

<b>Zeitschrift:</b>	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
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe
<b>Band:</b>	52 (1974)
<b>Heft:</b>	9
<b>Artikel:</b>	Fernsehversorgung mit UHF-Umsetzern in gebirgigem Gelände
<b>Autor:</b>	Hügli, Hans
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-874772">https://doi.org/10.5169/seals-874772</a>

### 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:** 13.01.2026

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

# Fernsehversorgung mit UHF-Umsetzern in gebirgigem Gelände

Hans HÜGLI, Bern

621.371.32.029.63(23.01./03):621.397.743

Zusammenfassung. In typischen Fernsehumsatzer-Versorgungsgebieten unseres Landes wurde mit der Aufzeichnung einer grossen Zahl von Höhenfunktionen die räumliche Feldstärkeverteilung im UHF-Bereich untersucht. Für die Versorgungsplanung wird ein Geländefaktor zur Leistungsberechnung ermittelt und ein Vergleich mit der gebräuchlichen Empfangsmessung in 10 m Empfangshöhe durchgeführt. Bemerkenswert sind ausserdem die aufgezeigten Empfangsprobleme, die das schweizerische Kanalbelegungskonzept hervorrufen kann. Zu deren Milderung werden sowohl sende- als auch empfangstechnische Massnahmen vorgeschlagen.

## Couverture télévisuelle assurée par des réémetteurs UHF en montagne

Résumé. Dans les régions typiques de couverture par réémetteurs de télévision de la Suisse, la répartition spatiale de l'intensité de champ dans la gamme UHF a été analysée à l'aide de l'enregistrement d'un grand nombre de fonctions d'altitude. Pour la planification de l'alimentation, un facteur de terrain est déterminé en vue du calcul de la puissance et une comparaison est faite avec la mesure de réception usuelle à une hauteur de réception de 10 m. En outre, il vaut la peine de mentionner les problèmes de réception présentés, que peut soulever la conception suisse de l'occupation des canaux. Afin de les atténuer, l'auteur propose des mesures techniques tant à l'émission qu'à la réception.

## La copertura televisiva con ripetitori a UHF nelle regioni di montagna

Riassunto. Con la registrazione di un gran numero di funzioni altimetriche in differenti regioni caratteristiche della Svizzera, destinate a essere coperte con ripetitori televisivi, è stata appurata la distribuzione ambientale dell'intensità di campo nell'ambito della gamma a UHF. Ai fini della pianificazione si rileva un fattore d'area per il calcolo della potenza e si eseguisce un confronto con le ordinarie misurazioni di ricezione a un'altezza di ricezione di 10 m. Degni di rilievo sono inoltre i problemi di ricezione che affiorano a causa della concezione svizzera dell'occupazione dei canali. Al fine di mitigarne le ripercussioni, sono stati proposti provvedimenti, sia dal lato trasmittente, sia da quello ricevente.

## 1. Einleitung

In topografisch schwierigem Gelände erfordert die Fernsehversorgung der UHF-Bereiche ein sehr engmaschiges Sendernetz. Die Versorgungsplanung muss deshalb bestrebt sein, die beschränkt verfügbaren Kanäle möglichst wirtschaftlich auszunützen, das heißtt, ein und derselbe Kanal ist so oft als möglich zu belegen. Um diesen Planungsgrundsatz zu verwirklichen, ist die Sendeleistung so knapp zu bemessen, dass im vorgesehenen Versorgungsgebiet gerade die geschützten Mindestfeldstärken gewährleistet sind. Dies wiederum setzt eingehende Kenntnisse über die spezifischen Ausbreitungsvorgänge voraus. Wie die bisherigen Erfahrungen gezeigt haben, reichen die internationalen Planungsprinzipien für Basisnetze in der Umsetzerplanung nicht aus. Die Besonderheiten des gebirgigen Geländes werden darin nur ungenügend berücksichtigt.

Zur Beschaffung der nötigen Grundlagen wurden in typisch schweizerischen Umsetzer-Versorgungsgebieten umfassende Feldstärkemessungen durchgeführt. Für diese Untersuchungen geeigneterwiesen sich das Niedersimmental und der Talkessel von Balsthal. Das Niedersimmental vertritt dabei die alpine Zone mit hochgelegenem Umsetzerstandort, der Talkessel von Balsthal die topografisch ausglichenere Hügelzone mit tiefliegendem Umsetzerstandort.

Eine erste Untersuchung gilt der Ermittlung eines Geländefaktors zur Leistungsberechnung. Aus früheren Versorgungsmessungen ist bekannt, dass eine praktisch sinnvolle Versorgung mit UHF-Umsetzern nur im Sichtbereich möglich ist. Als Basis eignen sich daher die Berechnungsmethoden für Freiraumausbreitung.

Die zweite Untersuchung befasst sich mit den Auswirkungen des schweizerischen Kanalbelegungskonzeptes. Nach der Versorgungsplanung wird das 2. und 3. Fernsehprogramm mit einem Kanalabstand von 24 MHz (3 Kanalnum-

mern) im UHF-Bereich abgestrahlt. Begründet ist dieser Kanalabstand mit einer wesentlichen Vereinfachung der Sende- und Empfangsanlage. Konkret heisst das: zur Übertragung beider Kanäle genügt eine Sende- beziehungsweise Empfangsantenne. Zunächst erscheint das Konzept tatsächlich bestechend, denn es können Kosten eingespart werden. Wie nun die Feldstärkemessungen zeigen, sind im schweizerischen Versorgungsgebiet durchwegs ausgeprägte Höhenfunktionen (H-Funktionen) anzutreffen, die die freie Wahl des Empfangsantennenstandortes einschränken. Es gilt deshalb, einen Ort zu finden, wo mit einer Antenne auf beiden Kanälen gleichzeitig guter Empfang möglich ist. Nun hängt aber der Verlauf der H-Funktion  $E(h_e)$  auch von der Trägerfrequenz ab. Dies bedeutet, dass sich die H-Funktionen beider Kanäle nicht decken. Nur an zwei Schnittstellen je Periode treten gleiche Feldstärken auf, dazwischen können die Feldstärkeunterschiede beliebig gross sein. Mit Hilfe statistischer Auswerteverfahren lässt sich aus den rund 220 aufgezeichneten H-Funktionen ein mittleres Feldstärkeverhältnis zwischen beiden Kanälen ermitteln und daraus Hinweise über die zu erwartenden Empfangsprobleme ableiten. Da die Ergebnisse zu einigen Bedenken Anlass geben, wurde untersucht, mit welchen praktisch zu verwirklichenden Massnahmen dem störenden Einfluss der H-Funktionen begegnet werden kann.

Die aufgezeichneten H-Funktionen boten im weitern Gelegenheit, in einer besonderen Auswertung wertvolle Hinweise über den Aussagewert der allgemein üblichen Feldstärkemessmethode mit 10 m Empfangshöhe zu gewinnen.

## 2. Feldstärkemessungen

### 2.1 Aufgabenstellung und Messbedingungen

Wegen der bedeutenden Beugungsverluste im UHF-Bereich muss ein Umsetzer grösstenteils in Sichtweite des Versorgungsgebietes liegen. Dementsprechend beziehen

sich die folgenden Untersuchungen nur auf den Sichtbereich.

