

**Erprobungsstelle
der Luftwaffe Rechlin**)

Abteilung F

Erprobungs-Nr. 38022/38017

Wellenberatung der Truppe durch die Funkberatungsstelle

2. Auflage des Heftes

»Frequenzberatung der Truppe durch die Funkberatungsstelle Rechlin«

Bearbeiter:

Dr. Rawer
Fl. Hpt. Ing. a. K.
Sachbearbeiter

Gesehen:

v. Gerlach
Hptm.
Stv. Leiter der Erprobungsstelle

Dr. Dieminger
Fl. Stabsing. a. K.
Gruppenleiter

Dr. Plendl
Fl. Ob. Stabsing.
Staatsrat u. Abt. Leiter

Rechlin, den 12. 5. 42

**Der Oberbefehlshaber
der Luftwaffe**

H. Qu., 20. 5. 1942

Chef des Nachrichtenverbindungsweſens

Abt. 3 vier A Nr. 85/42 (K)

Vorwort

Das Heft „Wellenberatung der Truppe durch die Funkberatungsstelle“ ist auf Veranlassung von Chef NVW durch die Erprobungsstelle Rechlin, Abt. F. bearbeitet.

Dieses Heft soll allen den Einsatz von Funkverbindungen bearbeitenden Stellen und den Funkoffizieren eine Übersicht über die besonderen Ausbreitungsverhältnisse geben, die bei Wellen hoher und sehr hoher Frequenz (Kurzwellen) auftreten.

Das Heft wurde zum ersten Mal im Frühjahr 1941 in beschränktem Umfange an die Truppe ausgegeben. Die seit dieser Zeit gemachten Erfahrungen sind in das vorliegende Heft eingearbeitet. Das Heft hat sich als Arbeitsunterlage für die Truppe voll bewährt.

Besondere Abschnitte dieses Heftes behandeln die bei Funkpeilungen auftretenden Schwierigkeiten und den Bau von Antennen.

Die Luftflottenkommandos (einschl. Oberbefehlshaber Süd und Lw. Befehlshaber Mitte) berichten über Erfahrungen beim Gebrauch dieses Heftes zum 31. Dezember 1942 an Chef NVW.

I. A.

Martini

Inhalt

	Seite
A. Übersicht über die physikalischen Grundlagen der Funkausbreitung	7
Einleitung	7
1. Die direkte Welle	9
2. Die Bodenwelle	10
3. Die gespiegelte Raumwelle	11
4. Die Dämpfung	15
5. Störungen und unregelmäßige Erscheinungen	17
6. Schwunderscheinungen	18
B. Praktische Anwendung auf den Funkverkehr	21
1. Ausbreitungseigenschaften der verschiedenen Wellen	21
2. Wellenwahl im Kurzwellenbereich	21
a) Allgemeine Regeln	21
b) Langfristige Übersicht	23
c) Kurzfristige Übersichten	24
d) Einzelberatungen	27
3. Verhalten bei Störungen	27
4. Einfluß der Geräte auf die Ausbreitung	41
a) Der verfügbare Wellenbereich	41
b) Die vom Sender abgestrahlte Leistung (Sendenantennen)	41
c) Die Empfindlichkeit des Empfängers	46
C. Funkpeilung und Funkortung	46
1. Peilverfahren	46
a) Rahmenpeilung	49
b) Adcockpeilung	49
2. Leitstrahlverfahren	50

A. Übersicht über die physikalischen Grundlagen der Funkausbreitung

Einleitung

Der große Vorzug der Funkverbindung als Nachrichtenmittel liegt darin, daß kein eigener Leitungsweg aufgebaut werden muß und daher Verbindungen über größte Entfernungen schnell und mit geringstem Aufwand hergestellt werden können. Die Übermittlung geschieht bekanntlich durch elektrische Wellen, die von der Antenne eines Funksenders allseitig in den Raum hinausgestrahlt werden.

Wenn man einen Stein ins Wasser wirft, beobachtet man eine ganz ähnliche Erscheinung: Die regelmäßigen Kreise der Wellen, die sich auf der Oberfläche nach allen Seiten ausbreiten. Jedes Stück der Wasseroberfläche hebt und senkt sich regelmäßig, jedoch geschieht das an verschiedenen Stellen nicht im gleichen »Takt«: Manche Stellen bilden gerade ein »Tal«, wenn andere einen »Berg« bilden. Dieser Zustand wechselt dauernd, denn die Erscheinung pflanzt sich nach außen fort. Die Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde (die Frequenz) ist jedoch an allen Stellen die gleiche. Sie wird von der Ursache der Wellen bestimmt.

Ganz ähnlich kann man sich die elektrischen Wellen vorstellen (wie sie ein Funksender ausstrahlt), nur daß hier eben nicht eine sichtbare Wasseroberfläche sich regelmäßig periodisch verändert, sondern ein unsichtbares elektrisches Feld, mit dem ein magnetisches Feld gekoppelt ist. Mit geeigneten Meßinstrumenten jedoch kann man dieses Feld feststellen und messen. Abb. 1 gibt ein anschaulich gezeichnetes Momentbild einer solchen Welle. Die Richtungen des elektrischen und magnetischen Feldes stehen aufeinander senkrecht, und die Fortpflanzung der Welle erfolgt senkrecht zu beiden.

Auch hier wird die Frequenz f von der Ursache der Wellen, nämlich dem Sender, bestimmt. Die Wellenlänge λ (der Abstand zweier Wellenberge) dagegen hängt außerdem noch von der Geschwindigkeit c ab, mit der sich die Welle ausbreitet. In einer Sekunde pflanzt sich also die Welle um c Meter fort, andererseits strahlt der Sender in dieser Zeit f Schwingungen ab; auf die Strecke c fallen also f Wellenlängen: $f \cdot \lambda = c$. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit c (in Luft und ebenso im leeren Raum) ist durch Messung bekannt, sie beträgt 300 000 km in der Sekunde; also gilt:

$$\text{Frequenz (kHz) mal Wellenlänge (m)} = 300\,000$$

Die Kennzeichnung der Wellen erfolgt jetzt allgemein durch Angabe der Frequenz in kHz (1 kHz bedeutet 1000 Schwingungen in der Sekunde); bei Ultrakurzwellen wird auch die Einheit MHz benutzt (1 MHz = 1000 kHz = 1 000 000 Schwingungen in der Sekunde).

Im gezeichneten Beispiel schwingt das elektrische Feld der Welle in einer senkrechten Ebene. Je nach Anordnung der Sendeantenne erhält man aber auch elektrische Wellen mit waagerechter oder schräger elektrischer Feldrichtung (ja sogar solche, bei denen die Richtung des Feldes sich dauernd dreht). Man kann sich das am Beispiel der Schwingungsmöglichkeiten eines gespannten Seiles oder einer Saite leicht anschaulich klar machen. (Bei Wasserwellen dagegen gibt es nur eine mögliche Schwingungsrichtung, die senkrechte.)

Für die elektrischen Wellen gibt es sehr empfindliche »Empfänger«, die die wertvolle Eigenschaft haben, daß man sie auf eine bestimmte Frequenz »abstimmen« kann und daß sie dann nur

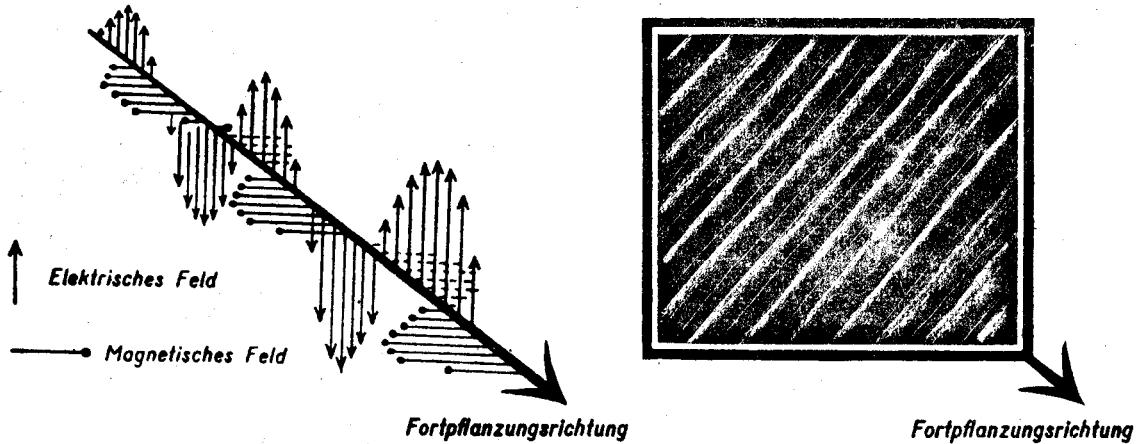
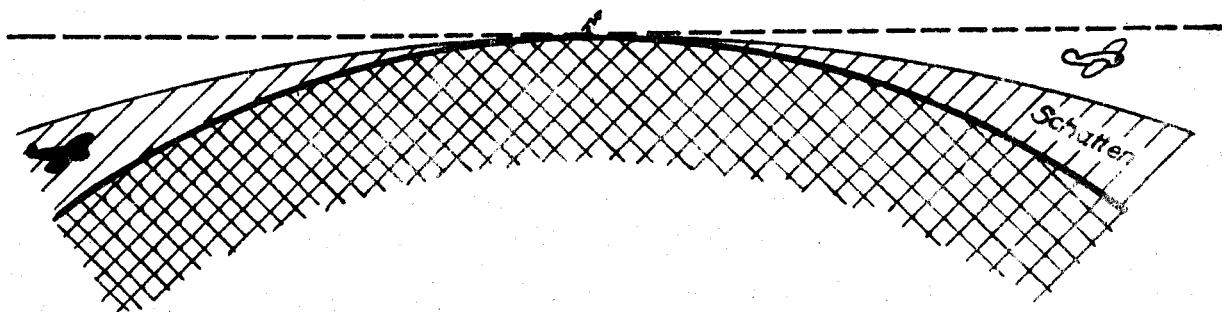
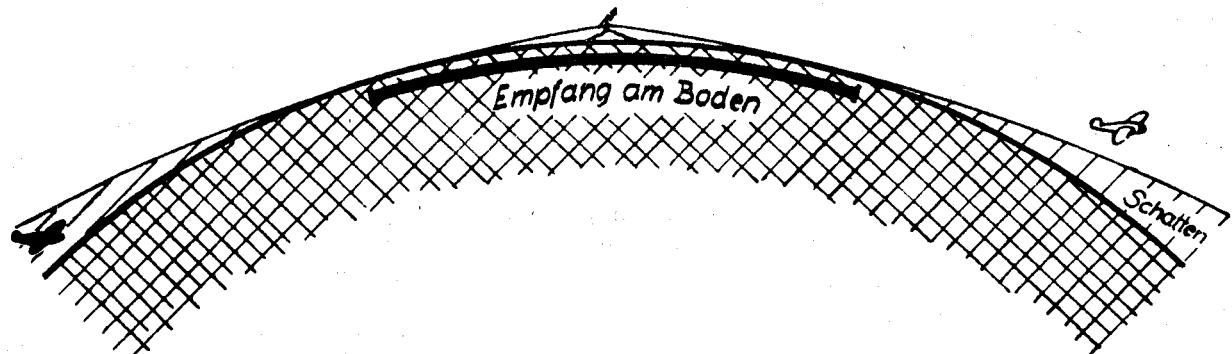


Abb. 1
Elektrische Welle (und Wasserwelle zum Vergleich)

Sender am Boden



Sender über dem Boden



Sender und Empfänger über dem Boden

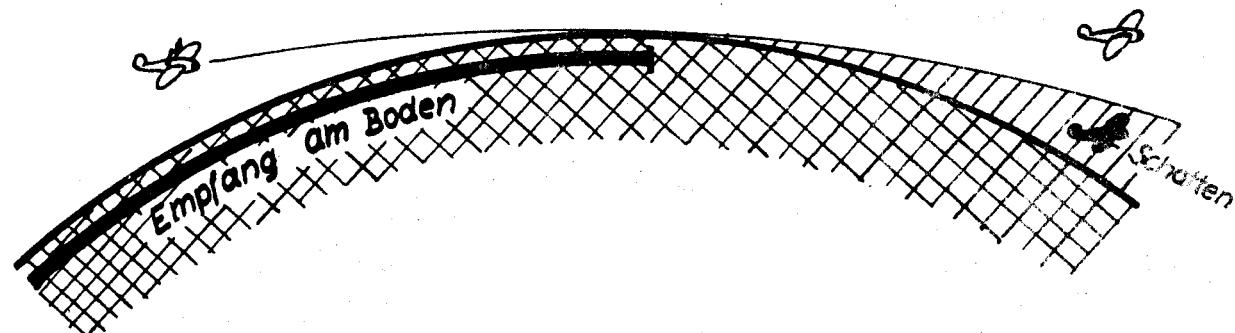


Abb. 2
Empfangsmöglichkeit der direkten Welle

auf elektrische Wellen dieser Frequenz ansprechen. Dadurch erst ergibt sich die Möglichkeit, durch Benutzung verschiedener Wellen sehr viele verschiedene drahtlose Nachrichtenwege zu verwirklichen.

Man unterscheidet die elektrischen Wellen also nach der Frequenz und teilt sie üblicherweise ein in:

- Langwellen (15 bis 300 kHz),
- Mittelwellen (300 bis 1500 kHz),
- Kurzwellen (1500 bis 30 000 kHz),
- Ultrakurzwellen (30 000 bis 300 000 kHz).

Für die Ausbreitung der elektrischen Wellen kommen folgende Wege in Frage:

1. Direkte Welle,
2. Bodenwelle,
3. Gespiegelte Raumwelle.

Grundsätzlich bestehen für alle genannten Wellen diese 3 Ausbreitungswege, jedoch ist deren Bedeutung, Reichweite und Erscheinung für die einzelnen Gruppen sehr verschieden. Im folgenden wird die Ausbreitung der Kurzwellen besonders eingehend erläutert, weil bei diesen die Erscheinungen besonders verwickelt sind und deren Kenntnis für ihren Einsatz besonders wichtig ist.

1. Die direkte Welle

Von der Sendeantenne breiten sich die elektrischen Wellen zunächst nach allen Seiten in gerader Richtung aus. Dabei sinkt die Feldstärke mit wachsendem Abstand vom Sender, weil die Welle sich auf ein größeres Gebiet verteilt; die heutigen Empfänger sind jedoch so empfindlich, daß bei nicht allzu schwachen Sendern erst in sehr großer Entfernung der Empfang aussetzen würde. Wenn sich also zwischen Sende- und Empfangsantenne kein für die Wellen undurchlässiger Gegenstand befindet, kann man sicher mit Empfang rechnen; man nennt den Bereich, für den das erfüllt ist, den »Bereich der optischen Sicht«. Wolken und Nebel sind für die hier interessierenden Wellen durchlässig; der Bereich der optischen Sicht umfaßt also alles, was man bei klarem Himmel von der Sendeantenne aus sehen kann.

Wäre die Erde eben, so könnte diese direkte Welle jeden Ort auf und über dem Boden erreichen. Da die Erde aber Kugelgestalt hat, lösen sich die Wellen von ihr ab und erreichen nur einen kleinen Bereich auf dem Boden; er ist um so größer, je höher die Sendeantenne über der Erde liegt. Empfang von Flugzeugsendern erfolgt daher in weitem Umkreis durch die direkte Welle. Liegt umgekehrt der Empfänger entsprechend hoch über der Erde, so wird auch von einem Sender am Boden noch in größerer Entfernung die direkte Welle empfangen. Besonders große Reichweite der direkten Welle hat man daher im Bord-zu-Bord-Verkehr, wo sich Sender und Empfänger hoch über dem Boden befinden (Abb. 2).

Bei 6000 m Flughöhe ergibt sich so eine Bord-Boden-Reichweite von 270 km, eine Bord-Bord-Reichweite von 540 km. Tatsächlich beobachtet man, wie in folgendem erklärt, etwas größere Reichweiten, und zwar etwa 340 bzw. 680 km.

Bei den Ultrakurzwellen ist die Reichweite der direkten Welle von besonderer Bedeutung, weil dies ihre hauptsächliche Ausbreitungsart ist. Es hat sich ergeben, daß die Ausbreitung in der Atmosphäre nicht ganz geradlinig erfolgt, sondern die Strahlen etwas nach unten gekrümmmt sind. Infolge der nach oben abnehmenden Dichte der Luft erfolgt eine geringe Brechung in der Atmosphäre, die diese Krümmung hervorruft. Dadurch wird die Reichweite der direkten Welle etwas größer, als sie bei genau geradlinigem Strahlenverlauf wäre. Die Brechung und damit die erzielten Reichweiten hängen etwas vom Wetter (Wasserdampfgehalt der Luft) ab. Mittlere Reichweiten im Bord-Boden-Verkehr abhängig von der Flughöhe gibt Abb. 3.

Wenn man über die Reichweite hinausfliegt, kommt man in den »Erdschatten« des Senders. Der Empfang reißt dann zwar nicht plötzlich ab (der Schatten ist etwas unscharf), aber das Übergangsgebiet ist nicht besonders groß. Deshalb bringt Leistungssteigerung keine wesentliche Reichweitenerhöhung für Ultrakurzwellen.

Die Unschärfe des Schattens ist eine Randwirkung, die ähnlich auch in der Optik auftritt und dort Beugung genannt wird. Bei besonders schwachem Sender und sehr ungünstigen Empfangsverhältnissen kann der Fall eintreten, daß schon im Bereich der optischen Sicht die Feldstärke nicht mehr ganz ausreicht; dann selbstverständlich bringt Leistungssteigerung eine Verbesserung.

Die begrenzte Reichweite der direkten Welle, die für Ultrakurzwellen meist die Ausbreitung allein bestimmt, hat den taktischen Vorzug, daß das Gebiet, in dem ein Verkehr abgehört werden kann, viel kleiner und übersichtlicher ist als etwa bei Kurzwellen. Wo man mit Ultrakurzwellen sicher auskommen kann, haben diese daher vor den Kurzwellen den Vorzug.

Als gelegentliche Ausnahme von diesem Verhalten der Ultrakurzwellen tritt an manchen Wintertagen auf größte Entferungen (3000 km und mehr) Empfang (durch Spiegelung an der F-Schicht, siehe Abschnitt 3) auf und anderseits unregelmäßig und vor allem im Sommer kurzzeitiger Empfang auf 1000 bis 2000 km (durch abnormale E-Schicht, siehe Abschnitt 5). Bei den für diese Wellen üblichen Leistungen sind das jedoch seltne Ausnahmen.

Bei Kurzwellen sind die andern Ausbreitungsarten im allgemeinen weit wichtiger. Bei Verbindungen mit Flugzeugen ist jedoch zu beachten, daß man im Bereich der Ultrakurzwellenreichweite auch mit sicherer Kurzwellenverbindung rechnen kann. Zur Verbindung mit hochfliegenden Flugzeugen innerhalb der UKW-Reichweite sind daher Kurzwellen aller Frequenzen brauchbar.

Es ist allerdings gefährlich, etwa die taktische Welle so zu wählen, daß sie nur bei großer Flughöhe Verbindung ermöglicht. Es besteht dann die Gefahr des Abreißens der Kurzwellenverbindung, sobald die Maschine Höhe verliert. Man wird sich deshalb bei der Wellenwahl für größere Entferungen nicht auf die direkte Welle allein stützen.

2. Die Bodenwelle

Ein Teil der von einem Sender horizontal über den Erdboden abgestrahlten elektrischen Welle löst sich nicht als direkte Welle vom Boden, sondern läuft dem Boden entlang weiter. Diese sogenannte »Bodenwelle« folgt der Erdkrümmung, sie gelangt daher am Boden in den »Schattenraum« der direkten Welle, jedoch wird sie auf ihrem Weg mehr und mehr vom Boden verschluckt, so daß mit wachsender Entfernung die Lautstärke absinkt. Der Betrag dieses Absinkens ist nun je nach der Welle sehr verschieden. Wellen niedriger Frequenz erleiden nur geringe Bodendämpfung, haben also große Reichweite der Bodenwelle, bei Wellen hoher Frequenz ist die Bodendämpfung groß, also die Reichweite der Bodenwelle klein. Die Unterschiede zwischen den Wellengruppen sind äußerst groß, bei Langwellen umspannt die Bodenwelle u. U. fast die ganze Erde, bei Ultrakurzwellen ist sie praktisch bedeutungslos.

Im Boden gibt es elektrische Ladungen, die von der elektrischen Welle in Schwingung versetzt werden. Diese Schwingung wird aber durch Reibung abgebremst. Damit verliert die Welle an Energie, da sie ja für die Reibungsarbeit aufkommen muß. Diese Reibungsarbeit ist bei rascher Schwingung größer als bei langsamer, daher für Wellen höherer Frequenz größer als für solche niedriger und hängt außerdem etwas von der Bodenbeschaffenheit ab. Für Seewasser ist sie besonders klein, weshalb man über See erheblich größere Reichweiten der Bodenwelle hat.

Die in Abb. 4 angegebenen Reichweiten sind als günstigste Werte anzusehen, die nur bei besonders guter Antenne erreichbar sind. Die Werte »über Land« gelten für sehr günstigen, feuchten und ebenen Boden; bei trockenem Boden, erst recht in Gebirgen, sind die erzielbaren Reichweiten erheblich geringer. Die Leistungsangabe bezieht sich auf »von der Antenne abgestrahlte Leistung«; bei Langwellen ist diese (wegen der erheblichen Verluste) meist weit geringer als die Nennleistung des Senders (vgl. Seite 45).

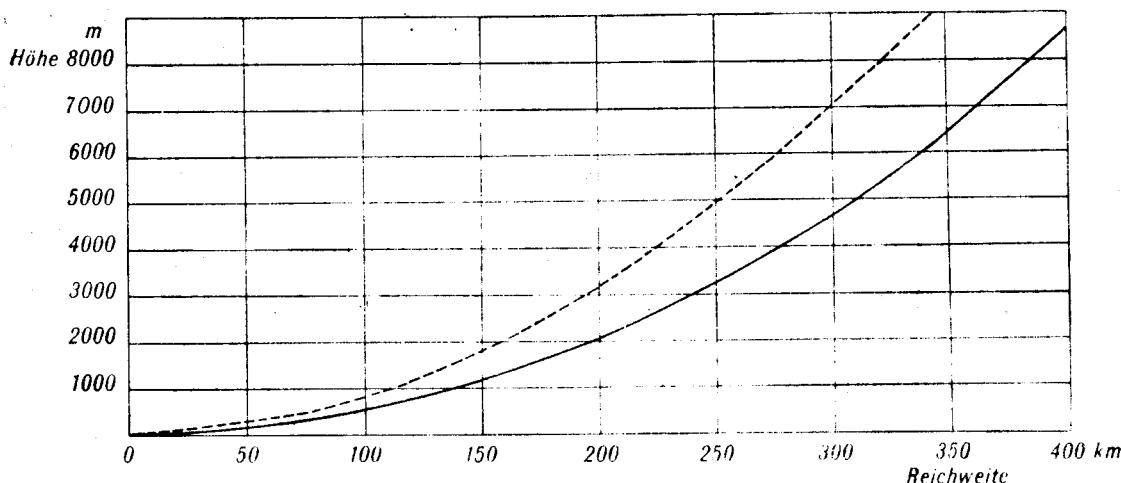


Abb. 3

Reichweite der direkten Welle, abhängig von der Flughöhe
(mittlere Erfahrungswerte ausgezogen, ohne Breebung errechnete Werte gestrichelt)

Bei Wellen bis zu 1000 kHz hat man bei starken Sendern Reichweiten der Bodenwelle von mehreren hundert Kilometern. Man benutzt dann im allgemeinen den Bereich der Bodenwelle. Bei Kurzwellen dagegen reicht die Bodenwelle nur noch etwa 30 bis 100 km weit. Die Kurzwellen hätten somit wenig praktische Bedeutung, wenn es für sie nicht noch andere Ausbreitungsmöglichkeiten gäbe.

3. Die gespiegelte Raumwelle

Den Teil der Strahlung, der in den Raum oberhalb der Antenne abgestrahlt wird, nennt man Raumwelle. Diese Raumwelle hat nun unter Umständen die Möglichkeit, wieder zur Erde zurück zu gelangen. Es kann nämlich in hohen Schichten der Atmosphäre eine Spiegelung der Raumwelle auftreten, und dadurch ist eine Überwindung der Erdkrümmung und die Erzielung sehr großer Reichweiten möglich (dadurch, daß schräg nach oben abgestrahlte Wellen nach der Spiegelung in größerer Entfernung vom Sender den Erdboden wieder erreichen).

Und zwar gibt es 2 Schichten in der höchsten Atmosphäre, die die Raumwelle unter Umständen auf die Erde zurückspiegeln. Durch Spiegelung an diesen wird es möglich, mit Kurzwellen größte Entfernung zu überbrücken. Man kann sich diese spiegelnden Schichten etwa wie 2 Wolkendecken übereinander vorstellen (jedoch unsichtbar, weil sie das Licht nicht beeinflussen). Die untere Schicht heißt E-Schicht, sie liegt etwa 100 km über dem Erdboden. Die obere Schicht heißt F-Schicht und liegt wechselnd 250 bis 400 km hoch. Solche Höhen liegen weit über den bisher von Menschen erreichten (etwa 25 km). Die Forschung hat gezeigt, daß in diesen Höhen die Sonnenstrahlung die Luft so verändert, daß sie für Kurzwellen etwa wie ein Spiegel wirkt. Man nennt die ganze Region dieser Schichten Ionosphäre.

Das ultraviolette Sonnenlicht spaltet in diesen Höhen von den kleinsten Luftteilchen (den Molekülen) negative elektrische Ladungen (die Elektronen) ab. Man nennt freie elektrische Ladungen allgemein Ionen, daher der Name Ionosphäre. Der Luftdruck in der Ionosphäre ist sehr niedrig, es ist also die Dichte der Luftmoleküle sehr gering (in der F-Schicht ist sie fast so gering wie in einer Verstärkerröhre, die man gewöhnlich »luftleer« nennt) (Abb. 9).

Wenn nun eine elektrische Welle in die Ionosphäre gelangt, so bringt ihr wechselndes elektrisches Feld die Elektronen zum Mitschwingen. Diese schwingenden Elektronen wirken aber wie lauter kleine Sender, die Wellen der gleichen Frequenz, jedoch nicht im gleichen Takt, ausstrahlen. Diese zusätzlichen elektrischen Wellen verändern die ursprüngliche Welle so, daß sie sich zurückbiegt. Die Krümmung ist so stark, daß sie praktisch auf eine Spiegelung hinauskommt (Abb. 5). Allerdings kann die Schwingungsrichtung der Welle dabei beträchtlich verdreht werden.

Die Spiegelfähigkeit der beiden Ionosphärenschichten ist abhängig von der Sonnenbestrahlung und daher bei Tag anders (und zwar besser) als bei Nacht, außerdem nach Jahreszeiten sehr verschieden und sogar nach einzelnen Jahren, da ein Teil der Sonnenstrahlung sich noch im Lauf der Jahre beträchtlich verändert. Dagegen ist die Spiegelfähigkeit nicht ursächlich abhängig vom Wetter, weil dieses nur die unteren Schichten der Atmosphäre (bis 15 km Höhe) beeinflußt.

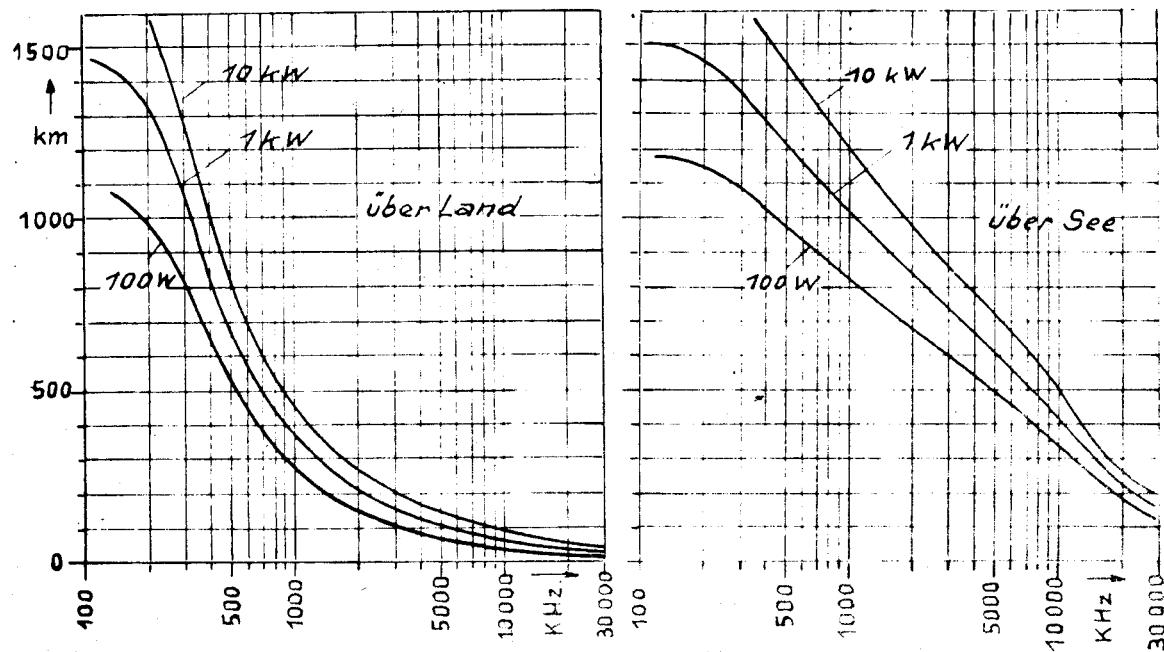


Abb. 4

Reichweite der Bodenwelle

Ausbreitung ohne tote Zone bei verhältnismäßig niedriger Frequenz

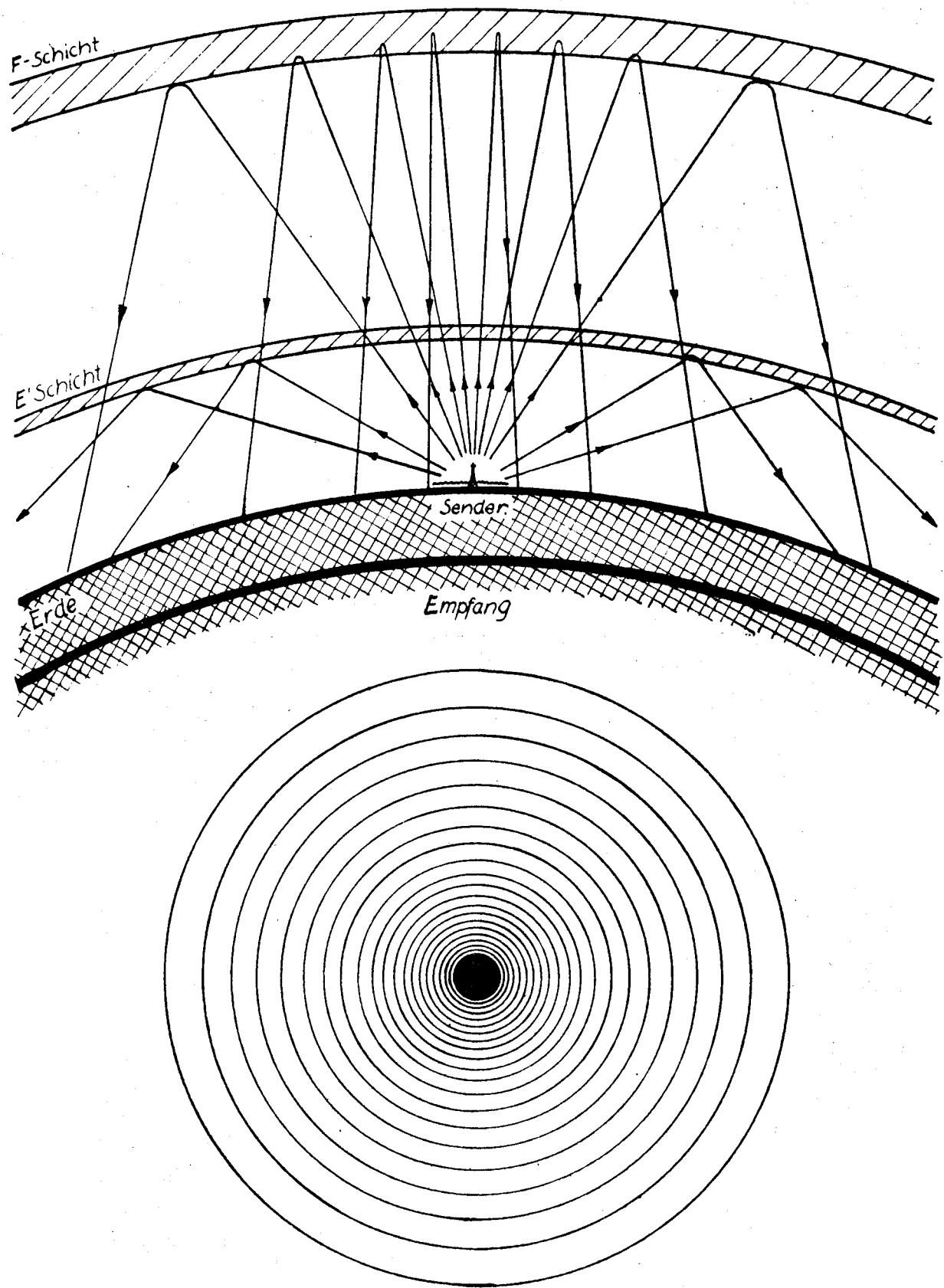


Abb. 5

Ausbreitung ohne tote Zone bei verhältnismäßig niedriger Frequenz

Ausbreitung mit toter Zone bei höherer Frequenz

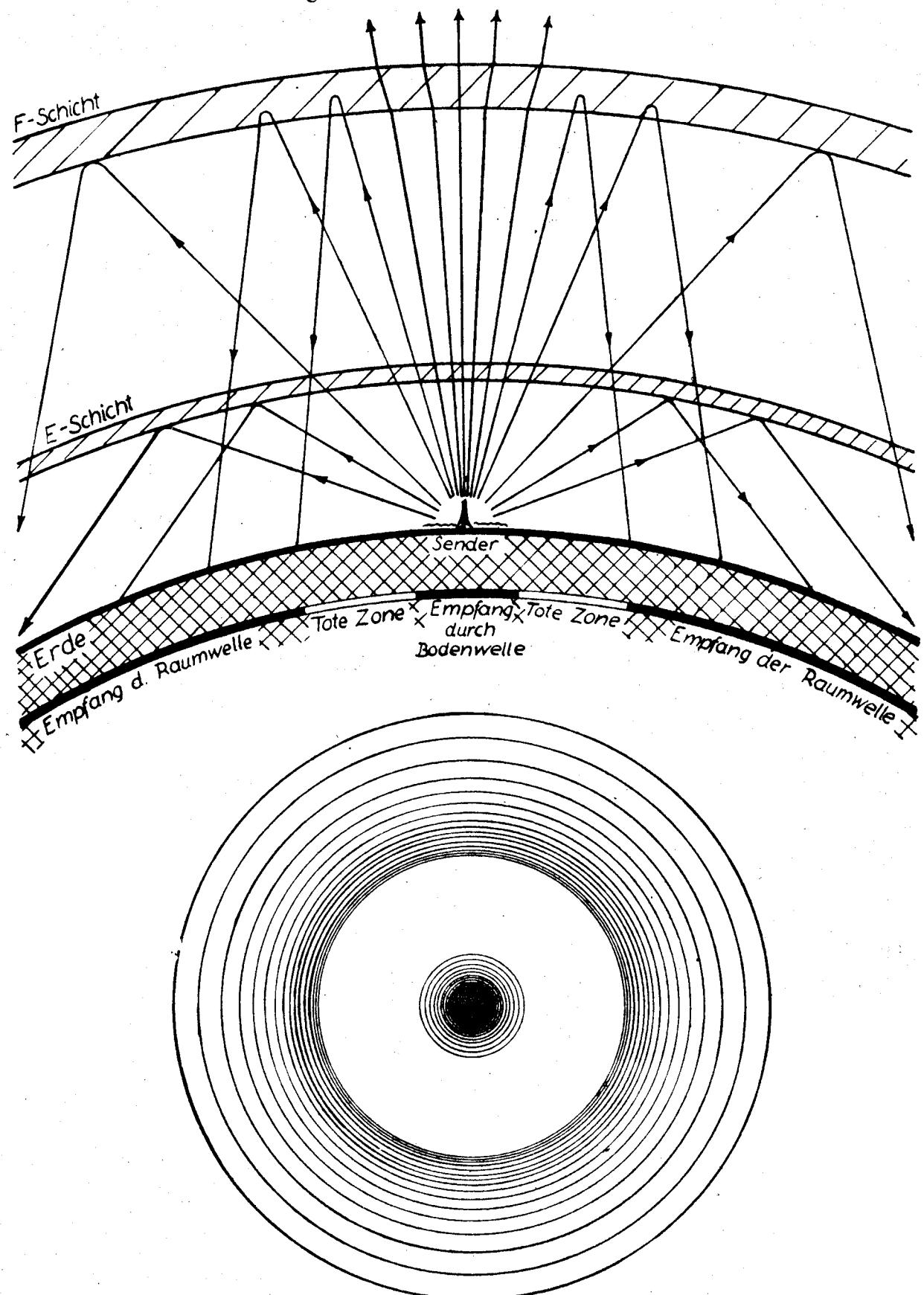


Abb. 6
Ausbreitung mit toter Zone bei höherer Frequenz

Die Spiegelfähigkeit ist um so besser, je dichter die Elektronen in der Ionosphäre sind, also je stärker die Sonnenbestrahlung ist. Die Stärke der Sonneneinstrahlung in die Ionosphäre ist nun von der Höhe der Sonne über dem Horizont abhängig. Deshalb ist der Zustand der Ionosphäre bei Tag und bei Nacht, im Sommer und im Winter, verschieden, aber auch verschieden nach der geographischen Breite. Die untere Schicht (E-Schicht) folgt im allgemeinen unmittelbar dem Sonnenstand, sie besteht also hauptsächlich am Tage. Die obere Schicht (F-Schicht) dagegen spiegelt auch nachts noch recht gut, weil das Verschwinden der freien Elektronen (durch Wiedervereinigung mit den ehemaligen Molekülen) dort sehr langsam geschieht. Schließlich wechselt die ultraviolette Sonnenstrahlung, je nachdem es viele oder wenige Sonnenflecken (dunklere Stellen auf der Sonnenscheibe) gibt, und deren Zahl schwankt in einem Rhythmus von 11 Jahren. Übrigens zeigen sehr viele irdische Erscheinungen (etwa auch das Wetter) diesen 11jährigen Rhythmus, eben weil die Sonnenstrahlung auf vieles einen gewissen Einfluß hat. Die derzeitige Periode hat 1933/34 mit einer Mindestzahl von Flecken begonnen, hat 1937/38 die Höchstzahl erreicht und wird etwa 1944 wieder bei einer Mindestzahl anlangen. Infolgedessen verschiebt sich zur Zeit der brauchbare Wellenbereich von Jahr zu Jahr nach niedrigeren Frequenzen zu.

Weiter hängt die Spiegelfähigkeit vom Winkel ab, unter dem die Wellen auf die Schicht treffen. Bei flachem Einfall reicht schon eine geringe Krümmung des Strahls aus, ihn nach unten abzubiegen, bei steilerem ist eine größere Krümmung erforderlich. Unter flachem Winkel einfallende Wellen werden also leichter gespiegelt als steil einfallende. Andererseits ist nun der krümmende Einfluß der Schicht auf die Wellen um so geringer, je höher die Frequenz ist. Daher reicht ihr Einfluß nicht bei allen Wellen aus, sie nach unten durchzubiegen, also zu spiegeln. Vielmehr gibt es für eine feste Entfernung von Sender und Empfänger (wenn also der Winkel nicht geändert wird) für jede der beiden Schichten eine ganz bestimmte Frequenz, die gerade noch gespiegelt wird. Wellen höherer Frequenz gehen ungehindert durch die Schicht durch, aber alle mit niedrigerer werden gespiegelt. Die Grenze zwischen diesen beiden Frequenzbereichen wird **Grenzfrequenz**, gelegentlich auch obere Grenzfrequenz genannt. Wird die Entfernung größer (fallen also die Wellen flacher auf die Schicht), so hat man eine höhere Grenzfrequenz. Es sind daher für größere Entfernung im allgemeinen Wellen höherer Frequenz brauchbar als für kleine.

Besonders wichtig ist die Grenzfrequenz, die man für die senkrecht nach oben abgestrahlte Raumwelle erhält. Bei Wellen, deren Frequenz geringer ist als diese Grenzfrequenz, kann man in jeder Entfernung vom Sender mit gespiegelter Raumwelle rechnen (Abb. 5); arbeitet man jedoch mit Wellen höherer Frequenz, so fällt erst von einer »Sprungentfernung« ab die Welle so flach auf die Schicht, daß Spiegelung erfolgt und die Raumwelle dann wieder zur Erde gelangt. Es gibt dann um den Sender herum ein enges Gebiet, in dem nur die Bodenwelle Empfang ermöglicht; dann kommt eine Ringzone, in die weder Bodenwelle noch Raumwelle gelangen (weil die Raumwelle noch nicht flach genug einfällt). Diese Ringzone heißt **tote Zone**, sie reicht bis zur Sprungentfernung der Raumwelle. Erst jenseits dieser Zone ist wieder Empfang durch die gespiegelte Raumwelle möglich (Abb. 6). Da die Spiegelfähigkeit der Schichten von der Senderleistung nicht abhängig ist, kann man durch Leistungssteigerung an dieser Grenze nichts ändern, nur Wellenwechsel schafft Abhilfe, wenn man innerhalb der toten Zone liegt.

Die untere spiegelnde Schicht (E-Schicht) ist nur am Tage mit Regelmäßigkeit vorhanden; sie hat (bei gleichem Einfallswinkel) normalerweise erheblich niedrigere Grenzfrequenz als die obere Schicht (F-Schicht). Auf eine feste Entfernung werden also nur die Wellen niederer Frequenzen an der E-Schicht gespiegelt, Wellen höherer Frequenz gehen durch die E-Schicht ohne wesentliche Einwirkung durch, gelangen also bis zur F-Schicht und werden dort gespiegelt. Wellen mit noch höherer Frequenz gehen durch beide Schichten durch, werden also überhaupt nicht zur Erde zurückgespiegelt.

Genau genommen gibt es zwischen den zuerst genannten Wellenbereichen noch einen oft breiten Zwischenbereich, in dem sowohl an der unteren wie an der oberen Schicht Spiegelung erfolgt. Das röhrt daher, daß bei fester Entfernung sich verschiedene Einfallswinkel (wegen der verschiedenen Schichthöhen) für Spiegelung an der E- und der F-Schicht ergeben (siehe Abb. 9). Die zur F-Schicht gehende Welle trifft die E-Schicht steiler, kann sie daher noch durchdringen, während die für die Spiegelung an der E-Schicht in Frage kommende Welle diese so flach trifft, daß sie an ihr gespiegelt wird.

Betrachtet man also, wie in Abb. 5 und 6 dargestellt, die von einem Sender unter verschiedenen Erhebungswinkeln abgehenden Wellen, so werden im allgemeinen Fall die steileren die E-Schicht durchdringen und, wenn überhaupt, an der F-Schicht gespiegelt werden, die flacheren jedoch werden an der E-Schicht gespiegelt. Dementsprechend spielt Spiegelung an der E-Schicht vor allem auf mittlere Entfernung eine Rolle.

Die Grenzfrequenz ändert sich fortwährend unter dem Einfluß des wechselnden Standes der Sonne. Der Tagesgang der Grenzfrequenz für die (meist wichtigere) F-Schicht ist im Winter sehr ausgeprägt (Grenzfrequenz am Tage hoch, um Mittag am höchsten, in der Nacht niedrig, am niedrigsten vor Sonnenaufgang); im Sommer ist der Verlauf ausgeglichener (Grenzfrequenz nachts etwas niedriger als am Tage). Die Erklärung dieses jahreszeitlichen Verhaltens ist im einzelnen schwierig, da außer dem tagesszeitlich verschiedenen Einfluß der Sonnenbestrahlung auch andere Ursachen den Zustand der Ionosphäre beeinflussen (vgl. Abb. 12).

Dementsprechend ist bei einer festen Welle die tote Zone am größten in den Winternächten, in den Sommernächten erheblich kleiner und tagsüber am kleinsten, oder sie verschwindet auch ganz. Wenn der Empfang dadurch aussetzt, daß der Empfangsort in die sich erweiternde tote Zone gerät, spricht man vom »Durchgehen der Wellen. Bei Wellen von 3000 bis 6000 kHz tritt im allgemeinen nur nachts eine tote Zone auf, bei Wellen um 3000 kHz normalerweise nur in Winternächten, bei Wellen mit Frequenzen unter 2500 kHz gibt es nur in seltenen Fällen eine tote Zone.

Bei sehr großen Entferungen (über 3500 km bei F-Übertragung, über 1800 km bei E-Übertragung) macht die Kugelgestalt der Erde eine Verbindung mit Hilfe einer einzigen Spiegelung unmöglich, da die Abstrahlung des Senders höchstens horizontal erfolgen kann (Abb. 7). Sehr große Entferungen werden jedoch durch mehrfache Spiegelung an Ionosphäre und Erde abwechselnd erreicht, wie Abb. 7 zeigt (denn auch die Erde wirkt als Spiegel für die Kurzwellen). Bei solch mehrfacher Spiegelung wird der Winkel, unter dem die Wellen auf die Schicht treffen, natürlich nie kleiner, als er bei einfacher Spiegelung und horizontaler Abstrahlung des Senders wird. Daher wird auch die Grenzfrequenz nicht größer als für diesen Fall.

Man pflegt die Grenzfrequenz (für senrektes Auftreffen der Wellen) und die Höhe über der Erde für jede Schicht nach einem Verfahren zu messen, das der Echolotung in der Meeresforschung ähnlich ist.

Sender und Empfänger stehen nebeneinander, man tastet den Sender ganz kurzzeitig (etwa $1/10000$ sec. lang) und erhält dieses Zeichen fast gleichzeitig durch die Bodenwelle im Empfänger. Wenn die Frequenz geeignet liegt, kommt etwas später (etwa $1/1000$ sec.) ein Echozeichen im Empfänger an, das vom Sender zur Ionosphäre lief, dort gespiegelt wurde und wieder zum Empfänger zurückkam. Man ändert nun laufend die Frequenz, beginnend mit hohen Frequenzen, die nicht von der Ionosphäre gespiegelt werden. Sobald die Grenzfrequenz erreicht ist, tritt ein Echo auf, das dann auch bei niedrigeren Frequenzen bleibt. Mit modernen Hilfsmitteln kann man leicht die Laufzeit des Echoes bestimmen und damit die Höhe der spiegelnden Schicht. Aus der so beobachteten Grenzfrequenz f_0 für senrektes Auftreffen auf die Schicht ist die Grenzfrequenz f_z für eine bestimmte Entfernung z leicht zu berechnen.

Es ist nämlich einfach: f_z gleich $f_0/\cos \alpha$ (wobei α der Winkel des Strahls gegen das Lot ist).

4. Die Dämpfung

Man könnte aus den vorstehenden Ausführungen schließen, daß (für eine bestimmte Strecke zu bestimmter Zeit) mit Wellen aller Frequenzen unterhalb der Grenzfrequenz Verbindung mit Hilfe der gespiegelten Raumwelle möglich sei. Das ist jedoch nicht der Fall, der brauchbare Frequenzbereich ist, am Tage wenigstens, auch nach unten begrenzt. Jedoch gibt es keine bestimmte »untere Grenzfrequenz«; es wird nur die Lautstärke immer geringer, wenn man zu Wellen niederer Frequenz übergeht, bis sie schließlich unter den Störpegel sinkt und deshalb kein brauchbarer Empfang mehr möglich ist. (Von den, bei Verwendung von Kurzwellen kleinen, Entferungen, die mit der Bodenwelle allein überbrückt werden, wird hier abgesehen.)

Diese Beobachtung erklärt sich dadurch, daß es unterhalb der beiden bisher erwähnten Schichten in vermutlich etwa 60 bis 80 km Höhe noch eine Schicht gibt, die sogenannte D-Schicht, in der die elektrischen Wellen gedämpft, d. h. geschwächt, werden. Auf dem Weg zur spiegelnden E- oder F-Schicht und zurück zur Erde muß die Raumwelle durch diese D-Schicht hindurch und verliert jedesmal beträchtlich an Feldstärke. Die Dämpfung ist für Wellen niederer Frequenz sehr viel stärker als für solche höherer Frequenz.

