Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 69 (1978)

Heft: 16

Artikel: Wellenausbreitung und Störbeeinflussung beim Mobilfunk

Autor: Wey, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-914923

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: 10.12.2025

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

Wellenausbreitung und Störbeeinflussung beim Mobilfunk [1])

Von E. Wey

621.396.93:621.391.82;

Als Übersicht werden die Feldstrukturen und -statistiken auf Strassen, in Gebäuden und Tunnels zwischen 30 und 1000 MHz angegeben. Zum Testen der Systeme und Geräte wird dazu gezeigt, wie die Ausbreitungsschwankungen und die wichtigsten Impulsstörsignale mit Hilfe von Analogsimulatoren wirklichkeitsgetreu nachgebildet werden können. Für die Beurteilung der Interferenzstörungen durch fremde Funksignale werden die in der Schweiz gültigen Planungsgrössen erwähnt und erläutert.

Les structures et statistiques des champs dans les rues, les bâtiments et les tunnels sont indiquées pour 30 à 1000 MHz. Pour le contrôle des systèmes et des appareils, l'auteur montre comment les fluctuations de propagation et les principaux signaux d'impulsions perturbateurs peuvent être reproduits fidèlement par des simulateurs analogiques. Pour juger des interférences dues à d'autres signaux radio-électriques, les grandeurs de planification valables en Suisse sont mentionnées et expliquées.

1. Einleitung

Das Ziel jeder Mobilfunkplanung ist, eine zweckdienliche Nachrichtenübertragung innerhalb einer bestimmten Landzone zu schaffen. Damit eine Funkverbindung gut und zuverlässig ist, muss am jeweiligen Empfangsort eine ausreichende Feldstärke vorhanden sein, und die Störbeeinflussung darf ein bestimmtes Mass nicht überschreiten; andernfalls wird bei der Sprachübertragung die Verständlichkeit zu schlecht und bei der Zeichen- und Datenübertragung die Fehlerrate zu gross. Die erforderlichen bzw. zulässigen Grenzwerte hängen ganz wesentlich von der Systemwahl, der Gerätedimensionierung und der Verbindungsplanung ab. Um diesbezüglich richtige Entscheide fällen zu können, werden Erfahrungswerte und Grundkenntnisse aus experimentellen Untersuchungen benötigt. Im nachfolgenden wird eine kurze Zusammenfassung der von der PTT erarbeiteten Unterlagen gegeben. Es sind dies:

– die Feldstrukturen und Feldstärkestatistiken auf Strassen, in Gebäuden und Tunnels im Frequenzbereich von 30 bis 1000 MHz;

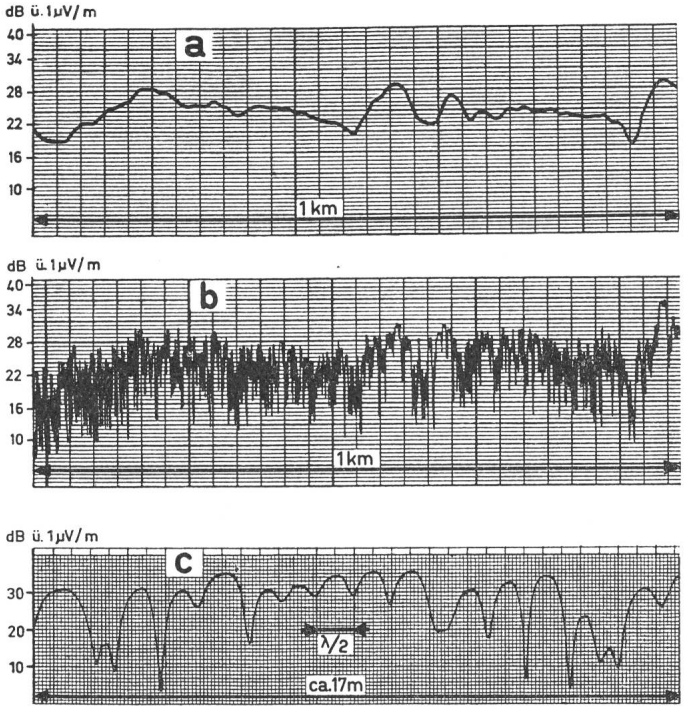

Fig. 1 Feldstärkeschwankungen auf einem Strassenstück von 1 km Länge
a Grobstruktur
b Grobstruktur und unvollständig wiedergegebene Feinstruktur
c Detail aus der Kurve b mit korrekt aufgezeichneter Feinstruktur

– Struktur und Statistik von breitbandigen Impulsstörfeldern;

– Planungsvorschriften und -richtlinien; Interferenzstörungen durch fremde Funksignale lassen sich mit Hilfe einer guten Frequenzplanung unter Beachtung der Vorschriften über die zugelassenen maximalen Störfeldstärken weitgehend vermeiden. Die in der Schweiz gültigen Forderungen werden angegeben und erläutert.

Zum Testen der Systeme und Geräte wird angegeben, wie die Ausbreitungsschwankungen und die wichtigsten Impulsstörsignale mit Hilfe von Analogsimulatoren wirklichkeitsgetreu nachgebildet werden können.

