

Feldstärkeberechnung für die Funkplanung

Autor(en): **Debrunner, Walter E.**

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): **64 (1986)**

Heft 5

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-875029>

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.

Feldstärkeberechnung für die Funkplanung

Walter E. DEBRUNNER, Bern

Zusammenfassung. In der Funkplanung sind Nutz- und Störsignale möglichst genau abzuschätzen. Für ebene Gebiete mögen hierfür die sogenannten Ausbreitungskurven genügen. Im schweizerischen Mittelland und Voralpengebiet sowie im süddeutschen Raum sind die Einflüsse des Geländes jedoch grösser als jene der Distanz. Die Feldstärken werden im wesentlichen durch die örtlichen Bedingungen bestimmt, und die Einführung einzelner Parameter, wie Δh , ist deshalb nicht sinnvoll. Anwendbare Methoden zur Berücksichtigung der konkret auftretenden Geländeeinflüsse sind vorhanden. Numerische Vergleiche zeigen, dass bei Anwendung dieser Verfahren eine wesentlich bessere Ausnutzung des Frequenzspektrums möglich ist.

Estimation des champs radioélectriques pour la planification des plans de fréquences

Résumé. La planification d'un système de télécommunications radioélectrique est fondée sur l'estimation des champs électrique utiles et brouilleurs. La propagation des ondes peut être décrite par des courbes de propagation si l'influence du terrain est négligeable. Dans une région accidentée (par exemple le Jura et le Plateau suisse), les phénomènes de réfraction et de réflexion sont plus importants que l'effet de la distance. Vu que l'intensité des champs dépend fortement de l'azimut et de la distance, voire des conditions topographiques, l'exactitude des calculs ne peut pas être améliorée par l'introduction de paramètres particuliers (par exemple Δh). L'imprécision des estimations doit être compensée par des marges de sécurité plus grandes. Des exemples numériques montrent, que les bandes de fréquences à réserver peuvent être considérablement réduites, si des méthodes de calcul appropriées sont appliquées.

Calcolo dell'intensità di campo per la pianificazione dello spettro radioelettrico

Riassunto. Per la pianificazione dello spettro radioelettrico, i segnali utili e i segnali spuri devono essere determinati con la massima precisione. Per le regioni di pianura bastano le cosiddette curve di propagazione. Sull'altopiano, nelle Prealpi svizzere e nella Germania meridionale più che la distanza influisce, invece, la configurazione del terreno. Le intensità di campo dipendono essenzialmente dalle condizioni locali e l'introduzione di singoli parametri come Δh non ha quindi senso. Esistono metodi che permettono di tener conto degli influssi che derivano nel caso concreto dalla configurazione del terreno. Con tali metodi lo spettro delle frequenze può essere sfruttato in modo assai migliore, come risulta dal confronto delle cifre.

1 Einleitung

In der Planung von Funksystemen steht heute die Vermeidung gegenseitiger Störungen im Vordergrund. Ein störungsfreier Betrieb mehrerer Sender innerhalb desselben Frequenzbereiches ist erfahrungsgemäss erst durch Festlegung der verschiedenen Sende-Frequenzen, -Leistungen, -Standorte und Modulationen gewährleistet. Dabei sind sowohl die *Nutzfeldstärke* wie die möglichen *Störfeldstärken* richtig abzuschätzen. Naturgemäss können Faustformeln für diese zweifache Aufgabe nur in beschränktem Masse nützlich sein.

Die Probleme dieser Koordination ergeben sich infolge der wachsenden Zahl von Teilnehmern am Funkverkehr und der Nichtreproduzierbarkeit des Frequenzspektrums. Je genauer diese Abschätzung der Feldstärken erfolgt, desto kleiner kann das für den gleichzeitigen Betrieb mehrerer Sender notwendige Frequenzband Δf sein. Untersucht werden soll hier die Frage, inwiefern sich durch geeignete Schätzungsverfahren für Feldstärken die Frequenzkoordination erleichtern lässt.

Vorerst sind die Begriffe der Planungssicherheit S , der Planungsgenauigkeit σ und der Sicherheitsmargen zu erläutern. Nach Hinweisen auf die wesentlichen Ausbreitungsmechanismen werden mögliche Ausbreitungsmodelle diskutiert. Eingehend sind dann die Bedingungen für den Vergleich der Modelle beschrieben. Zahlenvergleiche lehren, dass bei Anwendung geeigneter Ausbreitungsmodelle wesentliche Frequenzeinsparungen möglich sind.

