

**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

**Herausgeber:** Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

**Band:** 28 (1950)

**Heft:** 12

**Artikel:** Empfangsbeobachtungen der WWV-Normalfrequenzen = La réception des fréquences-étalon émises par la station de Beltsville WWV

**Autor:** Ebert, W.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-874403>

### **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:** 30.04.2026

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

# TECHNISCHE MITTEILUNGEN

HERAUSGEGEBEN VON DER SCHWEIZERISCHEN POST-, TELEGRAPHEN- UND TELEPHONVERWALTUNG

## BULLETIN TECHNIQUE / BOLLETTINO TECNICO

PUBLIÉ PAR L'ADMINISTRATION DES POSTES, TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES SUISSES

PUBBLICATO DALL'AMMINISTRAZIONE DELLE POSTE, DEI TELEGRAFI E DEI TELEFONI SVIZZERI

### Empfangsbeobachtungen der WWV-Normalfrequenzen

Von W. Ebert, Bern

### La réception des fréquences-étalon émises par la station de Beltsville WWV

Par W. Ebert, Berne

621.396.029.089.6

**Zusammenfassung.** Die von der Empfangsstation Châtônay zwecks Kontrolle der Kurzwellenpropagation auf der Strecke Schweiz—USA durchgeführten Empfangsbeobachtungen der WWV-Normalfrequenzen werden eingehend analysiert und mit den theoretisch ermittelten MUF- (Maximum Usable Frequency-) und OWF- (Optimum Working Frequency-) Werten verglichen.

Zunächst werden die WWV-Emissionen, der Empfangsort, die Empfangsantenne und der Messempfänger näher beschrieben. Die Beobachtungsergebnisse werden in Form von graphischen Darstellungen vorgelegt. Eine kurze Erläuterung der Propagationseigenschaften der Kurzwellen leitet über zur Technik der MUF- und OWF-Bestimmung für Distanzen grösser als 4000 km. Die Vergleichsergebnisse der Empfangsbeobachtungen mit den aus den Prognosen ermittelten MUF- und OWF-Werten liegen wiederum in Form von graphischen Darstellungen vor. Die Gliederung der Arbeit ist folgende:

#### Einleitung

- I. Die Empfangsbeobachtungen
  1. Die WWV-Normalfrequenzemissionen
  2. Kennzeichnung des Empfangsortes, der Empfangsantenne und des Messempfängers
  3. Empfangsmethode
  4. Beobachtungsergebnisse
- II. Auswertung der erzielten Beobachtungsergebnisse
  1. Die Kurzwellenpropagation
  2. Technik der MUF- und OWF-Bestimmung für Distanzen grösser als 4000 km
  3. Vergleich der Beobachtungsergebnisse mit den theoretisch ermittelten MUF- und OWF-Werten

#### Einleitung

Das «Central Radio Propagation Laboratory» (CRPL) des «National Bureau of Standards» lässt durch seine Radiostation WWV in Beltsville (Washington) dauernd und mit konstanter Leistung die Frequenzen 2,5, 5, 10, 15, 20, 25, 30 und 35 MHz als Normal- oder Eichfrequenzen ausstrahlen. Systematische Empfangsstärkebeobachtungen dieser Signale in der schweizerischen Kurzwellen-Empfangsstation Châtônay ermöglichen eine Überprüfung der Propagationseigenschaften der Kurzwellen über der Strecke Schweiz—Nordamerika und umgekehrt.

**Résumé.** Pour contrôler la propagation des ondes courtes entre les Etats-Unis et la Suisse, on a observé à Châtônay les conditions de réception des fréquences-étalon émises par la station de Beltsville WWV. Les résultats de ces observations sont analysés et comparés avec les valeurs théoriques MUF (Maximum Usable Frequency) et OWF (Optimum Working Frequency).

L'article décrit d'abord les émissions de WWV, le lieu de réception, l'antenne de réception et le récepteur. Les résultats des observations sont donnés sous forme de graphiques. Suivent quelques remarques sur les conditions de propagation des ondes courtes et la détermination des valeurs MUF et OWF pour les distances de plus de 4000 km. La comparaison des résultats des observations avec les prévisions émises pour les valeurs MUF et OWF est également représentée sous forme de graphiques. Voici les titres des divers chapitres de cet article:

#### Introduction

- I. Les observations faites à la réception
  1. Les émissions de fréquences-étalon de la station WWV
  2. Description du lieu et de l'antenne de réception et de l'appareil récepteur
  3. Méthode de réception
  4. Résultats des observations
- II. Etude des résultats
  1. La propagation des ondes courtes
  2. Détermination des valeurs MUF et OWF pour des distances supérieures à 4000 km
  3. Comparaison des résultats des observations avec les valeurs théoriques de MUF et OWF

#### Introduction

Le «Central Radio Propagation Laboratory» (C.R.P.L.) du «National Bureau of Standards» émet par sa station radio WWV de Beltsville (Washington), en permanence et avec une puissance constante, les fréquences-étalon de 2,5, 5, 10, 15, 20, 25, 30 et 35 MHz. En observant systématiquement la réception de ces signaux à la station réceptrice d'ondes courtes de Châtônay, on peut contrôler les conditions de propagation des ondes courtes entre la Suisse et l'Amérique du Nord et vice versa.

Les observations ont été faites au cours de la période comprise entre le 15 février 1946 et le 8 juillet 1949

Die vorliegenden Empfangsbeobachtungen umfassen die Zeitperiode vom 15. Februar 1946 bis 8. Juli 1949 für die Frequenzen 2,5, 5, 10 und 15 MHz; dazu kommen vom 22. Dezember 1946 bis 8. Juli 1949 die Frequenzen 20, 25, 30 und 35 MHz. Diese Erhebungen beschränken sich in Ermangelung geeigneter Kurzwellenregistriergeräte auf reine Empfangsstärkebeobachtungen (S-Meter-Ausschläge). Aus diesem Grunde ist es nicht möglich, absolute Feldstärkewerte in Form von Mittelwerten oder Quasimaxima anzugeben. Die relativen Empfangsstärken liefern jedoch gleichwohl eine gute Übersicht über die auftretenden Propagationseigenheiten und stimmen überraschend gut mit den theoretisch ermittelten Werten überein, wie im folgenden gezeigt werden soll.

In neuerer Zeit werden in Châtonnaye die WWV-Normalfrequenzen in vermehrtem Masse auch als Frequenzvergleiche für die interne Quarzuhrengruppe herangezogen. Die Frequenzkonstanz sämtlicher WWV-Trägerfrequenzen soll besser als  $2 \cdot 10^{-8}$  sein, wobei die Genauigkeit der empfangenen Signale jedoch infolge Doppler-Effekt leicht verschlechtert wird.

## I. Die Empfangsbeobachtungen

### 1. Die WWV-Normalfrequenzemissionen

Die Radiostation WWV steht in Beltsville, in der Nähe von Washington. Ihre geographischen Koordinaten sind:  $76^{\circ} 51' 30''$  W und  $39^{\circ} 02' 20''$  N. Sie besteht aus acht Kurzwellensendern, die dauernd folgende Frequenzen ausstrahlen:

Trägerfrequenz MHz	Antennenleistung kW	Modulationston Hz
2,5	0,7	440
5,0	8,0	440
10,0	9,0	440 ; 4000
15,0	9,0	440 ; 4000
20,0	8,5	440 ; 4000
25,0	0,1	440 ; 4000
30,0	0,1	440
35,0	0,1	—

Die Antennenleistung der Frequenz 20 MHz ist mit 8,5 kW angegeben; an den vier, dem ersten Sonntag des Monats folgenden Werktagen wird diese Leistung jedoch auf 0,1 kW reduziert.

Als Sendeantennen werden vertikale Rundstrahler verwendet. Die Trägerfrequenzkonstanz ist besser als  $2 \cdot 10^{-8}$ . Moduliert werden die Trägerfrequenzen mit einem Modulationston von 440 bzw. 4000 Hz, mit Sekundenimpulsen und mit Zeit- und Stationsansagen. In der 19. und 49. Minute jeder Stunde folgt nach der Zeitansage eine Serie W oder N in Telegraphiemorsezeichen. Wird die N-Serie ausgestrahlt, so bedeutet das, dass die Kurzwellenpropagation über dem Nordatlantik normal ist, während die W-Serie bedeutet, dass innerhalb 12 Stunden eine Propagationsstörung, verursacht durch einen Ionosphärensturm, zu erwarten ist.

pour les fréquences de 2,5, 5, 10 et 15 MHz; les fréquences de 20, 25, 30 et 35 MHz ont été observées entre le 22 décembre 1946 et le 8 juillet 1949. Ne disposant pas d'appareils enregistreurs d'ondes courtes appropriés, on s'est borné à observer l'intensité de réception (déviations de l'aiguille du S-mètre). C'est pourquoi il n'est pas possible de fournir des valeurs de champ absolues sous forme de valeurs médianes ou quasi-maximums. Les valeurs relatives d'intensité de réception donnent cependant une bonne vue d'ensemble des conditions de propagation et concordent d'une manière surprenante avec les valeurs théoriques, ce que nous montrerons par la suite.

Tout récemment, on a, à Châtonnaye, utilisé les fréquences étalon de WWV pour des comparaisons avec la marche du groupe d'horloges à quartz. La constance des fréquences-étalon de WWV doit être meilleure que  $2 \cdot 10^{-8}$ ; toutefois, l'exactitude des signaux est légèrement altérée par l'effet Doppler.

## I. Les observations faites à la réception

### 1. Les émissions de fréquences-étalon de la station WWV

La station désignée par l'indicatif WWV est située à Beltsville près de Washington. Ses coordonnées géographiques sont:  $76^{\circ} 51' 30''$  ouest,  $39^{\circ} 02' 20''$  nord. Elle comprend huit émetteurs d'ondes courtes émettant en permanence les fréquences suivantes:

Fréquence porteuse MHz	Puissance dans l'antenne kW	Fréquence de modulation Hz
2,5	0,7	440
5,0	8,0	440
10,0	9,0	440 ; 4000
15,0	9,0	440 ; 4000
20,0	8,5	440 ; 4000
25,0	0,1	440 ; 4000
30,0	0,1	440
35,0	0,1	—

La puissance dans l'antenne pour la fréquence de 20 MHz est normalement de 8,5 kW; toutefois, pendant les quatre jours ouvrables qui suivent le premier dimanche de chaque mois, cette puissance est réduite à 0,1 kW.

Les antennes d'émission sont verticales, omnidirectionnelles. La constance des fréquences porteuses est meilleure que  $2 \cdot 10^{-8}$ . Ces fréquences sont modulées par un ton de 440, respectivement de 4000 Hz, avec impulsion chaque seconde et indication de l'heure et de la station. A la 19<sup>e</sup> et à la 49<sup>e</sup> minutes de chaque heure, l'indication de l'heure est suivie d'une série de W ou de N en signaux Morse. L'émission de la série de N signifie que la propagation des ondes courtes est normale sur l'Atlantique nord; la série de W signifie qu'il faut s'attendre dans les 12 heures qui suivent à une perturbation de la propagation due à un orage ionosphérique.

## 2. Kennzeichnung des Empfangsortes, der Empfangsantenne und des Messempfängers

Empfangsort ist die schweizerische Kurzwellen-Empfangsstation Châttonnaye. Châttonnaye liegt an der Strasse Fribourg—Prez-vers-Noréaz—Romont auf dem Hochplateau zwischen dem Broyetal und dem Tal der Grande-Glâne, in einer Höhenlage von 720 m ü. M. Die Empfangsantenne steht in freiem, offenem Kulturland, angelehnt an eine kleine flache Bodenerhebung (siehe Längsprofil Figur 1); auch die nähere Umgebung des Empfangsortes ist allseitig durch freies Gelände gekennzeichnet. Die Lage im Gelände zeigt Figur 1.

Die geographischen Koordinaten des Empfangsortes sind:  $06^{\circ} 57' 24''$  E und  $46^{\circ} 45' 43''$  N. Von hier aus betrachtet liegt die Station WWV in Beltsville in Richtung  $295^{\circ} 37' 54''$  in einer Distanz von rund 6650 km (über den Grosskreis gemessen).

Um die WWV-Frequenzen möglichst ungestört empfangen zu können, musste eine wirksame Richtantenne verwendet werden. Für sämtliche Beobachtungen wurde daher eine für den drahtlosen Telephonieverkehr mit New York bestimmte horizontale Rhombus Antenne herangezogen. Die Hauptstrahlrichtung derselben beträgt  $295^{\circ} 40'$ ; sie fällt also praktisch mit der Richtung nach Beltsville ( $295^{\circ} 37' 54''$ ) zusammen.

## 2. Description du lieu et de l'antenne de réception et de l'appareil récepteur

Les émissions sont reçues à la station réceptrice d'ondes courtes de Châttonnaye. Le village de Châttonnaye est situé le long de la route de Fribourg à Romont par Prez-vers-Noréaz, sur un plateau séparant la vallée de la Broye de celle de la Grande Glâne, à l'altitude de 720 m. L'antenne est établie sur un terrain cultivé, devant une colline à sommet aplati (voir profil en long de la figure 1); l'espace avoisinant est également découvert de tous côtés. La situation de la station est indiquée à la figure 1.

Les coordonnées géographiques de la station de Châttonnaye sont:  $06^{\circ} 57' 24''$  est et  $46^{\circ} 45' 43''$  nord. Considérée de ce point, la station de Beltsville WWV se trouve dans la direction  $295^{\circ} 37' 54''$  à une distance de 6650 km environ (mesurée sur l'arc de grand cercle).

Pour pouvoir recevoir les signaux de la station WWV, on a dû utiliser une antenne directive efficace. Toutes les observations ont donc été faites au moyen d'une antenne losange horizontale destinée au trafic téléphonique avec New-York. La direction de l'axe de rayonnement de cette antenne est de  $295^{\circ} 40'$  et correspond ainsi pratiquement à celle de Beltsville.

L'antenne est disposée comme le montre la figure 2. Ses dimensions sont les suivantes:

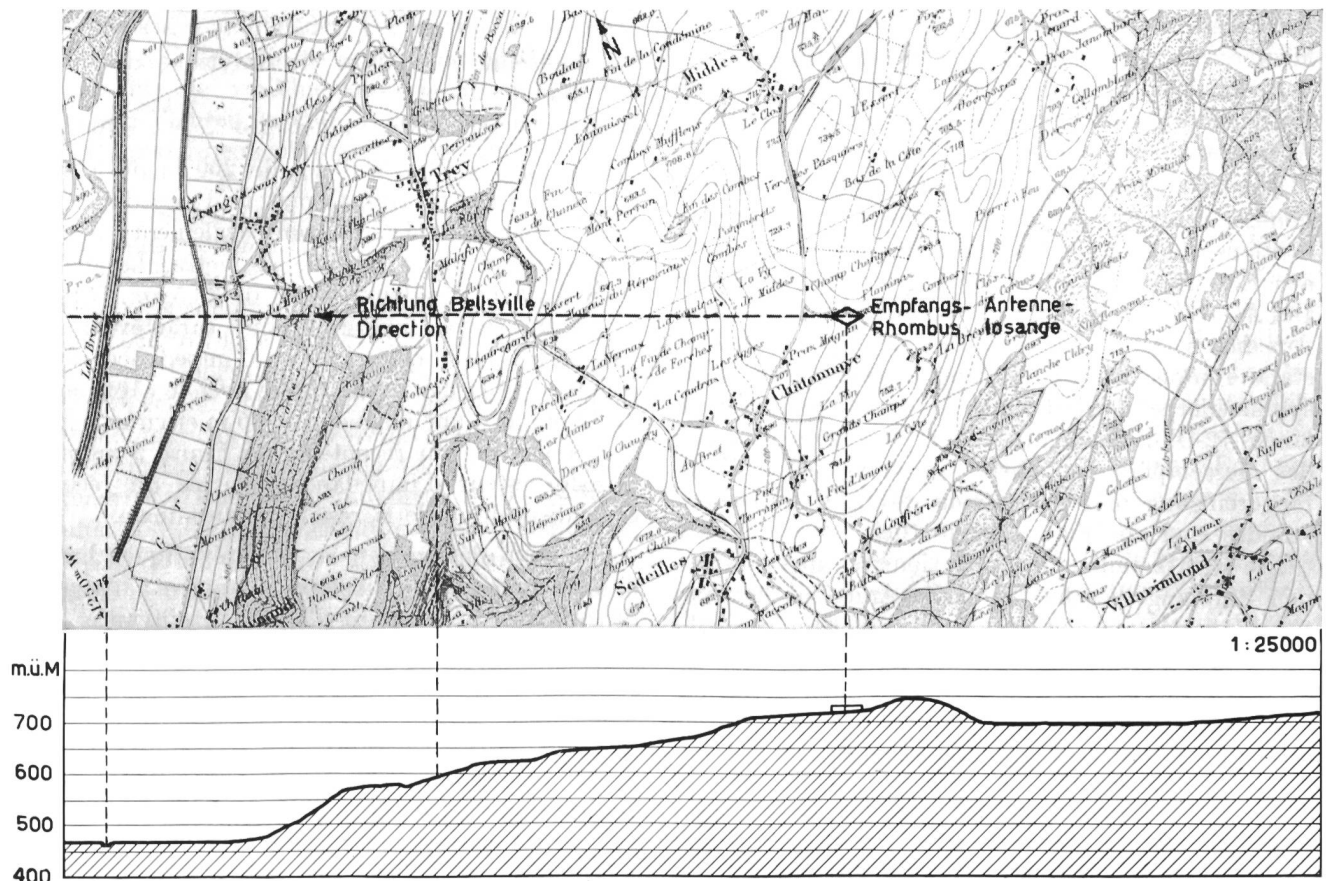


Fig. 1. Längsprofil — Profil en long

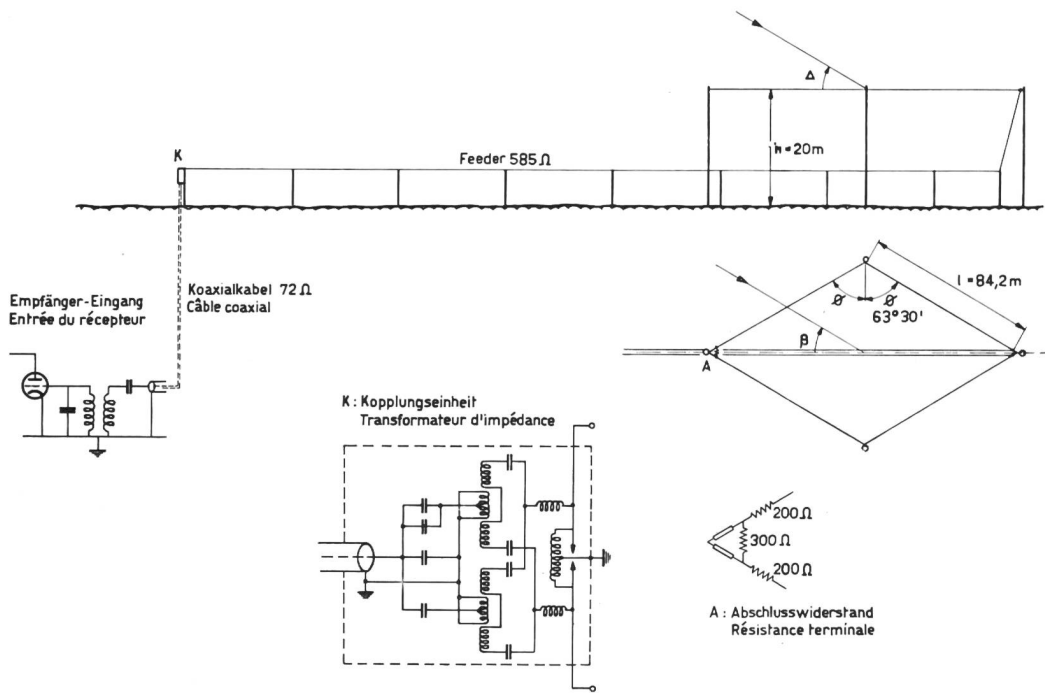


Fig. 2.  
Anordnung der Empfangs-Rhombusantenne  
Disposition de l'antenne-losange réceptrice

Die Anordnung der Rhombusantenne ist aus Figur 2 ersichtlich. Die Antennendimensionen sind:  
 Länge der Hauptdiagonalen (Hauptstrahlrichtung) . . . . . 150 m  
 Länge der Nebendiagonalen . . . . . 75 m  
 Rhombuseitenlänge  $l$  . . . . . 84,2 m  
 Rhombusöffnungswinkel  $\varnothing$  . . . . .  $63^\circ 30'$   
 Mittlere Höhe der Rhombusebene über Boden  $h$  . . . . . 20 m  
 Antennendraht: Elektrokupfer . . . . . 4 mm  $\varnothing$   
 Abschlusswiderstand . . . . . 700 Ohm

Longueur de la grande diagonale . . . . . 150 m (direction de l'axe de rayonnement)  
 Longueur de la petite diagonale . . . . . 75 m  
 Longueur  $l$  des côtés du losange . . . . . 84,2 m  
 Angle d'ouverture du losange  $\varnothing$  . . . . .  $63^\circ 30'$   
 Hauteur moyenne ( $h$ ) du plan du losange au-dessus du sol . . . . . 20 m  
 Fil d'antenne en cuivre électrolytique de 4 mm de diamètre  
 Résistance terminale . . . . . 700 ohms

Eine 200 m lange Paralleldraht-Feederleitung führt von der Antenne zu einer Kopplungseinheit vor dem Stationsgebäude. Die Feederleitung besteht ebenfalls aus Elektrokupferdraht von 4 mm Durchmesser. Der Abstand der beiden Drahtachsen beträgt 26,5 cm. Aus diesen Dimensionen ergibt sich ein Wellenwiderstand von 585 Ohm. Die Kopplungseinheit passt die symmetrische Feederleitung an das ungefähr 30 m lange 72-Ohm-Koaxialkabel an, das zum Eingang des Messempfängers führt. Kopplungseinheit, Empfängereingang und Anordnung des Abschlusswiderstandes sind aus Figur 2 ersichtlich.

