

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:	66 (1988)
Heft:	6
Artikel:	Messung von Geländereflexionen im UKW-Bereich
Autor:	Zogg, Andreas / Debrunner, Walter E.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-876249

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: 19.02.2026

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

Messung von Geländereflexionen im UKW-Bereich

Andreas ZOGG, Azmoos, und Walter E. DEBRUNNER, Bern

Zusammenfassung. Die Analyse von Fernseh-Testzeilen erlaubt die massgebenden Geländereflexionen bezüglich Amplitude, Phase und Verzögerungszeit zu bestimmen. Mit den heute verfügbaren Messgeräten und Personalcomputern können diese Untersuchungen im Felde ausgeführt werden. Nach der Beschreibung der Messmethode werden typische Resultate angegeben. Die Diskussion zeigt, dass schon in hügeligem Gelände die bloss in Grossstädten ermittelten Statistiken über Mehrwegeempfang für die Systemplanung nicht genügen.

Mesures de réflexions sur le terrain dans la bande des OUC

Résumé. En analysant les lignes de test de la télévision, il est possible de déterminer les réflexions sur le terrain significatives en ce qui concerne l'amplitude, la phase et le retard de propagation. Grâce aux instruments de mesure et aux ordinateurs personnels dont on dispose aujourd'hui, il est possible de réaliser ces examens en campagne. L'auteur décrit la méthode de mesure et indique des résultats typiques. La discussion montre que les statistiques sur la réception par trajets multiples faites uniquement dans les grandes villes ne suffisent plus pour assurer la planification du système en terrain vallonné.

Misura delle riflessioni sul terreno nella gamma OUC

Riassunto. L'analisi di linee di test televisive permette di determinare le riflessioni sul terreno per quel che riguarda l'ampiezza, la fase e il tempo di ritardo. Con gli apparecchi di misura e i PC attualmente disponibili queste prove possono essere svolte in campo. Gli autori descrivono il metodo di misura e forniscono i risultati tipici. La discussione mostra che le statistiche sulla ricezione per cammini multipli allestite solo nelle grandi città non bastano già più per pianificare il sistema su terreno collinoso.

1 Einleitung

Im Frequenzbereich 50 MHz...1000 MHz sind in unserem Lande die Empfangsbedingungen primär durch die Topographie und die nähere Umgebung von Sender und Empfänger bestimmt. Erst bei Entfernungen über 70 km wird der Einfluss meteorologischer Bedingungen merkbar. Damit ist es auch nicht verwunderlich, wenn beispielsweise die drahtlose Fernsehversorgung in hügeligen Regionen deutlich grössere Probleme als in flachen Ländern stellt.

Verringerungen der Empfangsfeldstärke infolge der «Abschattung» durch Geländehindernisse können bei Verwendung besserer Antennen und bei höheren Senderleistungen teilweise kompensiert werden. Schwieriger ist allerdings die Unterdrückung der Geisterbilder und die Vermeidung von Ausbreitungsverzerrungen im UKW-Hörfunk. Entsprechend diesen Erfahrungen ist bei der Anwendung der heute realisierbaren Breitbandverfahren örtlich ein unbefriedigender Empfang zu befürchten.

Bekanntlich setzt bei der leitergebundenen Übertragung die Anwendung moderner Verfahren zunehmend höhere Anforderungen an die Kabel voraus. Der in der Radiotechnik als Übertragungsmedium benutzte «Äther» ist jedoch naturgegeben. Deshalb können neue Konzepte für drahtlose Verbindungen nur in dem Masse von praktischem Nutzen sein, als den Ausbreitungsphänomenen Rechnung getragen wird. Um aber nicht erst nachträglich die Auswirkungen der Ausbreitungsmechanismen festzustellen, ist ein Messverfahren zur (vorgängigen) Bestimmung der Empfangsbedingungen für Breitbandsysteme entwickelt worden.

