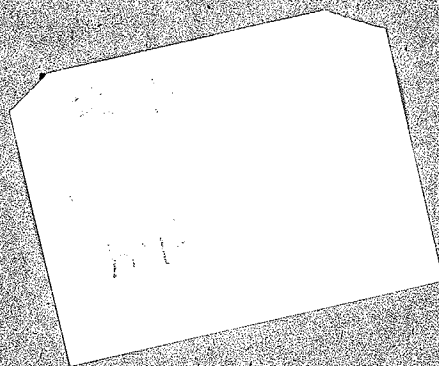
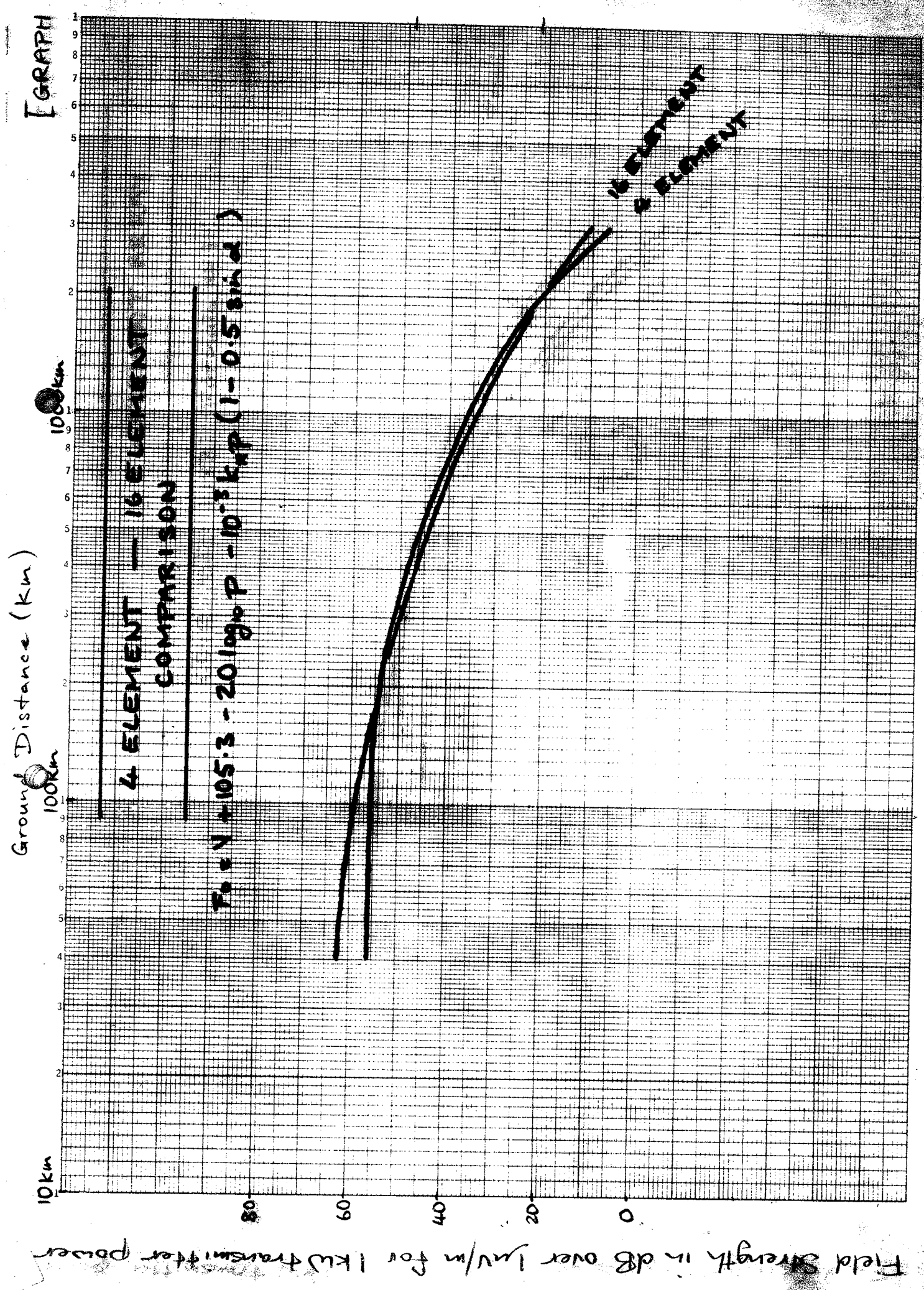
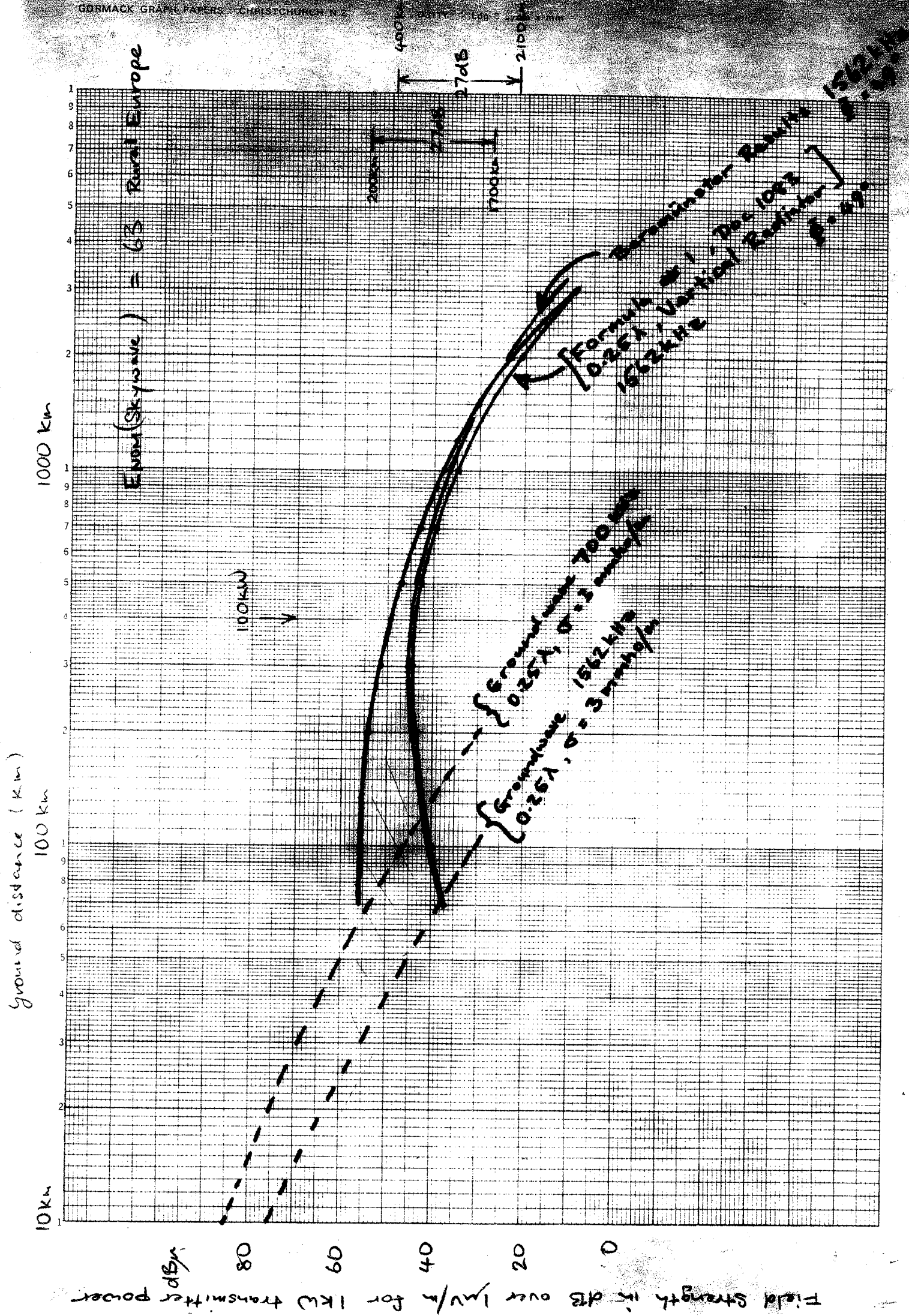


**European
Medium Frequency
AM Skywave
Field Intensity**







Frequency (kHz)	E _{min} (dBu)		
	Zone A	Zone B	Zone C
520 - 590	65	75	68
600 - 660	64	74	67
670 - 740	63	73	66
750 - 830	62	72	65
840 - 930	61	71	64
940 - 1060	60	70	63
1070 - 1220	59	69	62
1230 - 1420	58	68	61
1430 - 1600	57	67	60

$$E_{\text{nom}} = E_{\text{min}} + X$$

where $X = 11 \text{ dB}$ rural

17 dB urban

6 dB skywave service
(rural)

Mittelwellen-Steilstrahlung unter besonderer Berücksichtigung der Frequenz 1562 kHz

Le rayonnement vertical en ondes moyennes et particulièrement sur la fréquence de 1562 kHz

Walter EBERT, Bern

W.M. POWIS

621.371.332.11.029.53:621.396.97

27-6-75

Zusammenfassung. Nach grundsätzlichen Überlegungen zur ionosphärischen Übertragung wird untersucht, wie sich die Strahlungsverteilungen der gegen Erde erregten vertikalen Sendeantenne und der aus horizontalen Dipolen aufgebauten Steilstrahlantenne auf den am Empfangsort auftretenden Feldstärkemedianwert auswirken. Es werden die diesbezüglichen Rechenverfahren abgeleitet.

- Am konkreten Beispiel der Planposition 1562 kHz wird gezeigt, dass mit dem Steilstrahlbetrieb der Bedienungsradius gegenüber dem konventionellen Betrieb mit vertikaler Sendeantenne dank grösserer total abgestrahlter Leistung erheblich erweitert werden kann, ohne die Störfeldstärke in den Bedienungsbereichen der Sendernetze der Gleichkanalpartner zu erhöhen.

Résumé. Sur la base de considérations de principe au sujet de la propagation ionosphérique, l'étude ci-après traite de l'influence des radiations émises par une antenne excitée verticalement par rapport à la terre et une antenne à rayonnement vertical composée de dipôles placés horizontalement, sur les valeurs médianes de l'intensité de champ, à l'endroit de la réception. Il en est déduit une méthode de calcul appropriée.

Il est établi, d'après l'exemple concret du canal de 1562 kHz prévu par le plan de Copenhague, que l'exploitation à rayonnement vertical, grâce à l'utilisation d'une puissance totale rayonnée supérieure, permet d'augmenter l'étendue de la zone desservie comparativement à l'exploitation conventionnelle opérant avec une antenne excitée verticalement, sans qu'il en résulte une augmentation de l'intensité de champ perturbatrice dans les zones desservies par les réseaux d'émission utilisant le même canal.

Antenna ad irradiazione verticale per onde medie con particolare riguardo alla frequenza 1562 kHz

Riassunto. Dopo considerazioni di principio sulla trasmissione ionosferica si analizza il comportamento dell'intensità di campo media alla ricezione in funzione della distribuzione delle irradiazioni emesse da antenne verticali eccitate rispetto a terra e da antenne ad irradiazione verticale costituite da dipoli orizzontali. Si deducono i relativi procedimenti di calcolo.

Mediante l'esempio concreto sulla frequenza attribuita 1562 kHz si dimostra che, grazie alla potenza irradiata totale più elevata, il sistema ad irradiazione verticale permette la copertura di una zona notevolmente più vasta di quanto è possibile con il sistema tradizionale ad antenna verticale e questo senza aumentare l'intensità del campo perturbatore nelle regioni servite da trasmettenti operanti sullo stesso canale.

1. Problemstellung

Die heutige Situation im europäischen Mittelwellenbereich ist durch die drastische Überbelegung des verfügbaren Spektrums gekennzeichnet. Wegen der gegenseitigen Störungen sind in vielen Fällen die tatsächlichen Bedienungsbereiche auf einen Bruchteil ihrer im Plan von Kopenhagen vorgesehenen Ausdehnung zusammengeschrunpft. Während bei planmässigen «Exklusivfrequenzen» die Einbusse im Prinzip durch entsprechende Leistungserhöhung wenigstens teilweise wieder wettgemacht werden kann, ist das bei geteilten Kanälen mit Rücksicht auf die planbedingten Gleichkanalpartner nicht ohne weiteres möglich.

Von der Planungsseite her betrachtet, trifft man auf das gleiche Problem, wobei es hier im Blick auf den gewaltigen Frequenzbedarf darum geht, je verfügbaren Kanal möglichst viele Sender störungsfrei miteinander arbeiten zu lassen und den nächtlichen Versorgungsgrad der Gleichkanal-Sendernetze so hoch wie möglich zu treiben.

In beiden Fällen stellt sich die Frage, auf welche Art die nächtlichen Bedienungsradien von Gleichkanalsendern ohne Verminderung der Störabstände bei den Gleichkanalpartnern erweitert werden können.

Grundsätzlich könnte bei der konventionellen Betriebsart die Sendeleistung erhöht und die übliche vertikale Sendeantenne in ihrer Länge und ihrem Strombelag so dimensioniert werden, dass die Feldstärke der Bodenwelle maximal wird. Dieser Weg ist wegen den schutzberechtigten Gleichkanalpartnern nicht gangbar. Jede Erhöhung der in horizontaler Richtung und unter flachen Winkeln abgestrahlten

1. Les données du problème

La situation européenne dans le domaine des ondes moyennes est caractérisée par un encombrement anarchique de la partie du spectre qui leur est attribuée. Dans bien des cas, l'étendue des zones effectivement desservies ne représente plus qu'une partie de celle qui avait été prévue par le Plan de Copenhague, en raison de perturbations réciproques. Si les entorses faites au principe des «fréquences exclusives» prévues dans le Plan peuvent en partie être combattues par des augmentations de la puissance, par contre, dans les canaux partagés, par égard pour les partenaires auxquels le plan a attribué les mêmes fréquences, il n'est pas possible de recourir au même remède.

Du point de vue de la planification, on se trouve en face du même problème, c'est-à-dire qu'en considération du très grand besoin de fréquences, il faut que, dans chaque canal à disposition, le plus grand nombre possible de stations d'émission puissent travailler sans se gêner mutuellement et que, dans le régime nocturne de l'exploitation, la couverture radiophonique assurée par les réseaux d'émetteurs opérant dans le même canal soit la plus grande possible.

Dans les deux cas, il faut se demander de quelle manière le rayon de la couverture radiophonique nocturne d'émetteurs situés dans le même canal pourrait être étendu sans éviter une augmentation du niveau des perturbations.

En principe, il serait possible sous une forme d'exploitation conventionnelle d'augmenter la puissance et de donner aux antennes d'émission verticales habituelles une

Leistung erhöht gleichzeitig auch die in den Bedienungsbereichen der Gleichkanalsender wirksame Störfeldstärke.

Eine zweite Möglichkeit, den Bedienungsradius zu erweitern und damit den Versorgungsgrad nachts zu verbessern, besteht darin, die erforderliche minimale Nutzfeldstärke im Bedienungsbereich nicht mit der Bodenwelle, sondern ausschliesslich mit den an der Ionosphäre reflektierten Raumwellen zu erzeugen. Dies kann dadurch geschehen, dass der Hauptanteil der Strahlungsenergie nicht konventionell in horizontaler Richtung und unter flachen Winkeln abgestrahlt wird, sondern unter steilen Abstrahlwinkeln, senkrecht nach oben in Richtung Ionosphäre. Da dabei der Strahlungsanteil unter flachen Abstrahlwinkeln gering ist, kann die Sendeleistung beträchtlich erhöht werden, ohne die Gleichkanalpartner zusätzlich zu stören.

Diese Betriebsart stellt sowohl ausbreitungsmässige als auch antenntentechnische Probleme, die nachfolgend näher untersucht werden sollen. Obwohl die durchgeführten Überlegungen allgemeiner Art sind, soll als repräsentatives Beispiel die planbedingte Konstellation der Frequenz 1562 kHz herangezogen werden.

2. Grundsätzliche Überlegungen zur ionosphärischen Übertragung

Zur Betrachtung der ionosphärischen Übertragung seien vorerst einige besondere Gegebenheiten in Erinnerung gerufen.

Die sogenannte *kritische Frequenz* f_o ist die Frequenz einer senkrecht in die Ionosphärenschicht einfallenden Welle (Einfallswinkel $\Phi = 0^\circ$), für die gerade Totalreflexion eintritt.

Ist bei senkrechtem Einfall in die Ionosphärenschicht ($\Phi = 0^\circ$) die Betriebsfrequenz f_b kleiner als f_o , so wird die Welle von der Schicht reflektiert; ist dagegen f_b grösser als f_o , so durchdringt sie die entsprechende Schicht.

Massgebend für die Grösse von f_o ist die Elektronendichte der betreffenden Schicht.

Die lediglich am Tage bestehende D-Schicht ist sehr schwach ionisiert, so dass nur Langwellen reflektiert werden. Für Mittel- und Kurzwellen macht sie sich durch eine mehr oder weniger starke, im wesentlichen vom Sonnenstand abhängige Absorption bemerkbar.

Die normale E-Schicht folgt ziemlich genau dem Sonnenstand, das heisst dem Winkel zwischen Sonne und Zenit. Sie ist nur tagsüber ausgeprägt und hat ihr Dichtemaximum mittags in etwa 115 km Höhe. Tagsüber zwischen Sonnenauf- und -untergang variiert f_{oE} zwischen etwa 2 bis 4 MHz. In der Nacht erreicht f_{oE} einen Minimalwert von etwa 0,5 MHz im Sonnenfleckenmaximum und etwa 0,25 MHz im Sonnenfleckenminimum.

länge und eine excitation calculée de telle manière que l'intensité de champ de l'onde de sol atteigne son maximum. Il est impossible d'adopter cette solution à cause de la protection légale réciproque qui doit être assurée aux usagers qui partagent le même canal. Toute augmentation de la puissance rayonnée à l'horizontale et à un angle de faible ouverture a pour conséquence une augmentation de l'intensité du champ perturbateur dans les zones desservies par les émetteurs utilisant le même canal.

Il existe une deuxième possibilité d'élargir la zone desservie et d'améliorer la couverture radiophonique nocturne, elle consiste à produire l'intensité de champ utile minimale nécessaire à la zone desservie non au moyen de l'onde de sol mais exclusivement en recourant à l'onde d'espace réfléchie par l'ionosphère. Pour ce faire, il faut que la majeure partie de l'énergie rayonnée, au lieu d'être dirigée horizontalement et avec un angle de faible ouverture, soit dirigée selon un angle de rayonnement vertical se rapprochant de la perpendiculaire, en direction de l'ionosphère. Comme, dans ce cas, l'énergie rayonnée sous un angle de faible ouverture est minime, il est possible d'augmenter considérablement la puissance sans provoquer de perturbations supplémentaires aux partenaires qui utilisent le même canal.

Ce mode d'exploitation est lié à certains problèmes tant du point de vue de la propagation que de celui de la technique des antennes; ce sont ces problèmes qui font l'objet d'une étude approfondie dans cet article. Les considérations exposées ci-après sont de caractère général et les conditions d'exploitation de la fréquence de 1562 kHz, dans le cadre du plan de Copenhague, sont définies ici à titre d'exemple typique.

2. Considérations fondamentales concernant la propagation ionosphérique

Quand on considère la propagation ionosphérique, il importe avant tout de rappeler quelques-unes de ses particularités.

La *fréquence dite critique* f_o est celle d'une onde atteignant verticalement la couche ionosphérique (angle d'incidence $\Phi = 0^\circ$) avec une réflexion totale.

Dans ce rayonnement atteignant à la verticale la couche ionosphérique ($\Phi = 0^\circ$), si la fréquence utilisée f_b est plus petite que f_o , l'onde sera réfléchie par la couche; par contre, si f_b est plus grande que f_o , elle la traversera.

La valeur de f_o dépend de la densité des électrons de la couche en question.

La couche D qui n'existe que de jour est très faiblement ionisée et ne réfléchit que les ondes longues. Pour les ondes moyennes et courtes, son action se manifeste par

Die F-Schicht ist je nach Tages- und Jahreszeit, Sonnenfleckenzahl, geographischer Breite und Länge sehr verschieden. Sie ist sowohl tagsüber als auch nachts vorhanden, wobei die stärkste Ionisierung wenig nach Mittag, die schwächste kurz vor Sonnenaufgang auftritt. Tagsüber variiert f_{oF} etwa zwischen 5 und 15 MHz, nachts etwa zwischen 2 und 8 MHz.