Une ligne à fils parallèles de 200 m de longueur relie l'antenne à un transformateur d'impédance placé près du bâtiment. Les fils sont également en cuivre électrolytique de 4 mm de diamètre. La distance entre les axes des deux fils est de 26,5 cm. Il résulte de ces dimensions une impédance caractéristique de 585 ohms. Le transformateur d'impédance sert au couplage de la ligne symétrique avec le câble coaxial de 72 ohms, d'une longueur de 30 m environ qui conduit à l'entrée du récepteur. La figure 2 montre le transformateur d'impédance, l'entrée du récepteur et la disposition de la résistance terminale.

Die Richtkennlinie des reflexionsfrei abgeschlossenen Empfangsrhombus kann, bei Annahme horizontaler Polarisation der einfallenden Wellen, vernachlässigbarer Dämpfung, konstantem Wellenwiderstande und gut leitendem Boden, aus folgender Gleichung ermittelt werden:

On peut déterminer la caractéristique directive de l'antenne losange, disposée de manière à n'avoir pas de réflexion, en posant l'équation suivante, étant admis que la polarisation des ondes est horizontale, l'affaiblissement négligeable, l'impédance caractéristique constante et le sol bon conducteur.

Relative Empfangsstärke =

Intensité relative de la réception =

$$\underbrace{\left[ \frac{\cos(\varnothing - \beta)}{1 - \sin(\varnothing - \beta) \cdot \cos \Delta} + \frac{\cos(\varnothing + \beta)}{1 - \sin(\varnothing + \beta) \cdot \cos \Delta} \right]}_I \cdot \underbrace{\sin\left(\frac{2\pi \cdot h}{\lambda} \cdot \sin \Delta\right)}_{II}$$

$$\underbrace{\sin\left(\frac{\pi \cdot l}{\lambda} \cdot \left[1 - \sin(\varnothing + \beta) \cdot \cos \Delta\right]\right) \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot l}{\lambda} \cdot \left[1 - \sin(\varnothing - \beta) \cdot \cos \Delta\right]\right)}_{\text{III}}$$

III

$\varnothing$  : Öffnungswinkel des Rhombus (63° 30')

$\Delta$  : Einfallswinkel

$\beta$  : Azimut

$h$  : Mittlere Höhe der Rhombusebene über Boden (20 m)

$l$  : Seitenlänge des Rhombus (84,2 m)

$\lambda$  : Betriebswellenlänge

$\varnothing$  : Angle d'ouverture du losange (63° 30')

$\Delta$  : Angle d'incidence

$\beta$  : Azimut

$h$  : Hauteur moyenne du plan du losange au-dessus du sol (20 m)

$l$  : Longueur d'un des côtés du losange (84,2 m)

$\lambda$  : Longueur d'onde

Die einzelnen Faktoren dieses Ausdruckes haben dabei folgende Bedeutung:

I: für die einseitige Richtwirkung massgebender Faktor;

II: nur von der Höhe  $h$  abhängiger Faktor;

III: Phasenfaktor, der allein die Seitenlänge  $l$  des Rhombus enthält und damit die Bündelung der Richtkennlinie bestimmt.

Für den vorliegenden Fall liegt das Hauptinteresse in der vertikalen Richtkennlinie, die in der durch die grosse Diagonale gehenden Hauptebene liegt. Das Azimut für diese Hauptebene ist null. Die Richtfaktoren der relativen Empfangsstärke vereinfachen sich dann zu folgendem Ausdruck:

Relative Empfangsstärke vertikal =

$$\underbrace{\frac{\cos \varnothing}{1 - \sin \varnothing \cdot \cos \Delta}}_{\text{I}} \cdot \underbrace{\sin\left(\frac{2\pi \cdot h}{\lambda} \cdot \sin \Delta\right)}_{\text{II}} \cdot \underbrace{\sin^2\left(\frac{\pi \cdot l}{\lambda} \left[1 - \sin \varnothing \cdot \cos \Delta\right]\right)}_{\text{III}}$$

Die gemäss vorstehender Gleichung berechneten vertikalen Richtkennlinien der Empfangs-Rhombusantenne für die verschiedenen WWV-Frequenzen sind in den Figuren 3a und 3b ersichtlich.

Die Empfangsbeobachtungen erfolgten mit einem kommerziellen Empfänger, Autophon E52C. Der Empfängereingang (siehe Figur 2) ist für den Anschluss eines 70-Ohm-HF-Kabels vorgesehen. Mit Hilfe eines S-Meters kann die jeweils herrschende HF-Eingangsspannung des Empfängers bestimmt werden. Die S-Skala wurde mit einem General-Radio-Signal-Generator, Typ 805-C, für jede WWV-Frequenz geeicht und periodisch nachgeprüft. Dem Wert S9 entspricht eine HF-Eingangsspannung über den 70-Ohm-Empfängereingang von 100  $\mu$ V effektiv. Für niedrigere Eingangsspannungen ist die S-Skala in Stufen von je 6 db aufgeteilt, so dass zum Beispiel S8 50  $\mu$ V, S7 25  $\mu$ V usw. Eingangsspannung entspricht. Eingangsspannungen grösser als 100  $\mu$ V sind auf der S-Skala in db über S9 angegeben. Eine Ablesung an der S-Skala von zum Beispiel +20 db entspricht demnach einer Eingangsspannung von 1000  $\mu$ V.

Die Grösse der angegebenen Eingangsspannungswerte ist als Relativwert anzusehen. Da im Rahmen dieser Arbeit der absolute Spannungswert keine dominierende Rolle spielt und die Eingangsimpedanz des Empfängers nicht für alle Frequenzen genau dem Sollwert von 70 Ohm entspricht, wurde bei der Eichung aus Einfachheitsgründen die *Leerlaufspan-*

Les différents facteurs de cette expression signifient:

I: facteur relatif à l'effet directif unilatéral;

II: facteur dépendant seulement de la hauteur  $h$ ;

III: facteur de phase qui seul contient la longueur  $l$  du côté du losange et détermine ainsi la concentration de la caractéristique directive.

Dans le cas présent, c'est la caractéristique directive verticale qui présente le plus grand intérêt; elle se trouve dans le plan principal passant par la grande diagonale. Pour ce plan, l'azimut est zéro. Les facteurs directifs de l'intensité relative de la réception peuvent être déterminés au moyen de l'expression simplifiée suivante:

Intensité relative de la réception, verticalement =

Les caractéristiques directives verticales de l'antenne losange pour les différentes fréquences de la station WWV, déterminées d'après l'équation ci-dessus, sont données aux figures 3a et 3b.

Les observations ont été faites au moyen d'un récepteur Autophon E52C du type commercial. L'entrée du récepteur (voir figure 2) est prévue pour l'emploi d'un câble coaxial HF de 70 ohms. A l'aide du S-mètre, on peut déterminer la tension HF aux bornes d'entrée du récepteur. La graduation en «S» a été étalonnée pour chaque fréquence de la station WWV au moyen d'un générateur de signaux «General Radio» type 805-C et contrôlée périodiquement. La valeur S9 correspond à une tension HF d'entrée de 100  $\mu$ V effectifs sur l'impédance de 70 ohms. Pour des tensions d'entrée plus faibles, la graduation en «S» comprend des divisions de 6 en 6 db, par exemple pour S8 on a 50  $\mu$ V, pour S7 25  $\mu$ V de tension d'entrée, etc. Les tensions supérieures à 100  $\mu$ V sont indiquées simplement en db au-dessus de S9. Ainsi, 20 db sur cette échelle correspondent à une tension d'entrée de 1000  $\mu$ V.

Les valeurs indiquées pour les tensions d'entrée doivent être considérées comme relatives. Dans le présent exposé, la valeur absolue de la tension n'a pas une importance fondamentale; d'autre part, l'impédance d'entrée du récepteur n'a pas pour toutes les fréquences la valeur nominale exacte de 70 ohms. Par conséquent, pour plus de simplicité,

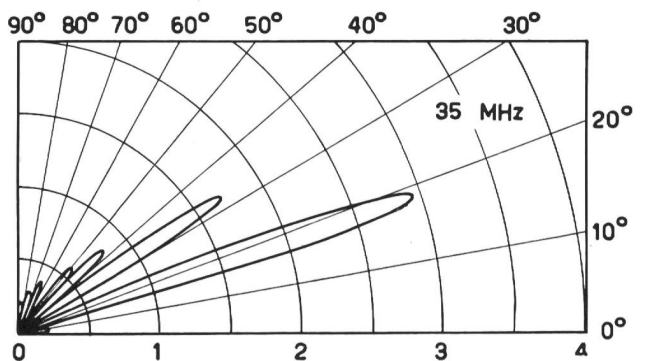
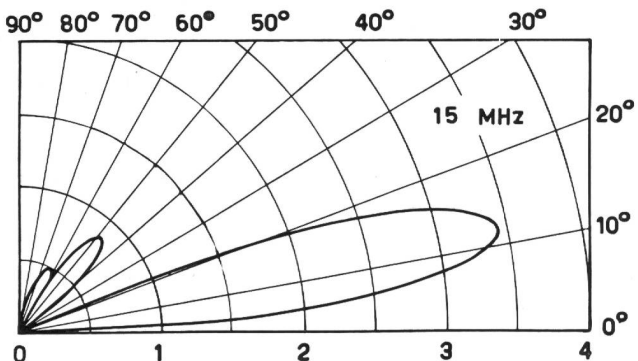
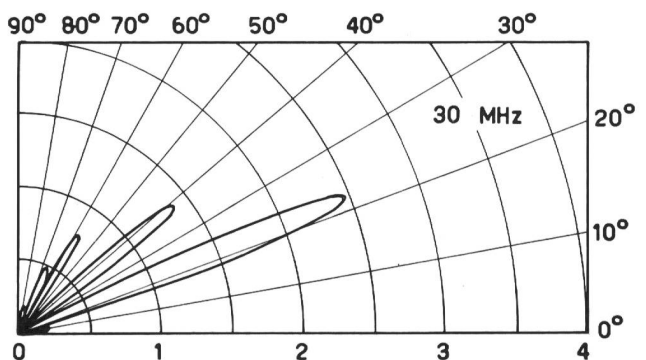
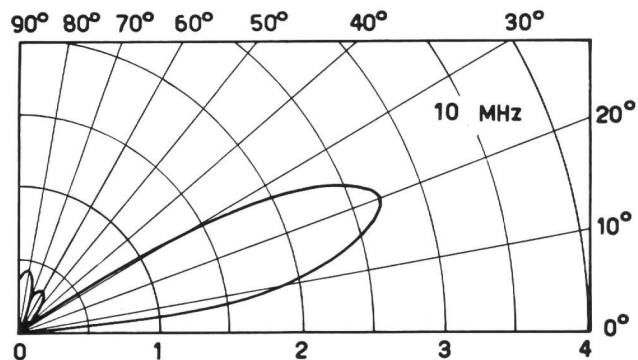
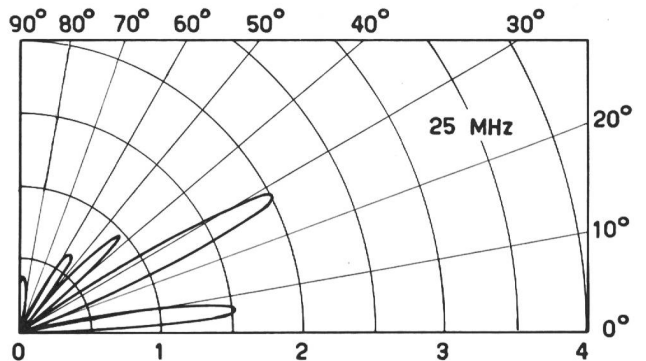
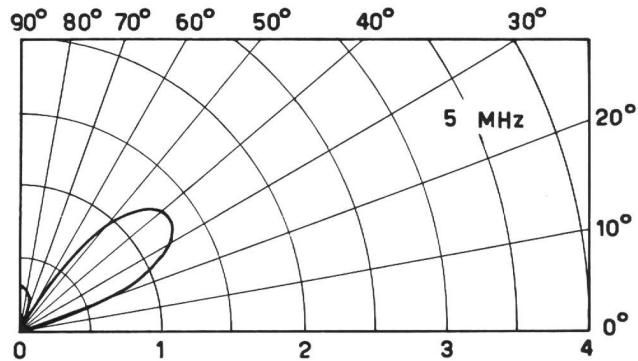
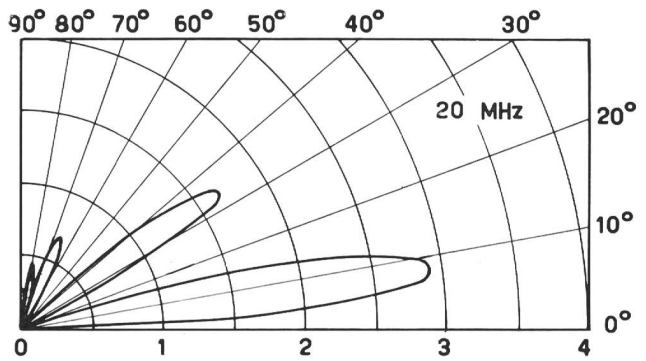
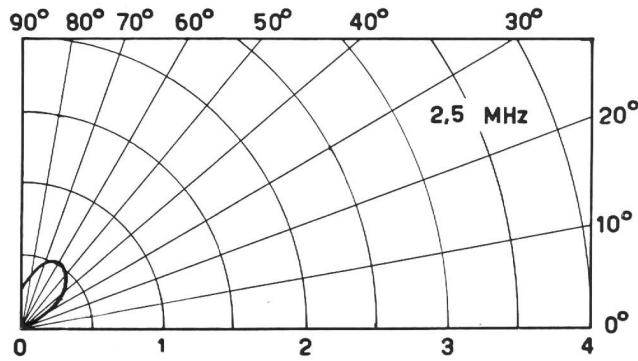


Fig. 3a. Vertikale Richtkennlinie der Empfangs-Rhombus-antenne  
 Caractéristique directive verticale de l'antenne-losange réceptrice  
 $h = 20$  m  
 $l = 84,2$  m  
 $\varnothing = 63^{\circ}30'$

Fig. 3b. Vertikale Richtkennlinie der Empfangs-Rhombus-antenne  
 Caractéristique directive verticale de l'antenne-losange réceptrice  
 $h = 20$  m  
 $l = 84,2$  m  
 $\varnothing = 63^{\circ}30'$

nung des Signalgenerators als Eingangsspannung des Empfängers angenommen (Quellenimpedanz des Signalgenerators 37,5 Ohm). Soll die Belastung des Signalgenerators mit dem Empfängereingang berücksichtigt werden, so sind die in vorliegender Arbeit

on a étalonné le S-mètre en considérant comme tension d'entrée la tension de marche à vide du générateur de signaux (impédance interne du générateur 37,5 ohms). Pour obtenir les valeurs absolues de la tension d'entrée lorsque le récepteur est connecté au

angegebenen Spannungswerte mit dem Faktor 0,65 zu multiplizieren, um die absoluten Eingangsspannungswerte über dem 70-Ohm-Empfängereingang zu erhalten (Quellenimpedanz 37,5 Ohm; Belastungsimpedanz 70 Ohm).

### 3. Empfangsmethode

Die Beobachtungen der Empfangsstärke wurden folgendermassen durchgeführt: Alle geraden Stunden MEZ stellte einer der diensttuenden Stationsbeamten der Reihe nach sämtliche WWV-Frequenzen am Messempfänger ein und notierte die jeweiligen Ausschläge am S-Meter. Die Beobachtung einer einzelnen Frequenz erstreckte sich dabei auf eine Zeitspanne von rund ein bis zwei Minuten. Die Beobachtungen hatten für alle WWV-Frequenzen unbedingt zu erfolgen, obschon beispielsweise vorauszusehen war, dass für gewisse Zeiten und bestimmte Frequenzen nichts Positives zu erwarten war. Die Identifizierung der Frequenzen erfolgte anhand der aufmodulierten Sekundenimpulse sowie der Modulationsfrequenzen 440 Hz und teilweise 4000 Hz.

### 4. Beobachtungsergebnisse

Die während der Zeit vom 15. Februar 1946 bis 8. Juli 1949 ununterbrochen durchgeführten Beobachtungen der Empfangsstärke sind in den Figuren 4 bis 7, nach steigenden Frequenzen geordnet, graphisch zusammengestellt. In den betreffenden Figuren stehen als Abszissen die Tage, Monate und Jahre, wobei jeder Teilstrich einen Tag bedeutet. Der erste Tag jedes Monats ist durch einen besonderen, dickeren Strich gekennzeichnet. Die Monate als Ganzes sind mit römischen Ziffern bezeichnet. Die Ordinate ist in zwölf Teile, entsprechend den ungeradzahigen Stunden mittlerer Greenwich-Zeit (GMT), gegliedert. Jedes Teilstück trägt seinerseits als Ordinate die S-Skala des Messempfängers. Der Wert S9 ist durch einen besonderen, dickeren Strich gekennzeichnet. Jeder senkrechte dicke Strich von der dicken Basislinie aus entspricht einer Beobachtung der betreffenden Frequenz zu der bestimmten Tageszeit, wobei die Strichlänge die Empfangsstärke in S-Einheiten entsprechend der zugehörigen Ordinatenkala bedeutet.

Zur Beurteilung der Verwendbarkeit der entsprechenden Frequenzen kann der Hinweis dienen, dass, bei dem in Châtonnaye herrschenden niederen Störpegel und ohne durch fremde Frequenzen gestört zu werden, eine Empfangsstärke von S1...2 noch einen brauchbaren Einseitenband-Telephonieempfang gewährleistet.

Die Frequenzen 15 und 20 MHz sind fast dauernd durch fremde, aus einem horizontalen Winkelbereich von ungefähr 60° bis 100° einfallenden Frequenzen gestört. Dies war auch der Grund dafür, dass als Empfangsantenne eine Richtantenne verwendet werden musste. Die Störfrequenzen sind auch so noch feststellbar, jedoch meistens bedeutend schwächer als die entsprechenden WWV-Signale.

generateur, il suffit de multiplier par 0,65 les valeurs indiquées (impédance du générateur 37,5 ohms, impédance d'entrée du récepteur 70 ohms).

### 3. Méthode d'observation

Les mesures d'intensité de réception ont été faites de la manière suivante: Toutes les heures paires HEC, le fonctionnaire de service accordait le récepteur successivement sur toutes les fréquences de WWV et notait les indications du S-mètre. L'observation d'une fréquence s'étendait ainsi sur une durée d'une à deux minutes au maximum. Toutes les fréquences de WWV devaient être observées chaque fois, même si l'on pouvait prévoir que pour certaines fréquences et à certaines heures aucun résultat positif ne serait obtenu. Les fréquences ont été identifiées au moyen des impulsions donnant la seconde et de la modulation de 440 et 4000 Hz.

### 4. Résultats

Les observations faites continuellement entre le 15 février 1946 et le 8 juillet 1949 ont été réunies par ordre croissant de fréquence dans les diagrammes 4 à 7. En abscisse figure le temps, chaque trait représentant un jour. Un trait plus épais marque le premier jour de chaque mois. Les mois sont indiqués par des chiffres romains. L'échelle des ordonnées est divisée en douze parties correspondant aux heures impaires du temps moyen de Greenwich (GMT). Chacune de ces parties porte en ordonnée la graduation «S» du récepteur. La valeur S9 est représentée par un trait épais. Chaque trait vertical épais partant de la ligne de base correspond à une observation de la fréquence en question à une heure déterminée du jour. La longueur du trait indique l'intensité de la réception en unités «S» sur l'échelle des ordonnées.

A Châtonnaye, le niveau moyen du bruit permet la réception encore suffisante de la téléphonie sur une bande latérale avec une intensité de S1...2 s'il n'y a pas de brouillage par d'autres fréquences. On peut ainsi juger des possibilités d'utilisation des fréquences observées.

Cependant les fréquences de 15 et 20 MHz sont presque continuellement brouillées par des émissions provenant d'une direction de 60 à 100 degrés mesurés dans le plan horizontal. C'est l'une des raisons pour lesquelles on a dû employer une antenne directive. Malgré cette précaution, les fréquences brouilleuses peuvent encore être perçues, mais elles sont beaucoup plus faibles que les signaux de WWV.

Depuis le milieu de mai 1949 environ, il est possible d'entendre aussi, par moments, sur les fréquences 5, 10 et 15 MHz, les signaux de la station WWVH. C'est la station à fréquences étalonnées de Maui (Hawaii) qui émet actuellement sur ces fréquences avec une puissance porteuse de 0,4 kW. Les coordonnées géographiques de Maui sont approximativement 155° 56' 24" ouest et 20° 40' 26" nord. Vu de Châtonnaye, Maui se trouve dans la direction 344°, soit 49° environ plus au nord que Beltsville. La dis-

Seit ungefähr Mitte Mai 1949 sind auf den Frequenzen 5, 10 und 15 MHz zeitweise die Emissionen der Station WWVH feststellbar. Es ist dies die auf Maui (Hawaii) gelegene Normalfrequenzen-Station, die gegenwärtig die genannten Frequenzen mit einer Trägerleistung von je 0,4 kW ausstrahlt. Die geographischen Koordinaten von Maui sind ungefähr  $155^{\circ} 56' 24''$  W und  $20^{\circ} 40' 26''$  N. Von Châtonnaye aus gesehen liegt Maui in Richtung  $344^{\circ}$ , also rund  $49^{\circ}$  nördlicher als Beltsville. Die Distanz Châtonnaye-Maui beträgt 12 300 km (auf dem Grosskreis gemessen). Der Propagationsweg traversiert die Nordlichtzone.

## II. Auswertung der erzielten Beobachtungsergebnisse

Obschon die vorliegenden Empfangsbeobachtungen keine absoluten Messwerte enthalten und die einzelnen Beobachtungen während verhältnismässig kurzer Zeit aufgenommen wurden, sei im folgenden gleichwohl der Versuch unternommen, die erzielten Resultate mit theoretisch ermittelten Werten zu vergleichen. Vom Standpunkt des Übersee-Telephonie-Dienstes aus gesehen, ist vor allem der Vergleich mit den MUF-Prognosen wichtig. Dies sind Prognosen, die die höchste verwendbare Frequenz (MUF-Maximum Usable Frequency) für irgendeine Übertragungsstrecke und irgendeine Tageszeit drei Monate voraussagen. Um diesen Vergleich zu ermöglichen, ist ein kurzer Streifzug in die Theorie der Kurzwellenpropagation und der MUF-Prognose unerlässlich.