2 Aufgabenstellung

Ein wesentlicher Unterschied zwischen Kabel- und Radioverbindungen besteht darin, dass bei der Funkübertragung die Signale vom Sender simultan auf Wegen sehr unterschiedlicher Länge zum Empfänger gelangen können, also *Mehrwegeempfang* auftritt. Strahlt der Sender einen Nadelimpuls aus, so trifft vorerst auf dem

kürzesten Weg das direkte Signal am Empfangsort ein. In der Folge werden aber noch von den verschiedenen Reflexionsstellen – wie grossen Gebäuden, Hügeln und Bergen – viele Echos von unterschiedlicher Amplitude und Phase empfangen. Deshalb unterscheidet sich das Empfangssignal auch wesentlich vom ausgestrahlten Nadelimpuls und wird allgemein als Impulsantwort bezeichnet.

Beispiele solcher Impulsantworten $h(\tau)$ sind auf den obersten Bildern der Figuren 2...5 zu finden. Dabei ist τ die seit dem Eintreffen des direkten Signals verstrichene Zeit, also die relative Verzögerungszeit (hier in der Grösse von 0 μs ...40 μs). Die Amplitude h des nach der Verzögerungszeit τ eintreffenden Echos wird als Zeitfunktion $h(\tau)$ betrachtet. Bei bekannter Impulsantwort $h(\tau)$ lassen sich gemäss Formel (1) die Empfangssignale $y(t)$ für beliebige Sendesignale $x(t)$ berechnen. Allerdings genügt es nicht, bloss die Amplituden zu berücksichtigen, sondern es ist auch den Phasen Rechnung zu tragen. Im Fachjargon nennt man die komplexen Funktionen $x(t)$ bzw. $y(t)$ die komplexen Hüllkurven des Sende- bzw. des Empfangssignals [8]. Die komplexe Impulsantwort $h(\tau)$ beschreibt eindeutig die Empfangsverhältnisse, und die Aufgabe besteht nun darin, diese für gegebene Sende- und Empfangsorte experimentell zu bestimmen.

$$y(t) = \int_0^{\infty} x(t-\tau) \cdot h(\tau) d\tau \quad (1)$$

3 Grundlagen

Die Bestimmung der Impulsantwort $h(\tau)$ entspricht der Messung der Übertragungsfunktion. Dabei basieren all die verschiedenen Verfahren darauf, dass bei einem bekannten Eingangs- oder Sendesignal das sich ergebende Ausgangs- oder Empfangssignal analysiert wird. Wie darauf hingewiesen worden ist, sind im vorliegenden Fall nicht bloss Amplituden, sondern auch Phasen zu bestimmen. Solche Messungen sind dann einfach,

wenn – wie im Labor – ein direkter Zugang zu den Ausgangs- wie den Eingangsklemmen des Prüflings besteht. Bei der Untersuchung von Funkverbindungen ist aber leider eine solche gleichzeitige Verbindung zu Sender und Empfänger über HF-Kabel allein der Distanzen wegen unmöglich. Die Besonderheit der zu beschreibenden Messmethode besteht nun in der Umgehung dieser Schwierigkeit. Das auf mathematischen Beziehungen [8] basierende Verfahren ist dank den heutigen Messgeräten und PCs realisierbar geworden.

Werden mit $Y(f)$, $X(f)$ und $H(f)$ die Fouriertransformierten der in Formel (1) benutzten komplexen Zeitfunktionen $y(t)$, $x(t)$ und $h(t)$ bezeichnet, so kann die Beziehung (1) im Frequenzbereich als

$$Y(f) = X(f) \cdot H(f) \quad (2)$$

geschrieben werden. In der Funkversorgung existieren stets wieder Orte mit idealen Empfangsbedingungen, d. h. praktisch ohne Mehrwegeempfang. An diesen Stellen ist die Impulsantwort $h(\tau)$ ein Nadelimpuls, und folglich wird deren Fouriertransformierte $H(f) = H_0$ = konstant. Die Messungen sind auf solche *ideale* Bedingungen zu beziehen, und es gilt in diesen besonderen Fällen für die Fouriertransformierte des Empfangssignals

$$Y_0(f) = X(f) \cdot H_0 \quad (3)$$

Da alle Messungen mit *demselben* Sendesignal $x(t)$ durchgeführt werden sollen, folgt aus (2) und (3)

$$H(f) = \frac{Y(f)}{Y_0(f)} \cdot H_0 \quad (4)$$

Die gesuchte Impulsantwort $h(\tau)$ kann nun mit der inversen Fouriertransformation aus $H(f)$ erhalten werden. Damit ist die Idee der Messmethode beschrieben.