Die Mittelwellenübertragung via Ionosphäre ist allgemein dadurch gekennzeichnet, dass tagsüber zwischen Sonnenauf- und -untergang die abgestrahlten Raumwellen wegen der hohen Dämpfung beim zweimaligen Durchqueren der D-Schicht praktisch kaum in Erscheinung treten. Nachts hingegen werden wegen der Abwesenheit der D-Schicht die abgestrahlten Raumwellen für ionosphärische Übertragung voll wirksam.

f_{oE} beträgt bei Sonnenuntergang in mittleren geographischen Breiten während des ganzen Sonnenfleckenzyklus etwa 1,5 MHz, sinkt dann aber nach Sonnenuntergang wegen der Rekombination verhältnismässig rasch ab. Die aus [1] entnommene Figur 1 zeigt den Verlauf von f_{oE} in Funktion der Zeit nach Sonnenuntergang für mittlere Ionosphärenbedingungen. Die mittlere scheinbare Reflexionshöhe beträgt etwa 110 km.

Bei der F-Schicht genügt für Mittelwellen die in etwa 250 km Höhe vorhandene Elektronendichte zur Totalreflexion, während das Dichtemaximum in etwas grösserer Höhe anzutreffen ist. Da die Betriebsfrequenzen sämtlicher Mittelwellenkanäle dauernd kleiner als f_{oF} sind, werden die

eine absorption plus ou moins forte, influencée principalement par la position du soleil.

La couche normale E subit assez exactement l'influence de la position du soleil, c'est-à-dire celle de l'inclinaison du soleil par rapport au zénith. Elle n'est marquée que de jour et elle atteint son maximum de densité à midi à environ 115 km d'altitude. De jour, entre le lever et le coucher du soleil, f_{oE} atteint une valeur minimale d'environ 0,5 MHz durant les périodes d'activité maximale des taches solaires et d'environ 0,25 MHz durant celles d'activité minimale des taches solaires.

La couche F diffère beaucoup selon les heures du jour, les saisons, l'activité solaire, la latitude et la longitude. Elle apparaît aussi bien de jour que de nuit; sa ionisation la plus forte se produit un peu après midi et sa ionisation la plus faible un peu après le lever du soleil. De jour, f_{oF} se situe environ entre 5 et 15 MHz et de nuit environ entre 2 et 8 MHz.

La propagation des ondes moyennes par réflexion ionosphérique est caractérisée, en général, par le fait que de jour, entre le lever et le coucher du soleil, l'onde d'espace rayonnée est pratiquement annihilée en raison du haut degré d'absorption qui résulte d'une double traversée de la couche D. De nuit, au contraire, du fait de l'absence de la couche D, les ondes d'espace rayonnées sont d'une entière efficacité grâce au parti que l'on peut tirer de la réflexion ionosphérique.

Aux latitudes moyennes, au coucher du soleil, pendant tout le cycle des taches solaires, f_{oE} se situe à environ 1,5 MHz mais après le coucher du soleil en raison d'une recombinaison, cette valeur baisse rapidement. La figure 1, tirée de [1], montre le comportement de f_{oE} en fonction du temps, après le coucher du soleil, pour des conditions ionosphériques moyennes. La hauteur moyenne du point de réflexion semble se situer à environ 110 km.

La densité des électrons que l'on rencontre à l'altitude d'environ 250 km dans la couche F est suffisante pour assurer une réflexion totale des ondes moyennes, cependant que le maximum de cette densité est situé à une altitude quelque peu supérieure. Comme les fréquences d'exploitation de tous les canaux d'ondes moyennes sont continuellement inférieures à f_{oF} , les ondes moyennes, même si elles attaquent verticalement la couche F, sont toujours réfléchies, en tant qu'elles parviennent à traverser la couche E.

Comme, durant la nuit, f_{oE} tombe de 1,5 MHz au-dessous de 0,5 MHz, toutes les fréquences des ondes moyennes – au moins une partie du temps –, lorsqu'elles attaquent la couche E verticalement ou perpendiculairement, la traversent et, pour elles, une réflexion par la couche F est possible.

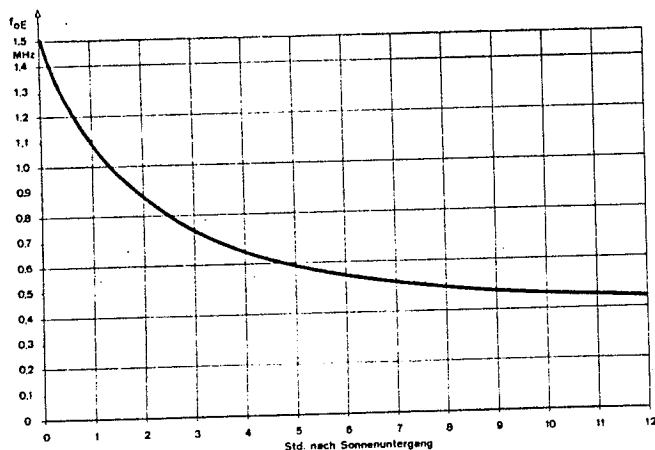


Fig. 1

Verlauf der kritischen Frequenz für senkrechten Einfall in die E-Schicht bei mittleren Ionosphärenbedingungen in mittleren geographischen Breiten. Die Kurve gilt von Sonnenuntergang bis etwa drei Stunden vor Sonnenaufgang

Evolution de la fréquence critique pour une incidence à la verticale sur la couche E dans des conditions ionosphériques moyennes, à une latitude moyenne. La courbe est valable depuis le coucher du soleil jusqu'à environ trois heures avant le lever du soleil

... die F-Schicht überhaupt zu durchdringen vermögen.

Weil f_{oE} im Verlaufe der Nacht von 1,5 MHz auf unter 0,5 MHz absinkt, ist für alle Mittelwellenfrequenzen – zumindest zeitweise – bei senkrechtem oder wenigstens steilem Einfall in die E-Schicht die Durchdringung derselben und damit F-Reflexion möglich.

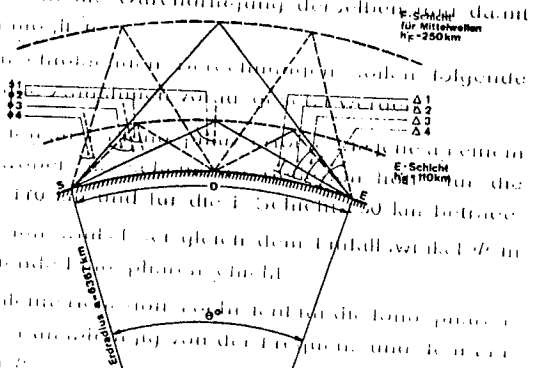


Fig. 2
Strahlengeometrie der ionosphärischen Übertragungswege für eine gegebene Grosskreisdistanz D.
Géométrie du rayonnement des voies de transmission ionosphériques pour une distance de grand cercle donnée D.

Mittelwellen auch bei senkrechtem Einfall in die F-Schicht immer reflektiert, sofern sie die E-Schicht überhaupt zu durchdringen vermögen.

Für die nachfolgenden Berechnungen sollen folgende vereinfachende Annahmen vorausgesetzt werden:

- Die Reflexion an der Ionosphäre erfolge wie jene an einem Spiegel, wobei die scheinbare Reflexionshöhe für die E-Schicht 110 km und für die F-Schicht 250 km betrage.
- Der Reflexionswinkel sei gleich dem Einfallswinkel Φ in die betreffende Ionosphärenschicht.
- Der äquivalente Reflexionskoeffizient für die Ionosphärenreflexion sei unabhängig von der Frequenz und dem Einfallswinkel Φ .
- Abgesehen von den Reflexionsverlusten sei die Raumwellen-Feldstärke umgekehrt proportional dem effektiv zurückgelegten Weg D' von der Sendeantenne zur Ionosphäre und zurück zum Empfangsort auf der Erde.

Für eine gegebene Grosskreis-Übertragungsdistanz D sollen die vier, wenigstens aus der Strahlengeometrie heraus möglichen Übertragungswege der Figur 2 näher untersucht werden. Der Winkel im Erdmittelpunkt zwischen den durch den Sendort S und den Empfangsort E gehenden Erdradien ist Θ . Der mittlere Erdradius a ist 6367 km. Der Winkel Θ und die Übertragungsdistanz D hängen wie folgt zusammen:

$$\Theta^\circ = D \cdot \frac{360^\circ}{2 \cdot a \cdot \pi} \quad (1)$$

de propagation D donnée, dans un grand rayon, sur le dessin géométrique du rayonnement de la figure 2. L'angle au centre de la terre, entre les rayons terrestres passant au point d'émission S et au point de réception E, est désigné par Θ . La longueur moyenne du rayon terrestre a est de 6367 km. Entre l'angle Θ et la distance de propagation D existe le rapport suivant:

Dans les calculs qui suivent, admettons les quelques simplifications ci-après:

- La réflexion par l'ionosphère se comporte comme celle d'un miroir, l'altitude apparente du point de réflexion étant estimée à 110 km pour la couche E et à 250 km pour la couche F.
- L'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence Φ pour les couches ionosphériques en question.
- Le coefficient équivalent de réflexion ionosphérique est indépendant de la fréquence et de l'angle d'incidence Φ .
- Abstraction faite des pertes dues à la réflexion, l'intensité de champ de l'onde d'espace est inversement proportionnelle au trajet D' effectivement parcouru de l'antenne émettrice à l'ionosphère et du point de réflexion au point de réception situé au sol.

Examinons de plus près quatre des trajets de propagation qui peuvent dans tous les cas être envisagés pour une distance de propagation D donnée, dans un grand rayon, sur le dessin géométrique du rayonnement de la figure 2. L'angle au centre de la terre, entre les rayons terrestres passant au point d'émission S et au point de réception E, est désigné par Θ . La longueur moyenne du rayon terrestre a est de 6367 km. Entre l'angle Θ et la distance de propagation D existe le rapport suivant:

$$\Theta^\circ = D \cdot \frac{360^\circ}{2 \cdot a \cdot \pi} \quad (1)$$

Le premier trajet de propagation comporte un bond E de propagation (1E) avec un angle d'incidence Φ_1 sur la couche E de l'ionosphère. Le deuxième trajet de propagation comporte deux bonds E de propagation (2E) avec un angle d'incidence Φ_2 sur la couche E et réflexion par la terre au milieu du trajet. Le troisième trajet comporte un bond F et le quatrième 2 bonds F de propagation (1F ou 2F) avec dans le premier cas un angle d'incidence Φ_3 et dans le second un angle d'incidence Φ_4 sur la couche E de l'ionosphère.

Pour une distance de propagation donnée D, les quatre angles d'incidence sur la couche E peuvent être calculés de la manière suivante

$$\Phi_1 = \arctg \frac{\sin\left(\frac{\Theta}{2}\right)}{1 + \frac{h'_E}{a} - \cos\left(\frac{\Theta}{2}\right)} \quad (2a)$$

$$\Phi_2 = \arctg \frac{\sin\left(\frac{\Theta}{4}\right)}{1 + \frac{h'_E}{a} - \cos\left(\frac{\Theta}{4}\right)} \quad (2b)$$

Der erste Übertragungsweg entspricht einer 1-Sprung-E-Übertragung (1E) mit dem Einfallswinkel Φ_1 in die E-Schicht der Ionosphäre. Der zweite Weg ist eine 2-Sprung-E-Übertragung (2E) mit Einfallswinkel Φ_2 in die E-Schicht und Reflexion am Erdboden im Streckenmittelpunkt. Der dritte und vierte Weg ist eine 1-Sprung-F-, beziehungsweise 2-Sprung-F-Übertragung (1F oder 2F) mit Einfallswinkeln Φ_3 , beziehungsweise Φ_4 in die E-Schicht der Ionosphäre.

Für eine gegebene Übertragungsdistanz D lassen sich die vier Einfallswinkel in die E-Schicht folgendermassen berechnen:

$$\Phi_1 = \arctg \frac{\sin\left(\frac{\Theta}{2}\right)}{1 + \frac{h'_E}{a} - \cos\left(\frac{\Theta}{2}\right)} \quad (2a)$$

$$\Phi_2 = \arctg \frac{\sin\left(\frac{\Theta}{4}\right)}{1 + \frac{h'_E}{a} - \cos\left(\frac{\Theta}{4}\right)} \quad (2b)$$

$$\Phi_3 = \arctg \frac{\sin\left(\frac{\Theta}{2}\right)}{1 + \frac{h'_F}{a} - \cos\left(\frac{\Theta}{2}\right)} \quad (2c)$$

$$\Phi_4 = \arctg \frac{\sin\left(\frac{\Theta}{4}\right)}{1 + \frac{h'_F}{a} - \cos\left(\frac{\Theta}{4}\right)} \quad (2d)$$

Bei geneigtem Einfall in die E-Schicht ($\Phi > 0^\circ$) wird die Betriebsfrequenz kritisch, wenn

$$f_B = \frac{f_{0E}}{\cos \Phi} \quad (3)$$

Je grösser also Φ , desto höher die kritische Betriebsfrequenz.

Kritische Betriebsfrequenz f_B und Übertragungsdistanz D sind durch die Gleichungen (1)...(3) miteinander verknüpft. Berechnet man das Verhältnis aus der kritischen Betriebsfrequenz f_B zur kritischen Frequenz bei senkrechtem Einfall in die E-Schicht in Funktion der Übertragungsdistanz für die vier in Figur 2 eingezeichneten Übertragungsarten, so ergibt sich Figur 3.

Nimmt man als Beispiel an, dass für einen gegebenen Zeitpunkt nach Sonnenuntergang die Betriebsfrequenz f_B gerade doppelt so gross wie die für senkrechten Einfall in die E-Schicht kritische Frequenz f_{0E} sei, das heisst $f_B = 2 \cdot f_{0E}$, so ergeben sich aus Figur 3 für die verschiedenen Übertragungsdistanzen folgende Verhältnisse:

Für die Übertragungsdistanz 390 km wird der der 1E-Übertragung entsprechende Einfallswinkel Φ_1 kritisch, das

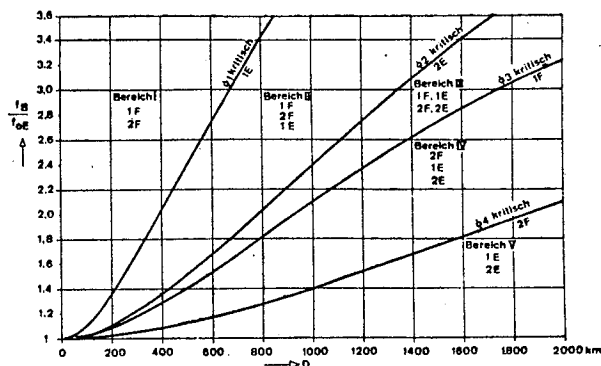


Fig. 3

Die von der Übertragungsdistanz und dem Verhältnis der Betriebsfrequenz zur kritischen Frequenz bei senkrechtem Einfall in die E-Schicht abhängigen Übertragungsbereiche

Zones de transmission dépendant de la distance de la transmission et du rapport entre la fréquence d'exploitation et la fréquence critique en cas d'incidence à la verticale dans la couche E

$$\Phi_3 = \arctg \frac{\sin\left(\frac{\Theta}{2}\right)}{1 + \frac{h'_F}{a} - \cos\left(\frac{\Theta}{2}\right)} \quad (2c)$$

$$\Phi_4 = \arctg \frac{\sin\left(\frac{\Theta}{4}\right)}{1 + \frac{h'_F}{a} - \cos\left(\frac{\Theta}{4}\right)} \quad (2d)$$

Lorsque la couche E est attaquée avec une inclinaison ($\Phi > 0^\circ$), la fréquence critique d'exploitation interviendra si

$$f_B = \frac{f_{0E}}{\cos \Phi} \quad (3)$$

C'est-à-dire que plus Φ sera grand et plus la fréquence critique d'exploitation sera élevée.

La fréquence critique d'exploitation f_B et la distance de propagation D sont associées par les équations (1)...(3). Si l'on calcule le rapport entre la fréquence critique d'exploitation f_B et la fréquence critique pour une attaque perpendiculaire de la couche E, en fonction de la distance de propagation pour les quatre formes de propagation de la figure 2, on obtient la figure 3.

En prenant pour exemple que, pour un moment donné, après le coucher du soleil, la fréquence d'exploitation f_B est exactement deux fois aussi grande que la fréquence critique f_{0E} correspondant à une attaque perpendiculaire de la couche E, c'est-à-dire $f_B = 2 \cdot f_{0E}$, on obtient au moyen de la figure 3 pour les différentes distances de propagation les conditions suivantes:

Pour la distance de propagation de 390 km, l'angle d'incidence Φ , correspondant à la propagation 1E devient critique,

Wenn also, wie im gewählten Beispiel, zu einem bestimmten Zeitpunkt $f_B = 2f_{0E}$ ist, so sind Übertragungsdistanzmässig die in der *Tabelle 1* angegebenen Bereiche mit unterschiedlichen Übertragungsmöglichkeiten zu unterscheiden.

Tableau 1

Bereich Zone	Distanzbereich étendue de la zone	Übertragungsmöglichkeit possibilités de transmission			
		1E	2E	1F	2F
I	0...390 km			x	x
II	390...780 km	x		x	x
III	780...930 km	x	x	x	x
IV	930...1860 km	x	x		x
V	> 1860 km	x	x		

La figure 4 montre le rapport f_B/f_{0E} en fonction du temps après le coucher du soleil pour différentes fréquences d'exploitation, en particulier également pour la fréquence 562 kHz. Le rapport appliqué dans l'exemple mentionné, $f_B/f_{0E} = 2$ atteint pour 562 kHz environ 2,6 heures après le

Je nach der Grösse Betriebsfrequenz f_B ist selbstverständlich der Variationsbereich von f_B/f_{oE} verschieden und damit für eine gegebene Zeit nach Sonnenuntergang die Distanzbereiche, in denen die Übertragungskombinationen der Bereiche I...V möglich sind.

Figur 4 enthält das Verhältnis f_B/f_{oE} in Funktion der Zeit nach Sonnenuntergang für verschiedene Betriebsfrequenzen; besonders auch für die Frequenz 1562 kHz. Das im erwähnten Beispiel verwendete Verhältnis $f_B/f_{oE} = 2$ wird für 1562 kHz etwa 2,6 Stunden nach Sonnenuntergang, für 1000 kHz aber erst etwa 7,5 Stunden nach Sonnenuntergang erreicht.

Aus den Figuren 3 und 4 lassen sich für jede der angegebenen Betriebsfrequenzen die Distanzbereiche I...V in Funktion der Zeit nach Sonnenuntergang ermitteln.

Die an einem bestimmten Empfangsort auftretende Feldstärke setzt sich aus den einzelnen Raumwellen-Komponenten zusammen, die den verschiedenen gleichzeitig möglichen Übertragungsarten entsprechen. Je nach der Zeit nach Sonnenuntergang liegt die in Frage stehende Übertragungsdistanz in einem der Übertragungsbereiche I...V. Die Gesamtfeldstärke kann demnach zwei, drei oder vier Raumwellenkomponenten enthalten.

Zur Berechnung der einzelnen Komponenten ist neben der effektiven Weglänge D' die Kenntnis des entsprechenden Einfallswinkels Φ in die E-Schicht, beziehungsweise des vertikalen Abstrahlwinkels Δ erforderlich. Während die effektive Weglänge D' im wesentlichen massgebend für die Ausbreitungsdämpfung ist, bringt der vertikale Abstrahlwinkel die Strahlungseigenschaften der Sendeantenne mit ins Spiel.

Unter Bezugnahme auf Figur 2 und die Gleichungen (1) und (2) wird für die 1-Sprung-Übertragung:

$$D' = 2 \cdot \sqrt{2 \cdot a \cdot (a + h') \cdot \left[1 - \cos\left(\frac{\Theta}{2}\right)\right] + h'^2} \quad (4)$$

$$\Delta = \arccos \left[\frac{D'^2 - 4 \cdot h' \cdot (h' + 2 \cdot a)}{4 \cdot a \cdot D'} \right] - 90^\circ \quad (5)$$

Für die 2-Sprung-Übertragung wird:

$$D' = 4 \cdot \sqrt{2 \cdot a \cdot (a + h') \cdot \left[1 - \cos\left(\frac{\Theta}{4}\right)\right] + h'^2} \quad (6)$$

$$\Delta = \arccos \left[\frac{D'^2 - 16 \cdot h' \cdot (h' + 2 \cdot a)}{8 \cdot a \cdot D'} \right] - 90^\circ \quad (7)$$

Der Zusammenhang mit der Grosskreis-Übertragungsdistanz D ist mit Gleichung (1) über den Winkel Θ gegeben. Für h' ist, je nachdem ob Reflexion an der E- oder F-Schicht stattfindet, 110 km oder 250 km einzusetzen.