### 1. Die Kurzwellenpropagation

Ein näheres Eingehen auf die Eigenheiten der Kurzwellenausbreitung ist im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich. Es sei hier lediglich auf einige an dieser Stelle erschienene Arbeiten hingewiesen<sup>1)</sup>.

Die Übertragung von Kurzwellen, das heisst Frequenzen von etwa 3...30 MHz, hängt für Distanzen ab ungefähr 200 km ausschliesslich von den an der Ionosphäre reflektierten Raumwellen ab. Mit Ionosphäre bezeichnet man eine geschichtete Zone über der Erdoberfläche, die in einer Höhe von etwa 50 km beginnt und sich bis auf eine Höhe von ungefähr 500...600 km erstreckt. In dieser Zone ist die stark verdünnte Luft hauptsächlich durch Ultraviolettstrahlung der Sonne genügend ionisiert, so dass Radiowellen gebeugt oder absorbiert werden. Beugung und Absorption hängen ausschliesslich von der Dichte der freien Elektronen ab, die in Funktion der Höhe über der Erdoberfläche stark verschieden sein kann.

Die Unterteilung der Ionosphäre in verschiedene Schichten ist vom Ionisationsgradienten abhängig. Im allgemeinen gesehen, nimmt die Ionisation mit

tance Châtonnaye-Maui est de 12 300 km (sur l'arc de grand cercle). Les ondes traversent donc la zone aurorale.

## II. Etude des résultats

Si les observations ainsi faites ne donnent pas de valeur absolue et si chacune des observations n'a duré qu'un temps relativement court, nous tenterons cependant de comparer les résultats obtenus avec les valeurs déterminées par le calcul. Pour le service téléphonique transocéanique, la comparaison avec les prévisions MUF revêt une grande importance. Il s'agit des prévisions indiquant trois mois d'avance quelle sera la plus haute fréquence utilisable (maximum usable frequency) pour un itinéraire et une heure donnés. Pour que cette comparaison soit possible, un bref exposé de la théorie de la propagation des ondes courtes et de l'établissement des prévisions MUF est indispensable.

### 1. La propagation des ondes courtes

Il n'est pas possible de reprendre ici en détail la théorie de la propagation des ondes courtes. Des articles traitant ce sujet ont déjà paru dans cette revue<sup>1)</sup>.

La transmission des ondes courtes, c'est-à-dire des fréquences comprises approximativement entre 3 et 30 MHz, sur des distances supérieures à 200 km dépend exclusivement des ondes spatiales réfléchies par l'ionosphère. On appelle ionosphère une zone de plusieurs couches concentriques entourant le globe terrestre; la couche inférieure se rencontre à 50 km d'altitude, la couche supérieure est à l'altitude de 500 à 600 km. Dans cette zone, l'air extrêmement raréfié est suffisamment ionisé par les rayons solaires ultra-violettes pour pouvoir réfléchir ou absorber les ondes radioélectriques. La réflexion et l'absorption dépendent uniquement de la densité des électrons libres, qui peut varier fortement suivant l'altitude.

La répartition de l'ionosphère en couches différentes dépend du gradient d'ionisation. En général, l'ionisation augmente avec l'altitude (voir fig. 8). Les couches se trouvent là où le gradient d'ionisation est tel que les ondes radioélectriques sont réfléchies vers la terre. Les ondes, frappant obliquement les couches, suivent dans l'ionosphère un chemin déterminé par le pouvoir variable de réfraction ou de réflexion de ces couches. Si l'on considère uniquement le résultat d'une transmission par ondes courtes, ce phénomène peut être assimilé à un phénomène de réflexion sur une surface plane.

On distingue en général dans l'ionosphère les couches suivantes (voir figure 8):

*La couche D:* 50 à 90 km d'altitude. Elle ne se

<sup>1)</sup> A. Guldemann. Die Wellenausbreitung im drahtlosen Telephonieverkehr über grosse Distanzen. Techn. Mitt. PTT 1943, Nr. 6, S. 233.

A. Guldemann. Drahtloser Telephonie-Überseeverkehr. Techn. Mitt. PTT 1947, Nr. 6, S. 239.

E. Metzler. Ergebnisse der Konferenz von Kopenhagen und Mexiko. Techn. Mitt. PTT 1949, Nr. 5, S. 223.

<sup>1)</sup> A. Guldemann. Die Wellenausbreitung im drahtlosen Telephonieverkehr über grosse Distanzen. Bulletin technique PTT 1943, n° 6, page 233.

A. Guldemann. Correspondance radiotéléphonique transocéanique. Bulletin technique PTT 1947, n° 6, page 239.

E. Metzler. Résultats des Conférences de Copenhague et Mexique. Bulletin technique PTT 1949, n° 5, page 223.

zunehmender Höhe zu (siehe Figur 8). Die Schichten liegen nun dort, wo der Ionisationsgradient so ist, dass Radiowellen zur Erde zurückgebeugt werden können. Schräg einfallende Wellen folgen einem gekrümmten Weg durch die Ionosphäre, der durch das veränderliche Brechungs- oder Beugungsvermögen gegeben ist. Falls nur das Endresultat einer Kurzwellen-Übertragung betrachtet wird, kann dieser Vorgang als Reflexion an einer Ebene aufgefasst werden.

Man unterscheidet gewöhnlich folgende Ionosphärenschichten (siehe Figur 8):

*D-Schicht:* 50...90 km über der Erdoberfläche. Sie kommt nur tagsüber vor. Die Ionisationsdichte ist proportional der Sonnenhöhe. Sie reflektiert Langwellen, absorbiert Mittelwellen und schwächt Kurzwellen durch teilweise Absorption.

*E-Schicht:* in ungefähr 110 km Höhe. Die Ionisationsdichte ist angenähert proportional der Sonnenhöhe. Diese Schicht ist wichtig für die Kurzwellen-Tagespropagation für Distanzen bis etwa 2000 km und für die Nachtpropagation der Mittelwellen für Distanzen über ungefähr 200 km.

*E<sub>s</sub>-Schicht* (sporadische E-Schicht): unregelmäßige, wolkenartige Gebiete der E-Schicht mit ungewöhnlich starker Ionisation. Sie tritt während etwa 50% der Zeit auf. Sie verhindert den Durchtritt von Frequenzen, die normalerweise die E-Schicht durchdringen, und ermöglicht so gelegentliche Ultrakurzwellen-Ausbreitung über sehr grosse Distanzen.

*F<sub>1</sub>-Schicht:* in ungefähr 175...250 km Höhe. Sie kommt nur tagsüber vor. Gewöhnlich durchdringen geneigt einfallende Kurzwellen, die die E-Schicht durchdringen, auch die F<sub>1</sub>-Schicht, in der sie eine zusätzliche Schwächung durch Absorption erleiden. Gelegentlich kann diese Schicht jedoch auch das Reflexionsgebiet für Kurzwellenpropagation darstellen.

*F<sub>2</sub>-Schicht:* in ungefähr 250...400 km Höhe. Höhe und Ionisationsdichte sind abhängig von der Tages- und Jahreszeit und von der jeweiligen Sonnenfleckenzahl. Wohl besteht ein Zusammenhang zwischen Ionisation und Sonnenhöhe, doch ist derselbe nicht so einfach, da bei derart extrem niedriger Luftdichte das Medium die empfangene Sonnenenergie aufspeichern und durch Energieumwandlung sogar während der Nacht Elektronen auslösen kann.

F<sub>1</sub>- und F<sub>2</sub>-Schicht vereinigen sich nachts in einer Höhe von ungefähr 300 km. Die Abwesenheit der F<sub>1</sub>-Schicht und die reduzierte Absorptionsfähigkeit der E-Schicht während der Nacht sind die Ursachen, weshalb die Nachtfeldstärken grösser sind als die entsprechenden Tageswerte.

Für jede Schicht gibt es nun eine kritische oder höchste Frequenz  $f_c$ , bei der vertikal einfallende Wellen gerade noch reflektiert werden.  $f_c$  ist von der Ionisationsdichte der betreffenden Schicht abhängig. Höhere Frequenzen als  $f_c$  durchdringen bei vertikal

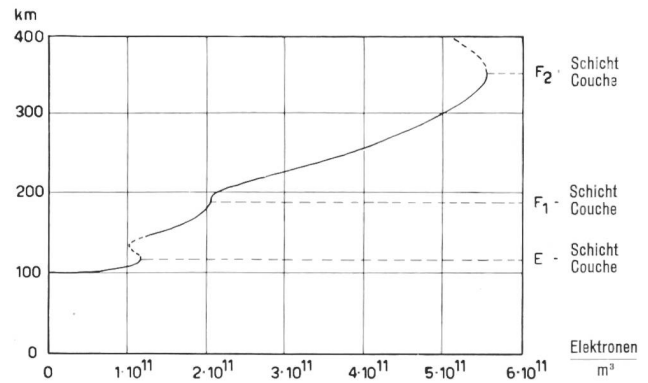


Fig. 8. Beispiel einer Ionendichte-Verteilung in Funktion der Höhe

Exemple de répartition de la densité des ions en fonction de l'altitude

manifeste que pendant le jour. La densité de l'ionisation est proportionnelle à la hauteur du soleil. Cette couche réfléchit les ondes longues, absorbe les ondes moyennes et affaiblit les ondes courtes par absorption partielle.

*La couche E:* 110 km environ d'altitude. La densité de l'ionisation est à peu près proportionnelle à la hauteur du soleil. Cette couche a une grande importance pour la propagation des ondes courtes pendant le jour sur des distances jusqu'à 2000 km et pour la propagation des ondes moyennes pendant la nuit sur les distances supérieures à 200 km.

*La couche E<sub>s</sub>* (couche E sporadique): couche E d'ionisation extrêmement intense se manifestant irrégulièrement sous une forme nébuleuse. Elle apparaît pendant la moitié du temps environ. Elle n'est pas traversée par les fréquences qui percent normalement la couche E et permet ainsi la transmission occasionnelle des ondes ultra-courtes sur de très grandes distances.

*La couche F<sub>1</sub>:* altitude 175 à 250 km. Elle n'apparaît que pendant le jour. En général, les ondes courtes qui pénètrent obliquement dans la couche E traversent également la couche F<sub>1</sub>, où elles sont affaiblies par absorption. Quelquefois cependant cette couche agit comme zone de réflexion.

*La couche F<sub>2</sub>:* altitude 250 à 400 km. L'altitude et la densité de l'ionisation dépendent de l'heure et de la saison ainsi que du nombre des taches solaires. Il y a bien un certain rapport entre l'ionisation et la hauteur du soleil, mais il n'est pas facile de l'établir, car, étant donnée l'extrême raréfaction de l'air, le milieu peut accumuler l'énergie solaire reçue et, la transformant, provoquer l'émission d'électrons même pendant la nuit.

Les couches F<sub>1</sub> et F<sub>2</sub> se réunissent pendant la nuit à l'altitude de 300 km. L'absence de la couche F<sub>1</sub> et la réduction de la capacité d'absorption de la couche E sont les causes pour lesquelles les intensités de champ sont plus grandes la nuit que le jour.

Il y a pour chaque couche une fréquence critique ou fréquence maximum  $f_c$  à laquelle les ondes frap-

einfallenden Wellen die Schicht. Für geneigten Einfall und Distanzen, für die die Erd- und Ionosphärenkrümmung vernachlässigt werden kann, ist die *höchste verwendbare Frequenz (MUF)* (Maximum Usable Frequency) durch folgenden Ausdruck gegeben:

$$\text{MUF} = f_c \cdot \sec \varnothing$$

Für grössere Distanzen wird die Erd- und Ionosphärenkrümmung durch einen Korrekturfaktor  $k$  berücksichtigt:

$$\text{MUF} = k \cdot f_c \cdot \sec \varnothing$$

MUF = höchste verwendbare Frequenz (Maximum usable frequency) für die betreffende Schicht und Distanz

$\varnothing$  = Einfallswinkel in die reflektierende Schicht

$k$  = Korrekturfaktor, abhängig von der Distanz und der vertikalen Ionisationsverteilung.

Für eine gegebene Distanz variieren  $f_c$  und  $\varnothing$  für jede Schicht mit der lokalen Tages- und Jahreszeit, mit der geographischen Breite und der Sonnenfleckenzahl. Zudem ist die Ionisation noch häufigen abnormalen Veränderungen unterworfen. Die Reflexionsverluste sind für die betreffende Schicht für die höchste verwendbare Frequenz MUF am kleinsten und nehmen mit abnehmender Frequenz rasch zu.

verticalement les couches sont encore réfléchies. La valeur de cette fréquence dépend de la densité de l'ionisation de la couche considérée. Les ondes de fréquence plus élevée qui atteignent verticalement la couche la traversent. Si l'incidence est favorable et les distances telles que l'on puisse négliger l'effet produit par la courbure de la surface terrestre et de l'ionosphère, la *plus haute fréquence utilisable* MUF (maximum usable frequency) est donnée par l'expression suivante:

$$\text{MUF} = f_c \cdot \sec \varnothing$$

Pour les distances supérieures, on introduit un facteur de correction  $K$  pour tenir compte de la courbure de la surface terrestre et de l'ionosphère:

$$\text{MUF} = k \cdot f_c \cdot \sec \varnothing$$

MUF = fréquence maximum utilisable pour la couche et la distance considérées

$\varnothing$  = angle d'incidence avec la couche réfléchissante

$k$  = facteur de correction, dépendant de la distance et de la répartition verticale de l'ionisation

Pour chaque couche et pour une distance donnée, les valeurs de  $f_c$  et de  $\varnothing$  varient avec l'heure et la saison, ainsi qu'avec la latitude et le nombre des

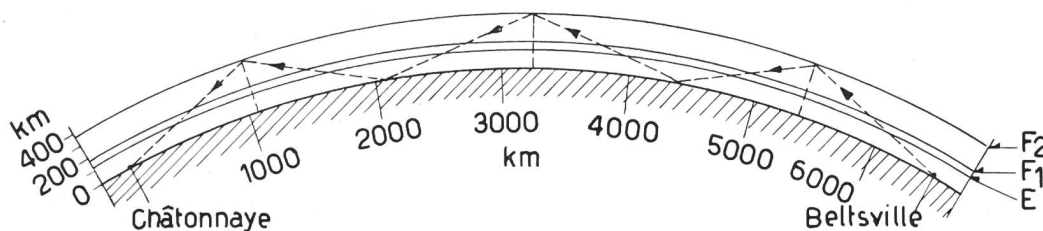


Fig. 9. Propagation in geometrischen Sprüngen — Propagation par bonds géométriques

Die von einer Sendeantenne abgestrahlten Kurzwellen gelangen durch Reflexionen zwischen der entsprechenden Ionosphärenschicht und der Erde in einem oder mehreren sogenannten Sprüngen (hop) zur Empfangsantenne. Dazu können aber auch Reflexionen zwischen dem unteren Ende einer höheren Schicht und dem oberen Ende einer niedrigeren Schicht vorkommen.

Aus einer rein geometrischen Betrachtung könnte der Schluss gezogen werden, dass für irgendeine Schicht die maximale Reichweite, die mit einem Sprung erreicht werden kann, durch den Abstrahlwinkel  $0^\circ$  und die Erdkrümmung bestimmt wird. Diese Grenzdistanz liegt für die  $F_2$ -Schicht im Mittel bei etwa 4000 km. Die Praxis zeigt jedoch, dass mit Sende- und Empfangsantennen, deren Höhen zu klein sind, um merkbare Energiebeträge unter kleineren Winkeln als etwa  $5^\circ$  abzustrahlen, diese Grenzdistanz ebenfalls erreicht werden kann. Diese Erscheinung ist mit wiederabstrahlenden Streuquellen der E-Schicht zu erklären, die beim Auftreffen der an der  $F_2$ -Schicht reflektierten Wellen angeregt werden (siehe Figur 10).

Für grössere Distanzen als die Ein-Sprung-Grenze besteht die Propagation aus einer Anzahl geometrischer Sprünge (siehe Figur 9). Man glaubte früher,

taches solaires. En outre, l'ionisation est soumise à de nombreuses variations anormales.

Pour la couche considérée, c'est la fréquence maximum utilisable qui subit le moins de pertes par réflexion. Les pertes augmentent rapidement à mesure que la fréquence baisse.

Les ondes courtes émises par une antenne parviennent à l'antenne réceptrice en un ou plusieurs bonds (hop), par réflexion entre une des couches ionosphériques et la terre. Il peut également y avoir réflexion entre la partie inférieure d'une couche élevée et la partie supérieure d'une couche moins élevée.

Du point de vue purement géométrique, on pourrait conclure que pour n'importe quelle couche la portée maximum d'un seul bond est déterminée par l'angle de rayonnement  $0^\circ$  et la courbure de la terre. Pour la couche  $F_2$ , cette distance est en moyenne de 4000 km. La pratique démontre toutefois que cette portée maximum peut être atteinte également avec des antennes d'émission et de réception trop basses pour pouvoir rayonner des quantités notables d'énergie sous des angles inférieurs à 5 degrés. On explique ce phénomène en admettant l'existence dans la couche E de sources de dispersion réfléchissantes, qui sont excitées lorsqu'elles sont touchées par les ondes réfléchies par la couche  $F_2$  (voir figure 10).

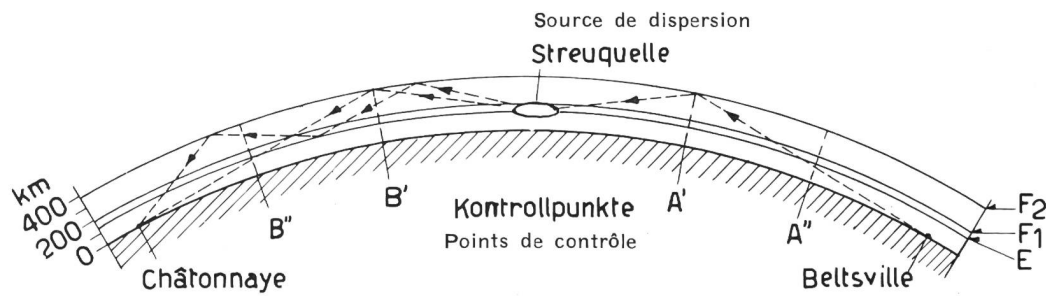


Fig. 10. Mögliche Propagationsarten unter Einschluss von wieder abstrahlenden Streuquellen  
Divers genres de propagation avec sources de dispersion réfléchissantes

dass ein Aussetzen der Propagation an irgendeinem der Reflexionspunkte ein Aussetzen der gesamten Propagation der betreffenden Übertragung zur Folge habe. Langjährige Erfahrung hat jedoch gezeigt, dass die Propagation nur dann aussetzt, wenn der Ionosphärenzustand an sogenannten «Kontrollpunkten» der Übertragungsstrecke, die je 2000 km vom Anfang und Ende des Übertragungsweges entfernt liegen, ein Aussetzen der Übertragung bedingt. Diese Erscheinung gilt ungeachtet der Länge des Grosskreis-Übertragungsweges zwischen den Kontrollpunkten und dem Ionosphärenzustand innerhalb dieser beiden Punkte.

Zur praktischen Bestimmung der höchsten verwendbaren Frequenz (MUF) für die  $F_2$ -Schicht und für Distanzen von über 4000 km, wählt man deshalb zwei solcher Kontrollpunkte, die je 2000 km von jedem Ende des Grosskreisweges entfernt sind. Dann wird für jeden Kontrollpunkt getrennt die MUF für irgendeine Zeit bestimmt und die niederere von beiden als die MUF des betreffenden Weges für die bestimmte Zeit gewählt.

Die Mitberücksichtigung der E-,  $F_1$ - und  $E_s$ -Schichten bedingt aus ähnlichen Überlegungen ein zweites Kontrollpunktpaar je 1000 km von den Endpunkten des Übertragungsweges entfernt, für die die E-Schicht-Werte massgebend sind (siehe Figur 10).

## 2. Technik der MUF- und OWF-Bestimmung für Distanzen grösser als 4000 km

Die durchschnittlichen Änderungen der höchsten verwendbaren Frequenzen (MUF) für die verschiedenen Ionosphärenschichten sind heute so gut bekannt, dass weitreichende Prognosen für durchschnittliche Bedingungen an Tagen mit ungestörter Ionosphäre aufgestellt werden können. Die Grundlage aller Ionosphärenprognosen bildet die Beziehung des Ionosphärenzustandes zur Sonnenfleckenanzahl. Eine MUF-Prognose umfasst also im wesentlichen eine Prognose der Sonnentätigkeit in Verbindung mit den zahlreichen verfügbaren Ionosphären Daten. Daraus lässt sich der entsprechende Verlauf der jahreszeitlichen, täglichen und geographischen Änderungen der Eigenschaften der Ionosphäre ermitteln.

Die durch das «Central Radio Propagation Laboratory» (CRPL) des National Bureau of Standards monatlich herausgegebenen Prognosen «Basic Radio

Lorsque la distance est supérieure à celle que les ondes peuvent atteindre d'un seul bond, la propagation résulte d'une série de bonds géométriques (voir figure 9). On croyait autrefois que lorsque la propagation n'a pas lieu à l'un des points de réflexion, toute propagation de la transmission est interrompue. Depuis plusieurs années, on sait que la propagation ne disparaît que lorsque l'état de l'ionosphère en des points de l'itinéraire dits «points de contrôle», situés chacun à 2000 km environ des points extrêmes de l'itinéraire, empêche la transmission. Ce phénomène a lieu quelle que soit la longueur de l'itinéraire sur l'arc de grand cercle et l'état de l'ionosphère entre les points de contrôle.

Dans la pratique, pour déterminer la fréquence maximum utilisable pour la couche  $F_2$  et les distances supérieures à 4000 km, on choisit deux points de contrôle situés chacun à 2000 km des extrémités de l'arc de grand cercle suivi par l'itinéraire. On détermine ensuite, pour chaque point de contrôle séparément, la fréquence maximum utilisable à une heure quelconque et la plus basse de ces deux fréquences est désignée comme fréquence maximum utilisable pour l'itinéraire et l'heure considérés.

Si l'on tient compte simultanément des couches E,  $F_1$  et  $E_s$ , on choisit deux autres points de contrôle situés chacun à 1000 km des extrémités de l'itinéraire et qui se rapportent aux valeurs relatives à la couche E (voir fig. 10).

