

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 33 (1955)

Heft: 8

Artikel: Radio-Meterologie

Autor: Ackermann, P. / Lugeon, J.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-874240>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.01.2026

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

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

BULLETIN TECHNIQUE

PTT

BOLLETTINO TECNICO

Herausgegeben von der Schweizerischen Post-, Telegraphen- und Telephonverwaltung. Publié par l'administration des postes, télégraphes et téléphones suisses. Pubblicata dall'amministrazione delle poste, dei telegrafi e dei telefoni svizzeri

Radio-Meteorologie

Von Paul Ackermann und Jean Lugeon, Payerne/Zürich

621.371:551.51

Die Radio-Meteorologie, eines der jüngsten Spezialgebiete der allgemeinen Meteorologie, befasst sich mit den Einflüssen des Wettergeschehens auf die Funkverbindungen. Sie teilt sich in zwei Arbeitsgebiete: die Untersuchung der durch elektrische Entladungen in der Atmosphäre hervorgerufenen Empfangsstörungen und neuerdings der Abklärung der Ausbreitungsbedingungen der quasioptischen Funkwellen in der unteren Atmosphäre.

Während die gewittrigen Parasiten schon die unangenehme Begleitmusik bei den ersten Gehversuchen der drahtlosen Verbindung spielten, wurde das zweite Gebiet erst in letzter Zeit von Bedeutung. Die Entwicklung ging den Weg von den langen zu den kurzen und kürzesten Wellen. Die Ionosphäre, als wichtigster Ausbreitungsfaktor der Kurzwellen, wurde in der Zeit zwischen den beiden Weltkriegen fieberhaft erforscht. Im letzten Jahrzehnt, als die Kriegstechnik sich immer kürzerer Wellenlängen bediente, wurde man der grossen Bedeutung der Troposphäre als Ausbreitungsmedium für die quasioptischen Wellen gewahr. Die Erfindung und der massenhafte Einsatz von Radargeräten hatte zur Folge, dass, besonders in den angelsächsischen Ländern, diesem Problem viele Untersuchungen gewidmet wurden. Aber auch in Deutschland und Frankreich begann eine fruchtbare Zusammenarbeit zwischen Funkingenieuren und Meteorologen.

Die Radio-Meteorologie ist nun nicht nur darin von Bedeutung, dass sie den Radiospezialisten gewissermassen eine Prognose über die elektromagnetische Auswirkung der Wetterlage gibt, sondern dass die elektromagnetischen Gegebenheiten umgekehrt für den Meteorologen ein wichtiges Hilfsmittel zur Analyse der Wetterlage geworden sind. Überreichweiten der quasioptischen Wellen beweisen die Existenz von weit ausgedehnten Inversionen. Fadingeffekte sind eng

verknüpft mit Turbulenz der Luft. Die Untersuchung des Mechanismus der Niederschlagbildung macht heutzutage – dank den Radarbeobachtungen – gewaltige Fortschritte.

Die genau gleichen Merkmale weisen die Untersuchungen über die atmosphärischen Parasitenherde auf. Diese Forschungen, die die Radiotelephonie, die Elektrizitätsversorgung und besonders den Flugsicherungsdienst interessieren, erlauben es der Meteorologie, da ja diese atmosphärischen Entladungsgebiete eng mit gewissen Wetterlagen verknüpft sind, diese Zentren auf Tausende von Kilometern anzupeilen. Die ersten Versuche wurden in Russland (Popoff) durchgeführt. Die praktische Einführung nahm aber erst mit der Erfindung der Radioröhre ihren Anfang, und da waren es besonders die Schweiz (Lugeon), England (Watson Watt) und Frankreich (Bureau), die die entscheidende Pionierarbeit leisteten.

I. DIE AUSBREITUNG ELEKTROMAGNETISCHER WELLEN IN DER ATMOSPÄRE

Die Atmosphäre mit ihren gasförmigen, flüssigen und festen Bestandteilen übt einen erheblichen Einfluss auf die Fortpflanzung der Schwingungen elektromagnetischer Natur aus. Ein aufmerksamer Beobachter kann diese Erscheinungen tagtäglich bei Sonnenlicht feststellen. Funkwellen sind, wie das Licht, elektromagnetische Wellen, die sich davon nur durch die kleinere Frequenz unterscheiden. Es ist deshalb anzunehmen, dass auch die Radiowellen in gewissem Masse den Fortpflanzungsgesetzen der Optik unterliegen, besonders was Beugung, Brechung, Reflexion und Absorption anbetrifft. Das gilt um so mehr, je mehr sich die Frequenzen der Funkwellen denjenigen der Lichtstrahlen nähern. Die praktische Erfahrung hat in der Tat gezeigt, dass Radiowellen, besonders solche mit einer Wellenlänge kleiner als 10 Meter, in

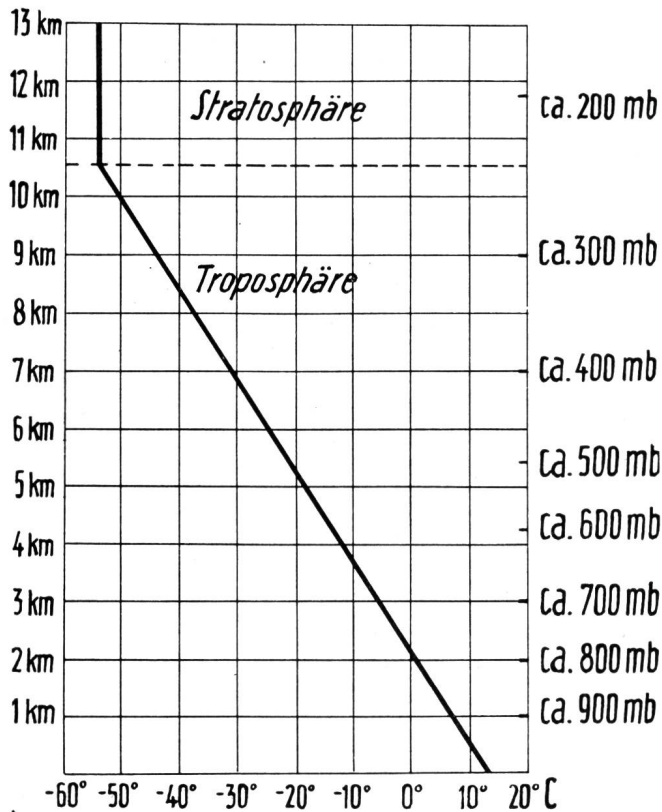


Fig. 1. Mittlere Atmosphäre

hohem Masse dieselben Eigenschaften besitzen, weswegen sie auch quasioptische Wellen genannt werden. Wir wollen nun im einzelnen darlegen, wie die meteorologische Lage Brechung, Reflexion und Absorption von grosser praktischer Bedeutung hervorrufen kann. Dabei führen wir zum leichteren Verständnis vorerst die Analogie zwischen Licht- und Funkstrahlen weiter.

A. Brechung

1. Normale meteorologische Lagen. Mittlere Atmosphäre

Luftdruck und Luftdichte nehmen logarithmisch mit der Höhe ab. Die Temperatur sinkt im Mittel um etwa 0,6° C je 100 Meter Höhengewinn bis zur Stratosphäre, die in unseren Breiten normalerweise in 8...12 Kilometer Höhe liegt. Diese von den Meteorologen Troposphäre genannte Schicht ist das hauptsächlichste Arbeitsgebiet der Radio-Meteorologie (Fig. 1). Ein aus dem Weltraum kommender Lichtstrahl erfährt in der Erdatmosphäre infolge der zunehmenden Luftdichte eine Abbremsung. Diese Tatsache wird so ausgedrückt, dass dadurch ein Brechungskoeffizient definiert ist, der von der Dichte der Luft abhängt.