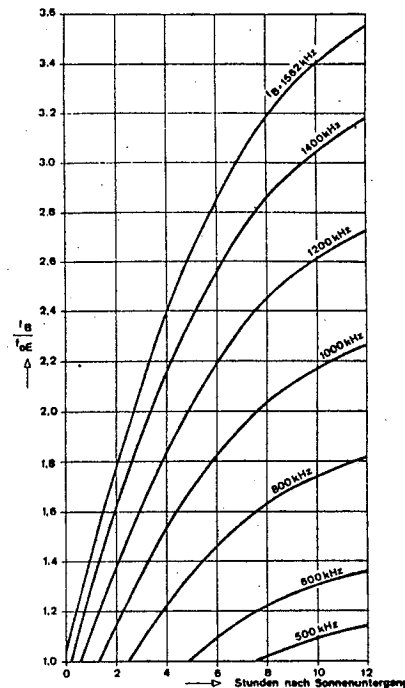


Fig. 4
Abhängigkeit des Verhältnisses f_B zu f_{oE} von der Zeit nach Sonnenuntergang
Rapport f_B/f_{oE} en fonction du temps écoulé après le coucher du soleil

coucher du soleil et pour 1000 kHz seulement environ 7,5 heures après le coucher du soleil.

Les figures 3 et 4 permettent de déterminer l'étendue des distances I...V en fonction du temps après le coucher du soleil pour toutes les fréquences d'exploitation données.

Les intensités de champ mesurables à un point de réception déterminé se composent des composantes de toutes les ondes d'espace correspondant aux différentes formes de propagation intervenant simultanément. Suivant le moment, après le coucher du soleil, la distance de propagation entrant en considération se situe dans un des domaines I...V. La valeur de l'intensité de champ peut être par conséquent l'addition de deux, trois ou quatre composantes de l'onde d'espace.

Pour calculer la valeur de chaque composante, il faut tenir compte de la longueur effective du trajet D' et connaître l'angle d'incidence Φ sur la couche E correspondante, c'est-à-dire l'angle de rayonnement vertical Δ . La longueur effective du trajet D' est déterminante en ce qui concerne l'affaiblissement de la propagation, mais l'angle de rayonnement vertical fait entrer en jeu les caractéristiques de l'antenne émettrice.

Die für eine bestimmte Übertragungsart im fernen Empfangspunkt *homogen und ungedämpft* auftretende Feldstärke ist

$$E'' = \frac{60 \cdot I_b}{D'} \cdot L_{(\Delta, \varphi)} \quad [\text{V/m}] \quad (8)$$

I_b = Strom im wirklichen oder fiktiven Strombauch der Sendeantenne in A

D' = effektive Länge des Ausbreitungsweges in m

$L_{(\Delta, \varphi)}$ = Richtcharakteristik oder Strahlungsverteilung der Sendeantenne

φ = Azimut (Winkel zwischen einer durch den Antennenfußpunkt gehenden vertikalen Bezugsebene und der den Übertragungsweg enthaltenden Vertikalebene)

Andererseits ist

$$I_b = \sqrt{\frac{P_o}{R_b}} \quad (9)$$

P_o = gesamte abgestrahlte Leistung in W

R_b = Strahlungswiderstand im wirklichen oder fiktiven Strombauch

Rechnet man P_o in kW und D' in km, so wird

$$E'' = k \cdot \frac{\sqrt{P_o \text{ (kW)}}}{D' \text{ (km)}} \cdot L_{(\Delta, \varphi)} \quad [\text{mV/m}] \quad (10)$$

$$\text{wobei } k = \frac{60 \cdot \sqrt{1000}}{\sqrt{R_b}} \quad (10a)$$

Der nach der Reflexion in der Ionosphäre *ungedämpft* am Empfangsort einfallende Medianwert der Raumwellenfeldstärke, wie er mit einer linear polarisierten Empfangsantenne gemessen werden kann, ist

$$E' = \delta_1 \cdot \delta_2 \cdot E'' \quad (11)$$

Dabei ist δ_1 ein durch Interferenzfading und δ_2 ein durch Polarisationsfading bedingter Reduktionsfaktor.

$$\delta_1 = 0,832$$

$$\delta_2 = 0,707$$

Der nach Reflexion in der Ionosphäre am Empfangsort *tatsächlich einfallende Medianwert* der Raumwellenfeldstärke ist bei einmaliger Reflexion:

$$E = \delta_R \cdot E' \quad (12)$$

und bei zweimaliger Ionosphärenreflexion mit dazwischengender Reflexion am Erdboden:

$$E = \delta_R^2 \cdot \delta_B \cdot E' \quad (13)$$

Dabei sind:

δ_R = Dämpfungsfaktor für Ionosphärenreflexion (δ_{RE} bei Reflexion in der E-Schicht, beziehungsweise δ_{RF} bei Reflexion in der F-Schicht)

δ_B = Dämpfungsfaktor für Reflexion am Erdboden.

En nous référant à la figure 2 et aux équations (1) et (2), la propagation à un bond sera

$$D' = 2 \cdot \sqrt{2 \cdot a \cdot (a + h') \cdot \left[1 - \cos \left(\frac{\Theta}{2} \right) \right] + h'^2} \quad (4)$$

$$\Delta = \arccos \left[\frac{D'^2 - 4 \cdot h' \cdot (h' + 2 \cdot a)}{4 \cdot a \cdot D'} \right] - 90^\circ \quad (5)$$

Pour la propagation à deux bonds, nous aurons

$$D' = 4 \cdot \sqrt{2 \cdot a \cdot (a + h') \cdot \left[1 - \cos \left(\frac{\Theta}{4} \right) \right] + h'^2} \quad (6)$$

$$\Delta = \arccos \left[\frac{D'^2 - 16 \cdot h' \cdot (h' + 2 \cdot a)}{8 \cdot a \cdot D'} \right] - 90^\circ \quad (7)$$

Le rapport avec la distance de propagation D dans un grand cercle est donné par l'équation (1) appliquée à l'angle Θ . Pour h' , on devra utiliser 110 km ou respectivement 250 km, selon la réflexion, sur la couche E ou sur la couche F.

L'intensité de champ *homogène et non atténuée* entrant en ligne de compte au point éloigné de la réception pour une forme de propagation donnée sera calculée comme il suit

$$E'' = \frac{60 \cdot I_b}{D'} \cdot L_{(\Delta, \varphi)} \quad [\text{V/m}] \quad (8)$$

I_b = intensité au ventre de courant réel ou fictif de l'antenne d'émission en A

D' = longueur effective du trajet de propagation en m

$L_{(\Delta, \varphi)}$ = caractéristique directionnelle ou répartition du rayonnement de l'antenne d'émission

φ = azimut (angle formé entre un plan vertical de référence passant par le pied de l'antenne et le plan vertical contenant le trajet de propagation).

D'autre part, on a

$$I_b = \sqrt{\frac{P_o}{R_b}} \quad (9)$$

P_o = puissance rayonnée au total en W

R_b = résistance de rayonnement au ventre de courant réel ou fictif.

Si l'on calcule P_o en kW et D' en km on aura

$$E'' = k \cdot \frac{\sqrt{P_o \text{ (kW)}}}{D' \text{ (km)}} \cdot L_{(\Delta, \varphi)} \quad [\text{mV/m}] \quad (10)$$

$$\text{et } k = \frac{60 \cdot \sqrt{1000}}{\sqrt{R_b}} \quad (10a)$$

La valeur médiane de l'intensité de champ de l'onde d'espace non atténuée au point de réception, après la réflexion dans l'ionosphère, telle qu'elle peut être mesurée avec une antenne de réception polarisée linéairement, sera

Unter der vereinfachenden Annahme, dass die nach der ersten Ionosphärenreflexion am Erdboden reflektierte Welle im wesentlichen horizontal polarisiert sei, gilt:

$$\delta_B = \frac{\sqrt{|\epsilon'| - \cos^2 \Delta} - \sin \Delta}{\sqrt{|\epsilon'| - \cos^2 \Delta} + \sin \Delta} \quad (14)$$

Falls $|\epsilon'| \gg 1$, ist

$$\delta_B \cong \frac{\sqrt{|\epsilon'|} - \sin \Delta}{\sqrt{|\epsilon'|} + \sin \Delta} \quad (15)$$

$$\epsilon' = \epsilon - j \cdot 6 \cdot \sigma \cdot \lambda_m \cdot 10^{12}$$

Wenn die Bodenreflexion an trockenem Erdboden erfolgt, wird mit $\sigma = 1 \cdot 10^{-14}$ emu, $\epsilon = 10$ und $\lambda = 192,06$ m (1562 kHz) $|\epsilon'| = 16$ und damit aus (15)

$$\delta_B \cong \frac{4 - \sin \Delta}{4 + \sin \Delta} \quad (16)$$

Zur Abschätzung der Grösse von δ_R wurde folgendermassen verfahren:

Einige Stunden nach Sonnenuntergang geschieht bei der Frequenz 1562 kHz und sehr steiler Abstrahlung die Reflexion mit Sicherheit nur in der F-Schicht, wobei die 1-Sprung-F-Übertragung dominiert. Für eine Steilstrahl-Sendeantenne und $P_0 = 145$ kW ergibt sich in einer Grosskreisdistanz $D = 100$ km nach (10) und (11) ein ungedämpft einfallender Feldstärkemedianwert von 6,309 mV/m beziehungsweise 76 dB über 1 μ V/m (dB μ), wenn die Reflexionshöhe mit 250 km angenommen wird. Mit der gleichen Steilstrahlantenne und derselben abgestrahlten Gesamtleistung wurde in angenähert der gleichen Übertragungsdistanz ein mittlerer Feldstärkemedianwert von 70 dB μ gemessen. Die Reflexionsdämpfung in der F-Schicht (einschliesslich Absorption in der E-Schicht) beträgt demnach rund 6 dB, das heisst $\delta_{RF} \cong 0,5$.

Der Einfachheit halber soll angenommen werden, dass δ_{RF} für alle in Betracht kommenden Einfallswinkel konstant bleibe.

Für eine Grosskreisdistanz $D = 1000$ km ist mit der Frequenz 1562 kHz von kurz nach Sonnenuntergang an mit Sicherheit mit E-Reflexion zu rechnen, wobei hier bei Verwendung einer vertikalen $0,625 \cdot \lambda$ -Sendeantenne die 1E-Übertragung dominiert. Nach den UER-Ausbreitungskurven (CCIR Rapport Nr. 264) ergibt sich für den vorliegenden Fall mit $P_0 = 5$ kW ein Feldstärkemedianwert von 48 dB μ . Ohne Reflexionsdämpfung wird aber mit (10) und (11) für die gleiche Sendantenne und die gleiche Leistung ein Wert von 54 dB μ erhalten. Die Reflexionsdämpfung in der E-Schicht dürfte demnach rund 6 dB betragen; δ_{RE} ist also ebenfalls ungefähr 0,5.

Der Einfachheit halber soll hier ferner angenommen werden, dass δ_{RE} für alle in Betracht kommenden Einfallswinkel praktisch konstant bleibe.

$$E' = \delta_1 \cdot \delta_2 \cdot E'' \quad (11)$$

δ_1 ist ein Faktor der Reduktion abhängig von der Wirkung der Interferenz und δ_2 ein Faktor der Reduktion beeinflusst durch das Fading der Polarisation.

$$\delta_1 = 0,832$$

$$\delta_2 = 0,707$$

Der Wert der effektiven Intensität des Feldes der Welle im Raum am Punkt der Empfangsstation nach Reflexion durch die Ionosphäre, für eine einzige Reflexion, ist die folgende

$$E = \delta_R \cdot E' \quad (12)$$

und für zwei Reflexionen in der Ionosphäre mit einer Reflexion auf dem Boden:

$$E = \delta_R^2 \cdot \delta_B \cdot E' \quad (13)$$

In dieser Gleichung

δ_R = Faktor der Dämpfung durch die Reflexion durch die Ionosphäre (δ_{RE} für die Reflexion durch die Schicht E und δ_{RF} für die Reflexion durch die Schicht F)

δ_B = Faktor der Dämpfung durch die Reflexion durch die Erdoberfläche.

Wenn man annimmt, dass die Welle, die durch die Erdoberfläche reflektiert wird, nach der ersten Reflexion durch die Ionosphäre im wesentlichen horizontal polarisiert ist, dann gilt

$$\delta_B = \frac{\sqrt{|\epsilon'| - \cos^2 \Delta} - \sin \Delta}{\sqrt{|\epsilon'| - \cos^2 \Delta} + \sin \Delta} \quad (14)$$

Und im Fall $|\epsilon'| \gg 1$

$$\delta_B \cong \frac{\sqrt{|\epsilon'|} - \sin \Delta}{\sqrt{|\epsilon'|} + \sin \Delta} \quad (15)$$

$$\epsilon' = \epsilon - j \cdot 6 \cdot \sigma \cdot \lambda_m \cdot 10^{12}$$

Wenn die Reflexion auf dem Boden durch einen trockenen Boden erfolgt, dann mit $\sigma = 1 \cdot 10^{-14}$ emu, $\epsilon = 10$ und $\lambda = 192,06$ m (1562 kHz) $|\epsilon'| = 16$ und nach (15)

$$\delta_B \cong \frac{4 - \sin \Delta}{4 + \sin \Delta} \quad (16)$$

Für die Schätzung des Wertes von δ_R wurde folgendermassen verfahren:

Für die Frequenz 1562 kHz, einige Stunden nach Sonnenuntergang, ist das Strahlungsfeld sehr steil, die Reflexion tritt sicher in der F-Schicht auf, wobei die 1-Sprung-F-Übertragung dominiert. Für eine Steilstrahl-Sendeantenne und $P_0 = 145$ kW ergibt sich in einer Grosskreisdistanz $D = 100$ km nach (10) und (11) ein ungedämpft einfallender Feldstärkemedianwert von 6,309 mV/m beziehungsweise 76 dB über 1 μ V/m (dB μ), wenn die Reflexionshöhe mit 250 km angenommen wird. Mit der gleichen Steilstrahlantenne und derselben abgestrahlten Gesamtleistung wurde in angenähert der gleichen Übertragungsdistanz ein mittlerer Feldstärkemedianwert von 70 dB μ gemessen. Die Reflexionsdämpfung in der F-Schicht (einschliesslich Absorption in der E-Schicht) beträgt demnach rund 6 dB, das heisst $\delta_{RF} \cong 0,5$.

Mit den Werten $\delta_1 = 0,832$, $\delta_2 = 0,707$, $\delta_{RE} = \delta_{RF} = \delta_R = 0,5$ wird unter Verwendung der Formeln (10)...(13) der Feldstärkemedianwert für die 1E- und 1F-Übertragung:

$$E = 0,294 \cdot k \cdot \frac{\sqrt{P_0} \text{ (kW)}}{D' \text{ (km)}} \cdot L_{(\Delta, \varphi)} \text{ [mV/m]} \quad (17)$$

und für die 2E- beziehungsweise 2F-Übertragung:

$$E = 0,147 \cdot \delta_B \cdot k \cdot \frac{\sqrt{P_0} \text{ (kW)}}{D' \text{ (km)}} \cdot L_{(\Delta, \varphi)} \text{ [mV/m]} \quad (18)$$

Die Gleichungen (17) und (18) gelten im Rahmen unserer Voraussetzungen streng genommen nur für die Frequenz 1562 kHz. Da die Dämpfungsverhältnisse sich sowohl bei der Ionosphären- als auch bei der Bodenreflexion wohl kaum wesentlich mit der Frequenz ändern, können die Beziehungen (17) und (18) mit genügender Genauigkeit zumindest für den oberen Bereich des Mittelwellenspektrums verwendet werden.

3. Der Einfluss der Sendeantenne

In den Beziehungen (17) und (18) kommt der Einfluss der Sendeantenne durch den Faktor k und die Strahlungsverteilung $L_{(\Delta, \varphi)}$ zum Ausdruck. Nach (10a) hängt k nur vom Strahlungswiderstand im wirklichen oder fiktiven Strombauch der Sendeantenne ab.

Als *Antennengewinn* G ist das Verhältnis aus der maximalen Strahlungsintensität der betrachteten Antenne zur maximalen Strahlungsintensität der Bezugsantenne gleicher Leistung definiert.

Die Strahlungsintensität in einer bestimmten Richtung ist proportional dem Quadrat der Feldstärke an einem beliebigen Empfangsort in dieser Richtung.

Als Bezugsantenne wird – besonders bei der Darstellung von Mittelwellen-Ausbreitungskurven – gerne die kurze, gegen Erde erregte Vertikalantenne auf ∞ leitendem Boden gewählt. Der auf diese Antenne bezogene Antennengewinn wird mit G_v bezeichnet.

Die von der kurzen Vertikalantenne in der Hauptstrahlungsrichtung, das heisst in der Richtung maximaler Strahlungsintensität erzeugte Feldstärke ist:

$$E_{0\max} = 300 \cdot \frac{\sqrt{P_0} \text{ (kW)}}{D' \text{ (km)}} \text{ mV/m}$$

Für eine beliebige Antenne ist mit (10) die Feldstärke in der Hauptstrahlungsrichtung

$$E''_{\max} = k \cdot \frac{\sqrt{P_0} \text{ (kW)}}{D' \text{ (km)}} \cdot L_{\max}$$

Definitionsgemäss ist daher

$$G_v = \frac{E''_{\max}^2}{E_{0\max}^2} = \left(\frac{k \cdot L_{\max}}{300} \right)^2 \quad (19)$$

même antenne à rayonnement vertical et la même puissance totale rayonnée, à peu près à la même distance de propagation, on a mesuré une moyenne de la valeur médiane de l'intensité de champ de 70 dB μ . L'atténuation par la réflexion sur la couche F (y compris l'absorption par la couche E) est par conséquent de 6 dB, cela signifie que $\delta_{RF} \cong 0,5$.

Pour simplifier, supposons que δ_{RF} demeure constant pour tous les angles d'incidence entrant en considération.

Avec la fréquence de 1562 kHz, dans un cercle situé à $D = 1000$ km, aussitôt après le coucher du soleil, on peut compter avec certitude sur la réflexion par la couche E et lorsqu'on a recours à une antenne d'émission verticale 0,625 λ , la propagation 1E domine. D'après les courbes de propagation de l'UER (Rapport CCIR no 264), on obtient dans le cas entrant en considération avec $P_0 = 5$ kW, une valeur médiane de l'intensité de champ de 48 dB μ . Pour la même antenne d'émission et la même puissance, on obtient avec (10) et (11), sans atténuation par la réflexion, une valeur de 54 dB μ . L'atténuation résultant de la réflexion par la couche E devrait être de 6 dB; δ_{RE} est par conséquent également environ 0,5.

Pour simplifier, admettons aussi dans ce cas que δ_{RE} demeure pratiquement constant pour tous les angles d'incidence entrant en considération.

Avec les valeurs $\delta_1 = 0,832$, $\delta_2 = 0,707$, $\delta_{RE} = \delta_{RF} = \delta_R = 0,5$ en appliquant les formules (10)...(13) la valeur médiane de l'intensité de champ pour les transmissions 1E et 1F se traduit par

$$E = 0,294 \cdot k \cdot \frac{\sqrt{P_0} \text{ (kW)}}{D' \text{ (km)}} \cdot L_{(\Delta, \varphi)} \text{ [mV/m]} \quad (17)$$

et pour les transmissions 2E et 2F:

$$E = 0,147 \cdot \delta_B \cdot k \cdot \frac{\sqrt{P_0} \text{ (kW)}}{D' \text{ (km)}} \cdot L_{(\Delta, \varphi)} \text{ [mV/m]} \quad (18)$$

Dans le cadre rigoureusement défini de nos suppositions, les équations (17) et (18) ne s'appliquent qu'à la fréquence de 1562 kHz. Comme le degré d'atténuation ne change pas de façon très sensible avec un changement de fréquence, aussi bien dans le cas de la réflexion ionosphérique que dans celui de la réflexion terrestre, les rapports contenus dans (17) et (18) garantissent une exactitude suffisante, au moins pour la partie supérieure du spectre des fréquences moyennes.