Wie die Erfahrungen zeigen, kann auch in diesem Gebiet kaum von Freiraumausbreitung gesprochen werden. Reflexionen beeinflussen das elektromagnetische Feld dermassen, dass die einfache Formel

$$E_o = \frac{7\sqrt{P_{ed}}}{d} \quad (1)$$

$E_o$  Freiraumfeldstärke in mV/m

$P_{ed}$  äquivalente Strahlungsleistung in Watt, bezogen auf  $\lambda/2$ -Dipol

d Entfernung Sender-Empfangsort in km

nur bedingt gültig ist. Für die beabsichtigten Untersuchungen sind namentlich Reflexionen aus der Empfangsrichtung, mit Laufzeitdifferenzen  $<100$  ns, von Bedeutung, das heisst solche, die als Inhomogenität der Feldverteilung (H-Funktion) in Erscheinung treten und keine Reflexionsbilder erzeugen. Mit gebräuchlichen Heimempfangsantennen lassen sich derartige Reflexionen nur mit beachtlichen Kompromissen ausblenden, weil ihr Einfallswinkel nur wenige Grad von der Empfangsrichtung abweicht.

Es stellte sich nun die Aufgabe, die Feldstärkeverteilung in dem vom Teilnehmer erfassbaren Raum zu bestimmen. Um ein Wirklichkeitsgetreues Bild zu erhalten, muss die Messmethode den tatsächlichen Empfangsmöglichkeiten sehr nahe kommen. Eine Registrierung der Feldstärke mit fahrender Empfangsanlage eignet sich nicht, weil unerwünschte Reflexionsfeldstärken nicht ausscheidbar wären. Am zweckmäßigsten wird ein Messpunktnett hoher Dichte aufgenommen, das ein Erfassen des Geländeeinflusses gewährleistet. In unseren Umsetzer-Versorgungsgebieten ist eine gleichmässige Verteilung der Messpunkte zwar nicht durchwegs möglich, weil man gezwungen ist, dem Straßennetz zu folgen. Da dieses naturgemäß vermehrt in Wohnzonen liegt, die in den fraglichen Gebieten ziemlich gleichmäßig verteilt sind, wird das Ergebnis dennoch repräsentativ ausfallen. Die mittlere Messpunktdichte sollte etwa 15 Punkte/km<sup>2</sup> betragen. In den ausgewählten Gebieten ergibt das ein Total von etwa 120 Punkten.

Die nächste Frage gilt der Feldstärkemessung am einzelnen Standort. Entsprechend dem Konzept der Sichtversorgung hat der Teilnehmer die Möglichkeit, seinen Antennenort so zu wählen, dass die Empfangsantenne in Sichtverbindung mit dem Sender steht. Um die günstigste Lage zu erreichen, kann die Empfangsantenne in horizontaler und vertikaler Richtung verschoben werden. Dementsprechend dürfen wir unseren Messort auch so wählen, dass vom Messwagendach aus Sichtverbindung mit dem Sender besteht, und wir können die Empfangsantenne in einem praktisch verfügbaren Bereich vertikal verschieben.

Untersucht man in den gewählten Versorgungsgebieten die zu erwartenden Funktionen in der Feldstärkeverteilung nach der Formel

$$E = 2E_o \left| \sin 2\pi \frac{h_e \cdot h_s}{\lambda \cdot d} \right| \quad (2)$$

so stellt man fest, dass innerhalb der dem Teilnehmer verfügbaren Empfangsantennenhöhe mehrere Perioden der H-Funktion auftreten werden. Um eine umfassende Information über die Feldstärkeverteilung am Messort und seiner unmittelbaren Umgebung zu erhalten, ist die Aufzeichnung

der gesamten H-Funktion notwendig. Die zeitlichen Veränderungen werden dabei ausser acht gelassen.

## 2.2 Messausstattung und Messvorgang

**Sendeanlage.** Mit einem drehbaren Antennenfeld wurden gleichzeitig zwei synchronimpulsmodulierte Bildträger (K45 und K48) gleicher Leistung in horizontaler Polarisation abgestrahlt. Zweck der Anordnung war, jeden Messort mit der genau bestimmten Strahlungsleistung von 500 W zu versorgen und mit der Richtantenne (Halbwertbreite 60°) unerwünschte Reflexionen von seitlichen Berghängen zu vermeiden.

**Empfangsanlage.** Ein Messwagen mit ausfahrbarem Antennenmast ermöglichte das gleichzeitige Aufzeichnen der H-Funktionen beider Kanäle zwischen 3 m...10 m Empfangshöhe. Als Antenne diente eine gebräuchliche Yagi-Antenne mit mittleren Kenndaten. Vor dem Aufzeichnen der H-Funktion wurde das Empfangssignal anhand der Synchronsignale auf unerwünschte Reflexionen überprüft. Falls der Störabstand 26 dB erreichte, liess sich die Messung mit optimal auf den Sender ausgerichteter Empfangsantenne durchführen. Vergleiche zwischen berechneten Feldstärkewerten und Kontrollmessungen im Gelände ergaben eine mittlere Unsicherheit von ±1 dB für die gesamte Messanordnung. In Anbetracht des recht schwierigen Messverfahrens kann die erreichte Messgenauigkeit als zufriedenstellend betrachtet werden.

## 3. Ermittlung eines Geländefaktors

### 3.1 Auswerteverfahren

Zur Auswertung des umfangreichen Datenmaterials, das in Form mehrerer hundert Funktionsdiagramme anfällt, werden statistische Verfahren herangezogen. Um das zweckmäßigste Vorgehen festzulegen, sind einige grundätzliche Überlegungen an Modelfällen anzustellen.

#### 3.1.1 Die ideale H-Funktion

Tritt auf der Verbindungsleitung zwischen Sender und Empfänger eine Bodenreflexion auf, so überlagern sich am Empfangsort zwei Felder gleichen Ursprungs, aber unterschiedlicher Laufzeit (Fig. 1).

$$\vec{E}_e = \vec{E}_d + \vec{E}_r \quad (3)$$

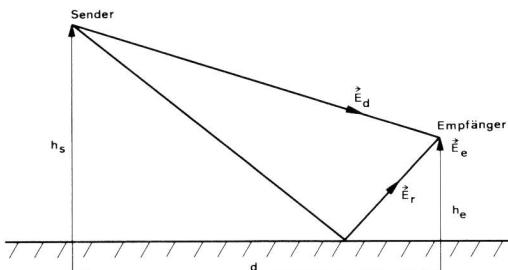


Fig. 1  
Bodenreflexion auf der Verbindungsleitung zwischen Sender und Empfänger

- $E_d$  Feldstärke der direkt einfallenden Welle
- $E_r$  Feldstärke der reflektierten Welle
- $E_e$  Empfangsfeldstärke
- $h_s$  Sendehöhe
- $h_e$  Empfangshöhe
- d Distanz Sender-Empfänger

Der Teilnehmer findet also eine von der Empfangshöhe  $h_e$  abhängige Feldstärke. Im dargestellten Modell folgt die Empfangsfeldstärke bei horizontaler Polarisation der Gleichung (2).

$$E = 2 E_o \left| \sin 2\pi \frac{h_s \cdot h_e}{\lambda \cdot d} \right|$$

Diese Sinus-versus-Funktion (Fig. 2) tritt mit annähernd idealem Verlauf nur in einigen Prozenten der Empfangsorte auf. Mehrheitlich nimmt die H-Funktion keinen periodischen Verlauf. Der Grund dafür liegt im unebenen Gelände zwischen Sender und Empfänger. In die mathematische Funktion übertragen, kann man die Unebenheit als von der Empfangshöhe  $h_e$  abhängige Sendehöhe  $h_s$  einführen.

$$E = 2 E_o \left| \sin 2\pi \frac{h_s(h_e) \cdot h_e}{\lambda \cdot d} \right| \quad (4)$$

Die Funktion  $h_s(h_e)$  ist durch die Geländebeschaffenheit bestimmt und statistischer Natur. Je nach Variationsbereich von  $h_s$  wird die Grundfunktion mehr oder weniger verzerrt.