Die Wirkung der D-Schicht auf die elektrischen Wellen ist ähnlich der eines schweren Vorhangs auf Schallwellen; die Schallwelle verliert beim Durchgang durch den Vorhang an Energie, weil dessen Fäden mitschwingen und dabei durch Reibung abgebremst werden; damit ist die in Reibung umgesetzte Energie der Schallwelle entzogen.

Einfache und mehrfache Spiegelung

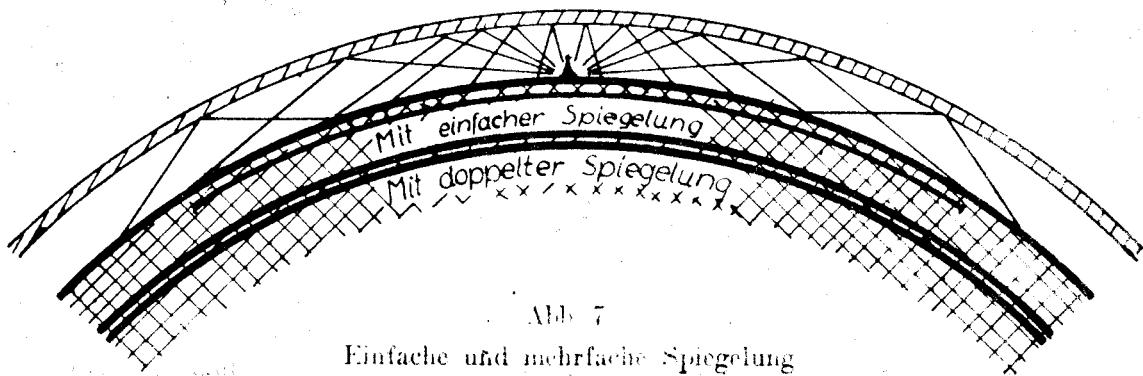


Abb. 7

Einfache und mehrfache Spiegelung

Die Dämpfung in der D-Schicht beruht auf der Anwesenheit von Elektronen (oder andern Ionen), die unter dem Einfluß der Welle zum Mitschwingen kommen, genau so, wie das in den zwei oberen Schichten geschieht. Es ist jedoch in der Höhe der D-Schicht der Luftdruck wesentlich höher als in der E- und F-Schicht (Abb. 9). Die **Luftmoleküle sind also zahlreicher**, und ein beträchtlicher Teil der ins Schwingen gebrachten Elektronen wird durch einen Zusammenstoß mit einem Luftmolekül abgestoppt. Damit ist aber die in die Schwingung hineingesteckte Energie verloren und der Welle entzogen. Die Elektronen der D-Schicht verursachen also kaum mehr zusätzliche Wellen und damit eine Spiegelung (wie die der oberen Schichten), sondern bewirken lediglich eine Dämpfung.

Die Dämpfung ist um so größer, einen je längeren Weg die Welle in der D-Schicht zurücklegt; bei Verbindung auf große Entfernung durchsetzt die Welle die D-Schicht unter flachem Winkel und erleidet daher große Dämpfung. Demnach gibt es nach niedrigen Frequenzen zu keine so scharfe Grenzfrequenz wie nach höheren zu. Die niedrigste noch brauchbare Frequenz hängt daher nicht nur von Entfernung, Tages- und Jahreszeit, sondern auch von Senderleistung und Empfängerempfindlichkeit ab. Durch Leistungserhöhung, auch durch Richtantenne, kann man sie beträchtlich nach unten verschieben. Diese niedrigste Frequenz wird hier **Dämpfungsgrenze** genannt. Auch der Zustand der dämpfenden Schicht wird durch den Einfluß der Sonnenstrahlung hervorgerufen und ist daher von Tages- und Jahreszeiten stark abhängig. Die stärkste Dämpfung tritt im Sommer mittags auf, während der Nacht ist die Dämpfung überhaupt sehr gering.

Die Bestimmung der Dämpfungsgrenze für die Beratung eines vorgegebenen Falles geschieht rechnerisch, als Unterlage dienen Feldstärkemessungen verschiedener Art. Solche Messungen ergeben einen recht regelmäßigen Tagesverlauf: Die Feldstärke ist morgens hoch, sinkt im Lauf des Vormittags stark ab, erreicht gegen Mittag den tiefsten Wert und steigt entsprechend bis zum Abend (Sonnenuntergang) wieder an (Abb. 8). Der mittags erreichte Tiefstwert schwankt etwas von Tag zu Tag; es gibt Tage größerer und Tage geringerer Dämpfung.

Für Mittelwellen, wie sie für den Rundfunk vor allem benutzt werden, kommt am Tage im allgemeinen die Raumwelle überhaupt nicht durch die dämpfende Schicht hindurch, sie kann dann also die spiegelnden Schichten auch nicht erreichen. Daher ist am Tage auf Mittelwellen nur innerhalb der Reichweite der Bodenwelle Verbindung möglich (Tagesreichweite, abhängig von der Senderleistung). In der Nacht jedoch ist die Dämpfung so gering, daß auch bei diesen Wellen Raumwelle zur Spiegelung gelangt. Das hat zunächst größere Reichweiten bei Nacht für Mittelwellen zur Folge (Rundfunkfernempfang in der Nacht), dann aber auch eine unangenehme Störung der normalen Rahmenpeilung, die dadurch während der Dämmerung und Nacht fast unbrauchbar werden kann („Nachteffekt“) (vgl. Abb. 14 und 15).

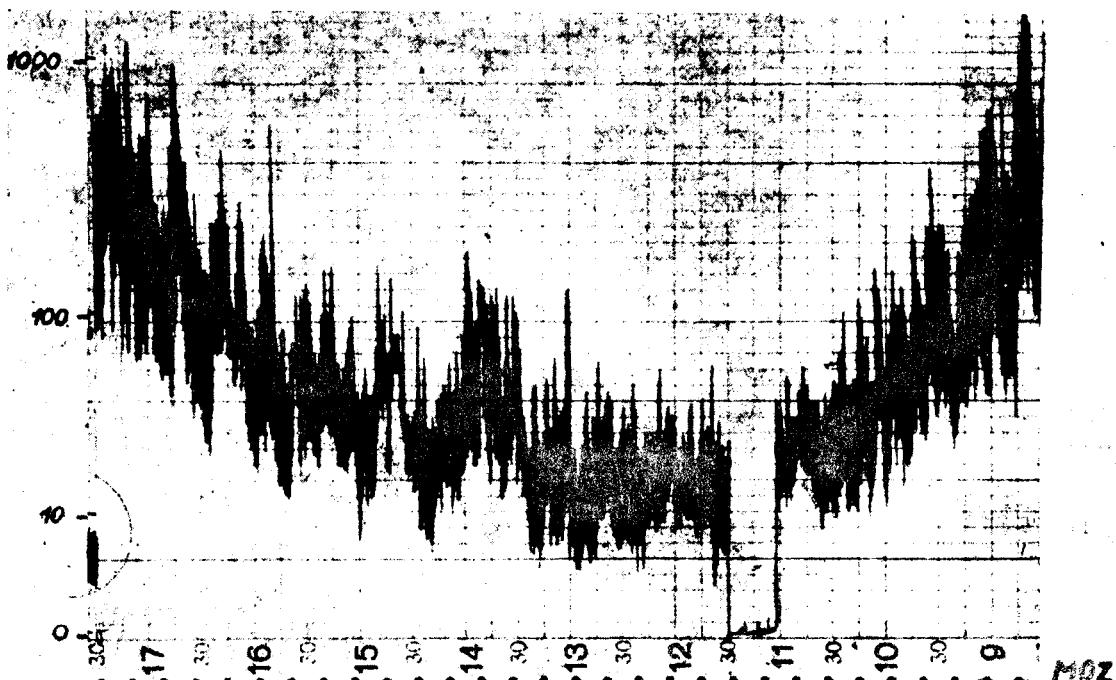


Abb. 8

Feldstärkeverlauf beim Empfang eines Kurzwellensenders.
(Tagesverlauf: Frequenz etwa 6000 kHz, 1000 km Entfernung, Rundfunksender von etwa 100 kW, 1102 bis 11 w MOZ (siehe Abb. 14))

5. Störungen und unregelmäßige Erscheinungen

Nachdem spiegelnde und dämpfende Schichten im wesentlichen durch den Einfluß der Sonnenstrahlung entstehen, ist es verständlich, daß der brauchbare Wellenbereich sich im Laufe des Tages stark ändert und auch nach Jahreszeiten sehr verschieden ist. Die obere Grenzfrequenz steigt im allgemeinen bei Sonnenaufgang und sinkt nach Sonnenuntergang, die Dämpfung andererseits wird in der Mittagszeit am größten und sinkt dann wieder ab. Diese Unterschiede zwischen Tag und Nacht und zwischen den Jahreszeiten werden vor allem für größere Entfernung sehr ausgeprägt. Außerdem ist der Verlauf der Grenzfrequenz z. B. für Tage derselben Woche nicht genau der gleiche, sondern die Grenzfrequenzen für dieselbe Tageszeit (etwa mittags) schwanken von Tag zu Tag um etwa 20% nach oben und unten um einen Mittelwert.

Es gibt jedoch gelegentlich »gestörte« Tage, an denen die Grenzfrequenz der oberen Schicht (F-Schicht) ganz erheblich niedriger ist als sonst. Im allgemeinen ist das an Tagen der Fall, an denen die Schwankungen des Erdmagnetfeldes ausnehmend stark sind (sog. »magnetische Stürme«). Meist tritt beim Ausbruch eines solchen »Sturmes« das Absinken der Grenzfrequenz ziemlich plötzlich ein, und der brauchbare Wellenbereich ist dann stark eingeengt. Sonst sichere Verbindungen auf Wellen höherer Frequenz reißen ab, auf Wellen niederer Frequenz treten starke Schwunderscheinungen auf. Im allgemeinen dauert eine solche Störung mehrere Stunden, und anschließend stellt sich der Normalzustand nur langsam wieder her, so daß die Ausbreitungsverhältnisse etwas über einen Tag ungünstiger als normal sind.

Die Störung betrifft nur die F-Schicht; solange also über die E-Schicht Verbindungsmöglichkeit besteht, ist am Empfang von der Störung wenig zu merken (weshalb diese tagsüber auf mittlere Entfernung kaum schadet. U. U. wird auch nachts auf manchen Strecken und zeitlich unregelmäßig die Wirkung einer Störung der F-Schicht verdeckt durch das Auftreten der im folgenden besprochenen »abnormalen E-Schicht«). Nachts jedoch (wo die Grenzfrequenz ohnehin niedrig ist), wird in schwersten Fällen der gesamte Kurzwellenverkehr lahmgelegt. Der Zustand der Ionosphäre bleibt im allgemeinen länger gestört, als der »magnetische Sturm« andauert, so daß auch in der Nacht nach einem derartigen Sturm die Grenzfrequenz meist erheblich niedriger als normal ist. Diese Störungen treten je nach der Zahl der Sonnenflecken verschieden häufig auf, z. Z. kann man etwa alle 2 Monate mit einem kräftigen »Sturm« rechnen.

Die magnetischen Stürme werden von Ereignissen auf der Sonne (in der Nähe der Sonnenflecken) hervorgerufen, deren Natur bisher noch nicht völlig geklärt ist. Jedenfalls wird dabei eine Wolke von elektrisch (teils positiv, teils negativ) geladenen Teilchen von der Sonne ausgestoßen. Wenn diese Wolke in die Nähe der Erde kommt, wird dieser »Teilchenstrom« durch Einwirkung des magnetischen Feldes der Erde in die Polargegenden abgelenkt. Dabei entstehen magnetische Rückwirkungen des Teilchenstromes auf das Magnetfeld der Erde, die als auffällige Schwankungen dieses Feldes beobachtet werden. Wo der Strom der Teilchen in den Polargegenden die äußere Lufthülle der Erde erreicht, beginnt dann die Luft in etwa 80 bis 300 km Höhe unter diesem »Bombardement« aufzuleuchten; man kennt diese Leuchterscheinungen unter dem Namen Polarlicht (speziell Nordlicht). Von diesen Vorgängen werden die Ionosphärenschichten beeinflußt und auf halbe und ganze Tage hinaus verändert. Die Beeinflussung ist besonders stark in dem Ringbereich um den Pol, den der Teilchenstrom »bombardiert«. Diese sogenannte Polarlichtzone reicht etwa von 55° bis 80° Breite.

In der Polarlichtzone (wozu etwa Norwegen und Finnland gehören) sind daher diese Störungen sehr viel häufiger als in mittleren Breiten. Außerdem wirken sie dort viel heftiger und rufen außer dem Absinken der Grenzfrequenz der F-Schicht oft noch eine tiefgelegene stark dämpfende Schicht hervor. Deshalb gibt es in dieser Zone oft keine Ausweichmöglichkeit mehr für die Wellenwahl, und man muß dort damit rechnen, daß trotz günstiger Wellenwahl alle Kurzwellenverbindungen gelegentlich lahmgelegt sind.

Erfahrungsgemäß sind magnetische Stürme im Frühjahr und Herbst häufiger als zu andern Jahreszeiten.

Eine andere Erscheinung, der sogenannte »Einbruch«, äußert sich darin, daß der gesamte Kurzwellenverkehr auf der sonnenbeschiene Seite der Erde für etwa 15 bis (in schwersten Fällen) 150 Minuten aussetzt. Der Einsatz der Störung erfolgt sehr plötzlich, die Lautstärke verschwindet und wächst dann langsam wieder auf den normalen Wert an.

Die Erscheinung wurde von Mögel erstmals bemerkt und später von Dellinger erklärt und wird deshalb auch »Mögel-Dellinger-Effekt« genannt.

Durch Vergleich mit Sonnenbeobachtungen konnte festgestellt werden, daß der Einsatz des Einbruchs gleichzeitig mit einem hellen Aufblitzen an irgendeiner kleinen Stelle der Sonne (»Eruption«) erfolgt. Diese Stelle sendet dabei ein sehr starkes ultraviolettes Licht aus, das wahrscheinlich in der D-Schicht durch Ionenbildung eine außerordentlich starke Dämpfung verursacht, so daß diese Schicht für alle Kurzwellen undurchdringlich wird. Nach Ende der Erscheinung erreicht die Dämpfung dann wieder ungefähr normalen Wert.

Der Einbruch ist z. Z. eine ziemlich seltene Erscheinung und wegen der kurzen Dauer verhältnismäßig harmlos. Man kann ihn, z. Z. wenigstens, nicht vorhersagen, sondern nur sein Eintreten feststellen.

In der E-Schicht tritt eine unregelmäßige Erscheinung verhältnismäßig häufig auf, die aber oft mehr irreführend (wegen ihrer Unregelmäßigkeit) als störend wirkt. Es gibt erfahrungsgemäß, vor allem in höheren Breiten, oft plötzlich eine gut spiegelnde E-Schicht, die gelegentlich recht hohe Grenzfrequenzen erreicht. Die Erscheinung kann Minuten oder Stunden dauern, sie ist von Ort zu Ort sehr verschieden, die Schicht ist also wolkenartig aufgebaut und deshalb einer genauen Beobachtung und Überwachung nur schwer zugänglich. Man nennt die Erscheinung »abnormale E-Schicht« und stellt sie sich so vor, daß in die normale E-Schicht Wolken erhöhter Spiegelfähigkeit eingebettet sind, die sich rasch verändern und verschieben.

Über die Entstehung der »abnormalen E-Schicht« ist kaum etwas bekannt. Sie tritt auch nachts auf, wenn also kein Sonnenlicht wirksam sein kann, und entsteht daher sicher nicht auf dieselbe Art wie die normalen Ionosphärenschichten.

Die schon beschriebene Methode der Echolotung hat erst zur Erkenntnis dieser Erscheinung geführt. Gelegentliche Brauchbarkeit besonders hoher Frequenzen im Funkverkehr kann auf dieser Erscheinung beruhen, läßt aber daher keinen Schluß auf deren dauernde Brauchbarkeit zu. Man kann infolge der Unregelmäßigkeit ihres Auftretens eben nicht von vornherein auf sie rechnen, wie es bei den normalen Erscheinungen der Ionosphäre möglich ist. Erfahrungsgemäß tritt abnormale E-Schicht im Sommer und Herbst sehr häufig (in unseren Breiten täglich während mehrerer Stunden) auf. Bei Verbindungen auf größere Entfernung kann u. U. abnormale E-Schicht die Möglichkeit der Spiegelung an der F-Schicht unterbinden und so (bei Tage) ungünstigere Dämpfungsverhältnisse bewirken. Daher führt die Erscheinung bei Tag meist zu einer Verschlechterung, bei Nacht dagegen zu einer Verbesserung der Empfangsverhältnisse.

Das Auftreten abnormaler E-Schicht kann die Ausdehnung der »toten Zone« erheblich verkleinern. Man kann daher niemals sicher mit einer bestimmten Ausdehnung rechnen, in der ein Abhören unmöglich ist. Gelegentlich gelangen auch UKW an der abnormalen E-Schicht zur Spiegelung. Dadurch können Ultrakurzwellen-Navigationshilfen auf größere Entfernung an Genauigkeit verlieren oder sich gegenseitig störend beeinflussen.

Bei sehr starken Kurzwellensendern (etwa Rundfunksendern von 10 kW und mehr) hat man erfahrungsgemäß meist auch innerhalb der toten Zone Empfang mit geringer Lautstärke. Es röhrt von Streuung (d. h. schwacher Spiegelung) an einzelnen, oft sehr weit entfernten »Wolken« der abnormalen E-Schicht her und kann aus jeder Richtung kommen. Peilung ist daher in solchen Fällen grundsätzlich unmöglich. Nur bei den großen Senderleistungen, wie sie im Kurzwellenrundfunk üblich sind, reicht die Lautstärke in vielen Fällen zum Empfang aus, für mittlere und kleine Senderleistung, wie sie in der Truppe verwendet werden, spielt die Streuung keine Rolle.

Atmosphärische Störungen (durch elektrische Entladungen, vor allem Gewitter, hervorgerufen) sind auf Langwellen und Mittelwellen oft störend, jedoch auf Kurzwellen verhältnismäßig wenig: In tropischen und subtropischen Ländern muß man jedoch, besonders während der gewitterreichen Regenzeit, auch bei Kurzwellen mit erheblich erhöhtem Störpegel rechnen. Weil nun die Mindestlautstärke über dem Störpegel liegen muß, macht sich das vor allem an der Dämpfungsgrenze bemerkbar, die dadurch erheblich ungünstiger wird. Erfahrungsgemäß sind in den Tropen erst Wellen mit Frequenzen über 7 000 kHz einigermaßen störfrei.

Die Stärke der atmosphärischen Störungen sinkt mit wachsender Frequenz der Welle.

6. Schwunderscheinungen

Während im Bereich der Bodenwelle die Lautstärke zeitlich unverändert bleibt (Rundfunkempfang bei Tage), treten Schwankungen der Lautstärke im allgemeinen immer auf, wenn die gespiegelte Raumwelle an der Übertragung beteiligt ist. Diese Schwankungen haben verschiedene Zeitdauer, sie dauern von einigen Sekunden (bei Kurzwellen sehr häufig) bis zu

Verschiedene mögliche Ausbreitungswwege

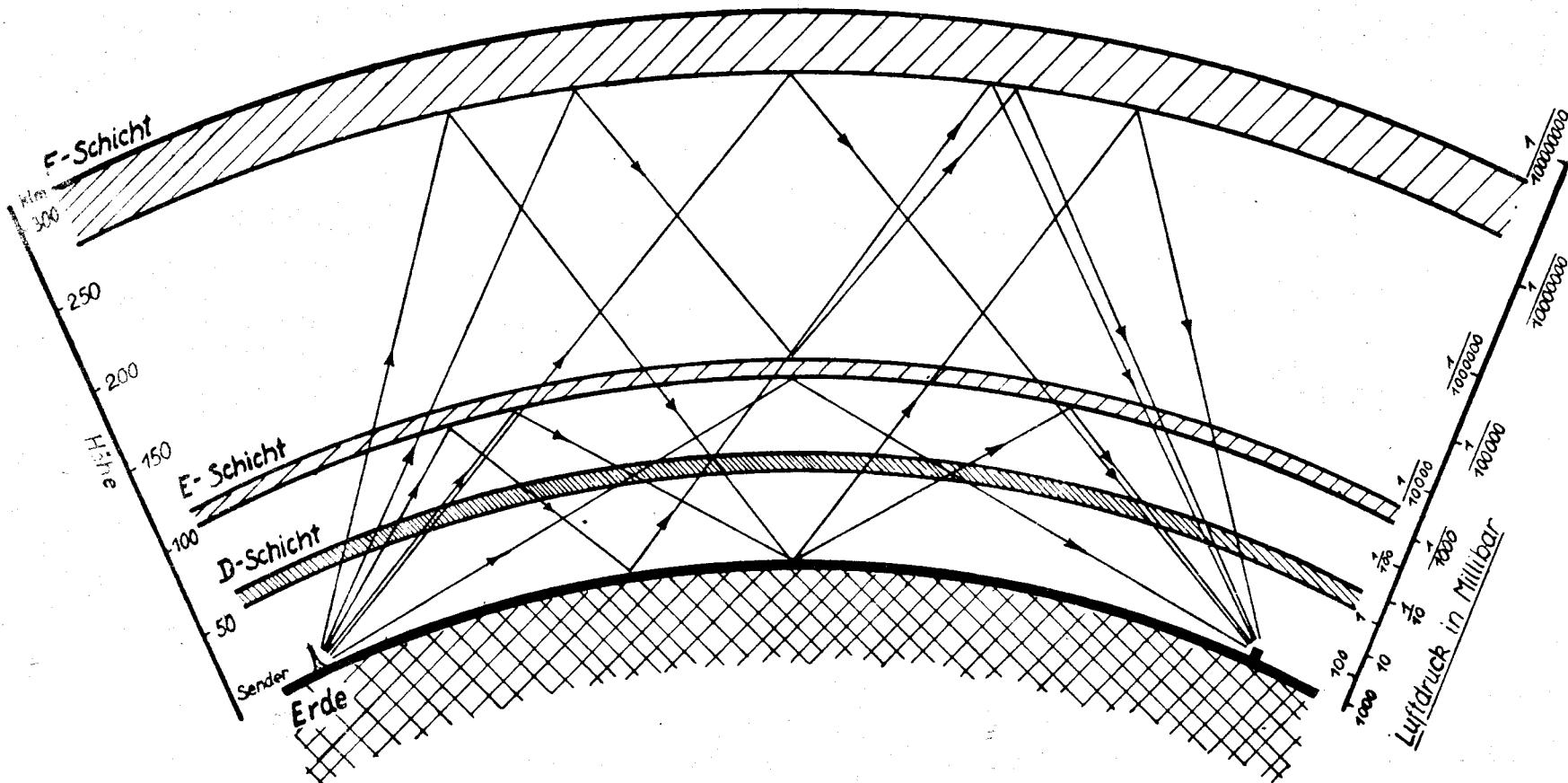


Abb. 9
Verschiedene mögliche Ausbreitungswäge

mehreren Minuten (häufig bei Rundfunkempfang). Die Schwankung kann so stark sein, daß für kurze Zeit der Empfang jeweils auszusetzen scheint. Man nennt sie Schwund (auch oft [engl.] Fading).

Die Ursachen für diese Schwunderscheinungen sind verschiedene. Bei Kurzwellen ist besonders störend der kurzzeitige Schwund mit einer Wechselzeit von einigen Sekunden. Er entsteht dadurch, daß die gebräuchlichen Empfangsantennen für eine bestimmte Schwingungsrichtung der einfallenden elektrischen Wellen empfindlich sind und für andere nicht oder weniger. Nun ändert sich die Schwingungsrichtung durch die Spiegelung an der Ionosphäre, und zwar wechselt sie bei diesen Wellen ziemlich rasch. Man hat daher wechselnd große und kleine Lautstärke, je nachdem wie die Schwingungsrichtung zur Antenne liegt.

Dieser Schwund hat meist merkwürdige Verzerrungen bei Telephonieempfang zur Folge. Bekanntlich verhält sich eine modulierte Hochfrequenzwelle wie ein Bündel mehrerer Wellen mit eng benachbarten Frequenzen. Die Drehung der Schwingungsrichtung in der Ionosphäre ist nun oft für die einzelnen Wellen dieses Bündels verschieden. In der zeitlichen Aufeinanderfolge von großer und geringer Lautstärke wirkt sich das so aus, daß die einzelnen Frequenzen des Bündels zu verschiedenen Zeiten kurz hintereinander ihren Kleinstwert erreichen. Dadurch ändert sich die Zusammensetzung des vom Empfänger wiedergegebenen Frequenzbündels, und jede solche Veränderung bedeutet eine Verzerrung der Wiedergabe. Diese Verzerrungsscheinung heißt »selektiver Schwund«.

Ein etwas langsamerer Schwund hat darin seine Ursache, daß die Wellen im allgemeinen verschiedene Möglichkeiten haben, vom Sender zum Empfänger zu gelangen (einfache und mehrfache Spiegelung, Spiegelung an E- oder F-Schicht, zusammengesetzte Spiegelungen [Abb. 9]). Am Empfangsort treffen Wellen zusammen, die ganz verschiedene Wege zurückgelegt haben. Es kann nun sein, daß sie sich verstärken, es kann aber auch sein, daß sie sich gegenseitig teilweise aufheben. Kleine Höhenverschiebungen der Ionosphärenschichten, wie sie fast dauernd auftreten, bewirken einen dauernden Wechsel zwischen Verstärken und Schwächen.

Die Erscheinung tritt beim Zusammentreffen von Wellen jeder Art auf und läßt sich z. B. bei Wasserwellen schön beobachten. Wirft man zwei Steine gleichzeitig ins Wasser, so gibt es nicht einfach zwei Kreissysteme, sondern ein ganz kompliziertes Wellenbild. Wenn an einer Stelle beide Wellen gleichzeitig einen Berg machen wollen, verstärken sie sich; will eine einen Berg machen, wenn die andere ein Tal machen will, so schwächen sie sich und können sich u. U. sogar ganz aufheben. Abb. 10 zeigt entsprechend das Zusammentreffen einer Wasserwelle (von links kommend) mit ihrer Spiegelung (nach unten laufend) an einer festen Wand.

Die Schwunderscheinungen sind bei Telephonie- und normalem Telegraphieempfang noch einigermaßen erträglich. In großen Empfängern pflegt man sie durch eine »automatische Regelung« weitgehend zu unterdrücken, jedoch verliert man dadurch an Empfindlichkeit und an Zeichenschärfe. In Bordempfängern verzichtet man im allgemeinen auf eine solche Regelung.

Das Prinzip der Regelung besteht darin, daß der Empfänger sich bei großer Lautstärke automatisch weniger empfindlich macht.

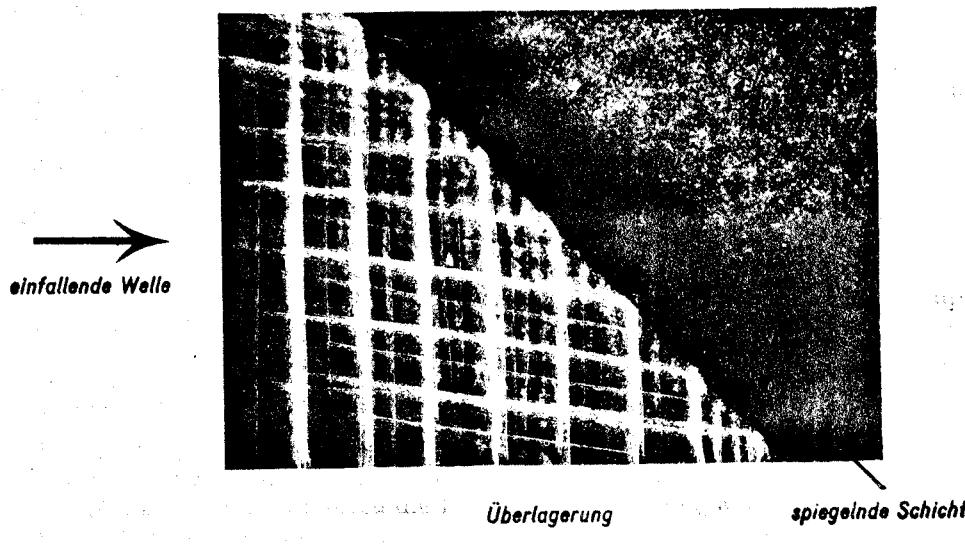


Abb. 10
Zusammentreffen von zwei Wasserwellen

Bei Maschinentelegraphie, Hellschreibern und ähnlichen Anordnungen dagegen, ist der kurzzeitige (meist selektive) Schwund eine schwerwiegende Störung, da bei der hohen Buchstabenfolge u. U. Buchstaben oder ganze Worte verstümmelt werden oder verloren gehen. Für solche Verbindungen empfiehlt es sich, eine Welle nahe an der Dämpfungsgrenze des brauchbaren Bereiches zu benutzen, weil dort im allgemeinen der kurzzeitige Schwund weniger stark ist. Gerade für diese Zwecke ist also die Benutzung verschiedener Tag- und Nacht-Frequenz zu raten. Durch Richtantennen kann man u. U. auch Verminderung des Schwundes erreichen. Eine vollkommen schwundfreie Kurzwellenverbindung kann jedoch im allgemeinen nicht oder nur mit großem Aufwand hergestellt werden.

B. Praktische Anwendung auf den Funkverkehr

1. Ausbreitungseigenschaften der verschiedenen Wellen

Der im vorhergehenden gegebene Überblick zeigt, daß es drei Arten der Wellenausbreitung gibt:

1. die direkte Welle (beschränkt auf optische Sicht).
2. die Bodenwelle (beschränkt durch die Bodendämpfung).
3. die gespiegelte Raumwelle (verwickelte Ausbreitung, bestimmt durch zwei spiegelnde und eine dämpfende Schicht).

Da diese Einwirkungen stark von der Welle abhängig sind, kann man auf dieser Grundlage eine Einteilung der verschiedenen Wellenbereiche nach der Art ihrer Ausbreitung geben (die Grenzen der Bereiche sind natürlich nicht scharf und verschieben sich außerdem noch etwas im Lauf der 11jährigen Sonnenfleckenperiode): Tabelle 1 (Seite 22).

2. Wellenwahl im Kurzwellenbereich

a. Allgemeine Regeln

1. Drei mögliche Gründe für Verbindungsaußfall:
Ausbreitung (Wellenwahl),
Gerätestörung (Sender und Empfänger),
Bedienungsfehler (Station und Gegenstation).
2. Richtige Wahl von Welle und Verkehrszeit ist wichtiger als große Senderleistung!
3. Je größer die Entfernung, desto höher die Frequenz der Welle! Nahverkehr (bis 1000 km) Wellen von 2500 bis 8000 kHz, Fernverkehr (über 1000 km) Wellen von 4000 bis 20000 kHz.
4. Am Tage Wellen höherer Frequenz als nachts!
5. Bei Ganztagbetrieb Wellenwechsel Tag-Nacht oft unvermeidlich! (Jedenfalls bei schwachem Sender oder großer Entfernung).
6. Im Sommer Wellen höherer Frequenz als im Winter!
7. Reißt die Verbindung nachts ab, so Übergang zu einer Welle niedrigerer Frequenz; wird jedoch mittags die Lautstärke zu klein, so Übergang zu einer Welle höherer Frequenz! Im ersten Fall geht die Welle durch (Lautstärke vorher hoch, plötzliches Aussetzen in kurzer Zeit), im zweiten Fall wird sie gedämpft (Lautstärke sinkt allmählich ab).
8. Erfahrungen mit ähnlichen Geräten auf ähnliche Entfernung erleichtern die Wellenwahl, jedoch nur gleiche Jahres- und Tageszeiten vergleichbar!
9. Für laufende Verbindung mit Flugzeugen wird der brauchbare Wellenbereich begrenzt einerseits durch die Grenzfrequenz der kürzesten Entfernung (= höchste brauchbare Frequenz), andererseits durch die Dämpfungsgrenze der weitesten Entfernung (= niedrigste brauchbare Frequenz).
10. Als Tageszeit ist bis zu 3000 km Entfernung die mittlere Ortszeit (MOZ) der Verbindungsmitte einzusetzen (weil dort die Spiegelung erfolgt). Siehe Tabelle 2 (Seite 23)!

Tabelle 1: Ausbreitungseigenschaften

Name	Frequenz kHz	Wellenlänge m	Bodenwelle	Gespiegelte Raumwelle	Reichweite	Bemerkungen	Verwendung
Langwellen	15—300	20 000—1 000	bis zu sehr großen Entferungen	u. U. nachts, am Tage keine (Dämpfung)	nur von Senderleistung abhängig	für große Reichweite, große Leistung	Telegraphie Rundfunk Funkfeuer
Mittelwellen (insbesondere mittlere Rundfunkwellen)	300—1 500	1 000—200	bis zu mehreren hundert km	nur nachts, am Tage keine (Dämpfung)	nachts wegen Raumwelle größer	nachts Schwunderscheinungen in breitem Gebiet	Rundfunk Telegraphie Funkfeuer
Grenzwellen	1 500—3 000	200—100	je nach Leistung bis etwa 200 km	vorhanden, im Sommer stark gedämpft	in Winternächten bis 2 000 km	im Sommer schlecht	
Nahverkehrskurzwellen	3 000—6 000	100—50	nur geringe Reichweite (je nach Leistung bis zu 100 km)	überwiegend. Tote Zone tritt nicht oder bis höchstens einige hundert km auf	nach Frequenz, Tages- und Jahreszeit stark wechselnd, tote Zonen;	im Sommer tagsüber beachtliche Dämpfung	Telegraphie (Nahverkehr)
Fernverkehrskurzwellen	6 000—30 000	50—10	praktisch bedeutungslos (bis etwa 50 km)	auf größte Entferungen, dabei ausgedehnte tote Zonen	von Senderleistung kaum abhängig	verschiedene Tag- und Nachtwellen verwenden	Telegraphie (Fernverkehr) Fernrundfunk
Ultrakurzwellen (UKW)	30 000—300 000	10—1	keine	keine, höchstens in seltenen Fällen auf große Entfernung	wegen Brechung in Atmosphäre über optische Sicht etwas hinaus	nur direkte Welle	B.-z.B.-Verkehr Landefunkfeuer Navigation

Tabelle 2: Zeitumrechnung

Länder	England	Norwegen	o Frankreich	Deutschland	Russland	o Spanien	o Italien	o Ägypten
	Dublin	London	Köln	Stettin	Lublin	Petersburg	Moskau	
	Casablanca	Bordeaux	Nizza	Catania	Derna	Odessa	Marinopol	
Städte	Sevilla	Oran	Kristiansand	Tripolis	Athen	Alexandria		
Geogr. Länge	7,5° W	0°	7,5° O	15° O	22,5° O	30° O	37,5° O	
Um 12 Uhr DSZ ist die MOZ	0930	1000	1030	1100	1130	1200	1230	
Um 12 Uhr MOZ ist die DSZ	1430	1400	1330	1300	1230	1200	1130	

b. Langfristige Übersicht

Für eine bestimmte Strecke und Zeit ist der brauchbare Wellenbereich nach hohen Frequenzen zu durch die Grenzfrequenz, nach niederen Frequenzen zu durch die Dämpfungsgrenze bestimmt. Die Grenzfrequenz hängt nur vom Zustand der spiegelnden Schichten ab, die Dämpfungsgrenze jedoch, außer vom Zustand der dämpfenden Schicht, von Senderleistung und Empfängerempfindlichkeit. Daher ist die Dämpfungsgrenze für Bord-Boden-Verbindung meist ungünstiger als für Boden-Boden-Verbindung. Die Berechnung der Dämpfungsgrenze wird daher für zwei Normalfälle: Boden-Boden und Bord-Boden ausgeführt.

Bodenseitig wird 800-Watt-Sender und Tornisterempfänger (Geradeausempfänger) angenommen, bordseitig Fu G 10-Ausrüstung, nämlich 70-Watt-Sender und guter Überlagerungsempfänger.

Für diese beiden Normalfälle ist in Abb. 12 für alle Monate des Jahres 1941 die mittlere Dämpfungsgrenze für verschiedene Entferungen angegeben. Außerdem enthält diese Abbildung auch die Mittelwerte der (oberen) Grenzfrequenz desselben Jahres. Diese Werte können nur als Anhaltswerte für das kommende Jahr gelten. Es ist in den nächsten 3 Jahren (entsprechend der Sonnenfleckperiode) mit dem Auftreten etwas niedrigerer Grenzfrequenzen zu rechnen. Bei der Benutzung der Kurven ist außerdem die Schwankung der Grenzfrequenz von Tag zu Tag zu beachten. Wenn man etwas sicherer gehen will, empfiehlt es sich, etwa 20 % unter den angegebenen Mittelwerten der Grenzfrequenz zu bleiben. Der Bereich zwischen dieser vorsichtig angesetzten Grenzfrequenz und der Dämpfungsgrenze ist vermutlich brauchbar (soweit man derartige Angaben auf so lange Zeit im voraus überhaupt machen kann).

Die Wirkungen der beiden spiegelnden Schichten sind in Abb. 12 nicht getrennt, sondern es ist das Gesamtbild wiedergegeben. Jedes Monatsblatt enthält 3 Felder; das oberste Feld gibt die Mittelwerte der oberen Grenzfrequenz (daraus bestimmt sich die obere Grenze des brauchbaren Bereichs nach Abziehen von 20 %); die Dämpfungsgrenze (untere Grenze des brauchbaren Bereichs) ist für 800 Watt aus dem zweiten Feld, für 70 Watt aus dem dritten zu entnehmen.

Beispiel 1: Verbindung über 500 km im September von 1000 bis 1500 DSZ, Raum Westdeutschland, Boden-Boden-Verbindung mit 800 Watt. Zunächst die Zeitumrechnung: MOZ für Westdeutschland ist gegen DSZ etwa 1½ Stunden verschoben, also der Zeitbereich 0830 bis 1330 MOZ. Das Septemberblatt der Abb. 12 zeigt im oberen Feld (Kurve 500 km) als niedrigsten Wert der mittleren Grenzfrequenz in der fraglichen Zeit den Wert 8100 kHz um 0830 MOZ; davon gehen 20 % ab, bleiben 6500 kHz als obere Grenze. Nun wird die entsprechende Dämpfungsgrenze gesucht, bei der angegebenen Leistung also im zweiten Feld die Kurve 500 km; der Höchstwert in der fraglichen Zeit ist 3900 kHz (um 1200 MOZ). Der Wellenbereich von 3900 bis 6500 kHz ist also vermutlich brauchbar (soweit Werte von 1941 noch zutreffen).

Man erkennt an diesem Beispiel leicht die ausschlaggebende Wichtigkeit der Wellenwahl: Mit der Welle 3900 kHz wird man bei 800 Watt Leistung in der Mittagszeit gerade noch durchkommen; wählt man jedoch die Welle 4500 kHz, so kommt man sogar mit 70 Watt noch aus.

Beispiel 2: Ganztagsverbindung im September, mit 800 Watt bzw. 70 Watt über 500 km. Die niedrigste Grenzfrequenz (0500 MOZ) ist 4800 kHz und gilt für beide Fälle. Davon gehen 20 % ab, bleiben 3900 kHz als sichere obere Grenze zur ungünstigsten Tageszeit. Der ungünstigste Wert der Dämpfungsgrenze liegt mittags, er ist 3900 kHz für die große und 4300 kHz für die kleine Leistung. Dieser Wert soll nicht unterschritten werden. Also ist mit der kleinen Leistung Ganztagsverbindung nicht möglich, mit der großen wäre gerade die Welle 3900 kHz

möglich. Es ist jedoch nicht möglich, nach den Übersichtskurven der Abb. 12 im voraus eine solche Wellenwahl zu treffen, da sich die Verhältnisse gegen 1941 verschoben haben werden. Also Bestimmung der Welle nach den ausgestrahlten kurzfristigen Übersichten oder Anfrage bei der Funkberatungsstelle.

Das Beispiel zeigt die Richtigkeit der allgemeinen Regel 5; würde bei der kleinen Leistung, wo die ungünstigste Dämpfungsgrenze über statt unter der ungünstigsten Grenzfrequenz liegt, eine mittlere Welle, etwa 4100 kHz, gewählt, so müßte man mittags und gelegentlich nachts mit Verbindungs ausfall rechnen; die Welle wäre also weder bei Tag noch bei Nacht sicher. Es ist also Wellenwechsel ratsam.

Beispiel 3: Laufende Bord-Boden-Verbindung von 0 bis 500 km im Dezember in Nordfrankreich, bei Tage von 1100 bis 1800 DSZ. Zeitumrechnung: MOZ für Frankreich ist die westeuropäische Zeit mit 2 Stunden Zeitverschiebung gegen DSZ. Also die Zeit: 0900 bis 1600 MOZ. Nun nach allgemeiner Regel 9: Grenzfrequenz der kürzesten Entfernung (0 km) am ungünstigsten um 1600 MOZ, Mittelwert 6600 kHz, weniger 20%, gibt 5300 kHz; Dämpfungsgrenze der weitesten Entfernung (500 km) mittags am ungünstigsten, nämlich 3900 kHz. Brauchbarer Wellenbereich also 3900 bis 5300 kHz (soweit Werte von 1941 noch zutreffen).

Beispiel 4: Laufende Bord-Boden-Verbindung von 0 bis 500 km im Dezember in Westrußland, nachts von 2000 bis 0700 DSZ. Zeitumrechnung: Westrußland hat gerade die DSZ als MOZ. Nach Regel 9: Ungünstigste Grenzfrequenz für 0 km um 0600 MOZ ist 3300 kHz. Mittelwert, weniger 20% gibt 2600 kHz. Dämpfungsgrenze nachts unter 2000 kHz. Also brauchbarer Wellenbereich 2000 bis 2600 kHz, wobei noch beachtet werden muß, daß Abb. 12 nur Anhaltswerte gibt und in den nächsten Jahren mit noch etwas niederen Grenzfrequenzen gerechnet werden muß (kurzfristige Übersicht der Beratungsstelle heranziehen!).

Dieser Wellenbereich wird auf den üblichen Geräten nicht enthalten sein; man wird dann eine diesem Bereich möglichst naheliegende Welle wählen. Benutzt man etwa 3300 kHz (den mittleren Grenzfrequenzwert), so muß man mit Ausfall in etwa 50% der Nächte rechnen, allerdings nur auf kurze Entferungen (denn für größere ist ja die Grenzfrequenz höher, also günstiger). Natürlich bleibt weiter die Möglichkeit, bei den kritischen kurzen Entfernungen auf die direkte Welle zu vertrauen (bei entsprechender Flughöhe) oder auf Langwelle überzugehen.

Die charakteristischen Veränderungen des Empfangsbereiches im Laufe eines Tages zeigt Abb. 11 (für einen schweren Sender auf einer mittleren Kurzwelle). Es sind dort jeweils die Bereiche sicheren Empfangs durch ausgezogene, die Bereiche unsicheren Empfangs durch gestrichelte Strahlen bezeichnet. Die erste Zeile gibt einen Sommertag, die zweite einen Winterstag wieder; man sieht, daß der Empfangsbereich im allgemeinen ringförmig ist, wobei der innere Rand des Ringes durch die Grenzfrequenz (tote Zone) bestimmt ist, der äußere Rand dagegen durch die Dämpfungsgrenze. Dementsprechend dehnt sich der Ringbereich nachts aus (die tote Zone vergrößert sich; die Dämpfung ist gering, der äußere Rand also weit hinausgeschoben), schrumpft mit Tagesanbruch schnell zusammen (im Beispiel verschwindet die tote Zone überhaupt, die Dämpfung wächst stark an, so daß der äußere Rand sich nun zusammenzieht), erreicht mittags seinen kleinsten Wert und dehnt sich am Nachmittag wieder aus. Weil am Nachmittag die Dämpfung rasch abnimmt, die tote Zone dagegen langsamer im Lauf des Abends wieder zunimmt, ist der Entfernungs bereich, in dem Empfang möglich ist, am frühen Abend am günstigsten. Die tote Zone ist in den Winternächten am größten.

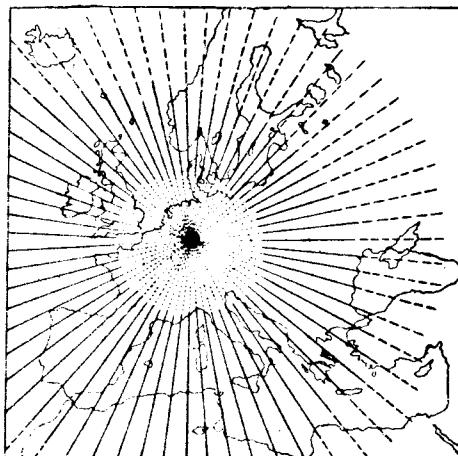
c. Kurzfristige Übersichten

Auf Grund ihrer laufenden Ionosphären- und Ausbreitungsbeobachtungen auf den verschiedenen Funkbeobachtungsstellen gibt die Funkberatungsstelle halbmonatlich im voraus eine Vorschau der brauchbaren Wellenbereiche für die wichtigsten Entfernungen, getrennt nach Bord-Boden- und Boden-Boden-Verbindung. Die Bereiche sind jeweils für passend gewählte Tageszeiten angegeben.

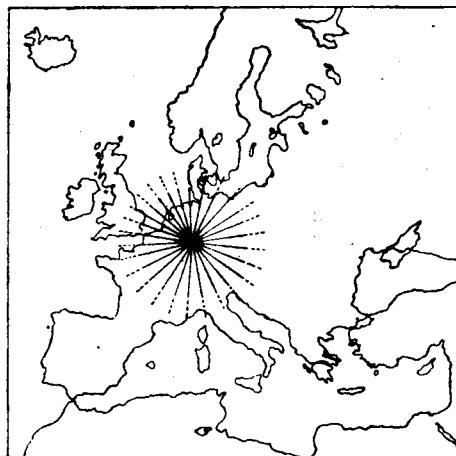
In der Vorschau ist die Schwankung der Grenzfrequenz von Tag zu Tag bereits berücksichtigt, und die Bereiche sind auf Sicherheit hin gewählt. Es kann also durchaus sein, daß auch andere als die angegebenen Frequenzen gelegentlich, vielleicht sogar meistens brauchbar sind — aber sie sind es nicht mit der nötigen Sicherheit. Auch hier ist nur das Gesamtbild angegeben, das sich aus dem Zusammenwirken von E- und F-Schicht ergibt. Von der abnormalen E-Schicht wird abgesehen, da sie unregelmäßig auftritt; in der Zeit größter Häufigkeit dieser Erscheinung (Sommer und Herbst) ist das zu bedenken, wenn einmal die Brauchbarkeit von Wellen besonders hoher Frequenz festgestellt wird; man weiß dann, daß man mit deren Brauchbarkeit an einem andern Tag nicht rechnen darf.

Die Anlage 1 gibt Beispiele solcher Vorschauen. Die Vorschau für Boden-Boden-Verbindung (800 Watt) gibt im Wellenbereich von 1100 bis 20000 kHz brauchbare Wellen für bestimmte feste Entfernungen an. Die Vorschau für Bord-Boden-Verbindung (70 Watt) gibt im Bereich 3000 bis 17000 kHz brauchbare Wellen für laufende Verbindung. Bei Flügen mittlerer Entfernung kann man danach eine Welle wählen, mit der vom Start bis zum Ziel Funkverbindung besteht. Bei Flügen in große Entfernungen kommt man so allerdings nicht durch; man muß dann bei einigen Zwischenentfernungen die Welle wechseln. Dementsprechend sind in dieser Vorschau jeweils bestimmte Entfernungs bereiche zusammengefaßt.