3. Influence de l'antenne d'émission

Dans les formules (17) et (18), l'influence de l'antenne d'émission est exprimée par le facteur k et la répartition du rayonnement $L(\Delta, \varphi)$. Selon (10a), k dépend de la résistance de rayonnement au ventre de courant réel ou fictif de l'antenne d'émission.

Für $P_0 = 1 \text{ kW}$ und $D' = 1 \text{ km}$ wird

$$E_{0\max} (1 \text{ kW}, 1 \text{ km}) = 300 \text{ mV/m}$$

und

$$E''_{\max} (1 \text{ kW}, 1 \text{ km}) = k \cdot L_{\max} \quad \text{mV/m} \quad (20)$$

Für die gegen Erde erregte Vertikalantenne der Länge l über ∞ leitendem Boden ist die Strahlungsverteilung

$$L(\Delta) = \frac{\cos\left(360^\circ \cdot \frac{l}{\lambda} \cdot \sin \Delta\right) - \cos\left(360^\circ \cdot \frac{l}{\lambda}\right)}{\cos \Delta} \quad (21)$$

und bei sinusförmiger Stromverteilung der Strahlungswiderstand im Strombauch:

$$R_b = 60 \cdot \int_0^{90^\circ} L^2(\Delta) \cdot \cos \Delta \cdot d\Delta \quad (22)$$

Da die Strahlungsverteilung vom Azimut φ unabhängig ist, sind Vertikalantennen sogenannte Rundstrahler.

Für die im Mittelwellenbereich üblichen Vertikalantennen mit Längen unter etwa $0,7 \cdot \lambda$ tritt das Strahlungsmaximum bei $\Delta = 0^\circ$, also in der Horizontalebene ein.

Die Gleichung (22) wird sehr oft durch graphische Integration gelöst.

Antennen mit Strahlungsmaximum in der Vertikalen, sogenannte *Steilstrahlantennen*, lassen sich mit horizontalen Strahlungselementen aufbauen. Am zweckmässigsten sind es gleichphasig gespeiste horizontale Dipolgruppen, die in einer bestimmten Höhe über einem gut reflektierenden Erdnetz ausgespannt werden. Solche Antennen wurden bis heute lediglich für den Kurzwellenrundspruch in den tropischen Zonen eingesetzt.

Gemäss [2] gilt für die Strahlungsverteilung einer solchen Steilstrahlantenne:

$$L(\Delta, \varphi) = \frac{\sin(n \cdot 90^\circ \cdot M) \cdot \sin(n \cdot 90^\circ \cdot N) \cdot \cos(90^\circ \cdot M) \cdot \sin\left(360^\circ \cdot \frac{h}{\lambda} \cdot \sin \Delta\right)}{\sin(90^\circ \cdot M) \cdot \sin(90^\circ \cdot N) \cdot \sqrt{1 - M^2}} \quad (23)$$

wobei $M = \cos \Delta \cdot \sin \varphi$

$N = \cos \Delta \cdot \cos \varphi$

n = Zahl der $\lambda/2$ -Dipole je Reihe und gleichzeitig Zahl der im Abstand von $0,5 \cdot \lambda$ nebeneinander liegender Reihen.

h = Höhe der Antennenebene über dem Erdboden.

Je grösser n , desto stärker wird die Strahlungsenergie nach oben gebündelt. Andererseits ist aber n im Mittelwellenbereich durch die Gesamtabmessung in horizontaler Richtung, das heisst durch das verfügbare ebene Antennengelände begrenzt. Ein vernünftiger Kompromiss zwischen vertikaler Bündelung und horizontaler Abmessung liegt bei $n = 2$, das heisst bei einer aus zwei $\lambda/2$ -Dipolen je

Le gain de l'antenne G est défini par le rapport entre l'intensité maximale de rayonnement de l'antenne entrant en considération et l'intensité maximale de rayonnement de l'antenne de référence à la même puissance.

L'intensité du rayonnement dans une direction donnée est proportionnelle au carré de l'intensité de champ mesurée à un point quelconque de réception situé dans cette direction.

Pour l'établissement des courbes de propagation des ondes moyennes en particulier, on adopte de préférence comme antenne de référence une antenne verticale courte excitée par rapport à la terre, sur un sol conducteur ∞ . Le gain obtenu par rapport à cette antenne de référence est désigné par G_v .

L'intensité de champ produite par l'antenne verticale courte dans la principale direction du rayonnement, c'est-à-dire dans la direction du maximum d'intensité du rayonnement, s'exprime ainsi:

$$E_{0\max} = 300 \cdot \frac{\sqrt{P_0} \text{ (kW)}}{D' \text{ (km)}} \quad \text{mV/m}$$

Pour n'importe quelle antenne, l'intensité de champ dans la principale direction du rayonnement sera selon (10):

$$E''_{\max} = k \cdot \frac{\sqrt{P_0} \text{ (kW)}}{D' \text{ (km)}} \cdot L_{\max}$$

Par définition, on obtient

$$G_v = \frac{E''_{\max}^2}{E_{0\max}^2} = \left(\frac{k \cdot L_{\max}}{300} \right)^2 \quad (19)$$

Si $P_0 = 1 \text{ kW}$ et $D' = 1 \text{ km}$, on aura

$$E_{0\max} (1 \text{ kW}, 1 \text{ km}) = 300 \text{ mV/m}$$

et

$$E''_{\max} (1 \text{ kW}, 1 \text{ km}) = k \cdot L_{\max} \quad [\text{mV/m}] \quad (20)$$

Pour l'antenne verticale excitée par rapport à la terre de longueur l , sur sol conducteur ∞ , la répartition du rayonnement sera

$$L(\Delta) = \frac{\cos\left(360^\circ \cdot \frac{l}{\lambda} \cdot \sin \Delta\right) - \cos\left(360^\circ \cdot \frac{l}{\lambda}\right)}{\cos \Delta} \quad (21)$$

et pour une répartition sinusoïdale du courant la résistance de rayonnement au ventre de courant sera

$$R_b = 60 \cdot \int_0^{90^\circ} L^2(\Delta) \cdot \cos \Delta \cdot d\Delta \quad (22)$$

Comme la répartition du rayonnement est indépendante de l'azimut φ , les antennes verticales sont des antennes omnidirectionnelles.

Pour les antennes verticales habituelles utilisées en ondes moyennes, d'une longueur inférieure à environ $0,7 \lambda$,

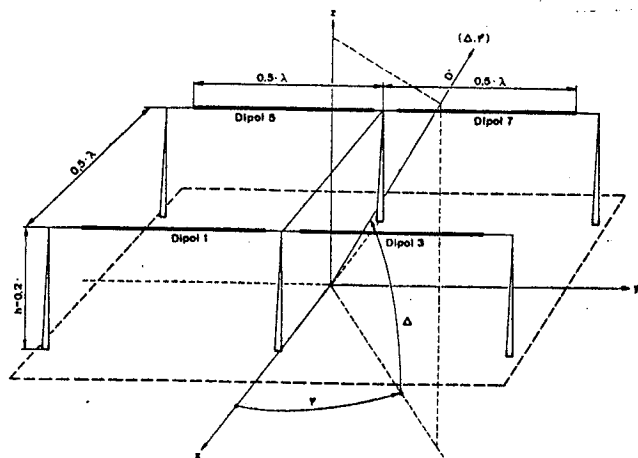


Fig. 5
Räumliche Anordnung der die Steilstrahlantenne bildenden Dipole. Definition der räumlichen Koordinaten
Disposition dans l'espace des dipôles composant l'antenne à rayonnement vertical. Définition des coordonnées dans l'espace

Reihe in zwei Reihen angeordneten Antenne. Als optimale Höhe der Antennenebene über Boden in Bezug auf die Strahlungsintensität im Strahlungsmaximum erweist sich $0,2\lambda$.

Die räumliche Anordnung der Steilstrahlantenne ($n = 2$) ist aus Figur 5 ersichtlich. Die durch den Antennenfußpunkt gehende vertikale Bezugsebene ist so gelegt, dass sie senkrecht zu den Dipolachsen zu liegen kommt. Die x-y-Ebene ist Horizontalebene auf der Erdoberfläche. Die z-Achse fällt mit der Vertikalen durch den Antennenfußpunkt zusammen. Die Einzelstrahler sind so numeriert, dass den wirklichen Dipolen ungerade Zahlen, den in gleichem Abstand unter der Erdoberfläche liegenden fiktiven Spiegelbildern aber die nächstfolgenden geraden Zahlen zugeordnet sind.

Mit $n = 2$ wird aus (23) die Strahlungsverteilung der in Figur 5 dargestellten Steilstrahlantenne

$$L(\Delta, \varphi) = \frac{\sin(180^\circ \cdot M) \cdot \sin(180^\circ \cdot N) \cdot \cos(90^\circ \cdot M) \cdot \sin(72^\circ \cdot \sin \Delta)}{\sin(90^\circ \cdot M) \cdot \sin(90^\circ \cdot N) \cdot \sqrt{1 - M^2}} \quad (24)$$

Für $\Delta = 90^\circ$ wird L maximal

Bezeichnet man mit R_{11} den Eigenwiderstand im Strombauch von Dipol 1 und mit R_{1x} den Kopplungswiderstand von Dipol x im Strombauch von Dipol 1, so wird der auf den Strombauch von Dipol 1 bezogene Strahlungswiderstand der Steilstrahlantenne

(25)

$$R_b = 2 \cdot [R_{11} + R_{13} + R_{15} + R_{17} - (R_{12} + R_{14} + R_{16} + R_{18})]$$

Dabei wird

$R_{11} = 73,1 \text{ Ohm}$	$R_{13} = -12,5 \text{ Ohm}$
$R_{12} = 6,5 \text{ Ohm}$	$R_{16} = -25 \text{ Ohm}$

le maximum de rayonnement peut être constaté à $\Delta = 0^\circ$, c'est-à-dire dans le plan horizontal.

L'équation (22) est souvent résolue sous une forme graphique.

Les antennes dont le rayonnement maximale est à la verticale, autrement dit les antennes à rayonnement perpendiculaire, peuvent être construites à l'aide d'éléments horizontaux de rayonnement.

Les plus appropriés sont des groupes de dipôles horizontaux alimentés en phase, déployés à une certaine hauteur au-dessus d'un réseau terrestre réfléchissant bien. Les antennes de ce genre n'ont été utilisées jusqu'ici que pour la radiodiffusion sur ondes courtes de la zone tropicale.

Selon (2), la répartition du rayonnement d'une telle antenne à rayonnement vertical est exprimée par

$$L(\Delta, \varphi) = \frac{\sin(n \cdot 90^\circ \cdot M) \cdot \sin(n \cdot 90^\circ \cdot N) \cdot \cos(90^\circ \cdot M) \cdot \sin\left(360^\circ \cdot \frac{h}{\lambda} \cdot \sin \Delta\right)}{\sin(90^\circ \cdot M) \cdot \sin(90^\circ \cdot N) \cdot \sqrt{1 - M^2}} \quad (23)$$

où $M = \cos \Delta \cdot \sin \varphi$

$N = \cos \Delta \cdot \cos \varphi$

n = nombre des $\lambda/2$ -dipôles par rang et simultanément nombre des rangs situés à des intervalles de $0,5\lambda$

h = hauteur du plan de l'antenne au-dessus de la surface terrestre.

Plus n sera grand et plus l'énergie de rayonnement sera fortement concentrée vers le haut. D'autre part cependant, n , dans la bande des ondes moyennes, sera limité par la dimension totale orientée en direction horizontale, c'est-à-dire par l'étendue plane à disposition de l'antenne. On obtient un compromis raisonnable entre la formation en faisceau verticale et les dimensions horizontales en adoptant $n = 2$, c'est-à-dire avec une antenne se composant de deux $\lambda/2$ -dipôles par rang, disposés en deux rangs. La hauteur optimale du plan de l'antenne au-dessus du sol, par rapport à l'intensité du rayonnement dans le maximum de rayonnement, sera de $0,2\lambda$.

On voit dans la figure 5 la disposition de l'antenne verticale ($n = 2$). Le plan de référence vertical passant par le pied de l'antenne est placé de façon telle qu'il relie perpendiculairement les axes de dipôles. Le plan x-y est un plan horizontal à la surface de la terre. L'axe z rencontre la verticale au pied de l'antenne. Chaque élément rayonnant est numéroté de telle façon que des nombres impairs sont attribués aux véritables dipôles et les nombres pairs suivants aux réflecteurs fictifs situés à intervalles semblables au-dessus de la surface de la terre.

Si $n = 2$, selon (23) la répartition du rayonnement de l'antenne à rayonnement vertical représentée dans la figure 5 sera

$$\begin{aligned} R_{13} &= 26,4 \text{ Ohm} & R_{17} &= -11,7 \text{ Ohm} \\ R_{14} &= -3,2 \text{ Ohm} & R_{18} &= -13,8 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Mit (25) wird $R_b = 221,6 \text{ Ohm}$

In *Tabelle II* sind die interessierenden Konstanten der gebräuchlichsten Vertikalantennen und der Steilstrahlantenne zusammengestellt.

Tabelle II

Tableau II

Antenne	(22) (25) R_b Ohm	(10a) k	(20) $L_{\max}$	(19) $E''_{\max}$ (1 kW, 1 km) mV/m	G_V
Kurze Vertikalantenne (Bezugsantenne) Courte antenne verticale (antenne de référence)	40	300	1	300	1
0,25- λ -Vertikalantenne 0,25- λ -antenne verticale	36,6	314	1	314	1,095
0,5- λ -Vertikalantenne 0,5- λ -antenne verticale	99,6	190	2	380	1,604
0,625- λ -Vertikalantenne 0,625- λ -antenne verticale	52,85	261	1,707	445	2,20
Steilstrahlantenne ($n = 2$) Antenne à rayonnement vertical ($n = 2$)	221,6	127	3,804	483	2,59

Das Verhältnis der Feldstärke in einem beliebigen Raumpunkt zur Feldstärke in einem in gleicher Entfernung im Strahlungsmaximum liegenden Empfangspunkt nennt man die *normierte Strahlungsverteilung*.

$$\frac{E''}{E''_{\max}} = \frac{k \cdot \frac{\sqrt{P_0} \text{ (kW)}}{D' \text{ (km)}} \cdot L(\Delta, \varphi)}{k \cdot \frac{\sqrt{P_0} \text{ (kW)}}{D' \text{ (km)}} \cdot L_{\max}} = \frac{L(\Delta, \varphi)}{L_{\max}} \quad (26)$$

Die in dB ausgedrückte normierte Strahlungsverteilung ist

$$A(\Delta, \varphi) = 20 \cdot \log \frac{L(\Delta, \varphi)}{L_{\max}} \quad (27)$$

In *Figur 6* sind die normierten Strahlungsverteilungen in einer beliebigen, durch den Antennenfußpunkt gehenden Vertikalebene von drei der gebräuchlichsten vertikalen Sendeantennen dargestellt, und zwar für eine $\lambda/4$ -, eine $\lambda/2$ - und eine $0,625\lambda$ -Antenne.

Figur 7 zeigt die normierte Strahlungsverteilung der Steilstrahlantenne in drei verschiedenen durch den Antennenmittelpunkt gehenden Vertikalebenen, und zwar in einer Vertikalebene senkrecht zu den Dipolachsen ($\varphi = 0^\circ$

$$L(\Delta, \varphi) = \frac{\sin(180^\circ \cdot M) \cdot \sin(180^\circ \cdot N) \cdot \cos(90^\circ \cdot M) \cdot \sin(72^\circ \cdot \sin \Delta)}{\sin(90^\circ \cdot M) \cdot \sin(90^\circ \cdot N) \cdot \sqrt{1 - M^2}} \quad (24)$$

Lorsque $\Delta = 90^\circ$, L sera au maximum.

Si l'on désigne par R_{11} la résistance réelle propre du dipôle 1 au ventre de courant et par R_{1x} la résistance couplée du dipôle x au ventre de courant du dipôle 1, la résistance de rayonnement résultante en ce point du dipôle 1 de l'antenne à rayonnement vertical sera

$$R_b = 2 \cdot [R_{11} + R_{13} + R_{15} + R_{17} - (R_{12} + R_{14} + R_{16} + R_{18})] \quad (25)$$

Par suite, avec les valeurs suivantes

$$\begin{aligned} R_{11} &= 73,1 \text{ ohm} & R_{15} &= -12,5 \text{ ohm} \\ R_{12} &= 6,5 \text{ ohm} & R_{16} &= -25 \text{ ohm} \\ R_{13} &= 26,4 \text{ ohm} & R_{17} &= -11,7 \text{ ohm} \\ R_{14} &= -3,2 \text{ ohm} & R_{18} &= -13,8 \text{ ohm} \end{aligned}$$

R_b Selon (25) = 221,6 ohm

Dans le *tableau II* sont récapitulées les constantes se rapportant aux antennes verticales les plus courantes et aux antennes à rayonnement vertical.

Le rapport entre l'intensité du champ en un point quelconque de l'espace et l'intensité de champ maximale à un point de réception situé à la même distance est désigné par l'expression: *répartition normalisée du rayonnement*.

$$\frac{E''}{E''_{\max}} = \frac{k \cdot \frac{\sqrt{P_0} \text{ (kW)}}{D' \text{ (km)}} \cdot L(\Delta, \varphi)}{k \cdot \frac{\sqrt{P_0} \text{ (kW)}}{D' \text{ (km)}} \cdot L_{\max}} = \frac{L(\Delta, \varphi)}{L_{\max}} \quad (26)$$

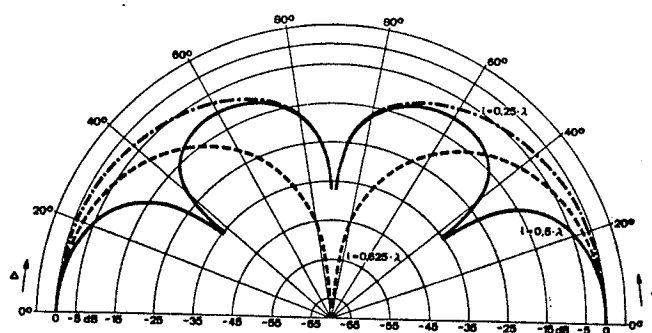


Fig. 6

Normierte Strahlungsverteilung in einer beliebigen, durch den Antennenfußpunkt gehenden Vertikalebene für die gegen Erde erregte Vertikalantenne über ∞ leitendem Boden. Antennenlängen $0,25\lambda$, $0,5\lambda$ und $0,625\lambda$.

Répartition normalisée du rayonnement dans n'importe quel plan vertical passant par la base de l'antenne, pour une antenne verticale excitée par rapport à la terre, sur un sol conducteur ∞ ; longueurs de l'antenne $0,25\lambda$, $0,5\lambda$ et $0,625\lambda$.

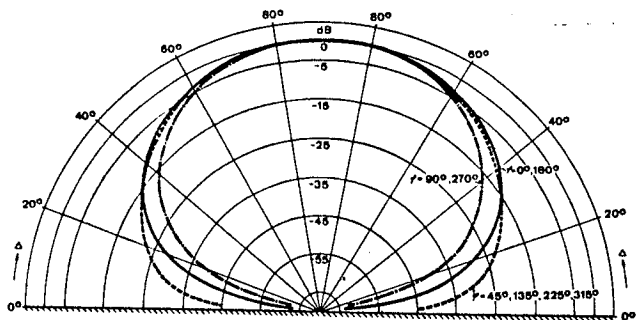


Fig. 7

Normierte Strahlungsverteilung der Steilstrahlantenne in durch den Antennenmittelpunkt gehender Vertikalebene mit dem Antennenazimut $\varphi = 0^\circ, 45^\circ$ und 90°

Répartition normalisée du rayonnement de l'antenne à rayonnement vertical dans un plan vertical passant par le milieu de l'antenne, avec un azimut de l'antenne $\varphi = 0^\circ, 45^\circ$ et 90°

bzw. 180°), in einer Vertikalebene parallel zu den Dipolachsen ($\varphi = 90^\circ$ bzw. 270°) und in Vertikalebenen, die die Dipolachsen unter 45° bzw. 225° oder 135° bzw. 315° schneiden.

In Figur 8 ist die normierte Strahlungsverteilung der Steilstrahlantenne auf Kegelflächen dargestellt, wobei die Kegelspitze im Antennenmittelpunkt und die Kegelachse senkrecht zur Erdoberfläche stehend gedacht sind. Die Neigung der Kegelmantelfläche entspricht den konstanten Abstrahlwinkeln Δ .