## 2. Détermination de la MUF et de la OWF pour les distances supérieures à 4000 km

On connaît aujourd'hui assez bien les variations moyennes des MUF pour les différentes couches de l'ionosphère pour pouvoir établir des prévisions quant aux conditions moyennes de transmission aux jours où l'ionosphère n'est pas troublée. Ces prévisions sont fondées sur le rapport existant entre l'état de l'ionosphère et le nombre des taches solaires. Chaque prévision comprend donc essentiellement une prévision relative à l'activité solaire en relation avec les nombreuses données connues concernant l'ionosphère. On peut ainsi déterminer les tendances des modifications saisonnières, journalières et géographiques des propriétés de l'ionosphère.

Les prévisions «Basic Radio Propagation Predictions» émises chaque mois par le «Central Radio Pro-

Propagation Predictions» gestatten eine Vorausbestimmung der MUF für irgend eine Grosskreisdistanz und Tageszeit, und zwar drei Monate im voraus. Ein Eingehen auf das Zustandekommen dieser Prognosen ist hier nicht möglich.

Ist die MUF für die entsprechende Verbindung und Tageszeit bestimmt, so ist die jeweilige Betriebsfrequenz zu wählen. Die obere Grenze dieser sogenannten *optimalen Betriebsfrequenz* (OWF) (Optimum Working Frequency) ist als 85% der MUF definiert. Diese 85%-Grenze stellt eine gewisse Sicherheit gegenüber ionosphärischen Unregelmässigkeiten dar und ist durch die statistisch ermittelten Abweichungen des täglichen Ionosphärenzustandes vom vorausgesagten monatlichen Mittelwert erhärtet. Sofern die verfügbaren zugeteilten Frequenzen es erlauben, ist die Betriebsfrequenz so nahe wie möglich der OWF zu wählen, damit unnötige Absorptionsverluste vermieden werden können.

Die monatlich erscheinenden Prognosen «Basic Radio Propagation Predictions» bestehen ausser einer ausführlichen Gebrauchsanweisung im wesentlichen aus verschiedenen Kartenblättern, und zwar aus:

a) einer Weltkarte, in der die Erdkugel in drei Zonen E, I und W eingeteilt ist (siehe Figur 11). Obschon die Bedingungen der Ionosphäre grob gesprochen für Punkte gleicher geographischer

pagation Laboratory» (C.R.P.L.) du «National Bureau of Standards» permettent de déterminer trois mois d'avance la MUF pour une distance (arc de grand cercle) et une saison quelconques. Il n'est pas possible de décrire ici la manière dont les prévisions sont établies.

Après avoir ainsi fixé la MUF pour une liaison et une heure données, on peut choisir la *fréquence optimum de travail* ou OWF (Optimum Working Frequency). La limite supérieure de cette fréquence correspond à 85 % de la MUF. On a choisi cette limite pour avoir une certaine marge de sécurité à l'égard des troubles ionosphériques et en se fondant sur les différences constatées entre l'état réel de l'ionosphère, chaque jour, et les valeurs moyennes pronostiquées chaque mois. En tant que les attributions de fréquences le permettent, on choisit une fréquence de travail aussi voisine que possible de l'OWF, afin d'éviter des pertes par absorption.

Les prévisions «Basic Radio Propagation Predictions» émises chaque mois consistent principalement en une description détaillée du mode d'emploi et en plusieurs sortes de cartes dont voici la liste:

a) une carte de la terre, sur laquelle le globe est réparti en trois zones E, I et W (voir figure 11). Alors que, en gros, l'état de l'ionosphère est identique quelle que soit la latitude, il varie fortement

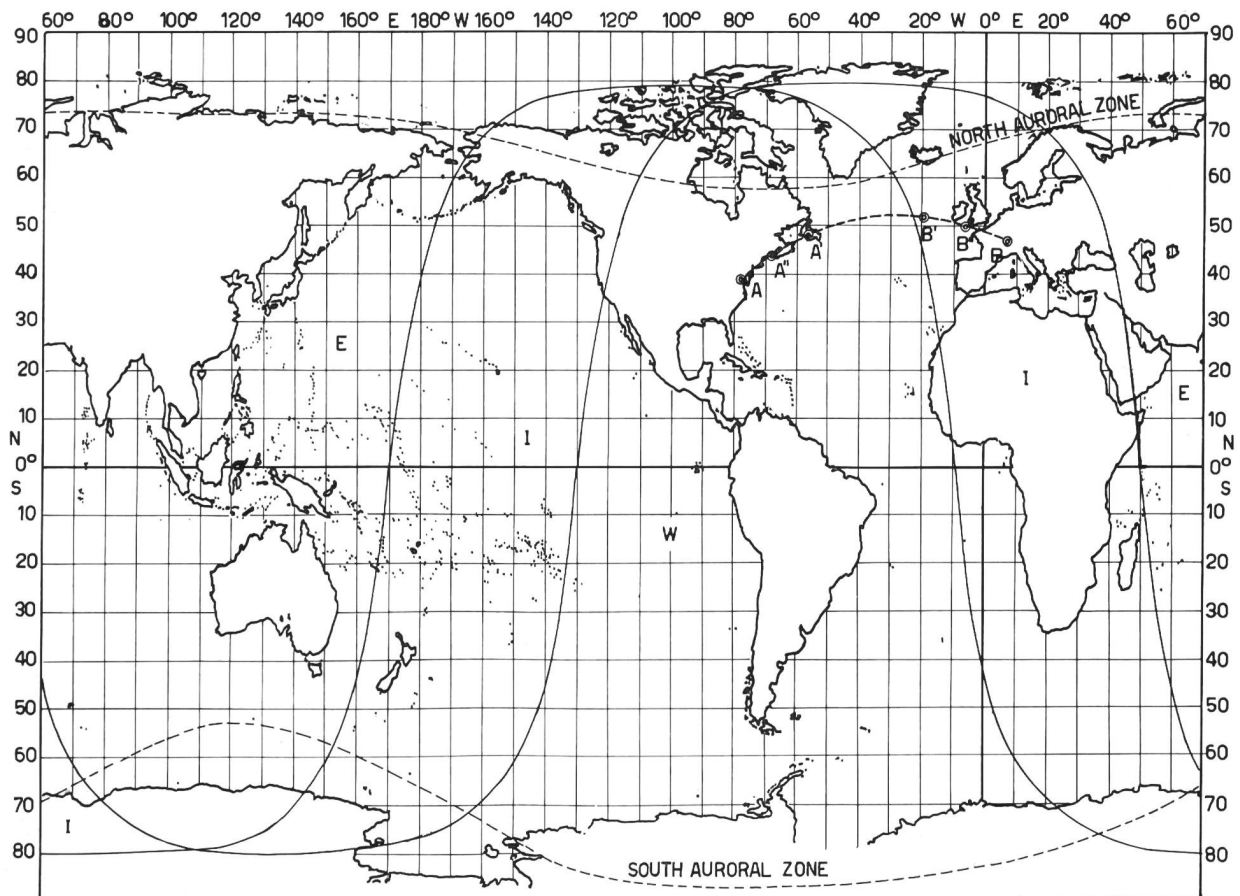


Fig. 11. Weltkarte mit Einteilung in Prognose- und Nordlichtzonen

Carte du globe montrant les zones de prévision et les zones aurorales

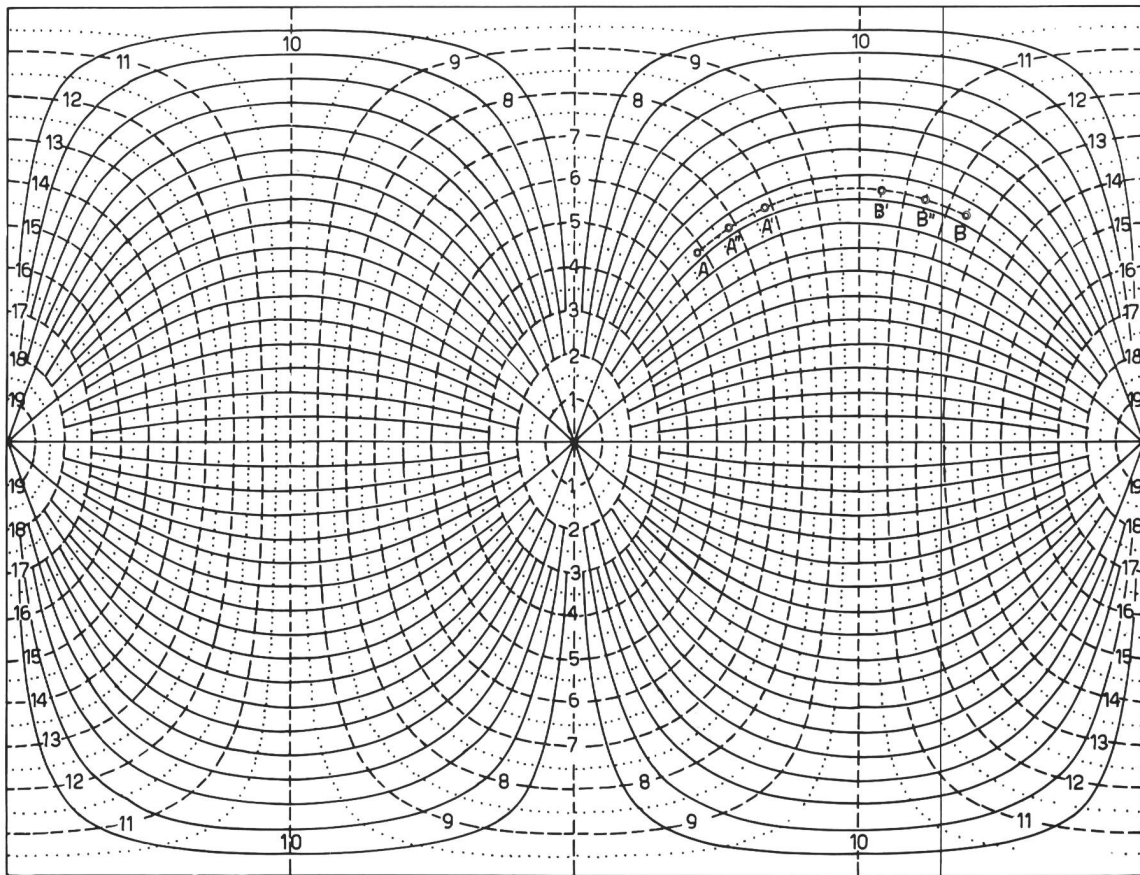


Fig. 12. Grosskreiskarte. Die ausgezogenen Linien stellen Grosskreise dar, die numerierten punktierten Linien schneiden die Grosskreise in Punkten, die 1000 km voneinander entfernt sind

Carte des grands cercles. Les lignes pleines représentent les grands cercles. Les lignes pointillées numérotées coupent les grands cercles en des points distants les uns des autres de 1000 km

Breite dieselben sind, ist die Änderung mit der geographischen Länge dagegen recht beträchtlich, besonders für die  $F_2$ -Schicht. Dieser Einfluss der geographischen Länge auf die  $F_2$ -Schicht wird dadurch berücksichtigt, dass für die drei genannten Zonen separate  $F_2$ -Prognosenkarten angefertigt werden.

- b) einer Grosskreiskarte, die der Weltkartenprojektion entspricht (siehe Figur 12). Die ausgezogenen, den Äquator in einem Punkte schneidenden Linien stellen Grosskreise dar. Die numerierten gestrichelten Linien schneiden die Grosskreise in Punkte, die je 1000 km auseinanderliegen;
- c) drei  $F_2$ -ZERO-MUF-Karten; je einer für die drei Zonen. Es sind dies Prognosenkarten für eine horizontale Übertragungsdistanz Null, das heisst, sie geben die kritischen Frequenzen für vertikal einfallende Wellen der  $F_2$ -Schicht an;
- d) drei  $F_2$ -4000-MUF-Karten, und zwar wieder je eine für die drei Zonen. Diese Karten vermitteln die MUF-Prognose für eine Übertragungsdistanz von 4000 km, unter Berücksichtigung der  $F_2$ -Schicht (siehe Figur 14 für die W-Zone);
- e) einer E-LAYER-2000-MUF-Karte. Sie vermittelt die MUF-Prognose für eine Übertragungsdistanz von 2000 km, unter Berücksichtigung der E-Schicht

avec la longitude, plus spécialement celui de la couche  $F_2$ . Compte tenu de ce fait, des cartes de prévisions  $F_2$  particulières sont établies pour chacune des trois zones précitées.

- b) Une carte représentant les grands cercles d'après la projection adoptée pour la carte mentionnée sous a) (figure 12). Les lignes pleines se coupant toutes en un même point sur l'équateur représentent les grands cercles. Les lignes numérotées formées de traits coupent les grands cercles en des points distants les uns des autres de 1000 km.
- c) Trois cartes  $F_2$ -ZERO-MUF, soit une pour chacune des trois régions. Ce sont des cartes de prévision pour une distance horizontale égale à zéro, c'est-à-dire qu'elles indiquent les fréquences critiques pour les ondes qui frappent verticalement la couche  $F_2$ .
- d) Trois cartes  $F_2$ -4000-MUF, une pour chaque région. Ces cartes donnent les prévisions MUF pour une distance de 4000 km, compte tenu de l'action de la couche  $F_2$  (voir figure 14 pour la région W).
- e) Une carte E-LAYER-2000-MUF. Elle donne les prévisions MUF pour une distance de 2000 km en tenant compte de l'action de la couche E (voir figure 15). Pour la couche E normale, la variation

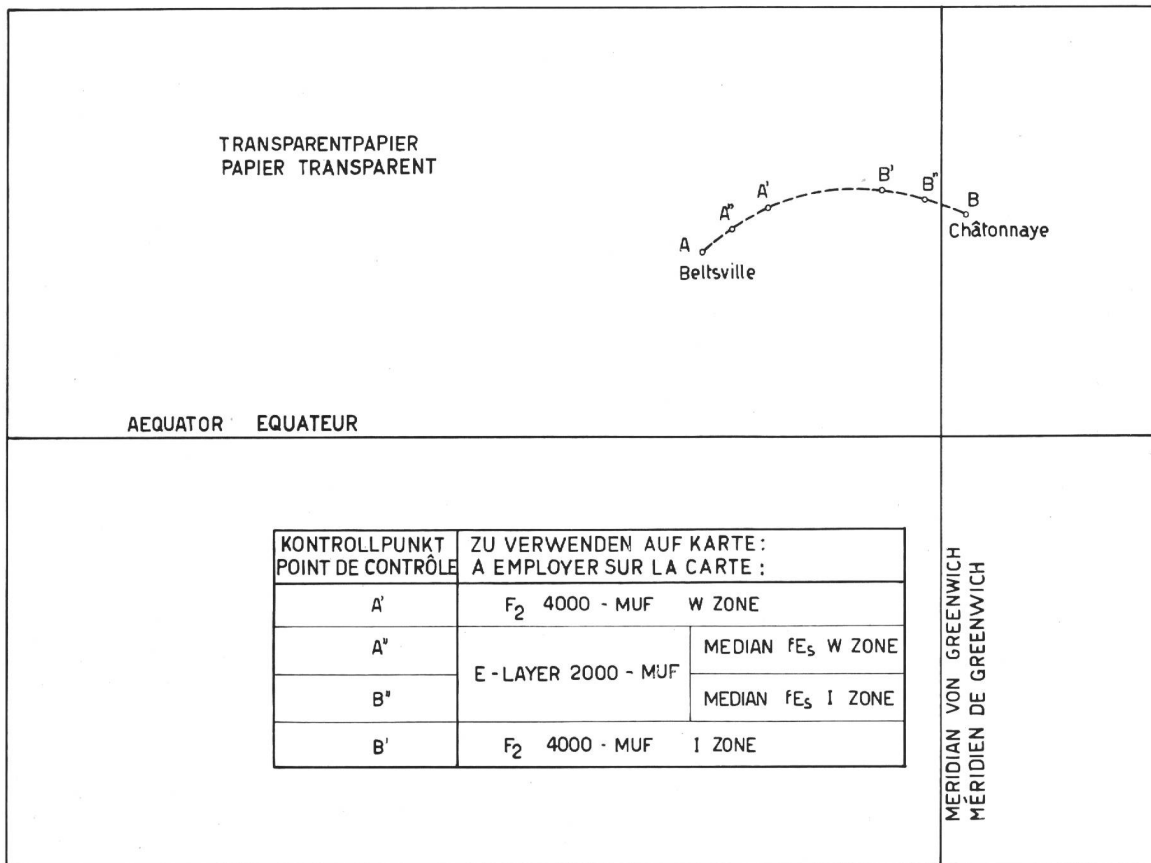


Fig. 13. Beispiel eines Transparentpapiers mit eingezeichnetem Äquator, Meridian von Greenwich und Übertragungsweg mit Kontrollpunkten

Exemple d'un papier transparent avec l'indication de l'équateur, du méridien de Greenwich et du trajet avec les points de contrôle

(siehe Figur 15). Für die normale E-Schicht ist die Änderung mit der geographischen Länge praktisch vernachlässigbar; daher ist nur eine E-Schichtkarte vorgesehen;

- f) einer Karte für MEDIAN  $fE_s$  (siehe Figur 16). Es ist dies eine Karte der höchsten, an der sporadischen E-Schicht  $E_s$  reflektierten Frequenzen. Die Änderungen dieser Frequenzen mit der geographischen Breite sind deutlich ausgeprägt. Dies wird durch eine Verschiebung der Breitenskala für die entsprechenden Zonen berücksichtigt.

Die Technik der MUF- und OWF-Bestimmung sei am Beispiel des Übertragungsweges Beltsville—Châtonnaye für den Monat Dezember 1948 demonstriert:

1. Auf die Weltkarte Figur 11 wird ein Transparentpapier gelegt und darauf die Äquatorlinie eingezeichnet. Die Sende- und Empfangsstation werden mit einem Punkte markiert. Im vorliegenden Falle ist die Sendestation WWV Beltsville mit A, die Empfangsstation Châtonnaye mit B bezeichnet. Des weitern wird der Greenwich-Meridian ( $0^\circ$ ), der gewöhnlich als Lokalzeitbasis verwendet wird, eingezeichnet (siehe Figur 13).
2. Das Transparentpapier wird nun auf die Grosskreiskarte Figur 12 gelegt, und zwar so, dass die Äquatorlinien übereinstimmen. Es wird nun

süß nach der Länge praktisch vernachlässigbar, c'est pourquoi il n'est établi qu'une seule carte.

- f) Une carte MEDIAN  $fE_s$  (figure 16). Elle indique les fréquences maxima réfléchies par la couche E sporadique (couche  $E_s$ ). Les variations de ces fréquences suivant la latitude sont fortement marquées. C'est pourquoi l'échelle des latitudes est décalée suivant les régions.

Nous démontrons ci-dessous, en prenant comme exemple la transmission sur l'itinéraire Beltsville—Châtonnaye en décembre 1948, la manière dont on détermine les valeurs MUF et OWF:

1. Placer un papier transparent sur la carte de la terre (figure 11) et y tracer la ligne représentant l'équateur. Marquer par un point la station émettrice et la station réceptrice. Dans le cas qui nous occupe, la station de Beltsville WWV est désignée par la lettre A, celle de Châtonnaye par B. Marquer en outre le méridien de Greenwich ( $0^\circ$ ) qui sert généralement de base pour l'heure locale (figure 13).
2. Placer le papier transparent sur la carte représentant les grands cercles (figure 12) de manière que les lignes marquant l'équateur coïncident. Le déplacer ensuite horizontalement sur la carte jusqu'à ce que les points A et B se trouvent sur le même grand cercle ou à la même distance

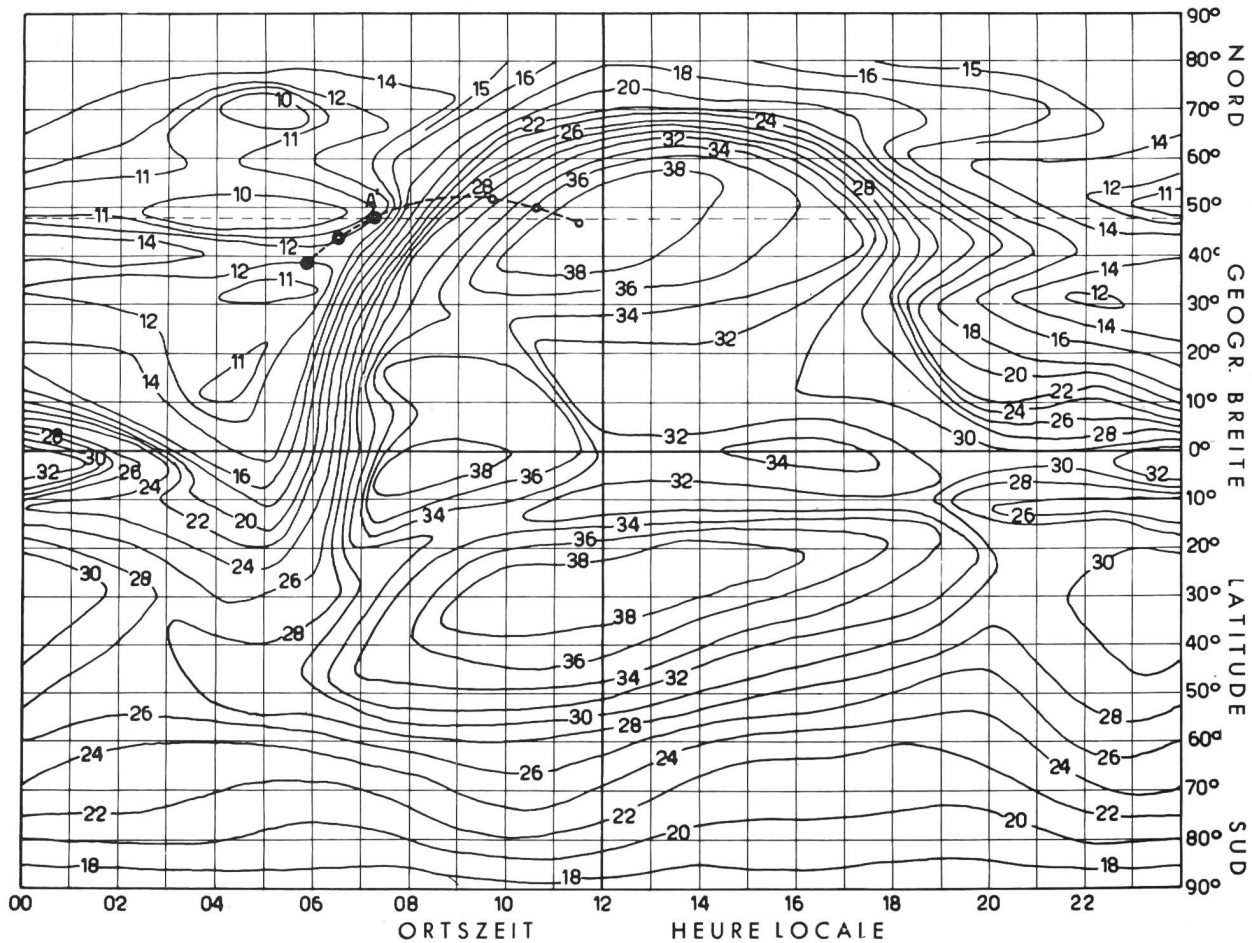


Fig. 14.