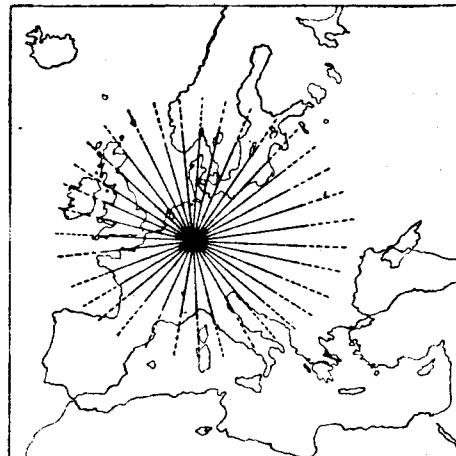
Sommertag



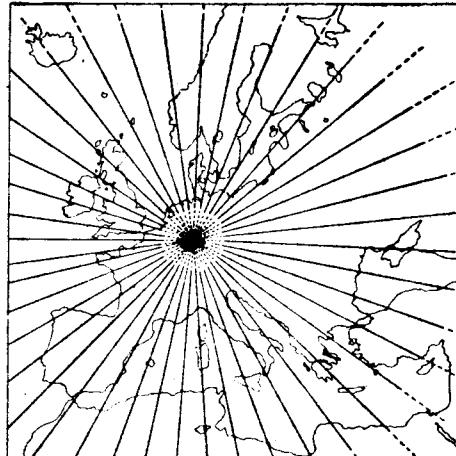
04 Uhr MEZ



12 Uhr MEZ

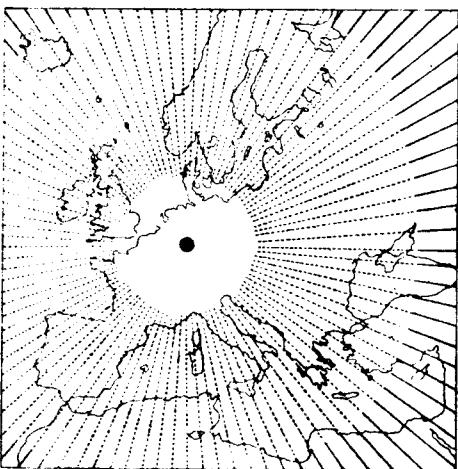


18 Uhr MEZ

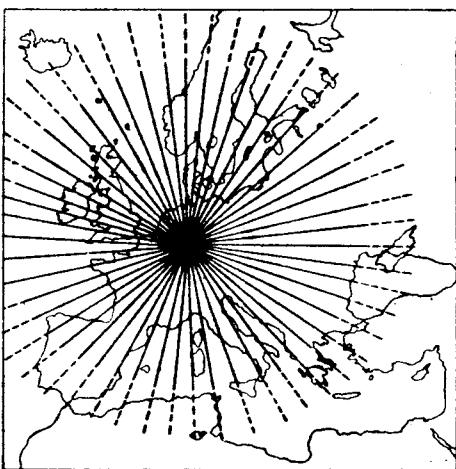


24 Uhr MEZ

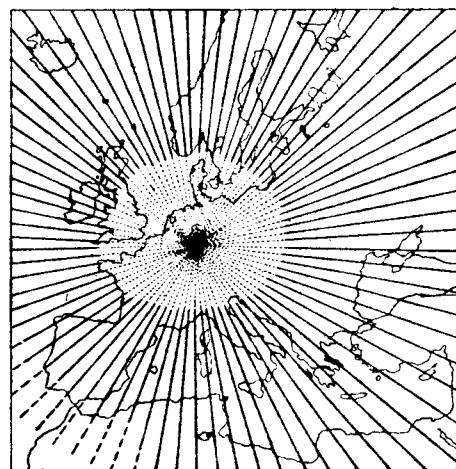
Wintertag



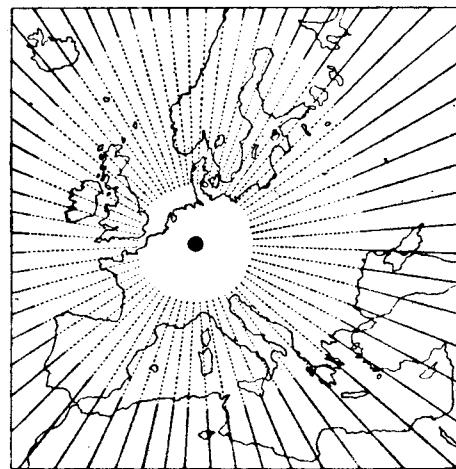
07 Uhr MEZ



12 Uhr MEZ



18 Uhr MEZ



24 Uhr MEZ

Abb. 11

Veränderung des Empfangsbereichs

(erste Zeile: Sommertag; zweite Zeile: Wintertag; Welle etwa 5 000 kHz; Sender etwa 1 KW)

Die beiden Vorschauen werden (mit der »Peilwarnung« zusammen, siehe Abschnitt C) regelmäßig zu Anfang und Mitte jeden Monats mehrmals vom Hauptwachnetz des Ob. d. L. ausgestrahlt und gehen somit allen Funkstellen zu. Die Zeiten der Ausstrahlung sind aus A. Fu. Luft Grundverfügung zu ersehen.

Die Anwendung der Vorschau geschieht folgendermaßen:

Vorschau Boden-Boden: Man zeichnet sich die brauchbaren Wellenbereiche abhängig von der Tageszeit auf, und zwar für die beiden in der Vorschau gegebenen Entferungen, die der gewünschten am nächsten liegen. Dann trägt man die zugewiesenen Wellen ein und wählt die, welche in den zur betr. Tageszeit günstigen Bereichen liegt (bzw. ihnen am nächsten liegt). Man wird dabei beachten, daß für Zwischenentferungen zwischen zwei beratenen Entfernungen der brauchbare Wellenbereich auch zwischen den beiden angegebenen Bereichen liegt. Sollte keine der zugewiesenen Wellen in diesem brauchbaren Bereich liegen, so wird man die ihm nächstgelegene wählen. Man muß sich dabei darüber klar sein, daß man, falls die Frequenz der zugewiesenen Welle zu hoch ist, damit rechnen muß, daß der Empfangsort gelegentlich in der toten Zone liegen wird. Im umgekehrten Fall, wo die Frequenz der zugewiesenen Welle zu niedrig ist, muß man gelegentlich nicht mehr ausreichende Lautstärke in Kauf nehmen; das wird vor allem am Tage in Betracht kommen, wo dann im allgemeinen am Mittag der Empfang aussetzen wird.

Beispiel 5 (zu Anlage 1): Verbindung über 400 km mit 800 Watt zwischen 1000 und 1600 DSZ in Mitteldeutschland. Zeitumrechnung: 0900 bis 1500 MOZ. In Anlage 2a sind die brauchbaren Wellenbereiche für 250 und für 500 km nach der Vorschau aufgetragen. Sie werden in verschiedenen Richtungen schraffiert. Zugewiesen seien die Wellen 3010, 4600 und 7300 kHz, sie werden eingetragen. Man erkennt, daß die Welle 4600 kHz am günstigsten ist. Von 0930 bis 1500 MOZ liegt sie im doppelt schraffierten Bereich, ist also sicher brauchbar. Aber auch von 0900 bis 0930 MOZ ist sie brauchbar, denn die mitgeteilten Wellenbereiche sind treppenförmig aus dem stetig verlaufenden Bereich der brauchbaren Wellen ausgeschnitten. Denkt man sich eine glatte Umhüllungskurve um die Rechteckbereiche gelegt, so liegt 4600 kHz auch von 0900 MOZ ab schon unter dieser. Auch die Welle 7300 kHz ist brauchbar; sie liegt zwar nicht im doppelschraffierten Bereich (ist also nicht auf 250 und auf 500 km brauchbar), aber sie liegt im Bereich der Entfernung 500 km und man schätzt leicht ab, daß sie auch im Bereich für 400 km liegen muß (obere Grenze für 250 km ist 6900 kHz, für 500 km 8100 kHz, also liegt die für 400 km dazwischen und sicher über 7300 kHz). Vermutlich ist diese Welle schon von 0900 MOZ ab brauchbar (Umhüllungskurve!), aber das ist weniger sicher. Die Welle 3010 kHz ist unbrauchbar, da sie unter der unteren Grenze für 400 km liegt. Bis 0930 MOZ wird sie brauchbar sein, aber auch noch etwas darüber hinaus, denn die mitgeteilte untere Grenze ist ja durch den Mittagswert bestimmt. Um die Mittagszeit herum ist die Welle dann allerdings nicht mehr brauchbar.

Leichter übersieht man alles, wenn man sich, wie in Anlage 2a ausgeführt (dicke Striche), den ungefähren stetigen Verlauf der oberen und unteren Grenze für die gewünschte Entfernung abschätzt und diesen einträgt.

Beispiel 6 (zu Anlage 1): Verbindung über 400 km mit 800 Watt zwischen 2000 und 0300 DSZ in Nordfrankreich. Zeitumrechnung: 1800 bis 0100 MOZ. Zugewiesene Wellen 4010 und 5900 kHz. Aufzeichnung wie im Beispiel 5 (Anlage 2a). Keine der beiden Wellen ist in der gefragten Nachtzeit sicher, der empfohlene Bereich liegt niedriger, also ist 4010 kHz als nächstgelegene Welle zu wählen. Diese ist von 1800 bis 1900 MOZ (= 2000 bis 2100 DSZ) sicher, anschließend wird sie nicht selten durchgehen.

Vorschau Bord-Boden: Man zeichnet die brauchbaren Wellenbereiche, wie beschrieben, für die in Betracht kommenden Entfernungsbereiche auf und trägt die zugewiesenen Wellen ein. Wieder wählt man diejenigen, die im empfohlenen Bereich bzw. ihm am nächsten liegen. Ist die Frequenz der zugewiesenen Welle zu hoch, so hat man gelegentliches Durchgehen vor allem bei kürzeren Entfernungen zu erwarten (dies tritt bei entspr. Flughöhe oft nicht in Erscheinung, da Verbindung über die direkte Welle besteht). Im umgekehrten Fall, wo die Frequenz der zugewiesenen Welle zu niedrig ist, hat man nicht ausreichende Lautstärke für weitere Entfernung zu erwarten.

Beispiel 7 (zu Anlage 1): Bord-Boden-Verbindung 0 bis 400 km in Ostpreußen von 1200 bis 1800 DSZ; zugewiesene Wellen 3013 und 5000 kHz. Zeitumrechnung: 1130 bis 1730 MOZ. Aufzeichnung in Anlage 2b. Die Welle 3013 kHz ist für größere Entfernung, vor allem mittags, nicht geeignet. Die Welle 5000 kHz ist zu wählen. Sie ist bis 1500 MOZ (1430 DSZ) sicher, aber auch noch länger (Umhüllungskurve abzuschätzen!); höchstens ganz zu Ende der gefragten Zeit könnte auf kurze Entfernung einmal Durchgehen eintreten.

Beispiel 8 (zu Anlage 1): Bord-Boden-Verbindung 0 bis 500 km in Dänemark 0300 bis 1200 DSZ. Zeitumrechnung: 0200 bis 1100 MOZ. Zugewiesene Wellen wie Beispiel 7. Aufzeichnung in Anlage 2b. Ohne Wellenwechsel wird nicht auszukommen sein; während der Nachtzeit kommt nur 3013 kHz in Frage (Zeichen yyy bedeutet: Wellen möglichst niedriger Frequenz benutzen); am Tage wird man, jedenfalls bei Entfernungen über 150 km, die Welle 5000 kHz einsetzen müssen. Das Zeichen zzz bedeutet: ein fester Wellenbereich kann nicht angegeben werden, da die Verhältnisse mit Zeit und Entfernung zu rasch wechseln. Die wichtigste Frage ist nun die nach dem Zeitpunkt des Wellenwechsels: Schätzt man die Umhüllungskurve ab, so sieht man, daß sie zwischen 0800 und 0900 MOZ (0900 und 1000 DSZ) liegen muß (für große Entfernung etwas früher als für kleine).

In manchen Fällen, etwa für regelmäßige Dienste, kann man u. U. die Verkehrszeiten günstig wählen. Das ist vor allem wichtig im Sommer wegen der hohen Dämpfungsgrenze am Mittag und im Winter wegen der niederen Grenzfrequenz in der Nacht.

Beispiel 9: Wellenbereich der Geräte sei 3000 bis 6000 kHz, 70 Watt, Entfernung 1000 km, Zeit September (Abb. 12). Die Dämpfungsgrenze liegt mittags bei 6200 kHz. Verzichtet man jedoch auf die Zeit von 1000 bis 1400 MOZ, so ist mit 5800 kHz sonst immer Verbindung möglich!

Für die Vorschau wird immer mittlere geographische Breite (etwa 43° bis 60°) vorausgesetzt. Bei wesentlich anderer Breite sind die Werte etwas anders (die Dämpfungsgrenze etwa liegt im Norden günstiger und im Süden ungünstiger). Die Benutzung der Vorschau ist im Nord-Süd-Verkehr auf Entferungen bis zu 1000 km, im Ost-West-Verkehr bis zu 1500 km beschränkt. Bei größeren Entfernungen muß im ersten Fall der Breitenunterschied, im zweiten Fall der Längenunterschied (Verschiedenheit der Dämmerungszeit) berücksichtigt werden. Die Beratungen für diese Entfernungen sind als Anhaltswerte anzusehen.

Auf sehr große Entfernungen (über 3000 km) macht der Längenunterschied die größten Schwierigkeiten. Man braucht dann zur Übertragung mehrere Spiegelungen, die dann meist an Stellen sehr verschiedener Ortszeit, also verschiedener Ionosphärenzustände, stattfinden. Am günstigsten ist es, wenn an all diesen Stellen gleichzeitig Tag oder Nacht ist. Reine Tag- oder Nachtverbindung ist anzustreben (Sonderanfrage empfehlenswert!).

d. Einzelberatungen

In allen fraglichen Fällen gibt die Funkberatungsstelle Auskunft auf Anfrage (Beratung). Die Anfrage soll enthalten:

Streckenlänge, ungefähre geographische Breite und Länge, Zeitdauer der Verbindung (1 Monat, höchstens 2 Monate, sonst werden die Bereiche ungünstig eng), Tageszeit (u. U. Ganztagsverbindung), u. U. zulässiger Wellenbereich und besondere Forderungen (z. B. Schnellschreibverbindung), Senderleistung (in der Antenne), Empfängerempfindlichkeit (Mikrovolt pro Meter oder Angaben über Antenne und Typ des Empfängers).

Die Anfrage geschieht am besten durch Fernschreiben an Funkberatungsleitstelle Rechlin (Fernschreibname LFRF), für Norwegen und Finnland an Funkberatungsstelle Oslo-Kjeller (LYKJ). Beispiel einer Anfrage und deren Beantwortung siehe Anlage 3.

Außer Wellenberatungen können auch Beratungen über zweckmäßige Gerätewahl und über spezielle Ausbreitungsfragen gegeben werden. Außer in dringenden Fällen sind etwa 2 Tage Frist zur Beantwortung vorgesehen; diese erfolgt im allgemeinen durch Fernschreiben.

3. Verhalten bei Störungen

Gerätestörungen kann man im allgemeinen von Ausbreitungsstörungen leicht unterscheiden. Reißt eine Verbindung ab, so wird man zunächst feststellen, ob andere Stationen empfangen werden, gegebenenfalls auch auf wesentlich anderen Wellen. Ist das der Fall, so ist der Empfänger vermutlich noch in Ordnung. An Ausbreitungsstörungen gibt es nun im wesentlichen zwei Möglichkeiten.

Der Einbruch unterbindet den ganzen Verkehr kurzzeitig. Er kann nicht vorhergesagt werden, jedoch kann man ihn mit den Mitteln der Ionosphärenforschung nachträglich sicher feststellen. Es erfolgt daher eine nachträgliche Meldung, um in Zweifelsfällen Klarheit zu schaffen und überflüssige Geräteuntersuchungen zu vermeiden.

Beispiel einer Einbruchsmeldung: Mitteilung. Von ... 0 Uhr (DSZ) bis ... 0 Uhr (DSZ) ist ein Einbruch erfolgt. Der Kurzwellenverkehr war in dieser Zeit weitgehend unterbunden (gilt für die vergangenen 24 Stunden).

Die magnetischen Stürme rufen schlimmere, weil länger dauernde Störungen hervor, können jedoch mit entsprechenden Beobachtungsgeräten zumindest kurz nach ihrem Einsetzen erkannt werden. Es ergeht dann sofort von der Funkberatungsstelle über Hauptwachnetz eine Warnung, in der Ausweichen nach niederen Frequenzen zu empfohlen wird (da die höheren, sonst brauchbaren, ausfallen oder stark gestört sind)!

Beispiel einer Warnung: Zwischen ... 0 Uhr (MOZ) und ... 0 Uhr (MOZ) ist mit einer Beeinträchtigung der höheren Frequenzen der empfohlenen Wellen für Entferungen zwischen 0 und ... 00 km zu rechnen. Benutzung von Wellen möglichst niedriger Frequenz ist angeraten. (Diese Warnung gilt nur für die laufenden 24 Stunden.)

Anwendungsbeispiel: Für einen Dienst sei die Welle 5920 kHz ganztägig in Benutzung. Am Tage liege sie knapp über der Dämpfungsgrenze, nachts knapp unter der Grenzfrequenz. Auf Grund der Warnung wird in der Nacht dafür die niedrige zugewiesene Welle eingesetzt, z. B. 3480 kHz, obwohl diese nicht ganztägig brauchbar ist. Am Morgen muß dann wieder zur Welle 5920 kHz gewechselt werden. Diese liegt dann bei Tag so weit von der oberen Grenzfrequenz ab, daß sie nur wenig gestört wird.

Da am Tag ein bestimmter Entfernungsbereich über die (ungestörte) E-Schicht erreichbar ist, wird am Tage nur für den restlichen Entfernungsbereich gewarnt.

Beispiel einer Nachwarnung: Die um Uhr gemeldete Störung hält noch an. Zwischen ... 0 Uhr (MOZ) und ... 0 Uhr (MOZ) macht sie sich jedoch nur bei Entferungen unter ... 00 km bemerkbar. Für diese Entferungen wird angeraten, von den empfohlenen bzw. zugewiesenen Wellen diejenigen mit der niedrigsten Frequenz zu benutzen.

Besonders schlimm wirken sich die magnetischen Stürme in der Polarlichtzone, vor allem im Winter, aus. Die Einwirkung ist eine doppelte: Erstens entsteht während des »Bombardements« durch die von der Sonne kommenden Teilchen eine tiefliegende Schicht, die durch Dämpfung, ähnlich wie bei einem Einbruch, den Kurzwellenverkehr oft unmöglich macht. Für die Dauer dieser Erscheinung ist meist kein Verkehr durch gespiegelte Raumwelle möglich. Wichtige Verbindungen können durch Übergang auf Langwelle (mit entspr. Leistung) wiederhergestellt werden (Empfang im Bereich der Bodenwelle). Zweitens aber sinkt während des Sturmes die Grenzfrequenz der F-Schicht sehr stark ab, so daß die Schicht in manchen Fällen nahezu aufgelöst wird. Diese zweite Einwirkung ist von längerer Dauer; innerhalb des Polarkreises dauert es, zumal im Winter, oft Tage, bis sich wieder eine normale Schicht gebildet hat. Während dieser ganzen Zeit fallen sonst brauchbare Wellen aus. Mit Wellen genügend niedriger Frequenz jedoch ist dann wieder Verkehr möglich, es empfiehlt sich also Übergang auf solche (nachts kommen Wellen von 1000 bis 2000 kHz in Frage). Über die allgemeinen vom Hauptwachnetz ausgestrahlten Warnungen hinaus ergehen daher für den Raum Norwegen-Finnland noch besondere Warnungen von der Funkberatungsstelle Oslo-Kjeller aus.

Abb. 12

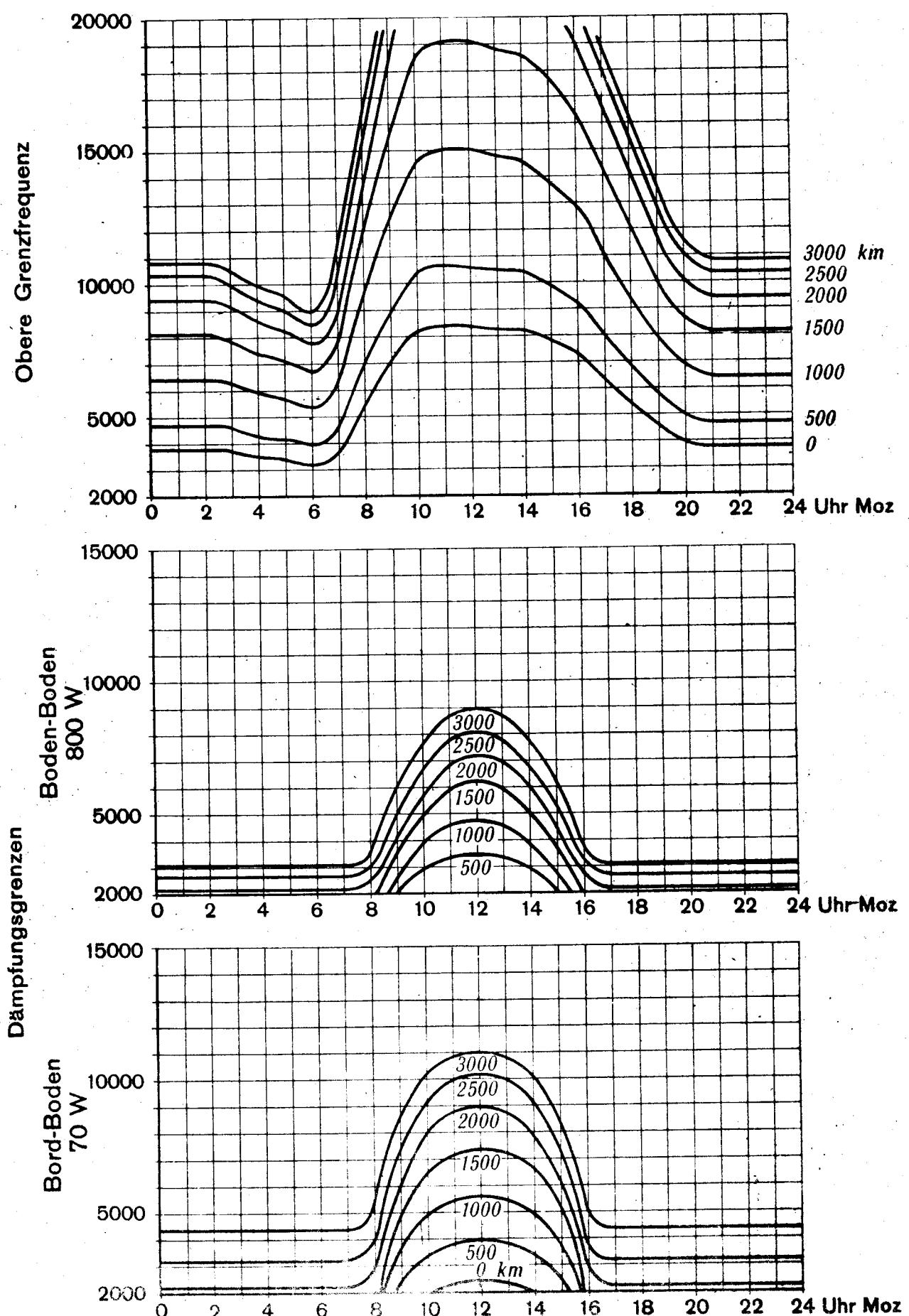


Abb. 12

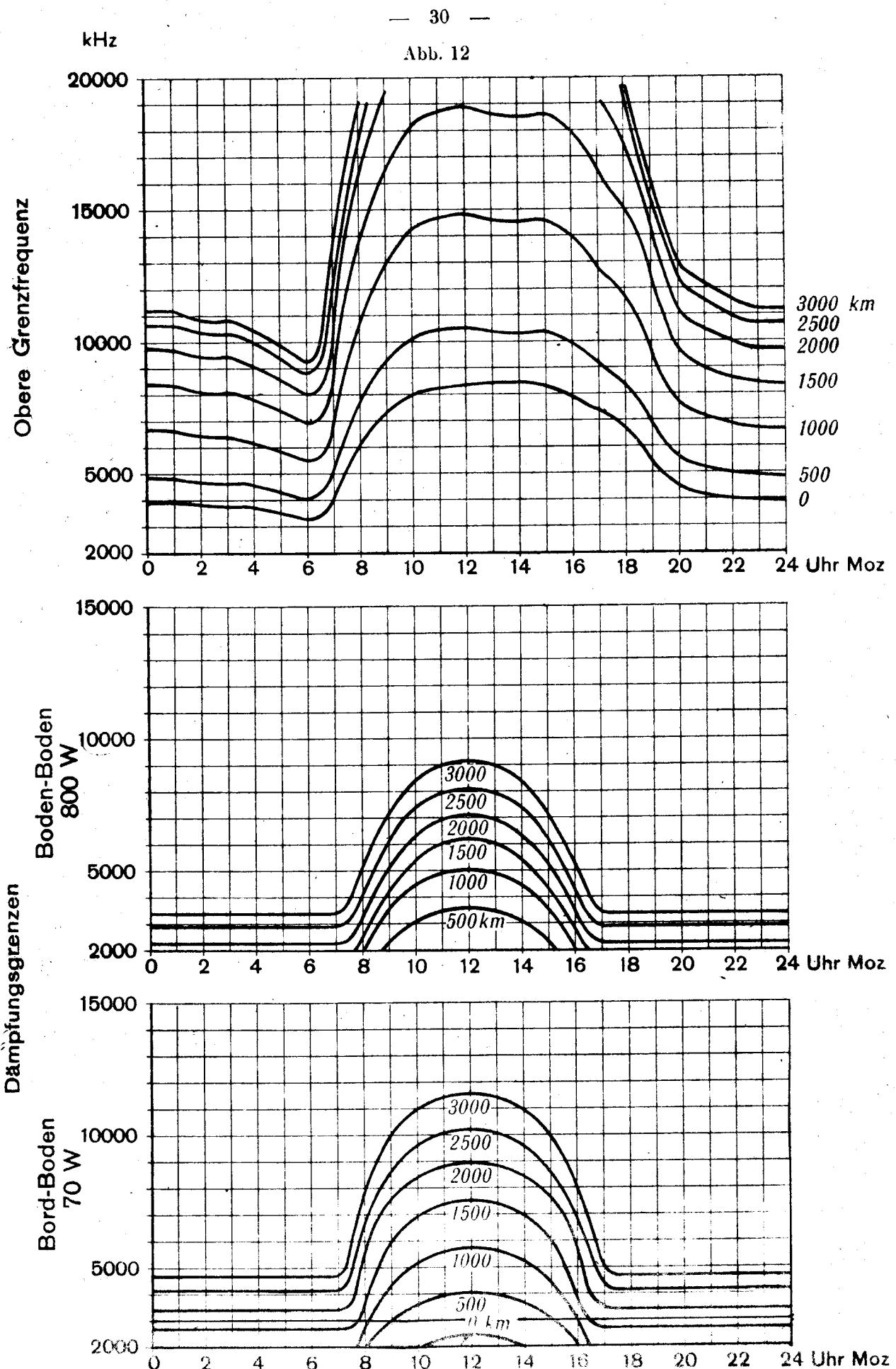
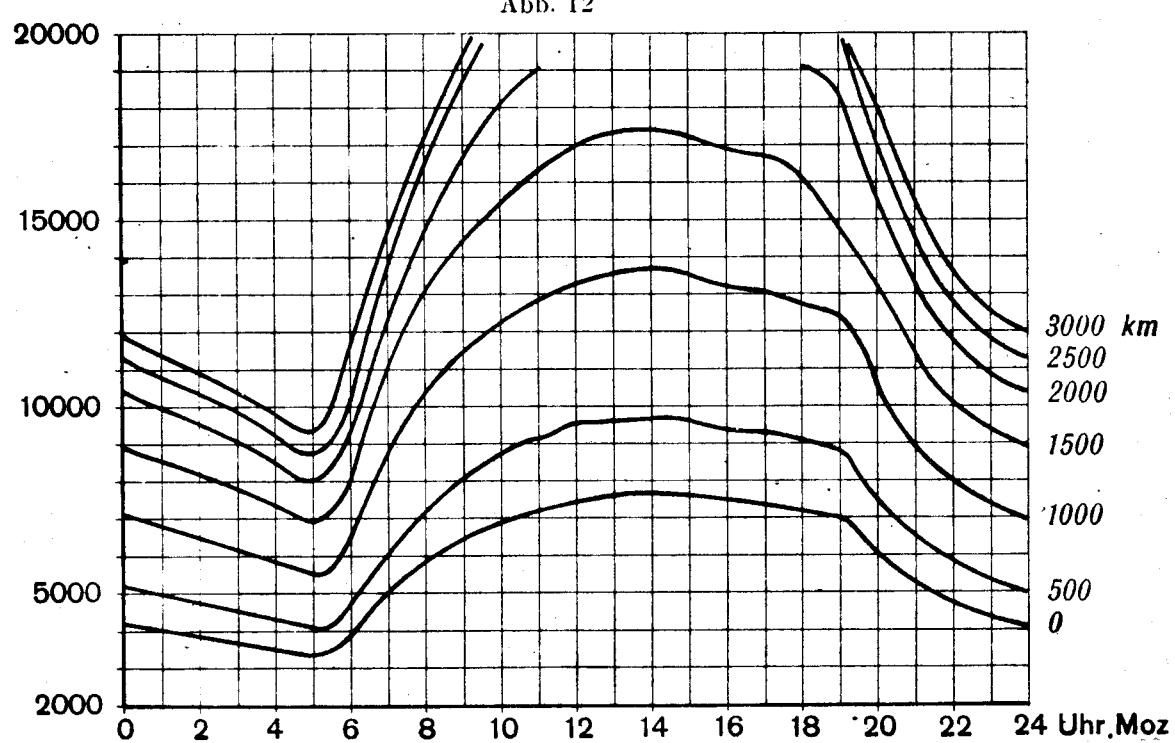
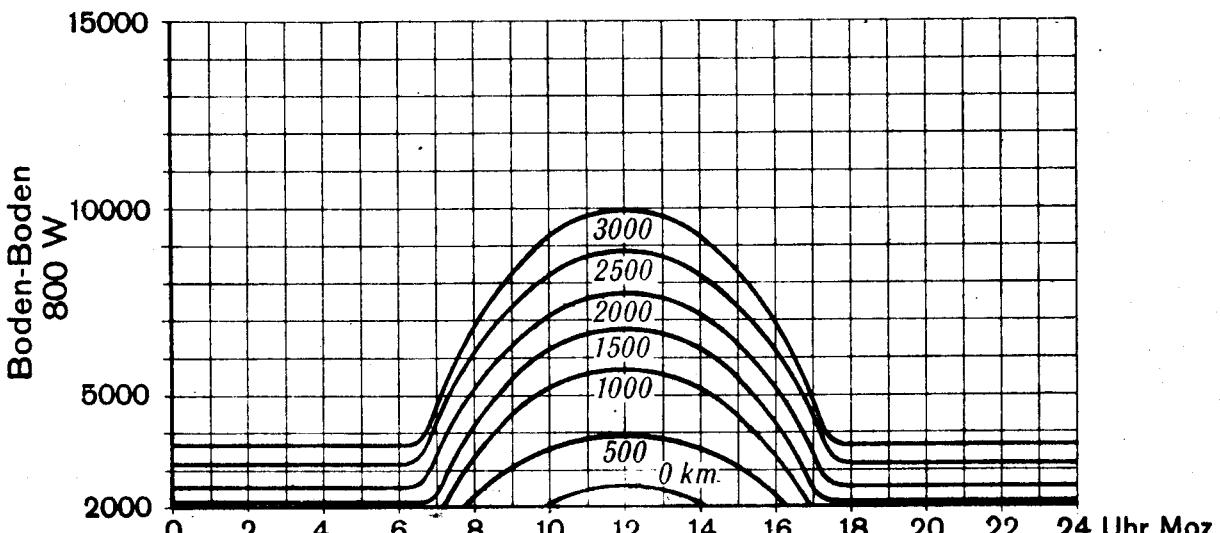


Abb. 12

Obere Grenzfrequenz



Dämpfungsgrenzen



Bord-Boden
70 W

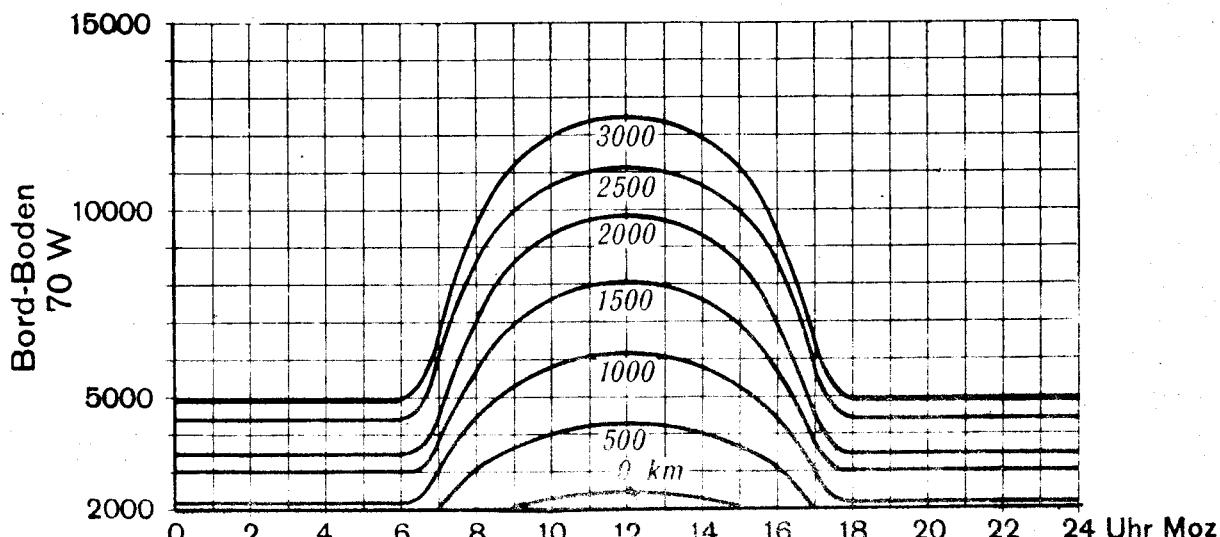
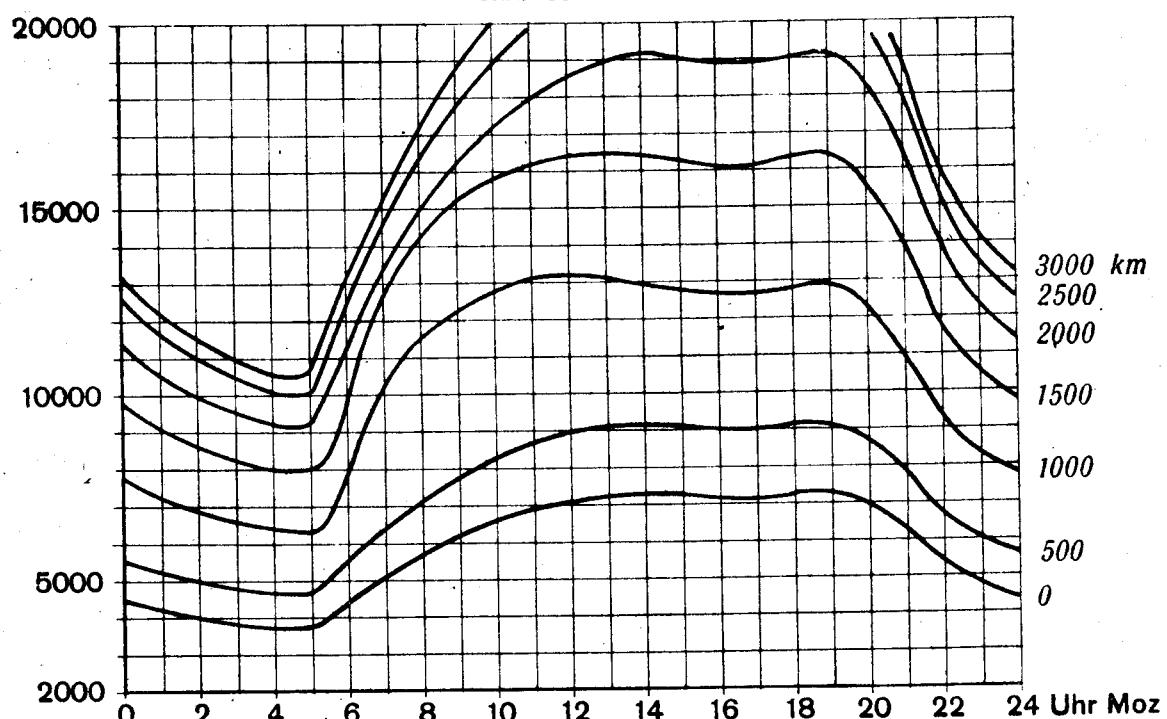
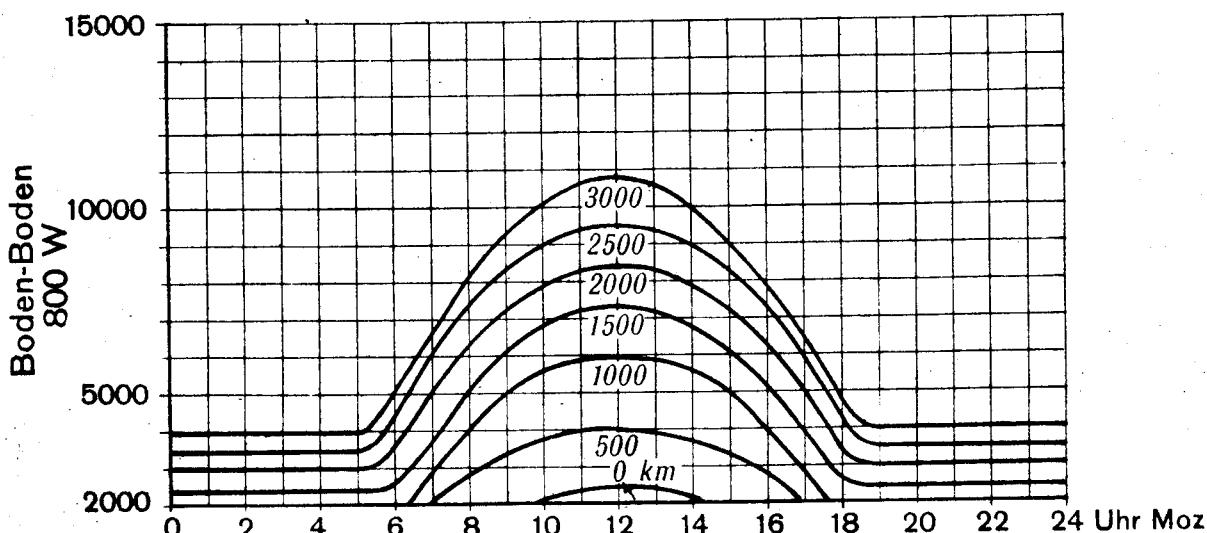