Es ist ersichtlich, dass für Abstrahlwinkel über 20° die Steilstrahlantenne praktisch Rundstrahleigenschaften aufweist, die sich umso besser dem idealen Rundstrahlendiagramm anpassen, je grösser der Abstrahlwinkel Δ wird. Für Abstrahlwinkel unter 20° zeigt die Steilstrahlantenne Richteeigenschaften, die mit fallendem Δ ausgeprägter werden. Die Strahlungsdiagramme sind in bezug auf die $\varphi = 0^\circ$ - und $\varphi = 90^\circ$ -Achsen symmetrisch mit gleich grossen Maxima in $\varphi \approx 40^\circ, 140^\circ, 220^\circ$ und 320° ; die Minima liegen bei $\varphi = 90^\circ$ bzw. 270° ; weniger stark ausgeprägte Minima bei $\varphi = 0^\circ$ bzw. 180° .

Der am Empfangsort auftretende Feldstärkemedianwert jeder möglichen Übertragungsart in Funktion der Grosskreis-Übertragungsdistanz kann unter Verwendung der Gleichungen (1), (4)...(7), (17), (18), (21) und (22) für die in Frage stehenden Sendeantennen berechnet werden. Die entsprechenden Ergebnisse sind für eine total abgestrahlte Leistung von $P_0 = 1 \text{ kW}$ in den Figuren 9...14 dargestellt.

Welche der vier gezeigten Übertragungsarten gleichzeitig möglich sind, hängt von der Zeit nach Sonnenuntergang und der Übertragungsdistanz D ab. Die eingezeichneten Übertragungsbereiche I...V und die bei den Vertikalantennen in Erscheinung tretende Bodenwelle gelten für

La répartition normalisée du rayonnement exprimée en dB sera:

$$A(\Delta, \varphi) = 20 \cdot \log \frac{L(\Delta, \varphi)}{L_{\max}} \quad (27)$$

Dans la figure 6 sont représentées les répartitions normalisées du rayonnement dans un plan vertical quelconque passant par le pied de l'antenne pour trois des antennes verticales les plus courantes, c'est-à-dire pour les antennes $\lambda/4$ -, $\lambda/2$ - et $0,625 \cdot \lambda$ -.

La figure 7 montre la répartition normalisée du rayonnement de l'antenne à rayonnement vertical dans trois plans verticaux passant par le milieu de l'antenne, c'est-à-dire dans un plan vertical perpendiculaire à l'axe des dipôles ($\varphi = 0^\circ$ et 180°), dans un plan vertical parallèle à l'axe des dipôles ($\varphi = 90^\circ$ et 270°) et dans un plan vertical coupant les axes des dipôles à 45° et 225° ou 135° et 315° .

Dans la figure 8, la répartition normalisée du rayonnement de l'antenne à rayonnement vertical est représentée sur des surfaces coniques, le sommet du cône passant par le point central de l'antenne et l'axe du cône étant supposé perpendiculaire à la surface de la terre. L'inclinaison de la surface circulaire du cône correspond à l'angle constant du rayonnement Δ .

On constate que, pour un angle de rayonnement plus grand que 20° , l'antenne à rayonnement vertical présente

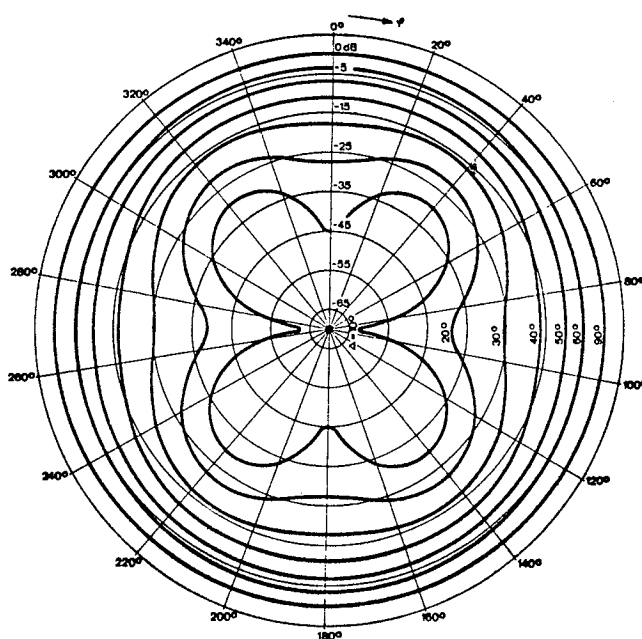


Fig. 8

Normierte Strahlungsverteilung der Steilstrahlantenne in Funktion des Antennenazimutes φ für konstante vertikale Abstrahlwinkel Δ
Répartition normalisée du rayonnement de l'antenne à rayonnement vertical en fonction de son azimut φ pour un angle de rayonnement vertical constant Δ

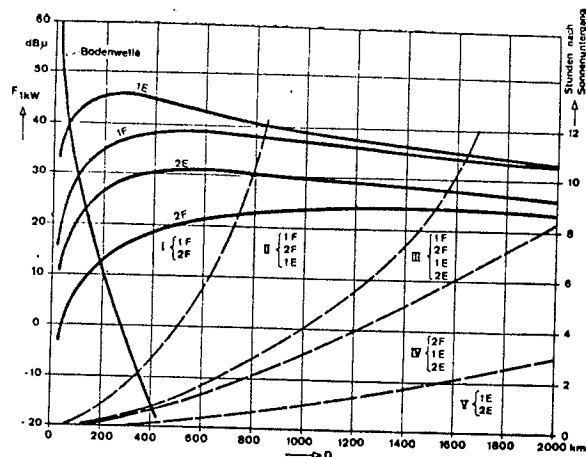


Fig. 9
0,25.λ-Vertikalantenne
0,25.λ-antenne verticale

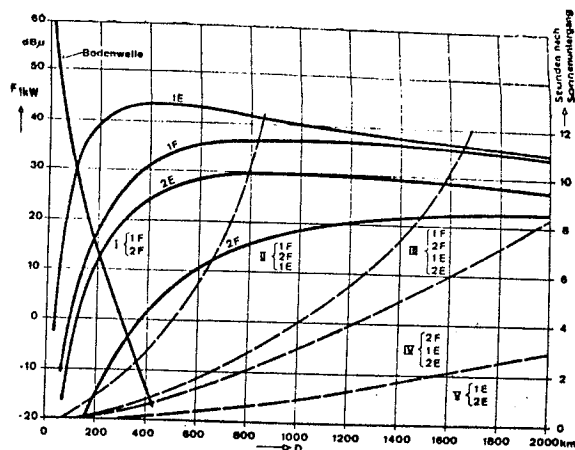


Fig. 10
0,5.λ-Vertikalantenne
0,5.λ-antenne verticale

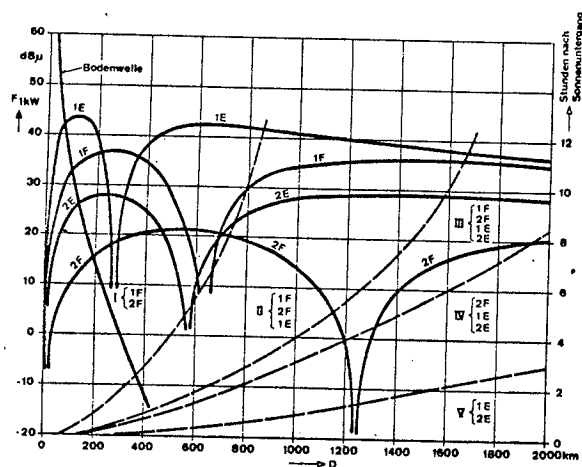


Fig. 11
0,625.λ-Vertikalantenne
0,625.λ-antenne verticale

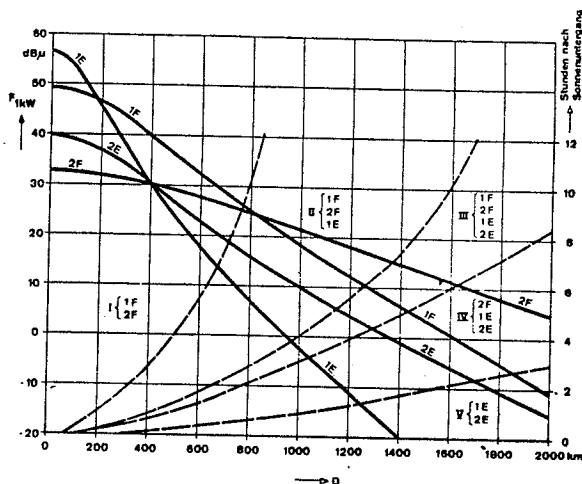


Fig. 12
Antennenazimut $\varphi = 0^\circ$ und 180°
Azimut de l'antenne $\varphi = 0^\circ$ et 180°

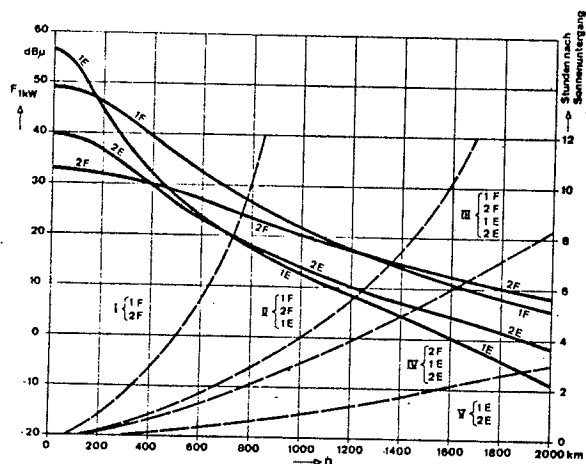


Fig. 13
Antennenazimut $\varphi = 45^\circ, 135^\circ, 225^\circ$ und 315°
Azimut de l'antenne $\varphi = 45^\circ, 135^\circ, 225^\circ$ et 315°

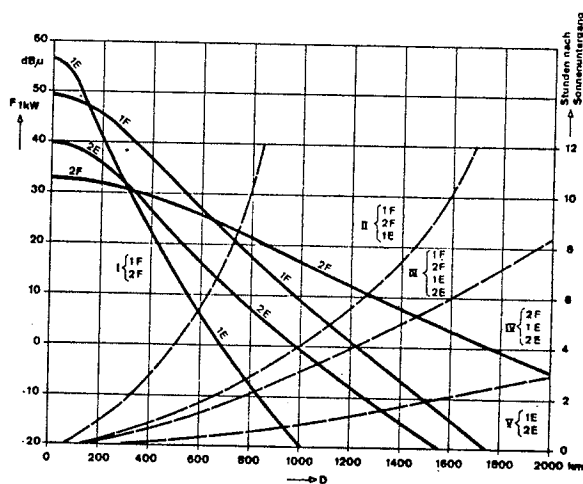


Fig. 14
Antennenazimut $\varphi = 90^\circ$ und 270°
Azimut de l'antenne $\lambda = 90^\circ$ et 270°

Fig. 9...11
Feldstärkemedianwerte der vier möglichen Raumwellen-Komponenten und der Bodenwelle
 $f_b = 1562 \text{ kHz}$; $P_o = 1 \text{ kW}$
Valeurs médianes de l'intensité de champ des quatre composantes possibles de l'onde d'espace et de l'onde de sol
 $f_b = 1562 \text{ kHz}$; $P_o = 1 \text{ kW}$

Fig. 12...14
Feldstärkemedianwerte der vier möglichen Raumwellen-Komponenten. Steilstrahlantenne; $f_b = 1562 \text{ kHz}$; $P_o = 1 \text{ kW}$
Valeurs médianes de l'intensité de champ des quatre composantes possibles de l'onde d'espace. Antenne à rayonnement vertical:
 $f_b = 1562 \text{ kHz}$; $P_o = 1 \text{ kW}$

die Frequenz 1562 kHz. Die Grösse der Bodenwelle wurde anhand des Avis Nr. 368 CCIR berechnet ($\sigma = 3 \cdot 10^{-3}$ mho/m; $\epsilon = 4$).

Betrachtet man beispielsweise die Übertragungsdistanz $D = 1000$ km, so ist ersichtlich, dass dieser Empfangsort von Sonnenuntergang an bis etwa 1 Stunde danach im Übertragungsbereich V liegt, das heisst es sind hier nur die 1E- und die 2E-Übertragung möglich. Von 1 bis 3 Stunden nach Sonnenuntergang liegt jedoch der gleiche Empfangsort im Übertragungsbereich IV, das heisst hier kommt zu den 1E- und 2E-Übertragungen noch die 2F-Übertragung dazu. 3 bis 4 Stunden nach Sonnenuntergang liegt der fragliche Empfangsort im Bereich III, in dem alle vier Übertragungsarten gleichzeitig möglich sind. Später als 4 Stunden nach Sonnenuntergang ist die Distanz $D = 1000$ km im Übertragungsbereich II, in welchem die 2E-Übertragung fehlt.

Je nach Übertragungsbereich setzt sich die am Empfangsort wirksame Gesamtfeldstärke aus 2 bis 5 Einzelkomponenten zusammen, die den Feldstärkemedianwerten der gleichzeitig möglichen Räumwellen-Übertragungsarten oder bei vertikalen Sendeantennen zusätzlich der Bodenwellen-Feldstärke entsprechen. Der resultierende Feldstärkemedianwert kann als Wurzel aus der Summe der Quadrate der Einzel-Feldstärkemedianwerte definiert werden, das heisst

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + \dots + E_n^2} \quad \text{mV/m} \quad (28)$$

$$F = 20 \cdot \log(1000 \cdot E_{\text{mV/m}}) \quad \text{dB } \mu \quad (29)$$

In Figur 15 ist die für $P_0 = 1$ kW geltende Gesamtfeldstärke in Funktion der Übertragungsdistanz je Übertragungsbereich für die 0,625- λ -Vertikalantenne und in Figur 16 für die Steilstrahlantenne mit $\varphi = 90^\circ$ beziehungsweise 270° dargestellt.

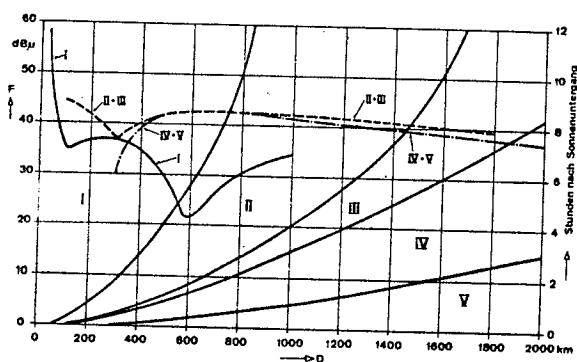


Fig. 15

Gesamtfeldstärke der 0,625- λ -Vertikalantenne; $f_s = 1562$ kHz; $P_0 = 1$ kW
 valeur totale de l'intensité de champ de l'antenne verticale 0,625 λ ; $f_s = 1562$ kHz; $P_0 = 1$ kW

praktisch die gleichen charakteristiken wie eine antenne omnidirectionnelle qui s'approcherait d'autant plus d'un diagramme de rayonnement idéal que son angle de rayonnement Δ deviendrait plus ouvert. Avec des angles de rayonnement plus petits que 20° , l'antenne à rayonnement vertical a les propriétés d'une antenne directionnelle, qui deviennent d'autant plus marquées que Δ devient plus fermé. Les diagrammes de rayonnement sont symétriques par rapport à des axes $\varphi = 0^\circ$ et $\varphi = 90^\circ$ avec un maximum de même grandeur dans $\varphi \approx 40^\circ, 140^\circ, 220^\circ$ et 320° ; les minimums les plus accentués se situent à $\varphi = 90^\circ$ et 270° , ceux les moins accentués à $\varphi = 0^\circ$ et 180° .

La valeur médiane de l'intensité de champ au point de réception de toutes les formes possibles de transmission par rapport au grand cercle de la distance de propagation peut être calculée en utilisant les équations (1), (4)...(7), (17), (18), (21) et (22) pour l'antenne en question. Les résultats correspondants, pour une puissance totale rayonnée de $P_0 = 1$ kW, sont représentés dans les figures 9...14.

Parmi les quatre sortes de transmissions indiquées, celles qui peuvent simultanément entrer en ligne de compte après le coucher du soleil dépendent de l'heure et de la distance de propagation D . Les zones de transmission I...V et l'onde de sol qui apparaît avec les antennes verticales concernent la fréquence de 1562 kHz. La valeur de l'onde de sol a été calculée d'après l'Avis no 368 du CCIR ($\sigma = 3 \cdot 10^{-3}$ mho/m; $\epsilon = 4$).

Si l'on prend en considération par exemple une distance de transmission $D = 1000$ km, on constate que ce point de réception est situé dans la zone V depuis le coucher du soleil pendant environ une heure, cela signifie que pendant ce temps, à ce point, les transmissions 1E et 2E sont possibles. Entre une et trois heures après le coucher du soleil, le même point de réception se situe dans la zone de transmission IV, c'est-à-dire qu'intervient alors, en plus des transmissions 1E et 2E, la transmission 2F. Entre trois et quatre heures après le coucher du soleil, le point de réception se trouve dans la zone III, où les quatre sortes de transmission deviennent possibles simultanément. Au delà de quatre heures après le coucher du soleil, la distance $D = 1000$ km est dans la zone de transmission II, dans laquelle la transmission 2E fait défaut.

Selon la zone de transmission, l'intensité de champ globale efficace au point de réception se compose de 2 à 5 composantes individuelles, correspondant aux valeurs médianes de l'intensité de champ des ondes d'espace des sortes de transmission intervenant simultanément et en plus de l'intensité de champ de l'onde de sol pour les antennes d'émission verticales. La valeur médiane de l'intensité de champ qui en résulte est définie par la racine de la somme des carrés de chacune des valeurs médianes de l'intensité de champ, c'est-à-dire:

Für eine Übertragungsdistanz $D = 990$ km beispielsweise ergibt die $0,625\lambda$ -Vertikalantenne mit $P_o = 1$ kW einen Medianwert der Gesamtfeldstärke von 42 dB μ , und zwar von etwa 4 Stunden nach Sonnenuntergang an (Bereich II), wobei die 1E-Komponente mit 41 dB μ dominiert. Ihr folgt die 1F-Komponente mit 34 dB μ und dann die 2F-Komponente mit $14,5$ dB μ . Die Steilstrahlantenne (mit $\varphi = 90^\circ$ bzw. 270°) ergibt für die gleiche Übertragungsdistanz und unter den gleichen leistungsmässigen und zeitlichen Bedingungen eine Gesamtfeldstärke von $17,9$ dB μ ; wobei die 2F-Komponente mit $17,2$ dB μ dominiert. Ihr folgt die 1F-Komponente mit $9,5$ dB μ , während die 1E-Komponente lediglich -19 dB μ beträgt.

Die Steilstrahlantenne ergibt also in dieser Distanz bei gleicher total abgestrahlter Leistung eine um $24,1$ dB geringere Gesamtfeldstärke als die für maximale Bodenwelle optimale $0,625\lambda$ -Vertikalantenne.

Gerade umgekehrt liegen die Verhältnisse in einer Übertragungsdistanz von etwa 100 km, die schon kurz nach Sonnenuntergang für den Rest der Nacht in den Übertragungsbereich I zu liegen kommt. Als Raumwellen-Übertragungsmöglichkeiten kommen nur die 1F- und 2F-Übertragung in Frage. Mit der $0,625\lambda$ -Vertikalantenne ergibt sich hier eine Gesamtfeldstärke von $35,4$ dB μ , wobei die Bodenwelle mit $32,4$ dB μ und die 1F-Komponente mit $32,3$ dB μ nahezu gleich stark sind, während die 2F-Komponente nur $10,3$ dB μ ausmacht. Mit der Steilstrahlantenne ergibt sich hingegen eine Gesamtfeldstärke von $48,2$ dB μ , wobei die 1F-Komponente mit $48,1$ dB μ die 2F-Komponente von $32,4$ dB μ eindeutig dominiert. Die Steilstrahlantenne ergibt in diesem Falle eine um $12,8$ dB höhere Gesamtfeldstärke, als die $0,625\lambda$ -Vertikalantenne. Dazu ist noch zu bemerken, dass für Abstände der Komponentenfeldstärkemedianwerte kleiner als etwa 8 dB mit Selektivschwund und entsprechenden Verzerrungen zu rechnen ist, die umso stärker werden, je kleiner der Pegelabstand ist.