4 Durchführung der Messungen

In einer ersten Versuchsreihe ist der Empfang von (gleichbleibenden) Testzeilen eines TV-Bildes analysiert worden. Die Messung von Real- und Imaginärteil der komplexen Hüllkurve $y(t)$ ist empfangsseitig in der Praxis zumindest schwierig. Das Inphase- und das Quadratursignal [9] sind jedoch Linearkombinationen des Real- und Imaginärteiles von $y(t)$. Deshalb darf man $y(t)$ durch

die Funktion $z(t)$ ersetzen, deren Real- bzw. Imaginärteil durch das Inphase- bzw. das Quadratursignal des empfangenen TV-Bildes definiert ist.

Damit sich bei der rechnerischen Auswertung nur geringe Ungenauigkeiten ausbilden können, soll die ausgestrahlte Testzeile ein gleichmässiges Spektrum aufweisen. Dies ist bei der Verwendung geeigneter Pseudo-random-Pulsserien möglich. Ein Satz von n zusammenhängenden Testzeilen muss anschliessend repetiert werden. Der zweite wiederholte Testzeilensatz wird empfangsseitig analysiert. Die gleichzeitig empfangenen Echos mit Verzögerungen bis zu $n \cdot 64 \mu\text{s}$ röhren nur vom ersten Testzeilensatz her.

Bei einer Bandbreite von 6 MHz des Fernsehsignals genügt eine Abtastrate von 20 MHz für die (zeitbegrenzte) Registrierung des Inphase- und des Quadratursignals. Die heute verfügbaren Transientenrecorder weisen zudem Auflösungen von mindestens 8 Bit auf. Es ist empfehlenswert, den Beginn der Registrierungen durch einen zusätzlichen TV-Empfänger mit gut positionierter Antenne von hohem Gewinn zu synchronisieren.

Die registrierten Daten können bereits auf einem PC ausgewertet werden, und FFT-Programme ermöglichen eine rasche Verarbeitung. Nach Fehlerabschätzungen lassen sich bei Registrierungen mit 8 Bit und $n = 1$ die gesuchten Impulsantworten mit Genauigkeiten von -34 dB , d. h. 2 %, angeben.

5 Feldversuche

Die ersten Feldmessungen sind in der Stadt Bern und deren Umgebung durchgeführt worden. Jura und Voralpen sind mehr als 25 km entfernt und deshalb ignorierbar. Die Höhen der Umgebung von Bern variieren zwischen 500 m und 950 m ü. M. Die Entfernung zwischen den einzelnen kleinen Höhenzügen betragen 5 km...10 km. Als Sender ist der TV-Sender Bantiger (Kanal 10: 209 MHz...216 MHz) benutzt worden. Bei Benutzung eines Senders auf niedrigerer Höhe hätten sich *ungünstigere* Empfangsverhältnisse ergeben, denn während die empfangenen Reflexionsleistungen keine grossen Änderungen erfahren hätten, wären die direkten Signale stärker gedämpft worden.

Auf Figur 1 ist ein typisches Geländeprofil dargestellt. Man erkennt, dass die relativen Verzögerungszeiten leicht mehr als $10 \mu\text{s}$ betragen können. Für den Empfang ist eine Turnstile-Antenne (mit Rundstrahlungsdigramm) in 2 m Höhe über Boden verwendet worden. Damit stellen diese ersten Messergebnisse auch Anhaltspunkte für die Empfangsbedingungen im Mobilfunk dar.