Neben der Phasenverzerrung ist auch die Amplitude der Reflexionswelle von  $h_e$  abhängig. Wegen des veränderlichen Reflexionsfaktors  $r(h_e) < 1$  wird die H-Funktion weniger ausgeprägt. Auch dieser Faktor ist statistischer Art, die allgemein ausgeprägten H-Funktionen lassen jedoch erkennen, dass dieser weniger ins Gewicht fällt.

### 3.1.2 Überlagerung mehrerer Reflexionswellen

In topografisch schwierigem Gelände ist es durchaus möglich, dass zwischen Sender und Empfänger mehrere Geländestellen die physikalische Bedingung – Einfallsinkel = Ausfallswinkel – erfüllen. Ein geradezu klassisches Beispiel dafür ist die in Figur 3 gezeigte H-Funktion aus dem Simmental.

Der Sinus-versus-Funktion ist eine Schwebung mit einer Periodenlänge von etwa 10 m überlagert; ihr Amplitudenmaximum erscheint gerade in der Mitte des Messhöhenbereichs.

Auch für diesen Fall soll mit einem einfachen Modell ein Überblick über die in Wirklichkeit sehr komplizierten Verhältnisse gesucht werden. Die Überlagerung von zwei Reflexionen gleicher Amplitude mit der direkten Welle lässt sich wie folgt formulieren

$$\vec{E} = \vec{E}_d + \vec{E}_{r1} + \vec{E}_{r2} \quad (5)$$

Bei gleichem Ursprung der Wellenzüge kann man den Phasenwinkel für  $E_d$  Null setzen und mit den Phasendifferenzen  $\varphi_r$  arbeiten.

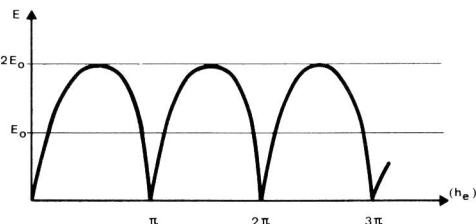


Fig. 2  
Feldstärke in Abhängigkeit der Empfangshöhe (H-Funktion)

$E_o$  Freiraumfeldstärke  
 $h_e$  Empfangshöhe

$$\vec{E}_e(h_e) = E_o \left( 1 + e^{j\varphi_{r1}(h_e)} + e^{j\varphi_{r2}(h_e)} \right) \quad (6)$$

Der beim Empfang massgebende Betrag der Feldstärke ist

$$E_e(h_e) = E_o \cdot \sqrt{(1+\cos\varphi_{r1} + \cos\varphi_{r2})^2 - (\sin\varphi_{r1} + \sin\varphi_{r2})^2} \quad (7)$$

Der Phasenwinkel  $\varphi_r(h_e)$  setzt sich gleich zusammen wie in der einfachen H-Funktion

$$\varphi_r = 2\pi \frac{h_s(h_e) \cdot h_e}{\lambda \cdot d} \quad (8)$$

Die an sich komplizierte Funktion wird mit dem Term  $h_s(h_e)$  zusätzlich mit statistischen Elementen verknüpft. Um eine Übersicht zu gewinnen, soll lediglich untersucht werden, innerhalb welcher Grenzwerte die Feldstärke schwanken kann.

Die Feldstärke erreicht ein Maximum, wenn  $\varphi_{r1} = \varphi_{r2} = 0^\circ$  beträgt, dann ist

$$E_e = 3 E_o$$

Ein Minimum wird erreicht bei  $\varphi_{r1} = 120^\circ$  und  $\varphi_{r2} = 240^\circ$

$$E_e = 0$$

Wesentlich ist außerdem die Tatsache, dass bei geringen Phasendifferenzen ( $\varphi_{r1}-\varphi_{r2}$ ) die Schwebung lang gezogen auftritt, und die Überlagerung im verfügbaren Messbereich von  $h_e = 3 \dots 10$  m kaum erkennbar ist. Untersucht man die H-Funktionen mit ungewöhnlich hohem Feldstärkemittelwert, so erkennt man tatsächlich eine Überlagerung von mehreren Reflexionen.

### 3.1.3 Gemessene H-Funktionen

Bei der Durchsicht der aufgezeichneten H-Funktionen erkennt man sofort, dass die statistischen Faktoren grosses Gewicht haben. Sinus-versus-Funktionen, die einen einfachen Rückschluss auf  $E_o$  ermöglichen würden, sind nur mit wenigen Prozenten vertreten. Etwa ein Drittel der H-Funktionen zeigen in einem Teilbereich einen annähernd theoretischen Verlauf (Fig. 4a).

Ein weiterer Drittel zeigt noch ausgeprägte Maxima und Minima, die Sinusfunktion ist jedoch nur andeutungsweise erkennbar (Fig. 4b). Im restlichen Drittel sind lediglich noch Feldstärkeänderungen feststellbar, der Verlauf ist sozusagen beliebig (Fig. 4c).

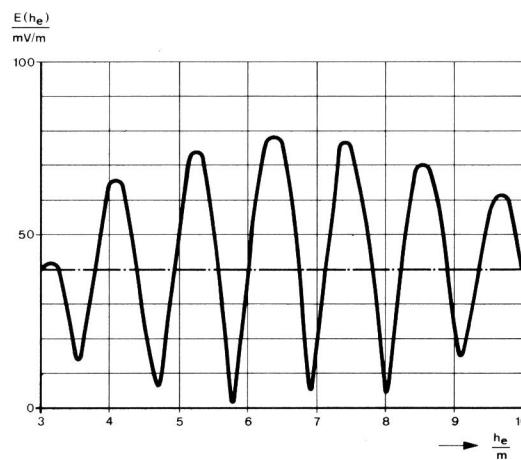


Fig. 3  
H-Funktion mit zwei überlagerten Reflexionswellen (Simmental)