4. Die besonderen Verhältnisse der Planposition 1562 kHz

Im Plan von Kopenhagen wurde die Frequenz 1562 kHz Portugal, Schweden und der Schweiz zum Betrieb synchronisierter Sendernetze zugeteilt. Für das schweizerische Sendernetz wurde dabei eine totale Senderleistung von maximal 5 kW zugestanden.

Dem Sinne der Plan- und Vertragsbestimmungen entsprechend bezieht sich die Beschränkung der gesamten Senderleistung (5 kW) auf eine Rundstrahlsendeantenne mit Strahlungsmaximum in der Horizontalebene.

Massgebend für die vom schweizerischen Sendernetz in Schweden und in Portugal erzeugten maximal zulässigen

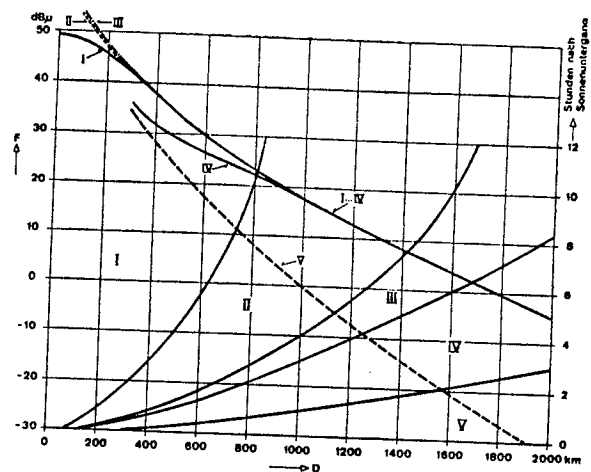


Fig. 16

Gesamtfeldstärke der Steilstrahlantenne; Antennenazimut $\varphi = 90^\circ$; $f_b = 1562$ kHz; $P_o = 1$ kW

Valeur totale de l'intensité de champ de l'antenne à rayonnement vertical, azimut de l'antenne $\varphi = 90^\circ$, $f_b = 1562$ kHz; $P_o = 1$ kW

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + \dots + E_n^2} \quad \text{mV/m} \quad (28)$$

$$F = 20 \cdot \log(1000 \cdot E_{\text{mV/m}}) \quad \text{dB}\mu \quad (29)$$

Dans la figure 15 est représentée l'intensité de champ globale si $P_o = 1$ kW en fonction de la distance de transmission pour chaque zone de transmission, avec une antenne verticale $0,625\lambda$, et dans la figure 16, avec une antenne à rayonnement vertical de $\varphi = 90^\circ$ et 270° .

Par exemple, pour une distance de transmission $D = 990$ km, l'antenne verticale $0,625\lambda$ avec $P_o = 1$ kW produit une valeur médiane de l'intensité de champ globale de 42 dB μ , à partir de quatre heures après le coucher du soleil (zone II), dans laquelle la composante 1E est dominante avec 41 dB μ . Cette dernière est suivie de la composante 1F avec 34 dB μ et de la composante 2F avec $14,5$ dB μ . L'antenne à rayonnement vertical (avec $\varphi = 90^\circ$ et 270°) donne pour la même distance de transmission, avec la même puissance et aux mêmes heures, une intensité de champ globale de $17,9$ dB μ dans laquelle la composante 2F domine avec $17,2$ dB μ . Cette dernière est suivie de la composante 1F avec $9,5$ dB μ , tandis que la composante 1E n'atteint que -19 dB μ .

L'antenne à rayonnement vertical ne procure par conséquent, à cette distance, avec une puissance totale rayonnée égale, qu'une intensité de champ globale de $24,1$ dB μ plus faible que l'antenne verticale optimale $0,625\lambda$ pour l'onde de sol maximum.

Pour une distance de propagation de 100 km, les conditions sont inversées, car peu de temps après le coucher du

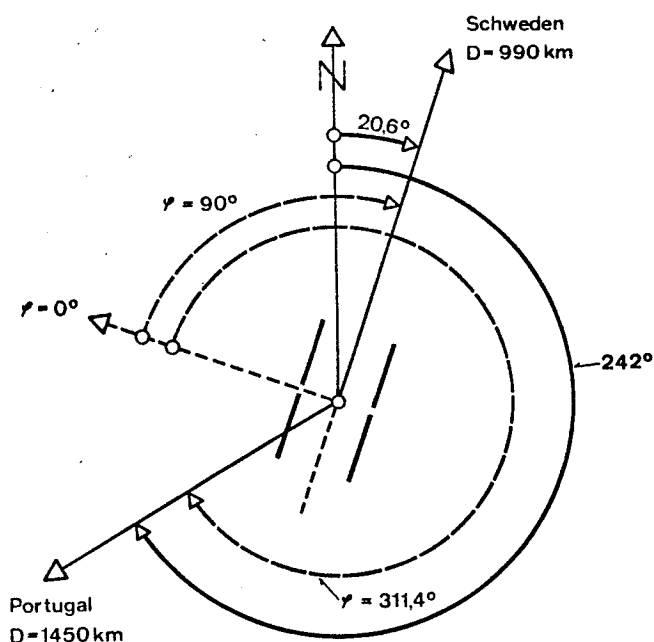


Fig. 17

Geographische Lage und optimale Orientierung der 1562-kHz-Steilstrahlantenne Beromünster in Bezug auf die nächstliegenden Versorgungsgebiete der Gleichkanalpartner Schweden und Portugal

Position géographique et orientation optimale de l'antenne à rayonnement vertical pour 1562 kHz de Beromünster par rapport aux régions les plus rapprochées de la Suède et du Portugal qui utilisent le même canal

Störfeldstärken ist demnach vertragsgemäss die von einer Vertikalantenne total abgestrahlte Leistung von 5 kW.

Wird anstelle des über das ganze Land verteilten synchronisierten Sendernetzes mit im gesamten 5 kW Senderleistung ein Einzelsender mit der gleichen Leistung in Beromünster betrieben (was vertragsmässig ohne weiteres zulässig ist), so liegt der Beromünster am nächsten liegende Punkt des schwedischen Territoriums in 55,4° nördlicher Breite und 13,7° östlicher Länge. Der von Beromünster aus in Richtung Lissabon gelegene nächstliegende Punkt des portugiesischen Territoriums liegt in 40,0° nördlicher Breite und 6,9° westlicher Länge.

Azimet und Grosskreisdistanz von Beromünster aus zu den erwähnten Orten in Schweden und Portugal sind aus Figur 17 ersichtlich.

Wie aus den Figuren 9...16 hervorgeht, liegen die Übertragungsdistanzen $D = 990$ km (Schweden) und $D = 1450$ km (Portugal) von Sonnenuntergang an beginnend der Reihe nach in den Übertragungsbereichen V, IV, III und II. In der Tabelle III sind für diese beiden Übertragungsdistanzen die mit 5 kW total abgestrahlter Leistung mit den gebräuch-

soleil cette distance entre dans la zone de transmission I pour le reste de la nuit. Les possibilités de transmission de l'onde d'espace entrant en considération sont seulement les suivantes: 1F et 2F. Avec l'antenne verticale 0,625.λ, on obtient alors une intensité de champ globale de 35,4 dBμ, l'onde de sol avec 32,4 dBμ et la composante 1F avec 32,3 dBμ étant à peu près également fortes tandis que la composante 2F n'est que de 10,3 dBμ. Avec l'antenne à rayonnement vertical, on a par contre une intensité de champ globale de 48,2 dBμ, la composante 1F avec 48,1 dBμ dominant nettement la composante 2F avec 32,4 dBμ. L'antenne à rayonnement vertical procure dans ce cas une intensité de champ globale de 12,8 dBμ supérieure à celle de l'antenne verticale 0,625.λ. Il convient d'ajouter que lorsque l'écart entre les composantes de la valeur médiane de l'intensité de champ est inférieur à environ 8 dB, il faut s'attendre à des évanouissements sélectifs et à des distorsions, devenant d'autant plus marqués que l'écart de niveau diminue.

4. Les conditions particulières de la position 1562 kHz du Plan

Dans le Plan de Copenhague, la fréquence de 1562 kHz a été attribuée au Portugal, à la Suède et à la Suisse pour l'exploitation de réseaux synchronisés. La puissance totale du réseau autorisée pour la Suisse est au maximum de 5 kW.

Dans l'esprit du Plan et des dispositions de l'accord, la limite fixée pour la puissance totale des émetteurs (5 kW) se rapporte à une antenne d'émission omnidirectionnelle, avec un maximum de rayonnement sur un plan horizontal.

Pour la Suède et le Portugal, ce qui est déterminant par rapport au réseau des émetteurs suisses, c'est l'intensité du champ perturbateur, qui ne doit pas dépasser celle résultant de la puissance totale de 5 kW rayonnée par une antenne verticale.

Si, au lieu d'un réseau synchronisé dont les émetteurs seraient disséminés dans tout le pays et dont la puissance totaliserait 5 kW, la Suisse exploitait un seul émetteur de cette puissance à Beromünster (ce qui serait parfaitement légal selon l'accord), le point le plus proche du territoire suédois serait situé à 55,4° de latitude nord et à 13,7° de longitude est. En direction de Lisbonne, le point le plus proche du territoire portugais est situé à 40,0° de latitude nord et à 6,9° de longitude ouest.

L'azimet et le grand cercle par rapport à Beromünster sont représentés dans la figure 17.

Comme on peut s'en rendre compte dans les figures 9...16, les distances de transmission $D = 990$ km (Suède) et $D = 1450$ km (Portugal) se situent à partir du coucher du soleil successivement dans les zones de transmission V, IV, III et II. Les valeurs médianes de l'intensité de champ

Tabelle III

Tableau III

		$F_{5\text{ kW}}$ in dB μ $F_{5\text{ kW}}$ en dB μ			
Übertragungsbereich Zone de transmission		V	IV	III	II
Simultan auftretende Übertragungsarten Modes de transmission en jeu simultanément		$1 \times E$ $2 \times E$	$2 \times F$ $1 \times E$ $2 \times E$	$1 \times F$ $2 \times F$ $1 \times E$ $2 \times E$	$1 \times F$ $2 \times F$ $1 \times E$
D = 990 km	Zeit in Stunden nach Sonnenuntergang, in der die entsprechenden Bereiche wirksam sind Durées en heures après le coucher du soleil, pendant lesquelles chaque zone entre en considération	0...0,9	0,9...3,0	3,0...4,0	4,0...
	0,25.λ-Vertikalantenne 0,25.λ-antenne verticale	46,41	46,52	48,50	48,19
	0,5.λ-Vertikalantenne 0,5.λ-antenne verticale	47,60	47,63	49,15	48,89
	0,625.λ-Vertikalantenne 0,625.λ-antenne verticale	48,21	48,22	48,98	48,82
D = 1450 km	Zeit in Stunden nach Sonnenuntergang, in der die entsprechenden Bereiche wirksam sind Durées en heures après le coucher du soleil, pendant lesquelles chaque zone entre en considération	0...1,8	1,8...5,2	5,2...7,9	7,9...
	0,25.λ-Vertikalantenne 0,25.λ-antenne verticale	43,51	43,74	45,96	45,59
	0,5.λ-Vertikalantenne 0,5.λ-antenne verticale	44,99	45,10	47,13	46,79
	0,625.λ-Vertikalantenne 0,625.λ-antenne verticale	46,09	46,10	47,77	47,47

lichsten vertikalen Sendeantennen in den einzelnen Übertragungsbereichen auftretenden Medianwerte der Gesamtfeldstärke zusammengestellt.

Da sich im Übertragungsbereich III die Gesamtfeldstärke aus allen vier Übertragungskomponenten zusammensetzt, tritt hier im Laufe der Nacht die höchste Störfeldstärke auf. In 990 km Distanz wird dabei die höchste Störfeldstärke mit einer 0,5.λ-Vertikalantenne erzeugt, in 1450 km Distanz hingegen von einer 0,625.λ-Vertikalantenne.

Dem Sinne der Vertragsbestimmungen von Kopenhagen entsprechend ist für den von Beromünster aus in 990 km Distanz (Schweden) erzeugte Störfeldstärkemedianwert von 49,15 dB μ gerade noch zulässig; in 1450 km Distanz (Portugal) sind es noch 47,77 dB μ .

Es stellt sich nun die Frage, wie hoch die mit der Steilstrahlantenne abgestrahlte Leistung sein darf, damit die genannten gerade noch zulässigen Störfeldstärkemedianwerte nicht überschritten werden.

globale für eine puissance totale de 5 kW rayonnée par des antennes verticales courantes d'émission, se rapportant à ces deux distances de transmission et pour les différentes zones de transmission, figurent dans le *tableau III*.

Comme dans la zone de propagation III l'intensité de champ globale est formée par les composantes des quatre sortes de transmission, la plus forte intensité de champ perturbatrice intervient durant la nuit. A 990 km, la plus forte intensité de champ perturbatrice est produite par une antenne verticale 0,5.λ et à 1450 km par une antenne verticale 0,625.λ.

Au sens des dispositions de la Convention de Copenhague, la valeur médiane de l'intensité de champ perturbatrice provoquée par Beromünster à la distance de 990 km (Suède), de 49,15 dB μ , est encore tout juste tolérable; à 1450 km de distance (Portugal), elle est encore de 47,77 dB μ .

On peut se demander quelle peut être la puissance rayonnée admissible pour une antenne à rayonnement vertical,

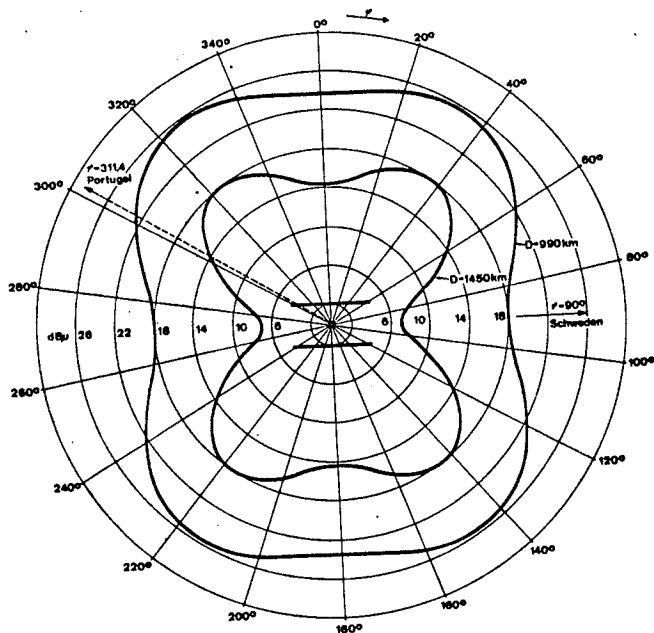


Fig. 18
Maximaler Störfeldstärkemedianwert (Gesamtfeldstärke) der 1562-kHz-Steilstrahlantenne in 990 und 1450 km Übertragungsdistanz;
 $P_o = 1 \text{ kW}$

Valeur maximale de l'intensité du champ perturbateur (intensité de champ totale) de l'antenne à rayonnement vertical, à la distance de transmission de 990 km et à celle de 1450 km; $P_o = 1 \text{ kW}$

In Figur 18 ist der mit der Steilstrahlantenne und 1 kW total abgestrahlter Leistung in 990 km und 1450 km Übertragungsdistanz erzeugte maximale Störfeldstärkemedianwert in Funktion des Antennen-Azimuths φ dargestellt (Übertragungsbereich III).

Wird die Steilstrahlantenne so aufgestellt, dass gemäss den Figuren 17 und 18 die Dipolachsen parallel zur Richtung nach Schweden zu liegen kommen (Antennen-Azimuth $\varphi = 90^\circ$ stimmt mit dem geographischen Azimuth $20,6^\circ$ überein), so hat das Antennen-Azimuth nach Portugal die Grösse $\varphi = 311,4^\circ$.

In diesem Fall kann die für die Steilstrahlantenne übertragungsmässig zulässige Höchstleistung wie folgt bestimmt werden:

Höchstzulässiger Störfeldstärkemedianwert in $D = 990 \text{ km}$ Distanz (Schweden)	$= 49,15 \text{ dB}\mu$
Maximale Störfeldstärke der Steilstrahlantenne in 990 km Distanz (Schweden) bei 1 kW total abgestrahlter Leistung und $\varphi = 90^\circ$	$= 17,94 \text{ dB}\mu$
$10 \cdot \log (P_o \text{ kW})$	$= 31,21 \text{ dB}$
$P_o \text{ max (Schweden)}$	$= 1321 \text{ kW}$

pour que les valeurs médianes de l'intensité de champ perturbatrice tolérables ne soient pas dépassées.

La figure 18 montre la valeur moyenne de l'intensité de champ perturbatrice produite à 990 km et à 1450 km de distance, pour une puissance rayonnée de 1 kW par une antenne à rayonnement vertical et en fonction de l'azimut de l'antenne φ (zone de transmission III).

Si l'antenne à rayonnement vertical est installée de telle façon que conformément aux figures 17 et 18 les axes de dipôles soient placés parallèlement à la direction de la Suède (azimut de l'antenne $\varphi = 90^\circ$ concordant à l'azimut géographique $20,6^\circ$), l'azimut de l'antenne en direction du Portugal sera $\varphi = 311,4^\circ$.

Dans ce cas, la puissance la plus élevée admissible pour l'antenne à rayonnement vertical pourra être déterminée de la façon suivante:

maximum de la valeur médiane admissible de l'intensité de champ perturbatrice à $D = 990 \text{ km}$ (Suède) $= 49,15 \text{ dB}\mu$
intensité de champ perturbatrice maximale provoquée par l'antenne à rayonnement verti-

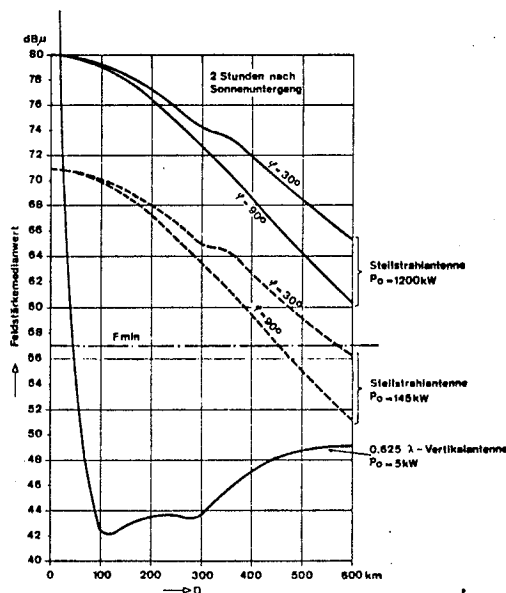


Fig. 19

Gegenüberstellung der bei $f_B = 1562 \text{ kHz}$ zwei Stunden nach Sonnenuntergang mit vertikaler Sendeantenne ($l = 0,625 \lambda$) und Steilstrahlantenne im eigentlichen Bedienungsbereich auftretenden Medianwerte der Nutzfeldstärke bei gleich grosser Störfeldstärke in 990 bzw. 1450 km Übertragungsdistanz. Die gestrichelten Kurven gelten für die Betriebsdaten der Versuchsanlage

Comparaison des valeurs médianes de l'intensité de champ utile produites deux heures après le coucher du soleil avec une antenne d'émission verticale ($l = 0,625 \lambda$) et avec une antenne à rayonnement vertical dans la zone desservie, l'intensité du champ perturbateur à 990 km et à 1450 km de distance de propagation demeurant la même. Les courbes pointillées se rapportent aux données d'exploitation de la station d'essai

Höchstzulässiger Störfeldstärkemedianwert in D = 1450 km Distanz (Portugal)	= 47,77 dB μ
Maximale Störfeldstärke der Steilstrahl- antenne in 1450 km Distanz (Portugal) bei 1 kW total abgestrahlter Leistung und $\varphi = 311,4^\circ$	= 16,84 dB μ
10.log (P _o kW)	= 30,93 dB
P _o max (Portugal)	= 1239 kW

Rechnet man für diese orientierte Steilstrahlantenne mit einer total abgestrahlten Leistung von maximal 1200 kW und für die gemäss Kopenhagen-Plan betriebene 0,625.λ-Vertikalantenne mit 5 kW, so ergeben sich im eigentlichen Bedienungsbereich des Senders zwei Stunden nach Sonnenuntergang die in Figur 19 dargestellten Nutzfeldstärken.