2 Planungssicherheit, Genauigkeit, Sicherheitsmargen und Aufwand

Dem Planer fällt die Aufgabe zu, ein sicheres, durch geringen Aufwand zu realisierendes System vorzuschlagen. Als Mass für die Zuverlässigkeit muss die Planungssicherheit S angegeben werden können. Es ist dies die Wahrscheinlichkeit, mit der die Planungsziele erreicht werden. Wird beispielsweise für ein Rundfunksystem eine Planungssicherheit von $S = 95\%$ verlangt, so sollten von 100 zufällig innerhalb des Versorgungsgebietes verteilten Empfangsorten an 95 Punkten ein bezüglich Nutz- und Störsignal befriedigender Rundfunkempfang möglich sein.

Von politischen Einschränkungen abgesehen sind die Probleme der Planung zweifacher Art. Zum einen stehen manche nötigen Daten nur in beschränktem Umfang und mit begrenzter Genauigkeit zur Verfügung; zum anderen genügen die bekannten und anwendbaren Planungsmethoden nicht voll den Erfordernissen. In Erkenntnis der ungenauen Planungsunterlagen werden sogenannte Sicherheitsmargen eingeführt. Diese zusätzlichen Unsicherheitsmargen führen zu einer Verteuerung des Systems. In gewissen Fällen werden auch begrenzte natürliche Ressourcen (wie das Frequenzspektrum) in unnötigem Masse verbraucht.

Sind die für die Planung erforderlichen Daten ungenügend bekannt, so können doch – z. T. aufgrund von Erfahrungen – «mittlere Werte» und «Variationsbereiche» genannt werden. Die Aussage lautet dann, dass mit ei-

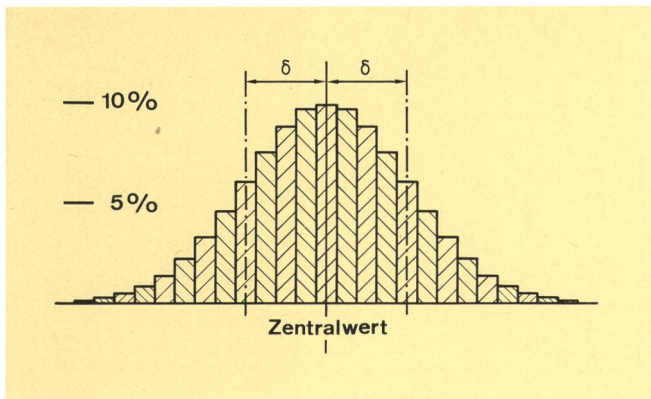


Fig. 1
Klassenhäufigkeit einer Normalverteilung

ner bestimmten Wahrscheinlichkeit $P(x)$ der interessierende Planungswert kleiner als der Wert x sei. Mangelndes exaktes Wissen wird also durch fehlende deterministische Naturgesetze und durch das Vorhandensein blosser Wahrscheinlichkeitsverteilungen begründet. Wie es sich in der Praxis gezeigt hat, dürfen die bekannten Normalverteilungen als *Approximationen* für die Wahrscheinlichkeit von Dämpfungen u. a. gelten. In *Figur 1* sind die Klassenhäufigkeiten einer Normalverteilung dargestellt. Als Mass für den Variationsbereich dient die Streuung σ . Diese Streuung gibt die statistische Unsicherheit an und beträgt im Beispiel vier Klassen.

Die einzusetzenden Unsicherheitsmargen sind proportional den erwähnten Streuungen σ und nehmen mit der verlangten Planungssicherheit S zu. Eine Erhöhung der Planungsgenauigkeit ist deshalb nicht Selbstzweck, sondern muss durch eine Reduktion von Unsicherheitsmargen zu grösserer Wirtschaftlichkeit und einer besseren Nutzung der Mittel führen.

3 Ergebnisse von Feldstärkemessungen

Zur Erzielung der befriedigenden Übertragungsqualität einer drahtlosen Verbindung muss u. a. die Feldstärke des Nutzsignals genügend gross und sollen die Störsignale entsprechend klein sein. Als Vorbereitung auf Kapitel 4 sind hier die im VHF/UHF-Bereich wesentlichen Ausbreitungsphänomene mit Hilfe von Strahlenbildern, also der Strahlenoptik kurz beschrieben. *Figur 2a*