$E$  Feldstärke  
 $h_e$  Empfangshöhe

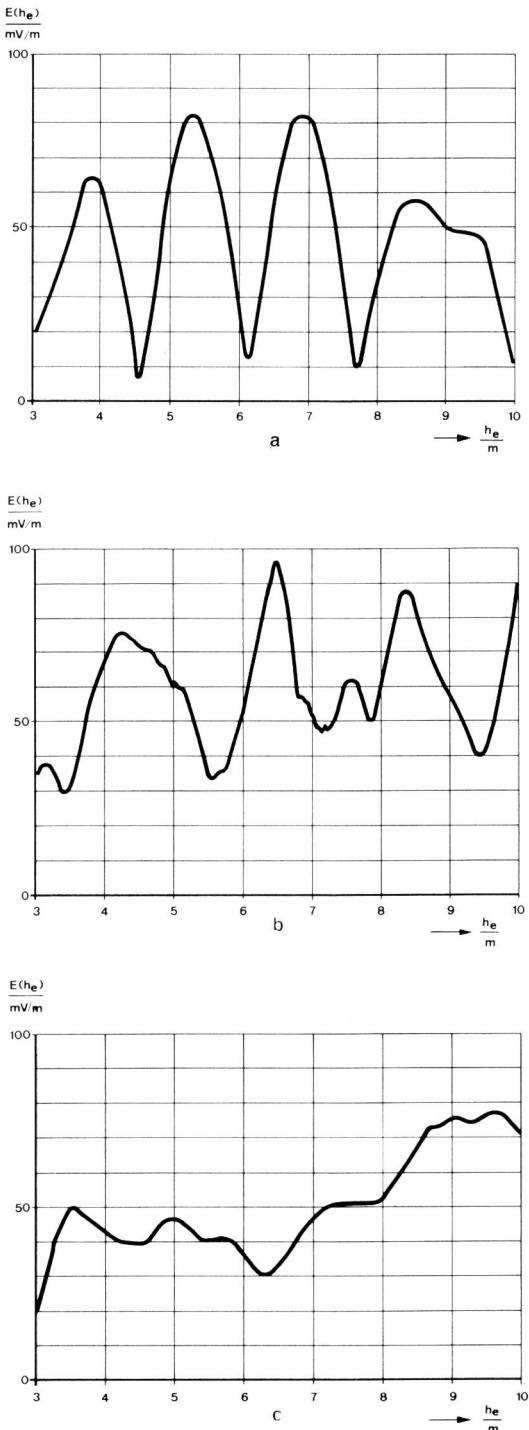


Fig. 4  
Typische H-Funktionen

E Feldstärke  
 $h_e$  Empfangshöhe

#### 3.1.4 Arithmetischer Mittelwert bezüglich der Empfangshöhe

Wie die Messungen zeigen, bewegen sich die Pegeländerungen der einzelnen H-Funktionen etwa im Bereich 1:10 (20 dB), so dass eine arithmetische Mittelwertbildung als zweckmäßig erscheint. Diese kann direkt aus den aufgezeichneten Kurven durch grafische Integration (Planimeter) erfolgen. Für jeden Messpunkt erhält man so einen Mittelwert  $\bar{E}$  der Feldstärke. Vergleiche zwischen einigen typischen Modellfunktionen (Dreieck, Sinus und Sinusversus) zeigen, dass zwischen  $\bar{E}$  und dem Feldstärke-Mittelwert  $E_{(50)}$  Abweichungen von höchstens 1 dB auftreten. Es kann also  $\bar{E} \approx E_{(50)}$  gesetzt werden, was bedeutet, dass die planimetrische Ausmittlung den gewünschten statistischen Aussagewert aufweist.

#### 3.1.5 Mittlere Feldstärke im Versorgungsgebiet

Ein Bild über die Feldstärkeverteilung im gesamten Versorgungsgebiet ergibt sich erst dann, wenn die Messpunktmittelewerte  $\bar{E}$  über das ganze Gebiet ausgemittelt werden. Voraussetzung dazu wäre eine gleichmäßige Verteilung der Messpunkte im Gelände, was in gebirgigen Gegenden nicht zu verwirklichen ist. Eine gangbare Lösung bietet die grafische Darstellung der Messpunktmittelewerte  $\bar{E}$  in Funktion der Entfernung zum Sender. Obschon die Verteilung der Messpunkte über die Distanz nicht regelmäßig ist, ergibt sich ein aufschlussreiches Bild über die gemessene mittlere Feldstärke  $\bar{E}$  im Vergleich mit dem berechenbaren Verlauf  $E_o$ . Die Darstellung bietet den Vorteil, dass besondere Ausbreitungsverhältnisse deutlich hervortreten und anhand der topografischen Verhältnisse untersucht werden können.

Als Messresultat für die Ermittlung des Geländefaktors benötigt man den Medianwert  $E_{(50)}$  der Mittelwerte  $\bar{E}$ . Wegen der geringen Messpunktzahl ist das Eintragen der  $E_{(50)}$ -Kurve in Funktion der Entfernung etwas problematisch. Zur Ergänzung wird daher auch eine numerische Ausmittlung durchgeführt. Dazu rechnet man alle  $\bar{E}$ -Werte auf eine konstante Distanz um  $E'$  und ermittelt daraus  $E'_{(50)}$  mit der Streuung  $\sigma$ .

#### 3.2 Auswertung der Feldstärkemessungen

Im langgezogenen Niedersimmental mit typisch alpinem Charakter verteilen sich die Messpunkte in ziemlich unterschiedlicher Dichte bis zu einer Sichtdistanz von 11 km. Die mittlere Sendeantennenhöhe beträgt im stark zerklüfteten Versorgungsgebiet etwa 300 m.

Eine gleichmäßige Messpunktverteilung liess sich im leicht gewellten Talkessel von Balsthal bis zu einer Sichtdistanz von etwa 6 km einhalten. Im Gegensatz zum Simmental wurde dort die mittlere Sendeantennenhöhe mit etwa 80 m möglichst niedrig gewählt, um bei nur knappen Sichtverhältnissen eine minimale Periodizität der H-Funktion zu erreichen.

In beiden Messgebieten wurden je 120 Standorte ausgemessen, eine Zahl, die ausreichend für eine zuverlässige, statistische Auswertung ist. Damit direkte Vergleiche möglich sind, werden die Feldstärkewerte auf die übliche Bezugsleistung von 1 kW äquivalenter Strahlungsleistung bezogen.

##### 3.2.1 Mittlere Feldstärke

Die Figuren 5a und 5b zeigen die Höhenfunktionsmittelwerte  $\bar{E}$  in Abhängigkeit der Distanz. Im Messgebiet Simmental erkennt man, dass trotz der beachteten Sichtverbindung zum Sender der Feldstärkemedianwert  $E_{(50)}$  die Freiraumfeldstärke  $E_o$  merklich unterschreitet. Augenfällig sind die hohen Feldstärken bei  $d = 9 \text{ km} \dots 11 \text{ km}$ . Untersucht man hier die H-Funktion im Zusammenhang mit der Geländestruktur, so stellt man eine Überlagerung mehrerer Reflexionen fest. Im Messbereich Balsthal erreicht  $E_{(50)}$  praktisch die freie Feldstärke  $E_o$ , was darauf hinweist, dass trotz knapper Sichtbedingungen ausreichende Feldstärken erzielt werden können. Für die Versorgungsplanung ist diese Feststellung sehr bemerkenswert, lässt sich doch mit minimaler Sendeantennenhöhe auch das Störgebiet wesentlich reduzieren.

Um den mittleren Abstand zwischen  $E_o$  und  $E_{(50)}$  besser bestimmen zu können, werden alle Höhenfunktionsmittelwerte  $\bar{E}$  auf die Entfernung  $d = 5 \text{ km}$  bezogen und daraus der Medianwert  $E'_{(50)}$  berechnet (Tab. I).