2. Ausbreitung und Verteilung der Feldstärke

2.1 Feldstruktur, Registrierung und Simulation

Theoretisch besteht die Möglichkeit, die Grössen eines Senderfeldes mit Hilfe der Maxwellschen Gleichungen und des Herzschen Vektors für jeden beliebigen Empfangsort zu berechnen. Vorausgesetzt wird dabei, dass die Einflüsse des Bodens und der Atmosphäre längs des Übertragungsweges genügend bekannt sind. Da bei den mobilen Funkdiensten der Standort der beweglichen Station jedoch fortwährend ändert, ist die rechnerische Bestimmung der Feldstärke praktisch undurchführbar. Man ist deshalb auf messtechnische Untersuchungen und statistische Beschreibungen angewiesen.

Durch Registrieren der Feldstärke in Funktion des zurückgelegten Weges entsteht ein Feldstärkewegdiagramm. Die Fig. 1 zeigt eine entsprechende Aufzeichnung von einem 1 km langen Strassenstück. Es ist auffallend, dass das Diagramm aus 2 Schwankungsarten zusammengesetzt ist. Die langsamen Schwankungen bilden die Grobstruktur, die schnellen die Feinstruktur des Feldes. Jene werden durch die dämpfende Wirkung von Geländeunregelmässigkeiten wie Häusern, Hügeln, Wäldern usw. verursacht. Die schnellen regelmässigen Einbrüche, die durch Bodenreflexionen am umliegenden Gelände entstehen, bilden die Feinstruktur.

Dieser Feldverlauf ist in Bodennähe für bewegte Empfänger typisch. Zum Festlegen der Funkversorgungs- und Senderstörbereiche benötigt man bei den immer wiederkehrenden Planungsaufgaben vor allem den Feldstärkemedianwert je km Fahrstrecke. Die Mittelwertbildung darf dabei an einer Grobstruktur-Registrierung vorgenommen werden, weil die Feinstruktur den Mittelwert fast nicht beeinflusst. Für die Aufteilung in 1 km lange Wegstücke sprechen vor allem zwei

[1]) Anlässlich der 33. STEN am 22. Juni 1978 in Luzern gehaltener Vortrag.

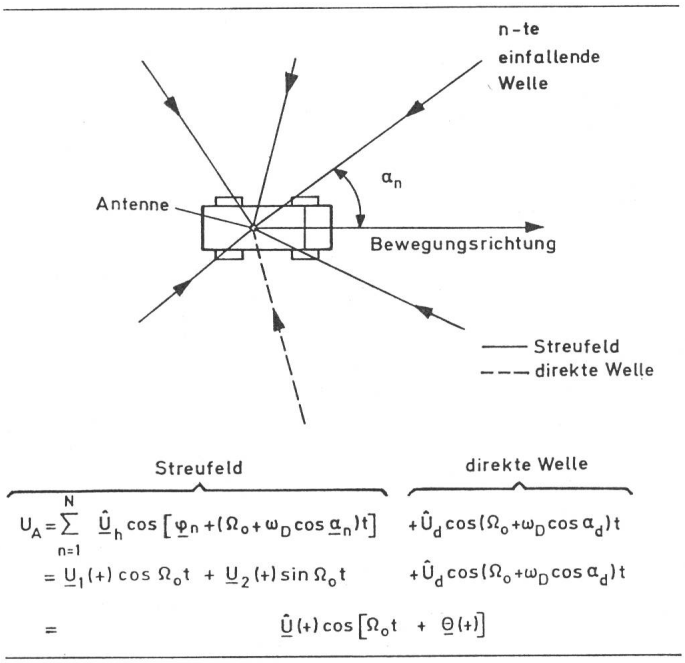

Fig. 2 Modell für den Mehrwegempfang beim Mobilfunk infolge von Reflexionen in der Umgebung des Empfangsortes

Gründe. Es ist einmal die Distanz, die ein Auto während eines Gesprächs im Mittel zurücklegt. Zum andern eignet sich diese Länge beim Erstellen von Feldstärkeplänen sehr gut für die maßstab- und ortsgetreue Übertragung der Feldstärke auf die topographische Karte.

Die ermittelten Medianwerte werden zu diesem Zweck in 10-dB-Stufen aufgeteilt. Man erhält eine besonders übersichtliche Darstellung, wenn die Feldstärkestufen durch unterschiedliche Farben gekennzeichnet werden.

Die Aufnahme solcher Feldstärkepläne kann sehr rationell durchgeführt werden, wenn man während der Fahrt die prozentuale Feldverteilung je km mit einem Statistikdrucker unmittelbar auf einen Papierstreifen druckt. Die PTT hat zu diesem Zweck ein geeignetes Gerät entwickelt [1] [2]). In Städten, Gebäuden und Tunnels wünscht man oft die prozentuale Feldverteilung von kürzeren Wegstücken. Das Gerät kann für diese Fälle umgeschaltet werden.

Für Vorabklärungen bei der Standortwahl der Fixstationen können sogenannte Schattenkarten erstellt werden. Zu diesem Zweck stehen beispielsweise eine digitale Koordinatenbank der Landestopografie und ein Computerprogramm bei M.O.R. [3]), Zürich, zur Verfügung. Eine messtechnische Nachkontrolle der Ausbreitung vom gewählten Standort aus ist angezeigt.

Für System- und Geräteprüfungen sind Feldversuche oft zu zeitraubend. Um diese auf ein Minimum beschränken zu können, hat die PTT auf Grund der bei früheren Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse einen Schwundsimulator entwickelt und gebaut [2]. Er gibt sowohl die Amplitude- als auch die Phasenschwankungen der Feinstruktur bei verschiedenen Empfängerfortbewegungs-Geschwindigkeiten wirklichkeitsgetreu wieder. Die langsamen Grobstrukturschwankungen lassen sich einfach durch Ändern der Übertragungsdämpfung zusetzen.

