsantwort mit der Verzögerung  $\tau$  bezeichnet wird, so ist bezüglich der Zeit T das k-te Moment  $m_k$

$$m_k = \int E^2(\tau) \cdot (\tau-T)^k \cdot d\tau \quad (4)$$

Wird T so gewählt, dass das erste Moment  $m_1$  verschwindet, spricht man von zentralen Momenten, und der Delay Spread S ist dann durch Formel (5) definiert:

$$S = \sqrt{m_2/m_0} \quad (5)$$

Unter Benützung des Delay Spread S als Grösse zur Klassifizierung sind die folgenden Gruppen von je neun Empfangsorten gebildet worden:

- A) günstige Empfangsorte (Medianwert  $S = 1,3 \mu s$ )
- B) «Mittlere Bedingungen» (Medianwert  $S = 4,2 \mu s$ )
- C) ungünstige Empfangsorte (Medianwert  $S = 13 \mu s$ )

Die Summenhäufigkeiten der Delay Spreads S dieser drei Gruppen sind in Fig. 4 aufgezeichnet. Man erkennt, dass die Gruppe A) den Messungen von Cox und Leck [3] entspricht. Wie eine Nachprüfung «überraschenderweise» ergeben hat, besteht von diesen Punkten aus eine gute Verbindung zum Sender, oder die Sicht zu potentiellen Geländestreureflexionsflächen sowie zum Sender ist durch Häuserreihen verdeckt. Die Messungen an Orten der Gruppe A) sind also unter äquivalenten Bedingungen wie diese in New York durchgeführt worden. Aus Fig. 4 ist aber auch ersichtlich, dass an vielen Punkten, an denen eine gute Qualität von Mobilfunkverbindungen erwünscht ist, der Delay Spread S um eine Grössenordnung höher ist als innerhalb von Städten.

### 33 Örtliche Variation der Empfangsverhältnisse

Planungsarbeiten müssen aufgrund von Statistiken – wie beispielsweise in Fig. 4 gezeigt – erfolgen. Um aussagekräftige Statistiken zu erhalten, sind diese bezüglich bestimmter Übertragungsmethoden und Ausbreitungsbedingungen zu erstellen. Der unvermeidbare Informationsverlust zeigt sich u. a. darin, dass die Ergebnisse für andere Arten von Fernmeldesystemen nicht mehr unbedingt von Bedeutung sein müssen. Es wird im folgenden gezeigt, wie die Empfangsverhältnisse von Punkt zu Punkt stark variieren können und deshalb Statistiken mit der entsprechenden Vorsicht zu benützen sind.

Die Figuren 5 und 6 zeigen je drei Impulsantworten an zwei um 200 m entfernten Orten in der Nähe des Flugplatzes Belp-Bern. Der Weg der um  $22 \mu s$  verzögerten Reflexion ist auf dem Relief von Fig. 3 eingezeichnet; zusätzlich sind Streureflexionen vom nahen südlichen Hang von Bedeutung. Wie ersichtlich, ändern sich infolge unterschiedlicher Überlagerung der Streureflexionen die Verhältnisse schrittweise. Aufgrund der Figuren 5 und 6 ist aber der typische Unterschied der Empfangsverhältnisse an den beiden Orten erkennbar.

Die in Fig. 5 dargestellten Resultate sind an einem Ort mit Sichtverbindung zum Sender erhalten worden. Bezüglich eines Referenzpegels weist das direkt empfangene Signal den Wert von rund  $-20 \text{ dB}$  auf; die nahen Reflexionen mit Verzögerungen bis  $7 \mu s$  erscheinen um weitere  $20 \text{ dB}$  geringer. Im Vergleich zu diesen Signalen sind stärker verzögerte Echos vernachlässigbar. Nach einer Fahrtstrecke von 200 m wird das sogenannte direkte Signal um eine Beugungsdämpfung von etwa  $10 \text{ dB}$  schwächer empfangen (also relativ  $-30 \text{ dB}$ ), und auch die nahen Reflexionen zeigen etwas andere Werte (Fig. 6). Nun werden aber an diesem Orte die um  $22 \mu s$  verzögerten Signale etwas besser empfangen und sind nur noch um  $10 \text{ dB} \dots 15 \text{ dB}$  geringer als das direkte Signal. Merkbare Ausbreitungsverzerrungen dürfen hier nicht mehr ausgeschlossen werden. Nach einer weiteren Fahrtstrecke können sich die Verhältnisse erneut ändern.

### 4 Schlussbemerkungen

Durch experimentelle Ergebnisse und einfache Überlegungen ist gezeigt worden, wie im VHF/UHF-Gebiet deutliche Geländereflektionen auftreten und sich die



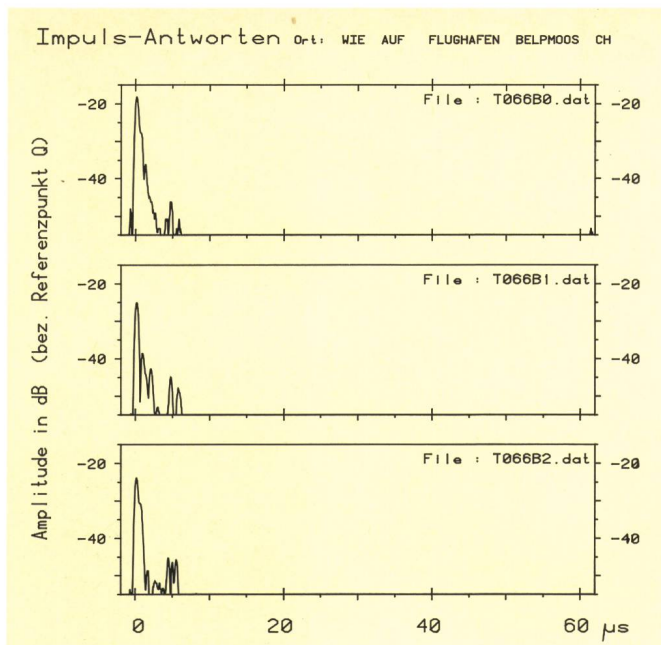


Fig. 5  
Impulsantworten an günstigem Empfangsort (Flugplatz Belpmoos)

Empfangsverhältnisse von Ort zu Ort stark ändern können. Massgebend für Ausbreitungsverzerrungen sind einerseits das Verhältnis der Reflexionsleistungen zur Leistung des direkten Signals und andererseits die Verzögerungszeiten.