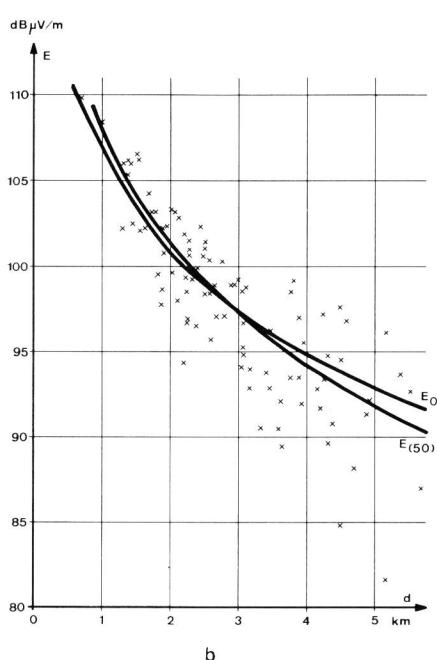
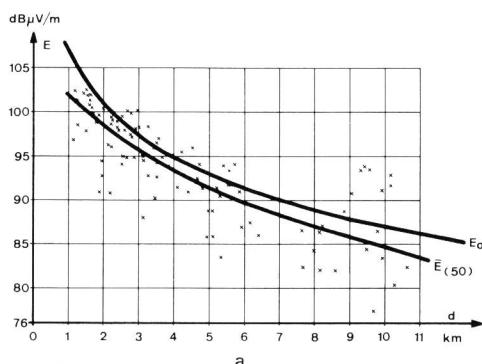


Fig. 5  
Höhenfunktionsmittelwerte  $E$  in Abhängigkeit der Distanz (K45,  
 $P_{ed} = 1 \text{ kW}$ )

a Simmental  
b Balsthal  
 $\bar{E}_{(50)}$  Medianwert der Feldstärkemittelwerte  
 $d$  Distanz Sender-Empfänger

Tabelle I. Medianwert  $\bar{E}_{(50)}$  der Höhenfunktionsmittelwerte  $E$

Messgebiet	Kanal	$E_o$ $\text{dB}_{\mu}$	$\bar{E}_{(50)}$ $\text{dB}_{\mu} \text{ V/m}$	$\sigma$ $\text{dB}$
Simmental	45	93	91	3
	48	93	90,5	3
Balsthal	45	93	92,5	2,5
	48	93	93	2,5

Vertrauensbereich (95%):  $\pm 0,5 \text{ dB}$

### 3.2.2 Maximal- und Minimalamplitude der H-Funktion

Aufschlussreich über die Bedeutung der H-Funktion sind der Medianwert der Maximalamplitude  $E'_{\max(50)}$  und der Minimalamplitude  $E'_{\min(50)}$  aller H-Funktionen. Aus dem Abstand beider Medianwerte lässt sich schätzen, mit welchen Pegelschwankungen bei allfälligen Vertikalverschiebungen zu rechnen ist (Tab. II).

Im Simmental beträgt der mittlere Pegelabstand 13,5 dB, in Balsthal 17 dB. Bei rund 20% der Empfangsorte muss sogar mit Werten >20 dB gerechnet werden.

Tabelle II. Medianwerte der Maximal- und Minimalamplitude der H-Funktionen

Messgebiet	Kanal	$E'_{\max(50)}$ $\text{dB}_{\mu} \text{ V/m}$	$\sigma_{\max}$ $\text{dB}$	$E'_{\min(50)}$ $\text{dB}_{\mu} \text{ V/m}$	$\sigma_{\min}$ $\text{dB}$
Simmental	45	95	4	81	8,5
	48	94	4	81	7
Balsthal	45	97	4	80	9
	48	97	3	80	9

### 3.2.3 Ermittlung des Geländefaktors

Der Geländefaktor wird definiert als Verhältnis aus Freiraumfeldstärke  $E_o$  und Medianwert der H-Funktionsmittelwerte  $\bar{E}_{(50)}$ .

$$\text{Geländefaktor} = \frac{E_o}{\bar{E}_{(50)}} \quad (9)$$

( $E$  in V/m)

oder logarithmiert

$$\text{Geländefaktor } d_B = E_o - \bar{E}_{(50)} \quad (10)$$

( $E$  in  $\text{dB}_{\mu} \text{ V/m}$ ).

Setzt man die Feldstärkewerte aus Tabelle I in die Gleichung (9) ein, so ergeben sich die Geländefaktoren in Tabelle III. Die Geländefaktoren fallen weniger gravierend aus als ursprünglich vermutet wurde. Schätzungen aus früheren Versorgungsmessungen ergaben Werte bis zu 6 dB. Zum Beispiel Balsthal ist zu bemerken, dass hier ein Grenzfall mit besonders hohen Feldstärken vorliegt.

Tabelle III. Geländefaktor

Messgebiet	Geländefaktor/dB
Simmental	3
Balsthal	1

Wir schlagen deshalb vor, in der Umsetzerversorgungsplanung allgemein einen Geländefaktor von 3 dB anzuwenden.

Ausgehend von der geschützten Mindestfeldstärke  $E_G$  als erwünschter Medianwert der H-Funktionsmittelwerte  $\bar{E}_{(50)}$ , berechnet sich nun die äquivalente Strahlungsleistung  $P_{ed}$

$$P_{ed} = 2 \left( \frac{E_G}{7} \right)_1^2 d^2 \quad (11)$$

$E_G$  in mV/m

Bezugsantenne  $\lambda/2$ -Dipol

$P_{ed}$  in Watt

$d$  in km

oder logarithmiert

$$10 \log P_{ed} = E_G + 20 \log d - 73,9 \quad (12)$$

$E_G$  in  $\text{dB}_{\mu} \text{ V/m}$

$P_{ed}$  in Watt

$d$  in km

Nützt der Teilnehmer den den Messungen zugrunde gelegten Höhenbereich zwischen  $h_e = 3 \text{ m} \dots 10 \text{ m}$  aus, so ist in 85%...90% der Empfangsorte die geschützte Feldstärke  $E_G$  gewährleistet.

An Orten allerdings, wo die H-Funktion zeitlich nicht stabil bleibt, ist deren Ausnutzbarkeit in Frage gestellt. Über das Ausmass dieser zeitabhängigen Schwankungen, die mehrfach festgestellt wurden, können im Rahmen dieser

Arbeit keine Angaben gemacht werden. Sollten diese verbreitet auftreten, wird die örtliche Verteilung von  $E_G$  kaum wesentlich über 50% ausnutzbar.

#### 4. Auswirkungen des schweizerischen Kanalbelegungskonzeptes

4.1 Mittleres Feldstärkeverhältnis aus zwei Sinus-versus-Funktionen mit unterschiedlicher Wellenlänge

Aus zwei H-Funktionen nach Gleichung (2)

$$E = 2 E_0 \left| \sin 2\pi \frac{h_s \cdot h_e}{\lambda \cdot d} \right|$$

mit unterschiedlicher Wellenlänge beziehungsweise Frequenz wird in Abhängigkeit der Empfangshöhe das Feldstärkeverhältnis

$$a_i(d_B) = 20 \log \frac{E_1}{E_2} \quad (13)$$

gebildet (Fig. 6).