Der Simulation liegt die Beobachtung zugrunde, dass am Empfangsort wegen Geländereflexionen ein Streufeld von Wellen aus unterschiedlichen Richtungen entsteht (Fig. 2). Das Empfangssignal besteht daher aus einer Summe von Sinusschwingungen. Bei bewegtem Empfänger erfährt seine Frequenz eine Dopplerverschiebung von $f_D = (v/\lambda_0) \cos \alpha$. Das Streufeld entspricht deshalb einem bandbegrenzten Rauschsignal, das sich mathematisch in eine cos- und eine sin-Komponente mit unkorrelierten normalverteilten Amplituden zerlegen lässt. Die praktische Nachbildung führte zum Blockschema Fig. 3.

2.2 Feldstärke-Verteilungsstatistiken

Für die Geräteentwicklung und die Projektierung von Funkanlagen benötigt man nicht den streckenindividuellen Feldstärkeverlauf, sondern ausschliesslich die statistische Feldverteilung der Geländeabschnitte, in denen die mobilen Funkstationen verkehren. Die statistischen Parameter, die zu einer solchen Beschreibung erforderlich sind, können aus den Feldstärkeregistrierungen ermittelt werden. Auf kurzen Meßstrekken dominiert die Feinstruktur. Die Feldstärke ist in diesem Fall nach Rayleigh verteilt (Fig. 4), d.h. die Wahrscheinlichkeit, dass sie einen bestimmten Wert E überschreitet, beträgt:

$$P(E) = \exp[-(E/\bar{E})^2]$$

wobei $\bar{E}$ der Mittelwert von E ist.

Längere Wegstrecken setzen sich aus einer grösseren Zahl derartiger Verteilungen mit unterschiedlichen Mittelwerten zu einer neuen Stichprobe zusammen. Die Grobstrukturschwankung wird dann auch zu einer massgebenden Einflussgrösse. An Stelle der Rayleigh-Verteilung findet man in diesem Falle eine bessere Übereinstimmung mit der logarithmischen Normalverteilung.

$$P(u) = 1 - \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{u^2}{2}} \, du$$

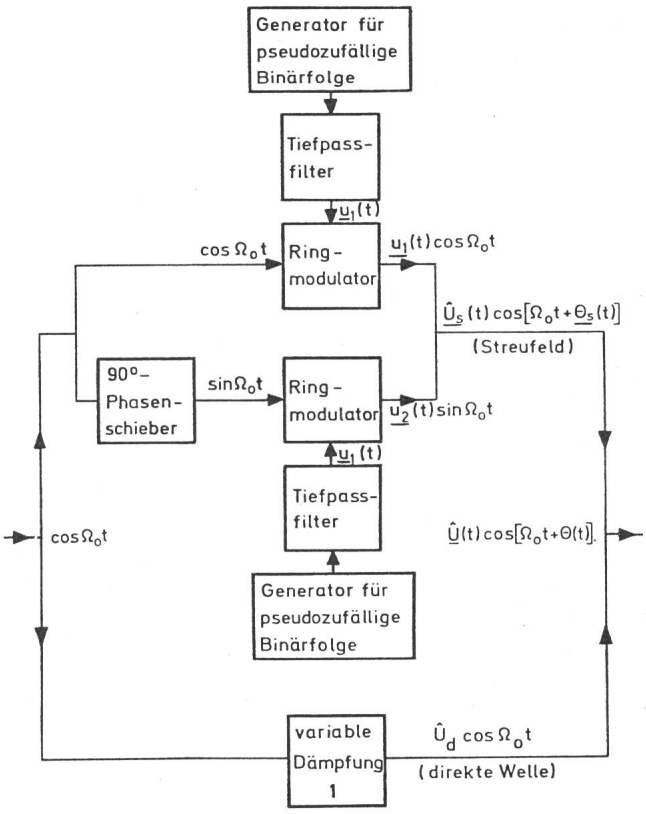

Fig. 3 Blockschema eines Simulators für Mehrwegempfangssignale

[2]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.
[3]) Studiengruppe «Operations Research» M.O.R.

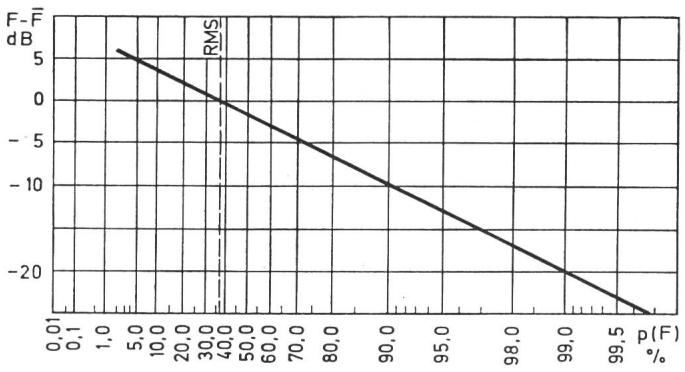

Fig. 4 Rayleigh-Verteilung: Wahrscheinlichkeit $p(F)$, mit der eine bestimmte Feldstärkeschwelle F überschritten wird