Von über 900 Messungen an 28 verschiedenartigen Orten sind auf den Figuren 2...5 einige typische Resultate dargestellt. Als erstes wird je oben die ermittelte Impulsantwort für Verzögerungszeiten von $0 \mu\text{s}...40 \mu\text{s}$ und dem relativen Amplitudenbereich von 30 dB gezeigt. In der Systemplanung interessiert man sich sehr um den Frequenzgang. So sind (bezüglich der Seitenbänder) für den Frequenzbereich bis 1 MHz in der Figurenmitte der Amplitudengang und unten die Gruppenlaufzeitverzerrungen angegeben.

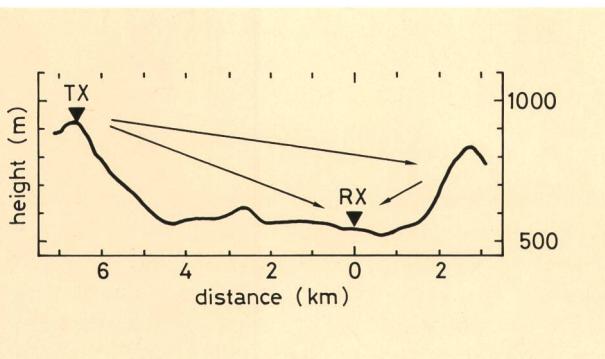


Fig. 1
Typisches Geländeprofil

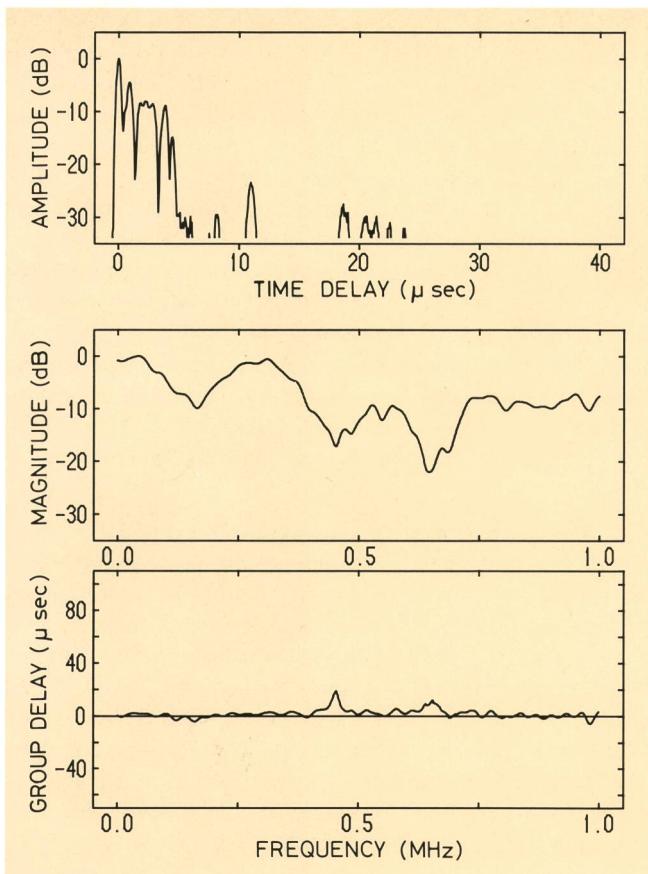


Fig. 2
Echogramm und Übertragungsfunktion bei Empfang innerhalb der Stadt Bern

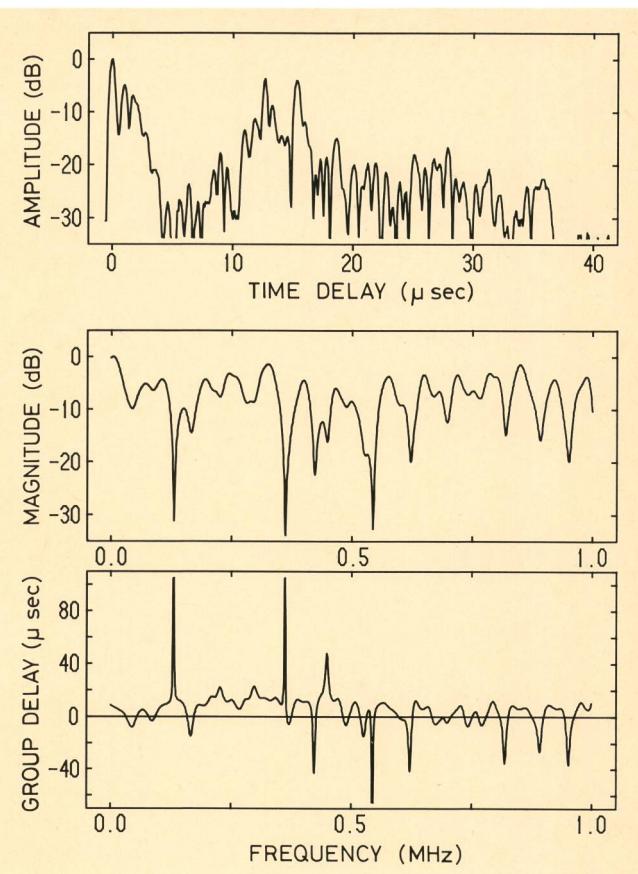


Fig. 3
Echogramm und Übertragungsfunktion (Elfenau I). Messort innerhalb des «Sichtbereiches» des Senders mit gleichzeitigem ungestörtem Empfang von Geländereflexionen

Figur 2 zeigt Verhältnisse innerhalb der Stadt (südlich Gewerbeschule Bern). An diesem Ort sind die umliegenden Geländeerhebungen durch Gebäude abgedeckt. Nur gerade die höchsten Punkte des Gurtens sind sichtbar; von dort röhren auch die relativ geringen, um 20 