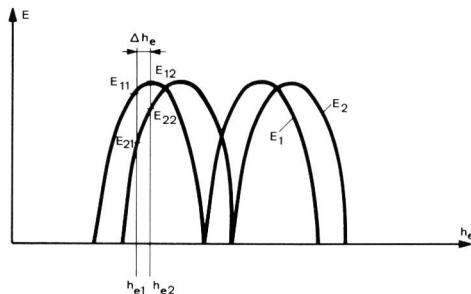


Fig. 6  
Zwei Sinus-versus-Funktionen mit unterschiedlicher Wellenlänge

$E$  Feldstärke  
 $h_e$  Empfangshöhe  
 $\Delta h_e$  Inkrement der Empfangshöhe

Als Frequenzunterschied  $\Delta f$  wird ein Vielfach  $n$  des Kanalabstandes (8 MHz) im UHF-Bereich gewählt.

$$\Delta f = 8 n$$

Das Vielfach  $n$  ist dabei die Kanalnummerndifferenz, also der zu untersuchende Parameter.

Zur Vereinfachung wird in Anwendung der Funktion  $\Delta h_2 = 1/4\lambda \cot \alpha$  [1] das Verhältnis  $h_s/d$  durch den Tangens des Elevationswinkels  $\alpha$  am Empfangsort ersetzt (Fig. 7). In die Gleichung (12) eingesetzt, berechnet sich das Feldstärkeverhältnis allgemein mit

$$a_{i(d_B)} = \left| 20 \log \frac{\sin \left[ \frac{\pi}{150} (\operatorname{tg} \alpha) f \cdot h_e \right]}{\sin \left[ \frac{\pi}{150} (\operatorname{tg} \alpha) (f + 8n) h_e \right]} \right| \quad (14)$$

Gültig für  $\alpha < 30^\circ$

f in MHz,  $h_e$  in m

Für die praktische Anwendung lassen sich folgende Faktoren in der Konstanten

$$A = \frac{\pi}{150} f \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

zusammenfassen.

In die Gleichung (14) eingesetzt wird

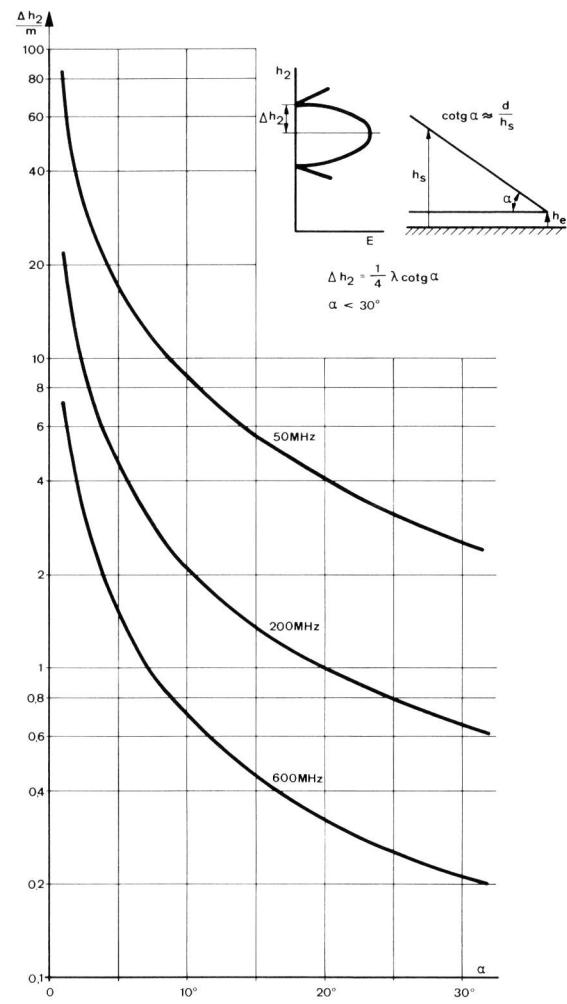


Fig. 7  
Abstand vom Minimum zum Maximum als Funktion von Frequenz und Elevationswinkel

$\Delta h_2$  Abstand zwischen Maximum und Minimum der H-Funktion  
 $\alpha$  Einfallwinkel  
 $\lambda$  Wellenlänge

$$a_{i(d_B)} = \left| 20 \log \frac{\sin (A h_e)}{\sin \left[ A \left( 1 + \frac{8n}{f} \right) h_e \right]} \right| \quad (15)$$

Wählt man die mittlere Frequenz  $f = 550$  MHz im Bereich 4 und den mittleren Elevationswinkel  $\alpha = 10^\circ$  (Simmental), so wird die Konstante

$$A = \frac{\pi}{150} 550 \operatorname{tg} 10^\circ \approx 2$$

Eingesetzt in Gleichung (15) wird

$$a_{i'(d_B)} = \left| 20 \log \frac{\sin (2 h_e)}{\sin \left[ 2 \left( 1 + \frac{8n}{550} \right) h_e \right]} \right| \quad (16)$$

Ausgehend von den Feldmessungen, bewegt sich die Variable  $h_e$  zwischen 3 m...10 m Empfangshöhe. Das Höheninkrement  $\Delta h_e$  muss dem zu erwartenden Abstand zwischen Maximum und Minimum ( $\Delta h_2$  aus Fig. 7) der H-Funktion angepasst werden. Im vorliegenden Fall erreicht man mit  $\Delta h_e = 0,1$  m eine ausreichende Auflösung (etwa 7 Werte je Halbperiode). Bezüglich der Minimalempfangshöhe  $h_{eo}$  kann die Variable  $h_e$  wie folgt angesetzt werden

$$h_e = h_{eo} + m \cdot \Delta h_e$$

In Gleichung (16) eingesetzt wird

$$a_i'_{(dB)} = \left| 20 \log \frac{\sin \left[ 2(h_{eo} + m \cdot \Delta h_e) \right]}{\sin \left[ 2 \left( 1 + \frac{8n}{550} \right) (h_{eo} + m \cdot \Delta h_e) \right]} \right| \quad (17)$$

oder mit den Zahlenwerten für

$h_{eo} = 3$  Meter,  $\Delta h_e = 0,1$  Meter und  $m = 1, 2, 3 \dots 70$

$$a_i'_{(dB)} = \left| 20 \log \frac{\sin (6 + 0,2 \text{ m})}{\sin \left[ \left( 2 + \frac{16n}{550} \right) (3 + 0,1 \text{ m}) \right]} \right| \quad (18)$$

Das gesuchte mittlere Feldstärkeverhältnis  $\bar{a}$  erhält man schliesslich durch Ausmitteln der Verhältnswerte  $a_i'$  aus (18)

$$\bar{a}_{(dB)} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m a_i' \quad (19)$$

Gemäss den Ergebnissen in Abschnitt 3.2.2 überschreiten die Pegelunterschiede nur in wenigen Prozenten den Wert von 20 dB. Um den praktischen Verhältnissen näher zu kommen, ist es daher zweckmässig, beim Berechnen von  $\bar{a}$  folgenden Kompromiss zu schliessen: Alle Werte  $a_i' > 20$  dB werden mit dem Wert 20 dB in Rechnung gesetzt.