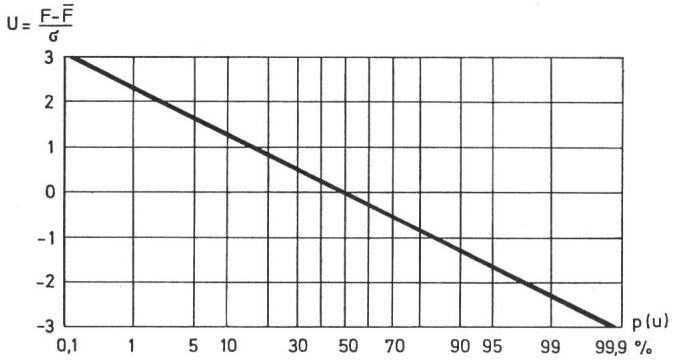

Fig. 5 Log. Normalverteilung: Wahrscheinlichkeit $p(u)$, mit der eine bestimmte Feldstärkeschwelle F überschritten wird

Die Wahrscheinlichkeit, dass der Logarithmus der Feldstärke einen bestimmten Wert F überschreitet, wird zweckmässigerweise normiert dargestellt. Zur graphischen Aufzeichnung (Fig. 5) wurden folgende Normierungsparameter verwendet:

$$u = (F - \bar{F})/\sigma \quad F = 20 \log (E/E_r)$$

Dabei bedeutet $\bar{F}$ den Mittelwert von F, σ die Streuung in dB und $E_r = 1\ \mu V/m$.

Für viele Betrachtungen ist es zulässig, die Rayleigh-Verteilung der Feinstruktur durch eine logarithmische Normalverteilung mit der Streuung $\sigma_F \approx 4...5$ dB anzunähern. Da die Schwankungen der Fein- und der Grobstruktur (σ_G) weitgehend unabhängig voneinander sind, ergibt sich durch ihr Zusammenwirken eine Gesamtstreuung σ_T

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_G^2 + \sigma_F^2}$$

Für einige typische Geländearten wurden die Feldstärkestreuungen experimentell ermittelt und statistisch ausgewertet. Das Ergebnis der Untersuchung ist in Tab. I zusammengestellt.

Ausser der Feldstärkeverteilung sollte man des öftern auch die Verteilung der reflexionsbedingten *Feldstärke-Einbruchsbreiten* kennen, z. B. für die Bearbeitung von Datenübertragungsproblemen. Die Kurven in Fig. 6 geben über die Wahrscheinlichkeit, dass eine bestimmte Einbruchsbreite auf einem 1 km langen Wegstück überschritten ist, Auskunft, und zwar in Funktion des Abstandes vom Feldstärkemittelwert. Es handelt sich dabei um typische Werte, die experimentell ermittelt wurden. Der Feldstärkeverlauf und die Anzahl Einbruchstellen einer Teilstrecke gehen annähernd aus der Feinstrukturregistrierung Fig. 1 hervor. Grundsätzlich ist die Feldstärkeverteilung auch zeitlichen Schwankungen unterworfen. Diese werden hauptsächlich durch die klimatischen und vegetativen Veränderungen im Übertragungsgelände sowie der Troposphäre hervorgerufen. Für die kurzen Übertragungsdistanzen des beweglichen Landfunks ist dieser Einfluss gegenüber den Schwankungen durch die fortwährende Standortverlegung jedoch vernachlässigbar klein.

2.3 Ausbreitungsdämpfung

Auf Strassen: Aus den Feldstärkeverteilungen der 1 km langen Wegstücke können auch die Mittelwerte aus Gebietsabschnitten, die gleich weit vom Sender entfernt sind, zu einer Stichprobe zusammengezogen werden. Die aus verschiedenen Stichproben erhaltenen Feldstärkemittelwerte lassen sich dann in Funktion des Senderabstandes darstellen. Eine entsprechende Auswertung von umfangreichen Messdaten aus dem gesamtschweizerischen Gelände lieferte die Unterlagen für Fig. 7. Es sind dabei die verschiedensten Fix-Senderstandorte mit ganz unterschiedlichen Antennenhöhen berücksichtigt worden. Bei stark coupiertem Gelände, wie es in der bergigen Schweiz vorliegt, ist die Verwendung einer fein abgestuften Antennenhöhe als Parameter für systemmässige Projektierungen nicht sinnvoll. Die geländebedingte Streuung der Median-

Typische Feldstärkestreuwerte — Tabelle I

Geländeart	σ_T
1 km lange Strassenstücke im Mittelland	4... 8 dB
10 km lange Strassenstücke in Alpentälern	5... 8 dB
Kreisfläche mit 5 km Radius im Mittelland	7...13 dB
Grössere Schweizer Städte	7...13 dB
Kreisringe von 1 km Breite in den Städten	8...13 dB
Stockwerkböden in Gebäuden (80...160 MHz)	6... 8 dB
Streuung σ_M der 1-km-Mittelwerte bei gleichen Senderentfernungen	3... 9 dB

Die grossen Werte gelten vor allem für das 900-MHz-Band und die kleinen für das 80-MHz-Band.