$$n_L = 1 + a \frac{p}{T} \quad (1)$$

n_L = Brechungsquotient von Licht

p = Luftdruck

T = absolute Temperatur

a = Konstante für gegebene Wellenlänge

Aus dem Gasgesetz folgt nämlich, dass die Dichte proportional $\frac{p}{T}$ ist. Da in der Meteorologie aus instru-

mentellen Gründen praktisch immer nur der Druck und die Temperatur gemessen werden, ist es vorteilhafter, mit diesen beiden Grössen, anstatt der Dichte, zu arbeiten. Auf unsere Sinne wirken Wetteränderungen ebenfalls, abgesehen von der Feuchtigkeit, durch Temperaturschwankungen. Jedem Leser ist die Brechung von Lichtstrahlen an Grenzflächen bekannt. In der Atmosphäre bestehen nun keine scharfen Grenzflächen, sondern die Dichte nimmt logarithmisch mit der Höhe ab. Das hat zur Folge, dass alle Lichtstrahlen, die nicht parallel zum Dichtegradienten verlaufen, in jedem Punkte etwas abgelenkt werden, so dass eine Krümmung konkav zur Erdoberfläche entsteht (Fig. 2). Die Krümmung ist am grössten senkrecht zum Dichtegefälle, im normalen Falle also bei ursprünglich horizontalem Strahlengang. Bei der voranstehend beschriebenen mittleren Atmosphäre beträgt der Krümmungsradius 4...6 Erdradien. Diese Abweichung von der Geradlinigkeit der Lichtstrahlen hat zur Folge, dass die Sichtweite um etwa 8% über die geodätisch, das heisst über die infolge der Kugelgestalt der Erde maximal mögliche, vergrössert wird. In andern Worten, wir sehen etwas unter den Horizont. Am Abend, wenn wir die Sonne mit dem unteren Rande genau am Horizont zu sehen glauben, geht sie in Wirklichkeit gerade mit dem oberen Rande unter.

Bei den horizontal ausgesandten quasioptischen Wellen haben wir einen vollständig analogen Effekt, wobei die Reichweite sogar um etwa 15% über den Horizont hinaus vergrössert wird. Für den Brechungs-

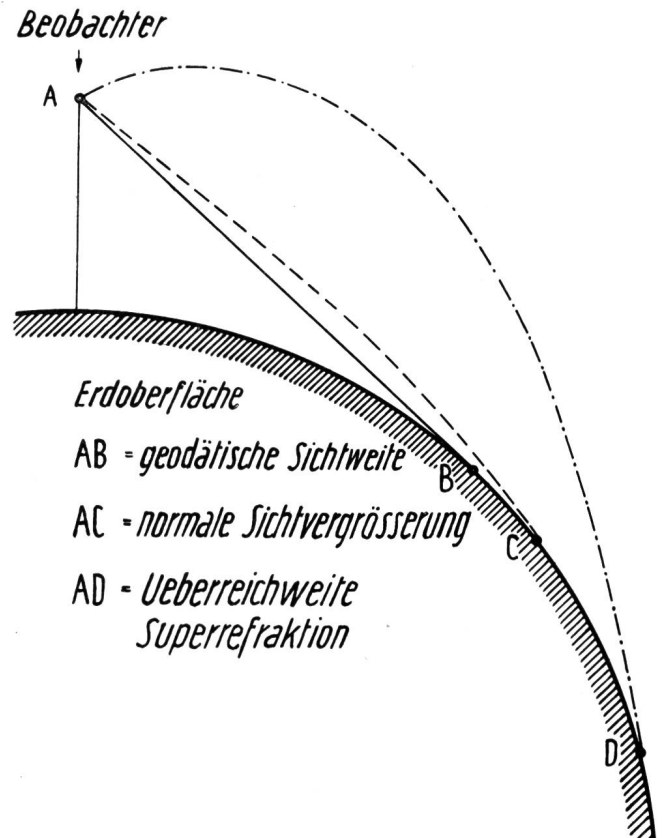


Fig. 2. Sichtweiten

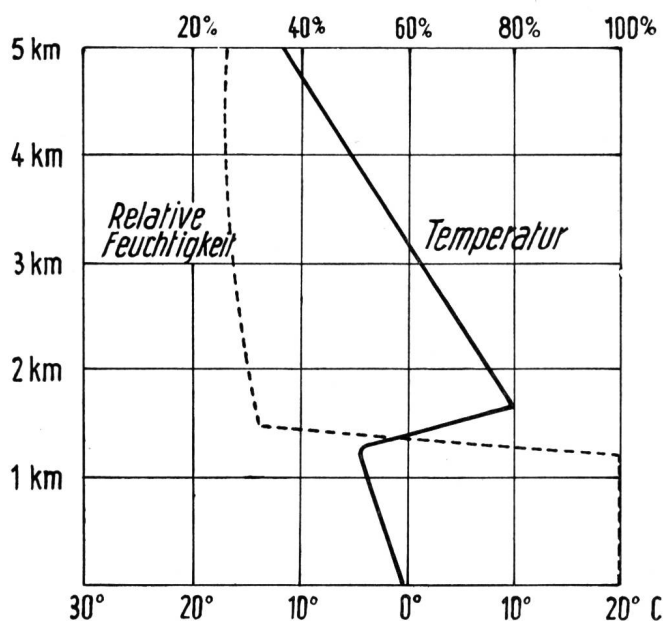


Fig. 3. Temperaturinversion und Feuchtigkeitsverlauf

quotienten dieses Wellenbereiches gilt eine ähnliche Formel wie für die Lichtwellen, aber mit einem Zusatzglied für die Feuchtigkeit, die hier, im Gegensatz zum Lichte, eine sehr grosse Rolle spielt.

$$n_Q = 1 + b \frac{p}{T} + c f(e) \quad (2)$$

(e = Wasserdampfdruck)

2. Gestörte meteorologische Lage. Vergrößerung der Reichweite

Um anormale Reichweiten zu erzielen, müssen anormale Strahlengänge durchlaufen werden. Dies ist bei bestimmten Schichtbildungen in der Troposphäre möglich. Untersuchungen in der meteorologischen Optik haben gezeigt, dass, bei sehr starken Dichteabnahmen mit der Höhe, die Krümmung der Lichtstrahlen zunehmen kann, bis sogar die Strahlkrümmung gleich oder grösser wird als die Krümmung der Erdoberfläche. Ist sie gleich derjenigen der Erdoberfläche, so wird ein horizontal ausgesandter Strahl parallel der Erdoberfläche geführt. Aus Formel (1) geht hervor, dass die Dichteabnahme mit der Höhe, das heisst die Änderung des Brechungskoeffizienten um so grösser ist, je weniger die Temperatur mit der Höhe abnimmt. Praktisch gibt es oft Wetterlagen, bei denen die Temperatur für gewisse Schichten nicht nur gleich bleibt (Isothermien), sondern mit der Höhe sogar stark zunimmt (Inversionen; Fig. 3). Im Winter

zum Beispiel, bei Nebel- und Hochnebellagen, werden von den Bergstationen oft wärmere Temperaturen als aus dem Mittelland gemeldet. Die Berechnung zeigt, dass ein Lichtstrahl parallel der Erde geführt wird, falls die Temperaturzunahme etwa 11°C je 100 Meter Höhenunterschied beträgt.

Ist dieser Grenzwert für den Temperaturgradienten erreicht oder überschritten, so treten die wohlbekannten Luftspiegelungen auf. Man sieht dann über Gegenständen in der Nähe des Horizontes Spiegelbilder in der Luft schweben. Unregelmässige Luftspiegelungen werden Fata Morgana genannt.

Für horizontale Funkwellen gelten wieder ähnliche Gesetze. Wir sind berechtigt, von Funkstrahlen zu sprechen, wenn die Dicke der wirksamen atmosphärischen Schicht gegenüber der benützten Wellenlänge gross ist. Daraus ist abzuleiten, dass innerhalb des quasioptischen Frequenzbereiches die meteorologischen Faktoren um so mehr auf die Wellenausbreitung einwirken, je grösser die betrachtete Frequenz ist, und dass, bei gegebener Frequenz, neben der Intensität der Störung des meteorologischen Normalfeldes, auch ihre räumliche Ausdehnung von ausschlaggebendem Einfluss auf die Ausbreitung der Mikrowellen ist. Wenn bei den betrachteten Ultrakurzwellen eine Vergrößerung der Reichweite eintritt, so ist nicht etwa eine Bodenwelle hierfür verantwortlich zu machen, denn diese ist schon in einer Entfernung von einigen Kilometern so schwach geworden, dass sie nicht mehr nachweisbar ist. Diese Bodenwelle, die man als Beugung an der Erdoberfläche bezeichnen kann, trägt also nicht dazu bei, dass die Erdkrümmung überwunden wird, ebenso spielt die Ionosphäre, die für die längeren Wellen so wichtig ist, praktisch keine Rolle mehr. Diese Vergrößerung der Reichweite ist deshalb, ausser einer später zu besprechenden Erscheinung, nur auf geeignete Refraktion in der Troposphäre, die sogenannte Superrefraktion, zurückzuführen.