*Beispiel:* Für die Kanalschritte  $n = 3$  und  $n = 6$  wurden folgende Feldstärkeverhältnisse  $\bar{a}$  berechnet

$$\bar{a}_{n=3} = 8 \text{ dB} \quad \bar{a}_{n=6} = 11 \text{ dB}$$

In Verbindung mit den gemessenen Werten für den Kanalschritt  $n = 3$  lassen sich die praktischen Auswirkungen für eine beliebige Kanalkombination hinreichend genau abschätzen.

#### 4.2 Auswertung der Feldmessungen

Bekanntlich weisen die gemessenen H-Funktionen eine recht hohe Periodizität auf, im Simmental bis zu 6 Perioden zwischen 3 m...10 m Empfangshöhe. Um eine repräsentative Aussage über das mittlere Feldstärkeverhältnis bezüglich der Empfangshöhe zu erhalten, werden je Periode 5...6 Werte – gleichmässig verteilt – abgetastet. Über 7 m Messhöhenunterschied ergibt das 36 Werte, das heisst mit dem Höheninkrement  $\Delta h_e = 20$  cm ist jeweils das Feldstärkeverhältnis

$$a_i_{(dB)} = \left| 20 \log E_{K45} / E_{K48} \right|$$

zu berechnen. Bei rund 220 H-Funktionen ergibt das insgesamt etwa 8000 Einzelwerte, die statistisch zu verarbeiten sind.

Um das Datenmaterial in nützlicher Frist auswerten zu können, wurden auf einem besonderen Lesetisch die Feldstärkewerte aus den Diagrammen herausgelesen, direkt in einen Tischrechner eingegeben und der Mittelwert  $\bar{a}$  sowie dessen Streuung  $\sigma$  berechnet.

$$\bar{a}_{(dB)} = \frac{1}{36} \sum_{i=1}^{36} a_i' \quad (20)$$

$$\sigma_{(dB)} = \sqrt{\frac{1}{35} \sum_{i=1}^{36} (a_i - \bar{a})^2} \quad (21)$$

Die beiden Werte  $\bar{a}$  und  $\sigma$  charakterisieren die einzelne H-Funktion. Eine Aussage über das ganze Versorgungs-

gebiet ergibt sich im Mittelwert aller ( $n$ ) Einzelfunktionsmittelwerte und deren Streuung. Das für ein Gebiet typische mittlere Feldstärkeverhältnis  $\bar{a}_{typ}$  ist somit

$$\bar{a}_{typ(dB)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{a} \quad (22)$$

und die mittlere Streuung

$$\bar{\sigma}_{typ(dB)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma \quad (23)$$

Der gesamte Streubereich wird erfasst mit der Streuung  $\bar{\sigma}_{\sigma_{typ}}$  der mittleren Streuung  $\bar{\sigma}_{typ}$

$$\bar{\sigma}_{\sigma_{typ(dB)}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\sigma - \bar{\sigma}_{typ})^2} \quad (24)$$

Zusammen ergeben die drei Werte der Gleichungen (22), (23) und (24) eine vollständige Aussage über das zu erwartende Feldstärkeverhältnis am einzelnen Empfangsstandort.

#### 4.3 Mittleres Feldstärkeverhältnis bezüglich der Empfangshöhe

In der Praxis kann ein merklich günstigeres mittleres Feldstärkeverhältnis  $\bar{a}$  erwartet werden als die errechneten 8 dB in Abschnitt 4.1. Nach Tabelle IV erreicht  $\bar{a}_{typ}$  im Mittel 4 dB, eine Differenz, die bei stabilen H-Funktionen keine Empfangsprobleme stellt. Jeder Empfänger vermag diese Pegelunterschiede ohne weiteres auszuregeln. Durch vertikales Verschieben der Empfangsantenne findet der Teilnehmer auch meistens einen Ort, wo beide Kanäle gleichzeitig die geschützte Feldstärke erreichen und keine Beeinträchtigung der Bildqualität zu erwarten ist.

Tabelle IV. Mittleres Feldstärkeverhältnis bezüglich der Empfangshöhe

Messgebiet	$\bar{a}_{typ}$ dB	$\bar{\sigma}_{typ}$ dB	$\bar{\sigma}_{\sigma_{typ}}$ dB
Simmental	4,2	2,6	1,6
Balsthal	3,6	2,7	1,8

Das Auffinden der günstigsten Empfangshöhe ist zuweilen recht schwierig. Insbesondere bei verhältnismässig grosser Sendeantennenhöhe, bei welcher eine hohe Periodizität resultiert. In Figur 8a erkennt man den typischen Verlauf mit rund  $\frac{1}{4}$  Periode Verschiebung, wie sie bei etwa 80% der Empfangsorte auftritt. Weit schwieriger und wegen der recht grossen Häufigkeit von 20% nicht vernachlässigbar ist der Verlauf nach Figur 8b. Hier tritt fast durchwegs eine Verschiebung von  $\frac{1}{2}$  Periode auf, jedem Maximum des einen Kanals steht ein Minimum des andern gegenüber. In dieser Situation eine Empfangshöhe mit stabilen Empfangsbedingungen zu finden, ist problematisch. Namentlich dann, wenn die H-Funktionen in ihrer Höhe variieren und dabei mittlere Pegelunterschiede zwischen Maximum und Minimum von 17 dB zu erwarten sind. Als Ergebnis treten oft ungenügende Bildqualitäten auf, hervorgerufen durch Rauschen und Reflexionen oder möglicherweise sogar Kreuzmodulation [1].

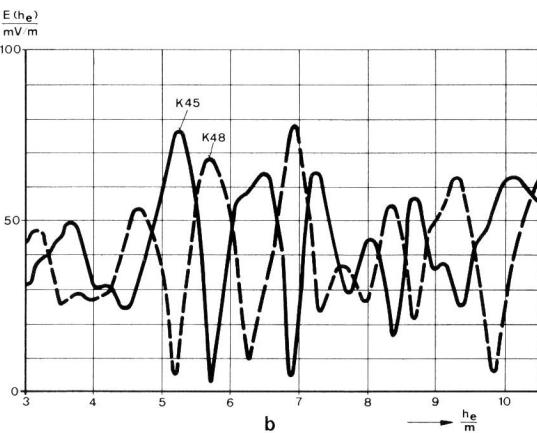
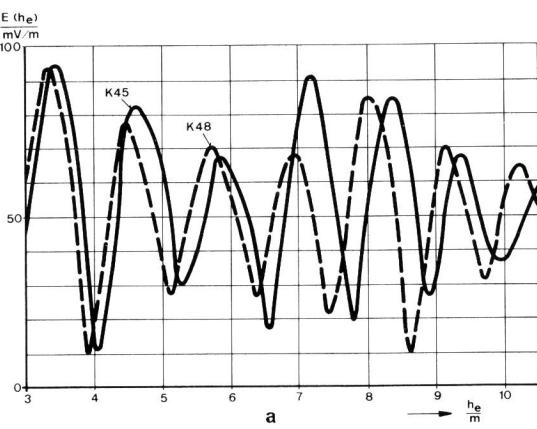