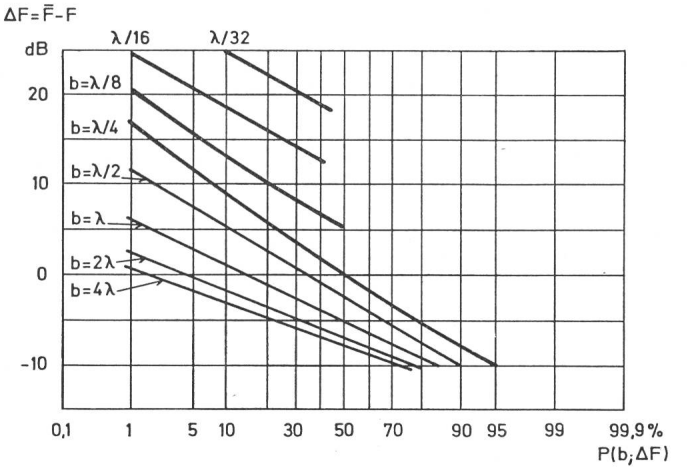

Fig. 6 Wahrscheinlichkeit, dass auf einem 1 km langen Strassenstück breitere Feldstärkeeinbrüche im Abstand ΔF vom Mittelwert auftreten als «b»

b Breite der Feldstärkeeinbrüche in Wellenlängen

werte ist nämlich in diesem Falle meist erheblich grösser als die von den unterschiedlichen Antennenhöhen herrührende. Zusammen bewirken die beiden Einflüsse, dass die Angabe der Feldstärkemedianwerte in Funktion der Senderentfernung mit einer gewissen Unsicherheit behaftet ist.

In Fig. 7 sind die mit grösster Wahrscheinlichkeit zu erwartenden Werte eingetragen. Die möglichen Abweichungen sind normal verteilt, und zwar mit einer Streuung von $\sigma_M \approx 5$ dB. Die Kurven I und II gelten für zwei grundsätzlich unterschiedliche Funkversorgungsbereiche. Für ortsfeste Antennen auf Höhenstandorten im Mittelland ist die Kurve I zu verwenden. Diese Kurve gilt auch bei direkter Einstrahlung in Alpentäler. Alpentäler, die quer zur Strahlung liegen und vorwiegend durch Reflexionen aus einem direkt bestrahlten Tal aufgehellt werden, weisen grössere Zusatzdämpfungen auf. Ein Kilometer nach dem Übertritt von einem direkt bestrahlten Tal in ein reflexionsbestrahltes ist die Feldstärke im allgemeinen etwa 10 dB kleiner als vor der Eintrittsstelle. Mit grösserer Entfernung wächst die Zusatzdämpfung bei jeder Distanzverdoppelung um weitere 6...12 dB. Auch in den Ortschaften ist mit einer Zusatzdämpfung von $\approx$ 10 dB in bezug auf die Umgebung zu rechnen. Die meisten mobilen Ruf- und Sprechfunkanlagen haben nur ein kleineres Gebiet zu bedienen, z. B. eine Stadt oder ein Areal. In diesem Falle wird die ortsfeste Antenne meistens in geringer Höhe auf einem günstig gelegenen Hausdach montiert. Die Strahlungsbedingungen sind dann ungünstiger. Wie die Kurve II zeigt, werden die mittleren Empfangsfeldstärken entsprechend kleiner.

Die Feldstärkeangaben in Fig. 7 gelten für eine Strahlungsleistung von $P = 10$ W, wenn als ortsfeste Sendeantenne ein vertikaler $\lambda/2$-Dipol verwendet wird. Dies entspricht den gebräuchlichsten Betriebsbedingungen und Anordnungen für bewegliche Landfunkdienste. Die Vertikalpolarisation drängt sich auf, weil bei ihr die einfachsten Stabantennen in der Bewegungsrichtung annähernd eine Rundstrahlcharakteristik besitzen. Bei der Verwendung anderer Leistungen und Antennen erhält man die Feldstärke aus der Fig. 7 durch folgende Umrechnung:

$$\bar{F}(d) = \bar{F}_{10}(d) + G_S + 10 \log (P/10) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m})$$

G_S Leistungsgewinn der Antenne, bezogen auf den $\lambda/2$-Dipol (dB)

P Strahlungsleistung (W)

Für die Durchführung von Systemanalysen ist es oft nützlich, wenn man zu der ermittelten Empfangsfeldstärke die Antennenklemmenspannung kennt. Sie beträgt

$$\bar{U}(d) = \bar{F}(d) + G_E - K \quad \text{dB}(\mu\text{V})$$

G_E Leistungsgewinn, bezogen auf eine $\lambda/4$-Wagenantenne (dB). Für einen $\lambda/2$-Dipol beträgt $G_E \approx 3$ dB.

K Umrechnungsfaktor bei Verwendung einer $\lambda/4$-Wagenantenne (dB) angepasst an 50 Ω. Die experimentell gefundenen Mittelwerte sind in Tab. II zusammengestellt.

Antennenfaktor K: «Feldstärke zu Empfängerklemmenspannung» für $\lambda/4$-Wagenantennen, angepasst an 50 Ω Tabelle II

Frequenz	K (gemessen)
80-MHz-Band	8 dB
160-MHz-Band	15 dB
450-MHz-Band	23 dB
900-MHz-Band	30 dB

In tragbaren Taschenempfängern wird normalerweise ein Rahmen oder eine Ferritantenne eingebaut. Wegen der Richtcharakteristik dieser Antennen und wegen der Körperbeeinflussung während des Tragens muss für G_E ein Mittelwert eingesetzt werden. Statistische Untersuchungen an einer grossen Zahl Geräte ergaben für $G_E \approx -20 \ldots -30$ dB.

Es muss hier noch darauf aufmerksam gemacht werden, dass die ortsfesten und mobilen Antennen sowohl zum Senden als zum Empfangen verwendet werden können. Die Übertragungsdämpfung bleibt in beiden Fällen gleich.