Die dazu notwendige Krümmung der Funkstrahlen tritt unter den gleichen Bedingungen wie für die Lichtstrahlen auf. Hinzu kommt aber noch ein sehr grosser Einfluss des Feuchtigkeitsverlaufes mit der Höhe.

Damit diese Krümmung erreicht wird, muss der Brechungsquotient nach Formel (2) mindestens 16×10^{-6} je 100 Meter abnehmen. Dies wird erreicht durch die erwähnte Temperaturzunahme oder durch eine Dampfdruckabnahme von mindestens 2,5 Milli-

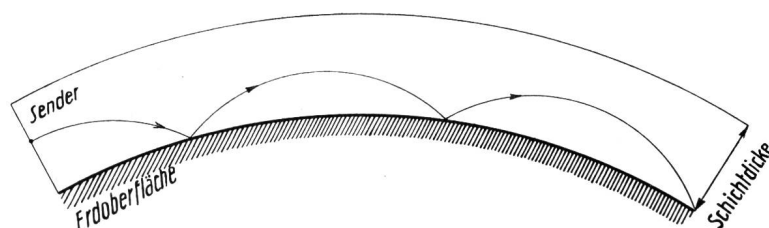


Fig. 4. Wellenführung durch Superrefraktionsschicht

bar je 100 Meter Höhenunterschied oder auch durch eine Addition beider Effekte. In diesen Fällen wird die Energie der Radiowelle in der Umkehrschicht gewissermassen wie in einer Röhre (duct) über grössere Distanzen geführt (Fig. 4). Es ist nun Sache der Radio-Meteorologie, zu untersuchen, unter was für Verhältnissen und in welchen Gegenden derart anomale Ausbreitungsbedingungen vorkommen. Durch die Forderung, dass die Funkstrahlen die wirksamen Luftschichten nahezu horizontal treffen müssen (Abweichung maximal $1,5...2^\circ$), ergibt sich schon, dass für Bodensender praktisch nur Inversionsschichten in Höhen bis maximal 2...3 Kilometer in Frage kommen. Ein von einem Bodensender ausgesandter Strahl schneidet die praktisch horizontalen meteorologischen Schichten mit einem mit der Höhe der Schicht zunehmenden Winkel (Fig. 5).

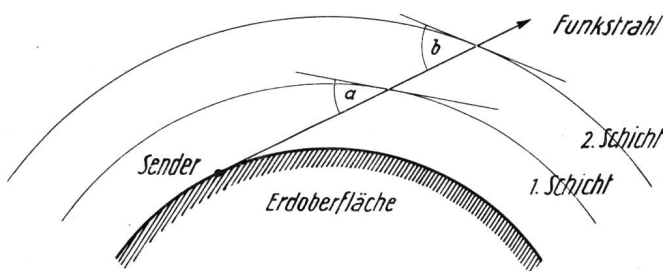


Fig. 5. Demonstration, dass die Möglichkeit der Superrefraktion mit der Höhe der Umkehrschicht abnimmt. Winkel b ist grösser als Winkel a

Betrachten wir nun zuerst die *Superrefraktion* durch *bodennahe Umkehrschichten*. Meteorologisch sind Bodeninversionen eine häufige Erscheinung, besonders in den Nachtstunden und in den kalten Klimaten. Bei klarem Himmel und windstillen Nächten strahlt der Erdboden Wärme ins Weltall aus und kühlt sich ab. Die darüberliegende, unterste Luftschicht kühlt sich ihrerseits am kalten Boden ab, wodurch diese Bodeninversionen entstehen. In gebirgigen Gegenden wie der Schweiz verstärkt sich diese Erscheinung, indem die an den Berghängen erkaltete und deshalb schwerer gewordene Luft ins Tal fliesst und die sogenannten Kaltluftseen, wie zum Beispiel im Engadin, bildet. Der geforderte Grenzwert ist hier durchaus keine Seltenheit. Es ist deshalb auch nicht verwunderlich, wenn den Erdboden streifende Funkstrahlen für gewisse Strecken parallel zur Erdoberfläche geführt werden. Die nächtlichen Bodeninversionen sind aber meist eine räumlich recht beschränkte Erscheinung; ihren Einfluss auszuwerten wird daher meist recht schwierig sein. Superrefraktion der bodennächsten Schichten kann deshalb nur etwa über den Meeren auf grösseren Oberflächen wirken. Dort finden sich besonders bei einigermaßen stationären Strömungen sehr niedrige Schichten von etwa 5...15 Meter Höhe über der Meeresoberfläche, in denen die Dampfdruckabnahme den kritischen Grenzwert überschreiten kann. In unmittelbarer Nähe der Wasseroberfläche kann der Dampfdruck infolge der Verdunstung be-

trächtlich grösser sein als darüber. Auch im Falle des Überströmens warmer Luft über kalte Meeresflächen kann über grosse Strecken eine Temperaturumkehr dicht über der Wasseroberfläche auftreten, die eine derartige Führung der Funkstrahlen ermöglicht. *Höher gelegene Umkehrschichten* sind die Ursache von Rekordreichweiten, worüber zahlreiche Beobachtungen vorliegen. Es gelangen Radarbeobachtungen von Malta bis nach Corfu und zur griechischen Küste. Besonders eindrucksvoll sind aber die Feststellungen von Bombay aus, wobei Reichweiten bis über 2000 Kilometer zur Küste Arabiens und zur Strasse von Aden erzielt wurden. Meteorologisch sind diese Phänomene durch den winterlichen NE-Monsun, bzw. durch den SW-Wind der heissen Jahreszeit erklärt. Die wirksame Umkehrschicht liegt hier in 1...1,5 Kilometer Höhe. Amerikanische Messungen an der Küste Kaliforniens bestätigen diese Tatsache mit Reichweiten von 150 bis 300 Kilometer. Der Grund liegt im NE-Passat, der dort seinen Ursprung nimmt, wobei die Schicht oft nur wenige hundert Meter hoch liegt. Sie ist sowohl durch eine starke Temperaturzunahme als auch durch eine starke Dampfdruckabnahme gekennzeichnet, so dass sich diese beiden Einflüsse addieren. Auch an einigen anderen Küsten in Afrika, Australien, Island, Neuseeland sind die Superrefraktionen entdeckt worden.

Über dem Lande scheinen sie spärlicher aufzutreten und schwächer zu sein, so in Australien, wo sie an nächtliche Ausstrahlung gebunden scheinen. Interessant sind französische Wahrnehmungen über die UKW-Verbindung zwischen Paris, England und Holland. Übergrosse Feldstärken auf der Empfangsseite treten bei Hochdruckgebieten auf, wobei die Inversionen durch Absinken entstehen. Hingegen ergaben gleichzeitig durchgeführte Radiosondierungen, dass die Grenzwerte nie ganz erreicht wurden. Die Vermutung dürfte richtig sein, dass in unseren Regionen die Umkehrschichten nur selten die notwendige Intensität aufweisen. Die Bearbeitung der Radiosondierungen von Payerne des Jahres 1951 bestätigt diese Annahme, indem nur selten Brechungsquotientgradienten von $12...13 \times 10^{-6}$ gemessen wurden.

5. Gestörte meteorologische Lage. Unterreichweiten

Eine Verkleinerung der Reichweite tritt ein, wenn die Temperaturabnahme mit der Höhe sehr gross ist, und zwar mindestens $3,4^\circ \text{C}$ je 100 Meter, oder wenn eine Dampfdruckzunahme von mindestens 0,76 Millibar für den gleichen Höhegewinn auftritt oder wieder durch eine Addition von beiden Effekten. Der Funkstrahl wird dann von seinem ursprünglich geradlinigen Gange nach oben gekrümmt. Praktisch kommt nur das Temperaturglied in Betracht. In unmittelbarer Bodennähe wird der Grenzwert bei starker Überhitzung von Wüsten, Steppen, Asphalt- und Betonstrassen häufig erreicht. Trifft der Funkstrahl bei einer Annäherung an die Erdoberfläche auf ein der-

artig stark überhitztes Gebiet, so wird er nach oben abgelenkt, wodurch die Funkverbindung unterbrochen werden kann. Diese Erscheinung scheint häufiger zu sein, als man zunächst annehmen würde.