$F_2$ -4000-MUF in MHz für die W-Zone; Prognose für Dezember 1948

$F_2$ -4000-MUF en MHz pour la zone W; prévisions pour décembre 1948

auf dieser Karte so lange horizontal verschoben, bis die beiden Punkte A und B entweder auf dem gleichen Grosskreis liegen oder dieselbe proportionale Distanz zwischen benachbarten Grosskreiskurven aufweisen. Dieser Grosskreisweg wird nun eingezeichnet (siehe Figur 13).

3. Auf dem eingezeichneten Grosskreis werden die folgenden Kontrollpunkte markiert:  
Für die  $F_2$ -Schicht die Punkte A' und B'', je 2000 km von jedem Wegende.  
Für die E-Schicht die Punkte A' und B'', je 1000 km von jedem Wegende (siehe Figur 13).
4. Da der Kontrollpunkt A' im vorliegenden Falle in der W-Zone liegt, wird das Transparentpapier auf die  $F_2$ -4000-MUF-Karte der W-Zone gelegt (Figur 14). Die Äquatorlinien des Transparentpapiers und der Karte sind wiederum zur Deckung zu bringen. Nun wird das Transparentpapier horizontal verschoben, bis der Greenwich-Meridian mit der gewünschten Lokalzeit übereinstimmt (im gezeichneten Beispiel mit 1100 GMT).
5. Der Frequenzwert der  $F_2$ -MUF-Karte für den Kontrollpunkt A' wird abgelesen und in die Kolonne c der vorbereiteten *Tabelle I* eingetragen.

proportionnelle entre deux mêmes courbes de grand cercle. Reporter l'arc de grand cercle (figure 13).

3. Marquer les points de contrôle suivants sur l'arc de grand cercle ainsi déterminé:  
Pour la couche  $F_2$  les points A' et B' à la distance de 2000 km de chacune des extrémités de l'arc.  
Pour la couche E les points A'' et B'' à la distance de 1000 km de chacune des extrémités de l'arc (voir figure 13).
4. Le point de contrôle A' se trouvant dans la région W, poser le papier transparent sur la carte  $F_2$ -4000-MUF de la région W (figure 14). Faire coïncider la ligne de l'équateur de la carte avec celle du papier transparent. Déplacer ensuite le papier transparent horizontalement jusqu'à ce que le méridien de Greenwich coïncide à son tour avec la ligne de l'heure locale choisie (dans notre exemple 1100 heures GMT).
5. Lire sur la carte la valeur de MUF pour le point A' et la reporter dans la colonne c du *tableau I*, préparé d'avance.
6. Procéder de même pour l'échelle des heures choisie, dans le cas présent pour 0100, 0300, 0500, etc. jusqu'à 2300 GMT.

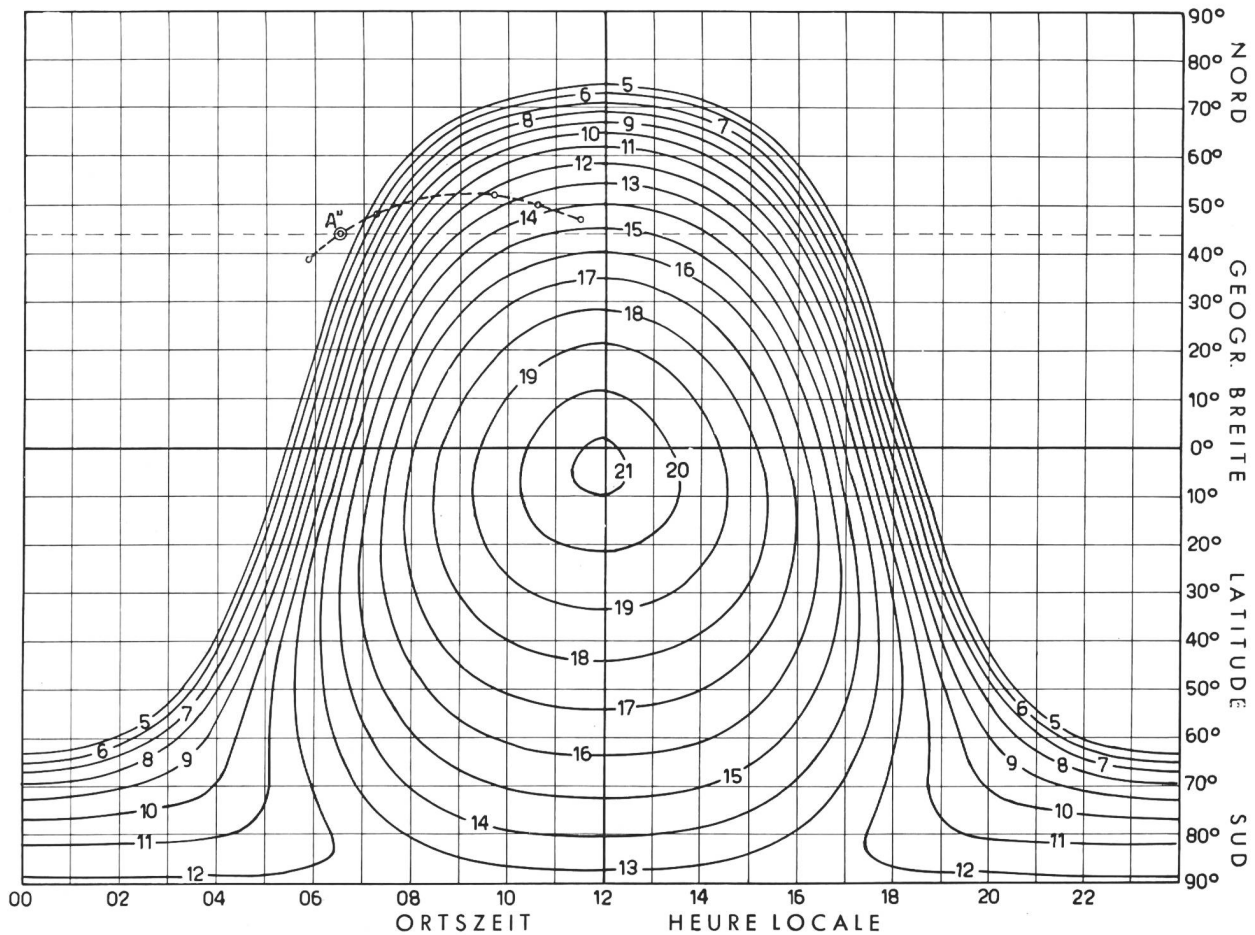


Fig. 15.

E-Layer-2000-MUF in MHz; Prognose für Dezember 1948 — E-Layer-2000-MUF en MHz; prévisions pour décembre 1948

6. Dieser Vorgang ist für die gewünschte Zeitskala zu wiederholen, im vorliegenden Falle also für 0100, 0300, 0500 usw. bis 2300 GMT.
7. Die Punkte 4, 5 und 6 werden nun für die E-Layer-2000-MUF-Karte, Figur 15 (eingezeichneter Zustand für 1100 GMT), unter Verwendung des Kontrollpunktes A'', wiederholt und die Resultate in Kolonne d der *Tabelle I* eingetragen.
8. Lies nun die  $F_2$ -4000-MUF-Werte für den Kontrollpunkt B', unter Verwendung der  $F_2$ -4000-MUF-Karte, der I-Zone für die gewünschte Zeitskala ab (da B' in der I-Zone liegt) und trage die Resultate in Kolonne i der *Tabelle I* ein.
9. Lies die E-Layer-2000-MUF-Werte für Kontrollpunkt B'' auf der entsprechenden Karte für die genannte Zeitskala ab und trage sie in Kolonne j der *Tabelle I* ein.
10. Lege das Transparentpapier auf die Karte MEDIAN  $fE_s$ , unter Verwendung der Ordinaten-skala für die Zone, in der der entsprechende Kontrollpunkt A'' oder B'' liegt (in Figur 16 für Kontrollpunkt A'' und 1100 GMT eingezeichnet).
7. Pour le point de contrôle A'', procéder sur la carte E-LAYER-2000-MUF (figure 15) comme indiqué sous les chiffres 4, 5 et 6 (on a représenté l'état pour 1100 GMT) et inscrire les résultats dans la colonne d du *tableau I*.
8. Lire sur la carte  $F_2$ -4000-MUF de la région I la valeur de MUF pour le point B' et pour l'échelle des heures choisie (le point B' se trouvant dans la région I) et reporter les résultats dans la colonne i du *tableau I*.
9. Lire sur la carte E-LAYER-2000-MUF la valeur de MUF pour le point B'' et pour les heures choisies et reporter les résultats dans la colonne j du *tableau I*.
10. Poser le papier transparent sur la carte MEDIAN  $fE_s$  d'après les indications de l'ordonnée relative à la zone dans laquelle se trouve le point de contrôle A'', respectivement B''. (Sur la figure 16: point de contrôle A'' et 1100 GMT.)
11. Déterminer les valeurs  $fE_s$  pour les points de contrôle A'' et B'' et pour l'échelle des heures choisie et reporter les résultats dans la colonne a, respectivement g, du *tableau I*.
12. Multiplier par le facteur 5 les valeurs de  $fE_s$  inscrites dans les colonnes a et g, pour obtenir

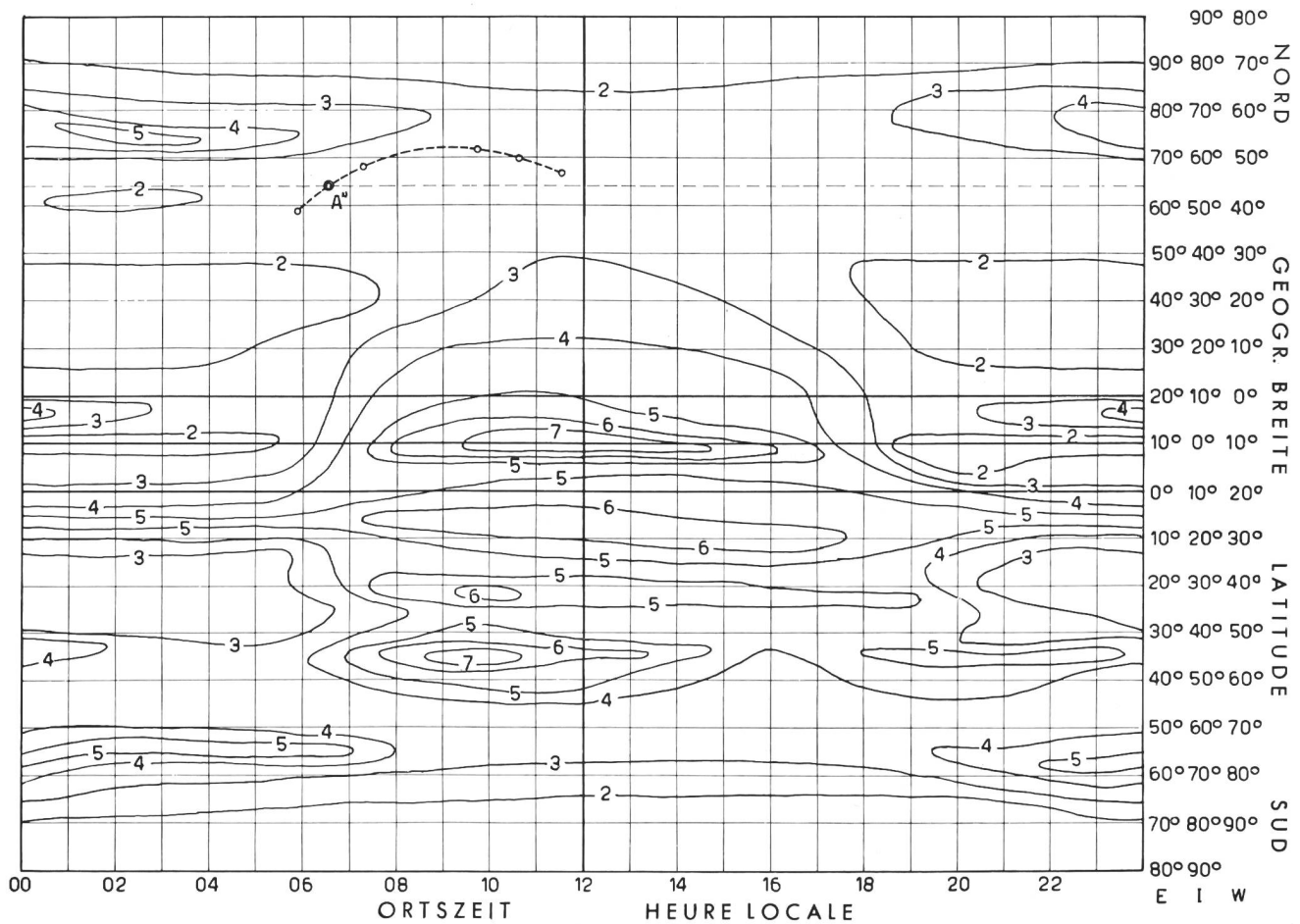


Fig. 16.

Median  $fE_s$  in MHz; Prognose für Dezember 1948 —  $fE_s$  médian en MHz; prévisions pour décembre 1948

11. Bestimme die  $fE_s$ -Werte für die Kontrollpunkte A'' und B'' für die genannte Zeitskala und trage sie in Kolonne a bzw. g der *Tabelle I* ein.
12. Multipliziere die  $fE_s$ -Werte der Kolonne a bzw. g mit dem Faktor 5, was die  $E_s$ -2000-MUF ergibt, und trage die Resultate in die Kolonnen b bzw. h ein.
13. Subtrahiere von den  $E_s$ -2000-MUF-Werten der Kolonnen b und h je 4 MHz. Dies ergibt die  $E_s$ -2000-OWF für das A- bzw. B-Ende des Übertragungsweges. Die Resultate sind in die Kolonnen e bzw. k einzutragen.
14. Multipliziere die  $F_2$ -4000-MUF-Werte der Kolonnen c und i mit 0,85. Dies ergibt die  $F_2$ -4000-OWF-Werte für das A- und B-Ende des Übertragungsweges. Trage die Resultate in die Kolonnen f und l ein.
15. Ermittle die höchste Frequenz der Kolonnen b, c und d und trage sie in Kolonne m ein. Dies ergibt die MUF für das A-Ende des Übertragungsweges.
16. Ermittle die höchste Frequenz der Kolonnen h, i und j und trage sie in Kolonne n ein (MUF für das B-Ende).
17. Comparez entre elles les valeurs inscrites dans les colonnes b, c et d et reportez la plus haute dans la colonne m. Cette valeur donne la MUF pour l'extrémité A de l'itinéraire.
18. Comparez entre elles les valeurs inscrites dans les colonnes h, i et j et inscrivez la valeur la plus haute dans la colonne n (MUF pour l'extrémité B).
19. Comparez entre elles les valeurs inscrites dans les colonnes d, e et f et reportez la plus haute dans la colonne o (OWF pour l'extrémité A).
20. Comparez entre elles les valeurs inscrites dans les colonnes j, k et l et inscrivez la valeur la plus haute dans la colonne p (OWF pour l'extrémité B).

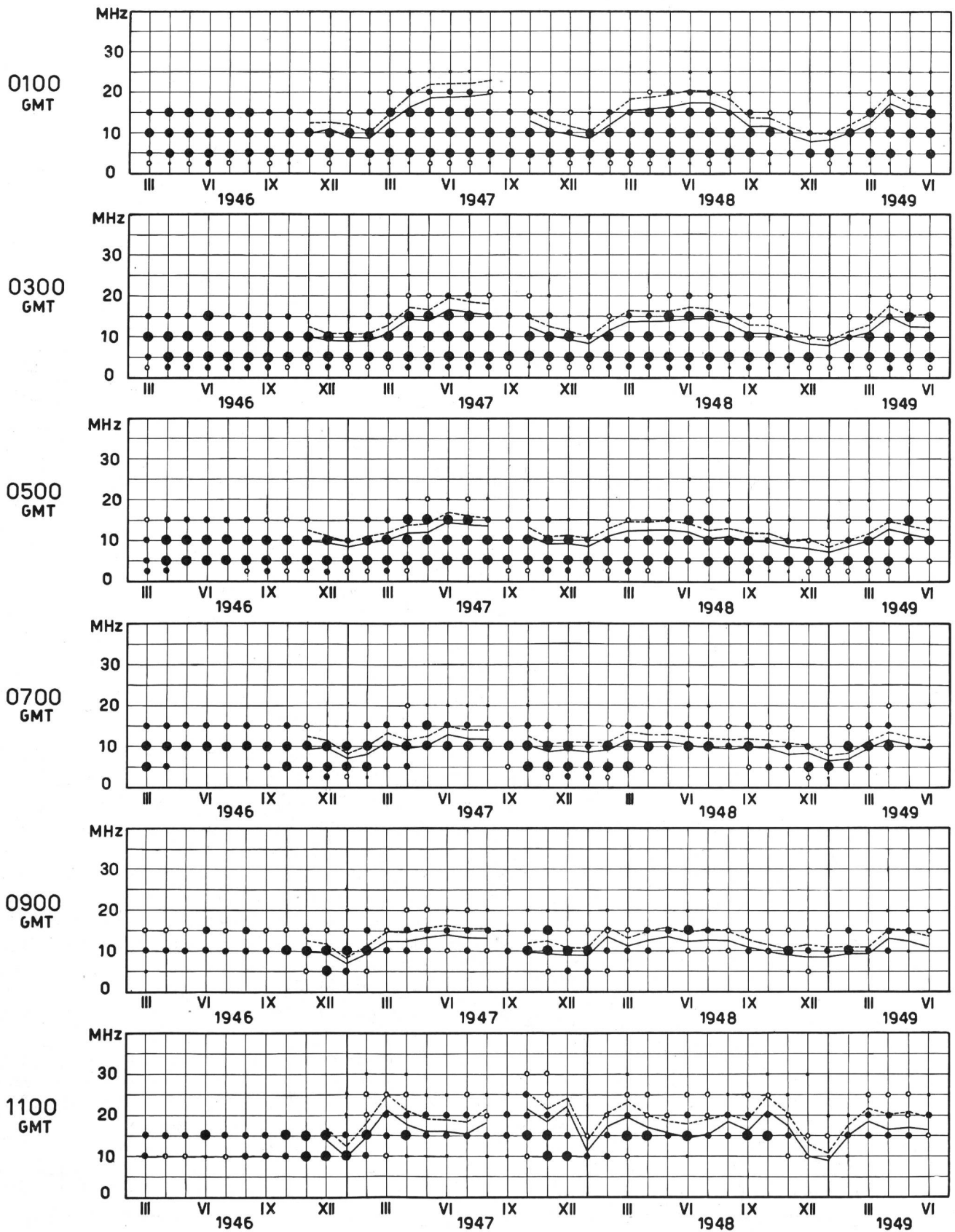


Fig. 17a.

WWV-Frequenzen, die an 90%, 50%, 20% und 5% der Tage des betreffenden Monats einen auf 1 kW bezogenen Empfangsstärkepegel von S3 erreichten oder überschritten

Fréquences de WWV qui ont atteint ou dépassé pendant le 90%, le 50%, le 20% et le 5% des jours d'un mois le niveau d'intensité de réception de S3 rapporté à une puissance d'émission de 1 kW.

- MUF
- OMF
- = 90%
- = 50%
- = 20%
- = 5%

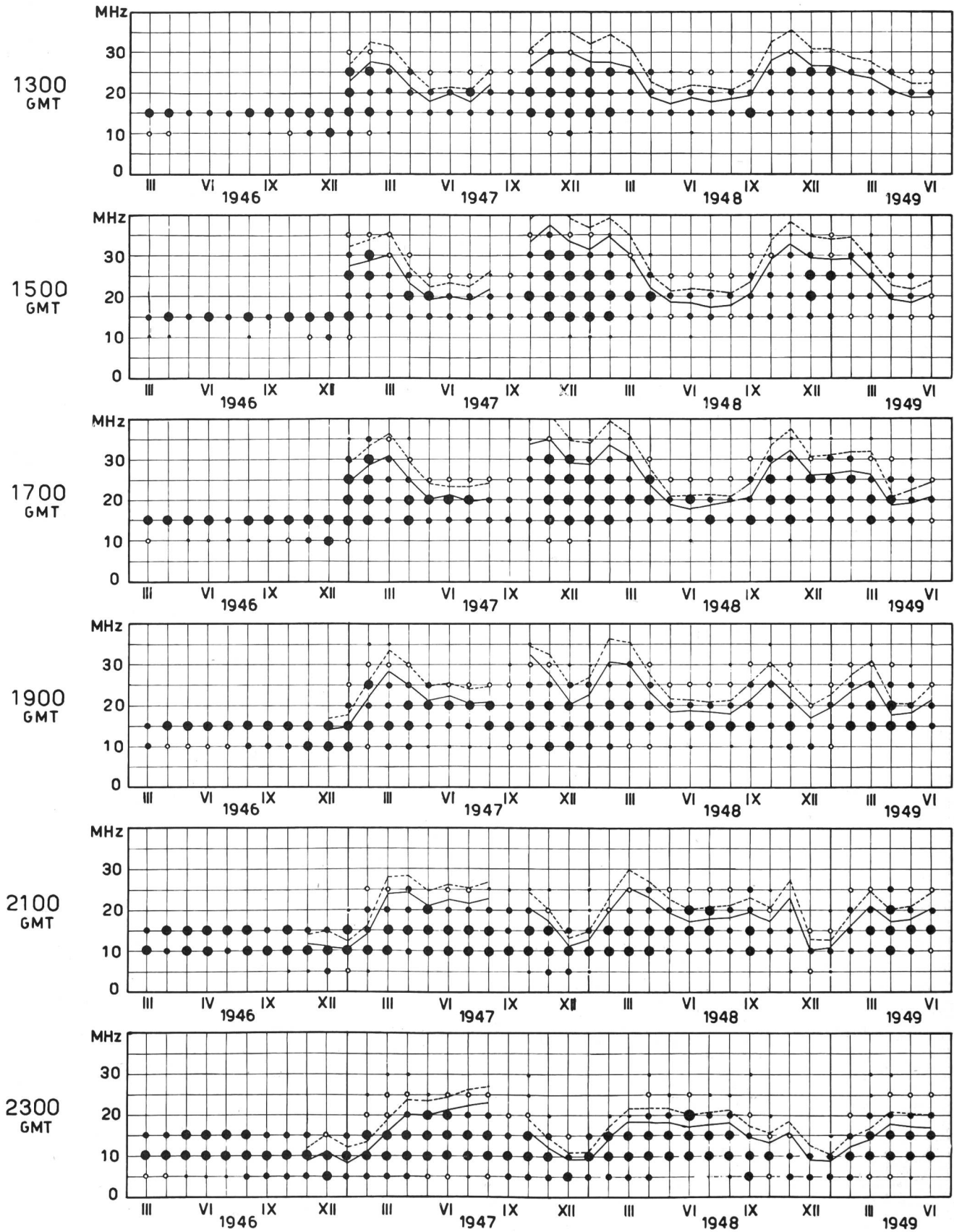


Fig. 17b.