In Gebäuden: Tragbare Funkanlagen müssen sehr oft auch in Gebäuden funktionieren. Die Häusermauern stellen dann für die Feldausbreitung Zusatzdämpfungen dar. Diesbezügliche Messungen haben gezeigt, dass der Feldstärkemedianwert in den Erdgeschossen im Mittel 20 dB kleiner ist als auf den umgebenden Strassen. Diese Dämpfung ist je nach Gebäudeart einer Streuung von $\sigma_M = 12$ dB unterworfen. Im ersten Untergeschoss sind die Werte um 10...20 dB kleiner als im Erdgeschoss, während die Feldstärke in den Obergeschossen nahezu stetig zunimmt, bis zur Feldstärke über dem Dach. Bei Sichtverhältnissen entspricht dieser Wert der Freiraumfeldstärke nach Fig. 7.

In Tunnels: Das schweizerische Nationalstrassennetz wird im Endausbau etwa zu 10% aus Tunnels bestehen. Dies stellt den Mobilfunk vor Probleme, da die elektromagnetischen Wellen in Tunnels stark gedämpft sind. Funkverbindungen reissen schon kurz nach dem Eintritt in einen Tunnel ab. In Fig. 8 ist der Dämpfungsverlauf der Feldstärke beim Tunneleingang dargestellt. Für die Funkversorgung in längeren Tunnels wird mit Vorteil ein strahlendes Koaxialkabel verwendet, wobei die Sender der verschiedenen Dienste auf der einen Kabelseite und die Empfänger auf der andern Kabelseite angeschlossen werden. Wenn die Tunnelröhren länger als 1 km sind, muss die Kabeldämpfung in der Regel durch den Einbau

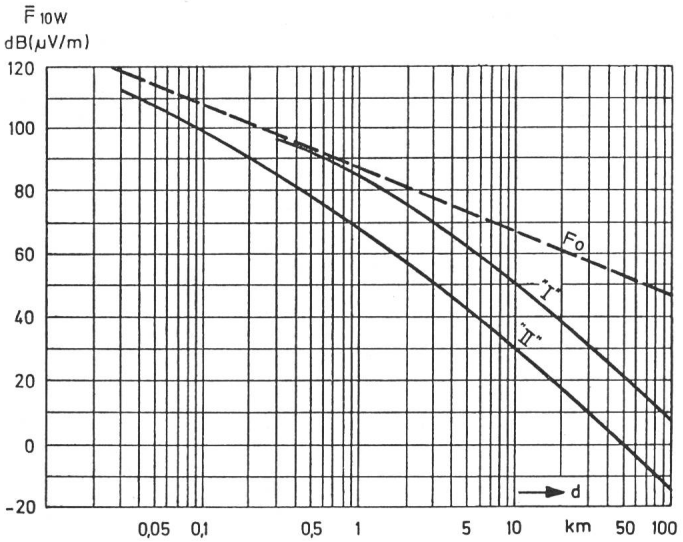

Fig. 7 Ausbreitungsdämpfung: Feldstärkemedianwert $\bar{F}$ für 10 W Sendeleistung in Funktion der Senderentfernung im schweizerischen Mittelland und für direkt bestrahlte Alpentäler

Frequenzbereich 30...1000 MHz

I Senderantennenhöhe 300...1000 m, $\lambda/2$-Dipol

II Senderantennenhöhe 20...100 m, $\lambda/2$-Dipol

F_0 Freiraumfeldstärke, Empfängerantennenhöhe 2 m

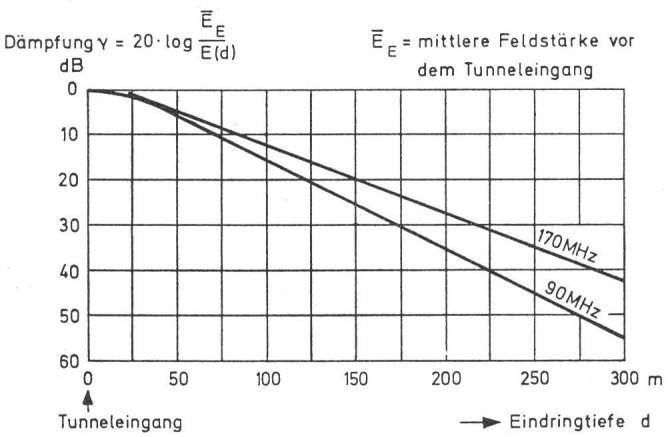

Fig. 8 Mittlere Ausbreitungsdämpfung in einem Tunneleingang
Feldstärkeabfall in Funktion der Eindringtiefe im Frequenzbereich 90...170 MHz

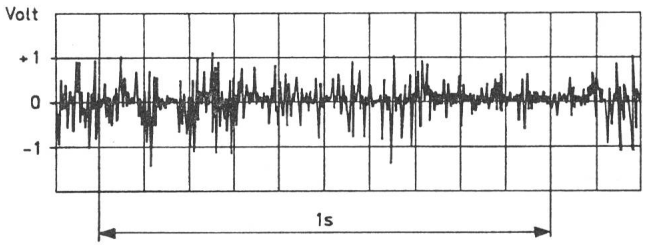

Fig. 10 Störimpulse von einer Autozündanlage am Niederfrequenz-Ausgang eines Empfängers für Phasenmodulation

von Breitbandverstärkern wettgemacht werden [3]. Für die Dimensionierung einer Anlage sind vor allem die Kabel- und Koppeldämpfungen massgebend. In Fig. 9 sind die beiden Grössen eines Kabels mit einem Aussendurchmesser von 17,3 mm als Beispiel graphisch dargestellt. Die gleiche Type ist in verschiedenen Durchmessern lieferbar, wobei die Kabeldämpfung ungefähr umgekehrt proportional ändert, während die Koppeldämpfung konstant bleibt.