Aus Figur 19 ist klar ersichtlich, dass mit dem Steilstrahlbetrieb der Bedienungsradius gegenüber dem konventionellen Betrieb mit vertikaler Sendeantenne ganz erheblich erweitert werden kann, ohne die Störfeldstärke in 990 km oder 1450 km Distanz zu erhöhen. Rechnet man mit einer minimalen Nutzfeldstärke von 57 dB μ , so liegt die Grenze des Bedienungsbereiches beim konventionellen Betrieb mit Vertikalantenne ($l = 0,625.\lambda$; P_o = 5 kW) bei etwa 45 km, während sie beim Steilstrahlbetrieb mit P_o = 145 kW je nach Antennenazimut φ zwischen 450 und 570 km variiert. Würde man den Steilstrahlbetrieb mit der maximal zulässigen Leistung von 1200 kW durchführen, so würde die Grenze des Bedienungsbereiches auf über 600 km ausgedehnt.

Literaturverzeichnis

- [1] BBC Research Department. Radio Group. Technical Memorandum No RA-1022
- [2] CCIR «Diagrammes d'antenne». Union internationale des télécommunications. Genève 1953

cal, à 990 km de distance (Suède), pour une puissance totale rayonnée de 1 kW et $\varphi = 90^\circ$	= 17,94 dB μ
10.log (P _o kW)	= 31,21 dB
P _o max (Suède)	= 1321 kW
Maximum de la valeur médiane admissible de l'intensité de champ perturbatrice si D = 1450 km (Portugal)	= 47,77 dB μ
intensité de champ perturbatrice maximale provoquée par l'antenne à rayonnement verti- cal, à 1450 km de distance (Portugal), pour une puissance rayonnée totale de 1 kW et $\varphi = 311,4^\circ$	= 16,84 dB μ
10.log (P _o kW)	= 30,93 dB
P _o max (Portugal)	= 1239 kW

Si l'on fait les calculs pour cette antenne à rayonnement vertical orientée comme indiqué ci-dessus, en tenant compte d'une puissance maximale rayonnée de 1200 kW et pour une antenne verticale 0,625.λ exploitée conformément au Plan de Copenhague avec une puissance de 5 kW, deux heures après le coucher du soleil, on constate dans la zone desservie par l'émetteur les intensités de champ utiles représentées dans la figure 19.

On voit clairement dans la figure 19 qu'avec le rayonnement vertical le rayon de la zone desservie peut être sensiblement augmenté par rapport à l'exploitation conventionnelle utilisant une antenne verticale, sans que l'intensité de champ perturbatrice à 990 km ou à 1450 km soit augmentée. Si l'on admet une intensité minimale du champ utile de 57 dB μ , la limite de la zone desservie dans l'exploitation conventionnelle à l'aide d'une antenne verticale ($l = 0,625.\lambda$, P_o = 5 kW) se situe environ à 45 km, tandis qu'avec l'exploitation à rayonnement vertical, si P_o = 145 kW, selon l'azimut de l'antenne φ , elle varie entre 450 et 570 km. Si l'on utilise dans l'exploitation la puissance maximale admissible de 1200 kW, la limite de la zone desservie s'étend au delà de 600 km.

Riassunto. Si descrive un impianto di antenna sperimentale ad irradiazione verticale per onde medie a 1562 kHz, costruito per accertare i valori determinati teoricamente. Dall'elaborazione delle osservazioni di ricezione e delle registrazioni risultò una buona concordanza con la teoria. Con ciò è stata dimostrata l'attendibilità del metodo in vista di un migliore sfruttamento di canali sulla stessa frequenza.

2. Aufbau und elektrische Werte der Steilstrahlantenne

Die Anordnung der Antennenanlage ist aus Figur 1 ersichtlich. Es handelt sich um zwei nebeneinander angeordnete Ganzwellendipole mit einem Abstand von $\lambda/2$ oder 96 m. Die Antenne wurde für den Betrieb mit einer Trägerleistung von 300 kW dimensioniert. Die als Drahtreusen aufgebauten Dipole bestehen aus vier Bronzeseilen $7 \times 1,7$ mm mit einem gegenseitigen Seilabstand von 575 mm. Jede der vier Reusen ist 85 m lang. Bei 40 m Masthöhe und einem Reusendurchhang von etwa 4 m bei 20°C ergibt sich eine mittlere Reusenhöhe von 38 m, entsprechend $0,2 \lambda$ über Boden. In Figur 2 ist die an einem Dipol gemessene Admittanz eingetragen. Während der Messung war der andere Dipoleingang offen. Für die Betriebsfrequenz 1562 kHz haben die Dipole einen praktisch reellen Eingangswiderstand von 1600 Ω .

Als Reflektorebene ist ein Erdnetz mit den Massen 220×140 m aus kreuzweise verlegtem feuerverzinktem Bandeisen 25×2 mm vorgesehen. Die Maschenweite beträgt 10 m. Aus landwirtschaftlichen Gründen kann das Erdnetz erst später endgültig verlegt werden. Für die Messungen wurde das Netz provisorisch auf den Erdboden ausgelegt und hernach wieder entfernt. Auf die Antennenimpedanz hat es einen vernachlässigbaren Einfluss. Die Strahlungsleistung dagegen nahm mit dem Erdnetz in der Senkrechten um rund 2 dB zu.

3. Impedanzanpassung

Die Impedanzanpassung erfolgt mit der klassischen Methode der Leitungstransformation. In Figur 3 ist die gewählte Anordnung dargestellt. Auf den Strecken A-B wird die Dipolimpedanz von 1600 Ω auf 600 Ω herabgesetzt. Punkt B ist mit einer kapazitiven Blindkomponente behaftet,

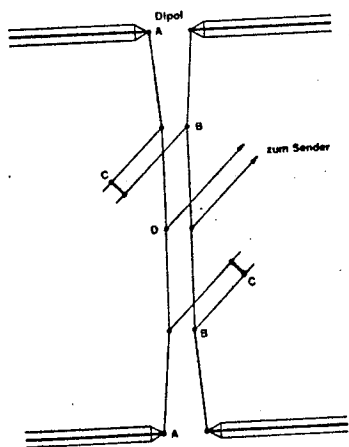


Fig. 3
Disposition der Dipolspiehung und Anpassung

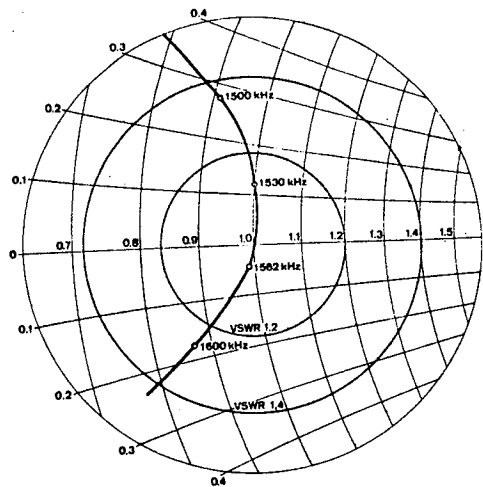


Fig. 4
Admittanzverlauf der zusammengeschalteten Dipole am 300- Ω -Speisepunkt

die mit dem am Ende kurzgeschlossenen induktiven Leistungsstück B-C kompensiert wird. Die Strecken B-D bestehen aus normalen 600- Ω -Zweidraht-Feederleitungen. Durch die Parallelschaltung im Punkt D wird die Speiseimpedanz auf 300 Ω reduziert. Die Kurzschlüsse in den Punkten C sind geerdet. Dadurch ist die Antennenanlage an zwei Punkten statisch an Erde gelegt. Zur Erhaltung eines symmetrischen Strahlungsdiagrammes ist der Aufbau der Speise- und Transformationsleitungen ebenfalls symmetrisch auszuführen. Die Figur 4 zeigt den Admittanzverlauf der zusammengeschalteten Dipole am 300- Ω -Speisepunkt (D in Fig. 3). Das Spannungs-Stehwellenverhältnis liegt für die Trägerfrequenz bei 1,04. Dieser Wert ändert sich für die Seitenbänder nur unwesentlich.

Die Antenne ist ungefähr 400 m vom Sendegeäude entfernt. Eine offene 300 Ω -Zweidraht-Feederleitung dient dem Transport der Energie.

4. Modulationsaufbereitung

Neben der minimalen Nutzfeldstärke am Empfangsort wird der mögliche Bedienbereich bei gegebenem Störpegel stark vom mittleren Modulationsgrad des Senders beeinflusst. Ohne besondere Massnahmen liegt der mittlere Modulationsgrad von AM-Sendern meist unter 30%. Gelingt es, durch besondere Massnahmen diesen Wert auf 60% zu erhöhen, so erhält man am Empfangsort eine Verbesserung des Nutz-Störspannungsabstandes um 6 dB. Wollte man diese Verbesserung durch eine Leistungserhöhung des Senders erreichen, müsste eine viermal höhere Trägerleistung abgestrahlt werden, wobei dies mit entsprechend höheren Kapital- und Betriebskosten verbunden ist.

Deshalb lohnt es sich, die Modulation so aufzubereiten, dass in dem von einem normalen AM-Empfänger verarbeiteten NF-Frequenzband von $\sim 150...3500$ Hz eine möglichst hohe mittlere Seitenbandleistung zur Verfügung steht. Massnahmen dieser Art sind jedoch nur auf Kosten einer reduzierten Programmdynamik zu verwirklichen. Wie später noch gezeigt wird, eignet sich die Raumwellenübertragung von Natur aus nicht für qualitativ anspruchsvolle Programmarten. Es ist deshalb unerlässlich, bereits bei der Programmwahl diesem Umstand Rechnung zu tragen und Darbietungen zu vermeiden, die durch eine drastische Reduktion der Dynamik und der Schwunderscheinungen bis zur Ungeniessbarkeit verändert werden. Die Aufbereitung soll möglichst klirrarm erfolgen, da nichtlineare Verzerrungen subjektiv bedeutend unangenehmer empfunden werden als lineare Amplitudenkompression. Aus diesem Grunde scheidet das Klippen der Amplitude beziehungsweise die Trapezmodulation aus, sie kann höchstens in geringem Umfang (2...3 dB) als Teilmassnahme in Erwägung gezogen werden. Für den vorliegenden Versuchsbetrieb ist eine Methode mit mehreren sich folgenden Teilmassnahmen gewählt worden. Zu diesem Zweck wurden folgende Einzelgeräte in Serie geschaltet:

- Eingangs- und Trennverstärker mit Pegelinstrument
- Bandpassfilter 100...4000 Hz mit Abfall gegen die tiefen Frequenzen hin
- Programmregelverstärker mit programmgesteuerter Zeitkonstante und Integrationsglied zur Korrektur von Aussteuerungsfehlern
- Kompressionsverstärker mit Geräuschor (Geräuschunterdrückung in den Programmpausen) für die Dynamikkompression
- Begrenzerverstärker als Grobschutz des Senders gegen Übermodulation
- Diodenbegrenzer als trägheitsloser Feinschutz gegen Übermodulation

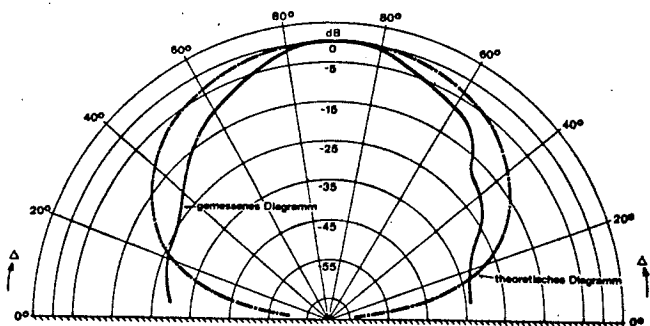


Fig. 5
Theoretisches und gemessenes Vertikaldiagramm der Steilstrahlantenne in Richtung der Dipolachse ($\varphi = 0^\circ, 180^\circ$)

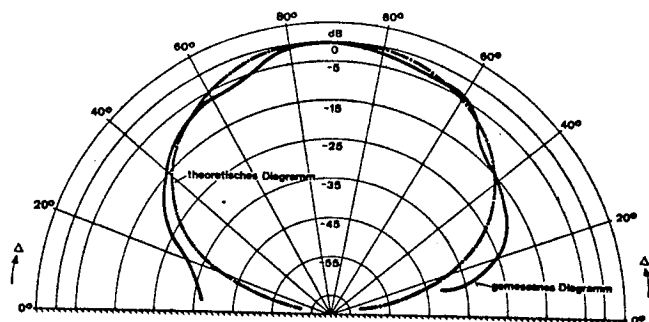


Fig. 6
Theoretisches und gemessenes Vertikaldiagramm der Steilstrahlantenne quer zur Dipolachse ($\varphi = 90^\circ, 270^\circ$)

- Tiefpassfilter mit 4,5 kHz Grenzfrequenz und 40 dB Abfall
- Ausgangsverstärker mit Pegelinstrument

Durch Ändern der einzelnen Geräteparameter wurde eine optimale Wirkung gesucht. Es kann sich jedoch immer nur um Kompromisslösungen handeln, da sich gewisse Bedingungen je nach Programmart diametral gegenüberstehen. Besonders grosse Unterschiede bestehen zwischen Sprache und Musik. Hier wird ein Sprache-Musikschalter mit hoher Erkennungswahrscheinlichkeit noch einige Verbesserungen ermöglichen. Entsprechende Entwicklungen sind im Gang.

Trotzdem sind die bis jetzt erreichten Resultate als gut zu bezeichnen und der ermittelte Gewinn liegt je nach Programmart zwischen 3 und 9 dB.

5. Messungen und Empfangsbeobachtungen

Das Antennendiagramm ist mit einem Helikopter ausgeflogen worden. Als Messantenne diente eine auf die Sendefrequenz abgestimmte, richtungsunabhängige Ferritstabantenne, deren Spannung im Rohde und Schwarz-Messempfänger HFH definiert verstärkt und von einem Registriergerät aufgezeichnet wurde. In mehreren Horizontalflügen verschiedener Richtungen, mit Distanzen zwischen 6 und 8 km und konstanter Höhe, wurde das Antennenzentrum angefliegen. Die der Antenne zugeführte Leistung betrug 145 kW; das Erdnetz war nicht ausgelegt. Die Resultate sind in den Figuren 5 und 6 eingezeichnet und dem theoretisch gerechneten Diagramm gegenübergestellt. Im Strahlungsmaximum beträgt die Feldstärke im Mittel 5 V/m, bezogen auf 1 km Abstand. Bei einem Elevationswinkel von 30° sinkt der Mittelwert aus sechs Richtungen auf 0,4 V/m, bezogen auf 1 km Abstand. Die Messunsicherheit ist mit $\pm 2,5$ dB einzusetzen. Unterhalb 30° werden die gemessenen Werte stark von der Art der Mastabspannungen und dem Gelände beeinflusst, sie können dann erheblich über den theoretischen Werten liegen. Diese Einflüsse sind beim Aufstellen

der Antenne zu berücksichtigen, damit die Störfeldstärke bei den Gleichkanalpartnern minimal gehalten werden kann.

Der Antennengewinn beträgt 7,6 dB bezogen auf einen Kugelstrahler, und im Vergleich mit einem Halbwellendipol 5,4 dB. Um den Einfluss des Erdnetzes zu untersuchen, sind im Abstand von neun Tagen unter gleichen Bedingungen Messflüge mit und ohne Erdnetz durchgeführt worden. Mit Erdnetz ergaben diese im Mittel eine Erhöhung der senkrechten Strahlungsleistung um etwa 2 dB. Damit wird der vorerwähnte Antennengewinn auf 9,6 dB beziehungsweise 7,4 dB ansteigen. Die vorgesehene Leistungserhöhung auf 300 kW und das endgültige Erdnetz werden gegenüber den heutigen Verhältnissen zusammen eine Verbesserung der Nutzfeldstärke um 5 dB bringen.

Die Empfangsfeldstärke wird an drei Orten im Abstand von 200, 110 und 60 km vom Sender registriert. Als Empfangsantennen werden kurze (kapazitive) Vertikalantennen verwendet. Der Messempfänger gibt das definiert aufbereitete Signal als feldstärkeproportionalen Gleichstromwert parallel auf einen Schreiber und einen automatischen Pegelanalysator mit 20 Pegelstufen. Die statistisch klassierten Werte werden automatisch jede Stunde photographisch festgehalten und können später für die Auswertung vom Film abgelesen werden. Wie erwartet, ergab die Auswertung starke zeitliche Schwankungen. Besonders interessant sind die jahreszeitlichen Schwankungen, die jedoch wegen der verhältnismässig kurzen Beobachtungszeit von nur knapp zwei Jahren noch nicht aussagekräftig sind. Immerhin kann schon jetzt festgestellt werden, dass die monatlichen Zentralwerte der Nachtfeldstärke in Funktion der Jahreszeit Schwankungen von 10...15 dB, in Extremfällen bis zu 20 dB unterworfen sind. Die zentralen Medianwerte der drei Messstationen über die bisherige Beobachtungsperiode sind mit 68, 69 und 70 dB μ für die Zeit von 2200 bis 2300 Uhr ermittelt worden, was einen mittleren Wert von 69 dB μ ergibt. Theoretisch ist ohne Berücksichtigung der Reflexionsdämpfung ein Medianwert von 76 dB μ ermittelt worden. Rechnet man für die Reflexionsdämpfung einen mittleren Wert von 6 dB, darf die Übereinstimmung mit den praktisch gemessenen Werten als gut bezeichnet werden. Mit den Feldstärkeregistrierungen wird zum bessern Erfassen der jahreszeitlichen Schwankungen über einen längeren Zeitraum fortgefahren.

Von den Gleichkanalpartnern sind bis heute keine unzulässigen Störpegelüberschreitungen gemeldet worden.

Aus Empfangsbeobachtungen und Hörerzuschriften kann geschlossen werden, dass die nächtliche Versorgungsgrenze in einer Entfernung von ~ 500...600 km vom Sende-

zentrum liegt. Innerhalb der Schweiz ist der Empfang von Sonnenuntergang bis Sonnenaufgang ausnahmslos gut bis sehr gut. Die Empfangsqualität wird nur durch die dem Raumwellenempfang eigenen Signalverzerrungen sporadisch verschlechtert. Diese Beeinträchtigung der Empfangsqualität [2] entsteht bekanntlich dadurch, dass das ausgesendete Signal bei ionosphärischer Ausbreitung durch Reflexion in verschiedenen ionisierten Regionen (E und F) auf mehreren Wegen zum Empfangsort gelangt und dass dort die einzelnen Empfangssignale miteinander interferieren. Ausserdem machen sich nichtlineare Einflüsse innerhalb der Ionosphäre bemerkbar. Durch diese Vorgänge werden die Phasen- und Amplitudenbeziehungen innerhalb des AM-Signals verändert. Die heute übliche Hüllkurven-Gleichrichtung durch eine Diode in den Rundfunkempfängern kann jedoch nur dann verzerrungsfrei als Demodulator arbeiten, wenn das aus einem Träger und zwei symmetrisch zu diesem liegenden Seitenbändern bestehende Signalspektrum in derselben Form angeboten wird, in der es vom Sender erzeugt und ausgestrahlt wird. Diese Voraussetzung ist jedoch nicht erfüllt, wenn der Übertragungsfaktor infolge Mehrwege-Interferenzen frequenzabhängig ist, besonders wenn diskrete Frequenzen völlig ausgelöscht werden (selektiver Schwund). Dadurch entstehen im klassischen Empfangsgleichrichter Demodulationsverzerrungen in der Form von subjektiv lästigem Klirrfaktor und nichtharmonischen Kombinationstönen. Leider lassen sich diese Nachteile des Raumwellenempfanges mit der heute gebräuchlichen Technik nicht ändern. Dagegen ist für die Zukunft eine Verbesserung denkbar, indem das niederfrequente Signal im Empfänger, unter Ausnutzung nur eines Seitenbandes mit Trägerzusatz und Produkt-Demodulator, wiedergewonnen wird.

Die praktisch erreichten Resultate stimmen gut mit der Theorie überein. Die Steilstrahlmethode im Gleichkanalbetrieb erlaubt für jeden Partner eine bedeutend bessere Kanalausnutzung. Nimmt man bei der Programmgestaltung auf die der Raumwellenübertragung eigene Qualitätseinbusse Rücksicht, so lassen sich für Information und Unterhaltung grossflächige Versorgungsprobleme während der Nachtzeit wirtschaftlich lösen.