4. Streuung mit Fadingeffekten und Reichweitenvergrößerung

Kurzzeitige Schwankungen des Brechungsexponenten der Luft infolge turbulentem thermischem Austausch an heissen Tagen verursachen das Flimmern der Luft und die Zitterbewegung der Bilder von irdischen Objekten. Ebenso gehört das Flimmern der Sterne in Horizontnähe zu den gleichen Effekten. Auch hier haben wir wieder eine vollständige Analogie bei den quasioptischen Wellen, wo Schwankungen der Intensität auf der Empfangsseite auftreten. Dies wird aber noch kritischer, indem nicht nur rasche Schwankungen der Temperatur, sondern auch schnelle Feuchtevariationen eine grosse Rolle spielen. Amerikanische direkte Messungen des Brechungsquotienten bis auf 3 Kilometer Höhe bewiesen, dass rasche Fluktuationen normal sind, hauptsächlich in instabilen Luftmassen. Aber mitunter können sie ebenfalls in stabilen Luftmassen, besonders bei Luftmassengrenzen und Wolkenschichten, konstatiert werden. Sehr überraschend aber ist, dass dabei ebenfalls horizontale Unterschiede der Brechungskoeffizienten bis zu 30×10^{-6} zwischen Wolken und Luft und bis zu 20×10^{-6} in offensichtlich homogener Luft gefunden wurden. Diese örtlich und zeitlich raschen Änderungen des Brechungsquotienten machen sich als Urheber von Fadingerscheinungen unangenehm bemerkbar. Die Fadingfrequenz beträgt dabei weniger als eine Sekunde für instabile, und Sekunden für stabile Luftmassen.

Die Ausmessung der Feldstärken eines amerikanischen 9-Zentimeter-Radars im Karibischen Meer führte zufällig zur Entdeckung, dass die eben besprochene Turbulenz sogar für eine Vergrößerung der Reichweite verantwortlich zu machen ist. Infolge der Turbulenz mit dem daraus entstehenden zeitlich und örtlich inhomogenen Feld des Brechungskoeffizienten wird im Gebiet der starken Feldstärke über dem Sender ein Teil der Energie zerstreut und überlagert sich der normalen gebeugten Welle als Fadingfeldstärke. Hinter dem Horizont nimmt nun die normale Welle exponentiell mit der Entfernung ab, die Fadingwelle aber nur umgekehrt proportional der Distanz. Ab einem bestimmten Radius um den Sender wird deshalb die Fadingwelle überwiegen (Fig. 6). So wurden am Karibischen Meere Empfangsfeldstärken gemessen, die wesentlich grösser waren als die aus den normalen Ausbreitungsgesetzen berechneten. Versuche über Land in Kalifornien mit 3-Meter-Wellen bestätigten dieses Resultat. In diesem Effekt ist auch der Grund zu suchen, weshalb eine Erhöhung der Senderantenne auf den Empfang unter dem Horizont öfters keine Verbesserung bringt, da der Anteil der Streuenergie schon weit überwiegt.

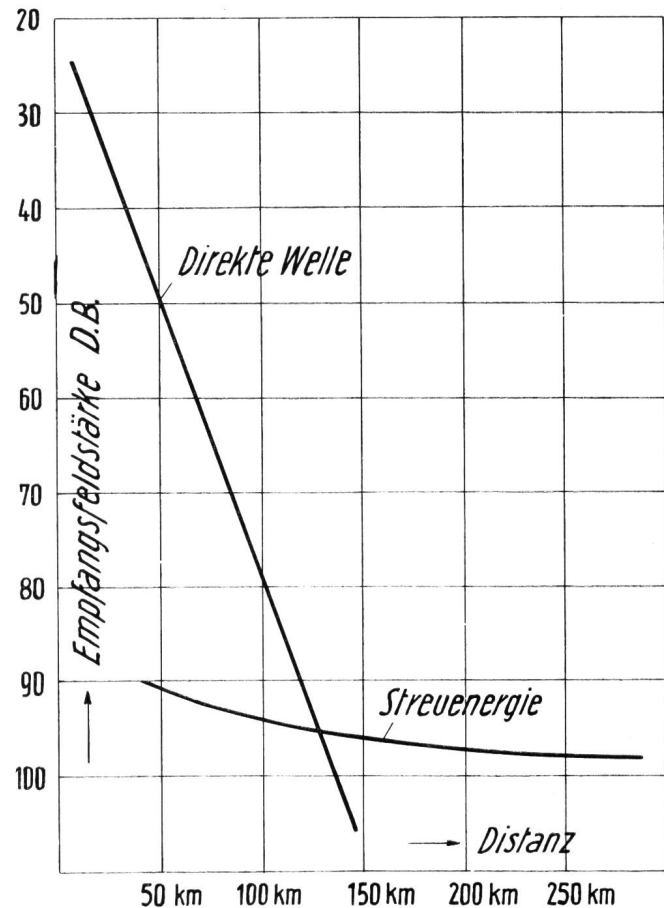


Fig. 6. Reichweite-Vergrößerung durch Streuung an turbulenten Luftkörpern

Ein typischer Fall derartiger Fadingeffekte wurde aus Frankreich gemeldet. Die drahtlose telephonische Verbindung zwischen Frankreich und Korsika über eine Distanz von 204 Kilometer arbeitete ursprünglich auf einer 7-Meter-Welle. Die Verbindung funktionierte tadellos, allerdings mit dem Nachteil, dass dieser einzige Sprechkanal dem Verkehr nicht mehr genügte. Deshalb wurde eine 3-Meter-Verbindung mit 12 Sprechkanälen geschaffen, die aber unerwarteterweise sehr schlecht arbeitete. Äusserst starke Fadingerscheinungen unterbanden den Sprechverkehr während längerer Perioden. Berücksichtigt man die Senderhöhen, so ergibt sich, dass die Mitte zwischen der geradlinigen Verbindung infolge der Erdkrümmung zirka 370 Meter unter der Meeresoberfläche liegt. Die Beugung der 7-Meter-Wellen reichte gerade aus, um noch eine einwandfreie Verbindung zu gewährleisten. Da die Beugung aber mit abnehmender Wellenlänge stark abnimmt, ist es nicht verwunderlich, dass sie für die 3-Meter-Wellen nicht mehr genügte. Dagegen machte sich die Streuwirkung der turbulenten Luft mit allen ihren unangenehmen Nebenerscheinungen als Hauptfaktor auf die Empfangsfeldstärke geltend, um so mehr, als dieser Effekt, im Gegensatz zur Beugung, mit zunehmender Frequenz ansteigt. Gute Verbindungen wurden deshalb nur bei meteorologischen Superrefraktionslagen erhalten, Situationen

also, in denen die Fadingfeldstärke klein ist gegenüber derjenigen der nach unten gekrümmten Funkwellen. In der Radiosondenstation Payerne sind diese Fadingerscheinungen sehr bekannt und berücksichtigt. Die Radiosonde trägt einen kleinen 3-Meter-Sender mit senkrechtem Dipol als Senderantenne. Bei Nebellage durchstösst der Ballon die Schicht infolge Abwesenheit von Winden fast senkrecht. Kurz nach Verlassen des Nebelmeeres treten am Empfänger der Bodenstation äusserst starke Feldstärkeschwankungen auf. Die Obergrenze des Nebelmeeres ist identisch mit einer Temperaturinversion und besonders mit einer örtlich und zeitlich sehr variablen Feuchtigkeitsabnahme. Die Wellen des Nebelmeeres kennt ja jeder mann aus eigener Anschauung.

Zusammenfassend dürfen wir feststellen, dass die Grobstruktur der Troposphäre sowie Inversionen über grosse Gebiete für die Rekordreichweiten, die Feinstruktur aber für die Fadingerscheinungen verantwortlich zu machen sind.