Abb. 12

Obere Grenzfrequenz



Dämpfungsgrenzen



Bord-Boden

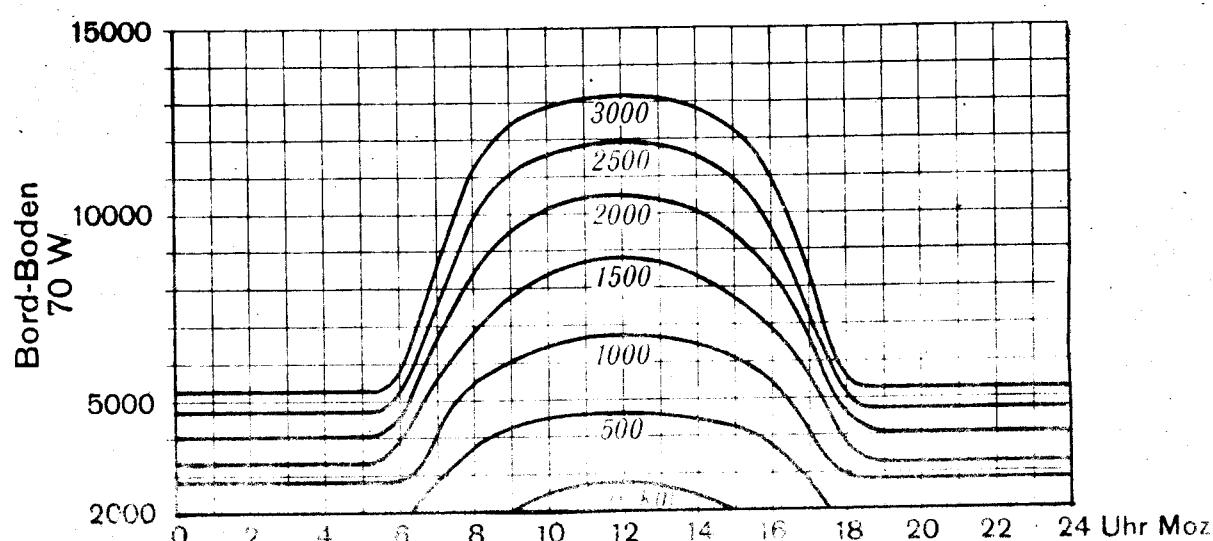


Abb. 12

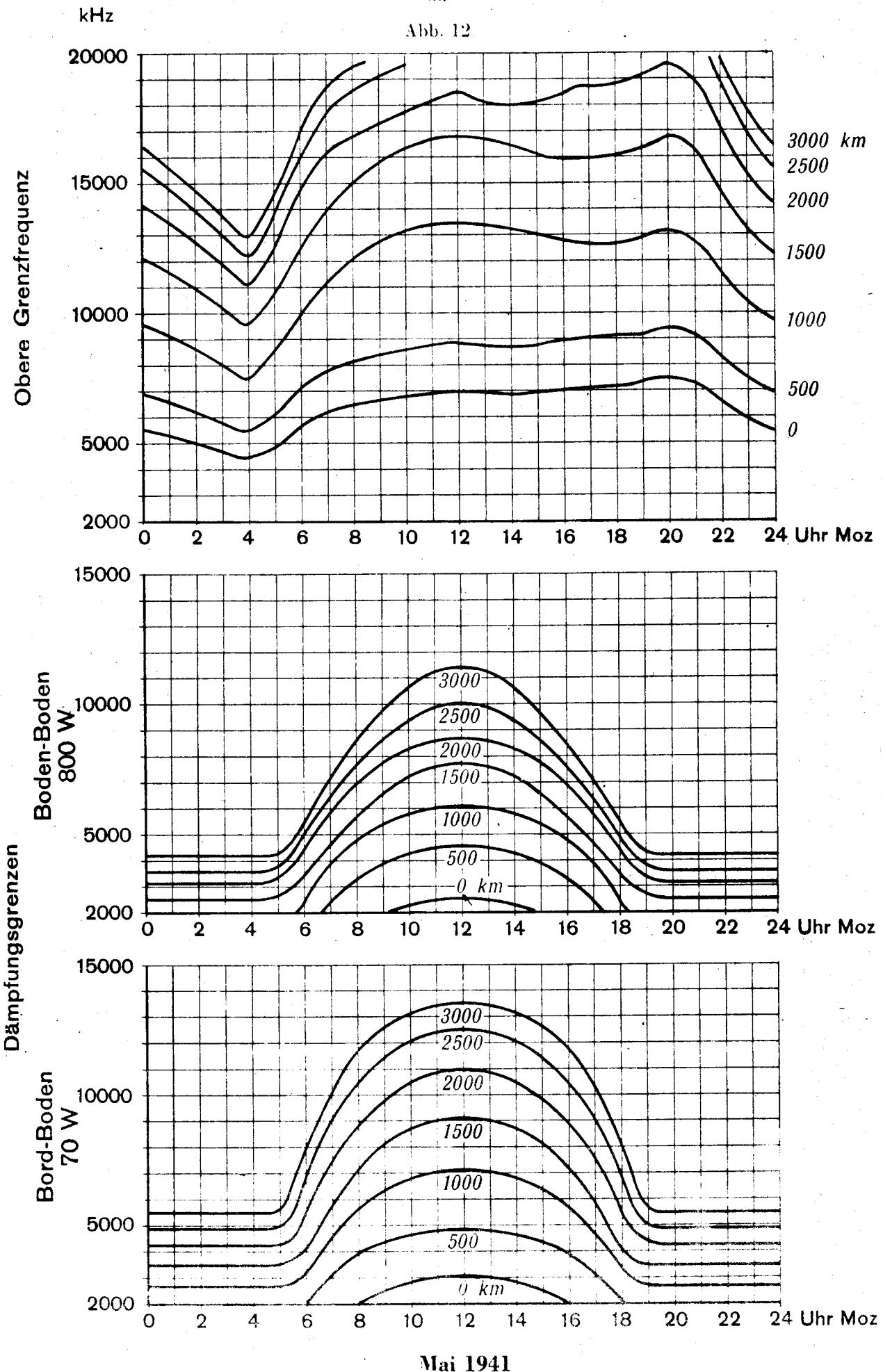


Abb. 12

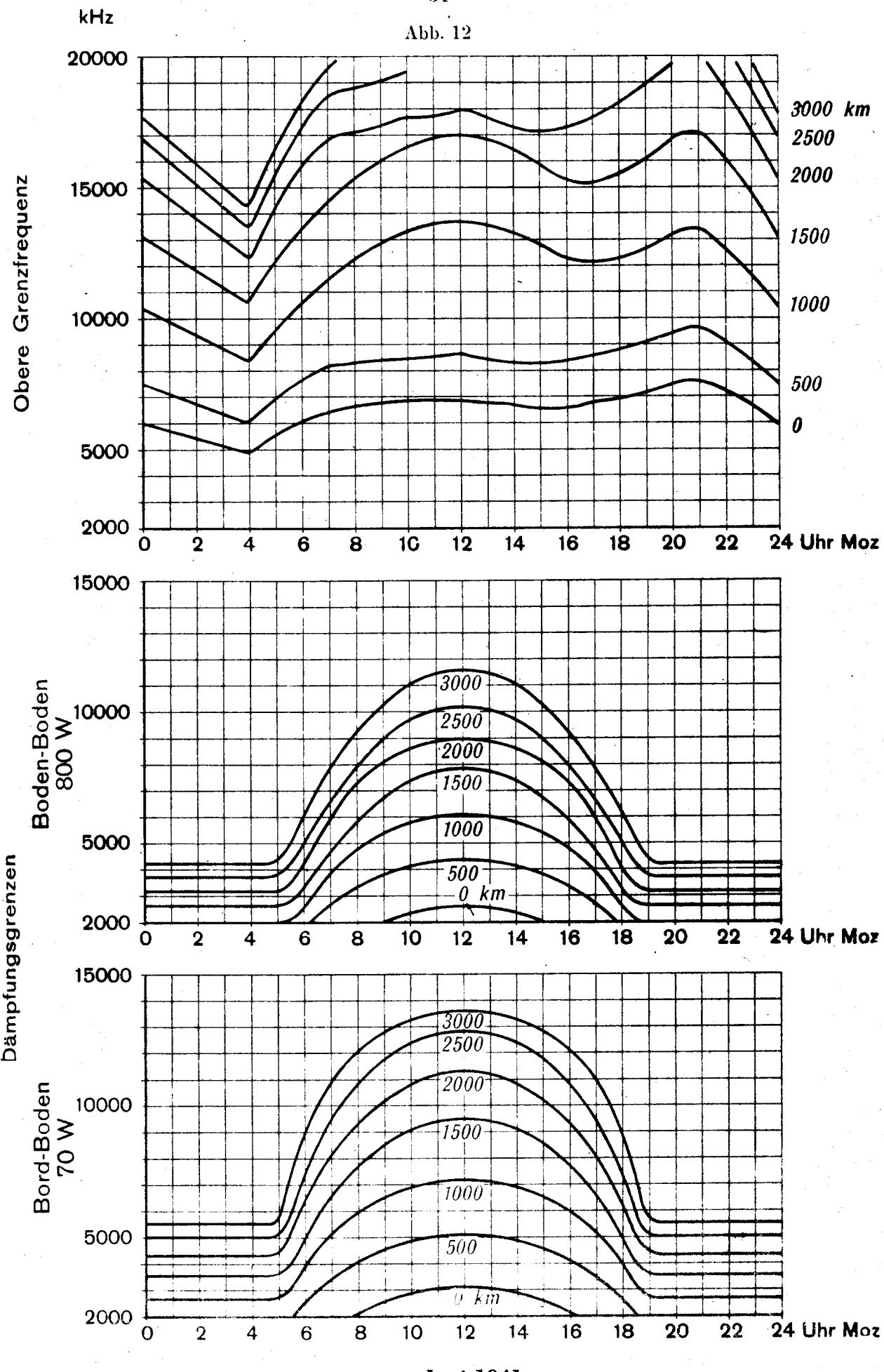


Abb. 12

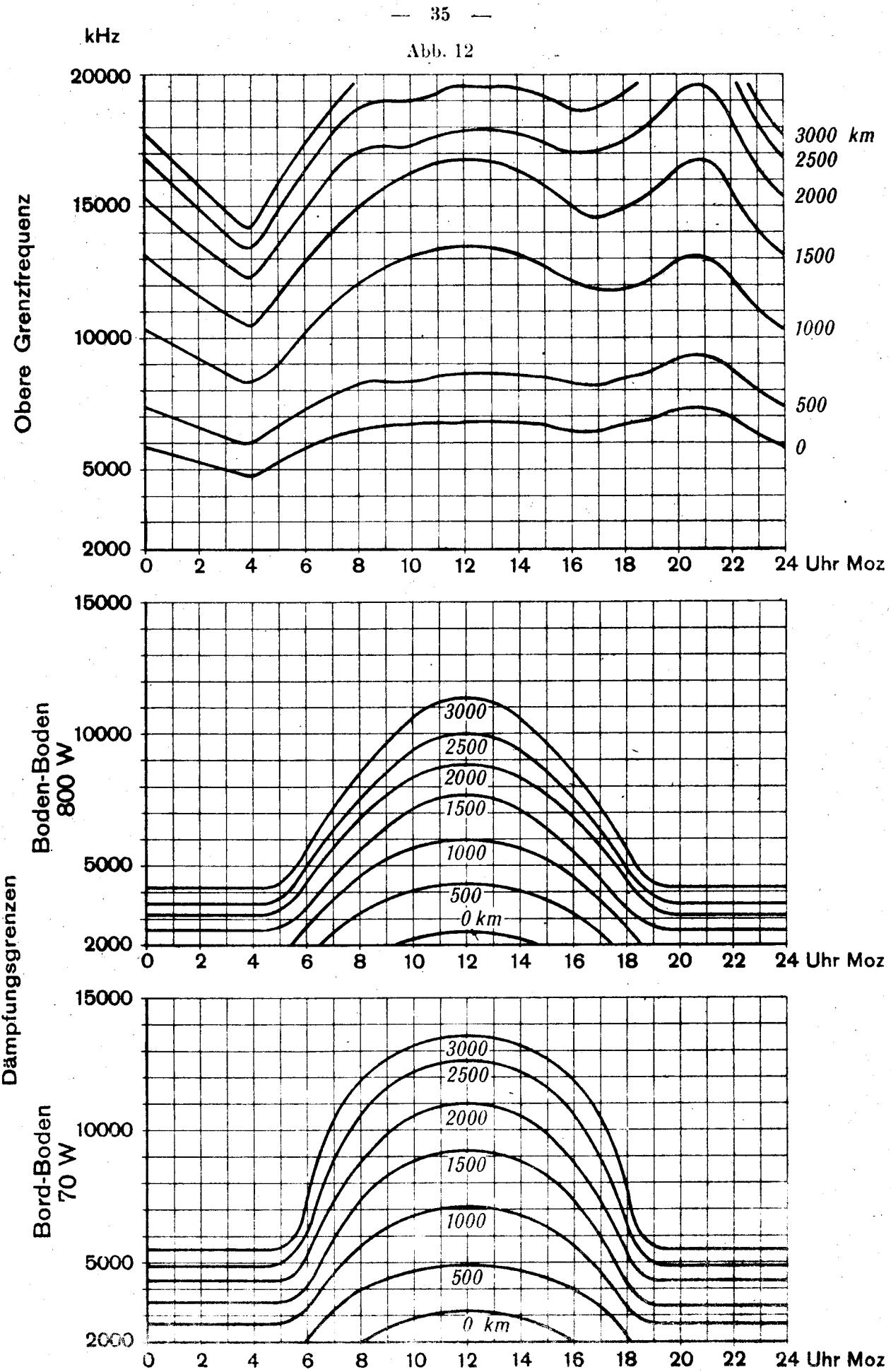


Abb. 12

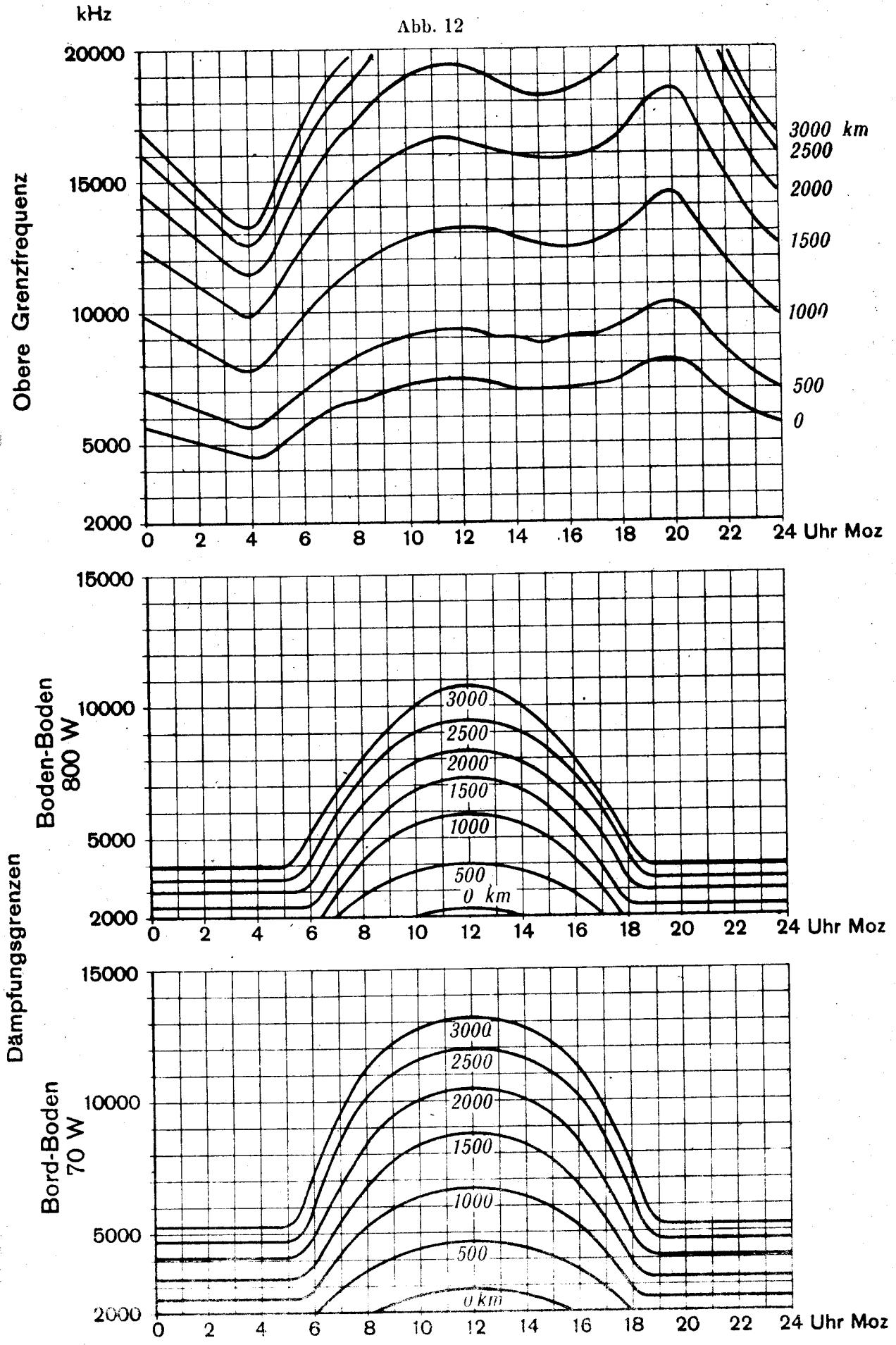


Abb. 12

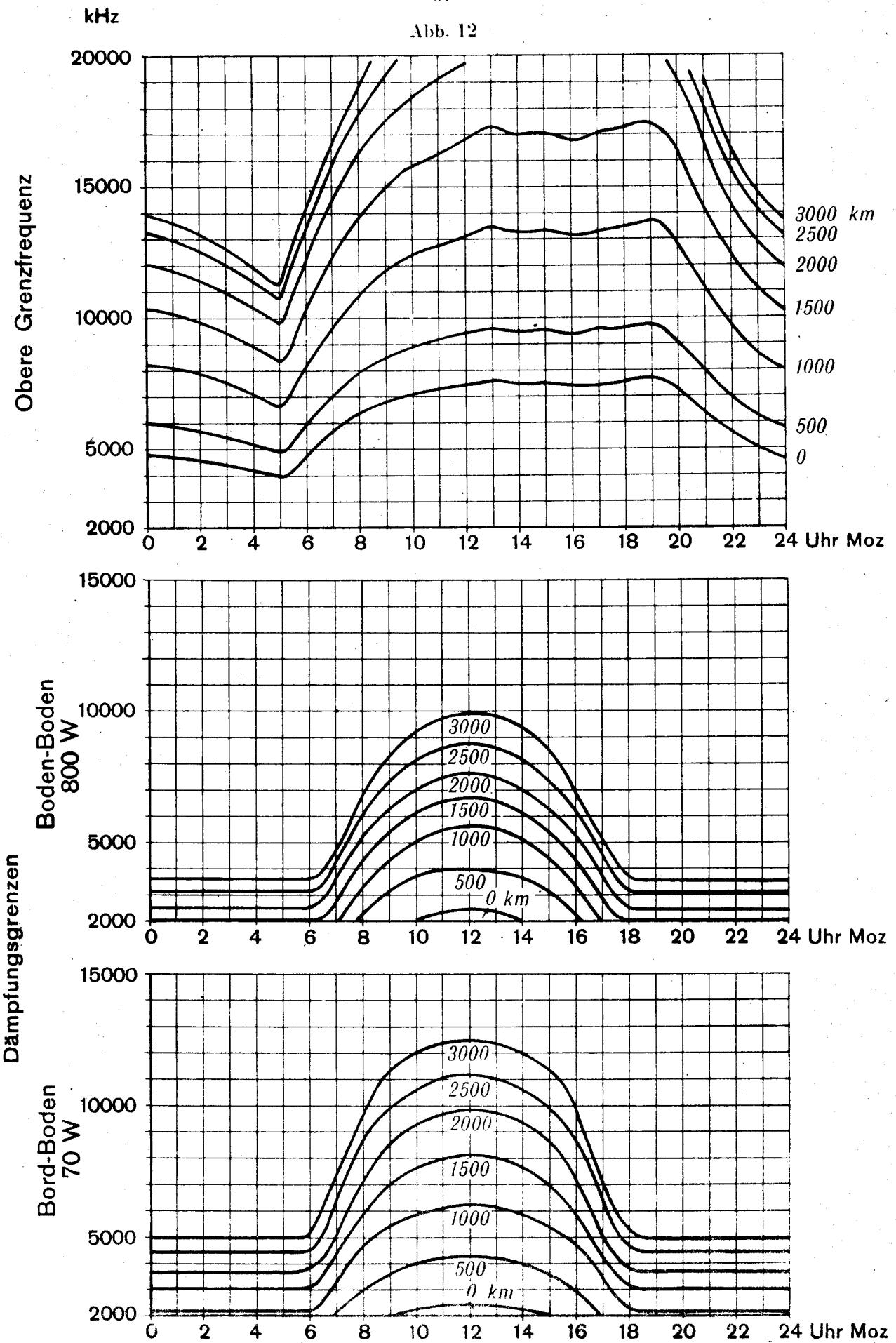
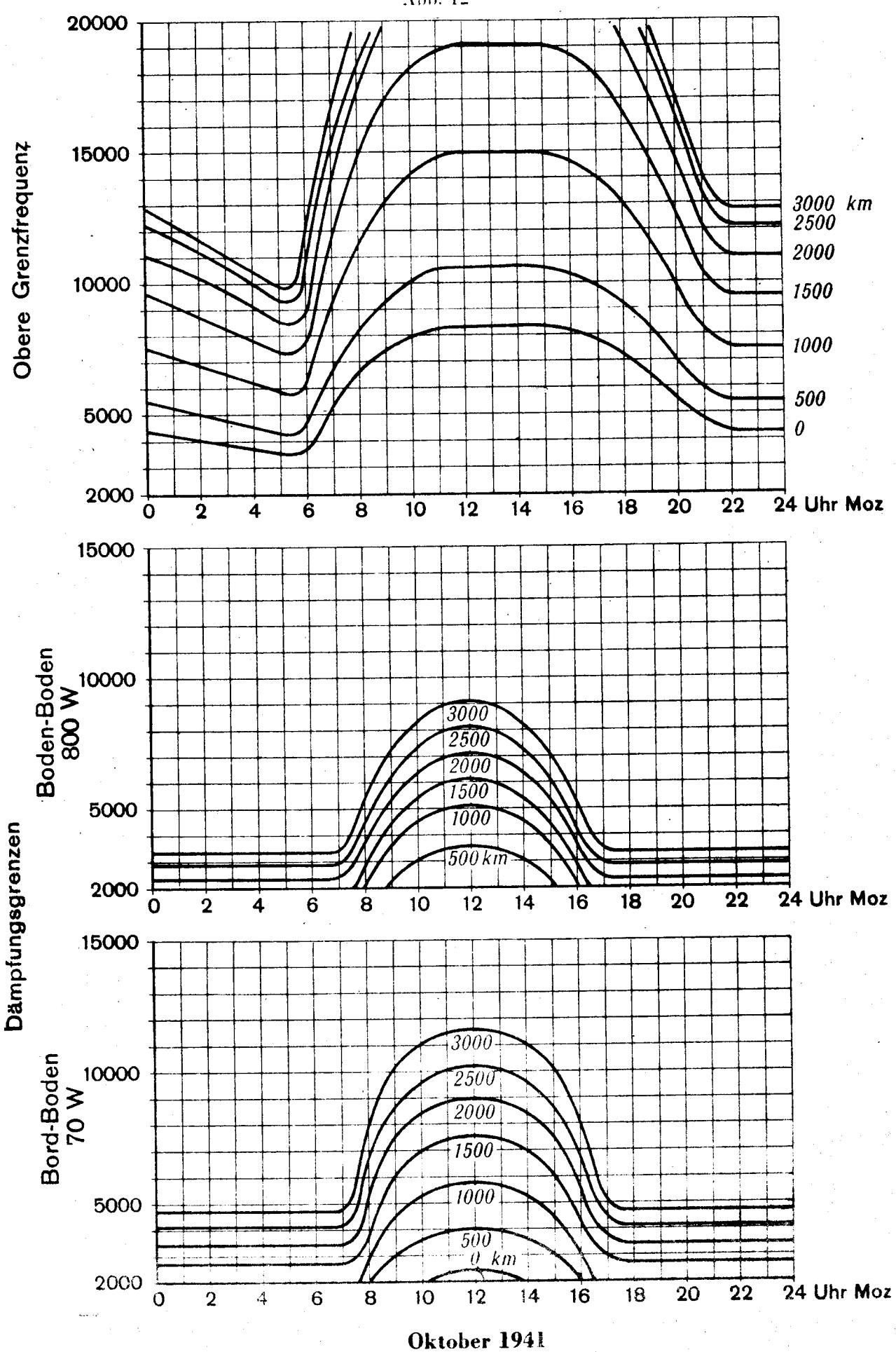


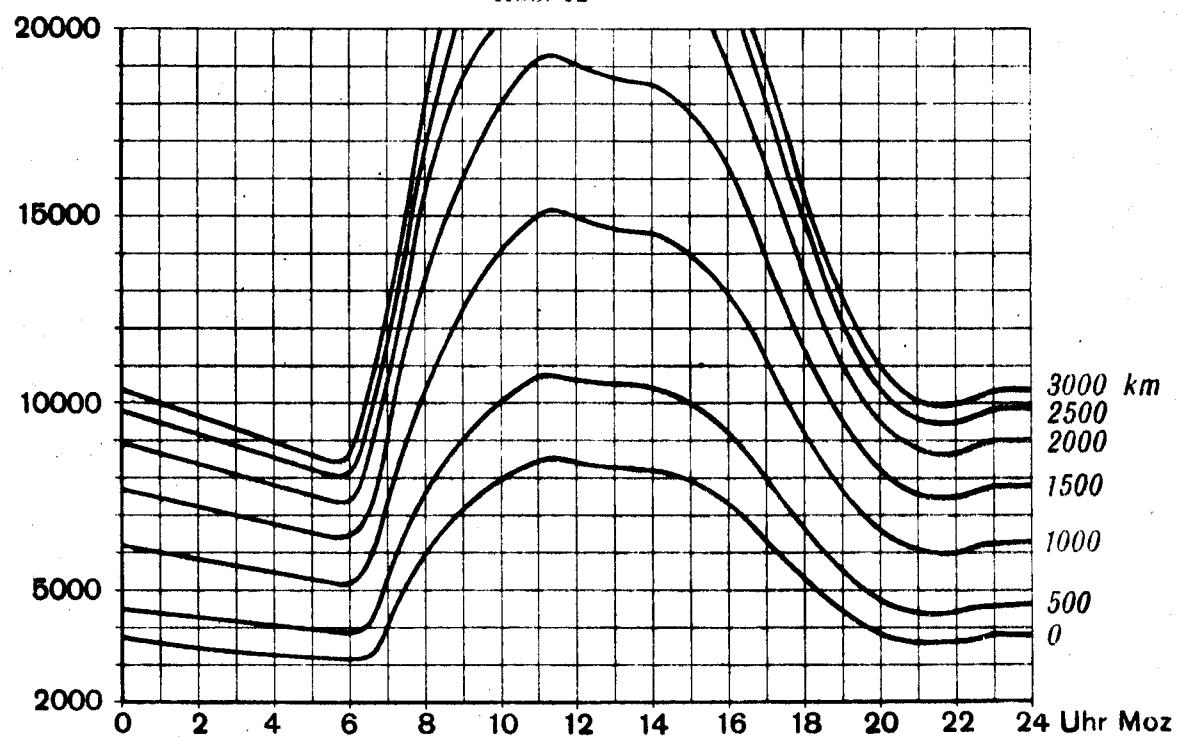
Abb. 12



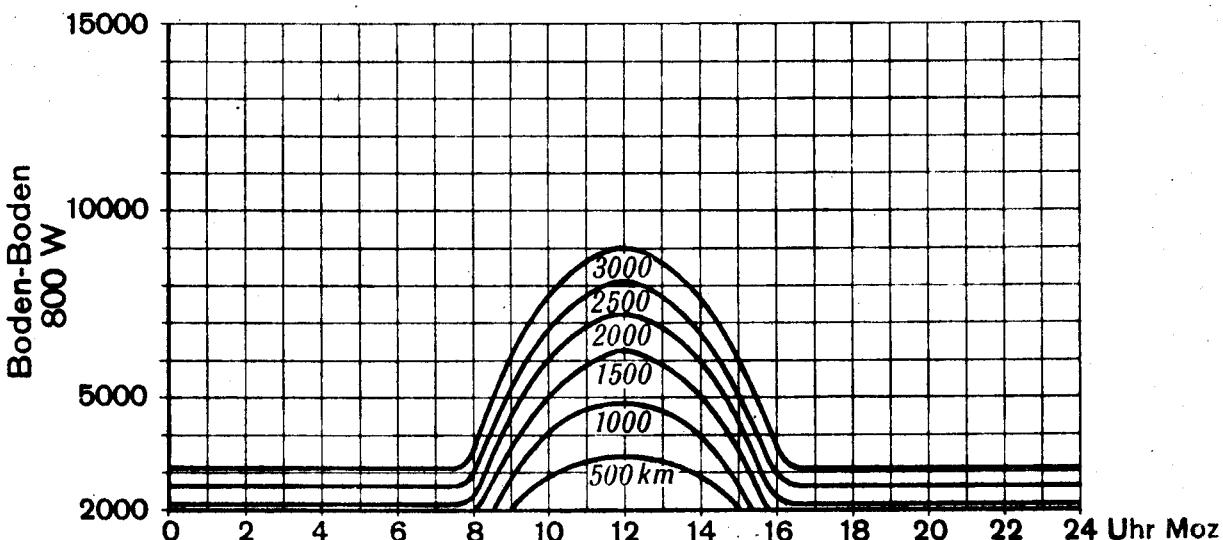
Oktober 1941

Abb. 12

Obere Grenzfrequenz



Dämpfungsgrenzen



Bord-Boden
70 W

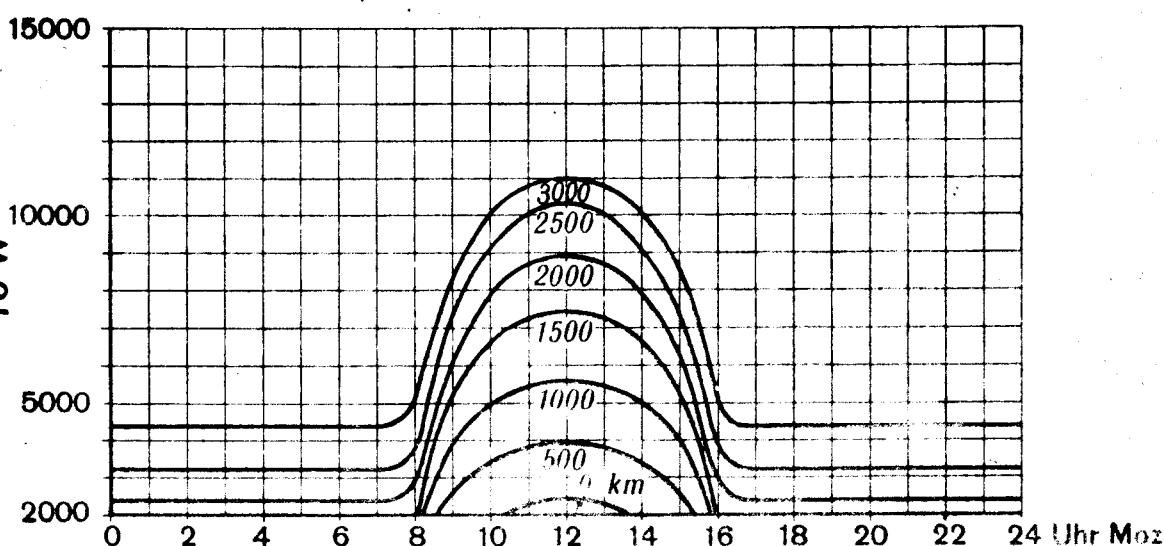
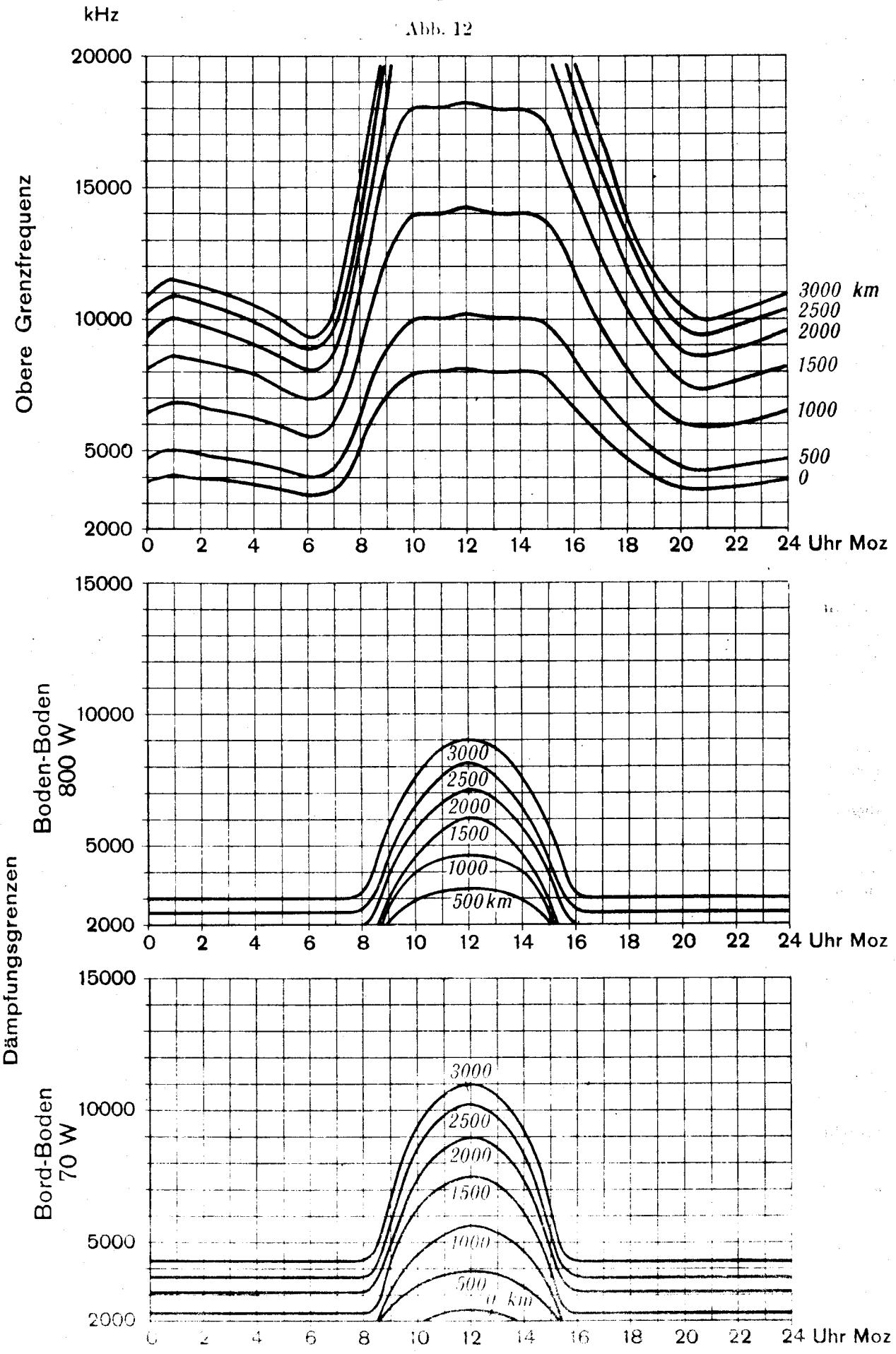


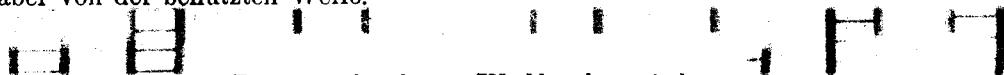
Abb. 12



4. Einfluß der Geräte auf die Ausbreitung

Aus den im vorstehenden gegebenen Erläuterungen der Ausbreitungerscheinungen ergibt sich, daß vor allem drei Eigenschaften der eingesetzten Geräte für das Zustandekommen einer Verbindung von Wichtigkeit sind: ihr Wellenbereich, die vom Sender abgestrahlte Leistung und die Empfindlichkeit des Empfängers.

Die Reichweite hängt bei Ultrakurzwellen im wesentlichen von der Flughöhe ab und nur sehr wenig von der Leistung; bei Langwellen hängt sie im wesentlichen von der Leistung ab. Bei Kurzwellen schließlich sind die Empfangsbereiche zu sehr veränderlich (Abb. 11), als daß man von einer Reichweite schlechthin sprechen könnte. Hier hängt die Überbrückung einer gegebenen Entfernung in erster Linie von richtiger Wellenwahl ab. Die obere Grenze des brauchbaren Wellenbereichs ist sogar von Senderleistung und Empfängerempfindlichkeit ganz unabhängig, während die Dämpfungsgrenze von diesen Eigenschaften zwar abhängt, weit mehr aber von der benutzten Welle.



a. Der verfügbare Wellenbereich

Dieser ist die bei weitem wichtigste Eigenschaft der Geräte. Je nach den Möglichkeiten und den taktischen Notwendigkeiten kann man zunächst zwischen Langwelle, Kurzwelle und Ultrakurzwelle wählen. Für größere Entfernungen kommt nur die Kurzwelle in Frage, während auf geringe Entfernung Langwelle und Ultrakurzwelle den taktischen Vorzug haben, nur in einem eng begrenzten Gebiet abhörbar zu sein.

Bei der Gerätewahl im Kurzwellenbereich muß man sich zunächst einen Überblick über die jeweils brauchbaren Wellen, etwa an Hand der Abb. 12, verschaffen. So ergibt sich aus den gestellten Aufgaben der notwendige Wellenumfang der Geräte. Für große Entfernungen (über 1000 km) wird dieser Umfang ziemlich groß, es sei denn, man habe die Möglichkeit, die Verkehrszeiten jeweils günstig anzusetzen. Dagegen wird man sich bemühen, für mittlere Entfernungen mit einfacheren Geräten kleineren Wellenbereichs auszukommen.

b. Die vom Sender abgestrahlte Leistung (Sendeantennen)

Der Höchstwert der Leistung, der abgestrahlt werden kann, ist durch die Röhrenbestückung des Senders gegeben (Leistungsangabe der Beschreibung). Dieser Höchstwert wird aber nur dann wirklich abgestrahlt, wenn der Sender richtig abgestimmt ist und die Antenne an einem geeigneten Aufbauplatz sorgfältig erstellt ist. Leider geschieht das sehr oft nicht, und daraus erklärt sich ein guter Teil der Schwierigkeiten, die beim Betrieb von Funkverbindungen auftreten.

Die Abstimmung des Senders ist bei größeren Bodengeräten nicht ganz einfach. Man halte sich genau an die in der Gerätebeschreibung angegebene Reihenfolge der Einstellungen:

Einstellung der befohlenen Welle in der Steuerstufe,

Abstimmung der Zwischenstufen

Abstimmung der Endstufe zunächst bei loser Antennenkopplung,

Abstimmung des Antennenkreises auf größten Antennenstrom;

dann kommt das Wichtigste: die Antennenkopplung wird schrittweise enger gemacht, dabei werden nach jeder Kopplungsänderung die Endstufe und der Antennenkreis nachgestimmt (Anzeige dabei der Antennenstrom, der jedesmal größer werden muß); durch jede Kopplungsänderung werden nämlich die beiden gekoppelten Kreise verstimmt.

Man macht die Kopplung so eng als möglich, bis nämlich der Anodenstrom der Endstufe den vorgeschriebenen Höchstwert erreicht (mehr Strom halten die Röhren nicht aus).

Die richtigen Einstellungen des Endkreises und des Antennenkreises, die sich auf diese Weise ergeben, fallen für die gleiche Welle verschieden aus, je nach der benutzten Antenne. Bei längerem Einsatz einer bestimmten Antenne lohnt es sich, mit dieser verschiedene Wellen, wie oben beschrieben, einzustellen und eine Tabelle oder Kurve der Einstellung von Endkreis, Antennenkopplung und Antennenabstimmung abhängig von der Welle aufzunehmen. Danach läßt sich dann jede befohlene Welle rasch einstellen (Nachstimmen auf größten Antennenstrom trotzdem nicht unterlassen!).

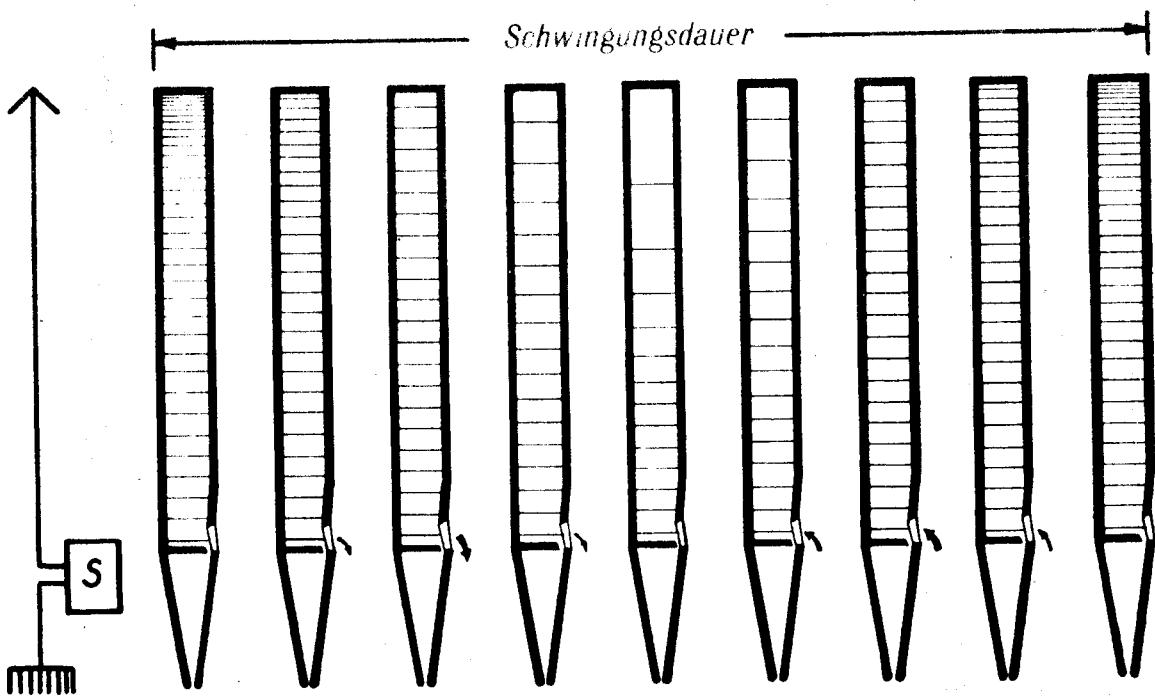


Abb. 13

Schwingende Luftsäule in einer Pfeife (Dichte der Luft durch Schraffierung angedeutet) als Beispiel für die elektrische Schwingung einer Antenne.

Der erreichte Wert des Antennenstroms ist bei einer festen Welle und Antenne ein Maß für die Abstrahlung, jedoch lassen sich weder verschiedene Antennen noch verschiedene Wellen in der Abstrahlung nach dem gemessenen Antennenstrom vergleichen. Diese hängt nämlich noch von der Größe der (im Antennenteil des Senders) eingeschalteten nichtstrahlenden Abstimmittel sowie von der strahlenden Länge der Antenne ab.

Die **Sendean天ne**¹⁾ wird durch den Sender in eine hochfrequente elektrische Schwingung versetzt. Dabei entsteht zwischen der Antenne und dem Erdboden ein wechselndes elektrisches Feld, das seine Richtung und Stärke im Rhythmus der elektrischen Schwingung des Senders ändert. Die Frequenz (= Zahl der Schwingungen in einer Sekunde) der Schwingung in der Antenne ist also gleich der des Senders. Bei einer niedrigen Antenne ist nun dieses elektrische Feld auf einen verhältnismäßig engen Raum konzentriert und wirkt kaum nach außen; bei einer hohen Antenne dagegen löst sich das Feld von der Antenne ab und wandert mit großer Geschwindigkeit (nämlich der des Lichtes: 300 000 km in der Sekunde!) in den Raum hinaus. Man nennt dieses abwandernde Feld die **Strahlung** der Antenne.

Die elektrische Schwingung einer Antenne kann man sich am Beispiel der schwingenden Luftsäule in einer Orgelpfeife leicht veranschaulichen. Genaue Beobachtungen haben gezeigt, daß in einer (unten angeblasenen, oben geschlossenen) Orgelpfeife am oberen Ende die Luft abwechselnd verdichtet und verdünnt wird, während sie am unteren Ende immer gleich dicht bleibt. Da also einmal mehr und dann wieder weniger Luft in der Pfeife ist, muß am unteren Ende Luft ein- und ausströmen. Abb. 13 zeigt Momentbilder der Luftsäule im Lauf einer Schwingung (die Pfeile deuten die Luftströmung an). Ganz entsprechend verläuft die elektrische Schwingung einer Antenne, nur strömen dort elektrische Ladungen am unteren Ende (dem Erdungspunkt des Senders) in die Antenne hinein und wieder heraus und dementsprechend entstehen am oberen Ende der Antenne Verdichtungen und Verdünnungen der elektrischen Ladung; man kann Abb. 13 also auch als Darstellung der elektrischen Schwingung einer Antenne ansehen. Je dichter die Ladungen am oberen Ende sich drängen, um so mehr Spannung liegt zwischen diesem und der Erde. Die Pfeile bezeichnen nun den Antennenstrom.

Die **Sendean天ne** ist ideal, wenn sie möglichst viel Strahlung nach allen Seiten abgibt; sie muß also bei großer strahlender Länge bzw. Höhe möglichst viel Strom aufnehmen. Großen Strom erreicht man dadurch, daß man die Antenne in ihrer Eigenschwingung schwingen läßt. Der Antennenteil des Senders hat den Zweck, durch Einschalten zusätzlicher Abstimmmittel die Eigenschwingung der Antenne mit der des Senders in Übereinstimmung zu bringen. Man nennt die Antenne dann »abgestimmt«.

¹⁾ In Kürze erscheint in der Reihe »Lehrbücher der Luftwaffe« (Verlag W. de Gruyter & Co., Berlin) eine Schrift über »Strahlung und Strahler« von Oberst C. Schwarz, in der die Antennenfragen klar und übersichtlich behandelt werden. In dem Buch »Kurzwellenantennen« von Kollak und Wehde (Weidmann'sche Verlagsbuchhandlung, Berlin) wird versucht, technisch interessierten Amateuren die Grundbegriffe der mathematischen Theorie der Antennen zu erklären, außerdem werden verschiedene Bauformen von Antennen beschrieben.

Die Eigenschwingung eines schwingungsfähigen Gebildes ist diejenige, in der es ausschwingt, wenn es einmal angestoßen ist (man denke an die Eigenschwingungen der Saiten einer Violine, Eigenschwingung einer Glocke oder ähnliche Fälle). Es ist bekannt, daß die Schwingung, die man bei Erregung von außen an einem solchen Gebilde erzielt, dann am kräftigsten ist, wenn die erregende Frequenz mit der der Eigenschwingung übereinstimmt.

Nun hat man festgestellt, daß diese Übereinstimmung bei einer Antenne gerade dann besteht, wenn sie ein Viertel der Wellenlänge λ der erregenden Schwingung lang ist. Macht man somit die Antenne gerade $\frac{1}{4}\lambda$ lang, so hat man auf ihre Eigenschwingung abgestimmt.

Außer durch Änderung der Antennenlänge kann man auch durch Einschalten von Abstimmitteln am unteren oder oberen Ende die Eigenschwingung der Antenne verändern. Bei der normalen Antennenabstimmung geschieht das am unteren Ende. Einschalten einer Spule am unteren Ende oder einer Kapazität (gegen Erde) am oberen macht die Eigenschwingungsdauer länger, »verlängert« also die Antenne. Umgekehrt kann man die Antenne »verkürzen« durch Einschalten eines Kondensators am unteren Ende. Bei Langwellen wird immer eine Verlängerung nötig sein; diese geschieht am besten durch Einschalten einer Kapazität am oberen Ende (weil dann der Strom im strahlenden Teil der Antenne größer wird). Man baut also für Langwellen Antennen mit »Dachkapazität« (Schirm- oder T-Antennen).

Weiter ist zu fordern, daß die strahlende Länge der Antenne möglichst groß ist, man wird also bemüht sein, möglichst wenig nichtstrahlende Abstimmittel zuzusetzen. Die ideale Antenne ist demnach ein senkrechter Draht, der eine Viertelwellenlänge lang ist, denn für diese braucht man keine weiteren Abstimmittel, sie wird vom Sender in ihre Eigenschwingung versetzt. Diese Antenne hat auch eine günstige Verteilung der Abstrahlung nach den verschiedenen Richtungen, sie strahlt horizontal in jeder Richtung gleich gut und hat auch eine gute Raumstrahlung (nur senkrecht nach oben wird nicht abgestrahlt; diese Richtung interessiert aber nicht).

Es gibt noch größere Antennenlängen, bei denen man ohne Abstimmittel auskommt, etwa $\frac{3}{4}\lambda$, $\frac{5}{4}\lambda$ usf.; die strahlende Länge ist dabei sogar günstiger, als bei $\frac{1}{4}\lambda$ Länge. Aber es gibt bei diesen längeren Antennen unter bestimmten Erhebungswinkeln keine Abstrahlung (»tote Winkel«), und deshalb sind sie nicht allgemein anwendbar.

Die eben durchgeführten Überlegungen, die auf die $\frac{1}{4}\lambda$ -Antenne als Ideal führten, setzen die in Abb. 13 vergleichsweise dargestellten Verhältnisse voraus. Danach muß im unteren Ende Strom fließen, der Sender muß eine Ankopplung zur Antenne haben, die das bewirkt (»Stromkopplung«); bei den üblichen Sendern ist das der Fall. Es gibt allerdings Beutesender, die auf »Spannungskopplung« gebaut sind; für diese ist eine $\frac{1}{2}\lambda$ -Antenne richtiger.

Die Zuführung vom Sender zur Antenne rechnet zur Antennenlänge mit. Da sie, soweit sie sich im Gebäude bzw. Fahrzeug befindet, kaum nach außen abstrahlt, muß sie so kurz wie möglich gehalten werden.

Grundregel: Eine Antenne ist um so besser, je näher sie der Viertelwellenlängen-antenne kommt. Anlage 4 gibt für verschiedene Frequenzen die zugehörige Wellenlänge, deren Viertel und deren Fünftel. Man sieht sofort, daß das Ideal bei Langwellen nicht erreichbar ist, wegen zu großer Bauhöhen (über 100 Meter!), bei Kurzwellen jedoch die Ausführung wenigstens bei ortsfesten Stationen keine besonderen Schwierigkeiten macht (Bauhöhen zwischen 5 und 25 Meter).

Für Langwellen baut man deshalb Antennen mit einer »Dachkapazität« (gegen Erde): T-Antenne, Schirmantenne, Sternantenne. Je größer die Dachkapazität ist, um so mehr Strom nimmt die Antenne auf; jedoch strahlt immer nur die senkrechte Zuführung, nicht das »Dach«. Es genügt also nicht allein ein breites »Dach« zu bauen, man muß vor allem die Antenne möglichst hoch machen, um dadurch dem Ideal wenigstens näher zu kommen. Man erreicht es allerdings bei weitem nicht, und deshalb lohnt es nicht, für verschiedene Wellen verschiedene Antennen einzusetzen; man stimmt vielmehr eine feste, möglichst hoch erbaute Antenne mit Hilfe der Verlängerungsspule im Antennenteil des Senders ab. Die für die verschiedenen Bodensender eingeführten Antennen sind mit Rücksicht auf rasche Aufstellung entwickelt (daher meist Schirm- oder Sternantennen); bei Aufbau für längere Zeit oder bei Vorliegen entsprechender Möglichkeiten wird man sie vorteilhaft durch eine höhere T-Antenne (mit breitem und mehrrähtigem Horizontalteil) ersetzen oder wenigstens als Schirm- oder Sternantenne mit höherem Mast ausführen.

Beim Aufbau von Schirmantennen ist zu beachten, daß die Enden der Schirmdrähte möglichst hoch über dem Boden liegen müssen, sonst kann sich das Feld nicht von der Antenne ablösen, und man hat zwar eine große Dachkapazität (daher großen Antennenstrom), aber geringe Abstrahlung.

Auch für Flugzeugantennen gelten diese Überlegungen; an Stelle der Erde wird die Masse des Flugzeugs benutzt. Demnach ist die Festantenne als T-Antenne sehr geringer Höhe mit schlechter Abstrahlung anzusehen. Aus der Grundregel folgt sofort, daß als Langwellenantenne die (voll ausgefahrene) Schleppantenne erheblich besser ist.

Für Kurzwellen läßt sich die ideale Antenne verwirklichen; bei Funkbetrieb mit häufigem Wellenwechsel kann man jedoch nicht dauernd die Antenne mitwechseln; man hat daher im allgemeinen eine Senkrechtantenne eingeführt, die bei der kürzesten Welle (höchsten Frequenz) des Wellenbereichs, der in Betracht kommt, gerade eine Viertelwellenlänge lang ist. Bei Wellen anderer Frequenz wird die Antenne dann üblicherweise mit einer Verlängerungsspule abgestimmt (im Antennenteil des Senders).

Soweit für Kurzwellensender kürzere Sternantennen eingeführt sind, ist dies aus Gründen des leichteren Aufbaus und der Tarnung geschehen. Durch Vergrößern der Antennenhöhe kann man Verbesserungen erzielen²⁾.

Arbeitet man längere Zeit mit einer ungefähr festen Welle oder braucht man besonders gute Abstrahlung (etwa, um trotz der Dämpfung ausreichende Tageslautstärke zu erzielen), so sollte man möglichst eine angepaßte Antenne für die betreffende Welle einsetzen; sind einige Wellen abwechselnd im Dauerbetrieb, so lohnt es meist, für jede eine angepaßte Antenne zu errichten. Dabei ist zu bedenken, daß die meisten Sender eine gewisse Mindestverlängerung auch bei der günstigsten Einstellung des Antennenteils enthalten; man nimmt daher meist als Antenne einen senkrechten Draht, der nur $\frac{1}{5}$ Wellenlänge (statt $\frac{1}{4}$) lang ist. Wert dieser Länge für verschiedene Wellen sind in Anlage 4 gegeben.

Sollte auch bei dieser Antennelänge mit einem bestimmten Sender noch keine Abstimmung erzielbar sein, so ist die Antenne noch etwas kürzer zu machen.

Auch als Behelfsantenne kommt für Kurzwellen eine Eindrahtantenne dieser Länge in Betracht. Läßt sich die erforderliche Höhe nicht erreichen, so bau eine schlanke T-Antenne; dabei soll Zuleitung + halbes Querstück = $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{6}$ Wellenlänge sein.

Im Flugzeug ist auch für Kurzwellen die Festantenne ungünstig. Die Schleppantenne darf jedoch nicht voll ausgefahren werden, sondern nur auf höchstens $\frac{1}{4}$ Wellenlänge; bei größerer Länge hat die Abstrahlung tote Winkel, die sich sehr ungünstig auswirken können. Deshalb fährt man vorschriftsmäßig die Schleppantenne auf etwa $\frac{1}{4}$ Wellenlänge der kürzesten Welle aus (meist auf 12 m).

Beim Einsatz von Bordgeräten am Boden achtet man darauf, daß ein Antennenanpassungsgerät für Schleppantenne verwendet wird. Man kann dann eine Senkrechtantenne etwa von der für Schleppantenne vorgeschriebenen Länge benutzen. Andernfalls könnte man nur eine Antenne von der geringen Höhe der Bord-Festantenne abstimmen.

Die Umgebung der Antenne muß möglichst frei sein, vor allem von größeren leitenden Aufbauten in der Nähe (Eisenbauten, Hallen, Brücken, Eisenmasten, größeren Gebäuden). Derartige Aufbauten verschlucken einen Teil der Strahlung; sie können außerdem (vor allem bei Kurzwellen) mit in Schwingung versetzt werden und durch ihre Rückstrahlung unerwünschte Richtwirkungen herbeiführen.

Diese Gefahr besteht immer, wenn einseitig geerdete Leiter von $\frac{1}{4}\lambda$ und mehr Länge in der Nähe vorhanden sind (oder gegen Erde isolierte Leiter von mindestens $\frac{1}{2}\lambda$ Länge). Deshalb müssen Abspansseile aus Stahl durch Isoliereier in Stücke mit kleineren als diesen Maßen unterteilt werden.

Von den Antennenmasten (vor allem von eisernen) soll die Antenne möglichst Abstand halten. Man verwendet deshalb Eindraht- oder T-Antennen mit Zuführung möglichst in der Mitte zwischen beiden Masten, wobei die Masten weit genug auseinanderstehen müssen. Bei Behelfsantennen zwischen Bäumen oder Häusern möglichst mindestens 10 m Abstand der Antenne von diesen halten! Die Antennenzuführung darf nie in geringem Abstand an einem geerdeten Mast entlanggeführt werden!

Aufbau im Hochwald nur notfalls und dann möglichst auf einer Lichtung oder Schneise!

Besonders wichtig ist die Wahl des Aufbauplatzes bei Verwendung von Langwellen- bzw. bei Verkehr im Bereich der Bodenwelle; möglichst gleichmäßiger, ebener und feuchter Untergrund ist erwünscht. Naher Hochwald oder Bodenerhebungen können abschirmend wirken, nahe Flußläufe, Drahtleitungen, Eisenbahnschienen können die Strahlung »mitführen« und so die Ausbreitung in andern Richtungen verringern. Im Gebirge ist die Ausbreitung der Bodenwelle sehr unübersichtlich und ungünstig.