Bibliographie

- [1] Ebert W. Mittelwellen-Steilstrahlung unter besonderer Berücksichtigung der Frequenz 1562 kHz. Techn. Mitt. PTT 48 (1970) Nr. 6, S. 237...257.
- [2] v. Rautenfeld F. Die Qualität des Raumwellen-Empfangs. Rundfunktechn. Mitt. 13 (1969) Nr. 1, S. 15...28.

D R A F T

Ref.: Study Groups 6 and 10
Subject: Study Programmes 17A-1/6
25F 10

EUROPEAN BROADCASTING UNION

(Original languages: English and French)

PROPAGATION IN BAND 6 (MF) FROM HORIZONTALLY-POLARISED AERIALS

Horizontally-polarised aerials may be used in Band 6 (MF) for short-range broadcasting services by means of reflection in the ionosphere. Although aerials of that type radiate less energy at low angles of elevation than do vertically-polarised aerials, measurements recently effected by the E.B.U., the results of which are set out in Fig. 1, indicate that, in the case of transmissions from one particular aerial having a large zenithal radiation, the measured field-strengths at distances less than 3000 km are not very different from the figures given by the curves in Fig. 2 of Report 264-2 (rev. 1972). It is therefore not to be expected that the use of horizontally-polarised transmitting aerials would result in any very substantial reduction in interference at long distances.

An initial calculation made for one of the paths investigated, executed by means of the wave-hop method described in document 6/.... and reproduced here as Appendix 1, suggests that the field-strength produced at long distances by a horizontally-polarised aerial is in the main due to propagation by wave hops in the F-layer which can, in the case of aerials having a large zenithal radiation, become preponderant, compared with the modes of propagation corresponding to the energy radiated at low angles of elevation.

The foregoing remarks apply also to any aerial, whatever may be its polarisation, which radiates considerable energy vertically.

APPENDIX 1

Calculation of the path Beromünster - Helsinki by means
of the wave-hop method

Measurements were made in Helsinki between 0115 and 0215 GMT from September, 1972 to March, 1973 on transmissions from Beromünster on 1562 kHz with a power of 140 kW, using a horizontally-polarised transmitting aerial whose radiation characteristics in all directions were known, particularly in the direction of Helsinki. The median values of the field-strength measured over the six months was 44.3 dB ($\mu\text{V/m}$), that is to say, after correction for the power, a measured field-strength referred to 1 kW of 22.8 dB ($\mu\text{V/m}$).

It is, moreover, possible to calculate, by the wave-hop method, the field-strengths corresponding to the several possible modes of propagation. From September to March, the sun rises more than an hour later than 0215 GMT over the whole length of the path in question, and all the modes of propagation mentioned in the table below are possible ; the table indicates also the principal factors involved in the calculations.

MODE	1E	2E	2F	3F	4F	5F	6F	7F
Transmitting aerial correction factor Δ_A (dB)	-40	-25	-13	-8	-4	-0.7	0.4	1.9
Total ionospheric loss (dB)	5	11	24	18	17	18	19	21
Total intermediate reflection loss (dB)	-	7	5	3	4	5	7	9
Estimated field-strength (dB $\mu\text{V/m}$)	8	6	5	16	18.5	18	16	13

RMS sum of all modes, 23 dB ($\mu\text{V/m}$)

Such good agreement between the calculated value and the measured value is doubtless fortuitous, but it suggests that the modes due to high-angle radiation are responsible for the high field-strengths measured during the winter months.

Evaluation of field-strength measurements of Beromünster (1562 kHz)

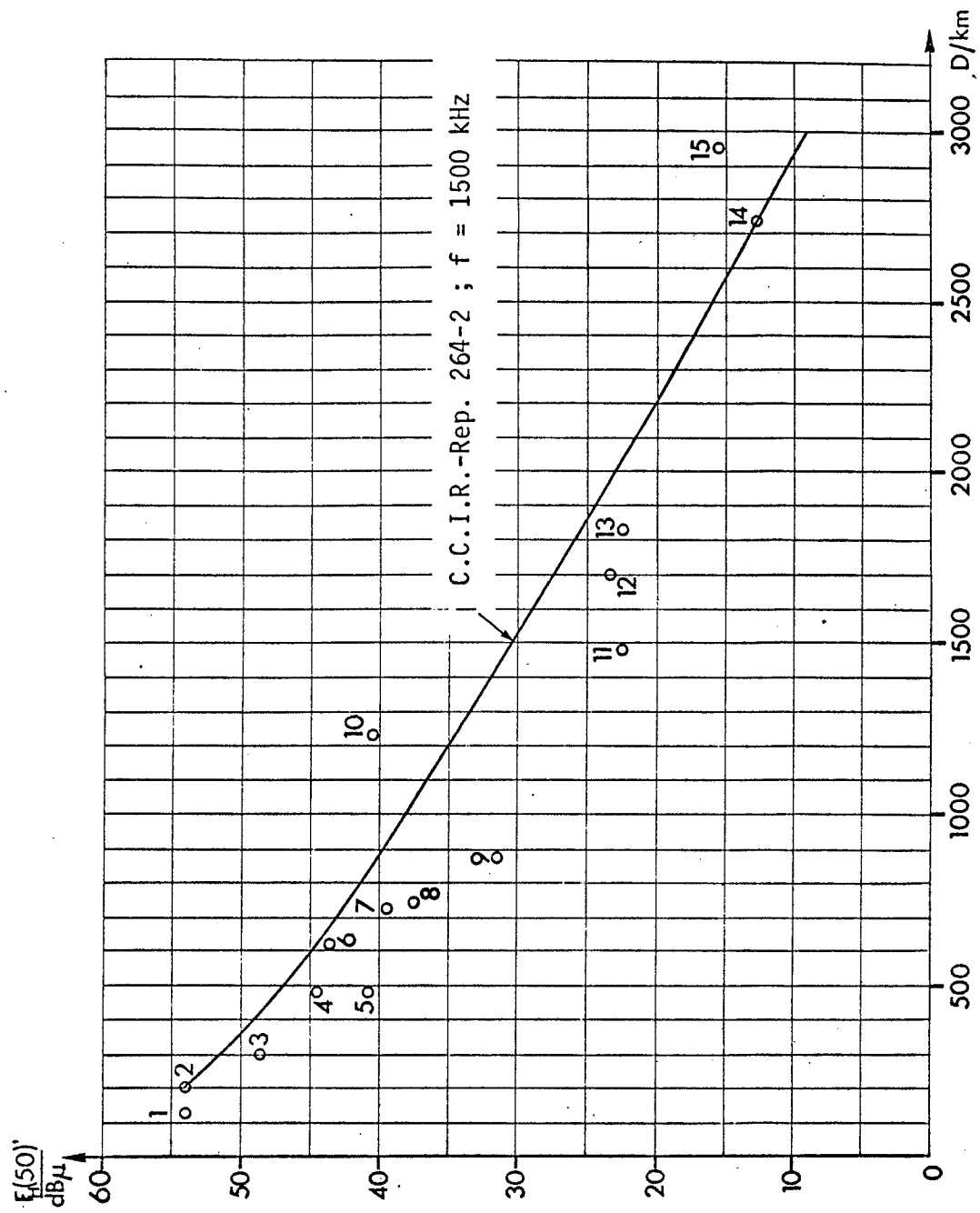
$F_H'(50)$ is normalised to 1 kW

f/kHz	n°	Path	P/kW	D/km	Period	$F_H'(50)$ /dB
1562	1	Beromünster - Châtonnaye	140	120	3.72 - 4.73	54,3
	2	- Monza		200	1.72 - 5.73	54,4
	3	- Darmstadt		300	1.72 - 3.73	48,6
	4	- Limours		480	1.72 - 5.73	44,5
	5	- Jurbise		480	12.71 - 5.73	40,8
	6	- Leucate		620	3.73 - 5.73	43,7
	7	- Wittsmoor		720	1.72 - 5.73	39,6
	8	- Tatsfield		740	3.73 - 5.73	37,5
	9	- Sorrento		880	1.72 - 5.73	31,7
	10	- Alger		1220	3.73 - 5.73	40,6
	11	- Porto*		1470	3.73 - 5.73	22,5
	12	- Lisbonne*		1700	3.73 - 5.73	23,5
	13	- Helsinki		1820	1.72 - 5.73	22,5
	14	- Tamanrasset		2730	4.73 - 5.73	12,9
	15	- Açores*		2940	3.73 - 5.73	15,5

$F_H'(50)$ = Annual mean of median values, corrections Δ_A , Δ_I and Δ_H not applied.
Measuring period 0115 - 0215 GMT, once a week.

* Measuring period 0100 - 0130 GMT.

Fig. 1



Field-strength measurements of Beromünster (1562 kHz)

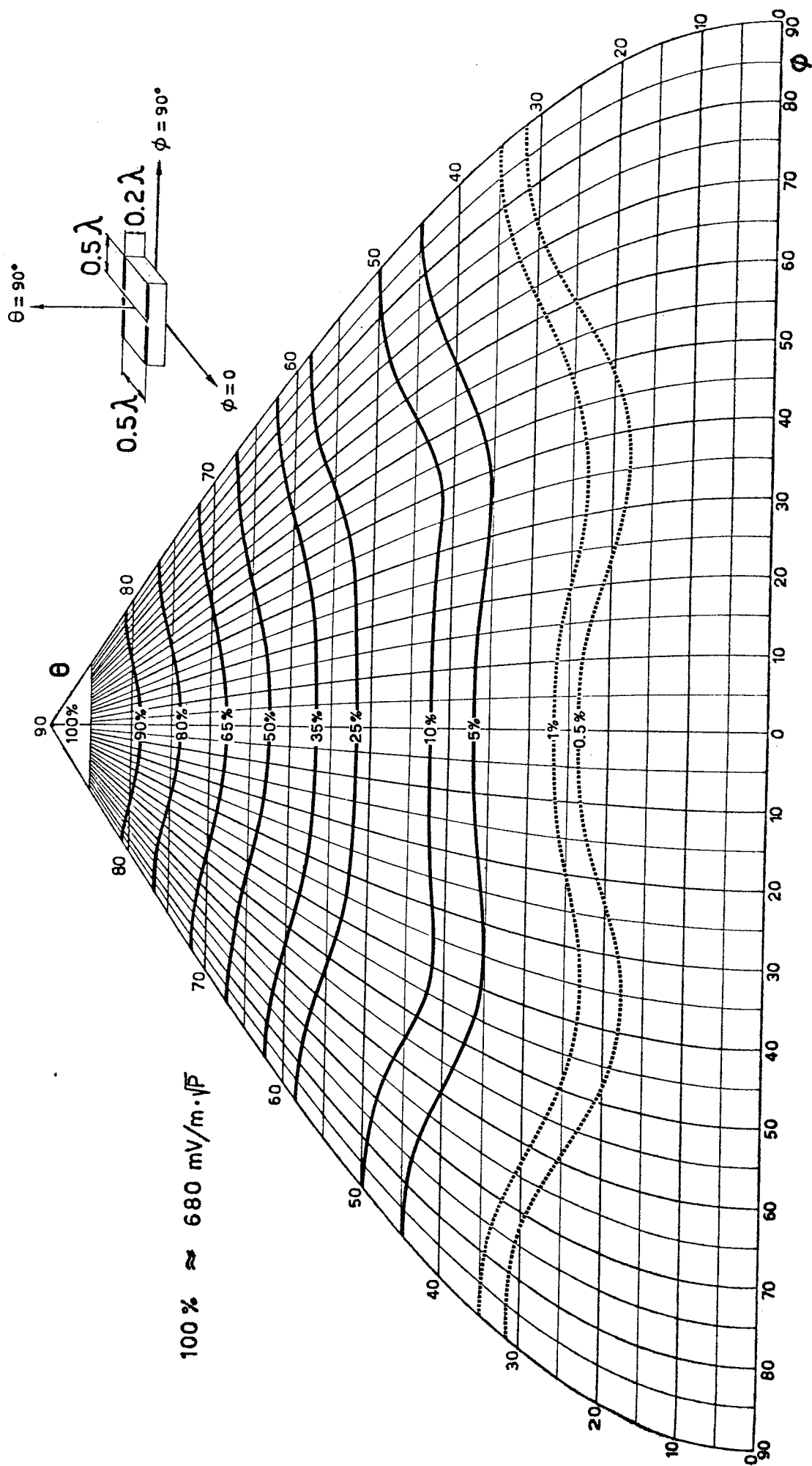


Fig. 38

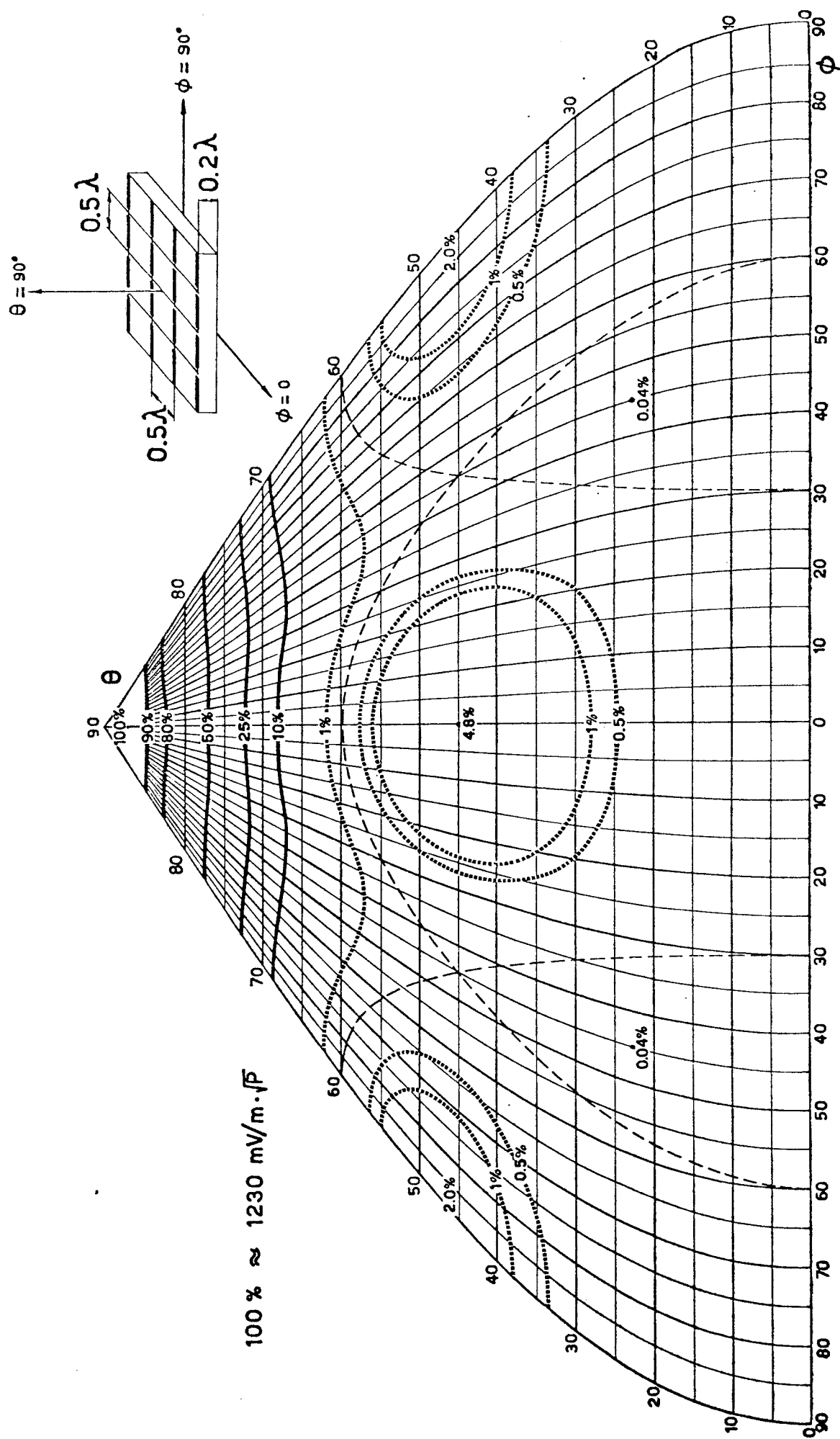


Fig. 39

Line Back / ground

H 1/1/0.25

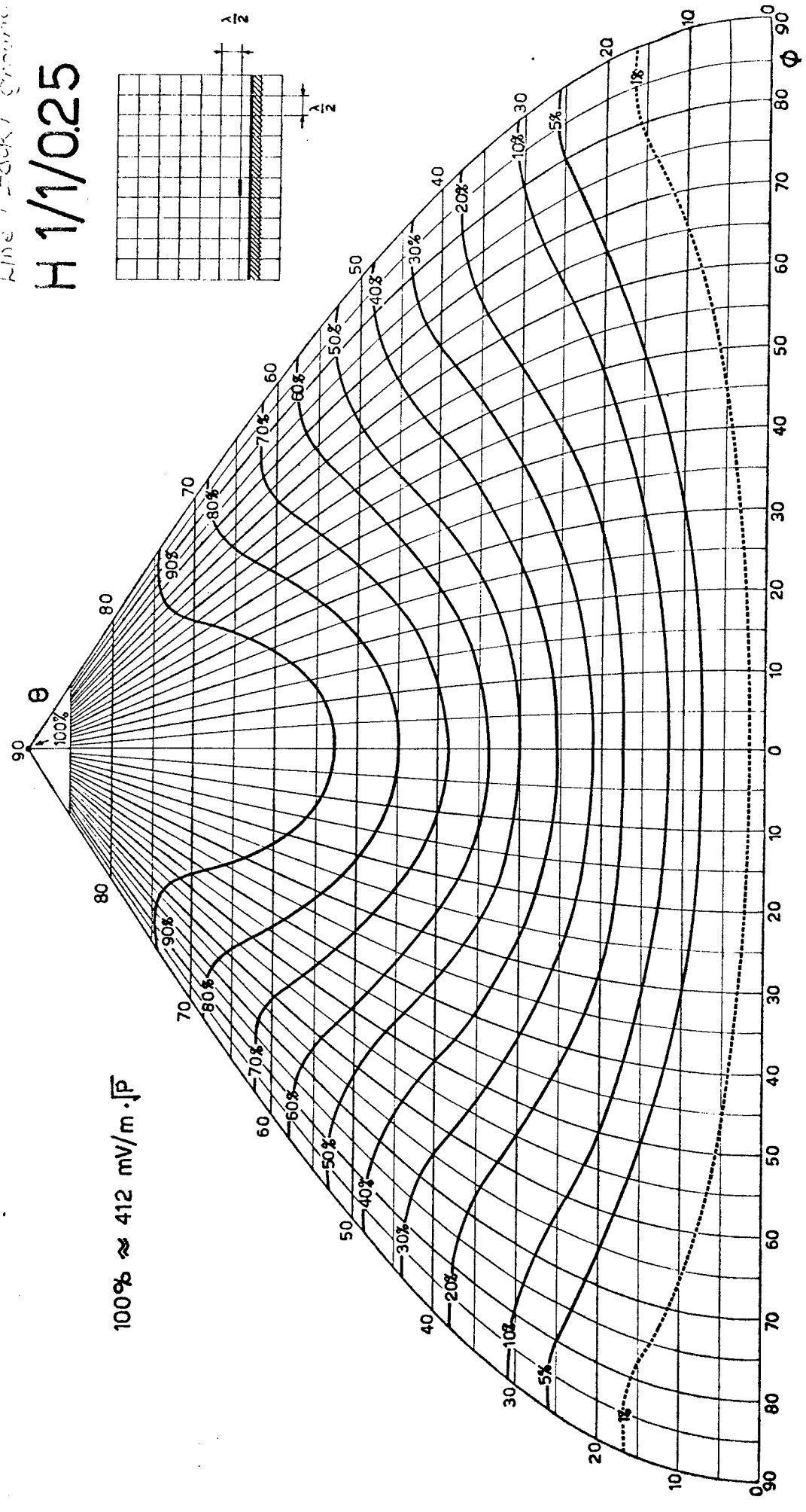
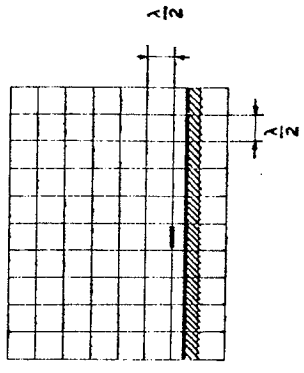


Fig. 16