B. Reflexion

Eine merkliche partielle Reflexion elektromagnetischer Wellen an atmosphärischen Gebilden kann nur dann zustande kommen, wenn der Brechungskoeffizient an der reflektierenden Fläche eine genügende Änderung erfährt und wenn die Schichtdicke, innerhalb der dies geschieht, kleiner als die Wellenlänge bleibt oder höchstens in ihrer Grössenordnung liegt. Im allgemeinen findet man deshalb Reflexionen an atmosphärischen Grenzflächen nur bei Wellenlängen von einigen hundert Metern und mehr.

1. Scheinziele

Unter besonderen Umständen kommen aber Reflexionen dieser Art auch bei Dezimeterwellen vor, wie dies während des Krieges für Wellen unter 1 Meter Wellenlänge häufig festgestellt wurde. In Deutschland wurden zwei Arten von Scheinzielen bei Verwendung einer 50-Zentimeter-Welle genauer untersucht. Die erste Art wurde an allen Küsten (Mittelmeer, Kanal, Nordsee, Nordmeer, Ostsee) bei horizontalem Strahlengange beobachtet. Diese Scheinziele ähneln breit auf dem Wasser hingelagerten Bänken, deren Durchmesser bis zu 500 Meter betragen und deren Höhen einen oberen Grenzwert von etwa 50 Meter nur selten überschreiten. Sie tauchen mit ihrer ganzen Zeichengrösse plötzlich auf und verfolgen im allgemeinen einen stetigen Kurs mit einer Geschwindigkeit zwischen 5 und 150, in der Regel aber zwischen 50 und 100 Stundenkilometer. Ihre Lebensdauer liegt zwischen Bruchteilen einer Minute und etwa 90 Minuten. Gar nicht selten folgen eine grössere Zahl von Scheinzielen nahezu gleichem oder parallelem Kurs. Meteorologisch ist diese Erscheinung noch nicht geklärt; wahrscheinlich handelt es sich um Wasserdampfsprünge an Turbulenzkörpern über der Meeresoberfläche. Über Land wurden noch keine analogen Feststellungen gemacht. Feste Schein-

ziele bei Gewittern sind eine häufig beobachtete Tatsache. Besonders bemerkenswert ist die Feststellung, dass nicht nur das Gebiet von Gewitterwolken, sondern ebenfalls eine grosse Fläche darüber im wolkenfreien Himmel reflektiert. Auch dies bedarf noch der genaueren Untersuchung. Elektrische Ladungen dürften hier zu einer starken Änderung der Dielektrizitätskonstanten, also auch des Brechungskoeffizienten führen.

2. Radarreflexionen

Meteorologisch bedingte Radarreflexionen sind durch unzählige Beobachtungen erwiesen. Feste und flüssige Bestandteile der Troposphäre reflektieren Wellenlängen kleiner als 10 Zentimeter. Es handelt sich um Eiskristalle, Schneeflocken, Wolken- und Regentropfen. Für flüssige Teilchen ist die zurückgeworfene Energie proportional der sechsten Potenz der Tropfendurchmesser, für feste Körper hängt sie von der Masse und der Fallgeschwindigkeit ab. Schmelzende Eiskristalle gehorchen den Gesetzen für flüssige Tropfen, falls die äusseren 20 % des Durchmessers geschmolzen sind. Diese Reflexionen – ebenso die später zu besprechende Absorption – beschränken bei gewissen Wetterlagen die Verwendungsmöglichkeit der Radargeräte im praktischen Betrieb. Für die Meteorologie sind sie hingegen ein wichtiges Untersuchungsmittel der Niederschlagsbildung geworden, wie einige Beispiele zeigen sollen. Es ist klar, dass die zurückgeworfene Energie einen gewissen Mindestbetrag erreichen muss, damit der Radarempfänger anspricht.

Solche Echos können deshalb nur von Wolken teilen und Regengebieten aufgenommen werden, in denen die Tropfengrösse und die Zahl der Tropfen je Volumeinheit genügend gross sind. Wir wollen nun zeigen, wie Radargeräte auf Kalt- und Warmfronten, als zwei der wichtigsten meteorologischen Erscheinungen, reagieren.

Fronten

Bei einer Kaltfront schiebt sich die heranrückende kältere Luftmasse wie ein Keil unter die bisher vorherrschende Warmluft und verdrängt diese. An der Stirn dieser kalten, neu ankommenden Front bilden sich mächtige Wolken, die sogenannten Cumuliwolken, die unter Entwicklung von starken Regenschauern steil in die Höhe schiessen. Die Turbulenz und die Vertikalgeschwindigkeit in der Luft sind sehr gross. Diese Luft ist sehr inhomogen, indem um die Kolonnen mit starken Aufwinden grosse Flächen mit Abwinden gelagert sind. Bei Vorbeizug dieser Fronten wechseln starke Schauer und mässiger Regen rasch ab. Hinter der Front, im sogenannten Kaltluftsektor, lösen sich Sonnenschein und Bedeckung in kurzen Zeitabständen ab. Figur 7a zeigt einen horizontalen Schnitt durch eine heranrückende Kaltfront. Die Echos in der Bildmitte stammen von Hindernissen in der Umgebung des Radarstandortes. Die Front