μ s verzögerten Reflexionen her. Die stärkeren Echos mit Verzögerungszeiten bis 6 μ s werden von Fassadenfronten der Altstadt zurückgeworfen. Bezüglich der Messungen von Cox [1, 3] bestehen keine wesentlichen Differenzen.

Die Figuren 3 und 4 stellen die Empfangsbedingungen an zwei voneinander um 1,7 m entfernten Punkten in einem Vorortsquartier dar (Elfenau, Manuelstrasse 103). Es handelt sich um eine Einfamilienhauszone innerhalb des sogenannten Sichtbereichs des Senders Bantiger; allerdings können Hindernisse der näheren Umgebung (Häuser) die direkte Sicht behindern. Von den Messpunkten aus besteht eine ungestörte Sicht auf den Berner Hausberg Gurten. Man beachte nicht bloss die relativ starken Reflexionen, sondern auch die sich bereits bei kleinen Verschiebungen (1,7 m) des Empfangsort ergebenden Änderungen des Echogramms und des Frequenzganges.

Schliesslich sind auf Figur 5 die Verhältnisse auf der Verbindungsstrasse Bern–Muri (Thunstrasse 63) bei Abdeckung des Senders durch eine kleine Bodenerhebung und guter Sicht auf den Belpberg und den Gurten dargestellt. Die Reflexionen sind hier sogar grösser als das direkte Signal und weisen Verzögerungen bis über 35 μ s auf.