Fig. 8  
H-Funktionen aus dem Simmental

- a Typischer Verlauf mit etwa  $\frac{1}{4}$  Periode Verschiebung
- b Aussergewöhnliche Verschiebungen bis zu  $\frac{1}{2}$  Periode
- E Feldstärke
- $h_e$  Empfangshöhe

#### 4.4 Empfangsverbesserungen im Interferenzfeld

Wie die Untersuchungen zeigen, tritt besonders im Nahbereich des Senders beziehungsweise Umsetzers ein ausgeprägtes Interferenzfeld auf, das die Vorteile des Kanalbelegungskonzeptes beeinträchtigt. Um hier die Empfangsschwierigkeiten etwas zu mildern, lassen sich sowohl bei der Senderplanung als auch beim Empfang vorbeugende Massnahmen treffen. Primär ist bei der Standortwahl des Senders beziehungsweise Umsetzers eine möglichst geringe Sendeantennenhöhe bezüglich dem Versorgungsgebiet anzustreben. Am Empfangsort sollte der Einfallswinkel  $\alpha$  gemäss Figur 7 keinesfalls  $10^\circ$  überschreiten. Der Abstand  $\Delta h_2$  wird dabei grösser als 1 m und zeitabhängige Höhenverschiebungen können weniger wirksam in Erscheinung treten. Gleichzeitig erlaubt der tiefliegende Standort eine vermehrte Ausnutzung der Abschirmung durch Bergzüge und damit eine Verringerung des Störbereichs.

Von der Senderplanung her kann der störende Einfluss der H-Funktion zwar verringert, aber nicht beseitigt werden. Beim Teilnehmer sind daher ergänzende Massnahmen in Betracht zu ziehen, falls sich Empfangsprobleme wegen des Interferenzfeldes ergeben sollten. In einer besonderen Messreihe wurde deshalb versucht, mit gebräuchlichen Heimempfangsantennen den Einfluss der Bodenreflexion zu reduzieren. Eine Mehrelement-Yagi-Antenne, die zur Ausblendung der Bodenreflexion vorne angehoben wird, ergab dabei die günstigsten Resultate für eine Heimempfangsanlage. In der Regel erzielt man die beste Wirkung, wenn die Empfangsantenne um  $20^\circ \dots 30^\circ$  nach oben geneigt

wird (Fig. 9). Mit der ersten Nullstelle der Richtcharakteristik wird dadurch die Reflexionsenergie soweit gedämpft, dass praktisch keine H-Funktion mehr auftritt (Fig. 10). Dabei muss allerdings ein Nutzpegelverlust bis zu 6 dB in Kauf genommen werden. In Sendernähe ist dieser Verlust aber meistens tragbar. Für besonders kritische Gebiete könnte man bei der Leistungsbemessung einen Zuschlag von 3 dB...4 dB vorsehen. Da dies jedoch im Gegensatz zur früher vertretenen Leistungsbeschränkung steht, sollte diese Möglichkeit nur in Ausnahmefällen Anwendung finden.

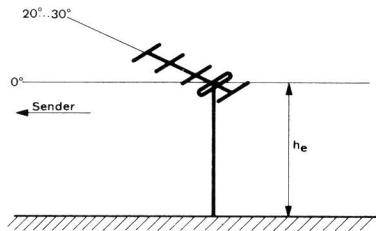


Fig. 9  
Ausblenden der Bodenreflexion mit geneigter Empfangsantenne

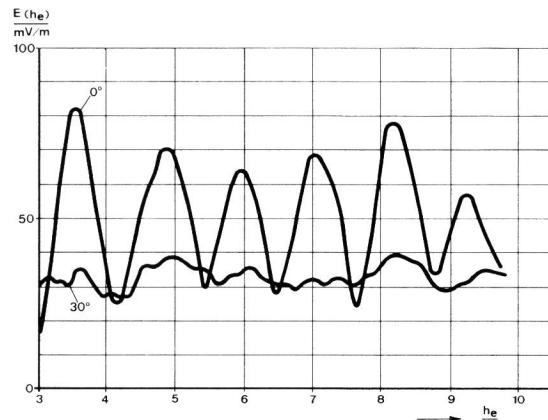


Fig. 10  
Ausgeebnete H-Funktion mit  $30^\circ$  nach oben geneigter Empfangsantenne

- E Feldstärke
- $h_e$  Empfangshöhe

#### 5. Besondere Auswertungen

Zur Beurteilung der Fernsehversorgung ist es allgemein üblich, die Bildbeobachtungen und Feldstärkemessungen auf 10 m Empfangshöhe durchzuführen. Es bietet sich nun die Gelegenheit, aus den H-Funktionen die Feldstärke in 10 m Höhe herauszuziehen und mit den H-Funktionsmittelwerten  $\bar{E}$  zu vergleichen.

Aus den 110 H-Funktionen je Kanal und Ort werden die Feldstärken in 10 m Höhe herausgezogen und auf  $P_{ed} = 1 \text{ kW}$  sowie  $d = 5 \text{ km}$  umgerechnet. Anschliessend wird der Mittelwert  $\bar{E}_{10m}$  und die Streuung  $\sigma_{10m}$  berechnet. Die H-Funktionsmittelwerte  $\bar{E}_{50}$  stehen bereits aus dem Abschnitt 3 zur Verfügung. In der Tabelle V sind die Werte einander gegenübergestellt. In geradezu idealer Weise wird hier bestätigt, dass die 10-m-Methode tatsächlich dieselben Feldstärkemittelwerte liefert wie die Ausmittlung der H-Funktion. Die grössere Streuung ist durch Erhöhen der

Messpunktezahl bei der 10-m-Methode ausgleichbar. Das Messverfahren ist sehr einfach und erfordert am einzelnen Standort nur wenig Zeit. Bedingung ist jedoch eine ausreichende Messpunktezahl für die statistische Auswertung.

#### Bibliographie

- [1] Brand H. und Hügli H. Fernsehempfangstechnik 1 und 2. Blaue TR-Reihe, Heft 106 und 116. Bern, Verlag Hallwag, 1972/73.

Tabelle V. Feldstärkemittelwerte auf 10 m Empfangshöhe und H-Funktionsmittelwerte

Ort	Kanal	$\bar{E}_{10m}$	$\sigma_{10m}$	$\bar{E}'(50)$	$\sigma$
Balsthal	45	92,5	5	92,5	2,5
	48	93,5	5	93	2,5
Simmental	45	91	6	91	3
	48	90	5	90,5	3

E: in  $\text{dB}\mu \text{V/m}$

$\sigma$  in dB

#### Die nächste Nummer bringt unter anderem Vous pourrez lire dans le prochain numéro

- |            |   |
|------------|---|
| A. Schütz  | Das Sicherheitskonzept in den schweizerischen Fernseh- und Telefonie-Richtstrahlnetzen                                    |
| J. Stalder | Le concept de sécurité dans les réseaux suisses de transmission à faisceaux hertziens pour la télévision et la téléphonie |
| C. Béguin  | Die Entwicklung eines Messgerätes zur Bestimmung der Rumpelspannungen an Plattenspielern                                  |
| A. Brunold | Erdnetze aus verzinktem Kupferband<br>Réseaux de mise à terre en rubans de cuivre zingué                                  |