Der mittlere Empfangspegel ist im allgemeinen über dem Tunnelquerschnitt praktisch konstant. Durch die Reflexionen an den Wänden schwankt das Empfangssignal gemäss Fig. 1c, so dass die Amplitude ungefähr nach Rayleigh verteilt ist.

3. Impulsstörungen von Autozündanlagen

Durch die Funkenbildung in den Autozündanlagen entstehen impulsförmige elektromagnetische Felder. Ein Teil der Störenergie wird von den Empfangsantennen in der näheren Umgebung aufgenommen. In den Empfängern wird sie dann verstärkt und demoduliert, so dass schliesslich eine Folge von kurzzeitigen Niederfrequenzimpulsen entsteht (Fig. 10), die bei kleinen Nutzfeldstärken den Empfang erheblich stören können.

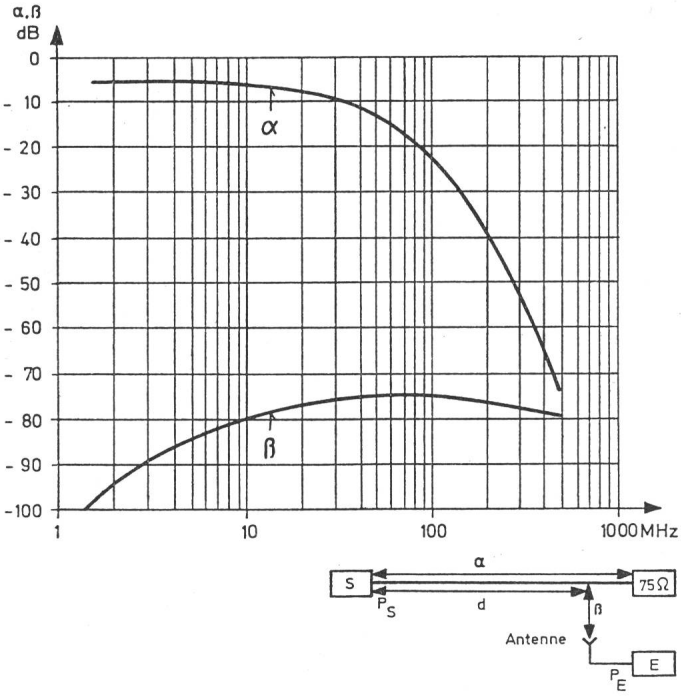

Fig. 9 Kabeldämpfung α und Koppeldämpfung β je km des strahlenden Koaxkabels S 17873 der Huber + Suhner AG

Für die Empfängerprüfung muss man vor allem die charakteristischen Grössen des Störfeldes kennen. Bei der statistischen Auswertung von Feldmessungen wurden folgende Ergebnisse gefunden:

– Die Störimpulse besitzen ein Amplitudenspektrum, das über 1000 MHz flach ist. Die Impulsbreiten sind somit kleiner als 1 ns.

– Meistens treten die Störimpulse nicht einzeln auf, sondern in periodischen Abständen mit Frequenzen zwischen 30 und 300 Hz.

– Die Amplitudenverteilung, d.h. die Häufigkeit, mit der eine bestimmte Störfeldstärke überschritten wird, ist log.-normal (Fig. 5).

In den grösseren Schweizer Städten beträgt die Streuung bei durchschnittlich regem Verkehr $\approx$ 8 dB. Der Medianwert der Feldstärke beträgt 3 mV/m pro MHz-Messbandbreite. Er wird von einem Feldstärkestoss $E \cdot \Delta T = 1{,}5 \cdot 10^{-9}$ Vs/m erzeugt.

Für die Labormessungen wird das Impulsstörfeld zweckmässigerweise durch einen Impulsgenerator ersetzt. Die äquivalenten Störpegel, die der Generator auf einen 50-Ω-Empfängereingang geben muss, können wie folgt gewählt werden:

im 80-MHz-Band: 75 dB über 1 μV pro MHz Bandbreite
im 160-MHz-Band: 70 dB über 1 μV pro MHz Bandbreite
im 460-MHz-Band: 60 dB über 1 μV pro MHz Bandbreite
im 900-MHz-Band: 55 dB über 1 μV pro MHz Bandbreite

Die Hochfrequenz-Impulsbreite des Generators muss klein sein gegen die Empfängereinschwingzeit. Ferner muss seine Impulsfrequenz im Bereich zwischen 30 und 300 Hz kontinuierlich einstellbar sein. Normalerweise wird mit 100 Hz gemessen.

Im Betrieb werden die angegebenen Werte mit 97%iger Sicherheit nicht überschritten, wenn eine $\lambda/4$-Wagenantenne verwendet wird.

Der Zündstörpegel des eigenen Fahrzeuges muss mindestens um 15 dB kleiner sein.

4. Störbeeinflussung durch fremde Signale

Ausser dem gewünschten Nutzsignal treffen an jedem Empfangsort eine Anzahl fremder Signale ein. Kritisch sind dabei die Gleichkanalsignale von weit entfernten Sendern und die örtlichen Nachbarsignale einschliesslich ihrer Störprodukte, die ausserhalb des Nutzkanals liegen. Die Signale können zu Übertragungsstörungen Anlass geben, wenn sie zu gross sind, wenn die Empfängerselektivität ungenügend ist oder wenn die Modulations- und Rauschspektren der störenden Sender zu breit sind.