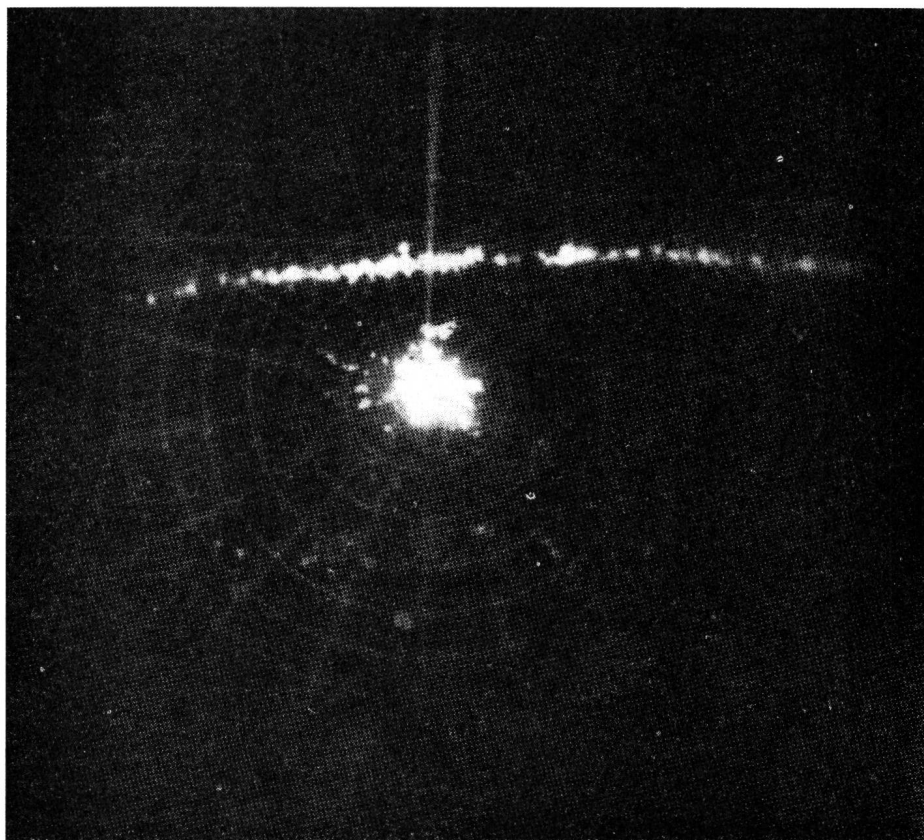


Fig. 7 a. Horizontalschnitt durch eine heranrückende Kaltfront

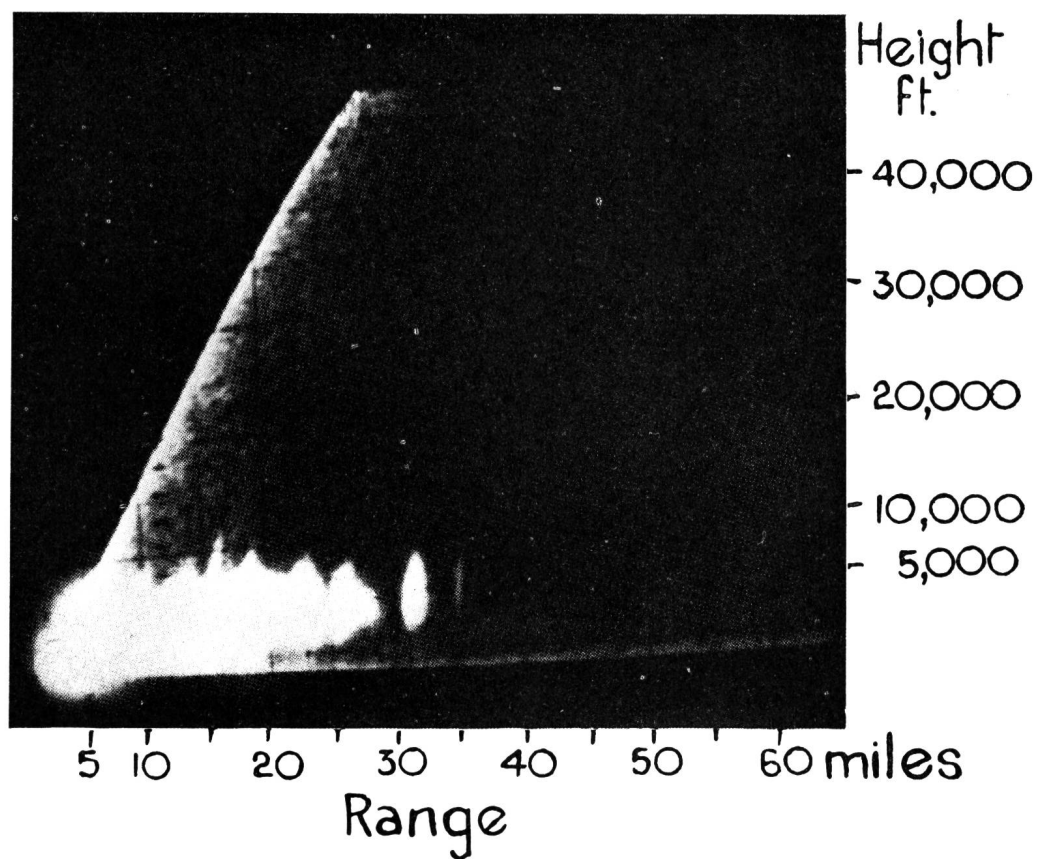


Fig. 7 b. Vertikalschnitt durch eine über den Beobachtungsort ziehende Kaltfront

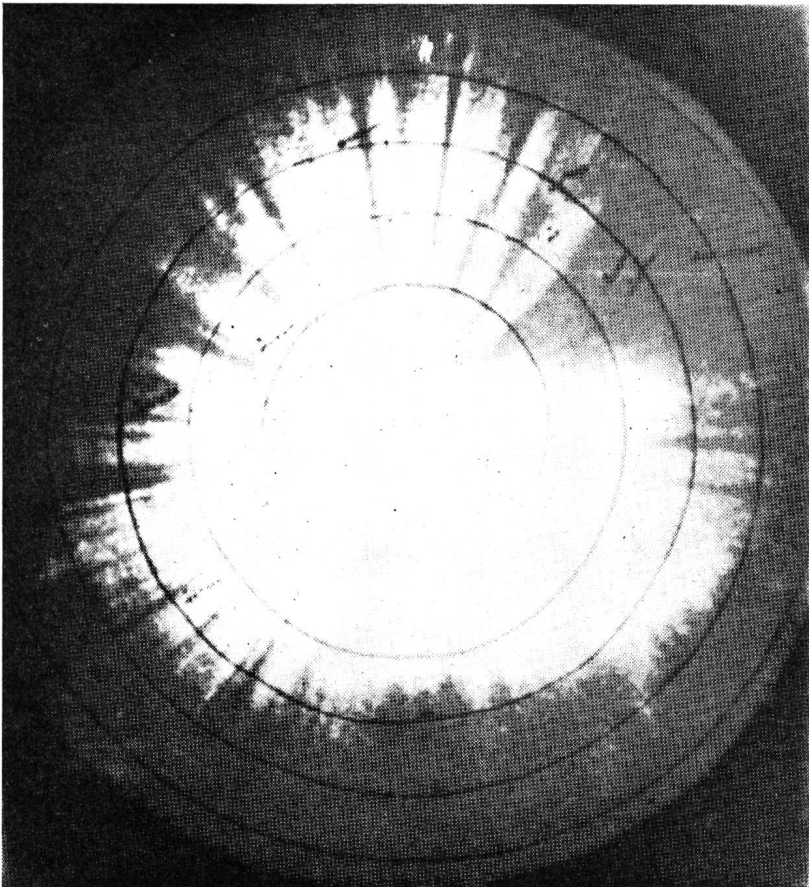


Fig. 7 c. Horizontalschnitt durch eine Warmfront

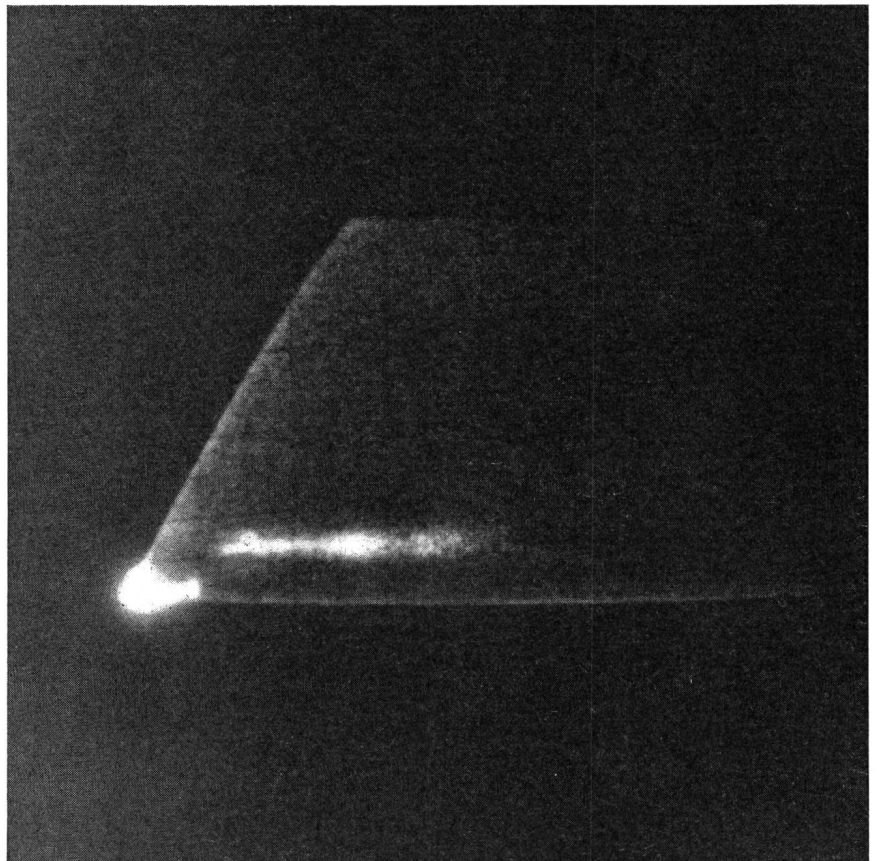


Fig. 7 d. Vertikalschnitt durch eine schwache Warmfront, Schmelzband

Radarphotos reproduziert aus «Meteorological Magazine» Vol. 79. January 1950, mit freundlicher Erlaubnis des Verfassers R. F. Jones, Dunstable, England.

selber liegt noch in einer Entfernung von 15 Meilen (etwa 24 Kilometer) vom Beobachtungsorte. Der senkrechte weisse Strich gibt die Nordrichtung an. Das Radarbild zeigt klar und deutlich, dass die Front aus vielen einzelnen Niederschlagszellen besteht und dass nur die Stirn der Front die grossen Niederschläge aufweist. Dahinter ist kein oder schwacher Niederschlag, auf den der Empfänger nicht mehr anspricht. Figur 7b, ein Vertikalschnitt durch eine Kaltfront, die eben über den Beobachtungsort zieht, beweist ebenfalls die Aufspaltung in einzelne Niederschlagszellen.