Die Erde ist von ausschlaggebender Bedeutung für die Wirkung einer Antenne. Ideal ist eine sehr gut leitende Erde: feuchter Untergrund mit hohem Grundwasserstand. Sind diese Forderungen erfüllt, so ist nur eine möglichst kurze Erdleitung zu verlegen, am besten bis ins Grundwasser (Leitungsdurchmesser mindestens 3 mm, besser noch Metallband).

Ist das Grundwasser erst in gewissem Abstand erreichbar, so ist die Erdleitung bis zur Erdungsstelle isoliert gegen Erde zu führen (Gummikabel), sonst fließt der Strom teilweise durch die schlechter leitende Erde ins Grundwasser ab. Die Zuleitung zum Grundwasser darf allerdings überhaupt nur wenige Meter betragen!

²⁾ Einzelangaben zu Heeressendern im Merkblatt »Über Aufbau und Ausführung von Antennen« D 1034/1.

Sind die Erdungsverhältnisse nicht ideal, so bewirken sie erhebliche Verluste an Strahlung; sind sie in verschiedenen Richtungen ungleich, so geben sie unkontrollierbare Richtwirkungen. Deshalb muß in diesen Fällen die Erdung dadurch verbessert werden, daß man zusätzlich gut leitende Strombahnen in der Erdoberfläche schafft. Bei beweglichen Anlagen muß diese Möglichkeit immer mit vorgesehen sein; man legt deshalb bei solchen sternförmig Gegengewichtsdrähte über die Erde aus. Diese Drähte müssen gegen Erde isoliert sein (Gummikabel). Bei Langwellen sollen die Gegengewichtsdrähte etwa die doppelte Länge der Antennendrähte haben; bei Kurzwellen sollte man die Gegengewichtsdrähte etwa $\frac{1}{4}$ Wellenlänge lang machen.

Längere Gegengewichte sind bei Kurzwellen gerade bei schlechter Erde gefährlich; die Gegengewichtsdrähte werden nämlich auch in elektrische Schwingung versetzt gemeinsam mit der Antenne, nur jeweils mit umgekehrter Ladung. Wenn die Länge $\frac{1}{4}\lambda$ ist, ist das gerade eine sozusagen umgekehrt ausgelegte Antenne; wenn die elektrischen Ladungen aus der Antenne abfließen, so laden sie das Gegengewicht auf und umgekehrt. Man wird daher zweckmäßig das Gegengewicht auch in der Länge anpassen, wie beschrieben.

Für feste Stationen wählt man meist einen Aufbauplatz mit guter Erde. Ist das nicht möglich, so gibt es zwei Möglichkeiten: entweder verlegt man ein Erdnetz (dichtes Netz von Dräten, sternförmig, spätentief verlegt), um die Leitfähigkeit der Erde durch die eingelegten Drähte zu verbessern, oder man errichtet als Gegengewicht ein Netz von Dräten auf Holzpfählen etwa 2 m über der Erde ausgespannt und gegen Erde isoliert, um sozusagen die Erde durch dieses Netz überhaupt zu ersetzen. Für die Drahtlänge gilt das oben Gesagte. Bei ganz schlecht leitender Erde (Fels) wirkt auch ein Erdnetz als Gegengewicht.

Je niedriger die Frequenz der ausgestrahlten Welle ist und je weniger die Antenne das Ideal erreicht, um so größer sind die Verluste durch Unvollkommenheit der Erdung. Die »von der Antenne abgestrahlte Leistung« ist daher bei Langwellen weit geringer, als die »von der Antenne aufgenommene Leistung«; letztere entspricht ungefähr der »Nennleistung« des Senders. Bei Wellen mit Frequenzen unter 300 KHz kann man oft nur 10% der Nennleistung wirklich abstrahlen. Bei Kurzwellen dagegen kann man bei günstigem Aufbau die Erdverluste klein halten.

Kommerzielle Kurzwellenstationen erreichen geringere Erdverluste durch einen von der Erdung unabhängigeren Antennenaufbau, indem sie eine symmetrische Antenne benutzen. Diese besteht aus zwei horizontal ($\frac{1}{4}$ Wellenlänge über der Erde) entgegengesetzt ausgespannten Dräten, die je $\frac{1}{4}$ Wellenlänge lang sind; die Richtung dieser Dipolantenne ist senkrecht zur Strecke zu wählen. Der Speisepunkt (Mittelpunkt der Antenne) liegt hoch über der Erde, man braucht deshalb eine angepaßte Antennenzuleitung: zwei Drähte in etwa 20 cm Abstand geführt (isolierende Distanzstücke!), $\frac{1}{2}$ Wellenlänge lang (>Himmelsleiter«). Man kann also eine solche symmetrische Antenne nur für einen engen Wellenbereich benutzen, da man ja im unzugänglichen Speisepunkt keine Abstimmittel einschalten kann. Es sei denn, man spart sich die »Himmelsleiter« dadurch, daß man den Sender auf einem Holzgerüst aufbaut (Höhe: $\frac{1}{4}\lambda$ der kürzesten Welle) und die beiden Antennenarme etwas nach oben schräg spannt; macht man dann die Antenne ausfahrbar (Haspeln beim Sender, Rollen und Gewichte an den beiden Masten), so kann man rasch jede Welle einstellen. Für feste Dienste bietet ein solcher Aufbau manche Vorteile, vor allem im Verkehr auf große Entferungen, jedoch braucht man dazu einen symmetrischen Ausgang des Senders; die bei der Truppe eingeführten Sender haben diesen nicht (was für den normalen Einsatz auch besser ist); Zusatzgeräte zum Übergang auf symmetrischen Ausgang sind noch nicht vorhanden.

Richtantennen kommen für den Truppeneinsatz nur selten in Betracht. Im allgemeinen wird man sich bemühen, möglichst gute, allseitig strahlende Antennen zu bauen. Für feste Dienste auf große Entferungen sowie für Schnelltelegraphie- und Hellschreiberverbindungen bieten Richtantennen jedoch erhebliche Vorteile. Die für Transoceanverbindungen entwickelten »Richtstrahler« sind durchweg für symmetrischen Senderausgang entwickelt und im Aufbau sehr kompliziert; außerdem kann man sie nur auf einem engen Wellenbereich verwenden. Für die Truppe kommen im wesentlichen zwei einfachere »unsymmetrische« Richtantennen in Betracht: Die Langdrahtantenne besteht aus einem horizontal ausgespannten Draht (Höhe $\frac{1}{4}$ Wellenlänge oder auch etwas weniger), der mehrere Wellenlängen lang ist; die Speisung erfolgt an einem Ende durch eine senkrechte Zuführung von $\frac{1}{4}$ Wellenlänge. Die Abstrahlung erfolgt gut gebündelt etwas schräg nach oben, nach beiden Seiten in der Antennenrichtung und ist für Kurzwellenfernverbindungen recht günstig. Man wird praktisch die Antenne 3, 4 oder 5 Wellenlängen lang machen (die Bündelung wird mit wachsender Länge besser). Die Schrägantenne ist eine schräg vom Sender zu einem Mast verspannte Langdrahtantenne mit einer Steigung gegen den Boden von etwa 15%. Da hier keine besondere Zuleitung besteht, muß die Antennenlänge entsprechend $3\frac{1}{4}$, $4\frac{1}{4}$, $5\frac{1}{4}$ Wellenlängen betragen. Die Schrägantenne hat eine einseitige Abstrahlung vom Sender aus in der Gegenrichtung zur Antenne, die etwas steiler nach oben geht als bei der Langdrahtantenne.

Gute, allseitig gleiche Erdverhältnisse sind unbedingte Voraussetzung für alle Richtantennen.

c. Die Empfindlichkeit des Empfängers

Aufgabe des Empfängers ist es, aus den vielen auf die Empfangsantenne treffenden Wellen die gewünschte auszuwählen, zu verstärken und schließlich die damit übermittelten Zeichen hörbar zu machen. Hier interessiert die verstärkende Wirkung des Empfängers. Ein Empfänger ist um so empfindlicher, je schwächere Zeichen er noch aufzunehmen gestattet. Da von der Antenne und auch vom Empfänger selbst ein gewisses Maß an Störungen (Rauschen) immer mit den zu verstärkenden Zeichen mitkommt, muß die Empfangsanlage diesen »Störpegel« möglichst niedrig halten.

Das Maß des inneren (vom Empfänger selbst herrührenden) Störpegels ist je nach der Type des Geräts etwas verschieden. Allgemein sind Überlagerungsempfänger besser als Geradeausempfänger.

Die Empfindlichkeit des Empfängers darf jedoch mit der erzielten Lautstärke nicht verwechselt werden; alle Lautstärke hilft nichts, wenn der Störpegel stärker als die Zeichen ist.

Der äußere (von der Antenne aufgenommene) Störpegel ist durch die nähere und weitere Umgebung verursacht. Die atmosphärischen Störungen sind höchstens bei Langwellen von besonderem Ausmaß. Weit mehr an Störung kommt im allgemeinen von elektrischen Maschinen und Leitungen her. Man meide daher mit der Empfangsstelle die Nähe von Motoren, Umläufen, Kraftleitungen (500 m Abstand bei Hochspannung, 100 m bei Niederspannung). Außerdem verlege man das untere Ende der Antennenzuleitung, vor allem innerhalb von Gebäuden, abgeschirmt; die Antenne muß aus dem »Störnebel« des Gebäudes herausragen!

Von der Empfangsantenne ist zu fordern, daß sie die zu empfangenden Zeichen gut, den Störpegel schlecht aufnimmt. Eine Abstimmung der Empfangsantenne auf die empfangene Welle ist nicht üblich und auch im allgemeinen nicht erforderlich; es lohnt jedoch sehr, die Empfangsantenne für eine mittlere Welle des Bereichs anzupassen, zumindest also für Langwellen und Kurzwellen verschiedene Antennen zu verwenden. Man kann allgemein sagen, was für Sendeantennen gilt, ist auch für Empfangsantennen richtig. Daher kann hier auf das über erstere Gesagte verwiesen werden.

Daß man auch mit einem kurzen Drahtende oft schon etwas empfängt, zeigt nur, wie empfindlich die heutigen Geräte sind. Eine Empfangsstelle soll jedoch alle gegebenen Möglichkeiten nutzen und muß daher mit guten Antennen ausgerüstet sein.

In den Fällen, wo sendeseitig Richtantennen eingesetzt sind, lohnt deren Einsatz auch empfängerseitig; es können dieselben Typen Verwendung finden. Durch Richtempfang wird der Störpegel erheblich verringert.

Im kommerziellen Kurzwellenfernverkehr sind neuerdings einfache Richtantennen, die für einen breiten Wellenbereich brauchbar sind, eingeführt. Diese »Rhombusantennen« setzen jedoch einen symmetrischen Empfänger-eingang voraus.

C. Funkpeilung und Funkortung

Beim Einsatz von elektrischen Wellen zur Peilung und Ortung wird meist besondere Regelmäßigkeit der empfangenen Wellen nach Schwingungsrichtung und Stärke vorausgesetzt. Daher sind die Ausbreitungserscheinungen und ihr Einfluß für die Beurteilung der Brauchbarkeit und Zuverlässigkeit dieser Verfahren von besonderer Bedeutung. Diese Zusammenhänge sollen hier zur Sprache kommen.

1. Peilverfahren

Die Peilverfahren beruhen alle darauf, daß man am Empfänger spezielle Antennensysteme mit Richtwirkung benutzt. Eine solche Anordnung ist grundsätzlich drehbar und wird auf kleinste Lautstärke (Minimum des Empfangs) ausgerichtet. Dann zeigt die Winkelskala die Richtung zum Sender an. Durch Peilung von zwei Sendern bekannten Standorts ist Bestimmung des eigenen Standorts möglich.

Statt die Antenne tatsächlich zu drehen, verwendet man bei größeren Anlagen oft zwei gekreuzte Antennen der gleichen Art. Man benutzt ihre Aufnahme dann, um in einem Hilfsgerät (Goniometer) sich eine Art verkleinertes Abbild des Feldes zu schaffen, das auf die Antennen einwirkt. In diesem abgebildeten Feld bestimmt man dann (z. B. mit einer Schwenkspule) die gesuchte Richtung.

Sorgfältigster Aufbau und gute Erdung sind bei allen Peilanordnungen unbedingte Forderung. Rückstrahler in der Umgebung der Antenne sind äußerst störend. Daher vermeide man möglichst Gebäude, Masten, hohe Bäume, Freileitungen, Bahngeleise und ähnliche große elektrische Leiter in etwa 100 m Umkreis. Wasser und Sumpf sind eher günstig als ungünstig, das Gelände sei möglichst eben. In jedem Fall muß man den immer noch vorhandenen Einfluß der Rückstrahler durch Aufnahme einer Funkbeschickung ausgleichen.

Man peilt dazu eine Reihe von Sendern an, deren Richtung bekannt ist, und stellt so für die verschiedenen Richtungen die Abweichung der Peilung von der wahren Richtung fest. Diese Abweichung heißt Funkbeschickung. Bei Peilung eines Senders mit unbekanntem Ort muß man zum Peilwinkel die Funkbeschickung für diese Richtung hinzuzählen (bzw. abziehen), um seine wahre Richtung zu erhalten. Diese Funkbeschickung ist u. U. von der benutzten Welle abhängig.

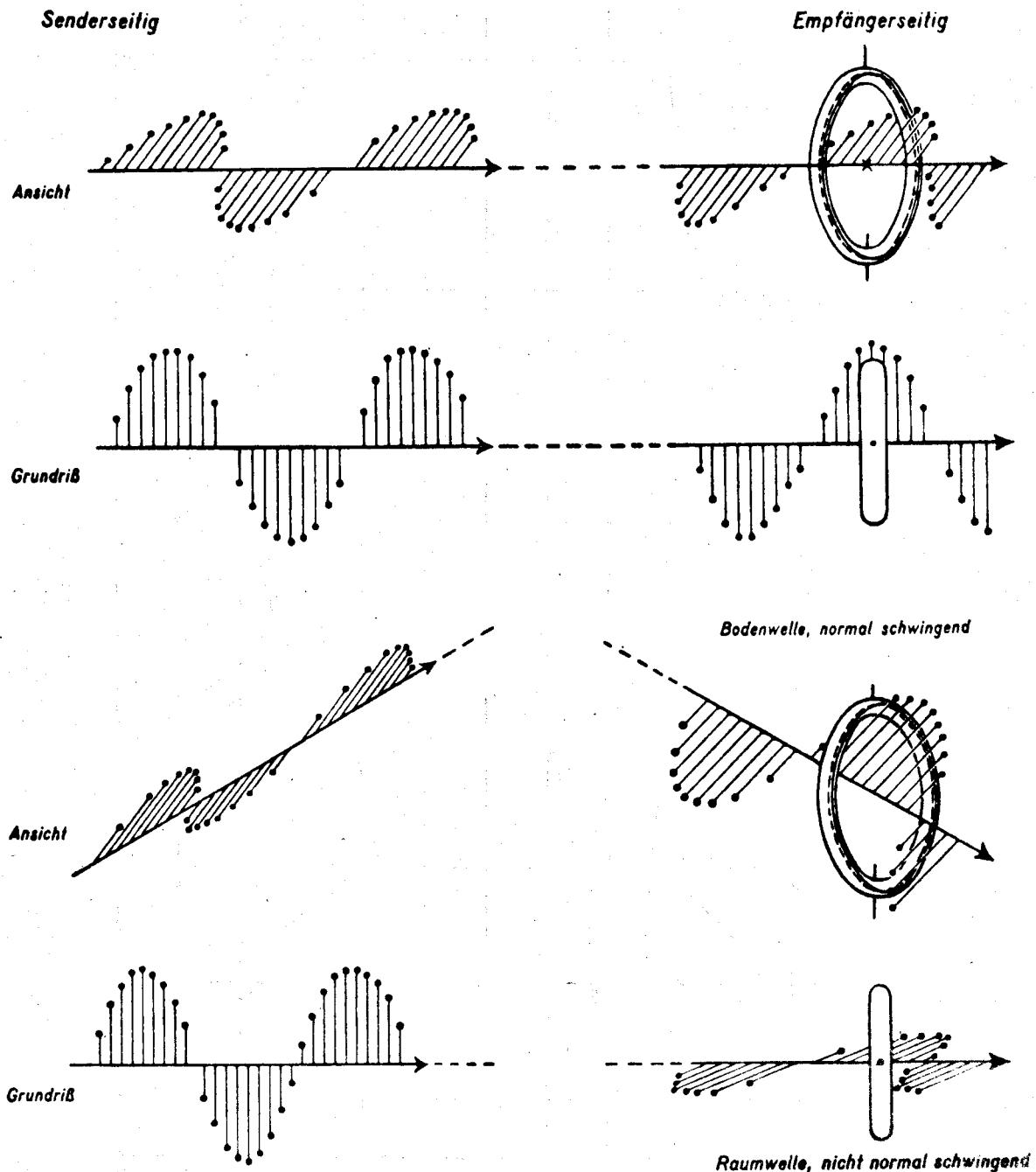


Abb. 14

Normal und nicht normal schwingende Wellen bei Rahmenpeilung (magnetisches Feld)

a) Rahmenpeilung

Die einfachste Peilantenne ist ein um eine senkrechte Achse drehbarer Rahmen, nämlich eine Spule von etwa 1 qm Fläche und einigen Windungen.

Eine solche Spule spricht nur auf den magnetischen Anteil einer elektrischen Welle an. Wenn die Rahmenfläche auf den Sender hin gerichtet ist, durchsetzt das magnetische Feld die Rahmenfläche, und man hat größte Lautstärke (Maximum). Steht dagegen die Rahmenfläche senkrecht zur Richtung des Senders, so hat man im idealen Fall die Lautstärke 0, im allgemeinen immerhin die kleinste Lautstärke (Minimum). Weil das Minimum schärfer ist, kann es genauer bestimmt werden; man richtet daher nach dem Minimum aus.

Mit dem Rahmen kann man nur elektrische Wellen normaler Schwingungsrichtung (Magnetfeld parallel zum Erdboden) peilen. Das bedeutet praktisch, daß man nur die Bodenwelle peilen kann, denn die Schwingungsrichtung der von der Ionosphäre gespiegelten Raumwelle wird bei der Spiegelung im allgemeinen gedreht. Sobald eine solche Raumwelle zum Empfänger gelangt, zeigt die Rahmenpeilung meist eine verfälschte Richtung an, es kann sogar der Fall eintreten, daß überhaupt keine Richtung geringster Lautstärke feststellbar ist. Die Mißweisung kann sehr stark sein und bis zu 90° betragen. Außerdem verändert sie sich oft in kurzen Zeiten schon beachtlich.

Wenn die Raumwelle eine gedrehte Schwingungsrichtung hat, steht ihr Magnetfeld windschief zum Rahmen, und in jeder Rahmenstellung durchsetzt ein Teil des Magnetfeldes die Rahmenfläche. Unglücklicherweise können sich gerade die normalen Feldanteile von Raumwelle und Bodenwelle u. U. gegenseitig aufheben, man hat dann stärkste Mißweisung (Abb. 14).

Infolge dieser Erscheinungen ist Rahmenpeilung nur dort anwendbar, wo man die Bodenwelle empfängt, also praktisch nur bei langen und mittleren Wellen. Auch dort tritt jedoch nachts Raumwelle auf und daher Mißweisung (Nachteffekt). Man kann den Zeitraum, in dem der Nachteffekt stört, jedoch aus Beobachtungen entnehmen; der Einsatz schwankt zwar etwas von Tag zu Tag (um etwa $1/2$ Stunde) und ist für verschiedene Peilstrecken nicht genau gleich.

Der Zeitbereich des Nachteffekts wird jeweils halbmonatlich im voraus von der Funkberatungsstelle mitgeteilt (Ausstrahlung über das Hauptwachnetz). Während der in dieser »Peilwarnung« mitgeteilten Zeit ist die Rahmenpeilung als unsicher anzusehen. Bei schweren Ionosphärenstörungen sind besonders starke und rasch wechselnde Peilfehler in diesem Zeitbereich zu erwarten. Es ergeht dann eine besondere Peilwarnung.

Beispiel einer normalen Peilwarnung: »Mit Peilungsgenauigkeiten (Nachteffekt) bei Rahmenpeilung im Mittelwellenbereich muß in der Zeit von ... 0 Uhr (MOZ) bis ... 0 Uhr (MOZ) gerechnet werden. (Diese Warnung gilt für die kommende Monatshälfte.)«

Abb. 15 gibt den Zeitbereich des Nachteffekts (mittlere Werte) nach Beobachtungen des Jahres 1940/41.

Um den Nachteffekt zu vermeiden, gibt es verschiedene Ausweichverfahren. Die Impulspeilung benutzt Impulsender (Sender, die regelmäßig ganz kurzzeitig getastet sind) und kann nach einem Sichtgerät Raumwelle und Bodenwelle getrennt peilen. Man richtet sich nur nach der Bodenwelle, die immer die richtige Richtung zeigt.

Man benutzt den Unterschied in der Laufzeit der beiden Wellen und macht die Tastzeit so kurz, daß die Raumwelle erst in den Empfänger gelangt, wenn das als Bodenwelle angelangte Zeichen schon beendet ist. Das Sichtgerät zeigt die zeitliche Aufeinanderfolge nebeneinander.

Die Impulspeilung ist als Eigenpeilung möglich, hat jedoch den Nachteil einer beschränkten Reichweite, denn bei großen Entfernungen wird der Laufzeitenunterschied zu klein, um noch eine brauchbare Tastzeit zu ergeben.

b) Adcockpeilung

Es gibt ein Peilverfahren, das sich von der Schwingungsrichtung der Wellen unabhängig macht und daher sogar auf die gespiegelte Raumwelle anwendbar ist. Es erfordert allerdings einen komplizierten Antennenaufbau, der besonders hohe Anforderungen an sauberen Aufbau stellt, so daß die Errichtung derartiger Peilstationen nur in ausgesuchtem Gelände möglich ist. Deshalb ist die Methode nur als Fremdpeilung anwendbar. Nach ihrem Erfinder wird sie »Adcock-Peilung« genannt.

Die Adcock-U-Antenne besteht grundsätzlich aus zwei Senkrechtantennen in gewissem Abstand auf gut leitender Erde. Der Empfänger (mit Goniometer) steht in deren Mitte, und die Zuleitungen von den Antennen zu ihm verlaufen unter der Erdoberfläche und genau symmetrisch. Der Empfänger (mit symmetrischem Eingang!) spricht nur auf den Unterschied der beiden Antennenaufnahmen an. Dieser ist Null, wenn die Verbindungsleitung der Antennen senkrecht zur Richtung der empfangenen Strahlung steht, denn dann empfangen beide Antennen genau dasselbe. Wegen der Größe des Aufbaues arbeitet man immer nach dem Goniometerverfahren.

Die Adcock-H-Antenne ist erdfrei aufgebaut. An Stelle der Erde bei der U-Antenne verwendet man hier für jede Antenne als eine Art Gegengewicht eine zweite senkrechte Antenne (Abb. 16). Hier besteht nun die Gefahr, daß die horizontalen Zuleitungen zum Empfänger auch Strahlung aufnehmen und so das Verfahren stören; diese Einwirkung wird durch einen Kunstgriff beseitigt: man »kreuzt« die Zuleitungen und schaltet die in Verlängerung der Antenne a gelegene Antenne c als »Gegengewicht« zu b und nicht zu a. Auf diese Weise hebt sich die schädliche Einwirkung beider Zuleitungen gegenseitig auf.

Das Verfahren der Adcock-Peilung läßt sich auf Langwellen, Kurzwellen und Ultrakurzwellen anwenden. Damit sind die Kurzwellen, die früher als nicht peilbar galten, zur Navigation bis zu größten Entfernungen brauchbar geworden. Anderseits kann nun auch der Gegner jeden Kurzwellenverkehr anpeilen. Es ist daher angeraten, nicht mit größerer Leistung, als für den Zweck nötig, zu senden und möglichst kurze Funksprüche zu verwenden. Kurzwellentelephonie ist besonders gut peilbar und daher möglichst zu vermeiden.

Mit dem Adcock-Verfahren erreicht man selbst bei Kurzwellen bei sorgfältigem Aufbau mittlere Peilgenauigkeiten von etwa 3° . Gelegentlich allerdings treten erheblich größere Abweichungen (von etwa 20°) auf; diese sind durch Großkreisableitung der gespiegelten Raumwelle bei gewissen Zuständen der Ionosphäre bedingt. Ihr Auftreten kann daher nicht dem Verfahren, sondern nur der Ausbreitung zur Last gelegt werden.

Eine Verbesserung des Adcock-Peilers stellt der Doppelrahmenpeiler dar, der es erlaubt, mittlere Genauigkeiten von etwa 1° zu erreichen. Das Verfahren benutzt an Stelle der Senkrechtantennen des Adcock-Peilers Rahmenantennen; der Aufbau ist kleiner, jedoch die Empfindlichkeit geringer.

2. Leitstrahlverfahren

Während Peilverfahren Standortbestimmung ermöglichen wollen, wollen Leitstrahlverfahren den Flugkurs festlegen. Das hat für verschiedenste Zwecke Vorteile; eine bekannte Anwendung eines derartigen Verfahrens stellt das Landefunkfeuer dar.

Ein Leitstrahlsender hat grundsätzlich zwei verschiedene Antennen, von denen mindestens eine Richtwirkung hat.

Diese strahlt also in die verschiedenen horizontalen Richtungen sehr verschieden ab. Trägt man in einem Diagramm von einem Mittelpunkt aus in jeder Richtung die Abstrahlung der Antenne in dieser Richtung auf, so erhält man eine Figur, die über die Art und Stärke der Richtwirkung Aufschluß gibt, das sogenannte »Diagramm« der Antenne. Die Diagramme für die beiden Antennen des Leitstrahlsenders sind nun verschieden; zeichnet man sie übereinander, so schneiden sie sich in mehreren Punkten (Richtungen gleicher Feldstärke).

Der Leitstrahlsender wird mittels einer automatischen Tasteinrichtung abwechselnd an die beiden Antennen gelegt. Es werden dabei verschiedene Tastzeichen angewandt, etwa auf der einen Antenne Punkte und auf der andern dazwischenliegende Striche. Je nach der Lage des Empfängers (Flugzeug) zum Sender wird z. B. die »Punkt-Antenne« lautstärker empfangen als die andere, man hört in diesem Bereich Punkte, in einem andern Striche. In den Richtungen gleicher Feldstärke (beider Antennen) jedoch verwischen sich Punkte und

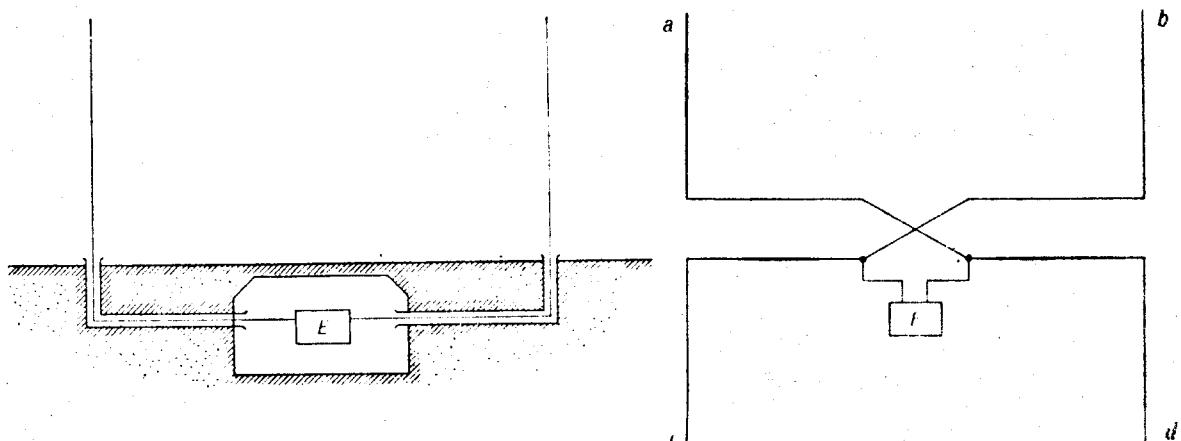


Abb. 16
Adcock-Peilantenne (U- und H-Form)

Striche, und man empfängt Dauerstrich. Diese Richtung ist der vorgeschriebene Kurs, das Flugzeug ist auf ihm zu halten; weicht es in einer Richtung ab, so werden Striche empfangen, weicht es in der andern ab, so Punkte (Abb. 17).

An Stelle des Hörempfangs kann auch direkte optische Anzeige treten.

Leitstrahlverfahren sind ohne weiteres anwendbar, solange die Ausbreitung nur durch direkte Welle und Bodenwelle geschieht. Demnach sind Ultrakurzwellen für Leitstrahlverfahren besonders geeignet. Die verbreitetste Anwendung dieses Verfahrens, das Landefunkfeuer, verwendet Ultrakurzwellen. Man hat bei diesen den weiteren Vorteil relativ einfacher und kleiner Antennenanlagen und geringeren Erdeinflusses; die begrenzte Reichweite der direkten Welle ist für das Landefunkfeuer gleichgültig.

Auch Langwellen sind geeignet, sofern reine Bodenwellenausbreitung vorliegt; d. h. nach Abschnitt A, 4, bei Tage.

Liegt auch Ausbreitung durch gespiegelte Raumwelle vor, so sind die Verhältnisse verwickelter. Durch die bei Spiegelung meist auftretende Drehung der Schwingungsrichtung allein tritt noch keine Störung ein (wie das bei der Rahmenpeilung der Fall ist), auch nicht durch den Schwund; es ist also nicht etwa die Anwendbarkeit des Verfahrens beim Auftreten gespiegelter Raumwelle grundsätzlich unmöglich. Jedoch wird die Genauigkeit erheblich ungünstiger, da geringe Neigungen der spiegelnden Schicht (wie sie sehr häufig sind) eine Strahlverschiebung ergeben.

Im Bereich dieser Verschiebung wird der Strahl u. U. noch dadurch unsicher, daß Bodenwelle und die verschiedenen gespiegelten Wellen etwas verschiedene Strahlen ergeben; der Schwund bewirkt dann ein Hin- und Herschwanken des Strahls.

Bei Anwendung derartiger Verfahren auf Langwellen bei Nacht oder überhaupt auf Kurzwellen muß man also mit verminderter Genauigkeit rechnen. Da bei Langwellen die Verhältnisse bei Tage günstiger sind, beobachtet man also bei diesen einen gewissen Nachteffekt. Dessen Zeitbereich im Jahr 1940/41 ist ebenfalls aus Abb. 15 zu entnehmen.

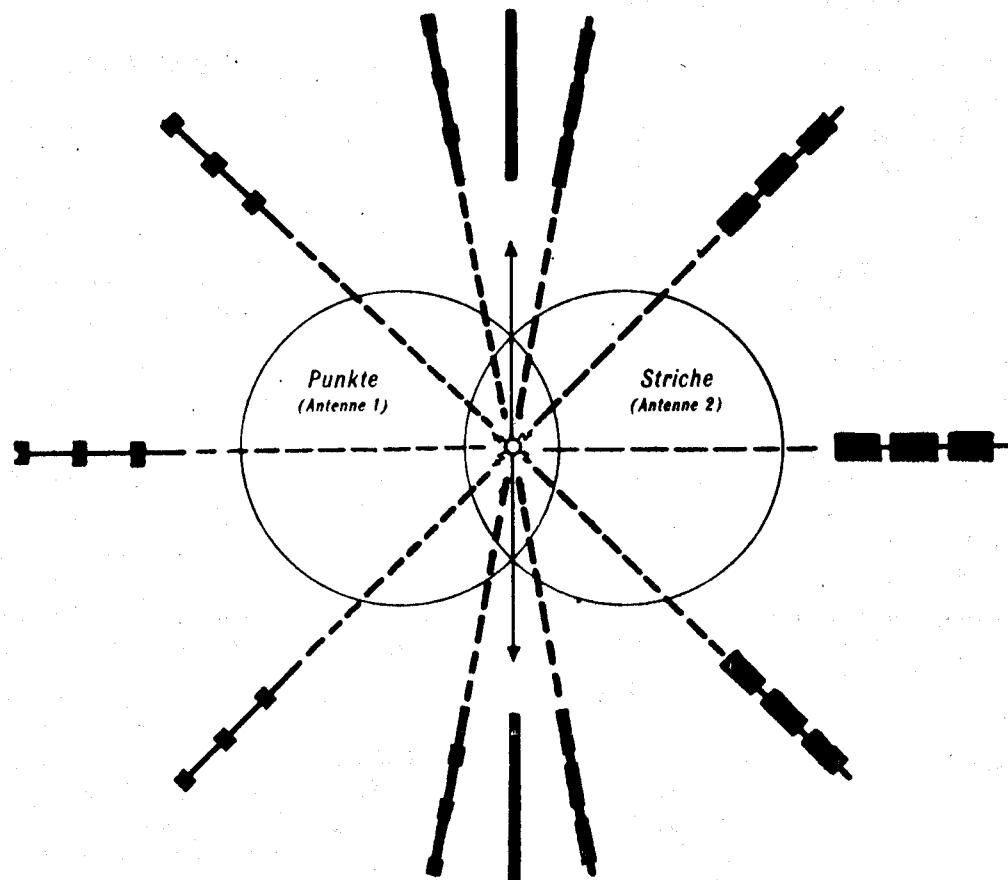


Abb. 17
Leitstrahlverfahren

Beispiel:

Halbmonatliche Beratungen

A. Wellenberatung für Bodenverbindungen (800 Watt)

Vorschau für die kommende Monatshälfte.
Brauchbare Wellenbereiche für die Entfernnungen 250, 500, 1 000, 1 500, 2 000, 2 500 und 3 000 km zu folgenden Zeiten:

Von 0730 Uhr MOZ bis 0930 Uhr MOZ:

250 km	2 000 — 3 700 kHz
500 km	3 000 — 4 500 kHz
1 000 km	3 800 — 7 300 kHz
1 500 km	4 800 — 8 000 kHz
2 000 km	5 400 — 8 500 kHz
2 500 km	6 200 — 9 700 kHz
3 000 km	7 000 — 10 000 kHz

Von 0930 Uhr MOZ bis 1500 Uhr MOZ:

250 km	3 000 — 6 900 kHz
500 km	4 000 — 8 100 kHz
1 000 km	5 300 — 11 300 kHz
1 500 km	6 500 — 14 300 kHz
2 000 km	7 400 — 16 700 kHz
2 500 km	8 200 — 18 300 kHz
3 000 km	9 300 — 19 400 kHz

Von 1500 Uhr MOZ bis 1800 Uhr MOZ:

250 km	1 800 — 4 700 kHz
500 km	2 700 — 5 500 kHz
1 000 km	3 300 — 7 400 kHz
1 500 km	4 000 — 9 300 kHz
2 000 km	4 700 — 10 900 kHz
2 500 km	5 500 — 11 800 kHz
3 000 km	6 400 — 12 500 kHz

Von 1800 Uhr MOZ bis 0730 Uhr MOZ:

250 km	1 500 — 3 100 kHz
500 km	1 500 — 3 500 kHz
1 000 km	1 500 — 4 800 kHz
1 500 km	2 000 — 6 000 kHz
2 000 km	3 000 — 6 900 kHz
2 500 km	3 000 — 7 300 kHz
3 000 km	3 000 — 7 500 kHz

Anmerkung:

Werden statt der Wellenzahlen Buchstaben gegeben, so bedeutet:

xxx = Angabe fehlt.

yyy = Wellen mit möglichst niedriger Frequenz benutzen; jedoch muß auch bei der niedrigsten Frequenz der Geräte mit (gelegentlichem) Ausfall der Verbindung gerechnet werden!

zzz = Frequenzwechsel vom vorhergehenden zum nachfolgenden Bereich ist nach Bedarf durchzuführen (Änderung der brauchbaren Welle erfolgt sehr rasch.)

B. Wellenberatung für Boden-Bord-Verbbindungen (Fu. G. 10)

Vorschau für die kommende Monatshälfte, für Fu. G. X. Brauchbare Wellenbereiche für die Entfernnungen 0—300 km, 300 bis 600 km, 600—1 000 km, 1 000—1 500 km, 1 500—2 000 km, 2 000—2 500 km, 2 500 bis 3 000 km zu folgenden Zeiten:

Von 0730 Uhr MOZ bis 0930 Uhr MOZ:

0 — 300 km	3 000 — 3 500 kHz
300 — 600 km	zzz 00 — zzz 00 kHz
600 — 1 000 km	zzz 00 — zzz 00 kHz
1 000 — 1 500 km	zzz 00 — zzz 00 kHz
1 500 — 2 000 km	zzz 00 — zzz 00 kHz
2 000 — 2 500 km	zzz 00 — zzz 00 kHz
2 500 — 3 000 km	xxx 00 — xxx 00 kHz

Von 0930 Uhr MOZ bis 1500 Uhr MOZ:

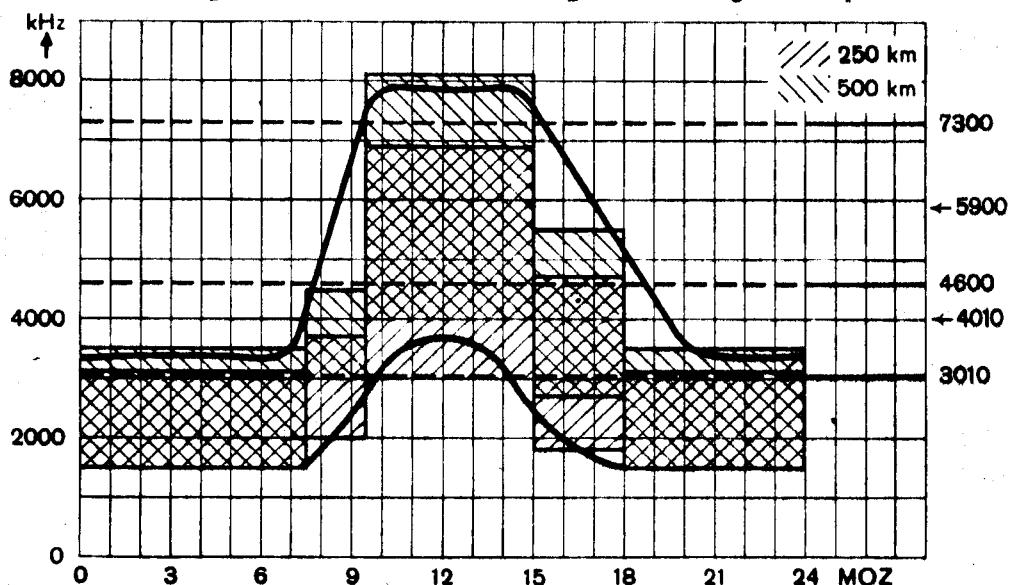
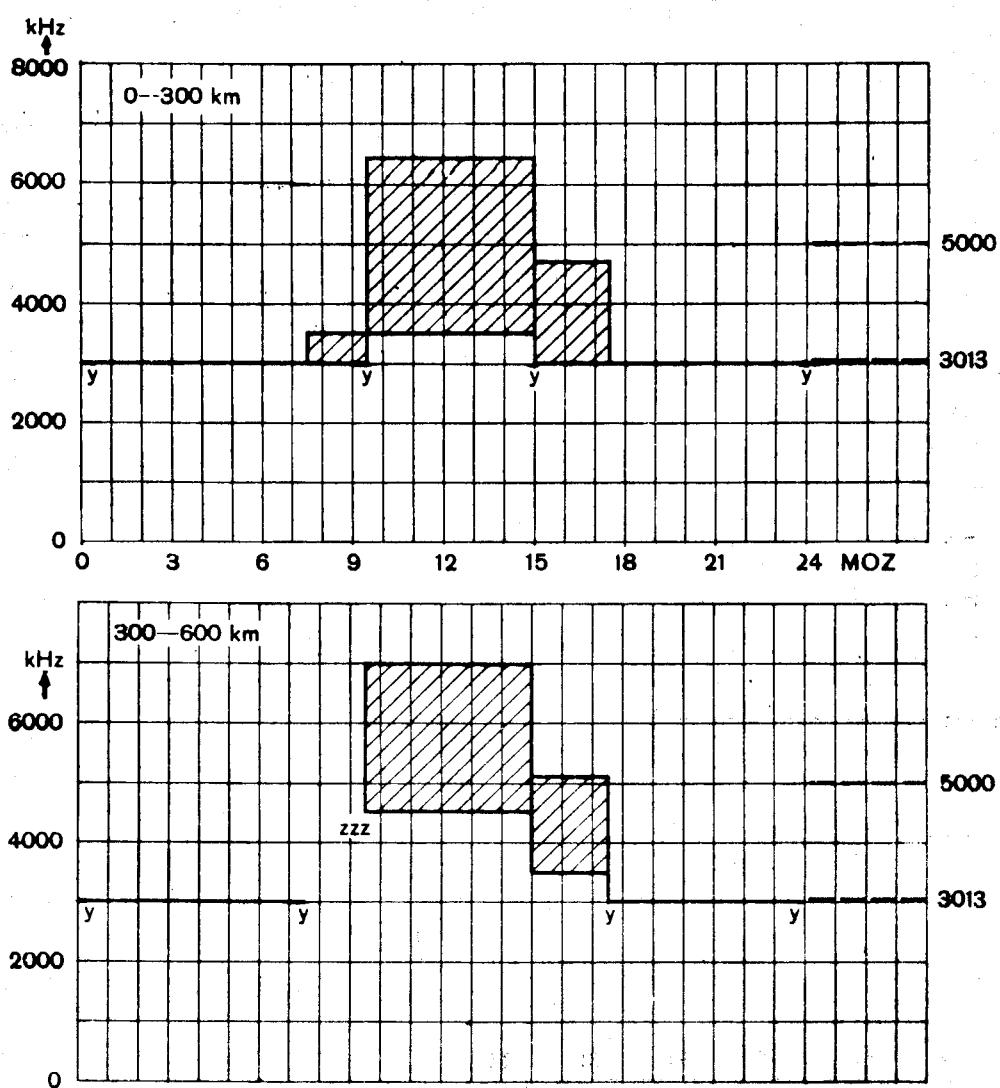
0 — 300 km	3 500 — 6 400 kHz
300 — 600 km	4 500 — 7 000 kHz
600 — 1 000 km	5 700 — 8 700 kHz
1 000 — 1 500 km	7 500 — 11 300 kHz
1 500 — 2 000 km	9 100 — 14 300 kHz
2 000 — 2 500 km	10 200 — 16 800 kHz
2 500 — 3 000 km	xxx 00 — xxx 00 kHz

Von 1500 Uhr MOZ bis 1730 Uhr MOZ:

0 — 300 km	3 000 — 4 700 kHz
300 — 600 km	3 500 — 5 100 kHz
600 — 1 000 km	4 600 — 6 000 kHz
1 000 — 1 500 km	6 200 — 8 300 kHz
1 500 — 2 000 km	7 700 — 10 200 kHz
2 000 — 2 500 km	8 700 — 11 800 kHz
2 500 — 3 000 km	xxx 00 — xxx 00 kHz

Von 1730 Uhr MOZ bis 0730 Uhr MOZ:

0 — 300 km	yyy 00 — yyy 00 kHz
300 — 600 km	yyy 00 — yyy 00 kHz
600 — 1 000 km	yyy 00 — yyy 00 kHz
1 000 — 1 500 km	yyy 00 — yyy 00 kHz
1 500 — 2 000 km	3 400 — 6 000 kHz
2 000 — 2 500 km	4 000 — 6 900 kHz
2 500 — 3 000 km	xxx 00 — xxx 00 kHz

Anlage 2a**Darstellung der halbmonatlichen Beratungen nach Anlage 1 (Beispiele)****Anlage 2b**

Anlage 3

Beispiel:

Einzelberatung**Anfrage**

Angabe der günstigen Wellen Strecke Paris-Rom Monat Oktober 1940 erbeten.

1-kW-Sender, T-Empfänger, auch Schnellschreibverbindung vorgesehen. Beantwortung bis 26. 9.

Antwort

Günstige Wellen für feste Verbindung Paris-Rom (1120 km) im Oktober 1940:

von 02 — 09 Uhr DSZ 3 000 — 6 700 kHz,
von 09 — 10 Uhr DSZ 4 000 — 6 700 kHz,
von 10 — 20 Uhr DSZ 6 000 — 13 000 kHz,
von 20 — 02 Uhr DSZ 3 000 — 8 300 kHz.

Für ganztägige Schnellschreibverbindung Wellen um 6 000 kHz vermutlich am ehesten geeignet.

Funkberatungsstelle Rechlin

Frequenzen und zugehörige Wellenlängen

Aufgabe 4

Frequenz kHz	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1 000
Wellenlänge λ m	3 000	1 500	1 000	750	600	500	428,57	375	333,33	300
$\lambda/4$	750	375	250	187,5	150	125	107,14	93,75	83,33	75
$\lambda/5$	600	300	200	150	120	100	85,71	75	66,67	60

Frequenz kHz	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000	3 500	4 000	4 500	5 000	5 500
Wellenlänge λ m	300	200	150	120	100	85,71	75	66,67	60	54,55
$\lambda/4$	75	50	37,50	30	25	21,43	18,75	16,67	15	13,64
$\lambda/5$	60	40	30	24	20	17,14	15	13,33	12	10,91

Frequenz kHz	6 000	6 500	7 000	7 500	8 000	8 500	9 000	9 500	10 000	
Wellenlänge λ m	50	46,15	42,86	40	37,5	35,29	33,33	31,58	30	
$\lambda/4$	12,5	11,54	10,71	10	9,38	8,82	8,33	7,90	7,5	
$\lambda/5$	10	9,23	8,57	8	7,5	7,06	6,67	6,32	6	

Frequenz kHz	11 000	12 000	13 000	14 000	15 000	16 000	17 000	18 000	19 000	20 000
Wellenlänge λ m	27,27	25	23,08	21,43	20	18,75	17,65	16,67	15,79	15
$\lambda/4$	6,82	6,25	5,77	5,36	5	4,69	4,41	4,17	3,95	3,75
$\lambda/5$	5,45	5	4,62	4,29	4	3,75	3,53	3,33	3,16	3

eine unmittelbare elektrische Störung untereinander nicht stattfindet, ist beim gegenseitigen Abstand lediglich darauf zu achten, daß der höchst zulässige Deckungswinkel nicht überschritten wird.

6. Schutzabstand von Fu.M.G. in Gerätstellungen

Bei Gerätstellungen ist auch darauf zu achten, daß der nötige Schutzabstand der Fu.M.G. von Hochspannungsleitungen gewahrt wird. Dieser Abstand muß um so größer genommen werden, je größer der **Spannungswert** der Hochspannungsleitung ist. Innerhalb des Schutzkreises, dessen Radius der Schutzabstand ist, darf die Energie nicht über Freileitungen zu den Geräten zugeführt werden, sondern in Kabeln, die in einer Mindestverlegungstiefe von 80 cm in der Erde liegen.

In Fig. 7a sind die Mindestabstände von Fu.M.G. in einer Flumgerätestellung A (Igelstellung) sowie die Schutzabstände der Geräte von Energieleitungen verschiedener Spannungswerte eingezzeichnet.

Bis zu den Schutzkreisen kann die Spannung in Freileitungen, von dort muß sie über in der Erde liegende Kabel zugeführt werden.

Zu den angegebenen Mindest- und Schutzabständen muß noch gesagt werden, daß Untersuchungen laufen, um evtl. diese bis jetzt vorgeschriebenen Abstände zu verringern, um

1. den Kabelbedarf zu verkleinern,
2. in gefährdeten Gebieten eine solche Stellung stützpunktartig besser zusammenfassen zu können,
3. ganz allgemein die Betriebsabwicklung zu erleichtern.