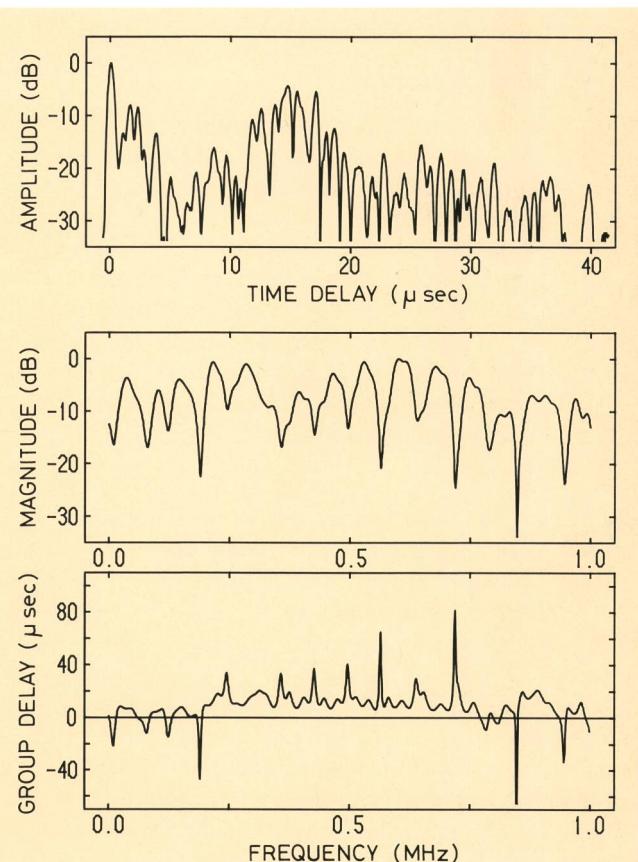


Fig. 4
Echogramm und Übertragungsfunktion (Elfenau II). Empfangsbedingungen wie bei Figur 3

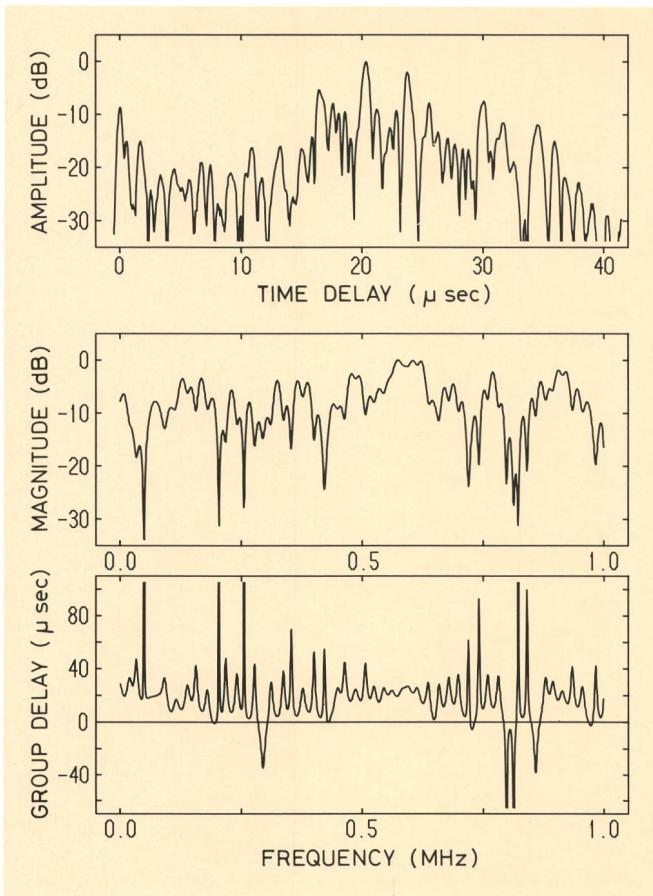


Fig. 5
Echogramm und Übertragungsfunktion, falls der Sender durch eine kleine Bodenerhebung verdeckt ist und freie Sicht auf Geländereflextionsstellen besteht

6 Schlussfolgerungen

Mit der Durchführung der Messungen ist einerseits die Realisierung der beschriebenen Messmethode mit heute erhältlichen Geräten dargelegt worden. Anderseits lässt eine *sorgfältige* Interpretation der Ergebnisse bereits allgemeine Schlussfolgerungen zu. Aufgrund anderer Ausbreitungsversuche ist vorerst festzuhalten, dass hier die Polarisation von sekundärer Bedeutung ist. Zu diskutieren ist die Frequenzabhängigkeit und die örtliche Variabilität. Grundsätzlich sind hier nicht die Beiträge, sondern die *Verhältnisse* zwischen dem direkten Signal und den Reflexionen von Bedeutung.