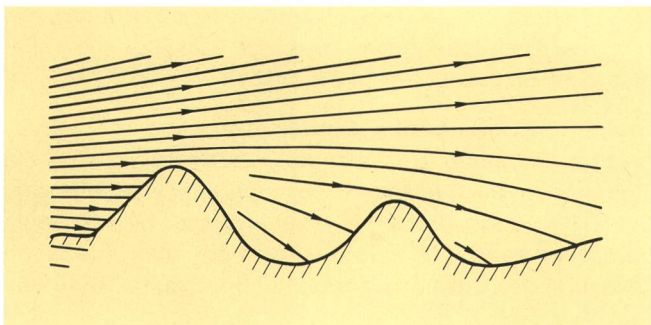


Fig. 2a
Strahlenfeld über Hügelzüge

zeigt das Strahlenfeld einer sich über Hügelzüge ausbreitenden Welle. Die Feldstärke entspricht der Dichte der Strahlen. Sie nimmt u. a. mit wachsender Entfernung ab. Wie ersichtlich ist, treten auch hinter Geländehindernissen, d. h. im sogenannten Beugungsschatten geringe Strahlungsdichten auf. Das Ausmass der Beugungsdämpfung nimmt mit wachsender Frequenz zu; sie kann stärker als die Abschwächung des Signals infolge der doppelten Entfernung sein. Messungen zeigen, dass z. B. in der Schweiz und in Süddeutschland der Einfluss des Geländes grösser als jener der Distanz ist.

Auch im starken Beugungsschatten kann Rundfunkempfang möglich sein, wenn Reflexionen an Bergen empfangen werden. Deshalb richtet man in gebirgigen Gegenden die Empfangsantenne nicht unbedingt in die Richtung des Senders, sondern z. T. gegen einen sowohl vom Sender wie vom Empfänger aus gut sichtbaren Berg aus. Die in *Figur 2b* dargestellten Geländereflexionen sind bei der Behandlung von Störproblemen zu berücksichtigen. Offensichtlich ist auch bei dieser Ausbreitungserscheinung die Art des Geländes von grösserem Einfluss als die Entfernung vom Sender. Wie im Falle der Geländebeugungsdämpfung sind hier ebenfalls keine generell gültigen einfachen Aussagen möglich.

Bei Fahrtregistrierungen, wie in *Figur 2c* dargestellt, lassen sich grosse und «rasche» Variationen des Empfangssignals beobachten. *Figur 2d* zeigt, dass es sich dabei um den Einfluss der näheren Umgebung handeln kann. Gemäss Messungen bei 100 MHz sind diese Feldstärkenvariationen log-normal-verteilt. In Höhen bis mindestens zu 10 m über Boden und bei verschiedenen Arten der Überbauung ist die Streuung 8...12 dB.

4 Ausbreitungsmodelle

Die Durchführung von Berechnungen muss selbstverständlich auf einer «Theorie», d. h. auf einem bestimmten Ausbreitungsmodell basieren. Bereits in einer Diskussion der Ergebnisse von Feldstärkemessungen werden jedoch auch Begriffe wie Freiraumfeldstärke, Beugungsdämpfung, Medianwert usw. verwendet. Also ist bereits die Interpretation von Beobachtungen erst aufgrund vorgefasster Arbeitshypothesen möglich. Je nach Frequenzbereich und Fragestellung sind verschiedene Ausbreitungsmodelle vorgeschlagen worden. Sie unterscheiden sich durch die berücksichtigten Ausbreitungserscheinungen und dadurch, ob eine rein statistische oder mehr deterministische Beschreibung gewählt wird.

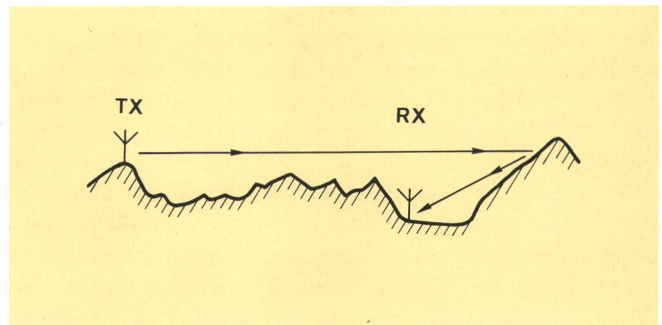


Fig. 2b
Geländereflexionen

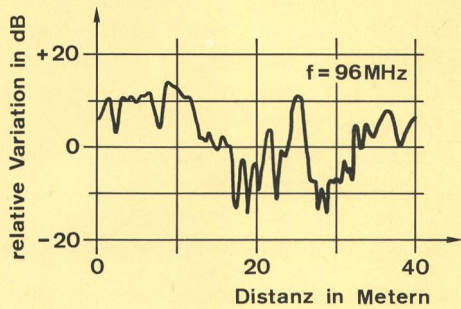


Fig. 2c
Während Fahrt in kleiner Stadt registrierte Feldstärke

Im VHF/UHF-Bereich ist die Empfangsfeldstärke E primär von der Sendeleistung (ERP), der Distanz D , der Art des Geländes und den meteorologischen Einflüssen bestimmt. Zu berücksichtigen sind ebenfalls die Antennenhöhen über Boden und die nähere Umgebung des Senders und des Empfängers. Im allgemeinen darf die nähere Umgebung eines *Rundfunksenders* bezüglich Strahlungsfreiheit als ideal betrachtet werden. Die während 1 % und 5 % der Zeit festgestellten Überfeldstärken entsprechen ungefähr den Angaben des CCIR [2].