B. Einflüsse, die eine Vergrößerung der Reichweite von Fu.M.G. bewirken

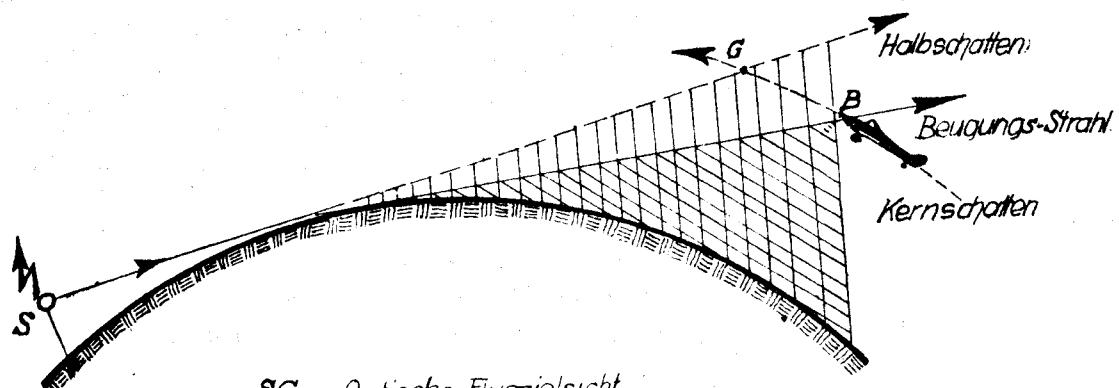
Die im vorhergehenden abgeleitete, rein theoretische, geometrische Reichweite der Fu.M.G., die auf Grund der Gestalt der Erde, d. h. infolge der Erdkrümmung, an sich gleich der Länge der Tangente sein müßte, erfährt in der Praxis durch zusätzliche Faktoren eine Vergrößerung. Diese Faktoren sind:

1. eine gewisse Beugung der Fu.M.G.-Strahlung an der Erdkrümmung selber,
2. eine Brechung der Strahlen in den sich übereinander lagernden Luftsichten mit nach oben hin abnehmender Dichte,
3. durch Totalreflektion an gewissen Grenzschichten in der Atmosphäre der Erde.

1. Beugung:

Beim Einfluß der Beugung sei an folgendes erinnert:

Ein in die Strahlung einer Lichtquelle gestellter Körper, z. B. eine kreisrunde Scheibe oder eine Kugel, erzeugt auf einem dahintergestellten weißen Schirm auch keinen scharf abgegrenzten Halbschatten, sondern es erfolgt ein Übergang von der vollen Beleuchtungsstärke über einen Halbschatten zum Kernschatten. Es gehen sozusagen die Randstrahlen etwas um die Ecke. Man schatten zum Kernschatten. Es gehen sozusagen die Randstrahlen etwas um die Ecke. Man



SG - Optische Flugzielsicht
(geometrische Reichweite)

SB - Reichweite unter Berücksichtigung der Beugung

Fig. 8

nennt diese Erscheinung die Beugung des Lichtes. In ähnlicher Weise geht auch die untere tangentiale Randstrahlung der Fu.M.G. am Berührungs punkt mit der Erde etwas um die Erdkrümmung herum. Es wird daher, wie es Fig. 8 zeigt, der Raum unterhalb der Tangente hinter der Krümmung nach unten hin abnehmend noch etwas erfaßt; das bedeutet aber eine Vergrößerung der Reichweite.

2. Nach neueren Forschungen erleidet die UKW-Strahlung auch eine gewisse Brechung in den einzelnen Luftschichten, die sich über der Erdoberfläche übereinander lagern und deren Dichte nach oben hin abnimmt. Beim Übergang von einer solchen Schicht in die darüber liegende mit geringerer Dichte erleidet ein UKW-Strahl gemäß dem bekannten optischen Gesetz vom Übergang eines Lichtstrahles von einem optisch dichteren in ein optisch dünneres Medium eine Brechung vom Einfallslot weg.

Es entsteht dadurch, wie es Fig. 9 zeigt, eine gekrümmte Bahn des Strahlenverlaufs, und der untere tangentiale UKW-Strahl wird so von der eigentlichen geometrischen Tangente nach unten weggebrochen. Das bedeutet aber eine Verlagerung der unteren Grenze der Feldstärke, die zur Erfassung eines Luftziels gerade noch nötig ist, nach unten. Ein Flugziel wird dadurch um einen gewissen Betrag schon unter dem geometrischen Horizont erfaßt, d. h. es erfolgt eine Vergrößerung der Reichweite über das geometrische Maß hinaus.

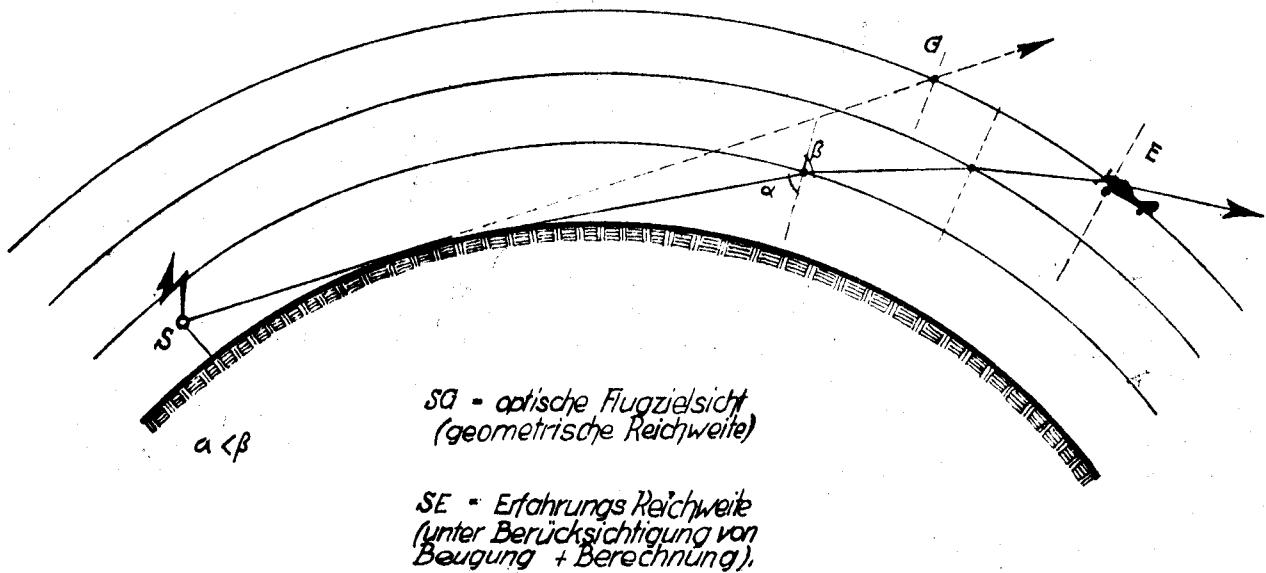


Fig. 9

Als Parallele zu dieser Erscheinung sei daran erinnert, daß die Sonne beim Untergang auch noch eine Zeitlang zu sehen ist, nachdem sie bereits auf ihrer Bahn unter den rein geometrischen Horizont gewandert ist.

Das Maß der Reichweiten-Vergrößerung, das durch Brechung bewirkt wird, hängt von dem Dichteunterschied der einzelnen Luftschichten ab. Je größer dieser, d. h. je ausgeprägter die Schichtung als solche überhaupt ist, um so stärker wird der tangentiale UKW-Strahl nach unten weggebrochen, d. h. um so größer wird die Reichweite.

Die Dichte einer Luftschicht ist aber im wesentlichen vom Feuchtigkeitsgrad abhängig: Große Feuchtigkeit bedingt große Dichte. Sind die unteren Luftschichten daher sehr feucht und ist somit der Dichteunterschied zum Vergleich der darüber lagernden Schichten groß, so ist die Brechung der UKW-Strahlen der Fu.M.G. und damit die Reichweite der Fu.M.G. groß.

Die früher angegebene und somit nur für die rein geometrische Reichweite von Fu.M.G. (d. h. ohne Berücksichtigung der Beugung und namentlich der Strahlenbrechung) gültige Formel:

$$E = 3,6 \sqrt{H}$$

ist daher in der Praxis abzuwandeln, und zwar vergrößert sich der Faktor vor der Wurzel in Abhängigkeit von der Luftfeuchtigkeit.

Als mittlerer Erfahrungswert gilt die Formel:

$$E = 4,3 \sqrt{H \text{ km.}}$$

Optische Sicht (Reichweite) bei Berücksichtigung der Strahlenbrechung in der unteren Atmosphäre.

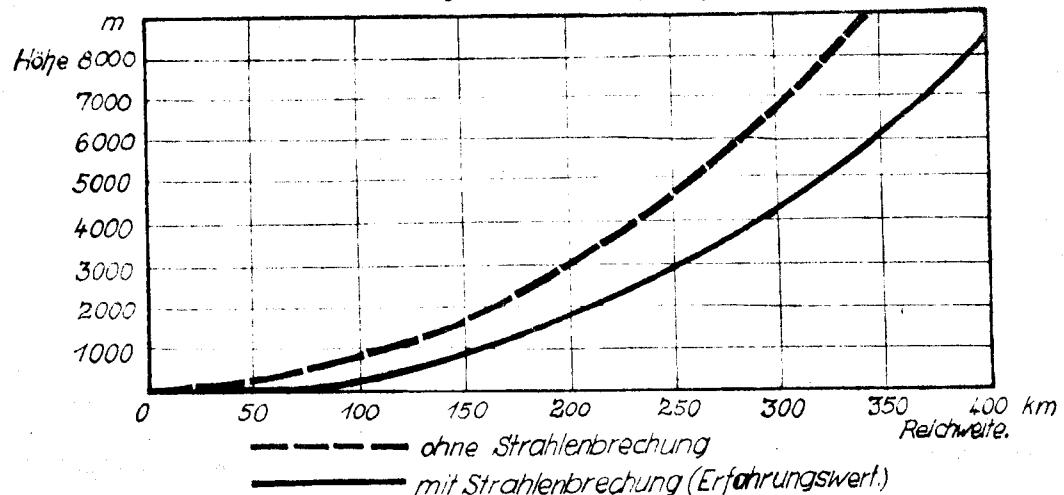


Fig. 10

Im Diagramm der Fig. 10 ist die Reichweite mit und ohne Berücksichtigung der Strahlenbrechung zum Vergleich dargestellt.

Die Reichweite von Fu.M.G. ist also sehr vom Wetter abhängig.

3. Unter besonderen Grenzwinkeln und bei gewissen Dichtunterschieden zweier übereinander lagernder Luftsichten kann es vorkommen, daß beim Übergang von einer in die andere Schicht ein sehr großer Teilbetrag bzw. unter günstigen Umständen der ganze UKW-Strahl an der Grenzfläche reflektiert wird nach Analogie der Totalreflektion in der Optik. Eine solche **Totalreflektion** kann sogar mehrmals an dieser Grenzfläche erfolgen. Der Strahl geht also dann sozusagen aus der umhüllenden Kugelschale, die eine derartige Luftsicht über der Erdoberfläche darstellt, nicht heraus, sondern schmiegt sich auf diese Weise sehr stark der Erdkrümmung an. Es können dadurch Festziele (und auch selbstverständlich Flugziele) angepeilt werden, die sehr weit unter der Krümmung liegen, und die entstehenden Echozacken stehen dann unter Umständen im 2. oder den weiteren Umläufen der Zeitlinie bzw. des Schreibkreises auf den Braunschen Röhren. Es dürfte diese Erscheinung auch namentlich stark auftreten, wenn sich an der erwähnten Grenzfläche eine gleichmäßige Wolkenschicht ausbildet nach Art der öfters zu beobachtenden großflächigen Schichtwolken in mittleren und größeren Höhen (Alto Stratus). Bei solchen Schichtwolken kann es durch Sonneneinstrahlung zu Ionisationserscheinungen kommen, so daß dann

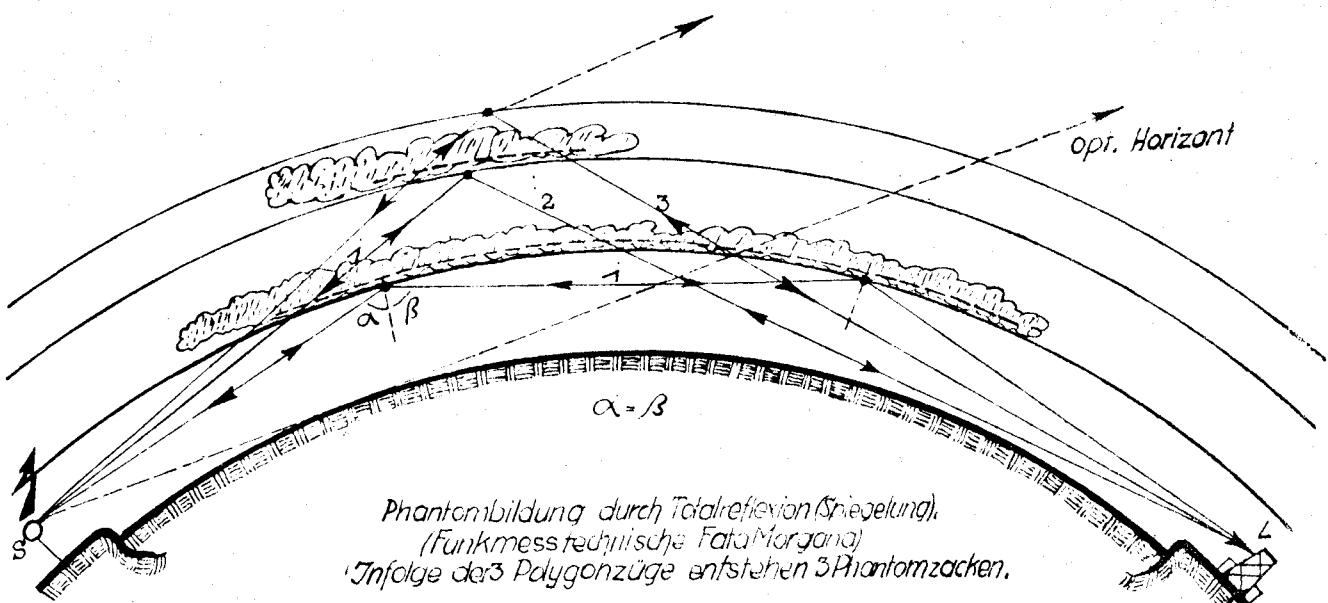


Fig. 11

ihre untere Grenze infolge starker Elektronenaufladung sich wie ein Spiegel verhält und gewisse Strahlen der Fu.M.G. unter optimalen Einfallswinkeln nicht in den Weltenraum austreten läßt, sondern total reflektiert nach Analogie ähnlicher Erscheinungen an der Heaviside-Schicht. Diese Totalreflektion bewirkt daher unter Umständen eine starke Reichweiten-Vergrößerung (s. Fig. 11), so daß Festziele, die normalerweise überhaupt nicht mit dem Fu.M.G. erfaßt werden können, als Echozichen im Braunschen Rohr erscheinen. So z. B. treten diese Erscheinungen auf bei Fu.M.G. an der Kanalküste, die zu gewissen Zeiten die gegenüberliegende englische Steilküste bei bestimmten Wetterlagen erfassen können, obwohl diese weit über der geometrischen Reichweite liegt. Dasselbe wird berichtet von Fu.M.G. auf der Krim, die ebenfalls zu gewissen Zeiten Reflektionszeichen von der türkischen Küste bekommen.

Die durch die Fu.M.G. gemessenen Entfernungen stimmen dann nicht mit der wirklichen Entfernung überein, denn die Echolaufzeit der Impulse und damit die von den Fu.M.G. festgestellte Entfernung wird ja auf einem Polygonzug, die wahre Entfernung auf der Erdoberfläche gemessen.

Diese Erscheinung, daß weit außer der optischen Reichweite, hinter der Erdkrümmung befindliche Erdziele durch einfache oder gar mehrfache Spiegelung an gewissen Luftsichten bei bestimmten atmosphärischen Bedingungen in den Erfassungsbereich der Fu.M.G. rücken, hat eine Parallelie in der berühmten Fata Morgana, bei der dem Wüstenwanderer lockende Oasen mit Fruchthainen und artesischen Brunnen am Horizont vor Augen gezaubert werden, die sich jedoch nach Erreichen dieser Stelle als Täuschung und trügerisches Phantom herausstellen.

Da solche Echozacken bei dem Fu.M.G. infolge der großen Echolaufzeiten oft im 2. oder gar 3. Umlauf auf dem Braunschen Rohr auftreten, aber vom nichts ahnenden Zielbeobachter zunächst einmal als zum 1. Umlauf auf der Zeitlinie oder dem Schreibkreis gehörend aufgefaßt werden, wird ein Festziel in einer Entfernung und Richtung vorgetäuscht, in der sich an Hand der Karte normalerweise kein solches befindet.

Die Täuschung ist um so leichter möglich, je größer die Energie ist, die vom Fu.M.G. zu dem weit entfernten reellen Erdziel hin und von dort wieder zum Fu.M.G. zurückläuft. Der Zacken auf dem Braunschen Rohr tritt dann in entsprechender Größe auf und kann oft als zu Entfernungen im ersten Umlauf gehörend aufgefaßt werden. Es wird also dann zwischen dem Fu.M.G. und dem wirklichen Festziel ein **Phantomziel** aufgebaut. So kann es also, wie schon erwähnt, vorkommen, daß z. B. von der englischen Steilküste oder einem sonstigen markanten

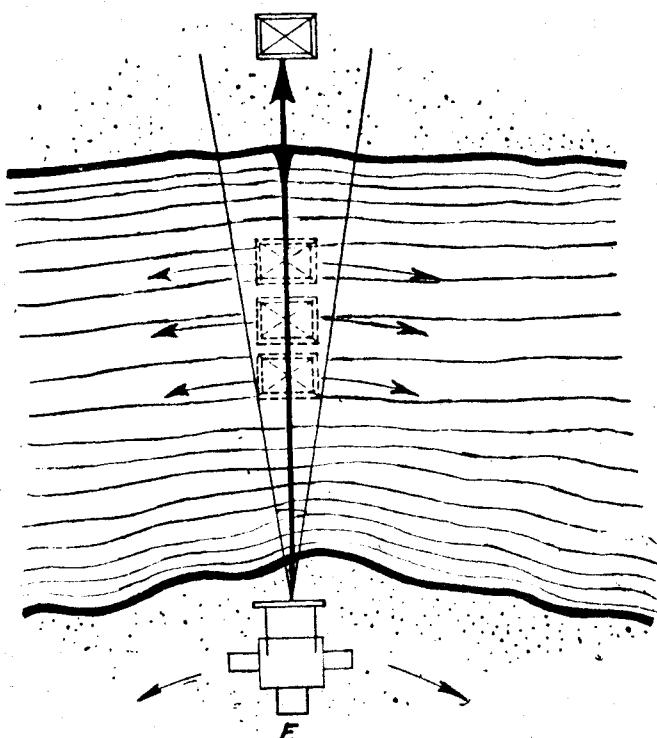


Fig. 12

Festziel in England als Ursache im Kanal über Wasser ein Festzeichen vom Fu.M.G. an der französischen Küste registriert wird, welches normalerweise dort nicht auftreten kann.

Ja, es kann sogar eine größere Anzahl solcher Phantomziele von einem einzigen, wirklichen Erdziel erzeugt werden. Wenn sich nämlich, wie es Fig. 11 auch zeigt, mehrere solcher spiegelnder Luftsichten übereinander lagern, dann kann es mehrere Polygonzüge geben, die zum wirklichen Festziel infolge Spiegelung laufen. Zu jedem Polygonzug gehört eine bestimmte Echolaufzeit und somit ein bestimmter Zacken im Braunschen Rohr. Es bauen sich dann im Braunschen Rohr eine Anzahl von hintereinander stehenden Phantomzacken auf, die alle in demselben Sektor ihr Maximum haben und die, wenn die Luftsichten ihre Lage beibehalten, als Festziele erscheinen. Wenn nun, wie es bei stationären Großwetterlagen durchaus öfter der Fall ist, diese spiegelnden Luftsichten gleichmäßig und über große Räume hinweg stetig und langsam ihre Lage ändern, d. h. sich heben oder senken infolge gleichmäßiger thermischer Einflüsse (nächtliche Ausstrahlung), so verändern sich auch die Längen der entsprechenden Polygonzüge gleichmäßig im Verhältnis zueinander, und die Phantomzacken wandern über die Zeitlinie des Braunschen Rohres in ihrer Gesamtheit stetig und langsam hinweg. Solche Phantombilder können zu den bekannten und schon vorgekommenen Trugschlüssen über in Kiellinie aufmarschierende feindliche Flotten, Vorbereitungen zu Seeschlachten und scheinbaren feindlichen Landungsaktionen führen.

Charakteristisch dafür, daß es sich in solchen Fällen um Phantomgebilde handeln kann, ist der Umstand, daß alle diese Zacken ihr Maximum in derselben Richtung haben, d. h. beim Schwenken des Fu.M.G. gleichmäßig auswandern (s. Fig. 12).

Es gibt auch noch andere Methoden, um Phantomziele von wirklichen Zielen zu unterscheiden, so z. B. ein Wechsel der Impulsfrequenz mit dem für reelle Ziele charakteristischen Springen der Zacken zum Unterschied vom Springen der Phantomzacken.

Als weitere Ursache für solche Phantomzacken neben dieser funkmeßtechnischen Fata Morgana können Nebelbänke auftreten, die ebenfalls in den Braunschen Rohren Echozacken bilden, da sie unter bestimmten Verhältnissen die Energie von Fu.M.G., namentlich solcher mit kleineren Wellen, reflektieren.

Die Entstehungsbedingungen von stark reflektierenden Nebelbänken sind namentlich günstig beim Vorhandensein zweier in ihrer Temperatur stark unterschiedlichen Meeresströmungen in küstennahen Gewässern. Also z. B. über den die skandinavische Westküste umspülenden Ausläufern des Golfstromes oder über den in Küstennähe häufig auftretenden kalten Auftriebwässern. Das hier auftretende z. T. erhebliche Temperaturgefälle gegenüber den benachbarten Wasserflächen bzw. darüberlagernden Luftmassen ruft starke Kondensationserscheinungen und somit dichte, oft mauerartig senkrechte Nebelbänke hervor, die dann leicht als Ursache von Phantomzacken auftreten können.

C. Die Auffächerung des Strahlungsfeldes der Fu.M.G.

1. Die Reflektion der Fu.M.G.-Strahlung an der Erdoberfläche

Von besonderem Einfluß auf das Strahlungsfeld der Fu.M.G. ist neben der geradlinigen Ausbreitung der UKW-Wellen auch noch eine andere Eigenschaft, die sie mit der Lichtstrahlung in ausgeprägter Weise gemein haben, nämlich die Reflektion. Die Ultrakurzwellenstrahlung, die in der Umgebung des Senders auf die Erdoberfläche auftrifft, wird dort zurückgeworfen, und zwar nach den Gesetzen der Optik. Es ist immer, wie es Fig. 13 zeigt, Einfallswinkel = Reflektionswinkel.

Dabei wird im allgemeinen nicht die ganze Energie zurückgestrahlt, sondern ein gewisser Teil von der Erde verschluckt. Das Maß des Schwundes hängt von der Bodenbeschaffenheit der reflektierenden Umgebung und vom Einfallswinkel ab. Wasserflächen reflektieren besser als Land. Ganz allgemein wächst das Maß der Reflektion mit der Leitfähigkeit des reflektierenden Vorfeldes. Es sind eine Menge Faktoren hier von Einfluß. Z. B. ob das reflektierende Vorfeld mit Vegetation bedeckt ist, ob es kahle Sandflächen sind, ob der Grundwasserspiegel hoch oder tief liegt, ob erzhaltige Schichten den Untergrund bilden u. a. m. Unter gewissen Bedingungen kann die Zurückstrahlung sogar eine hundertprozentige sein.

Es ist nun von Wichtigkeit, wie sich die zurückgeworfene Strahlung auf die Gesamtstruktur des Strahlungsfeldes der Fu.M.G. auswirkt:

2. Die Überlagerung der direkten und reflektierten Strahlung und das Entstehen der Auffächerung der Charakteristik

In Fig. 13 ist ein Freya-Gerät auf völlig ebener Reflektionsfläche aufgestellt. Es treffen in einem Punkt P im Strahlungsfeld dieses Gerätes 2 Strahlen ein:

1. der direkte vom Sender,
2. der indirekte, vom Erdboden reflektierte.

Auslöschung der direkten und der reflektierten elektromagnetischen Welle.

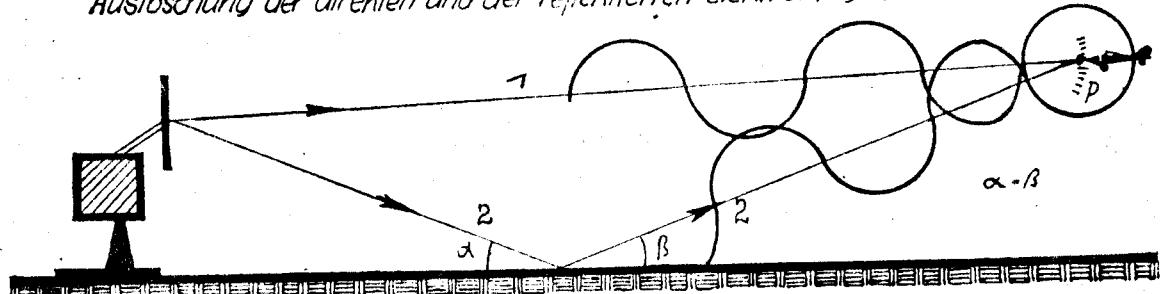


Fig. 13

Beide müssen sich beeinflussen. Der Wegunterschied der beiden Strahlen wird auch einen Unterschied im Schwingungszustand, in der Phase, mit sich bringen.

Trifft in Fig. 13 der Wellenzug 1 im Punkt P mit einem Wellenberg, der Wellenzug 2 aber in P mit einem Wellental ein, so heben sich die beiden Schwingungen in diesem Punkt auf. Oder physikalisch ausgedrückt: Sind im Punkte P die Feldstärken der direkten und reflektierten Strahlung gleich groß, aber entgegengesetzt gerichtet, so heben sie sich gegenseitig auf. Ein Flugzeug würde also im Punkte P keine elektromagnetische Anstrahlung erleiden. Es kann dann auch keine Energie zurückstrahlen, d. h. die Maschine wird, wenn sie sich im Punkte P des Strahlungsfeldes befindet, vom F-Gerät nicht wahrgenommen.

Das Strahlungsfeld des F-Gerätes hat also in solchen Punkten tote Zonen. Physikalisch gesehen sind es alle die Punkte, in denen beide Strahlungen mit einer Phasenverschiebung von einer halben Wellenlänge (180 Grad) oder einem ungeraden Vielfachen der halben Wellenlänge eintreffen.

Umgekehrt muß es aber auch Punkte geben, in denen von beiden Wellenzügen entweder zwei Wellenberge oder zwei Wellentäler zusammentreffen, wie es in Fig. 14 dargestellt ist.

Verstärkung der direkten und reflektierten elektromagnetischen Welle.

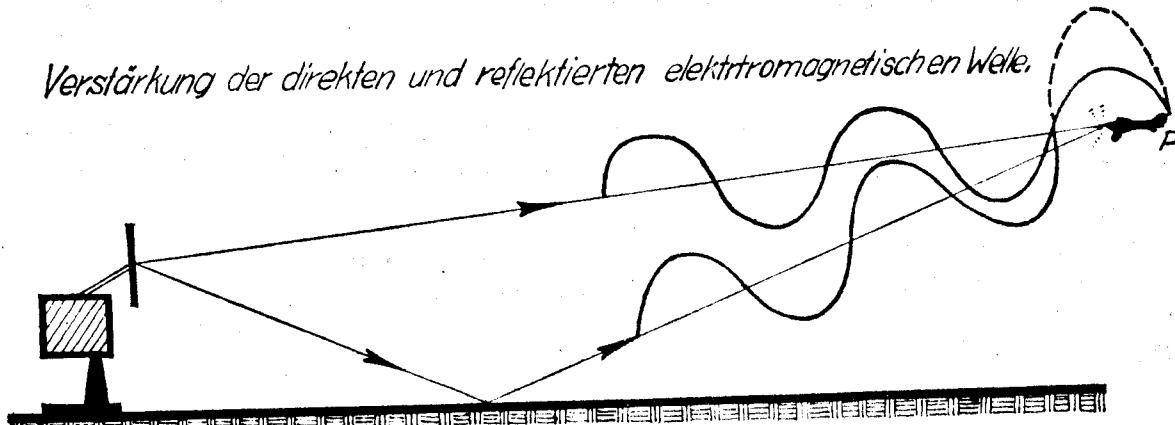


Fig. 14

Das bedeutet dann für diese Punkte eine Verdoppelung der Wellenamplitude. Oder physikalisch gesprochen: Treffen durch die direkte und reflektierte Strahlung Feldstärken gleicher Größe und gleicher Richtung zusammen, so verdoppeln sie sich. Das ist immer dann der Fall, wenn die Phasenverschiebung gleich Null oder ein gerades Vielfaches der halben Wellenlänge ist.

Da nun, wie schon gesagt, nicht die gesamte Energie reflektiert wird, d. h. wir keine verlustfreie indirekte Strahlung haben, wird es im allgemeinen nicht zu einer vollständigen Auslöschung

bzw. Verdoppelung der Feldstärken, sondern nur zu Zonen größter Verstärkung (Maxima) und Zonen größter Abschwächung (Minima) kommen.

Die Lage der Maxima und Minima gibt Fig. 15 für den Fall einer vollkommen horizontalen Reflektionsfläche und einer verlustfreien Reflektion der Energie wieder.

Das Entstehen der Auffächerung des Fresco-Strahlenbildes.

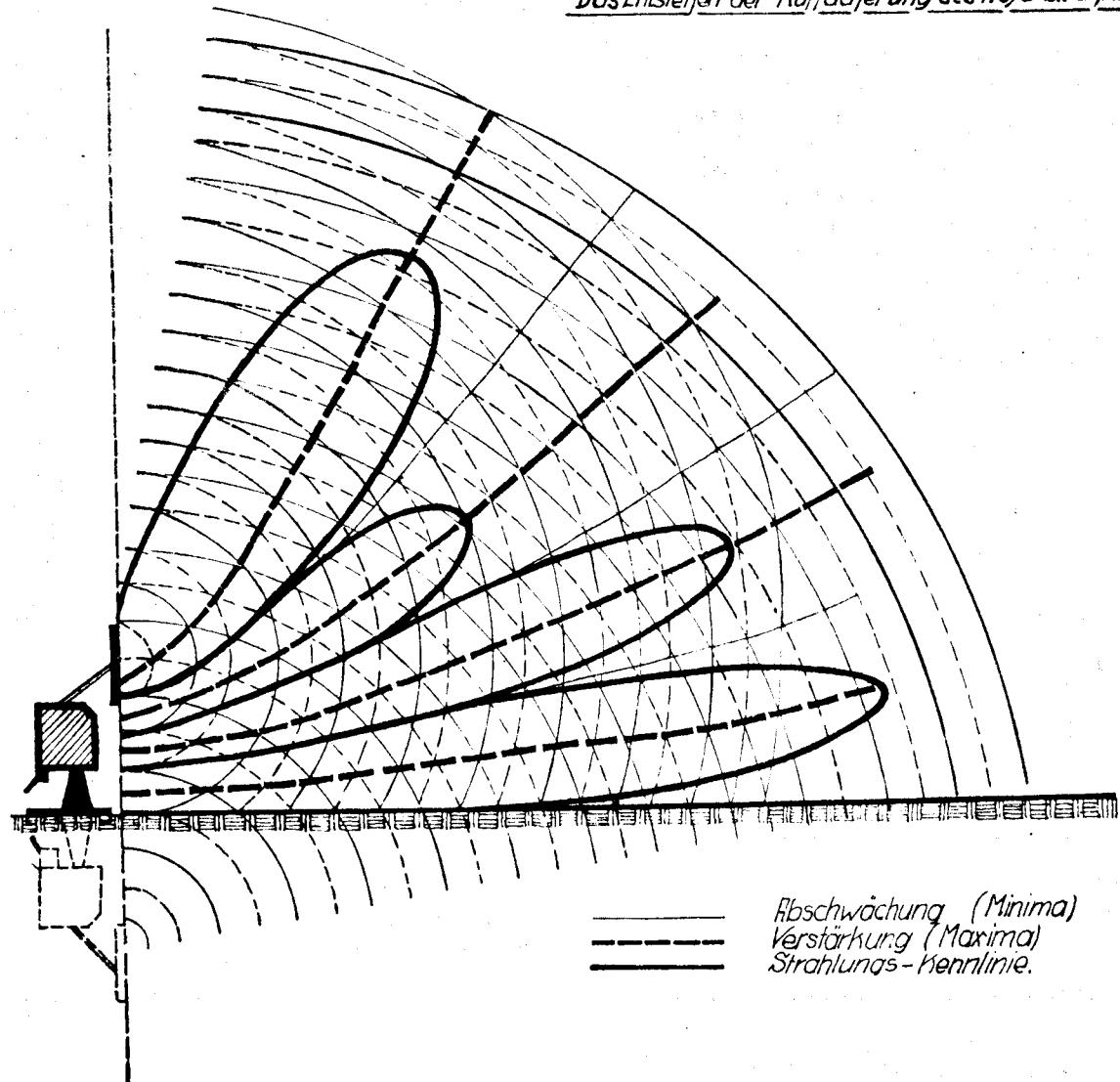


Fig. 15

Dabei ist zu beachten, daß bei Reflektion an einem festen Medium ein Phasensprung von einer halben Wellenlänge in der Schwingung auftritt, d. h., daß ein auf die Erdoberfläche auftreffender Wellenberg als Wellental zurückgeworfen wird und umgekehrt. Dabei scheinen die reflektierten Wellen von einem Energiezentrum herzukommen, das genau so weit unter der Reflektionsfläche liegt, wie das Gerät selber über dieser Fläche steht. Das Gerät spiegelt sich sozusagen an der Reflektionsfläche.

Die Übereinanderlagerung beider Wellenfelder ergibt die Punkte der Auslöschung (alle auf den ausgezogenen Hyperbeln) und die Punkte verdoppelter Wellenbewegung (alle auf den gestrichelten Hyperbeln). Für den Fall der nicht verlustfreien Reflektion werden diese Kurven die Zonen größter Verstärkung bzw. Zonen größter Abschwächung der Feldstärken darstellen. Für den idealen Fall der Fig. 15, wo namentlich auch ein punktförmiges Strahlungszentrum angenommen ist (hier der Mittelpunkt der Sendeantenne), müssen nach mathematischen Gesetzen die Maxima und Minima Hyperbeln sein; denn sie sind ja begriffsgemäß der geometrische Ort aller Punkte, die von 2 Festpunkten (hier das Strahlungszentrum und sein Spiegelbild) gleiche Abstandsdifferenz haben.

Diese Abstandsdifferenz ist aber gleichbedeutend mit dem Wegunterschied der direkten und der reflektierten Strahlen. Unter Berücksichtigung des Umstandes, daß bei der Reflektion der indirekte Strahl einen Phasensprung von einer halben Wellenlänge erleidet, muß an der Reflektionsfläche direkt ein Minimum entstehen. In allen Punkten der untersten gestrichelten Hyperbel treffen die direkten und dazugehörigen reflektierten Strahlen mit einem Wegunterschied einer halben Wellenlänge ein, d. h. in diesen Punkten hätten sie allein schon auf Grund des Wegunterschiedes eine Phasendifferenz einer halben Wellenlänge. Nun kommt aber noch der durch die Reflektion bedingte Phasensprung von einer halben Wellenlänge zu diesem Wegunterschied dazu. Insgesamt haben also in allen Punkten der gestrichelten Hyperbel der direkte Strahl und der dazugehörige am Boden reflektierte einen Phasenunterschied von einer ganzen Wellenlänge, d. h. es besteht in ihrem Schwingungszustand kein Unterschied. Diese gestrichelte Hyperbel muß also ein Maximum darstellen. Analog haben in allen Punkten der darüberliegenden, ausgezogenen Hyperbel der direkte und der dazugehörige reflektierte Strahl einen Wegunterschied von einer ganzen Wellenlänge, d. h. einen Gesamtunterschied im Schwingungszustand von drei halben Wellenlängen. Die ausgezogene Kurve muß also ein Minimum und analog müssen alle anderen ausgezogenen Kurven Minima und die gestrichelten Maxima darstellen.

Zwischen den Maxima und den Minima muß nun im Raum ein allmäßlicher Übergang in den absoluten Feldstärken vorhanden sein. Wenn man sich nun einmal in einem vertikalen Schnitt durch das Strahlungsfeld des Freya-Gerätes alle die Punkte eingezeichnet denkt, in denen die absolute Feldstärke gerade noch so groß ist, daß ein Flugziel noch einen sichtbaren Echozacken im Braunschen Rohr ergibt — d. h. also einen Zacken von mindestens der Höhe der Vergrißung oder des sog. „Rauschpegs“ erzeugt —, so müssen diese Punkte auf den gestrichelten Kurven, den Maxima, weiter vom Gerät entfernt liegen als auf den ausgezogenen Kurven, den Minima. Verbindet man alle diese Punkte wiederum durch eine Kurve, die Strahlungs-Kennlinie, so muß diese in den Minima nach dem Gerät zu eingezogen sein. Analog muß es mit den Kurven sein, auf denen man eine Zackenhöhe des zweifachen und mehrfachen Rauschpegs bekommt.

Die Strahlungs-Kennlinie (Charakteristik) eines erhöhten Dipols und damit auch der Sendeantenne des Freya-Gerätes wird also infolge der Reflektion an der Erdoberfläche in mehrere Diagrammlappen aufgeteilt, sozusagen fingerförmig aufgefächert.

3. Die Zahl der Diagrammlappen in Abhängigkeit von der Aufstellungshöhe:

Die Anzahl der Finger, in die das Strahlungsfeld aufgefächert wird, hängt von der Höhe des Sendespiegelmittelpunktes über der Reflektionsfläche ab.

Sie läßt sich errechnen, indem man die Aufstellungshöhe H des Gerätes (d. h. den Abstand des Sendespiegelmittelpunktes über der Reflektionsfläche) durch die halbe Wellenlänge dividiert. Es ist also

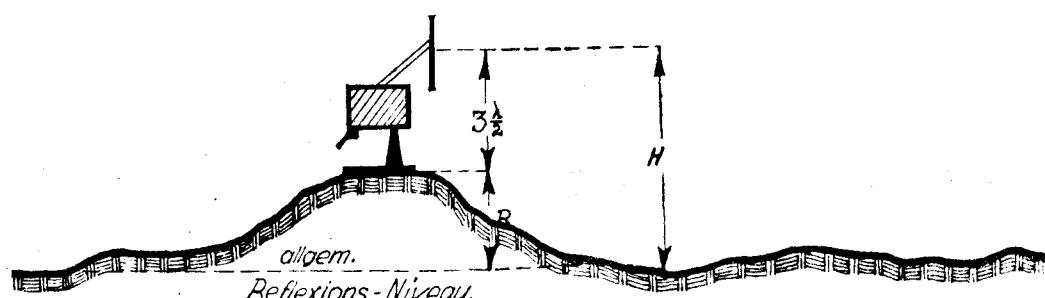
$$\text{Anzahl der Finger} = \frac{\text{Aufstellungshöhe}}{\text{halbe Wellenlänge}}$$

$$\text{oder } A = \frac{H}{\lambda/2} \quad (\lambda = \text{Wellenlänge})$$

d. h., bei einer Aufstellung in völlig horizontaler Ebene und bei vollständig nach oben gekurbeltem Sendespiegel würde man beim Freya-Gerät auf Urwelle

$$A = \frac{3\lambda/2}{\lambda/2}$$

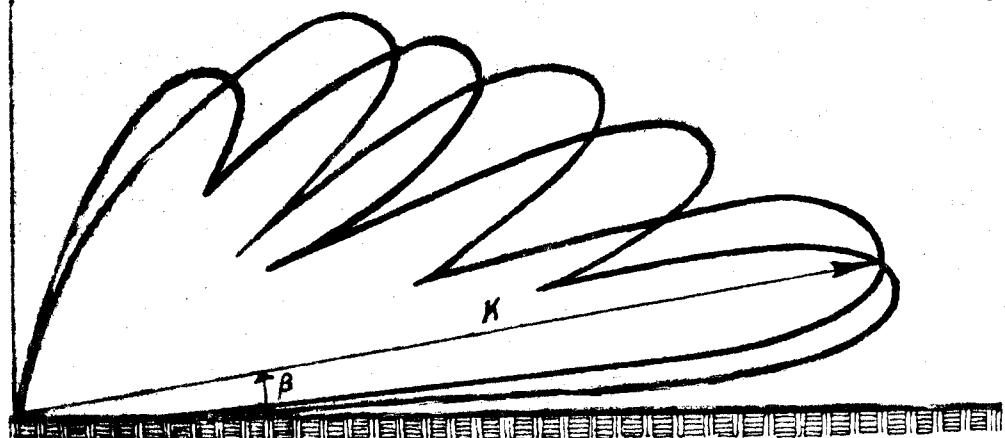
also 3 Finger bekommen, da in diesem Fall die effektive Sendespiegelhöhe = 3 halbe Wellenlängen der Freya-Welle beträgt.



R = Relative Höhe des Aufstellungsortes.
H = Effektive Strahlungshöhe.

Fig. 16

Anzahl der Finger. $\frac{\text{Aufstellungshöhe}}{\text{halbe Wellenlänge}}$



Aufstellung in der Ebene.

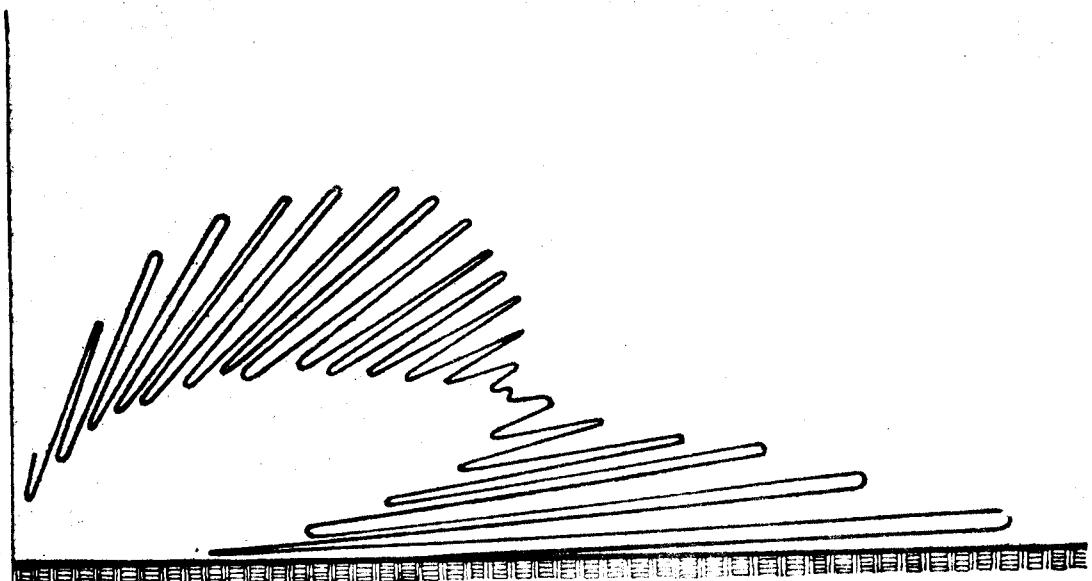
- Höhe des Sendespiegelmittelpunktes = 1,5 Wellenlängen über dem Boden.
- Höhe des Sendespiegelmittelpunktes = 2 Wellenlängen über dem Boden.

Fig. 17

Die Anzahl der Diagrammlappen oder Finger für verschiedene effektive Strahlungshöhen beim Freya-Gerät ergibt nachstehende Tabelle. (Dabei ist die effektive Strahlungshöhe bei ausgekurbeltem Antennenspiegel immer gleich der eigentlichen Höhe des Aufstellungsortes über dem allgemeinen Niveau des umgebenden, für die Reflektion in Frage kommenden Geländes, zuzüglich 3 halbe Wellenlängen; siehe Fig. 16.)

Effektive Strahlungshöhe	$1,5\lambda$	2λ	3λ	10λ	50λ	70λ	100λ
Anzahl der Finger	3	4	6	20	100	140	200

Mit größerer Anzahl der Finger müssen die einzelnen Finger selber schmäler werden, da sie ja dann nur einen kleineren Sektor des Gesamtstrahlungsraumes von 90° erhalten. Damit



Höhe des Sendespiegelmittelpunktes = 10 Wellenlängen über dem Boden.

müssen aber auch die Winkelabstände der toten Zonen geringer und die Minima selber auch schmäler werden. Dasselbe gilt auch namentlich für die unterste tote Zone, die am Erdboden entsteht.

Es ergibt sich also die wichtige Erscheinung, daß mit größerer Aufstellungshöhe das Strahlungsfeld des Freya-Gerätes stärker aufgefächert wird.

Stehen in einer Gerätestellung mehrere Freya-Geräte zusammen, wie z. B. in Igelestellungen, empfiehlt es sich, die Geräte mit verschiedenen effektiven Strahlungshöhen aufzustellen, damit die toten Zonen des einen Gerätes durch die Maxima des anderen überdeckt werden und somit kein Teil des zu überwachenden Luftraumes unbeobachtet bleibt (s. Fig. 17).

Die Fig. 17 zeigt das Strahlungs-Diagramm eines F-Gerätes, wie es bei vollkommen horizontaler Reflektionsfläche, ungehinderter Ausstrahlung nach oben und einer Aufstellung zu ebener Erde, d. h. mit einer effektiven Strahlungshöhe von etwa 1,5 Wellenlängen, angenommen werden kann.

Fig. 18 zeigt das Diagramm unter denselben Verhältnissen aber mit einer Aufstellungshöhe von 10 Wellenlängen über dem Boden.

4. Der Einfluß der Beschaffenheit des reflektierenden Vorfeldes auf den Grad der Auffächerung des Strahlungsdiagramms.

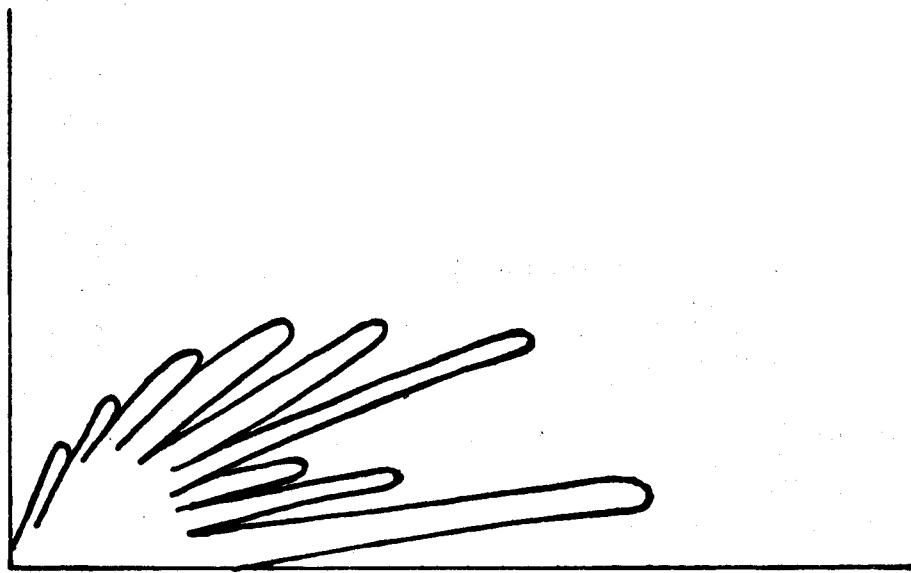
Wie tief die Diagrammkurve nun in den Minima nach dem Gerät zu sich einzieht, oder anders ausgedrückt, wie weit die toten Zonen nach dem Gerät zu einspringen, das hängt von dem Maß der Reflektion ab und damit von der Eigenschaft des Bodens und von dem Einfallswinkel der Strahlen. Die Eigenschaft des Bodens lässt sich in 2 wichtigen elektrischen Merkmalen zum Ausdruck bringen, in der elektrischen Leitfähigkeit und in der Dielektrizitätskonstanten. Nach diesen beiden physikalischen Größen lassen sich die einzelnen Reflektionsböden hinsichtlich ihrer Reflektionsfähigkeit einteilen. Und zwar ergibt sich, daß die Reflektion um so stärker wird, je größer die Dielektrizitätskonstante wird. Da nun Wasser eine sehr große Dielektrizitätskonstante hat (81), wird die Reflektion der Strahlung über Wasserflächen groß sein. Damit wächst aber in den Maxima, wo sich der reflektierte und der direkte Strahl addieren, die Feldstärke stark über die Originalfeldstärke. Die Finger werden sozusagen länger und namentlich der unterste. Das bedeutet aber eine Vergrößerung der Reichweite. Daraus erklärt sich der Umstand, daß die Reichweiten über Meer im Durchschnitt weit größer sind als über Land.

Der Unterschied im Grade der Auffächerung des Strahlungsdiagramms bei Ausbreitung über Land und über See geht vergleichsweise aus den Fig. 19 und 20 hervor.