Die obigen Beispiele können lehren, wie die Phänomene der Reflexionen an Gebäuden, Hügeln und Bergen sowie die Beugungsdämpfung durch Hindernisse zu beachten sind. Während Reflexionen an Weidehängen und Wäldern mit wachsender Frequenz abnehmen, ist die Amplitude der Echos von Gebäuden und Felswänden praktisch frequenzunabhängig. Die Beugungsdämpfung an Hindernissen (beliebiger Art) nimmt jedoch stets mit der Frequenz zu. Die Frequenzabhängigkeiten der Beugungsdämpfung und der Reflexionsleistung können sich teilweise *kompensieren*. Röhren die Echos von Wäldern her, so sind bei höheren Frequenzen günstigere Empfangsverhältnisse zu vermuten. Bei Reflexionen von Felshängen treten aber mit zunehmender Frequenz schlechtere Verhältnisse auf.

Der Charakter der Messergebnisse hat offensichtlich vom Empfangsort abgehängt. Im Verlaufe der Arbeiten ist bald erkenntlich geworden, dass Empfangsorte mit *direkter* Sichtverbindung zum Sender oder verdeckter Sicht zu potentiellen Geländereflextionsstellen als «gut» zu bezeichnen gewesen sind (z. B. Fig. 2). «Ungünstige» Impulsantworten sind jedoch beobachtet worden, wenn einerseits zu den Geländeerhebungen (volle) freie Sicht bestanden hat und anderseits das direkte Signal durch (empfängernahe) Hindernisse eine Beugungsdämpfung erfahren hat. Die kritischen Empfangsorte befinden sich vielfach in den Vorstädten, im «Sendeschatten» grosser Gebäude und Bodenerhebungen. Oft ist auch ein rascher Wechsel zwischen «günstigen» und «ungünstigen» Empfangsorten festzustellen.

Die Umgebung von Bern darf als ein für die Schweiz typisches Gebiet gelten. Die Messergebnisse entsprechen aber nur solange den im Ausland durchgeföhrten Untersuchungen [1, 3, 6], als die Geländereflextionen vernachlässigt werden dürfen. Durch empfängernahe Hindernisse kann das direkte Signal jedoch um 20 dB...30 dB gedämpft werden. In diesen Fällen kommt eben den Geländereflextionen wesentliche Bedeutung zu. Wie oben dargestellt, befinden sich solche Orte durchwegs auch in Gebieten, in denen ein einwandfreier Betrieb von Mobilfunksystemen erwartet wird. Damit zeigen die Messresultate erneut, wie im UKW-Bereich die Empfangsverhältnisse stark von der Topographie abhängen.

Adressen der Autoren: A. Zogg, z. Z. Institut für Informatik, ETHZ, Zürich; W. E. Debrunner, GD PTT F+E, Bern

Bibliographie

- [1] Cox D. C. Delay doppler characteristics of multipath propagation at 910 MHz in a suburban mobile radio environment. IEEE transactions on antennas and propagation, New York, AP-20 (1972) 9, p. 625.
- [2] Christmas W. J. A method for measuring echoes in the multipath propagation of V.H.F. signals. BBC research department report, London, (1978) 1.
- [3] Cox D. C. A multipath delay spread and path loss correlation for 910 MHz urban mobile radio propagation. IEEE transactions on vehicular technology, New York, VT-26 (1972) 11.
- [4] Turin G. L. Introduction to spread-spectrum antimultipath techniques and their application to urban digital radio. Proceedings of the IEEE, New York, 68 (1980) 3, p. 328.
- [5] Bello P. Characterization of randomly time-variant linear channels. IEEE transactions on communications systems, New York, CS-11 (1963), p. 360.
- [6] Rees J. Measurements of the wide-band radio channel characteristics for rural, residential and suburban areas. IEEE transactions on vehicular technology, New York, VT-36 (1987) 1.
- [7] Debrunner W. E. and Zogg A. Übertragungsfunktionen bei Mehrwegeempfang in hügeligem Gelände. Techn. Mitt. PTT, Bern 65 (1987) 3, S 147.
- [8] Lüke H. D. Signalübertragung (Einführung in die Theorie der Nachrichtenübertragung). Springer, Berlin (1975).
- [9] Bernath K. W. Grundlagen der Fernseh-System- und -Schaltungstechnik. Springer, Berlin (1982), S. 113.