WWV-Frequenzen, die an 90%, 50%, 20% und 5% der Tage des betreffenden Monats einen auf 1 kW bezogenen Empfangsstärkepegel von S3 erreichten oder überschritten

Fréquences de WWV qui ont atteint ou dépassé pendant le 90%, le 50%, le 20% et le 5% des jours d'un mois le niveau d'intensité de réception de S3 rapporté à une puissance d'émission de 1 kW

----- MUF  
 ——— OWF

● = 90%  
 • = 50%

○ = 20%  
 ◦ = 5%

		Bestimmung von MUF und OWF										Determination des MUF et OWF										Distanz 6650 km Distance 6650 km	
		A - Ende WWV Beltsville Extrémité A					B - Ende Châttonnaye Extrémité B					Punkte B' und B'' in I-Zone Points B' et B'' dans la zone I					MUF für A Ende	MUF für B Ende	OWF für A Ende	OWF für B Ende	MUF für ganze Strecke	OWF für ganze Strecke	
GMT		Punkte A' und A'' in W-Zone Points A' et A'' dans la zone W					Punkte B' und B'' in I-Zone Points B' et B'' dans la zone I					MUF für A Ende	MUF für B Ende	OWF für A Ende	OWF für B Ende	MUF für ganze Strecke	OWF für ganze Strecke						
		fE <sub>s</sub>	E <sub>s</sub>	F <sub>2</sub>	E	E <sub>s</sub>	F <sub>2</sub>	E	E <sub>s</sub>	F <sub>2</sub>	E	E <sub>s</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>		
		5 × a	2000 MUF	4000 MUF	2000 MUF	2000 MUF	2000 MUF	2000 MUF	4000 MUF	2000 MUF	2000 MUF	4000 MUF	4000 MUF	2000 MUF	2000 MUF	2000 MUF	4000 MUF	4000 MUF	4000 MUF	4000 MUF	4000 MUF		
		b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r					
		Ableitung A''	Ableitung A'	Ableitung A''	b—4,0	0,85 × c	Ableitung B''	Ableitung B'	Ableitung B''	Ableitung B'	h—4,0	0,85 × i	höchste von plus haute entre b, c, d	höchste von plus haute entre h, i, j	höchste von plus haute entre d, e, f	höchste von plus haute entre j, k, l	tieferer von plus basse entre m, n	tieferer von plus basse entre o, p					
Dezember 1948 Décembre 1948	0100	2,6	13,0	14,5	9,0	12,3	2,0	10,0	9,4		6,0	8,0	14,5	10,0	12,3	8,0	10,0	8,0					
	0300	2,6	13,0	11,8	9,0	10,0	2,0	10,0	9,8		6,0	8,3	11,8	10,0	10,0	8,3	10,0	8,3					
	0500	2,2	11,0	11,0	7,0	9,3	2,4	12,0	8,5		8,0	7,2	11,0	12,0	9,3	8,0	11,0	8,0					
	0700	2,1	10,5	9,8	6,5	8,3	2,5	12,5	7,8		8,5	6,6	10,5	12,5	8,3	8,5	10,5	8,3					
	0900	2,4	12,0	9,6	8,0	8,2	2,4	12,0	16,2	10,8	8,0	13,8	12,0	12,0	8,2	13,8	12,0	8,2					
	1100	2,6	13,0	11,9	9,0	10,1	2,7	13,5	31,5	13,5	9,5	26,8	13,0	31,5	10,1	26,8	13,0	10,1					
	1300	2,6	13,0	31,2	12,1	26,5	2,7	13,5	36,7	13,9	9,5	31,2	31,2	31,2	26,5	31,2	31,2	26,5					
	1500	2,6	13,0	38,5	14,9	32,5	2,7	13,5	34,8	12,0	9,5	29,6	38,5	34,8	32,5	29,6	34,8	29,6					
	1700	2,6	13,0	38,5	15,2	32,5	2,6	13,0	30,8	9,0	9,0	26,2	38,5	30,8	32,5	26,2	30,8	26,2					
	1900	2,5	12,5	36,8	13,4	31,3	2,4	12,0	20,2	8,0	8,0	17,2	36,8	20,2	31,3	17,2	20,2	17,2					
	2100	2,5	12,5	32,5	7,0	27,6	2,4	12,0	12,4	8,0	8,0	10,5	32,5	12,4	27,6	10,5	12,4	10,5					
	2300	2,5	12,5	20,2	8,7	17,2	2,5	12,5	9,7	8,5	8,5	8,2	20,2	12,5	17,2	8,5	12,5	8,2					

Tabelle I

Bestimmung von MUF und OWF Détermination des MUF et OWF

Tableau I

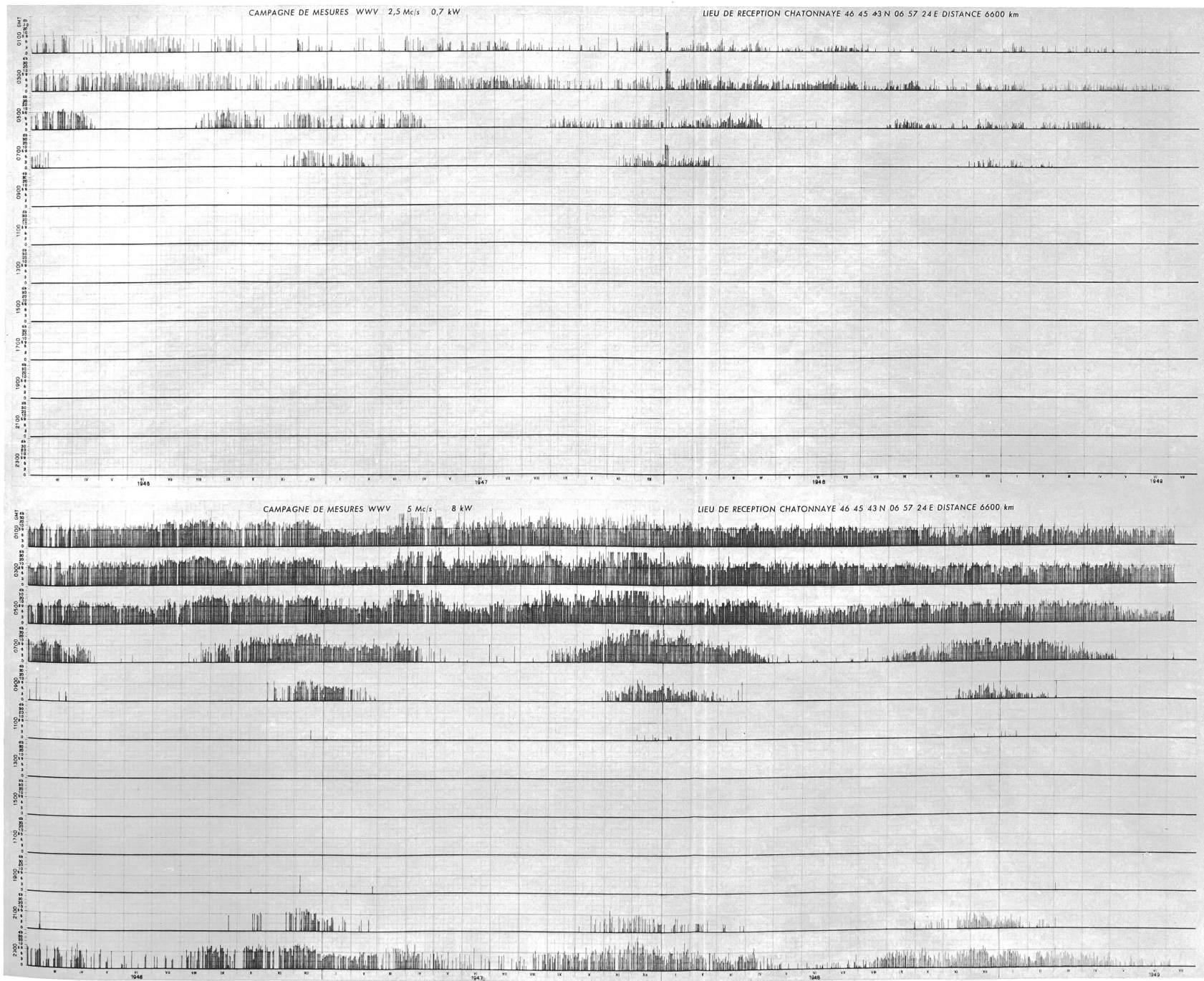


Fig. 4  
 Beobachtungsergebnisse der WWV-  
 Frequenzen 2,5 und 5 MHz, er-  
 mittelt in Châtonnaye vom 15. Fe-  
 bruar 1946 bis 8. Juli 1949.  
 Empfangsstärke ausgedrückt in  
 S-Einheiten.  
 Résultats d'observations des fré-  
 quences de WWV 2,5 et 5 MHz  
 faites à Châtonnaye entre le 15  
 février 1946 et le 8 juillet 1949.  
 Intensité de la réception en uni-  
 tés «S»

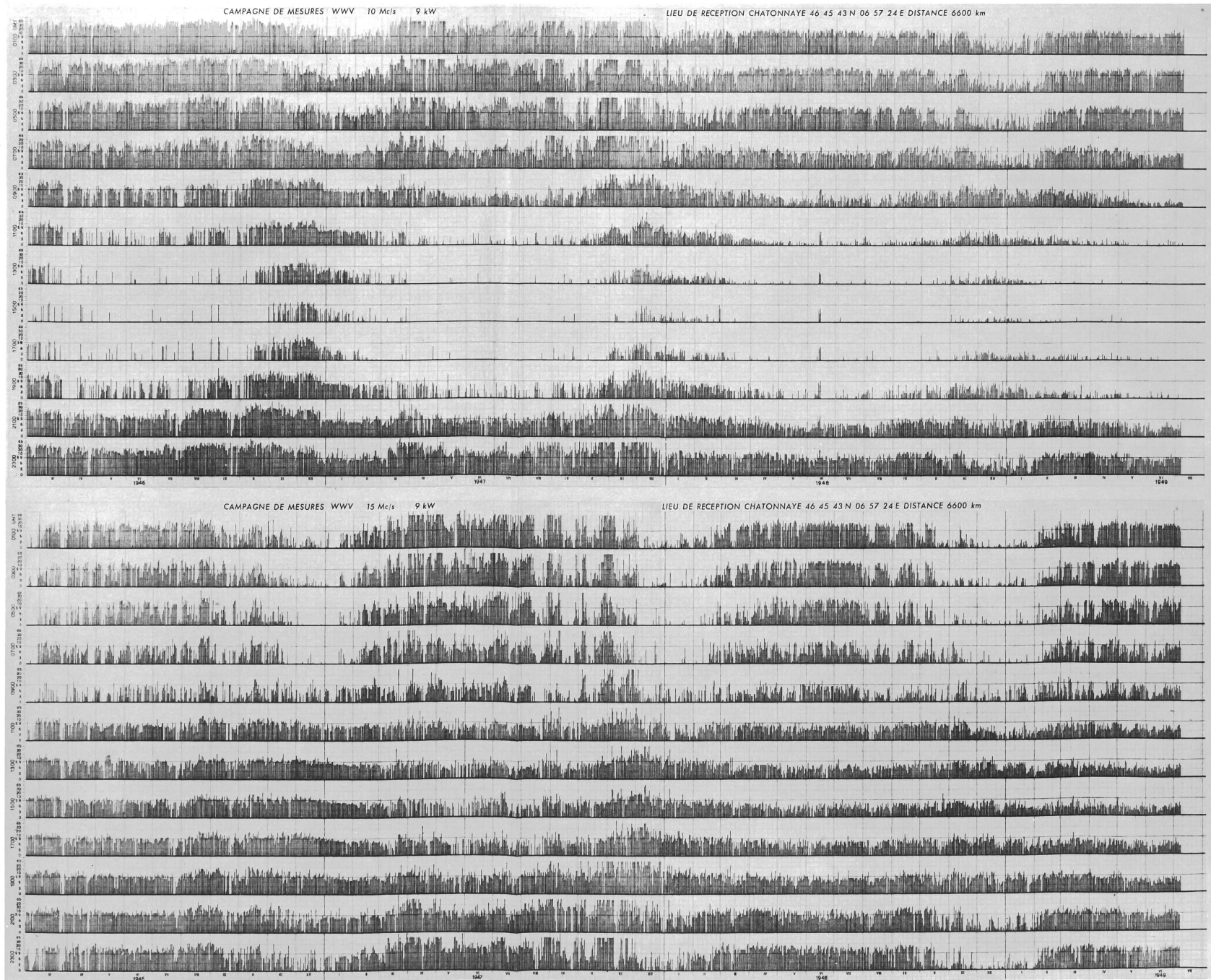
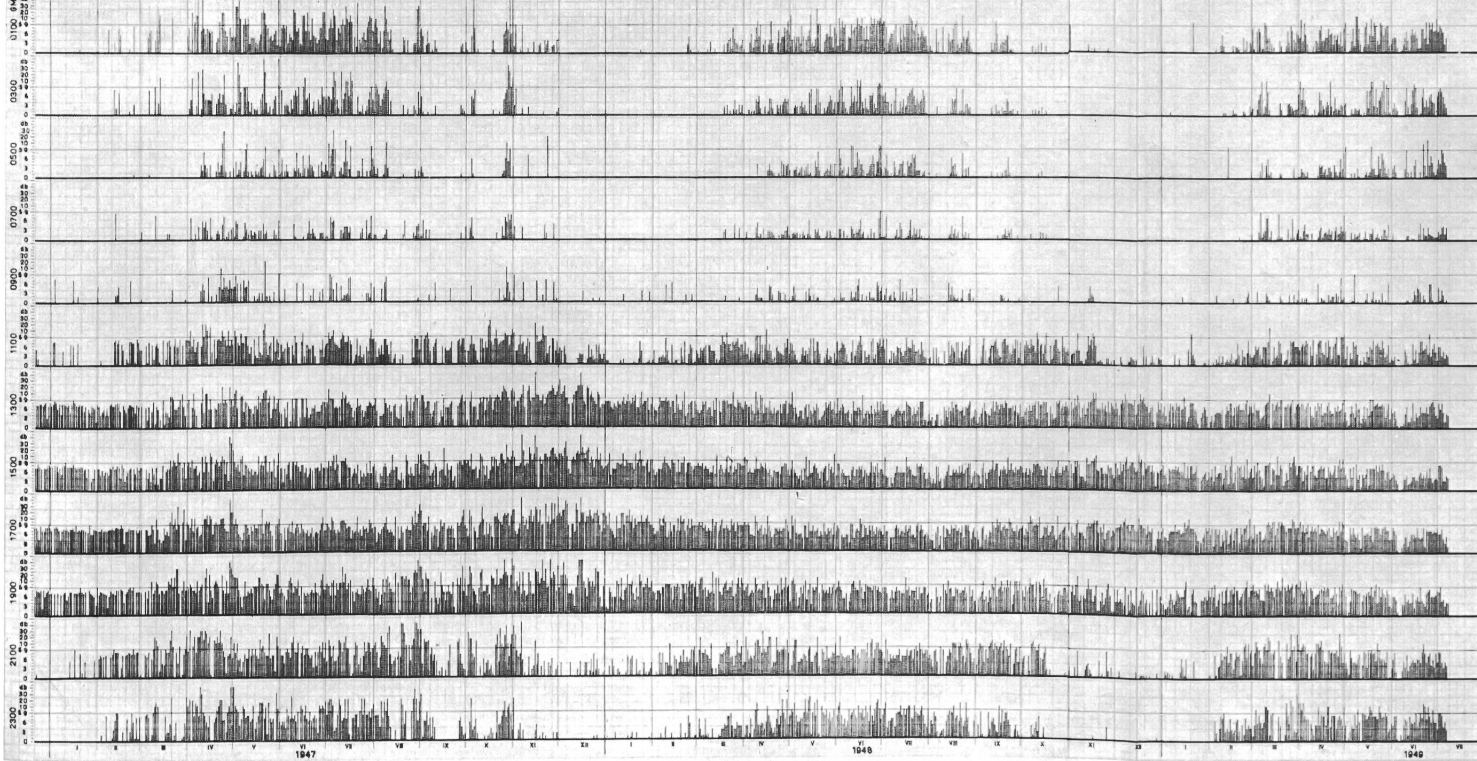


Fig. 5.  
 Beobachtungsergebnisse der WWV-Frequenzen 10 und 15 MHz, ermittelt in Châtonnaye vom 15. Februar 1946 bis 8. Juli 1949. Empfangsstärke ausgedrückt in S-Einheiten.  
 Résultats d'observations des fréquences de WWV 10 et 15 MHz faites à Châtonnaye entre le 15 février 1946 et le 8 juillet 1949. Intensité de la réception en unités «S»