Bei Entfernungen von weniger als 100 km sind meteorologische Effekte *gegenüber* anderen Ausbreitungsercheinungen vernachlässigbar.

Grundsätzlich ist zwischen den Einflüssen der Entfernung und des Geländes einerseits und der Wirkung der näheren Umgebung des Sende- und Empfangsortes andererseits zu unterscheiden. Die Empfangsverhältnisse sind verschieden, je nachdem ob zum Sender Sichtverbindung besteht, das Signal durch Beugungshindernisse gedämpft wird oder vorwiegend infolge von Geländereflexionen empfangen werden kann. Leicht lässt sich auch der Einfluss der Empfängerumgebung feststellen: die Feldstärke, und damit die Empfangsqualität, ist beispielsweise vor, neben und hinter einem Hause anders. Die Wirkung der näheren Umgebung muss aus praktischen Gründen *statistisch beschrieben* werden. Die Streuung dieser Log-Normal-Verteilung beträgt rund 10 dB (siehe Kap. 3).

In Anlehnung an die im Mittel- und Kurzwellenbereich gültigen Ausbreitungsgesetze für die Bodenwelle kann die zu erwartende Empfangsfeldstärke durch sogenannte *Ausbreitungskurven* angegeben werden (vgl. CCIR-Recommendation 370 [2]). Bei Frequenzen oberhalb 30 MHz – also bei kürzeren Wellenlängen – ist diese Betrachtung nur für eine flache Erdoberfläche richtig. Da bezüglich der Ausbreitung die topographischen Bedingungen je nach Azimut recht unterschiedlich sein können, ist es auch hoffnungslos, Korrekturen aufgrund eines einzelnen Parameters (z. B. Δh) durchführen zu wollen. Festzuhalten ist, dass auch die mittlere Ausbreitungskurve von der Art des Geländes abhängt. Im schweizerischen Mittelland, also im Gebiet *zwischen*

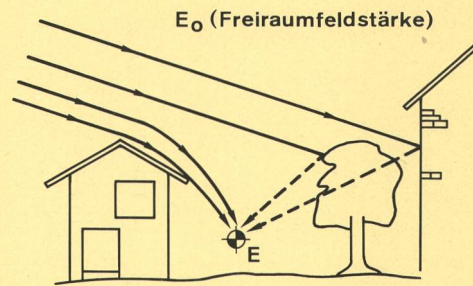


Fig. 2d
Ausbreitungseinflüsse der näheren Empfängerumgebung

Jura und Alpen, beträgt die mittlere quadratische Streuung der Fehler 20 dB...25 dB.

Bei den für ein bestimmtes Gebiet experimentell ermittelten Ausbreitungskurven handelt es sich um die Mittel- oder Medianwerte der Messreihen. Eine Überprüfung dieser Resultate im gleichen Gebiet, bei Benützung derselben Sendestandorte, führt im allgemeinen zu einer recht günstigen Beurteilung. Nun zeigt sich aber, dass sich für gleiche Antennenhöhen und als mindestens ähnlich (wenn nicht gleich) zu charakterisierendem Gebiet sich diese Ausbreitungskurven bis um 20 dB unterscheiden können. Solche Vergleiche ergeben bei Mitberücksichtigung der Feinstruktur (vgl. Fig. 2c) mittlere Fehler, d. h. statistische Unsicherheiten von 20 dB... 25 dB. Die «Kunst» der Berechnung besteht dann darin, aus der grösseren Zahl publizierter Ausbreitungskurven die für das zu untersuchende Gebiet gerade passende auszuwählen. Allein die Vielfalt der (publizierten) Ausbreitungskurven gibt die grosse (naturgegebene) statistische Unsicherheit dieser Planungsunterlagen an.