Auffächerung der Strahlungskennlinie über Land.
(trockener Erdboden)

Fig. 19



Auffächterung der Strahlungskennlinie über See.

Fig. 20

5. Die Auffächterung des Diagramms in Abhängigkeit vom Einfallswinkel der Strahlen.

Von Einfluß auf das Maß der Reflektion ist ferner noch, wie schon erwähnt, der **Einfallswinkel**, unter dem die Strahlen auf das reflektierende Vorfeld auftreffen.

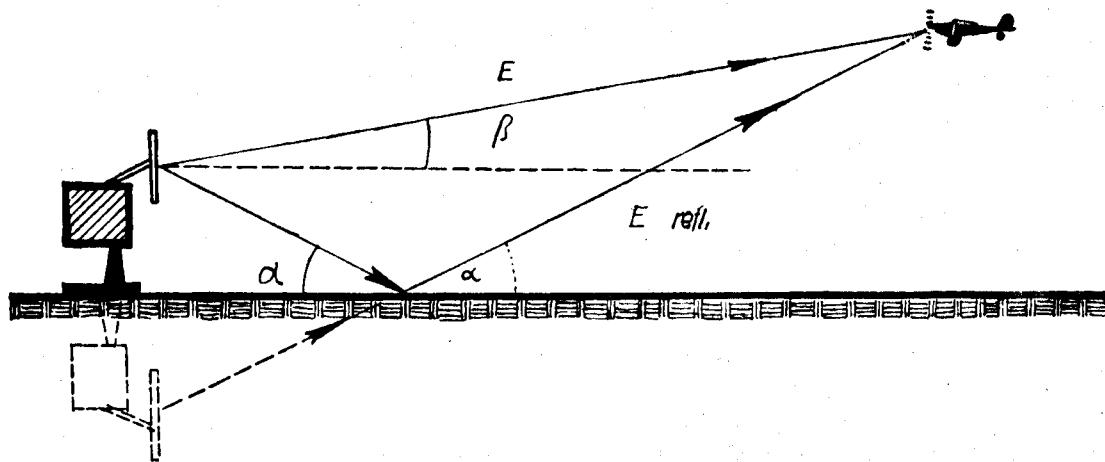


Fig. 21

In Fig. 21 ist der Einfallswinkel der Winkel α . Bei vertikal polarisierten Wellen — und das ist ja der Fall, wenn der strahlende Dipol vertikal steht wie beim Freya-Gerät — ergibt sich die bemerkenswerte Tatsache, daß bei einer gewissen Größe des Reflektionswinkels keine Reflektion erfolgt.

Es wird dann sämtliche Energie vom reflektierenden Vorfeld sozusagen verschluckt. Man nennt diesen Winkel den Brewsterschen Polarisationswinkel.

Nun sind bei weit entfernten Luftzielen und bei nicht allzu großer Aufstellungshöhe des Gerätes über dem Reflektionsfeld, in Fig. 21 der direkte Strahl E und der zugehörige reflektierte Strahl als nahezu parallel anzusehen.

Dann ist aber auch der Abstrahlwinkel β nahezu gleich dem Reflektionswinkel α . Wenn nun α in der Größenordnung des Brewsterschen Polarisationswinkels liegt, dann liegt für genügend entfernte Flugziele auch der Abstrahlwinkel β in der Größenordnung des Brewsterschen Polarisationswinkels. Es gilt dann, daß bei dem Abstrahlwinkel β , der der Größe des Brewsterschen Polarisationswinkels entspricht, die Auffächterung des Strahlungsdiagramms am geringsten ist,

da für hinreichend entfernte Ziele der entsprechende, reflektierte Strahl keinen abschwächenden oder verstärkenden Einfluß hat, da er ja vom Boden vollständig verschluckt wird.

Die **toten Zonen** springen also im Bereich des Abstrahlwinkels, der in seiner Größe dem Brewsterschen Polarisationswinkel entspricht, am wenigsten nach dem Gerät zu ein (s. Fig. 18).

Bei horizontalpolarisierter Strahlung, d. h. bei Antennen mit horizontaler Anordnung der Dipole — wie sie bei neueren Geräten z. T. angewandt wird — gestaltet sich die Abhängigkeit der **Reflektion** vom **Einfallswinkel** (Größe des Brewsterschen Polarisationswinkels), und damit die **Auffächerung des Diagramms**, anders.

6. Überlagerungerscheinungen infolge Reflektion an Grenzschichten in der Atmosphäre.

Von besonderem Einfluß auf die Ausbreitung der Strahlung der Fu.M.G. sind, wie schon erwähnt, auch die atmosphärischen Bedingungen, namentlich die Schichtung innerhalb der sogenannten **Troposphäre** und auch die Lage der verschiedenen Ionisationsschichten in größeren **Höhen**, so z. B. die **Heavisideschicht**.

In ähnlicher Weise, wie die Strahlung an der Erdoberfläche reflektiert wird und es dadurch zu Interferenzerscheinung im Strahlungsfeld der Fu.M.G. kommt, werden die **UkW-Wellen** auch an den erwähnten Grenzschichten beeinflußt. In der Troposphäre sind es namentlich die **großen Aufgleitschichten**, die zu **Reflektions- und zu Brechungerscheinungen** führen können. Dadurch kann die Lage der Finger sehr stark verändert werden, derart, daß unter gewissen Umständen, z. B. bei besonders ausgeprägten Wolkenschichten in mittleren Höhen, die Finger im wesentlichen unterhalb der Schicht zwischen Erde und Wolken zusammengedrängt werden.

Auch die Ionisationsschichten, die in größeren Höhen in der Stratosphäre die Erde umgeben, sind in ähnlicher Weise von Einfluß auf die Ausbreitung der Strahlung der Fu.M.G. Die Höhe dieser Ionisationsschichten hängt wiederum stark von der Sonneneinstrahlung und auch noch von anderen größeren kosmischen Einwirkungen (z. B. Nordlicht) ab.

Es werden also die täglichen und jahreszeitlichen Schwankungen in den atmosphärischen Verhältnissen sich stark auf die Gestaltung des Strahlungsfeldes der Fu.M.G. auswirken.

7. Berechnung der Lage der **toten Zonen** (Nullstellen)

Aus dem bisher Gesagten geht hervor, daß es infolge der vielen wirksamen Faktoren sehr schwierig ist, spezielle Gesetze über den Aufbau des Strahlungsfeldes aufzustellen. Die Ausbreitungsverhältnisse sind durchaus nicht stationär, und man kann sich nur sehr schwer auf Grund theoretischer Überlegungen ein Bild von der wirklichen Lage der **toten Zonen** und **Finger** machen.

Auch im voraus Aussagen darüber zu machen, wie hoch z. B. der unterste Finger in einer gewissen Entfernung bei einer bestimmten Aufstellungshöhe des Gerätes sich über den Erdboden erhebt, ist sehr schwierig. Man kann immer nur für gewisse idealisierte Aufstellungsbedingungen ganz grobe und sehr allgemein gehaltene Regeln geben, zumal praktische Messungen auf diesem Gebiet noch sehr wenig vorliegen.

Die **Lagen der toten Zonen**, d. h. die **Abstrahlwinkel** β , bei denen das Diagramm nach dem Sender zu einspringt, lassen sich für einfache und idealisierte Aufstellungsverhältnisse leicht errechnen. Bei Berücksichtigung sämtlicher Faktoren, wie sie in der Praxis vorkommen, gestaltet sich diese Rechnung allerdings kompliziert, da namentlich eine Reihe dieser Faktoren nicht stationär ist und eine für die Lösung des Problems hinreichende, funktionale Gesetzmäßigkeit nicht erkennen läßt.

Der **Radiusvektor K** (s. Fig. 17) ist in seiner Größe abhängig von dem **Abstrahlwinkel** β .

Die funktionale Gesetzmäßigkeit, nach der K von β abhängt, ist für den idealisierten Fall, daß das F-Gerät unbehindert nach oben strahlt und die **Reflektion**

an einem völlig ebenen Vorfeld erfolgt und hundertprozentig ist, gegeben durch die Gleichung¹⁾:

$$K = \sin \left(\frac{2 \pi \cdot H}{\lambda} \cdot \sin \beta \right)$$

Dabei ist H die Aufstellungshöhe des F-Gerätes in Metern (effektive Strahlhöhe) und λ die Wellenlänge in Metern. Für den Fall der Aufstellung des F-Gerätes in der Ebene ist

$$H = \frac{3}{2} \lambda$$

Dann lautet also die Gleichung des Strahlungsdiagramms:

$$K = \sin (3 \pi \cdot \sin \beta)$$

Um nun die Lage der toten Zonen im Strahlungsfeld zu finden, muß man die Werte des Winkels β finden, für die K gleich Null wird, da ja bei hundertprozentiger Reflektion die toten Zonen bis zum Strahlungszentrum einspringen.

Die Lösung des Problems kommt also mathematisch darauf hinaus, die Nullstellen der Gleichung

$$\sin (3 \pi \cdot \sin \beta) = 0 \text{ zu finden.}$$

Dazu führt folgende Überlegung:

Die Gleichung ist zunächst erfüllt für den trivialen

1. Fall:

daß Argument $3 \pi \cdot \sin \dots \beta = 0$ ist

d. h. es muß der Faktor $\sin \beta = 0$ sein.

Das gilt wiederum nur für $\beta = 0^\circ$ oder $\beta = 180^\circ$ oder

allgemein $\dots \beta = n \cdot 180^\circ$ wobei $n = 1,2,3 \dots$

Es kann aber nur $\beta = 0^\circ$ in Frage kommen, da die Strahlung sich im vertikalen Sektor 0° – 90° erstreckt.

Eine der zu findenden Nullstellen liegt also bei $\beta = 0^\circ$ oder:

Bei dem Abstrahlwinkel 0° , also an der Erdoberfläche, liegt eine tote Zone.

Die Gleichung $\sin (3 \pi \cdot \sin \beta) = 0$ ist auch ferner erfüllt für die Argumente.

$$3 \pi \cdot \sin \beta = \pi \text{ oder } 2 \pi, 3 \pi \dots$$

allgemein für $3 \pi \cdot \sin \beta = n \pi$, wobei $n = 0,1,2,3, \dots$

2. Fall:

$$3 \pi \cdot \sin \beta = \pi$$

dann gilt

$$\sin \beta = \frac{1}{3} = 0,333 \dots$$

d. h.

$$\beta = 19^\circ 28'$$

Eine zweite Nullstelle liegt also bei $\beta = 19^\circ 28'$ oder:

Bei dem Abstrahlwinkel $19^\circ 28'$ liegt eine tote Zone.

3. Fall:

$$3 \pi \cdot \sin \beta = 2 \pi$$

d. h.

$$\sin \beta = \frac{2}{3} = 0,666 \dots$$

und somit

$$\beta = 41^\circ 49'$$

Es liegt also eine dritte Nullstelle bei $41^\circ 49'$ oder:

Bei dem Abstrahlwinkel $41^\circ 49'$ liegt eine tote Zone.

¹⁾ Anmerkung: Nach F. Vilbig „Lehrbuch der Hochfrequenztechnik“, B. I. S. 487.

4. Fall:

$$3\pi \cdot \sin \beta = 3\pi$$

d. h.

$$\sin \beta = 1$$

und somit

$$\beta = 90^\circ$$

Es liegt also eine vierte Nullstelle bei $\beta = 90^\circ$ oder:Bei dem Abstrahlwinkel 90° liegt eine tote Zone.

Alle weiteren Fälle scheiden aus, da ab 5. Fall:

$$3\pi \cdot \sin \beta = 4\pi$$

$$\sin \beta = 4, \text{ d. h. größer als } 1$$

3

wird, was aber nicht möglich ist, da der \sin eines Winkels immer kleiner ist als 1.

Das Strahlungsfeld des F-Gerätes hat also bei Aufstellung in der Ebene 4 tote Zonen und somit, wie erwähnt, 3 Finger.

In diesem Fall ist unter den obigen, vereinfachten Bedingungen die Lage der toten Zonen wie folgt:

1. tote Zone an der Erdoberfläche
2. tote Zone bei $19^\circ 28'$ Höhe
3. tote Zone bei $41^\circ 49'$ Höhe
4. tote Zone bei 90°

Der 1. Finger liegt also in dem großen Sektor $0^\circ - 19^\circ 28'$, so daß die normalen Flughöhen im wesentlichen in ihm liegen und die zweite tote Zone infolge der großen Höhe noch ohne Einfluß bleibt.

In ähnlicher Weise wie bei der Aufstellungshöhe $H = \frac{3}{2}\lambda$ kann man für dieselben Be-

dingungen die Lage der toten Zonen z. B. für die Aufstellungshöhe $H = 10\lambda$ berechnen.

Das kommt mathematisch darauf hinaus, die Nullstellen der Gleichung

$$\sin(20\pi \cdot \sin \beta) = 0 \text{ zu finden.}$$

Wie man leicht ersieht, ergibt es insgesamt 21 Nullstellen, d. h. das Strahlungsfeld des F-Gerätes hat bei einer Aufstellungshöhe von $H = 10$ Wellenlängen 21 tote Zonen und 20 Finger.

Die 1. tote Zone liegt dabei wieder an der Erdoberfläche, die 2. tote Zone liegt bei $2^\circ 52'$ Höhe (dafür $\sin \beta = \frac{1}{20}$)

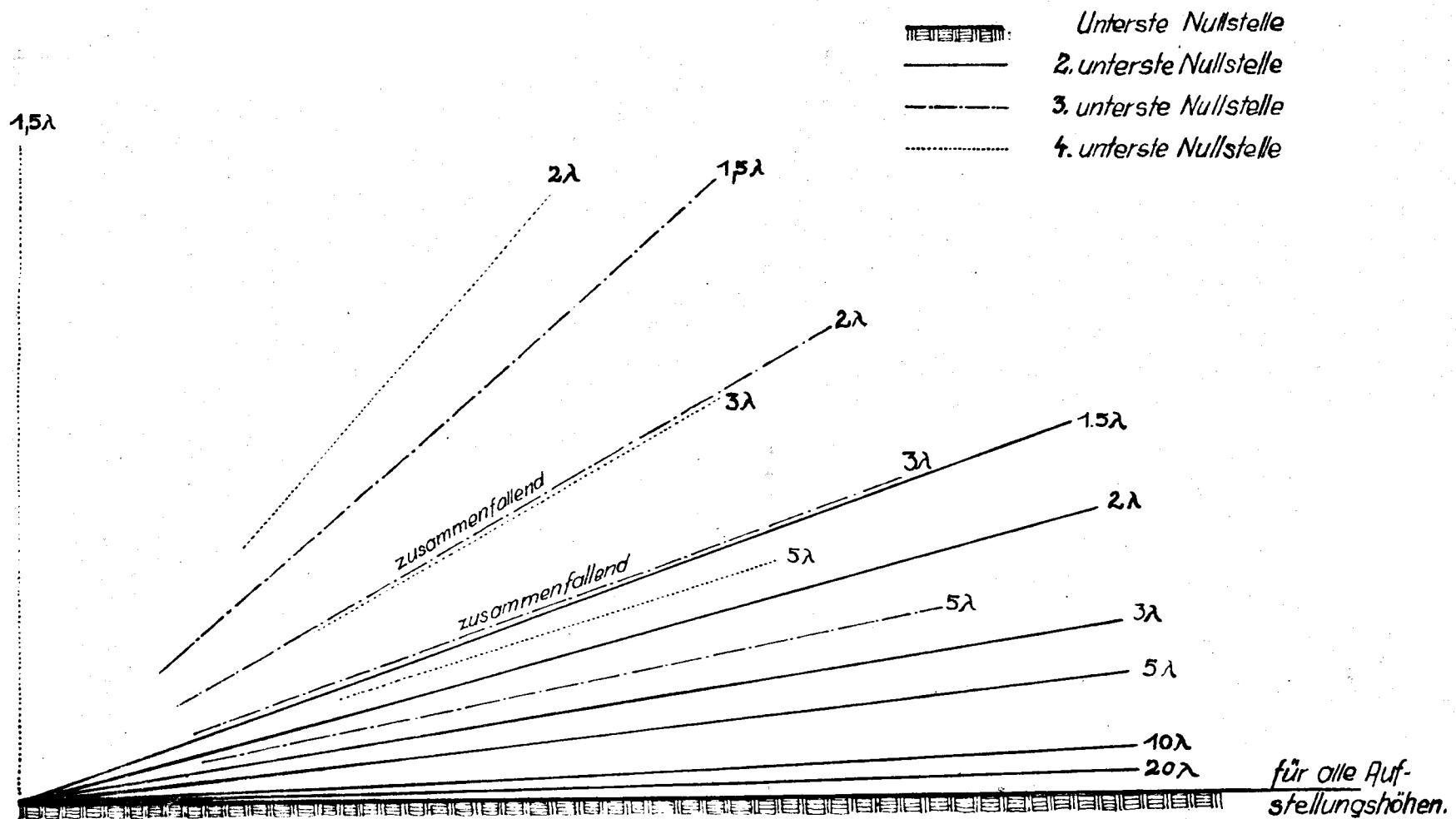
8. Zusammenfassende Schlußfolgerungen aus der Auffächerung des Strahlungsfeldes der Fu.M.G. für die Geräteaufstellung.

Nachstehende Tabelle gibt für verschiedene Aufstellungshöhen H des F-Gerätes jeweils die Lage der 2. toten Zone und damit auch den Sektor an, in dem sich der unterste Finger erstreckt:

H in λ :.....	1,5	2	3	5	10	20	50	75	100
2. Totzone bei:	$19^\circ 28'$	$14^\circ 30'$	$9^\circ 35'$	$5^\circ 48'$	$2^\circ 52'$	$1^\circ 26'$	$0^\circ 34'$	$0^\circ 23'$	$0^\circ 17'$

Aus den vorhergehenden Überlegungen gehen also folgende wichtigen Tatsachen hervor (s. dazu auch Fig. 21a):

1. An der Reflexionsfläche (Erboden oder Meeresfläche) entsteht immer eine tote Zone; dadurch erklärt sich die in der Praxis immer wieder gemachte Erfahrung, daß Tiefflieger mit den Funkmessgeräten nur schwer zu erfassen sind.
2. Die Auffächerung des Strahlungsdiagramms wird mit Vergrößerung der Aufstellungshöhe stärker. Dadurch rücken die einzelnen Finger dichter zusammen und werden schmäler. Auch die toten Zonen und insbesondere die unterste tote Zone werden schmäler.
3. Die 2. tote Zone und damit auch die weiteren Minima rücken mit Vergrößerung der effektiven Strahlungshöhe nach unten. Die Tabelle zeigt insbesondere, daß die Verlagerung der 2. toten Zone nach unten nicht gleichmäßig vor sich geht, sondern anfangs sehr stark ist und dann geringer wird. Am meisten wirkt sich die Vergrößerung der Aufstellungshöhe auf das Absinken des 2. Minimums im Bereich 0 — etwa 50 m aus. Darüber hinaus bewirkt eine Erhöhung des



Die Lage der 4 untersten Nullstellen.

Bei den Aufstellungshöhen $1,5\lambda$; 2λ ; 3λ ; 5λ über dem Reflexionsvorfeld.
(für 10λ nur die beiden untersten Nullstellen)

1 " 20λ " " " "

Fig. 21a

Aufstellungsortes nur noch eine geringe Verlagerung der 2. toten Zone nach unten. Bei der Aufstellung in der Ebene lagert sich der 1. Finger im Sektor 0 — 19°28'. Es werden daher die normal vorkommenden Flughöhen von ihm erfaßt. Mit größerer effektiver Strahlungshöhe wird aber auch die Möglichkeit, daß Flugziele in das 2. und in die weiteren Minima hineingeraten und somit vom Gerät nicht mehr erfaßt werden, größer. Es tritt dann neben das Problem der Tiefflieger auch das Problem der Hochflieger.

4. Zur besseren Erfassung von Tieffliegern müssen Freya-Geräte hoch (über der Reflexionsfläche), zur besseren Erfassung von Hochfliegern müssen Freya-Geräte niedrig aufgestellt werden!

9. Darstellung der Meßergebnisse von Versuchsfügen

In Fig. 22 sind die Reichweiten eines Freya-Gerätes mit AN-Zusatz (Vergleichspeilung) in Abhängigkeit von der Flughöhe dargestellt, wie sie von einer Erprobungsstelle in einer Reihe von Meßflügen in Form von An- und Abflügen im stetigen Steigflug bis zu Höhen von 12000 m ermittelt worden sind. Das Reichweiten-Diagramm wurde sowohl für eine Me 109 G als auch für eine Ju 86 P festgestellt. Zum Vergleich sind dann auch noch die ebenfalls durch Versuchsfüge ermittelten Reichweiten einer Hs 126 in niederen und mittleren Höhen eingetragen.

Die Zeichnung bestätigt, was im vorhergehenden ganz allgemein erörtert worden war. Im besonderen läßt die Darstellung folgende Ergebnisse erkennen:

- I. Alle 3 Diagramme zeigen die typische Auffächerung in die erwähnten Diagrammlappen, wobei die oberen Finger nicht in Erscheinung treten können, weil sie oberhalb der praktisch erreichbaren Flughöhen liegen.
- II. Die Reichweite ist auch abhängig vom Flugzeugtyp und bei größeren Kampfmaschinen größer als bei kleinen Jagdflugzeugen.
- III. In allen 3 Fällen ist das Minimum am Boden ersichtlich und damit in diesem praktischen Falle auch bestätigt, daß Tiefflieger den Freya-Geräten Schwierigkeiten in der Erfassung bereiten. Dabei zeigt sich, daß die Gefahr des Unterfliegens der Geräte bei kleinen, schnellen Jagdflugzeugen größer ist als bei großen Kampfmaschinen. Während die Ju 86 P in 2000 m Höhe bereits in 50 km erfaßt wird, ist das bei der 2000 m hoch fliegenden Hs 126 in 42 km und bei der Me 109 G für dieselbe Flughöhe gar erst in 35 km der Fall.
- IV. Das 2. Minimum ist in allen 3 Diagrammen angedeutet, bedeutet aber für das Freya-Gerät keine übergroße Erschwerung der Erfassung.
- V. Sehr stark ist das Einspringen des 3. Minimums. Dadurch ist in diesem Fall die Gefahr des Überfliegens des Gerätes durch Höhenflugzeuge gegeben, und zwar insbesondere bei kleinen, schnellen Jagdflugzeugen. Die Me 109 G ist bei einer Flughöhe von 10000 m nur zwischen etwa 36—17 km erfaßbar. Es ist daher mit großer Wahrscheinlichkeit anzunehmen, daß solche schnellen Jäger und Aufklärungsflugzeuge in diesen großen Höhen vom Freya-Gerät, besonders im Suchbetrieb (d. h. wenn dauernd auch noch ein gewisser Sektor abgeschenkt werden muß), selten erfaßt werden. Über 12000 m liefern diese kleinen Maschinen überhaupt kein Reflektionszeichen mehr.

Bei Kampfmaschinen ist die Gefahr des Überfliegens geringer, da sie ja auch infolge ihrer geringeren Geschwindigkeit länger im Wirkungsbereich der Freya-Geräte bleiben. Die Ju 86 P wird in 12000 m Flughöhe gerade noch zwischen 37 km und 20 km erfaßt.

Da nun die schweren viermotorigen englisch-amerikanischen Bomber naturgemäß noch größere Reichweiten haben werden als die Ju 86 P (man schätzt 30—50% mehr), kann man sagen, daß bis zu 12000 m hochfliegende feindliche schwere Kampfverbände vom Freya-Gerät im Flugmelddienst meistens erfaßt werden, besonders auch, wenn es sich um im wesentlichen häufiger vorkommende Quer- oder Vorbeiflüge handelt. Es ist nämlich, wie das Reflektionsdiagramm eines Flugzeuges in Fig. 23 zeigt, die Reichweite eines Freya-Gerätes bezüglich einer Maschine im Vorbeiflug größer als beim An- bzw. Abflug vom Gerät (durchschnittlich 20—30% besser); denn nach den Breitseiten wird mehr Energie vom Flugzeug reflektiert als nach vorn bzw. rückwärts.

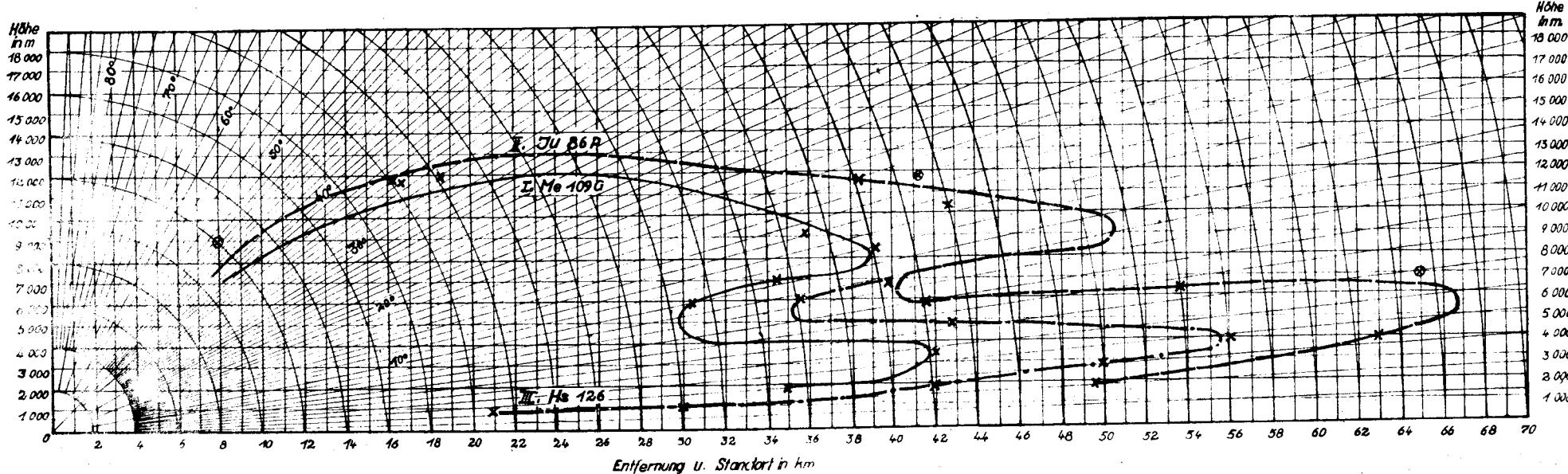
Dagegen kann ein Mosquito-Fernaufklärer erheblich leichter in großen Höhen übersehen werden, zumal dieses Baumuster ganz aus Holz gebaut ist und dadurch geringere Rückstrahlung ergibt.

Reflexions-Reichweiten eines Freya-Gerätes (Lafette 124)
ausgeflogen mit Me 109, Ju 86 und Hs 126.

Bei Kurve I bedeuten die Reichweitenwerte

x Abflug
o Anflug

Bei Me 109 und Hs 126 sind angegebene
Reichweitenwerte gemittelt aus dem Abflug
u. Anflug.



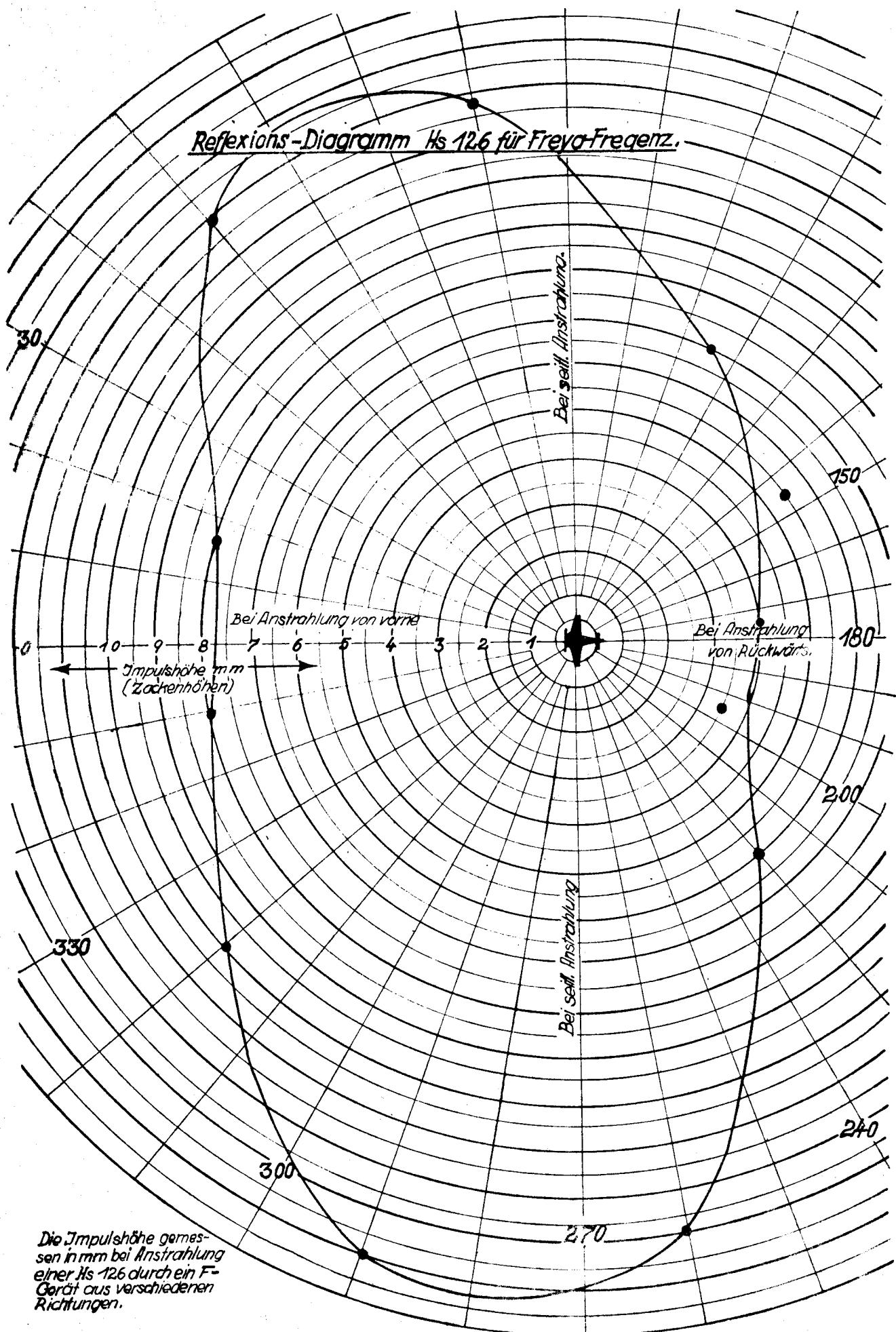


Fig. 23

III. Aufstellungsarten und ihre besonderen taktischen Merkmale

Im folgenden sollen nun einige der wichtigsten und charakteristischen Aufstellungsarten besprochen werden:

A. Die Aufstellung auf einer Steilküste

Sie kommt verhältnismäßig häufig vor und hat sich auch als durchweg günstig erwiesen, und zwar deshalb, weil auf Grund der erhöhten Aufstellung

- a) die Reichweite groß und
- b) die unterste tote Zone in ihrer Ausbildung nur schmal und somit das Gerät besser zur Erfassung der Tiefflieger geeignet ist.

Es ist jedoch unvorteilhaft, das Gerät direkt an der Kante der Küste aufzustellen,

1. weil infolge des steilen Aufstreffens der unteren Randstrahlen auf das Wasser die Brandung sich als stark atmendes Nahfestzeichenbild bemerkbar macht. Es entsteht die sog. „Seeschlange“ oder auch „Meeresrauschen“ genannt, das unter Umständen in der Beobachtung eines Luftzieles sehr störend wirken kann, und zwar um so mehr, wenn das Gerät als Führungsgerät benutzt wird,
2. weil das Gerät direkt am Rande der Steilküste den atmosphärischen Einflüssen, vor allem den mit Salzwasser gesättigten Winden stark ausgesetzt ist und dadurch störanfälliger wird,
3. weil das Gerät dort schlechter zu tarnen und von der See und aus der Luft besser zu erkennen ist.

Es hat sich als günstig erwiesen, bei einer Aufstellungshöhe von 50 bis 150 m um 250 bis 500 m von der Kante der Steilküste zurückzugehen. Dabei treten dann die Verhältnisse auf, wie sie in Fig. 24 dargestellt sind.

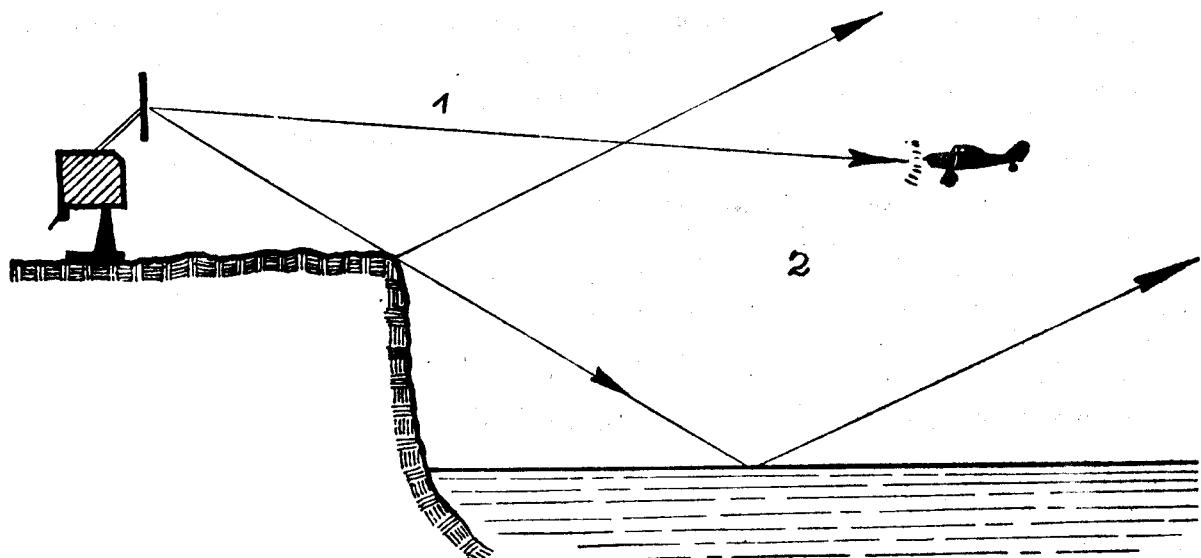


Fig. 24

In der Zeichnung ist auf eine maßstabsgerechte Darstellung verzichtet worden, da sich das Ganze unter sehr kleinen Erhebungswinkeln abspielt. Aus der Fig. 24 ergibt sich, daß es in einem gewissen Sektor nicht zu einer Überlagerung der direkten und reflektierten Strahlung kommt, da von der Kante der Steilküste bis zu dem Punkt, wo der die Kante gerade streifende Strahl auf die Wasserfläche trifft, keine Reflexion auftreten kann infolge des toten Raumes unterhalb der Kante. Es ist also in diesem Sektor nur die direkte Strahlung vom Gerät vorhanden und es kann daher in ihm nicht zur Ausbildung von toten Zonen kommen. Im Sektor 2 ist daher eine ungestörte Beobachtung von Flugzielen möglich.

Oberhalb dieses Sektors liegt das Gebiet 1, das infolge der Reflexion am Vorfeld (dieses reicht vom Gerät bis zur Kante der Steilküste) von Maxima und Minima durchzogen ist. Da für dieses Vorfeld nur die Höhe des Sendespiegelmittelpunktes über dem Erdboden als wirksame Strahlungshöhe in Frage kommt, gehen hier die Finger steil in die Höhe. Dadurch können in

diesem Gebiet Hochflieger erfaßt werden. Die Aufstellung des Gerätes ist für die Erfassung von Tieffliegern um so weniger geeignet, je weiter das Gerät von der Kante der Steilküste zurücksteht. Denn es geht dann von der maximalen Reichweite, innerhalb der Tiefflieger überhaupt beobachtet werden können, noch die Länge des toten Raumes unterhalb der Kante der Steilküste ab. Bei einer Höhe der Steilküste von 100 m und einem Abstand des Gerätes von der Kante von 500 m beträgt die Länge dieses Totraumes etwa 14 km, so daß also theoretisch nur während einer Anflugstrecke von 22 km Tiefflieger beobachtet werden können, da ja die Reichweite des Gerätes am Boden bei einer Aufstellungshöhe von 100 m theoretisch etwa 36 km beträgt. Bei den hohen Fluggeschwindigkeiten ist die Wahrscheinlichkeit, daß das Gerät während dieser 22 km ein Flugziel erfaßt, gering. Es können, falls es zu einem Auffassen überhaupt kommt, nur wenige Peilungen geliefert werden. Das Ziel wird dann beim Anflug im Totraum unter der Kante der Steilküste rasch wieder verlorengehen.

Für die Tiefflieger-Erfassung ist also die erwähnte Aufstellung nicht gut geeignet.

B. Aufstellung auf einer stetig abfallenden Küste

Um eine noch bessere Wirkungsweise der Geräte zu bekommen, müßte also die Aufstellung so gewählt werden, daß die wirksame Strahlungshöhe im Bereich 50—150 m liegt und bei entsprechendem Zurückstellen vom Wasser jedoch kein toter Raum entsteht. D. h. es müßte das Vorgelände vom Aufbauplatz des Gerätes allmählich zum Wasser hin abfallen. Und in der Tat hat sich in der Praxis als beste Aufstellung erwiesen:

Eine Küste von 50 bis 150 m Höhe, die auf eine Entfernung von etwa 10 km hin allmählich und stetig zum Meeresspiegel abfällt.

Das entspricht einer Neigung des Vorfeldes von 1:200 bis 1:66. Dabei ist zu beachten, daß das Vorgelände zum Meer hin nicht überwölbt (konvex) abfällt. Denn dann würde auch ein gewisser toter Raum entstehen. Am besten ist ein stetig oder hohl (konkav) abfallendes Küstenvorland.

Die Vorteile dieses Idealfallen der Aufstellung sind (Fig. 25):

1. die große Reichweite (durchschnittlich 150 km) infolge der großen wirksamen Strahlungshöhe über der Reflektionsfläche des Meeres;
2. das Brandungsecho, die sog. Seeschlange tritt nur schwach bzw. überhaupt nicht auf, weil die untere Randstrahlung ganz flach über die Brandungszone streift;
3. das Gerät läßt sich besser der Feindsicht entziehen;
4. die unterste tote Zone kommt nicht zur Ausbildung, da sich die einfach am Meeresspiegel reflektierte Strahlung und die zweifach, am Vorgelände und am Meeresspiegel reflektierte Strahlung gegenseitig auslöschen und somit die direkte Strahlung (erster Finger) bis zum Wasserspiegel heruntergeht und sich dort auflegt. Daraus ergibt sich, daß Tiefflieger erfaßt werden können. Der Nachteil dieser Aufstellung beruht darin, daß Hochflieger schlecht erfaßt werden können.

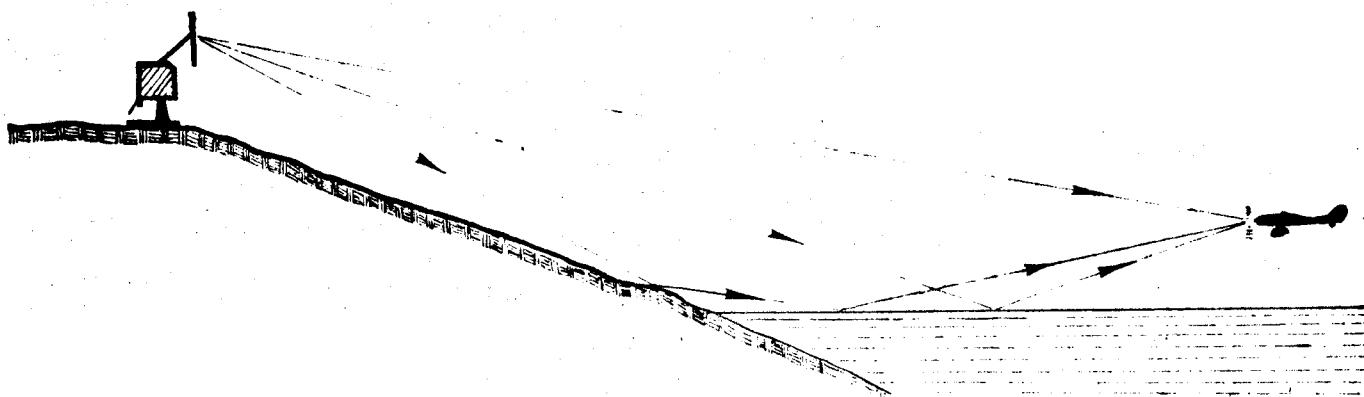


Fig. 25

C. Die Aufstellung an der Flachküste

mit nur geringer effektiver Strahlungshöhe hat zur Folge, daß die Reichweite stark sinkt. Gleichzeitig wird die Möglichkeit, Tiefflieger zu erfassen, auch geringer.

Allgemein ist die Aufstellung des Gerätes an der Küste bei freiem Blickfeld und hauptsächlichem Seesuchsektor in den meisten Fällen gut im Vergleich zur Aufstellung im Binnenland. Auch eine Flachküste gibt noch einen relativ günstigen Standpunkt ab. Lagern sich auf einer an sich flachen Küste Dünenwälle oder sonstige Erhebungen, so ist das Gerät auf der meerabgewandten Seite etwas hinter den Hang zu stellen zur Abschirmung der Brandung.

D. Die Aufstellung im Flachland

bietet im allgemeinen keine so großen Schwierigkeiten wie im Bergland. Sind im Flachland nur wenig festzeichengebende Objekte vorhanden, wie Industrieanlagen, hohe Schornsteine, Funktürme usw., so kann man, insbesondere beim Suchgerät, zur Erzielung einer guten Reichweite eine erhöhte Aufstellung wählen. Am günstigsten ist eine allseitig abfallende Bodenerhebung von maximal 20—30 m Höhe über dem Reflexionsgelände.

Für das Führungsgerät ist eine niedrigere Aufstellung als für das Suchgerät anzustreben, damit die Zeitlinie möglichst festzeichengesättigt wird und auch die Nahfestzeichen klein werden.

Ganz besonders gilt das für die Führungsgeräte der Dunkelnachtjagd. Der Ansatz kann sich dann erst genau durchführen lassen, wenn sich die Zeichen der beiden Maschinen außerhalb des Nahfestzeichens befinden. Innerhalb desselben ist dem Jägerleit-Offizier die Beobachtung sehr erschwert.

Daher ist eine niedrigere Aufstellung zu wählen, damit die Abblendwirkung, auf die später noch speziell eingegangen wird, möglichst gut wird. Es hat sich in der Praxis, speziell für die Führungsgeräte der Dunkelnachtjagd, eine Aufstellung unter Meeresspiegelhöhe in den Marschen an der Küste als günstig erwiesen. Dadurch kann erreicht werden, daß fast nur das Eigenzeichen auftritt und sonst die Zeitlinie festzeichengesättigt bleibt.

Bei Aufstellung direkt in der Ebene, also bei einer wirksamen Sendespiegelhöhe von nur etwa 1,5 Wellenlängen über dem Reflektionsgelände, ergeben sich beim Freya-Gerät nur 3 Finger im senkrechten Schnitt durch das Strahlungsfeld (s. Fig. 17). Diese Keulen heben sich sehr rasch und steil vom Erdboden ab, daher sinkt die Reichweite stark: im Durchschnitt etwa 70—80 km. Tiefflieger sind aus diesem Grund auch kaum zu erfassen. Die Beobachtung wird erst mit größeren Höhenwinkeln gut, und Hochflieger können erfaßt werden.

Sind im Flachland, z. B. im nordwestdeutschen Industriegebiet, viele festzeichengebende Objekte vorhanden, so muß man unter Verzicht auf große Reichweiten auch mit dem Suchgerät tiefer gehen als die angeführte Durchschnittshöhe von 20 bis 30 m, damit die Zeitlinie auch für den Fernbereich nicht so sehr mit Festzeichen erfüllt wird. Gegebenenfalls und besonders wieder beim Führungsgerät muß eine Aufstellung niedriger als etwa im Suchsektor gelegene Häuserblocks oder querlaufende Dämme gewählt werden, damit der Fernfestzeichenbereich abgeblendet wird. Dabei darf aber hinter dem abblendenden Erdwall oder Häuserblock, vor allem beim Suchgerät, kein allzu großer toter Raum entstehen. So kommt die günstigste Wahl des Aufbauplatzes immer auf einen Kompromiß hinaus zwischen möglichst großer Reichweite auf der einen und möglichst wenig Festzeichen im Braunschen Rohr auf der anderen Seite. Dabei ist die Nähe von großen Gebäuden, Gasbehältern, Eisenkonstruktionen, Schutthalden, Erzlager sowie von dichten tiefen Waldflächen zu meiden, da sie Energie schlucken und somit die Reichweite herabsetzen.

Besonders schwierig gestaltet sich

E. Die Aufstellung im Hügel- und Bergland

Es erscheint zunächst nach den bisherigen Ausführungen vorteilhaft, hohe, überragende Aussichtspunkte als Aufstellungsort zu wählen, und zwar besonders im Interesse großer Reichweiten. Dies ist falsch, da man in diesem Fall vom Gerät bis zum Horizont überall in das Gelände hineinsieht. Jede Bodenwelle, jeder Berg, jedes Gebäude, jeder Turm reflektiert und vermag Festzeichen zu geben. Vor lauter Festzeichen im ganzen Meßbereich ist ein Messen fast unmöglich. Die Zacken von Flugzielen verschwinden in den Festzeichen (s. Fig. 26). Erschwerend kommen zu den

eigentlichen Festzeichen noch die sog. Mehrfachechos dazu; das sind Zacken, die durch an den Talwänden mehrfach reflektierten Strahlen zustande kommen. Sie lagern sich zwischen die eigentlichen Festzeichen und verschlechtern damit die Beobachtung.

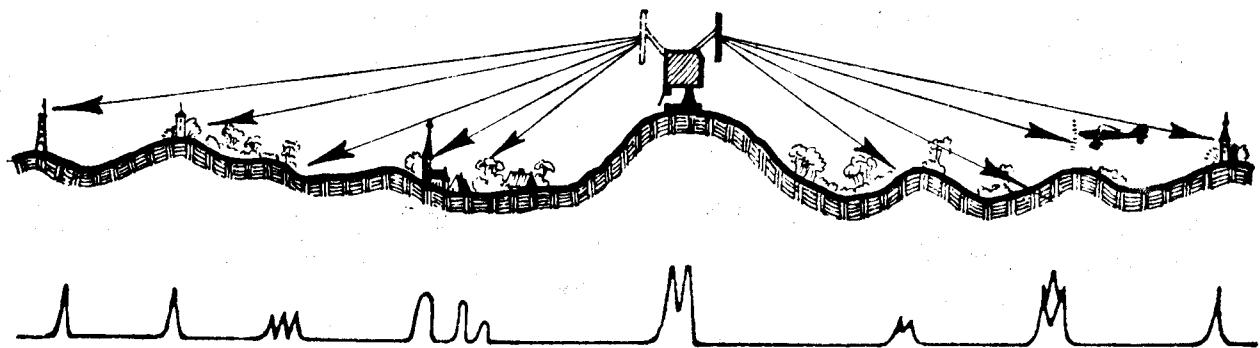
Stellt man das Gerät tiefer als die umliegenden Höhen auf, so schirmen diese Höhen die elektromagnetischen Wellen ab (Fig. 27). Das hat den Vorteil, daß auf der Zeitlinie wenig Festzeichen auftreten, bringt aber den Nachteil mit sich, daß durch die abblendenden Höhenzüge auch Flugziele abgeschattet und somit nicht erfaßt werden können, weil der Deckungswinkel zu groß wird.

Die günstigste Aufstellung ist also auch hier ein Kompromiß zwischen größtmöglicher Reichweite und kleinster schädlicher Abschattung.