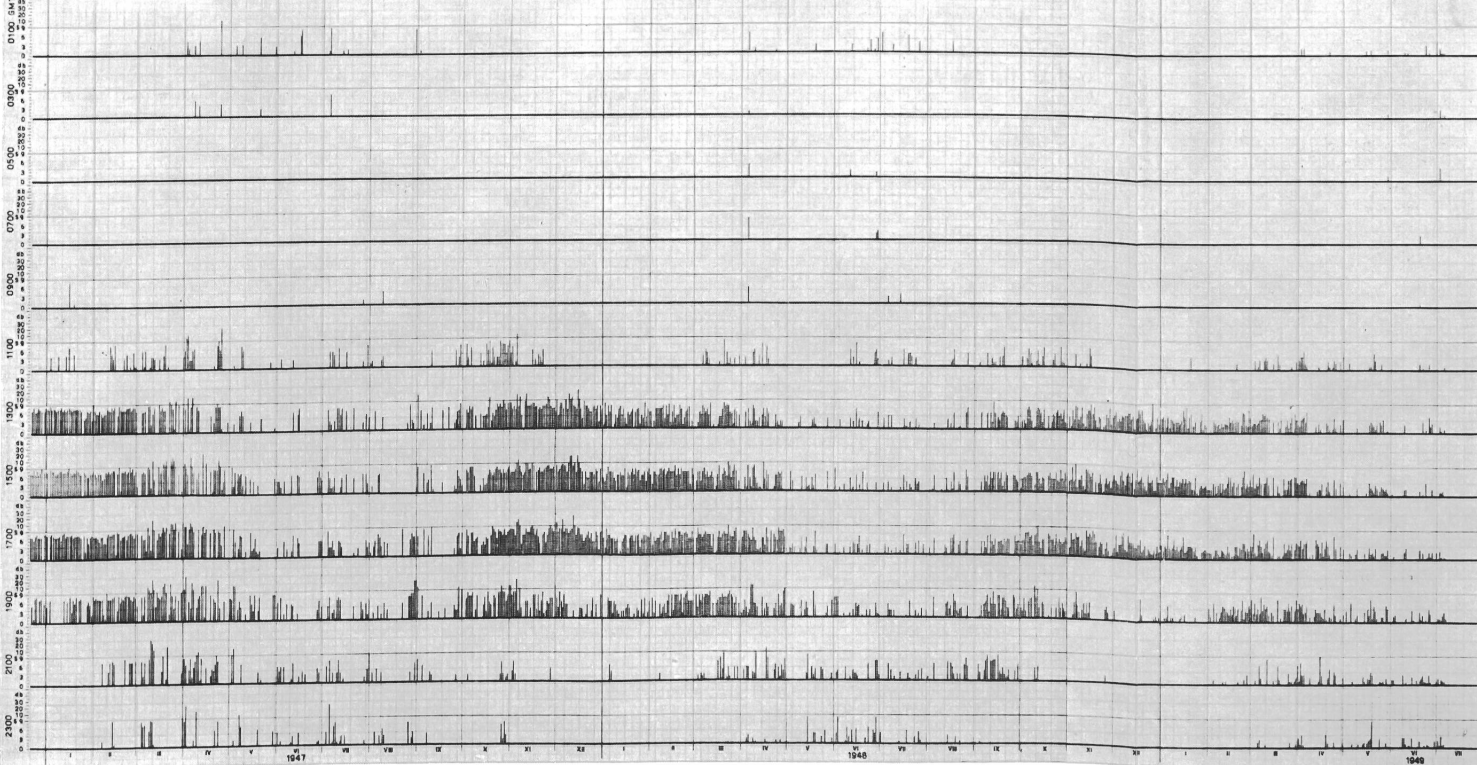
CAMPAGNE DE MESURES WWV 20 Mc/s 8,5 kW

LIEU DE RECEPTION CHATONNAYE 46 45 43 N 06 57 24 E DISTANCE 6600 km



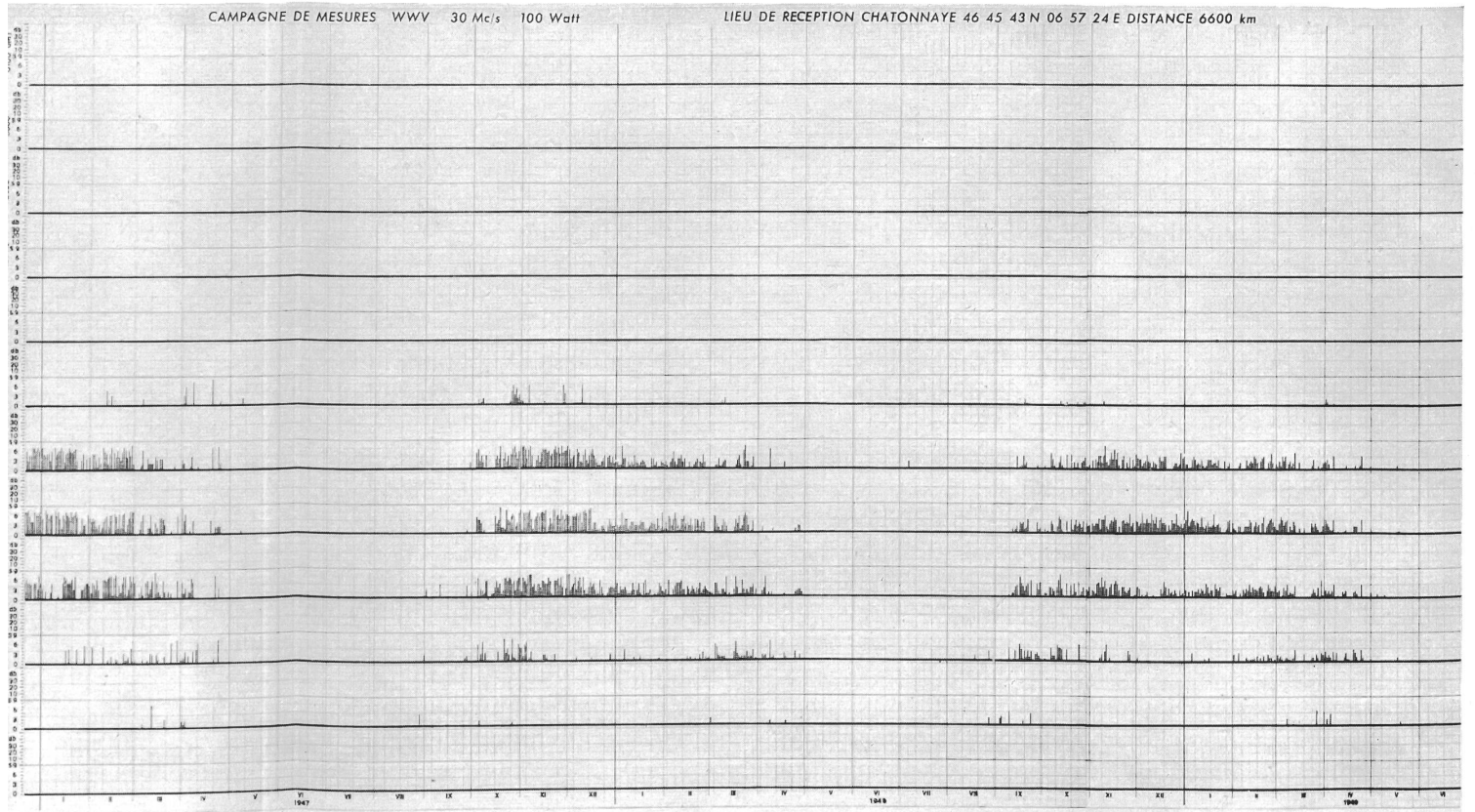
CAMPAGNE DE MESURES WWV 25 Mc/s 100 Watt

LIEU DE RECEPTION CHATONNAYE 46 45 43 N 06 57 24 E DISTANCE 6600 km



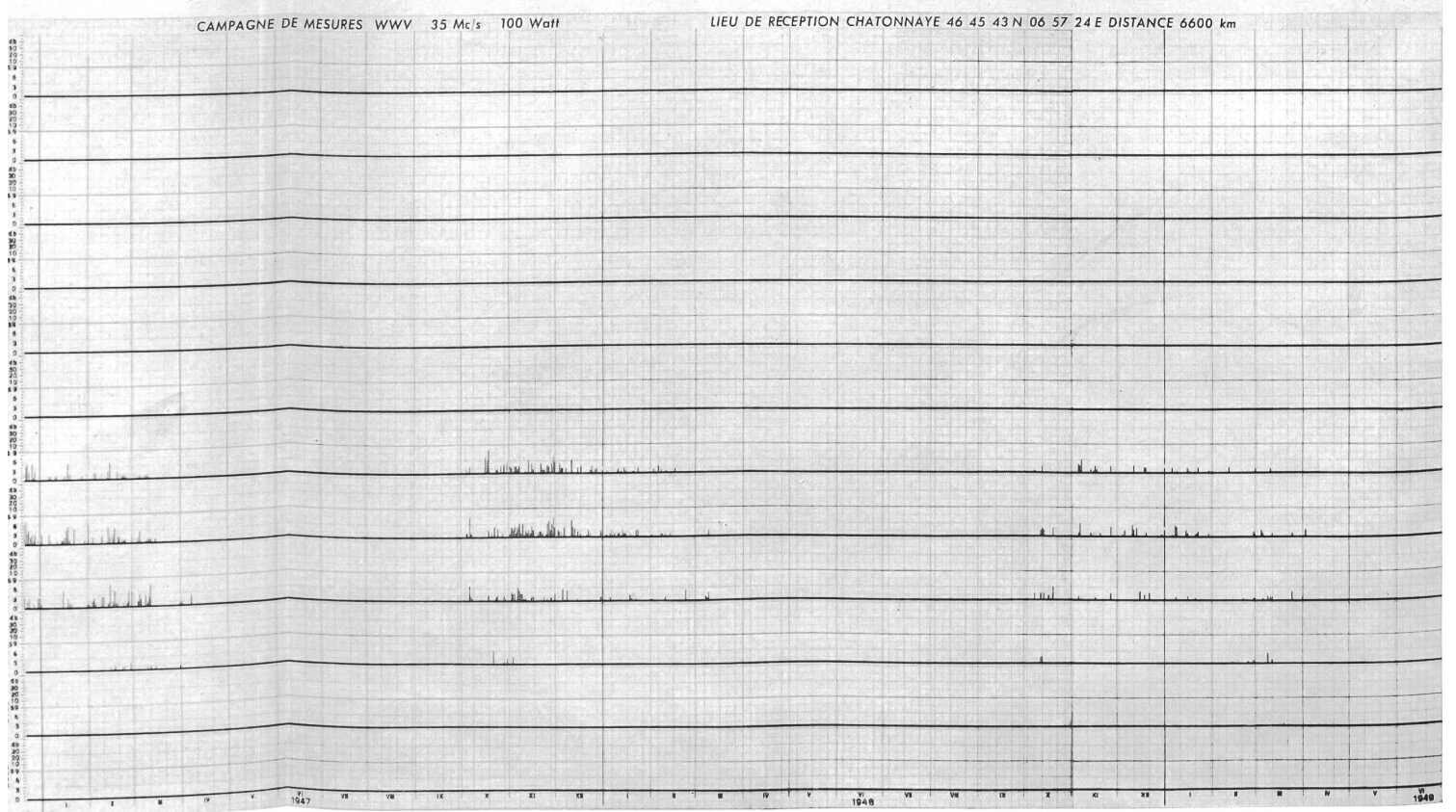
CAMPAGNE DE MESURES WWV 30 Mc/s 100 Watt

LIEU DE RECEPTION CHATONNAYE 46 45 43 N 06 57 24 E DISTANCE 6600 km



CAMPAGNE DE MESURES WWV 35 Mc/s 100 Watt

LIEU DE RECEPTION CHATONNAYE 46 45 43 N 06 57 24 E DISTANCE 6600 km



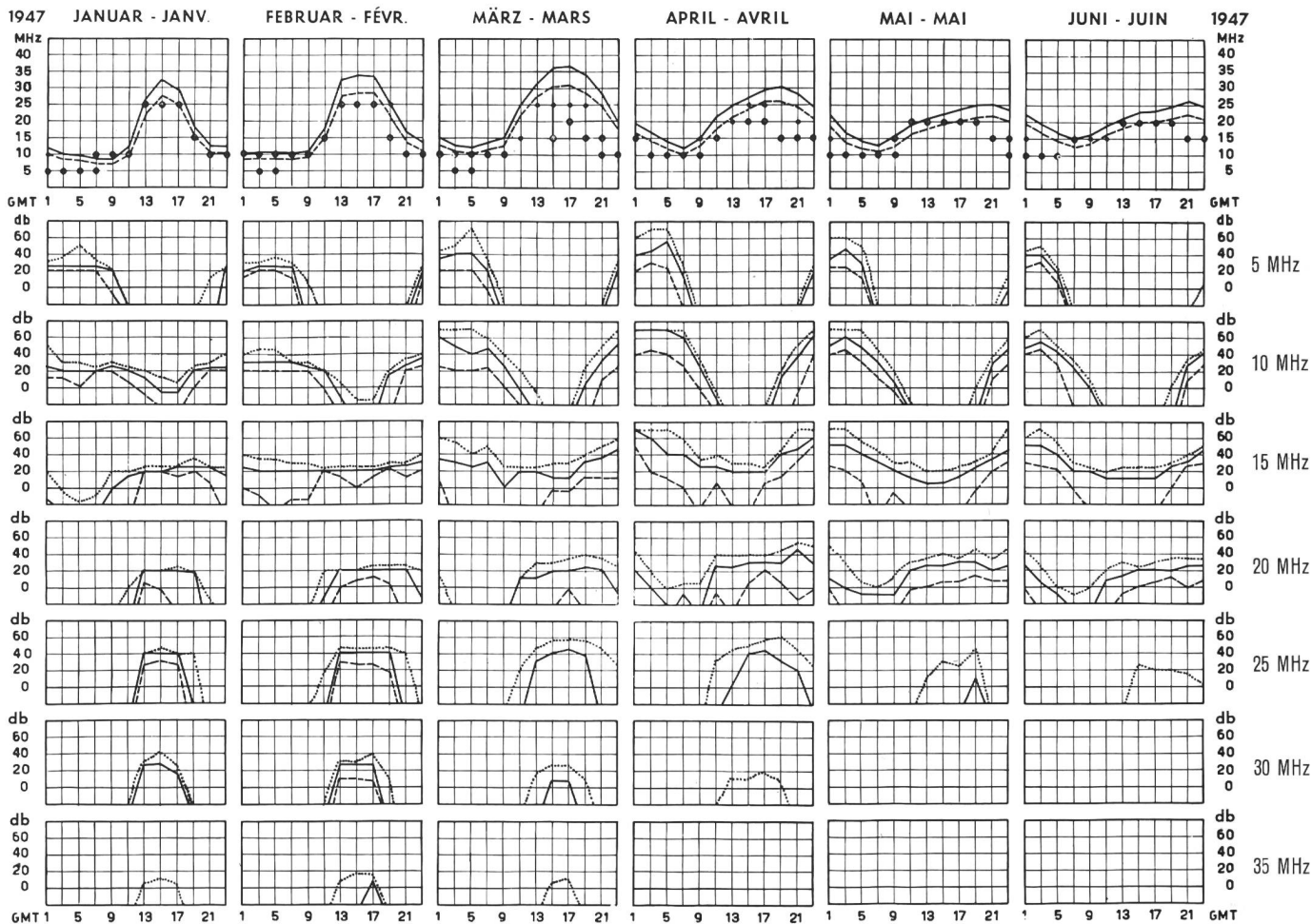


Fig. 18a.

Auf 1 kW bezogene Empfangsstärke, die an 20 %, bzw. 50 %, bzw. 90 % der Tage erreicht oder überschritten wurde. Empfänger-eingangsspannungen in db über 1  $\mu$ V

● während 90 % der Tage, bzw. ● 50 % der Tage am stärksten eingefallene WWV-Frequenzen

Obere Teilbilder:	Untere Teilbilder:
— MUF	..... 20 %
- - - OWF	— 50 %
	- - - 90 %

Intensité de réception rapportée à la puissance de 1 kW, atteinte ou dépassée pendant 20 %, 50 % et 90 % des jours. Tensions à l'entrée du récepteur en db au-dessus de 1  $\mu$ V

Fréquences de WWV qui pendant 90 % ●, respectivement 50 % des jours ●, ont été reçues avec la plus grande intensité

Parties supérieures:	Parties inférieures:
— MUF	..... 20 %
- - - OWF	— 50 %
	- - - 90 %

17. Ermittle die höchste Frequenz der Kolonne d, e und f und trage sie in Kolonne o ein (OWF für das A-Ende).

18. Ermittle die höchste Frequenz der Kolonnen j, k und l und trage sie in Kolonne p ein (OWF für das B-Ende).

19. Die MUF für den ganzen Übertragungsweg Beltsville—Châtonnaye ist die tiefere Frequenz der Kolonnen m und n (Kolonne q).

20. Die OWF für den ganzen Übertragungsweg ist die tiefere Frequenz der Kolonnen o und p (Kolonne r).

3. Vergleich der Beobachtungsergebnisse mit den theoretischen MUF- und OWF-Werten

Wie im Teil I, Abschnitt 1, erwähnt wurde, ist die abgestrahlte Leistung der verschiedenen WWV-Frequenzen recht verschieden. Ein unmittelbarer

19. La MUF pour l'itinéraire Beltsville—Châtonnaye est la fréquence la plus basse des colonnes m et n (colonne q).

20. L'OWF pour ce même itinéraire est la fréquence la plus basse des colonnes o et p (colonne r).

3. Comparaison entre le résultat des observations et les valeurs théoriques MUF et OWF

Nous avons vu (chapitre I, 1) que la puissance émise par la station WWV est très différente suivant les fréquences. Il n'est possible de comparer les intensités de réception de ces fréquences, entre elles et avec les valeurs déterminées par le calcul, que si tous les résultats sont rapportés à une puissance-antenne identique. La puissance de référence la plus favorable est évidemment 1 kW.

Admettons qu'une puissance-antenne de 1 kW produise en un lieu de réception donné un champ

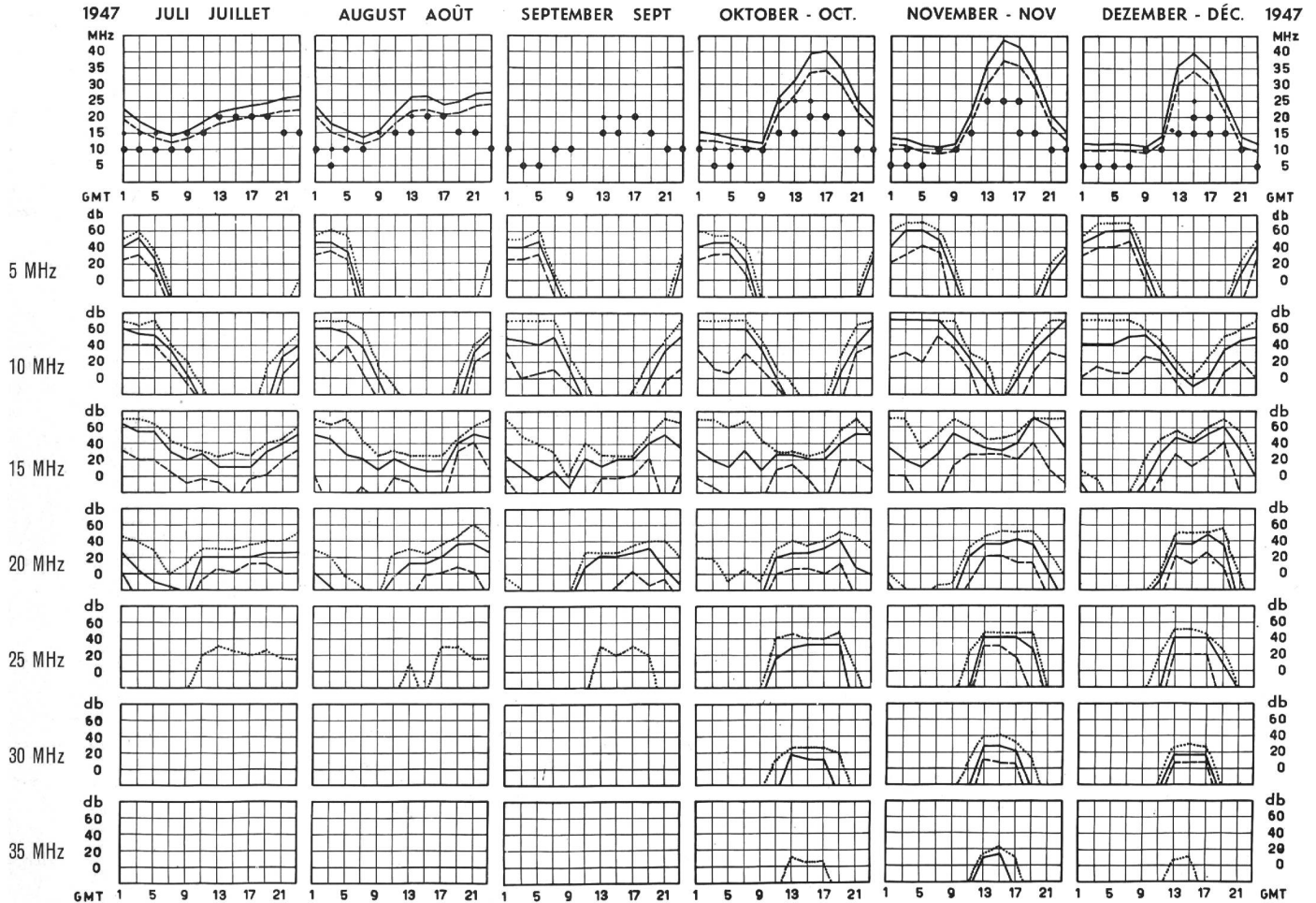


Fig. 18b. Legende siehe Fig. 18a — Voir légende fig. 18a

Vergleich der Empfangsstärken dieser Frequenzen untereinander oder mit theoretisch ermittelten Werten kann erst dann vorgenommen werden, wenn sämtliche Empfangsresultate auf die gleiche Antennenleistung bezogen werden. Die günstigste Bezugsleistung ist offensichtlich 1 kW.

1 kW Antennenleistung erzeuge an einem bestimmten Empfangspunkt ein Feld von der Grösse  $E_0$ . Ist die abgestrahlte Leistung jedoch nicht 1 kW, sondern  $P$  kW, so ist das erzeugte Feld  $E_P$  am gleichen Empfangspunkt:

$$E_P = E_0 \cdot \sqrt{P}$$

Das auf 1 kW Antennenleistung bezogene Feld ist dann:

$$E_0 = E_P \cdot \frac{1}{\sqrt{P}}$$

Gemäss Teil I, Abschnitt 4, kann ein Feld, das am Messempfänger eine Anzeige von S 1...2 verursacht, noch für einen Einseitenband-Telephonie-Empfang als brauchbar betrachtet werden. Wir wählen nun als Vergleichsempfangsstärke den S-Skalawert S3 und nehmen an, dass dieses S3 mit einer Antennenleistung von 1 kW erzeugt werde. Als Vergleichspegel für 1 kW abgestrahlte Leistung sind dann bei den verschiedenen Frequenzen folgende S-Werte massgebend:

d'une valeur  $E_0$ . Si la puissance émise n'est pas de 1 kW, mais de  $P$  kW, le champ  $E_P$  produit au lieu de réception est:

$$E_P = E_0 \cdot \sqrt{P}$$

Le champ rapporté à une puissance-antenne de 1 kW est alors:

$$E_0 = E_P \cdot \frac{1}{\sqrt{P}}$$

Selon chapitre I, 4, un champ donnant une indication de S 1...2 dans le S-mètre du récepteur est encore suffisant pour la réception de la téléphonie sur une bande latérale. Nous prenons comme intensité de réception témoin la valeur S3 de l'échelle du S-mètre et admettons qu'elle correspond à une puissance de 1 kW dans l'antenne d'émission. Nous aurons comme niveau de comparaison les valeurs S suivantes pour une puissance d'émission de 1 kW aux différentes fréquences:

(Voir tableau page 479)

Comme on le voit, les niveaux de comparaison ci-dessus ne sont qu'approximatifs, parce que, pour plus de commodité, on n'a pris en considération que des valeurs S entières. L'erreur qui en résulte est cependant négligeable comparée à la somme de tous les autres facteurs d'inexactitude.