Wie bereits früh gezeigt worden ist, kann der *Einfluss des Geländes* verhältnismässig einfach aufgrund topographischer Daten abgeschätzt werden [3...7]. *Beugungsdämpfungen* lassen sich bereits unter Verwendung von Taschencomputern leicht berücksichtigen. Die mittlere quadratische Streuung der Fehler beträgt (für Verbindungen im schweizerischen Mittelland) rund 9 dB. Wie bereits erwähnt, stellt dieser Wert ein quantitatives Mass für die Ungenauigkeit oder Unsicherheit dar. Die angegebene quadratische Streuung (\rightarrow standard deviation) von 9 dB ist vergleichbar mit der unvermeidbaren Unsicherheit von etwa 10 dB infolge des Einflusses der näheren Umgebung. Der gesamte Fehler weist dann also eine Streuung von 14 dB auf.¹

Stehen topographische Datenbanken und ein mittelgrosser Computer zur Verfügung, lassen sich auch die Amplituden der *Geländereflexionen* leicht abschätzen. Die mittlere quadratische Streuung der Unterschiede wird dann rund 6 dB betragen und die sich ergebende Streuung des Gesamtfehlers ist 12 dB. Exakte Methoden

¹ Streuungen sind quadratisch zu addieren

zur Bestimmung der Beugungsdämpfung und der Geländereflexionen sind nur in wenigen besonderen Fällen möglich. In der Praxis können jedoch auch Formeln mit beschränkter Genauigkeit genügen; denn die *naturgegebene* Unsicherheit ist durch die bloss statistisch beschreibbaren Einflüsse der näheren Empfängerumgebung gegeben und beträgt rund 10 dB.

Für Untersuchungen grundsätzlicher Art mögen rein statistische Ausbreitungsmodelle, also die blosser Verwendung von Ausbreitungskurven genügen. Die heute zur Verfügung stehenden topographischen Datenbanken und Elektronenrechner erlauben jedoch die Anwendung komplizierter Rechenverfahren. Hier ist der tatsächliche Nutzen solcher Methoden zu untersuchen.

5 Kriterien zur Beurteilung der Ausbreitungsmodelle

Solange genügend freie Frequenzbänder zur Verfügung stehen und auch bezüglich des materiellen Aufwandes noch keine wirksamen Grenzen gesetzt sind, ist ein leichtverstehbares Ausbreitungsmodell zu wählen, das der derzeitigen Betrachtungsweise entspricht und deshalb als Gesprächsbasis von Partnern am ehesten akzeptiert wird. Andere Kriterien sind jedoch zu berücksichtigen, wenn an Frequenzen und/oder Mitteln Mangel besteht. Dank den heute verfügbaren elektronischen Rechenhilfen ergeben sich bezüglich der praktischen Anwendbarkeit von Ausbreitungsmodellen nur verhältnismässig geringe Einschränkungen. Zur Diskussion stehen folgende drei Modelle:

- Feldstärkeberechnungen aufgrund von Ausbreitungskurven
- Feldstärkeberechnungen unter Berücksichtigung der Geländebeugungsdämpfung
- Exakte Bestimmungen der Feldstärke durch Messungen *oder* Berechnungen unter zusätzlicher Berücksichtigung der Geländereflexionen; diese Resultate stellen auch die Bezugswerte für die Vergleiche dar.

Im folgenden werden die bei Benützung der verschiedenen Ausbreitungsmodelle erforderlichen Frequenzbandbreiten berechnet. Viele der benötigten experimentellen