Medianwerte der geschützten Feldstärken Tabelle III

Frequenzbereich	Geschützte Feldstärke
50...100 MHz	14 dB (μV/m)
100...200 MHz	20 dB (μV/m)
400...470 MHz	28 dB (μV/m)
860...960 MHz	34 dB (μV/m)

Grundforderungen für die Frequenz- und Netzplanung. Definitionen und Messmethoden nach der CEPT-Recommandation T/R17 [5] Tabelle IV

Pflichtwerte zur Verhinderung von Störungen bei anderen Diensten	
Kanalabstand	25 kHz
Frequenzstabilität	$\leqq \pm 1{,}5$ kHz
Max. Sendeleistung (ERP)	10 W $\pm$ 3 dB
Senderintermodulationsfaktor (Mobilstation)	$\geqq 50$ dB
Senderintermodulation (Fixstation)	$\leqq 2 \cdot 10^{-8}$ W
Sender-Störstrahlung im Nachbarkanal[4])	$\leqq 2 \cdot 10^{-8}$ W
Dämpfung bezüglich Träger[4])	$\geqq 85$ dB
Sender-Störstrahlung in den Mobilfunkbändern	$\leqq 2 \cdot 10^{-8}$ W
Sender-Abschirmung in den Mobilfunkbändern (Feldstärke in 30 m Abstand)	$\leqq 30$ μV/m
Empfänger-Störstrahlung	$\leqq 2 \cdot 10^{-9}$ W
Empfänger-Abschirmung (Feldstärke in 30 m Abstand)	$\leqq 10$ μV/m
Planungswerte zur Verhinderung von Störungen durch andere Dienste	
Empfängerempfindlichkeit	+ 2 dB (μV, EMK)
2-Signal-Selektivität im Nutzkanal	$\geqq -8$ dB
im Nachbarkanal	$\geqq +80$ dB
Nebenempfangsdämpfung	$\geqq 80$ dB
Empfängerintermodulationsfaktor	$\geqq 80$ dB

[4]) Massgebend ist die weniger strenge Forderung

Um die Störbeeinflussung in zulässigen Grenzen halten zu können, ist eine sorgfältige Frequenzplanung erforderlich, die sowohl auf die nationalen wie internationalen Bedürfnisse Rücksicht nimmt [4]. Der zweckmässige Einsatz und der Schutz der Frequenzbänder ist in der Schweiz den PTT-Betrieben anvertraut. In Übereinstimmung mit den meisten mitteleuropäischen Staaten sind diese bestrebt, die in Tab. III eingetragenen Feldstärkemedianwerte zu schützen. Die Störsignale müssen dann an 50 % der Orte während 90 % der Zeit mindestens um 8 dB kleiner sein als die geschützte Feldstärke, sofern es sich um frequenzmodulierte Anlagen handelt. Bei Amplitudenmodulation sind 18 dB Schutzabstand erforderlich.

Der Schutz ist selbstverständlich nur gewährleistet, wenn die eingesetzten Funkgeräte die minimalen Forderungen einhalten, die der Netz- und Frequenzplanung zugrunde liegen. Da die Schweiz ein dichtbesiedeltes und funkmässig schwer zu versorgendes Land ist, mussten relativ strenge Grundforderungen gewählt werden, um einen vertretbaren Kompromiss zwischen Wirtschaftlichkeit und Frequenzökonomie zu erhalten. Die Geräte haben dementsprechend die in Tabelle IV zusammengestellten PTT-Planungswerte zu erfüllen. Man kann diese in zwei Kategorien einteilen. Die erste Kategorie enthält Pflichtwerte, die jedes Funkgerät einhalten muss, damit es andere Dienste nicht stört. Sie werden von der PTT durch eine obligatorische Typenprüfung und allfällige Stichproben während des betriebsmässigen Einsatzes überwacht. Die Angaben der zweiten Kategorie sorgen dafür, dass eigene Geräte vor Fremdstörungen geschützt sind. Die Angaben sind als Empfehlungen zu betrachten, sind nicht obligatorisch, liegen aber im eigenen Interesse. Die Grössen der noch verbleibenden Störzonen lassen sich mit Hilfe der Tab. IV und der Ausbreitungsdämpfungsverläufe nach Fig. 7 abschätzen. Im allgemeinen werden diese Störungen nur in unmittelbarer Nähe der Störquellen, maximal 100 bis 200 m davon entfernt, auftreten.

Literatur

[1] *O. Grüssi:* Statistische Methoden der Feldstärkeverteilung bei Fahrzeug-Telephonanlagen. Techn. Mitt. PTT 48(1970)8, S. 345...353.

[2] *P. König:* Simulation von Mehrwegeempfangssignalen für die Untersuchung von Mobilfunksystemen (Zwischenbericht). PTT-Forschungsbericht No. F 31.062 VD vom 1. 7. 1975. Bern Generaldirektion PTT, Abteilung Forschung und Entwicklung, 1975.

[3] *O. Grüssi* und *P. König:* Funkversorgung in Strassentunnels. Techn. Mitt. PTT 55(1977)10, S. 436...445.

[4] *E. Wey:* Der mobile Ruf- und Sprechfunk. Einführung in die Nachrichtentechnik der beweglichen Landfunkdienste. Blaue TR-Reihe, Heft Nr. 107. Bern/Stuttgart, Hallweg-Verlag, 1972.

[5] Spécification des équipements destinés au service mobile terrestre. CEPT-Recommandation T/R17. La Haye/Stockholm, CEPT, 1972/1977.

Adresse des Autors

E. Wey, Ing.-Techn. HTL, GD PTT, Abt. Forschung und Entwicklung, 3000 Bern.