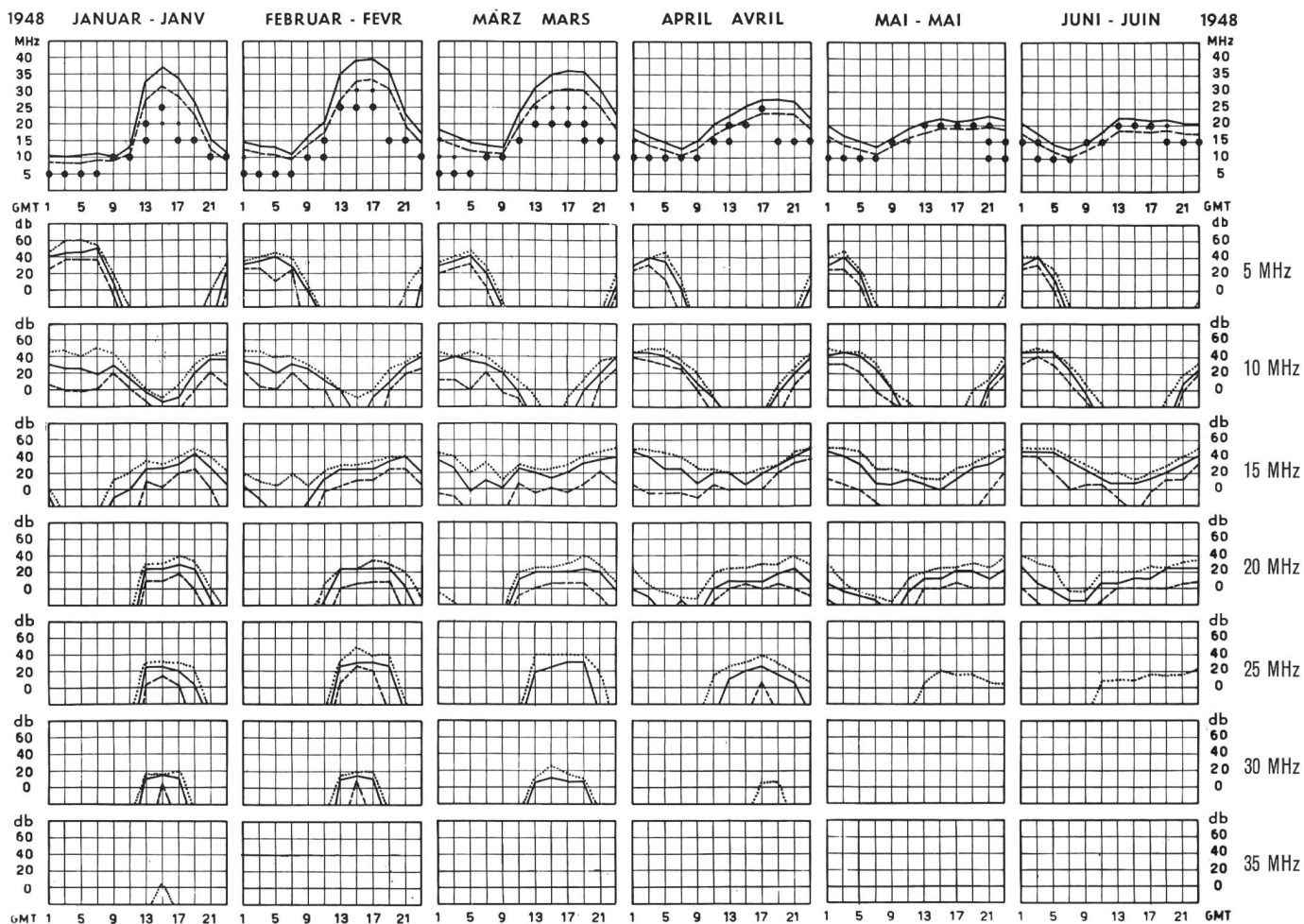


Fig. 19a. Legende siehe Fig. 18a — Voir légende fig. 18a

$f$ MHz	$P$ kW	$\sqrt{P}$	Vergleichspegel, wenn 1 kW eine Empfangsstärke von S3 erzeugt
2,5	0,7	0,836	S3
5,0	8,0	2,83	S5
10,0	9,0	3,0	S5
15,0	9,0	3,0	S5
20,0	8,5	2,9	S5
25,0	0,1	0,316	S1
30,0	0,1	0,316	S1
35,0	0,1	0,316	S1

$f$ MHz	$P$ kW	$\sqrt{P}$	Niveau de comparaison, lors- que 1 kW donne une in- tensité de réception de S3
2,5	0,7	0,836	S3
5,0	8,0	2,83	S5
10,0	9,0	3,0	S5
15,0	9,0	3,0	S5
20,0	8,5	2,9	S5
25,0	0,1	0,316	S1
30,0	0,1	0,316	S1
35,0	0,1	0,316	S1

Wie ersichtlich, sind die vorstehend aufgezeichneten Vergleichspegel nur angenähert richtig, da für die bequemere Auswertung der vorliegenden Beobachtungen ganze S-Werte genommen wurden. Der dadurch entstehende Fehler ist gegenüber der Summe aller andern Unsicherheitsfaktoren vernachlässigbar.

Die in den Figuren 4...7 dargestellten Beobachtungsergebnisse wurden, unter Berücksichtigung der vorstehenden Vergleichspegel, auf folgende Gesichtspunkte hin untersucht: Aus sämtlichen beobachteten WWV-Frequenzen wurden zunächst diejenigen her-

En tenant compte de ces niveaux, on a recherché, d'après les résultats des observations consignés aux figures 4 à 7, quelles sont les fréquences de WWV qui ont atteint ou dépassé pendant le 90 %, le 50 %, le 20 % et le 5 % des jours d'un mois le niveau d'intensité de réception de S3 rapporté à une puissance d'émission de 1 kW.

Les résultats de cette recherche sont représentés graphiquement aux figures 17a et 17b, séparément pour chaque heure d'observation (toutes les heures GMT impaires). Les mêmes figures montrent les valeurs mensuelles moyennes MUF et OWF déterminées d'après les prévisions. Il convient de remarquer que

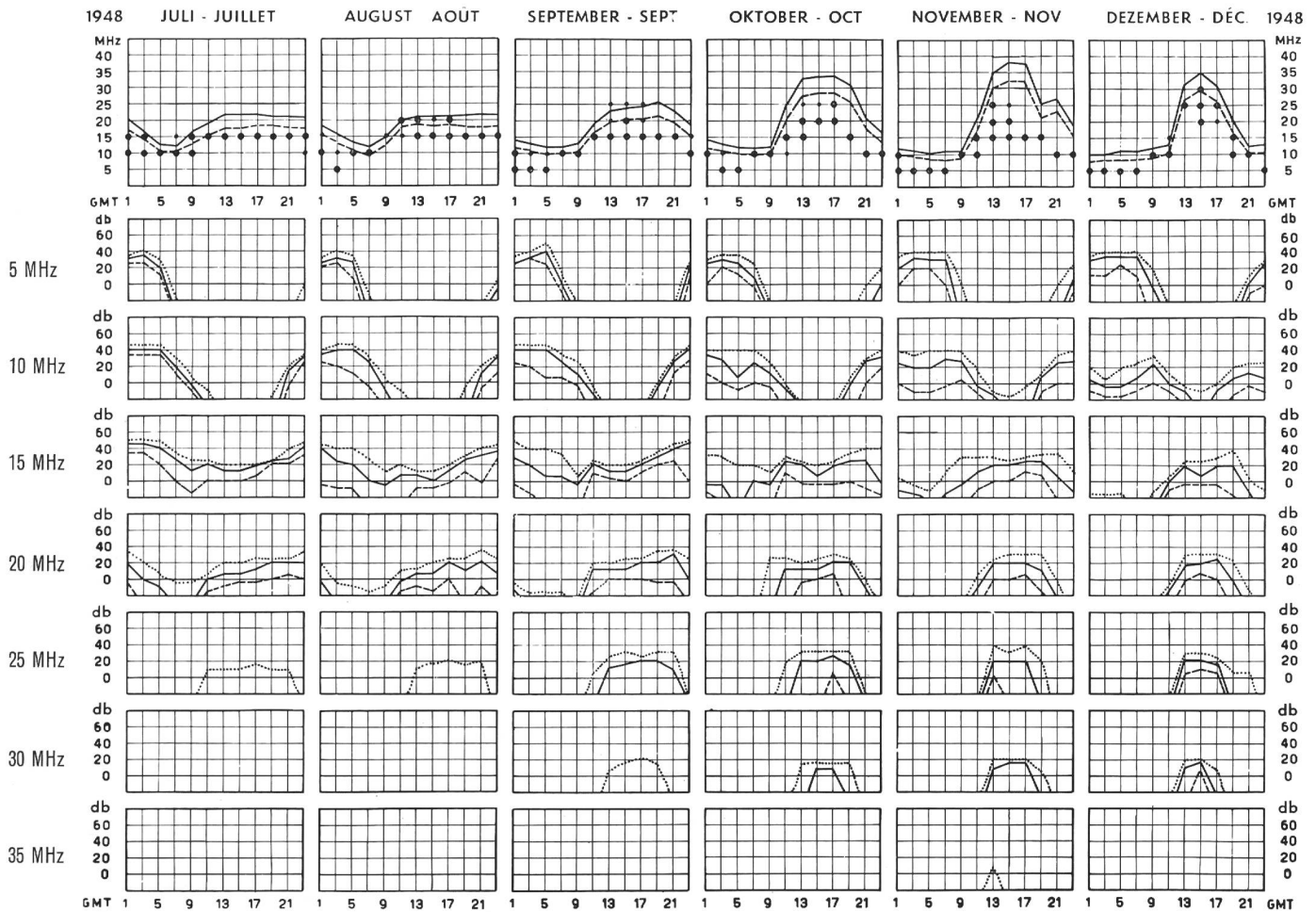


Fig. 19b. Legende siehe Fig. 18a — Voir légende fig. 18a

ausgesucht, die an 90%, 50%, 20% und 5% der Tage des betreffenden Monats einen auf 1 kW bezogenen Empfangsstärkepegel von S3 erreichten oder überschritten.

Die Ergebnisse dieser Auswertungen sind in den Figuren 17a und 17b graphisch dargestellt, und zwar für jede Beobachtungszeit (alle ungeraden Stunden GMT) getrennt. In den gleichen Figuren wurden die monatlichen Mittelwerte der aus den Prognosen ermittelten MUF- und OMF-Werten eingetragen. Zu berücksichtigen ist, dass die Frequenzen 20, 25, 30 und 35 MHz erst ab Januar 1947 beobachtet wurden.

Als weiterer Auswertungsschritt erfolgte die Analyse der einzelnen Empfangsfrequenzen auf die auf 1 kW bezogene Empfangsstärke, die an 20% bzw. 50% bzw. 90% der Tage erreicht oder überschritten wurde. Die Resultate dieser Analysen finden sich in den Figuren 18...20 dargestellt. Darin sind für jeden Beobachtungsmonat und für jede WWV-Frequenz, mit Ausnahme der 2,5 MHz, die Empfängerereingangsspannungen in db über 1  $\mu$ V in Funktion der Tageszeit (GMT) eingezeichnet, desgleichen die in einem separaten Teilbild aus den Prognosen ermittelten MUF- und OMF-Frequenzen. Die gleichen Figuren enthalten auch die während 90% bzw. 50% der Tage am stärksten eingefallenen WWV-Fre-

quenzen 20, 25, 30 und 35 MHz n'ont été observées qu'à partir de janvier 1947.

On a analysé ensuite chaque fréquence relativement à l'intensité de réception rapportée à la puissance d'émission de 1 kW, atteinte ou dépassée pendant 20%, 50% et 90% des jours. Les résultats de cette opération sont donnés par les figures 18 à 20. Celles-ci indiquent pour chaque mois et pour chaque fréquence, 2,5 MHz exceptée, les tensions à l'entrée du récepteur en db au-dessus de 1  $\mu$ V, en fonction de l'heure (GMT); à la partie supérieure figurent les fréquences MUF et OMF déterminées d'après les prévisions. Cette même partie indique encore les fréquences de WWV qui pendant 90%, respectivement 50% des jours, ont été reçues avec la plus grande intensité. On peut ainsi comparer facilement les prévisions MUF et OMF avec les valeurs des fréquences effectivement les plus favorables pour la transmission.

La concordance est très bonne pour les fréquences les plus basses; elle est moins pour les fréquences élevées. Cette constatation s'explique ainsi:

Pour les fréquences élevées, (25, 30 et 35 MHz), les caractéristiques directives verticales de l'antenne utilisée pour la réception (voir figures 3a et 3b) ne sont rien moins qu'idéales; en effet, elles accusent des

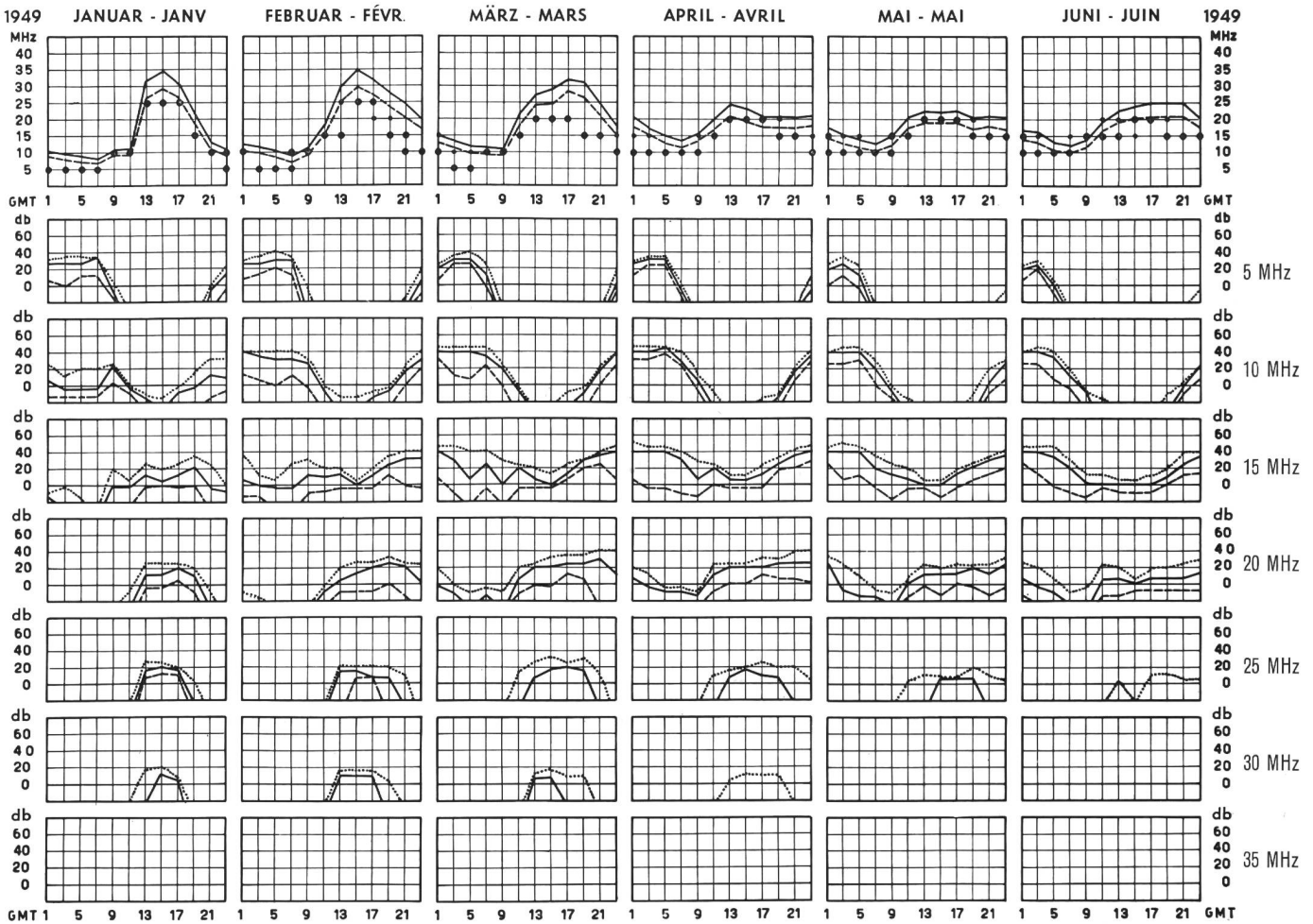


Fig. 20. Legende siehe Fig. 18a — Voir légende fig. 18a

quenzen. Diese Darstellung ermöglicht den unmittelbaren Vergleich der MUF- und OMF-Prognosen mit den tatsächlich günstigsten Übertragungsfrequenzen.

Die Übereinstimmung ist besonders für die niedrigeren Frequenzen sehr gut, für die höheren dagegen weniger. Dies lässt sich aus folgenden Überlegungen begründen:

Die vertikalen Richtkennlinien der verwendeten Empfangsantenne (siehe Figuren 3a und 3b) sind für die höheren Frequenzen, das heisst für 25, 30 und 35 MHz, nichts weniger als ideal, weisen sie doch ganz schmale und scharf ausgeprägte Lappen unter relativ hohen Einfallswinkeln auf, während im interessanten Einfallswinkelbereich von ungefähr 8° bis etwa 20° die Richtlappen nur rudimentär sind. Die Eingangsspannungen am Empfänger erscheinen infolgedessen für die höheren Frequenzen stark reduziert.

Ein weiterer Grund mag darin liegen, dass infolge der kleinen Antennenleistungen der höheren Frequenzen, für die der Vergleichspegel ja nur S1 beträgt, die Empfangsunsicherheit grösser war, was sich auf die statistisch ermittelten Resultate ungünstig auswirkte.

Im grossen und ganzen gesehen ist die Übereinstimmung zwischen Theorie und Prognose einer-

lobes étroits et prononcés sous des angles relativement élevés, tandis que dans la série plus intéressante des angles d'incidence de 8 à 20 degrés les lobes sont très peu marqués. Par conséquent, pour les fréquences élevées, les tensions à l'entrée du récepteur apparaissent fortement réduites.

Une autre raison pour laquelle la concordance n'est pas meilleure pour les fréquences élevées est probablement que, la puissance d'émission de ces fréquences étant réduite, le niveau de comparaison n'est que de S1, ce qui rend l'observation plus incertaine et se répercute défavorablement sur les résultats statistiques.

D'une manière toute générale, on peut considérer comme satisfaisante la concordance entre la théorie et les prévisions d'une part et la pratique d'autre part, si l'on tient compte du fait que les observations ne purent avoir lieu que pendant un temps limité et que des valeurs de mesure effectives manquaient.

Pour terminer, nous ne voulons pas manquer de remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réussite des observations, particulièrement le chef de la station réceptrice de Châtonnaye, M. G. Francioni, et tout son personnel. Leur travail exact et consciencieux a été extrêmement utile.

seits und der Praxis andererseits jedoch recht befriedigend, wenn man berücksichtigt, dass die vorliegenden Beobachtungen ja wirklich nur zeitlich ungenügend lange Beobachtungen darstellen und eigentliche Messwerte fehlten.

Den Schluss dieser Arbeit bilde der Dank an alle, die zum Gelingen derselben beigetragen haben, vor allem dem Chef der Empfangsstation Châtonnaye, Herrn G. Frascioni, sowie dem Personal dieser Station für die exakten und zuverlässig durchgeführten Empfangsbeobachtungen.

Ein Teil dieser Arbeit wurde als Dokument den Studienkommissionen 6 und 7 des CCIR zur Verfügung gestellt.

Une partie de ce rapport a été mise à la disposition des 6<sup>e</sup> et 7<sup>e</sup> commissions d'étude du C.C.I.R.

#### Bibliographie

- Basic Radio Propagation Predictions three Months in Advance.* Prepared by Central Radio Propagation Laboratory (April 1937 till June 1949). National Bureau of Standards, Washington 1947...1949.
- Ionospheric Radio Propagation.* U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards. Circular 462, issued June 25, 1948. Washington 1948.
- Terman, F. E.* Radio Engineers' Handbook. First Edition, Ninth Impression. New York and London 1943.
- Reference Data for Radio Engineers.* Third Edition. Federal Telephone and Radio Corporation. New York 1949.
- Schüttlöffel Erich und Gottfried Vogt.* Die Einfallswinkel der Kurzwellenstrahlung im Überseeverkehr. VDE-Fachberichte 11 (1939) S. 48...52.
- Grosskopf, J.* Rhombusantennen. Elektrotechn. Z. 1943, H. 31/32, S. 415...422.
- Barker R. H.* Rhombic Aerial Design Chart. Wireless Eng. 25 (1948), p. 361...369.
- Egidi, Claudio e Giulio Gregoretti.* Ricezione a Torino di Segnali Campione del N.B.S. di Washington. Alta Frequenza 17 (1948), p. 161...167.

## Un nouveau localisateur de sources radioperturbatrices affectant les réseaux électriques aériens

Par J. Meyer de Stadelhofen, Berne

621.396.828

**Sommaire.** Pour faciliter la recherche de sources radioperturbatrices reliées aux réseaux électriques aériens, on peut utiliser un appareil indiquant le sens de propagation de l'énergie perturbatrice le long des lignes. Après avoir décrit le principe d'un tel indicateur, l'auteur donne quelques détails sur une réalisation de laboratoire ainsi que sur les expériences faites avec ce prototype.

### Introduction

Il est très difficile, par les moyens habituels, de localiser les perturbateurs reliés aux réseaux électriques aériens. L'énergie perturbatrice qu'ils engendrent se propage avec des pertes minimales le long des conducteurs, des réflexions se produisent et l'on observe des maxima du champ des parasites à des endroits parfois fort éloignés de l'objet qui les provoque. Plusieurs méthodes ont été proposées pour déceler avec certitude l'emplacement de ces perturbateurs, les unes tablent sur l'amortissement relativement rapide des ondes très courtes le long des lignes, d'autres comptent sur l'effet directif d'antennes spéciales pour ondes ultra-courtes. Celle que nous allons décrire repose sur la remarque élémentaire faite il y a plus de dix ans par W. Gerber, à savoir que, l'énergie HF s'éloignant de sa source, il suffit de déterminer son sens de propagation pour en situer l'origine.

### Principe du localisateur SB 34.49.11

Si l'on considère, ce qui est licite en première approximation, le faisceau des conducteurs constituant une ligne de distribution d'électricité comme un conducteur unique pour l'énergie HF produite par

un perturbateur asymétrique, on peut représenter cette ligne par le schéma équivalent suivant:

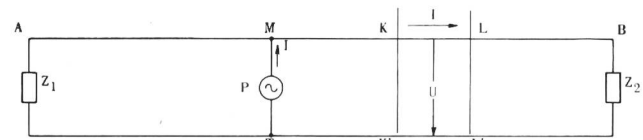


Fig. 1. Schéma équivalent d'une ligne haute tension alimentée par un perturbateur asymétrique.

Entre K et L, un tronçon quelconque de la ligne, la source fait circuler un courant  $I$  et crée une différence de potentiel  $U$  entre ligne et terre.

Dans le cas où la hauteur de la ligne au-dessus du sol et le tronçon K-L sont petits par rapport à la longueur d'onde correspondant à la fréquence de mesure, on peut évidemment écrire que la puissance HF  $W = I \cdot U \cdot \cos \varphi$ , expression où  $\varphi$  représente le décalage entre la tension  $U$  et le courant  $I$ . Selon que  $\cos \varphi$  est positif ou négatif, la propagation de l'énergie  $W$  se fera dans une certaine direction ou dans la direction opposée. Or, il est facile de déterminer le signe de  $\cos \varphi$ ; en effet, le signe du cos de l'angle formé par deux vecteurs est le même que celui de la différence entre les valeurs absolues de la somme et de la différence de ces vecteurs. Le sens de l'énergie parcourant la ligne sera donc donné par le signe de la différence

$$|\vec{U} + \vec{I}| - |\vec{U} - \vec{I}|$$

les vecteurs  $\vec{U}$  et  $\vec{I}$  étant respectivement proportion-