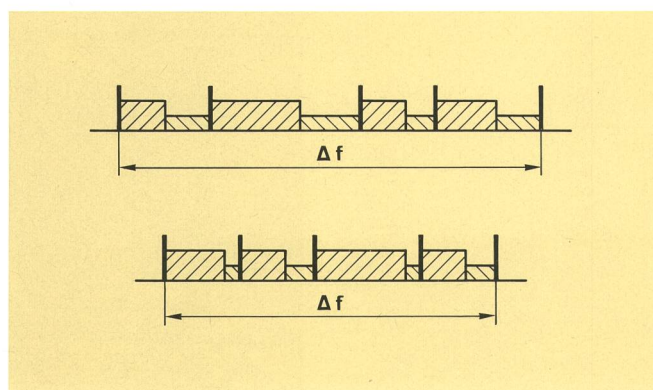


Fig. 3
Frequenzbandbreite Δf bei schlechterer und besserer Planungs-genauigkeit

Frequenzschutzabstände Unsicherheitsmargen

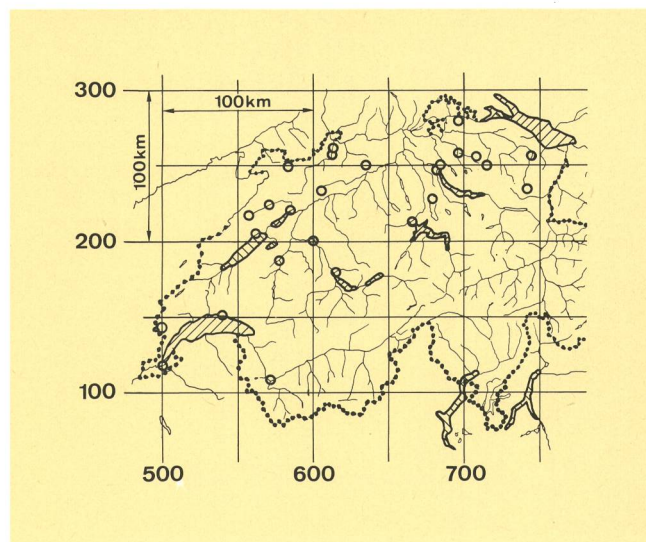


Fig. 4a
Lage der 26 Senderorte

Daten stehen zur Verfügung; eine korrekte Beantwortung der gestellten Frage ist auch bei einer teilweise «statistischen Ergänzung» der Messwerte möglich.

In einem Funksystem mit mehreren Sendern müssen die Sendefrequenzen gegeneinander versetzt sein, damit Interferenzen durch die Wirkung der ZF-Filter genügend reduziert werden können. Die Frequenzzuteilung soll aufgrund der ermittelten Nutz- und Störfeldstärken geschehen. Diese Ergebnisse können je nach dem verwendeten Ausbreitungsmodell verschieden sein; unterschiedlich sind jedoch auch die Rechengenauigkeiten und damit die notwendigen Unsicherheitsmargen. In *Figur 3* ist die Frequenzplanung für fünf Sender bei schlechterer und besserer Planungsgenauigkeit dargestellt. Die Summe der Frequenzschutzabstände ist hier in beiden Fällen gleich; je nach Planungsgenauigkeit ergeben sich jedoch bei derselben Planungssicherheit S andere Unsicherheitsabstände und notwendige Frequenzbandbreiten Δf .

Der notwendige Frequenzbedarf Δf hängt auch von den Methoden der Frequenzkoordination und der Art des Geländes ab. Deshalb sind Rechenprogramme zur Frequenzzuteilung [8] benützt worden. Die vorausgesetzten 26 Sende- und 41 Empfangsorte sind in den *Figuren 4a* und *4b* skizziert. Die Matrix der Nutz- und Störfeldstärken wurde berechnet bzw. durch Messungen bestimmt. Zur Vereinfachung sind gleiche Sendeleistungen und isotrope Empfangsantennen vorausgesetzt.

Der Frequenzrasterabstand ist als 50 kHz angenommen worden. Die vorausgesetzte Frequenzselektivität der Empfänger sei durch die in *Figur 5* dargestellte Schutzabstandskurve beschrieben. Es handelt sich um die Betriebsselektivität eines guten UKW-Empfängers für einen Geräuschabstand von 40 dB bei Monophonie-Empfang (vgl. CCIR-Recommendation 412 [2]). Zur Berücksichtigung weniger günstiger Teilgebiete der Versorgungszone wurde eine zusätzliche Sicherheitsmarge von 10 dB eingesetzt. Dadurch haben die Schlussergebnisse nur unwesentliche Änderungen erfahren. Die aufgrund der Annahmen berechneten Resultate sind in Kapitel 6 aufgeführt.