Bei einer Warmfront gleitet die heranziehende Warmluft über die Kaltluft auf und verdrängt den Kaltluftkeil. Die Warmluft ist deshalb schon lange vor der Bodenfront durch schleierhafte Bewölkung in grossen Höhen bemerkbar. Der grosse Unterschied gegenüber der Kaltfront besteht nun darin, dass es sich hier um eine langsame Aufgleitbewegung über eine grosse Fläche handelt. Dementsprechend ist auch das Regengebiet sehr ausgedehnt und regelmässig, was im bekannten «Landregen» zum Ausdruck kommt. Figur 7c, einen Horizontalschnitt durch eine Warmfront darstellend, zeigt überzeugend diesen Flächencharakter. Die faserigen Unregelmässigkeiten am Rande des Bildes sind Abschirmeffekten zuzuschreiben, die durch um den Radarstandort stehende Bäume verursacht werden. Auch die Vertikalschnitte durch die Warmfronten lassen die für die Kaltfront typische Zellenstruktur vermissen. Man muss sich aber bewusst bleiben, dass diese beiden Beispiele photographische Bilder von Fronten in Reinkultur darstellen. In Wirklichkeit existieren viele Wetterlagen, besonders bei den sogenannten Okklusionen, die eine Mischung der beiden hervorgehobenen Merkmale aufweisen.

Schmelzband

Figur 7d zeigt einen Senkrechtschnitt durch eine schwache Warmfront, deren Regen zu schwach ist, um vom Empfänger aufgenommen zu werden. Hingegen tritt ein leuchtendes Band in einer Höhe von 5000 Fuss (1500 Meter) frappant hervor. Ein solch leuchtendes Band wird in sehr vielen Fällen beobachtet, und es erweist sich, dass es immer im Niveau der Nullgradisotherme liegt (Isotherme = Linie, die Punkte gleicher Temperatur verbindet). Dieses durch Radargeräte entdeckte leuchtende Band spielt in der Meteorologie eine sehr grosse Rolle, bestätigt es doch die berühmte Theorie von *Bergeron* über die Niederschlagsbildung. Diese Theorie, die sich für den Grossteil der Fälle als richtig erwiesen hat, sei deshalb hier in groben Zügen gestreift.

Zuerst, im ersten Stadium, enthält eine Wolke um das Nullgradniveau unterkühlte Wassertropfen. Wassertropfen, die normalerweise bei 0° C gefrieren, behalten bei Abwesenheit von Gefrierkernen ihre flüssige Form bis zu weit tieferen Temperaturen. Durch die Aufwinde werden die festen und flüssigen Bestandteile im Gleichgewicht gehalten. Werden die

Aufwinde stärker, so entwickelt sich die Wolke in grössere Höhen bis zu ungefähr -18° C. Bei diesem zweiten Stadium, dem sogenannten Hagelstadium, wachsen die Eiskristalle auf Kosten der Wolkentropfen weiter an. Dieser Effekt ist physikalisch durch den Unterschied der Sättigungsdrucke von Wasserdampf über Wasser und Eis erklärt. Die Eiskristalle erreichen schliesslich eine solche Grösse, dass der Aufwind nicht mehr genügt, um sie zu halten, und sie zu fallen beginnen. Während des Falles setzt sich der Wachstumsprozess infolge Kollision und Kondensation weiter fort, bis die Hagelkörner schliesslich durch die Nullgradisotherme fallen, wo sie wieder zu schmelzen beginnen. In diesem Augenblick erhalten sie ein Maximum an Reflexionsfähigkeit, was eben das Schmelzband erklärt. Normalerweise genügt die Fallzeit von der Nullgradgrenze zur Erde, um den Hagel vollständig zu verflüssigen; wir konstatieren dann einen heftigen, grosstropfigen Regen. Im andern Falle, der aber nicht nur von der Fallzeit, sondern auch von der Vorgeschichte über dem Nullgradniveau abhängt, haben wir es mit dem berühmten Hagel zu tun. Die Existenz des leuchtenden Bandes ist deshalb ein Beweis dafür, dass der daraus resultierende Niederschlag durch Eisteile ausgelöst wird. Auf diesen Tatsachen beruhen Theorie und Experimente der künstlichen Niederschlagsbildung, indem durch Bestreuen der Wolken mit künstlichen Gefrierkernen die Eiskristallbildung ausgelöst werden soll. Man erkennt aber schon aus dieser summarischen Darstellung, dass dazu schon gewisse meteorologische Vorbedingungen vorhanden sein müssen.

Obere leuchtende Bänder

Im Laufe der nun mehrjährigen Radarbeobachtungen wurden ausser dem eben beschriebenen Schmelzband noch weitere leuchtende Bänder in grösseren Höhen entdeckt. In Australien wurde dieser Erscheinung mittels Boden- und Flugzeugradars näher auf den Grund gegangen. Dabei wurde zuerst die Bestätigung gefunden, dass das Schmelzband wirklich bei der Nullgradisotherme liegt. Weiter ergab sich, dass das obere Band sich bei einer der Temperatur von -18° C entsprechenden Höhe bildet. Diese Bänder fallen von Zeit zu Zeit mit einer Fallgeschwindigkeit von zirka 2 Metersekunden und vereinigen sich mit dem Schmelzband. Beim Fallen, und besonders bei der Vereinigung, nimmt die Leuchtkraft beträchtlich zu. Nach einiger Zeit bildet sich im alten Niveau ein neues Band. Der ganze Vorgang wiederholt sich periodisch alle 20...30 Minuten.

Die Australier sind nun der Ansicht, dass dieses obere Band dem spontanen Gefrieren von unterkühlten Wassertropfen zuzuschreiben sei, wozu sie plausible physikalische Gründe anführen. Unter anderem wurde durch Laboratoriumsexperimente bewiesen, dass unterkühlte Wassertropfen von 0,4 Millimeter und grösserem Durchmesser bei -16° C spontan erstarren.

Nicht jeder Niederschlag wird durch Vereisung ausgelöst, was gleichfalls durch diese Versuche bestätigt wurde. Es wurden nämlich Regensituationen ausgeflogen, bei denen die Cumuliwolken das Gefrier-niveau nur wenig überragten und weder das Flugzeug-radar noch die visuelle Beobachtung Spuren von Eisteilen feststellen konnten. Hier ersetzt wahrscheinlich die infolge Koagulation eintretende Vergrößerung der Wolkentropfen den normalen Auslösemechanismus. Immerhin darf man beim heutigen Stand der Forschung annehmen, dass der Grossteil, bestimmt aber die ergiebigen Niederschläge, nach der Theorie von Bergeron ausgelöst werden.

C. Absorption

Die Absorption von elektromagnetischen Wellen beginnt merklich ab zirka 10 Zentimeter Wellenlänge; sie steigt gegen höhere Frequenzen sehr rasch an. Amerikanische Arbeiten zeigen, dass im untersuchten Gebiet von 10 Zentimeter bis 1 Millimeter besonders zwei Absorptionsbänder hervortreten, die molekularem Sauerstoff und dem Wasserdampf zuzuschreiben sind (Fig. 8).