In den Abschnitten 23 und 33 ist dargelegt worden, wie das Leistungsverhältnis zwischen den reflektierten Signalen und dem direkten Signal innerhalb kurzer Streckenabschnitte leicht um 30 dB und mehr variieren kann. In manchen Fällen sind die beobachteten Reflexionen auch grösser als das direkte Signal gewesen. Es stellt sich dabei die Frage nach der zweckmässigen Definition des «Hauptsignals».

Der topographischen Struktur wegen treten Geländereflexionen mit Verzögerungen von mehr als 5  $\mu\text{s}$  auf. Dies ist die Ursache der hohen Delay Spreads  $S$  in hügeligem Gelände (vergleiche 32). In der Umgebung von Bern sind im allgemeinen Verzögerungen von 10  $\mu\text{s}$ ...30  $\mu\text{s}$  beobachtet worden. In Lausanne und entlang des Jurasüdfusses sind solche von über 50  $\mu\text{s}$  zu erwarten. Damit ist auch verständlich, dass ein im Flachland benützbare Funksystem nicht unbedingt im schweizerischen Mittelland oder gar in den Bergen funktionstüchtig sein muss.

Die ausserhalb der Stadt beobachteten Impulsantworten unterscheiden sich nicht nur quantitativ – z. B. durch den Wert  $S$  –, sondern auch qualitativ von den Ergebnissen im Stadttinnern (vergleiche [3]). Diese Unterschiede werden u. a. mit den Figuren 5 und 6 illustriert. Damit stellt sich die Frage nach den zweckmässigsten Parametern zur Beschreibung der Ausbreitungsverhältnisse.

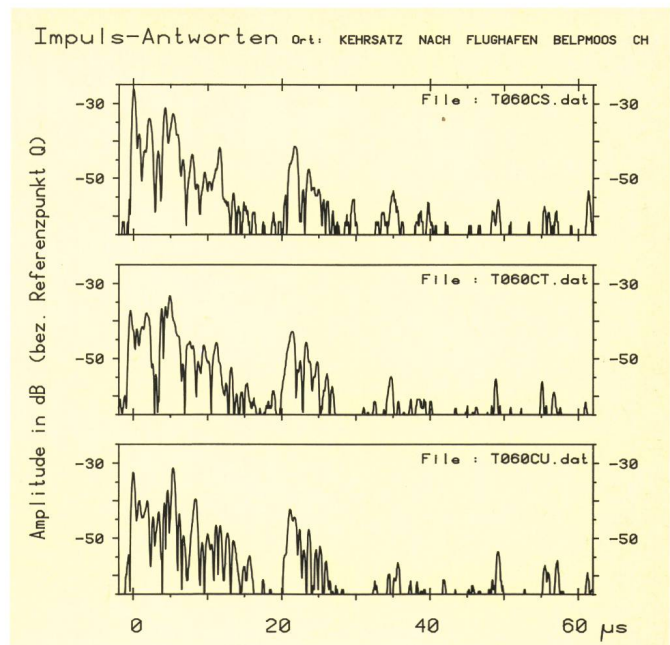


Fig. 6  
Impulsantworten an ungünstigem Empfangsort (Kehrsatz/Belpmoos)

Welche charakterisierenden Werte der Übertragungsfunktion bei Breitbandübertragungen von Bedeutung sind, hängt vom gewählten Modulationsverfahren ab. Die Übertragungssicherheit kann deshalb hier nicht allgemein diskutiert werden. Die Aufgabe aber, Methoden zur Kompensation von Ausbreitungsverzerrungen zu entwickeln, ist schwierig und stellt eine Herausforderung dar.

#### Bibliographie

- [1] Kerr D. E. Propagation of Short Radio Waves. New York 1951.
- [2] Reed H. R. and Russell C. M. Ultra High Frequency Propagation. New York 1966.
- [3] Cox D. C. and Leck R. P. Distribution of Multipath Delay Spread and Average Excess Delay for 910 MHz Urban Mobile Radio Paths; IEEE Transactions on Antennas and Propagation. New York AP 23 (1975) 2, p. 206.
- [4] Debrunner W. E. Experimental Data on the 'Aerial Height Gain' and the Attenuation due to Surrounding Obstacles in Band II; Report No VD11.1031 C (10 April 1984) of the R + D Division of the Swiss PTT Berne.
- [5] Debrunner W. E. Berechnung des Empfangspegels von Gelände-Reflexionsstreuungen; Bericht Nr. VD11.1066 U (7. April 1986) der Abteilung F+E der Generaldirektion PTT, Bern.
- [6] Zogg A. Reflexionsmessungen mit Fernsehstestzeilen: Messverfahren; Bericht Nr. VD11.1053 U (5. Juli 1985) der Abteilung F+E der Generaldirektion PTT, Bern.
- [7] Zogg A. Reflexionsmessungen mit Fernsehstestzeilen: Echodiagramme der 1. Messkampagne (Bantiger TV K 10); Bericht Nr. VD11.1045 U (19. April 1985) der Abteilung F+E der Generaldirektion der PTT, Bern.