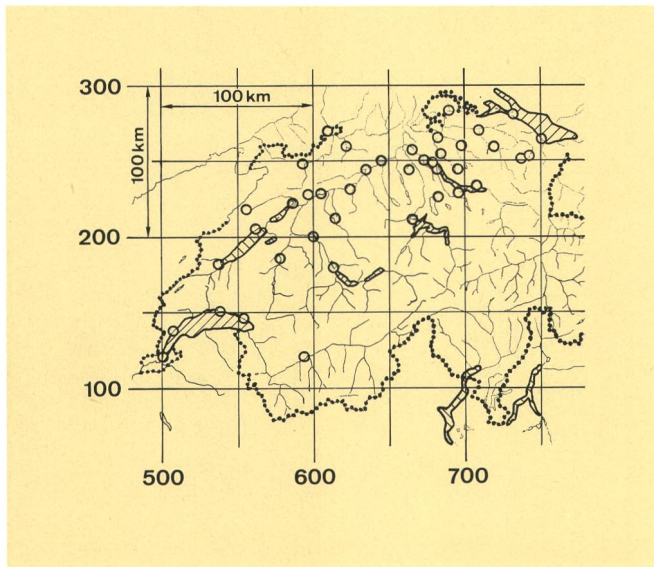


Fig. 4b
Lage der 41 Empfangsorte

6 Numerische Vergleiche

Für welche Zwecke welche Ausbreitungsmodelle zu empfehlen sind, muss sich durch realitätsbezogene Vergleiche erweisen. Gemäss den in Kapitel 5 aufgeführten Voraussetzungen und Bedingungen ist die für den Betrieb eines Systems von 26 Sendern notwendige Frequenzbandbreite Δf bestimmt worden. Die Planungssicherheit S und die Art des Ausbreitungsmodells sind als freie Parameter betrachtet. Selbstverständlich können nur Werte derselben Planungssicherheit miteinander verglichen werden. Die vorgelegten Resultate sollen nur zur Beurteilung der Ausbreitungsmodelle dienen.

Die berechneten nötigen Frequenzbandbreiten Δf sind als Funktion der Planungssicherheit S in *Figur 6* dargestellt. Bei Benützung von Ausbreitungskurven ist die erforderliche Frequenzbandbreite Δf etwa doppelt so gross als bei Durchführung «exakter» Berechnungen. Damit dürfte feststehen, dass für ein Gelände von der Art des schweizerischen Mittellandes eine optimale Planung nur aufgrund von Ausbreitungskurven schwerlich möglich ist [9].

Wie aus *Figur 6* weiter hervorgeht, ergeben sich schon bei blosser Berücksichtigung der Geländebeugungsdämpfungen Resultate für Δf , die nur wenig grösser als die gemäss Messungen erhaltenen Werte sind. Werden die Ergebnisse einer Planung statistisch bewertet, so wäre das Modell b) als eine gute Approximation zu empfehlen. Erfahrungsgemäss basiert jedoch die Beurteilung einer Planungsmethode meist nur auf wenigen ungünstigen Fällen. Bei Benützung des Modells b) werden dann die noch unberücksichtigten störenden Geländereflexionen (\rightarrow Interferenzen) übermässige Beachtung finden. Sind topographische Datenbanken vorhanden, so lassen sich bei Verwendung von mittelgrossen Rechnern (z. B. 7 MBytes) auch Geländereflexionen bestimmen. So ist gezeigt, wie mit Computern Planungsergebnisse von etwa gleicher Qualität wie mit Messungen erzielt werden können. Ausbreitungskurven sollten bloss für flache Gebiete Verwendung finden.

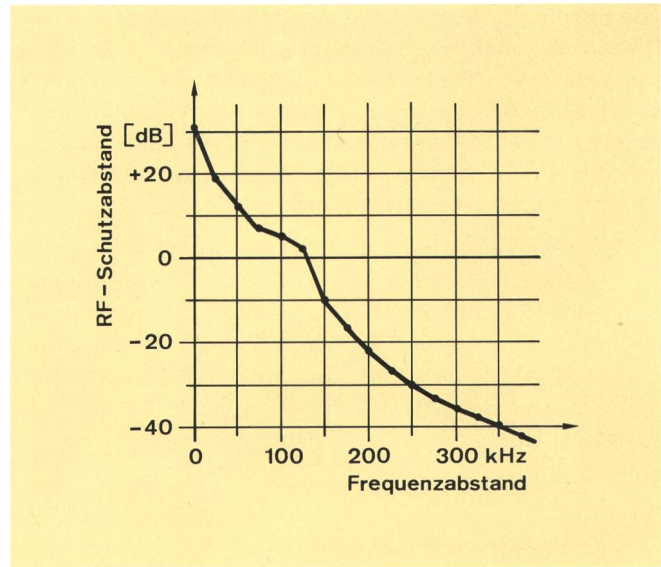


Fig. 5
Benützte Schutzabstandskurve für Geräuschabstand von 40 dB bei Mono-Empfang

Figur 6 zeigt aber auch, wie der Frequenzbedarf Δf mit zunehmender Planungssicherheit S ansteigt. Die erforderliche Planungssicherheit hängt von der Art des Dienstes ab. Auf den dargestellten Zusammenhang zwischen Planungssicherheit und Aufwand wäre vermehrt hinzuweisen.