Für die Wahl des Aufbauplatzes im Bergland und Hügelland gilt also folgende Regel:

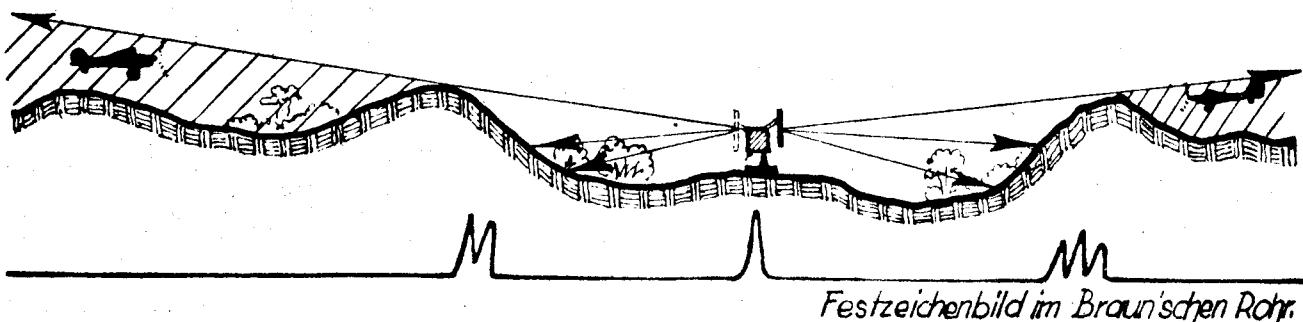
Man wähle nicht eine überragende Höhe, sondern eine mittelhohe Erhebung, von der aus vom Mittelpunkt des Sendespiegels über die direkt benachbarten Höhenzüge hinweg soeben noch streifend die dahinterliegenden Höhenzüge übersehen werden können.

Diese Regel ist oft nur einseitig zu verwirklichen für ein Gerät, das einen Suchsektor nach einer ganz bestimmten Seite hat. Eine nach allen Seiten günstig arbeitende Höhenstellung ist nur möglich, wenn auf einem, das umliegende Niveau überragenden Gelände an Stelle einer Bergkuppe eine flache runde Mulde vorhanden ist. In der Mitte dieser Mulde ist das Gerät derart aufzustellen, daß vom Sendespiegelmittelpunkt über den Rand der Mulde hinweg der Horizont gerade anvisiert werden kann. Die richtige Höhe muß durch Versuche genau ermittelt werden, entweder durch Auskurbeln des Antennensystems oder durch einen im Bereich dieser Mulde doch relativ einfachen Stellungswechsel von der Mitte zu einem etwas höher gelegenen Platz nach dem Muldenrand zu (s. Fig. 28).



Festzeichenbild im Braun'schen Rohr.

Fig. 26



Festzeichenbild im Braun'schen Rohr.

Fig. 27

Bleibt das Maß a unter 3 km, verschwindet das Festzeichen des Muldenrandes im Eigenzeichen. Dabei wäre dann bei großer Festzeichenfreiheit der Zeitlinie auch die größtmögliche Reichweite gewährleistet.

Zu beachten ist, daß infolge Beugungerscheinung auch ein Berg, der mit seiner Spitze unter der erwähnten Visierlinie hinter dem abschirmenden Muldenrand liegt, noch ein gewisses Festzeichen liefert. Daher wird man namentlich bei Führungsgeräten von der oben geschilderten Mittellage noch etwas tiefer in die Mulde mit dem Fu.Meißgerät hineingehen, allerdings immer unter Beachtung des höchst zulässigen Deckungswinkels.

Kann man sich mit Bergstellungen mit einem bestimmten Suchsektor begnügen, können sog. **Hinterhangstellungen** hinter einem flachen Kamm gute Ergebnisse zeitigen (s. Fig. 29).

Auch in diesem Fall muß die Stellung hinter dem Hang so genau ausprobiert werden, daß man von der Mitte des Sendespiegels über den deckenden Rand hinweg gerade den Horizont wahrnimmt.

F. Aufstellung im Hochgebirge

ist praktisch kaum zu finden. Genügt ein bestimmter Suchsektor, könnten in einigen Fällen flache Kuppen und Hochalmen geeignete Hinterhangstellungen bieten, die die Festzeichen der vorgelagerten Berggipfel abdecken.

G. Aufstellung für Erstling-Weitführung („Freya-Egon“)

Gänzlich abweichend von diesen, in den vorhergehenden Abschnitten entwickelten Richtlinien ist die Aufstellung von Freya-Geräten, die der sog. Erstling-Weitführung dienen. Bei ihnen benützt man zur Ortung, wie bekannt, nicht den Echoimpuls, sondern den infolge Anstrahlung durch das Boden-Fu.M.G. vom Kenngerät im Flugzeug, dem Erstling, ausgestrahlten Kennungsimpuls.

Auf Abschirmung des Bodenreliefs braucht daher bei Fu.M.G. in einem solchen Sonderbetrieb nicht geachtet zu werden. Im Gegenteil, diese Geräte, die der Erstling-Weitführung dienen sollen, sind möglichst hoch, auf überragenden Bergen mit allseitigem Rundblick aufzustellen.

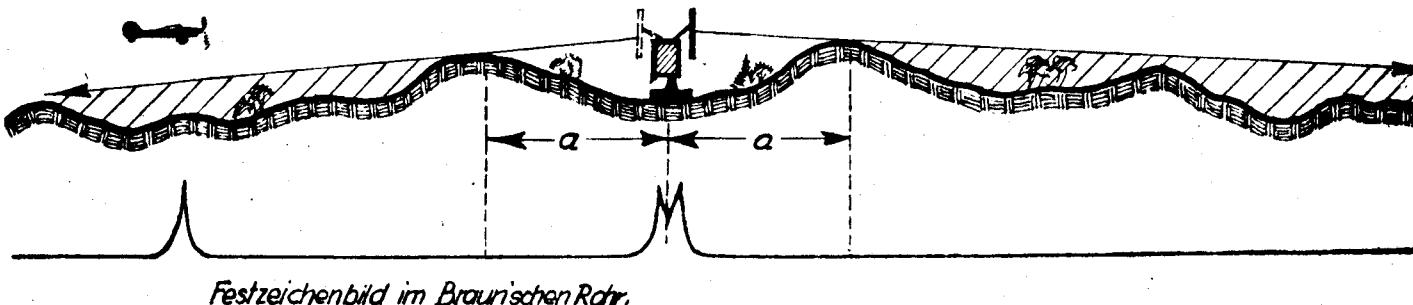


Fig. 28

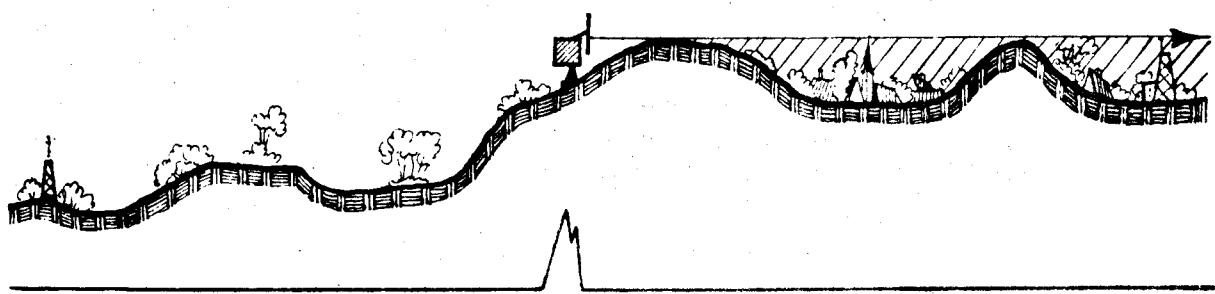


Fig. 29

H. Aufstellung von Freya-Fahrstühlen

Besondere Beachtung muß dem **Vorgelände** bei Aufstellung von **Freya-Fahrstühlen** geschenkt werden. Damit sich die Nullstellen (Minima) möglichst gut ausbilden und zur Höhenbestimmung brauchbar werden, ist das dem Gerät unmittelbar vorgelagerte Reflexionsgelände horizontal und möglichst eben zu wählen. (Eine Welligkeit des Reflexionsvorfeldes mit Höhenunterschieden bis maximal 2 m kann dabei noch hingenommen werden.) Eine geringe erhöhte Aufstellung bis zu 4 m ist im Interesse einer größeren Reichweite erwünscht. Die Forderung, daß das Reflexionsgelände horizontal sein muß, liegt darin begründet, daß bei geneigtem Vorgelände die für die Höhenbestimmung in Frage kommenden Nullstellen des Strahlungsdiagramms unter anderen Höhenwinkel aufreten als bei horizontalem Vorfeld. Die Höhe eines Flugziels wird aber auf die **Horizontale** bezogen. Dadurch käme es dann zu **Fehlern in der Höhenbestimmung**.

I. Aufstellung von Würzburg-Geräten

Sie sind im allgemeinen leichter zu finden, da ein Schwenken der Strahlungskeule des W-Gerätes nach oben möglich ist. Allgemein sind gute F-Stellungen auch gute W-Stellungen.

1. Mögliche Höhenwinkel- und Seitenwinkelfehler

Berührt die Strahlungskeule bei zu geringem Erhebungswinkel den Erdboden, wird sie **reflektiert**. Die Keule und damit auch die Keulenachse wird hierdurch verbogen, so daß unter einem gewissen Grenzwinkel eine genaue Höhenmessung nicht möglich ist (s. Fig. 30). Dieser Grenzwinkel beträgt bei Würzburg A 10° , bei Würzburg C 12° und bei Würz-Riesen 8° , d. h. bei WA, WC und WR sind auf 10 km Entfernung Höhenmessungen unter bzw. 1700 m, 2000 m und 1400 m ungenau.

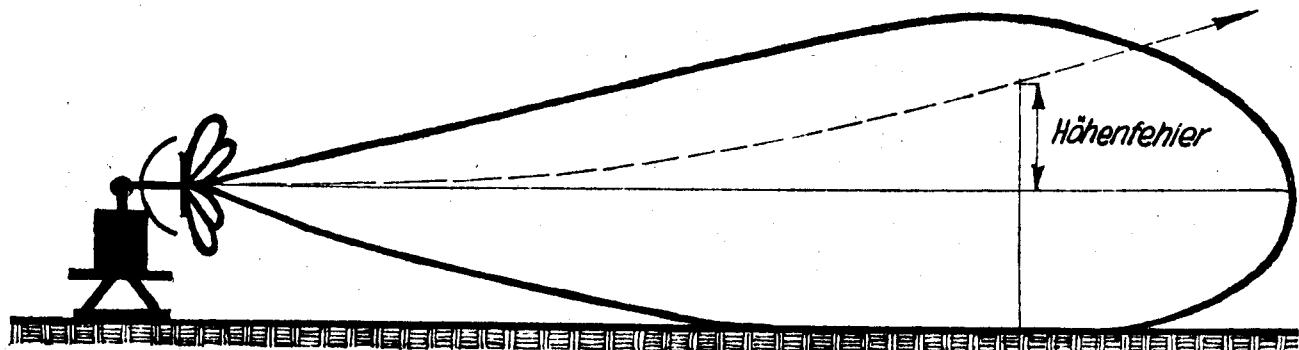


Fig. 30

In ähnlicher Weise, wie in einem Vertikalschnitt das Strahlungsfeld der Fu.M.G. infolge Reflektionen aufgefächert wird, kann diese Erscheinung auch auftreten in einem horizontalen Schnitt. Steht z. B., wie es in Fig. 31 durch Schichtlinien dargestellt ist, ein Fu.M.G. am Rande eines Gebirgsmassivs, das in steiler Wand zur vorgelagerten Ebene, auf der dieses Fu.M.G. steht, abfällt, so kann es durch Reflektion der Strahlung an dieser Wand auch zu Interferenzerscheinungen und **fingersförmigen Auffächerung in der Horizontalebene** kommen. Da aber dann, wie gezeigt, die Achsen maximaler Energiedichte in den entstehenden elektromagnetischen Strahlungsfingern im allgemeinen nicht gerade verlaufen und somit von der senkrechten Achse zur Freya-Spiegelebene bzw. optischen Hauptachse der Würzburgparabolspiegel, auf die als Nullage die Seitenwinkelablesung justiert ist, abweichen, so kann es auch zu **Fehlern bei der Seitenpeilung** kommen. Darauf ist zu achten bei Aufstellung von Fu.M.G. in gebirgigen Gegenden, so z. B. im Oberrheingraben, am Alpenrande, in Norwegen und am Karpatenrand in Rumänien sowie im stark gekammerten Griechisch-Balkanischen Raum.

Ähnliche Deviations-Erscheinungen können auch durch **Erzlager** bewirkt werden, durch deren Absorptionseinflüsse das Strahlungsfeld stark verformt werden kann.

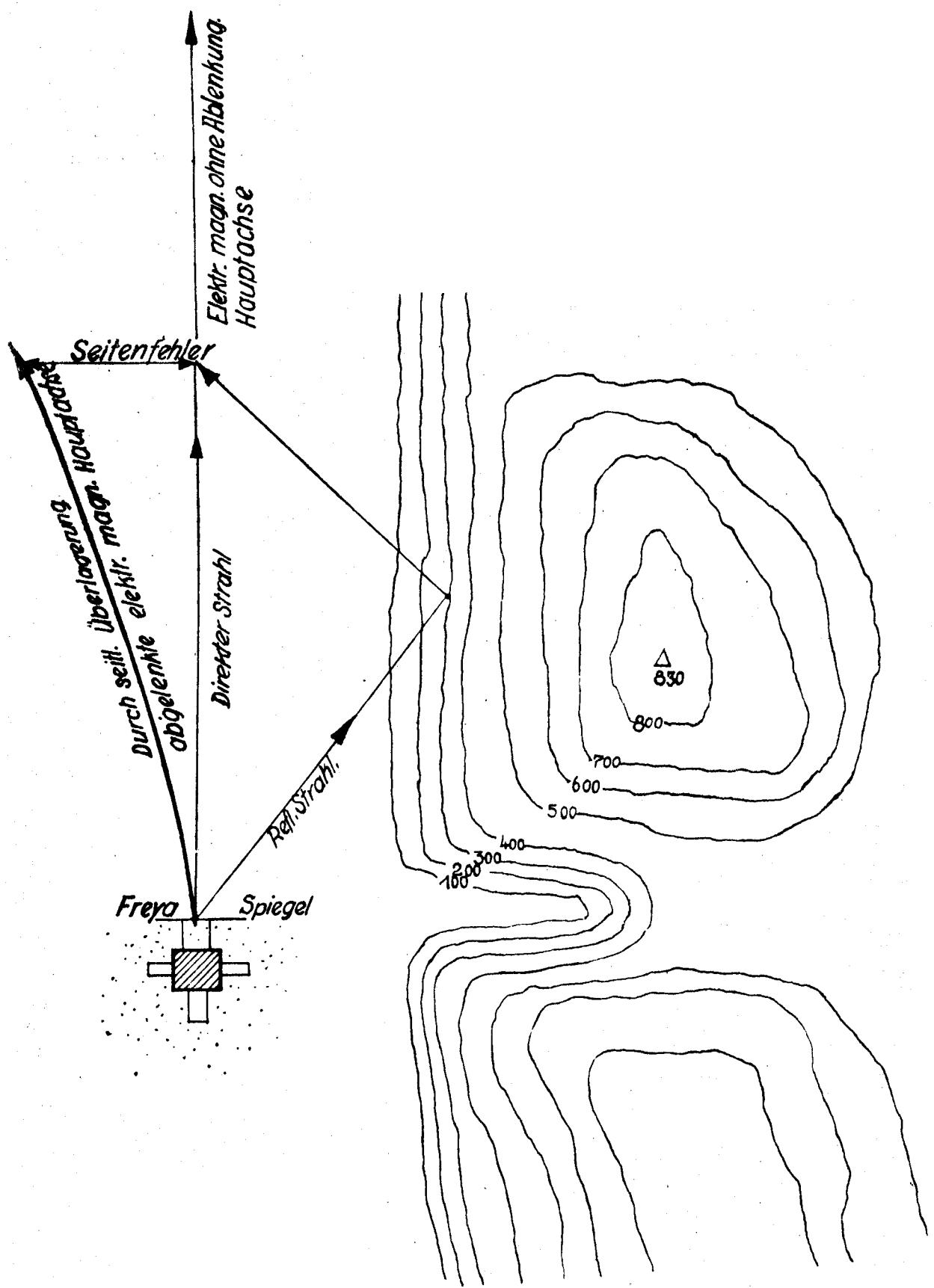


Fig. 31

Desgleichen ist in Gegenden mit **erdmagnetischen Anomalien** (Störfeldern) oder starkem **Auftreten von Nordlicht** auf solche **möglichen Winkelpeilfehler** zu achten, und es wäre vorteilhaft, auch für Fu.M.G. auf Grund von Versuchsflügen oder, wenn nicht möglich, dann durch statische Bearbeitung der im laufenden Einsatzbetrieb ermittelten Werte und aufgetretenen Fehler eine gewisse **Beschickung** der Fu.M.G. vorzunehmen.

2. Der Einfluß der Nebenkeulen und die sich daraus ergebenden Forderungen hinsichtlich der Aufstellung von W-Geräten.

Besondere Beachtung muß bei Aufstellung des W-Gerätes auch den Nebenkeulen geschenkt werden, die bei gewissen Aufstellungshöhen und unter bestimmten Höhenwinkeln sehr störende Einflüsse haben können. Die Nebenkeulen können, auch wenn die Hauptkeule so hoch geschwenkt ist, daß sie frei in den Raum ausstrahlt, viele unangenehme Festzeichen bewirken (s. Fig. 32). Der störende Festzeichenbereich ist um so ausgedehnter auf dem Schreibkreis, je höher das Gerät steht und je freier und ungehinderter der Blick von diesem Standort rundum in die Landschaft geht.

Es muß daher dafür Sorge getragen werden, daß die Nebenkeulen abgeschirmt werden. Das geschieht am besten wiederum durch Aufstellen des W-Gerätes in einer flachen Mulde. Dann werden durch den Muldenrand die Nebenkeulen abgeschirmt, und auch die Hauptkeule ergibt ein Mindestmaß an Festzeichen. Liegt der Muldenboden selber noch höher als die die Mulde umgebende Landschaft, dann wird dadurch auch eine größere Reichweite erzielt.

Ein W-Gerät, daß nach allen Seiten günstig arbeiten soll, muß also ähnlich wie das F-Gerät im hügeligen, welligen und bergigen Gelände in einer erhöhten, flachen Mulde aufgestellt werden, so, daß von der Unterkante des Spiegels über den Muldenrand hinweg das umliegende, tiefer gelegene Land gerade noch streifend übersehen werden kann.

Dann wird neben größter Festzeichenfreiheit im Braunschen Rohr auch die größte Reichweite erzielt. Bei ausgesprochenen Führungs- bzw. Höhenmeßgeräten muß man wegen der Beugung der Strahlung am Muldenrand unter Inkaufnahme eines größeren Deckungswinkels (Verzicht auf Reichweite) evtl. etwas tiefer in die Mulde gehen (s. Fig. 33). Bei einseitigem Suchsektor genügt es auch, das W-Gerät in **Hinterhangstellung** aufzubauen.

K. Das Verfahren der Erkundung und Auswahl von Stellungen für stationäre Fu.M.G.-Anlagen

Für den Würz-Riesen gelten hinsichtlich der Aufstellung im wesentlichen dieselben Grundsätze wie bei WA und WC. Da infolge der festen Montierung des WR ein Stellungswechsel technisch viel schwieriger ist, müssen die oben skizzierten Überlegungen hinsichtlich der Aufstellung ganz besonders genau angestellt werden.

Das gleiche gilt für Mammut- und Wassermann-Anlagen.

Bei solchen stationären Fu.M.G.-Großanlagen muß bei der Erkundung und Auswahl von Aufstellungsorten zu der im vorhergehenden geschilderten Geländebeurteilung noch eine elektrische Vermessung des Aufbauplatzes kommen.

Das Verfahren ist dann folgendes:

Innerhalb der durch die taktischen Forderungen festgelegten Grenzen und unter Beachtung sonstiger taktischer Bedingungen (z. B. höchst zulässiger Deckungswinkel und größter durch Festzeichen unbehinderter Erfassungs- und Führungsbereich) wird auf Grund der in den vorangegangenen Kapiteln gegebenen Richtlinien ein Toleranzraum ausgewählt, in dem dann durch elektrische Vermessung der endgültige Standort nebst Ausweichstellung ermittelt werden.

Die elektrische Vermessung geschieht mit Hilfe eines leicht transportablen Fu.M.G., also praktischerweise mit einem WA-Gerät. Man stellt dann mit diesem Gerät an verschiedenen Orten **Festzeichen-Diagramme** auf, indem in mehreren Spiegelstellungen, beginnend mit der Stellung $\text{Höhenwinkel} = 0$ Grad, ermittelt wird, bis zu welchen Entfernungen in allen Himmelsrichtungen rundum Festzeichen auftreten. Diese Entfernungen werden in einer Polarkoordinaten-Karte eingetragen und durch eine Kurve verbunden. Das ergibt die sog. **Festzeichen-Diagramme**. Fig. 34 zeigt ein solches Diagramm als Beispiel. Auf dem Rande kann man noch jeweils dann den Deckungswinkel eintragen und bekommt dann das entsprechende **Deckungswinkel-Diagramm**.

Festzeichenbild im Braun'schen Rohr

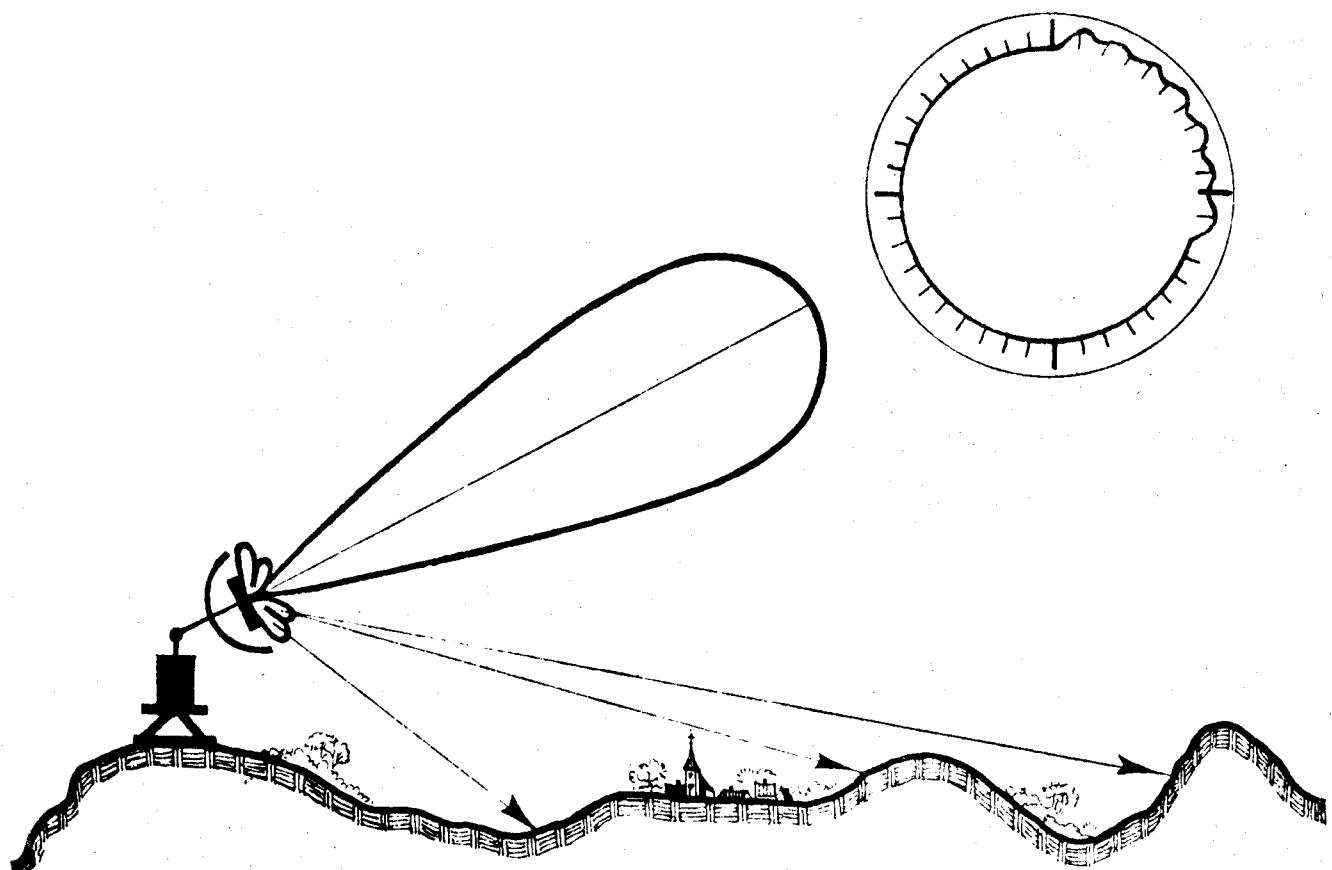
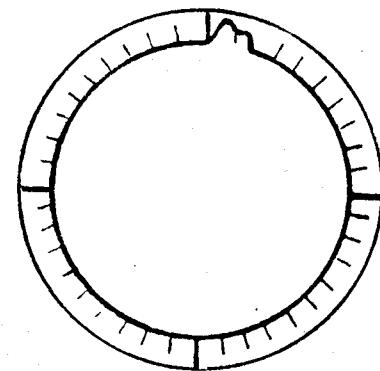


Fig. 32



Festzeichenbild im Braun'schen Rohr.

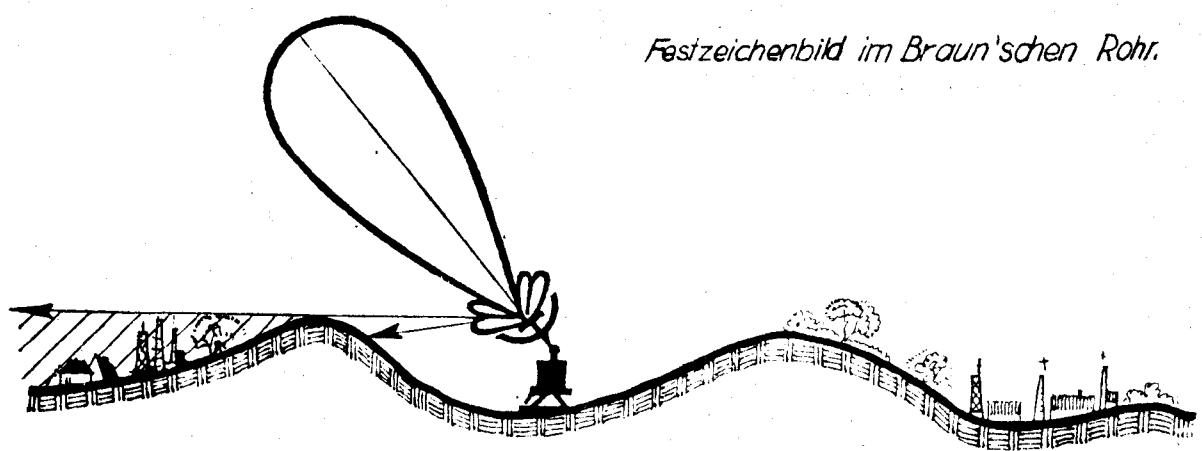


Fig. 33

Unter Umständen muß man zur Bestimmung des Deckungswinkels einen Geländeschnitt durch den Gerätetestandort und das deckende Hindernis hindurchlegen. Praktischerweise geht man dabei von einer Karte 1 : 25 000 aus, in der die Höhenschichtlinien eingetragen sind. Dabei ist darauf zu achten, daß das Überhöhungsverhältnis des Geländeschnittes 1 : 1 beträgt.

Ergibt ein solches Vermessungsdiagramm ein günstiges Bild, d. h. treten nicht allzu ausgedehnte Festzeichen-Bereiche in ihm auf, so dürfte dann an dieser Stelle eine stationäre Fu.M.G.-Großanlage günstig stehen.

Das gesamte Erkundungsergebnis, das der höheren Dienststelle zur Prüfung vorzulegen ist, besteht aus:

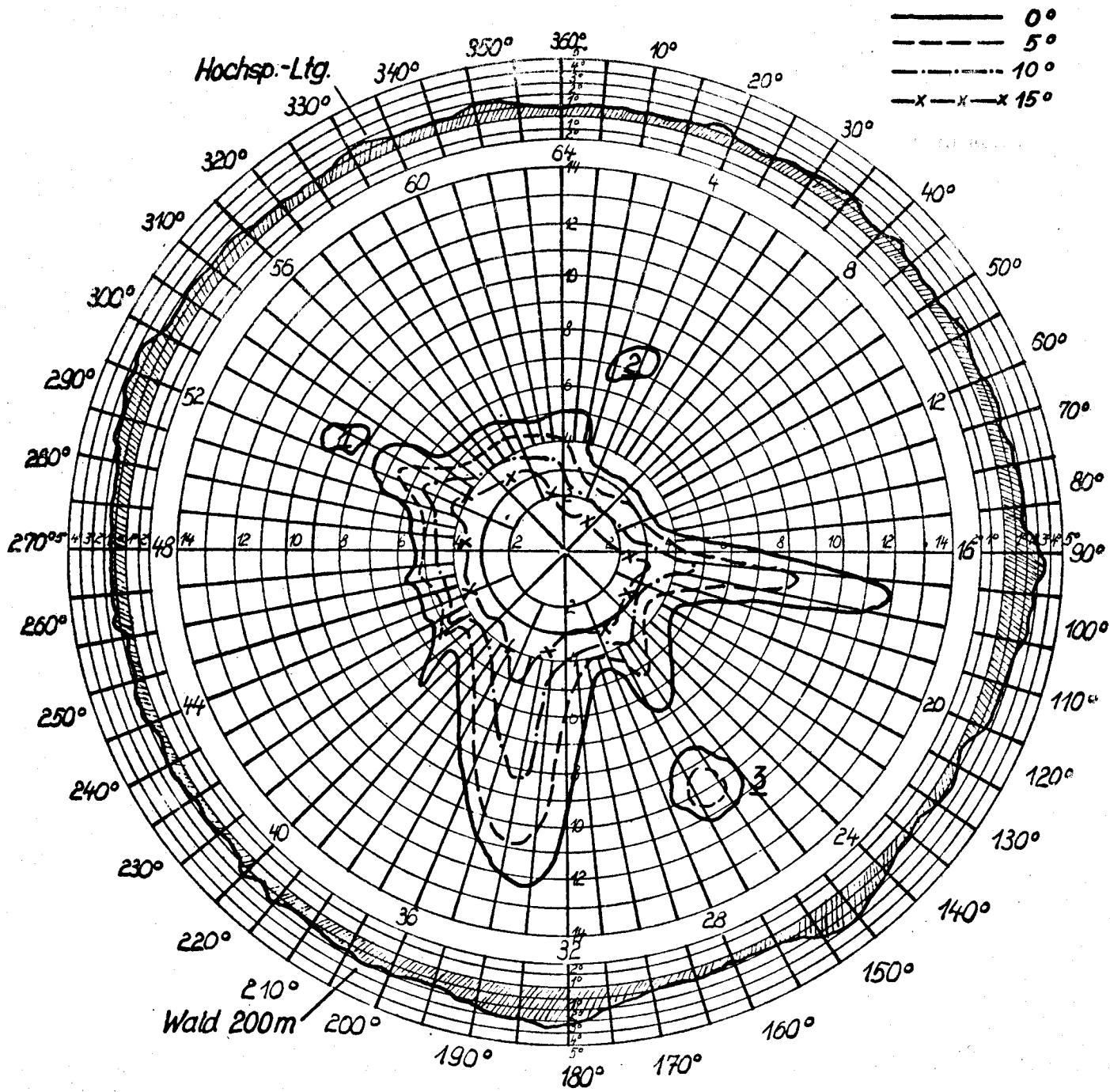
1. Erkundungsbericht nach dem Muster der Anlage 1,
2. Karte 1 : 25000 mit eingezeichneten vermessenen Stellungspunkten sowie elektrischen Hindernissen und geplanten Unterkünften,
3. Vermessungsdiagramm einschl. Deckungswinkeldiagramm nach dem Muster beigefügter Anlage 2.

Festzeichen u. Deckungswinkelauflnahme.

Maßstab 1:200 000

Stellung:

Datum:



Zeichengrößen in Rauschpegelhöhen



3. Festzeichen von max Zeichengröße 3
2. " " " " 2

Fig. 34

Erkundende Einheit

Datum

Erkundungsbericht

1. a) Art des einzusetzenden Fu.M.G.

Taktische Bezeichnung der Stellung.

b) Kartenort: Rechtswert und Hochwert, dazu Angabe der Einsatzstelle **nach Richtung** und Entfernung von markanten Kartenpunkten (Orte).

2. Geländebeschreibung:

Kurze Beschreibung des Geländes der Einsatzstelle unter besonderer Berücksichtigung von elektrischen Verhältnissen, wie nahe gelegene Baulichkeiten und Hoch- und Höchstspannungsleitungen mit Angabe von Entfernungen und Höhe (in Karte 1 : 25 000 einzeichnen). Gegebenenfalls Seesicht ?

3. Zuweg:

a) Beschreibung des Anfahrtsweges.

b) Zustand des Zuweges:

Angabe, ob bis zur Stellung mit LKW befahrbar, auszubessernde oder auszubauende Weglängen (in Karte 1 : 25 000 einzeichnen).

4. Bodenverhältnisse an Einsatzstelle:

Art der Bodenbewachsung.

Hochwassergefahr ?

Geologische Verhältnisse (vor allem Erzlagen).

Schutthalden und größere Eisenbauten in der Nachbarschaft.

5. Tarnung und Sicherung der Stellung.

(Besonders im besetzten Gebiet und an der Küste.)

6. Stromversorgung:

Entfernung der Einsatzstelle vom Starkstromnetz oder Trafo.

Angabe der Spannung (Drehstrom 220/380 Volt oder Hochspannung) und des Ortes (in Karte 1 : 25 000 einzeichnen).

7. Fernsprechleitungen:

Vorhanden ? Zahl, Art, Führung wohin, nächste Luftwaffenvermittlung.

Beim Ausbau verwendbares Postgestänge ?

8. Unterkunft und Versorgung der Truppe:

Angabe des günstigsten Aufstellungsortes (einzeichnen in Karte).

Trinkwasserversorgung, vorhanden oder zu erstellen, wo ? Latrine ?

9. Bemerkungen:

Hinweis auf besondere Vor- und Nachteile der erkundeten Stellungen, Abwägung der Vorteile für die einzelnen vermessenen Punkte untereinander nach örtlichem Eindruck. Lage der Stellung auf fiskalischem Gebiet, z. B. Truppenübungsplatz ? Sonstige Schwierigkeiten betr. Freigabe des Geländes zum Bau ?

Falls taktische Forderung im befohlenen Toleranzbereich nicht erfüllbar, wo Ausweichmöglichkeit ? usw.

Unterschrift des Erkundungsoffz.

L. Die Aufstellung von Rundschanlagen

Im Hinblick auf die zukünftig namentlich im Rahmen von Igelstellungen einzusetzenden Rundschanlagen ist es auch nötig, über die Aufstellungsbedingungen dieser Gruppe von Fu.M.G. etwas zu sagen:

I. „Jagdschloß- und Jagdhaus-Anlagen“

Sie arbeiten auf dem reinen Fu.M.-Prinzip, d. h. es wird der am Flugziel reflektierte Impuls zur Standortbestimmung benutzt. Daher wird das Bodenrelief in der in den vorhergehenden Kapiteln besprochenen Weise auch bei diesen Anlagen ganz besonders zu berücksichtigen sein.

Die beiden Geräte sollen nach dem jetzigen Stand der Planung hauptsächlich als Flugmelde-Geräte im Rahmen von Flugmelde-Gerätstellungen aufgebaut werden und die Aufgabe haben, sämtliche Luftziele rundum im überstrichenen Raum zu erfassen. Es ist also ein günstiges Arbeiten im Gesamtsektor von 360 Grad sicherzustellen. Damit gelten schärfere Aufstellungsbedingungen als bei Geräten, die nur einen Teilsektor zu überwachen haben. Unter Berücksichtigung der für die anderen Fu.M.G. gegebenen Richtlinien kann daher gesagt werden:

Rundschanlagen „Jagdschloß und Jagdhaus“ stehen am günstigsten in flachen, über dem umliegenden Gelände erhöhten Mulden, bei denen vom Mittelpunkt des Ortungsspiegels über die Muldenränder hinweg das dahinterliegende Bodenrelief rundum noch streifend übersehen und somit gerade abgeschirmt wird.

Dadurch wird dann wieder erreicht, daß bei möglichst kleinem Festzeichenbereich die Reichweite und somit der nutzbare, vom Gerät erfaßbare Gesamtbeobachtungsraum möglichst groß wird. Es ist eine genaue Überprüfung des Festzeichenbereichs und der abgeschatteten Räume erforderlich und daher nötig, vorher durch ein transportables Fu.M.G. eine genaue elektrische Vermessung des Standorts vorzunehmen und die entstehenden Deckungswinkel durch Berechnung bzw. Geländeschnitte zu bestimmen. Dabei kann ein gewisser Festzeichenbereich hingenommen werden. Der Grund dafür ist namentlich folgender:

Über dem Rundschangerät selber entsteht ein **toter Kegel**, dessen Spitzenwinkel voraussichtlich 60 Grad betragen wird. D. h. innerhalb eines gewissen Umkreises um dieses Gerät wird die Rundschanlage nicht mehr in der Lage sein, Flugziele zu erfassen. Der Durchmesser dieses toten, kreisförmigen Raumes ist um so größer, je höher das Flugziel fliegt (s. Fig. 35).

So z. B. beträgt der Grundflächenradius des toten Kegels bei

1000 m Flughöhe = rund 600 m

5000 m Flughöhe = rund 3 km

7000 m Flughöhe = rund 4,2 km

10000 m Flughöhe = rund 6 km

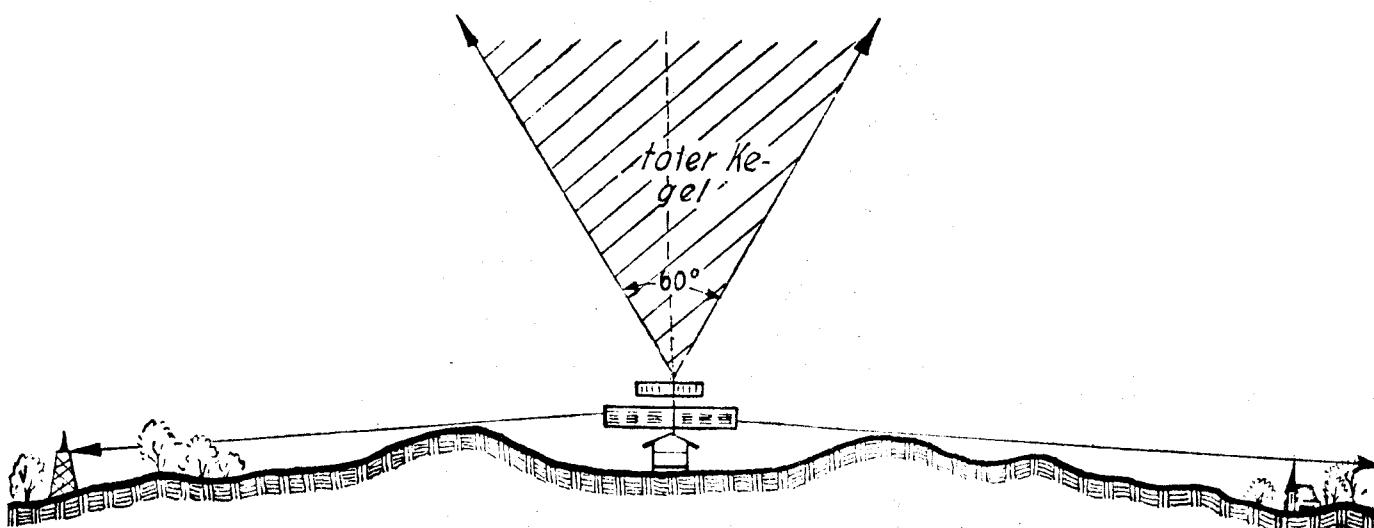


Fig. 35

d. h. also, daß z. B. 7000 m hochfliegende Flugziele vom Gerät verloren werden, wenn sie näher als 4,2 km herankommen. Ein sich bis 4,2 km ausdehnender Festzeichenbereich hätte dann sowieso keinen störenden Einfluß mehr. Daher braucht das Bodenrelief nicht vollkommen festzeichenfrei abgeschirmt zu werden, da ja auch einige markante Festzeichen zur Eichung und Abstimmung des Gerätes sowieso notwendig sind.

Ist eine flache Muldenstellung nicht vorhanden, so ist möglichst ebenes Reflektionsgelände und namentlich für die Jagdschloßanlage eine tiefe Aufstellung zu wählen. Für diese Anlage ist nämlich „Flimmerschaltung“ vorgesehen, wodurch ähnlich wie durch den Sprungschalter bei der Wassermann-Anlage die Aufhellung der **toten Zonen** im Strahlungsfeld des Gerätes bewirkt wird. Diese Aufhellung der untersten und, wie gezeigt, wichtigsten Minima gelingt aber um so besser, je geringer die effektive Strahlungshöhe (Abstand des Ortungsantennen-Mittelpunktes vom allgemeinen Reflektionsniveau) ist.

Auch bei **Einsatz von Jagdschloß-Anlagen an der Küste** ist tiefe Aufstellung zu wählen.

Für „**Jagdhausanlagen**“, sofern bei ihnen noch keine Flimmerschaltung vorgesehen ist, gelten etwas leichtere Aufstellungsbedingungen, d. h. bei Aufstellung im ebenen **Gelände** können sie etwas überhöht (bis zu 20 m) auch im Interesse größerer Reichweiten aufgebaut werden.

Bei der **Großraumplanung** dieser Rundschanlagen ist sicherzustellen:

1. daß in **Schwerpunktsgebieten** der Luftverteidigung der Festzeichenbereich und namentlich auch der tote Kegel des einen Gerätes durch mindestens ein zweites Gerät in einer anderen Stellung überstrichen und damit die Überwachung dieses empfindlichen Raumes gewährleistet wird,
2. daß Geräte **außerhalb** der Schwerpunktsgebiete so aufgestellt werden, daß wichtige Schutzobjekte nicht im Festzeichenbereich bzw. unterhalb des toten Kegels liegen.

II. „Jagdhütte“

Diese Anlage benutzt zur Standortbestimmung von Flugzielen den Kennungsimpuls des im Flugzeug eingebauten Kenngerätes und dient daher der Führung eigener Verbände und namentlich der **Weitführung der eigenen Jäger**. Das Bodenrelief hat somit keinen Einfluß auf die entstehenden Zeichen im Braunschen Rohr, da diese nicht über den gewöhnlichen Ortungsempfänger, sondern über den Kennungsempfänger „Gemse“ erhalten werden. Festzeichenprobleme sind nicht vorhanden.

Daher sind Erstling-Jägerweitführungs-Anlagen „Jagdhütte“ ähnlich wie „Freya-Egon“-Anlagen auf hohen Bergen mit allseitigem Rundblick aufzustellen, um der **Hauptforderung nach möglichst großer Reichweite nachzukommen**.

Soweit es möglich ist, hat die Planung von Rundschanlagen in Zusammenarbeit mit der Reichspost so zu erfolgen, daß evtl. schon verlegte Breitbandkabel zur Bildübertragung des Luftlagebildes von dem Aufstellungsort der Rundschanlage auf weitere Braunsche Rohre bei Abnehmerstellen in größeren Entfernung ausgenutzt, bzw. daß Drahtfunknetze zur Übertragung herangezogen werden können.

M. Die Aufstellung von Y-Anlagen

Bei Y-Anlagen hat das Bodenrelief nur insofern eine Bedeutung, als es die Reichweite begrenzt; denn das Arbeiten mit dem Y-Verfahren erfordert „optische Sicht“. Festzeichenprobleme spielen auch hier keine Rolle.

Daher sind Y-Anlagen auf hohen Bergen mit allseitiger Rundsicht aufzustellen, ähnlich wie die Erstling-Jägerweitführungs-Anlagen „Freya-Egon“ und „Jagdhütte“, mit denen sie in sogenannten „Jägermeß-Stellen“ nach Möglichkeit auch zusammenstehen sollen.

Die Begrenzung der Aufstellungshöhe nach oben ist lediglich durch Gesichtspunkte gegeben, die sich auf die Betriebsabwicklung und Betriebssicherheit beziehen, z. B. bei zu großer Aufstellungshöhe Schwierigkeiten durch Witterungseinflüsse (Vereisung, starke Schneefälle), geringe Zugänglichkeit, schlechte starkstrommäßige und nachrichtentechnische Anschlußmöglichkeit der Stellung, ferner Schwierigkeiten in der laufenden Versorgung der Truppe.

Verzeichnis der Abbildungen

	Seite
Fig. 1: Die Reichweite von Fu.M.G. in Abhängigkeit von Aufstellungshöhe und Flughöhe	8
Fig. 2: Die Abschattung der Fu.M.G.-Strahlung durch die Erdkrümmung	9
Fig. 3: Die Abschattung der Fu.M.G.-Strahlung durch Berge	9
Fig. 4: Der Deckungswinkel	10
Fig. 5: Das Absinken der Berge hinter der Erdkrümmung.....	10
Fig. 6: Der Deckungswinkel eines Hindernisses in Abhängigkeit von dessen Höhe und Entfernung ohne Berücksichtigung der Erdkrümmung	11
Fig. 7: Der Deckungswinkel eines Hindernisses in Abhängigkeit von dessen Höhe und Entfernung mit Berücksichtigung der Erdkrümmung	12
Fig. 7a: Mindest- und Schutzabstände der Flum-Geräte-Stellung A (Igelstellung)	13
Fig. 8: Die Vergrößerung der Reichweite von Fu.M.G. infolge Beugung.....	14
Fig. 9: Die Vergrößerung der Reichweite infolge Brechung in höheren Luftsichten..	15
Fig. 10: Die Reichweite von Fu.M.G. mit und ohne Strahlenbrechung	16
Fig. 11: Phantombildung bei Fu.M.G. (Erzielung von Überreichweiten) durch Spiegelung an höheren Luftsichten	16
Fig. 12: Das Auswandern von Phantomzeichen	17
Fig. 13: Überlagerung (Interferenz) der direkten und der am Erdboden reflektierten elektromagnetischen Welle (Abschwächung)	19
Fig. 14: Überlagerung (Interferenz) der direkten und der am Erdboden reflektierten elektromagnetischen Welle (Verstärkung)	19
Fig. 15: Das Entstehen der Auffächerung des Freya-Strahlungsfeldes.....	20
Fig. 16: Die Strahlungshöhe eines Fu.M.G. (Aufstellungshöhe)	21
Fig. 17: Die Strahlungskennlinie eines Freya-Gerätes in der Ebene	22
Fig. 18: Die Strahlungskennlinie eines Freya-Gerätes bei erhöhter Aufstellung.....	22
Fig. 19: Auffächerung der Strahlungskennlinie über Land	23
Fig. 20: Auffächerung der Strahlungskennlinie Sec	24
Fig. 21: Abstrahlwinkel und Reflektionswinkel bei einem Fu.M.G.	24
Fig. 21a: Die Lage der Nullstellen (toten Zonen) in Abhängigkeit von der Aufstellungshöhe..	28
Fig. 22: Reichweiten-Diagramme eines Freya-Gerätes (Ausgeflogen mit mehreren Flugzeugtypen)	30
Fig. 23: Reflektions-Diagramm Hs 126 für Freya-Frequenz	31
Fig. 24: Die Aufstellung eines Freya-Gerätes auf der Stilküste	32
Fig. 25: Die Aufstellung eines Freya-Gerätes an einer stetig abfallenden Küste	33
Fig. 26: Zu hohe Aufstellung eines Freya-Gerätes.....	35
Fig. 27: Zu tiefe Aufstellung eines Freya-Gerätes	35
Fig. 28: Richtige Aufstellung eines Freya-Gerätes in einer erhöhten, flachen Mulde	36
Fig. 29: Aufstellung eines Freya-Gerätes in Hinterhangstellung.....	36
Fig. 30: Die Verformung der Würzburgkeule infolge Reflektion der W-Strahlung am Erdboden (Höhenpeilfehler)	37
Fig. 31: Seitenpeilfehler beim Freya-Gerät infolge seitlicher Reflektion der F-Strahlung an Bergwänden	38
Fig. 32: Zu hohe Aufstellung des W-Gerätes	40
Fig. 33: Richtige Aufstellung des W-Gerätes in einer erhöhten, flachen Mulde.....	40
Fig. 34: Festzeichen- und Deckungswinkel-Aufnahme	42
Fig. 35: Die richtige Aufstellung von Rundsuchgeräten	44