7 Schlussbemerkungen

Zur Zeit der ersten Betriebsversuche im VHF/UHF-Bereich sind die Ausbreitungsbedingungen auf den noch wenigen Verbindungen genauer untersucht worden. Mit

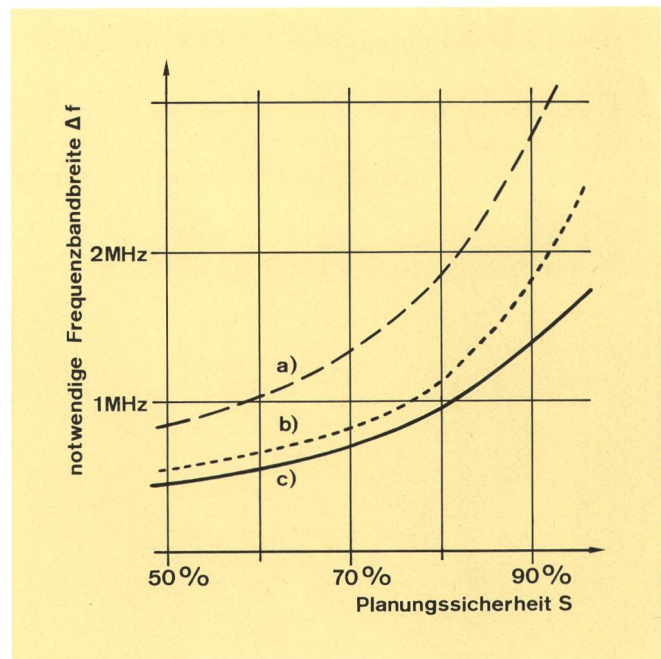


Fig. 6
Notwendige Frequenzbandbreite Δf
 ——— a) Bei Benützung von «Ausbreitungskurven»
 b) Mit Berechnung der Geländebeugungsdämpfung
 ——— c) Planung aufgrund von Messungen

zunehmender Zahl von Sendern mussten für die Frequenzkoordination vereinfachte Verfahren eingeführt werden. Mit den sogenannten Ausbreitungskurven und Rechenschiebern ist es möglich, an Konferenzen rasch Werte anzugeben. Die Anzahl der Sender hat sich weiter vermehrt, so dass der Einsatz der inzwischen verfügbaren Elektronenrechner schon für einfache Frequenzzuteilungen zweckmässig ist. Da heute von vielen Ländern auch topographische Datenbanken vorliegen, können Computer ebenfalls zur genaueren Bestimmung des Einflusses des Geländes auf die Ausbreitungsbedingungen benutzt werden. Wie die dargelegten Daten lehren, kann bei einer vorgegebenen Planungssicherheit S der notwendige Frequenzbedarf Δf dann etwa um die Hälfte reduziert werden. Ausbreitungskurven sollten also nur noch bei theoretischen Studien oder der Planung in flachen Gebieten Verwendung finden.

Wegen des Aufwandes an technischen Mitteln und der Frequenzökonomie muss die Planungssicherheit S beschränkt bleiben. Eine natürliche Grenze für die Genauigkeit der Berechenbarkeit von Ausbreitungsvorgängen ergibt sich ferner aus der unvermeidlichen statistischen Unsicherheit bezüglich des Einflusses der näheren Umgebung ($\sigma \approx 10$ dB). Es soll deshalb nicht versucht werden, sehr exakte Ausbreitungsformeln herzuleiten. Allerdings sind Berechnungsmethoden und Messresultate stets eingehend miteinander zu vergleichen.

Bibliographie

- [1] *Linder A und Berchtold W.* Elementare statistische Methode. Basel, 1978.
- [2] ITU: Recommendations and Reports of the CCIR. Volume V, Propagation in nonionized media, and Volume X, Broadcasting Service (Sound). Geneva, 1982.
- [3] *Bullington K.* Radio Propagation at Frequencies above 30 Megacycles; Proc. IRE. Menasha, Wisc., 35 (1947) 10, p. 1122.
- [4] *Grosskopf J.* Ultrakurzwellenausbreitung im Bereich von 30 bis 100 MHz. Fernmeldetechnische Zeitschrift (FTZ), Braunschweig 4 (1951) 9 und 10, S. 411.
- [5] *Bauermeister E. und Knöpfel W.* UKW-Feldstärkevorausage in gebirgigem Gelände. NWDR Techn. Hausmitt. 4 (1952), S. 67.
- [6] *Reed H. R. und Russel C. M.* Ultra High Frequency Propagation. London, 1953.
- [7] *J. Deygout* Multiple Knife-Edge Diffraction of Microwaves; IEEE Transactions, Vol. AP-14, Nr. 4, July 1966; pp 480...489.
- [8] Rechenmethoden für einfache Aufgaben der Frequenzverteilung in Rundfunknetzen; Bericht Nr. VD11.1051 U vom 25. Juni 1985 der Abteilung Forschung und Entwicklung der Gen. Dir. PTT.
- [9] *E. Wey* Planungsperspektiven für drahtlose Kommunikationsmittel; Nachrichtentechnische Zeitschrift (ntz), Bd. 38 (1985), Heft 11 (Nov.), S. 780...789.