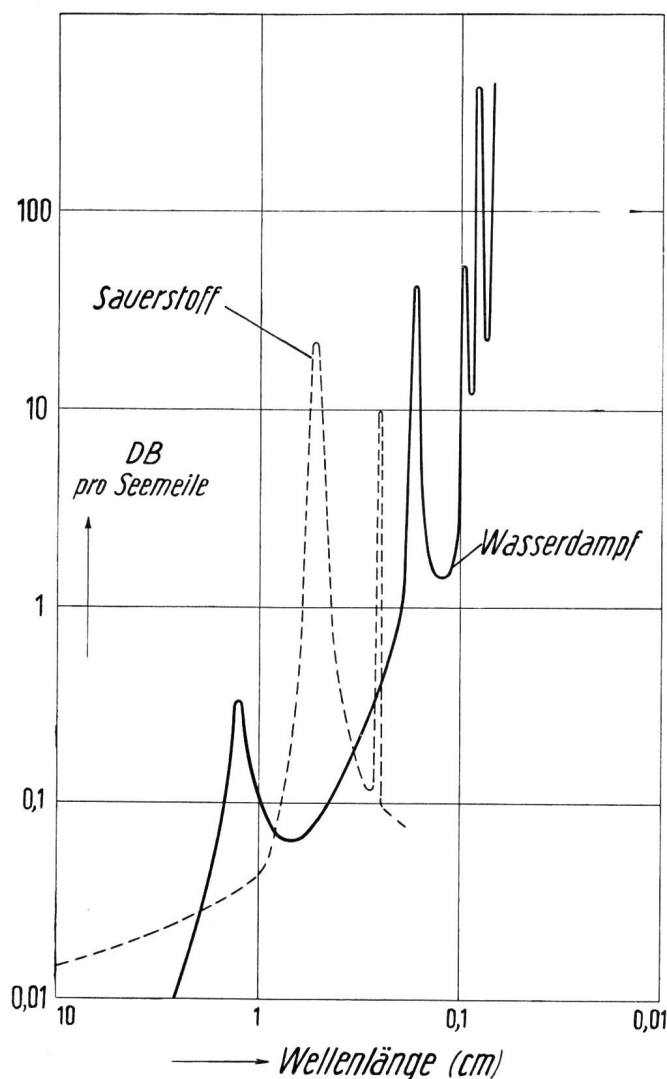


Fig. 8. Dämpfung von Mikrowellen durch atmosphärische Gase

Benützbare Fenster dazwischen sind 0,86 und 0,32 Zentimeter, darunter steigt die Schwächung so stark an, dass 0,3 Zentimeter wohl der Grenzwert zur praktischen Anwendung für grössere Reichweite bedeutet. Von den gleichen Autoren wurde besonders die Schwächung eines 1,25-Radargerätes durch Regen ausgemessen. Die normale Reichweite von etwa 100 Meilen erlitt durch schwachen bis mässigen Regen eine Reduktion auf 10 Meilen. Um die ursprüngliche Reichweite zu erzielen, müsste deshalb die ausgestrahlte Energie um ungefähr das 10^{20} fache erhöht werden.

II. DIE ATMOSPHERISCHEN RADIOSTÖRUNGEN

Die «Kommission für Instrumente der meteorologischen Weltorganisation» hat folgende Definition der atmosphärischen Störungen (englisch = sferics; französisch = parasites atmosphériques) gegeben: *Durch Gewitter (Blitz) und andere Konvektionsbewegungen der Luftmassen verursachte elektrische Entladungen der Atmosphäre.*

International hat sich allgemein die englische Bezeichnung «sferic» eingebürgert, die verallgemeinert auch für die Technik der Orts- und Bahnbestimmung der Parasitenherde und der Ausbreitung ihrer elektromagnetischen Wellen gilt.

Es ist hier nicht möglich, die umfangreiche Geschichte der Untersuchungen über diese Parasiten zu schreiben. Die Studien teilen sich in zwei Hauptgebiete:

1. Die radiophysikalische Betrachtung des Spektrums der Entladung und deren Ausbreitungsgesetze am Boden und durch Refraktion an der Ionosphäre.
2. Die Verwendung der Parasitenregistrierung für die synoptische Meteorologie, das heisst die Abklärung der Beziehungen der Parasitenquellen zu Gewittern und andern labilen Gegenden der Troposphäre, wie Fronten, Depressionen, Wirbelstürme usw.

Es hat sich erwiesen, dass für die Peilung nur die langwelligen Komponenten der Entladungsspektren in Frage kommen. Von der URSI (Union radio-scientifique internationale) wurde denn auch eine Frequenz von 27 Kilohertz (11 000 Meter) als Arbeitswelle empfohlen.

Die Engländer, unter dem Impuls von *Watson Watt*, arbeiteten mit der kathodischen Röhre, auf deren Schirm die Richtung der beim Empfänger eintreffenden Parasiten abgelesen werden kann. In Frankreich und in der Schweiz wurden von *R. Bureau* und *J. Lugeon* jahrelang die Zahl der Parasiten in der Minute mit dem sogenannten Radiocinograph oder Atmoradiograph registriert. Dazu gesellte sich im Jahre 1938 der von *Jean Lugeon* und *Guido Nobile* entwickelte Radiomaximograph, der die Intensität der Störungen aufzeichnet. In Polen machte *Lugeon* die ersten Messungen mit seinem Radiogoniographen, der später in Zürich verbessert und heute von der Firma *Nobile* in Zürich gebaut wird und in immer mehr Ländern Verwendung findet. Der Radiogonio-

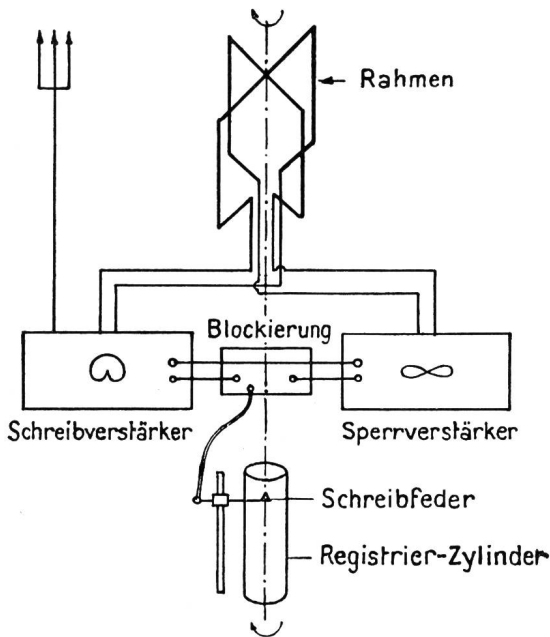


Fig. 9. Prinzip des Radiogoniographen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, konstruiert von Dr. Guido Nobile

graph registriert die Richtung der Parasiten tagsüber bis auf eine Entfernung von etwa 2500 Kilometer, während der Nacht über 10 000 Kilometer. Das Prinzip des Radiogoniographen ist in Figur 9 dargestellt. Er besteht aus zwei rechtwinkligen, rotierenden Antennen-Radiorahmen, die sich mit einer Schnelligkeit von einer Umdrehung in der Minute drehen. Auf der gleichen Rotationsachse befindet sich eine vertikale Registrierwalze, auf der sich eine Schreibfeder bewegt. Diese reagiert folgendermassen: Wenn der schmale Sektor, dessen Öffnung etwa 1° beträgt und durch die elektrische Kombination der zwei Rahmen gebildet wird, die Fortpflanzungsebene einer Hertzschen Welle traversiert, wird dies als kleiner Punkt auf der Registrierwalze aufgezeichnet. Der Apparat arbeitet gleichsam in der Art eines Leuchtturms, dessen drehbare Laterne die im Blickfeld liegenden Gegenstände beleuchtet. Beim Radiogoniographen sind es in der Tat die Gewitter und die Parasitenzentren selbst, die ihre Hertzschen Bündel gegen den drehbaren Turm schleudern. Der Radiogoniograph der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt ist von einer erstaunlichen Genauigkeit, da er nahezu auf 1° präzise das Azimut aller Gewitter der gesamten Nordhemisphäre zu peilen erlaubt.

Vor zwanzig Jahren ungefähr wusste man praktisch nichts über den Herd der Parasiten. Heutzutage kann das Problem als gelöst betrachtet werden, soweit es den physikalischen Ursprung der Störungen und die Ausdehnung der Regionen betrifft. Diese können sich bis auf einige hundert, ja selbst einige tausend Quadratkilometer ausbreiten. Ihre Quellgebiete variieren in direkter Funktion von den meteorologischen Phänomenen, denen sie verbunden sind, aber die hauptsächlichsten Variationen, die man beim Empfang auf

den Registrierapparaten beobachtet, werden Fortpflanzungsursachen zugeschrieben, das heisst der täglichen Änderung des Ionisationsansatzes, besonders der E-Schicht in 100 Kilometer Höhe. Die oberen Schichten zwischen 250 und 500 Kilometer spielen bei der Fortpflanzung der Parasiten, die auf langen Wellen registriert werden, sozusagen keine Rolle. Die grundlegende Entdeckung, welche die Basis der Sondierungsmethoden bildet, in der Breite und Länge, der meteorologischen Störungen, solidarisch mit den Parasitenherden, ist die elektrische Tätigkeit des Sonnenlichtes in der Ionosphäre. Gegen Ende der Nacht, im Augenblick des Sonnenaufgangs, wenn das Sonnenlicht in der E-Schicht in 100 Kilometer Höhe erscheint, wird die Welle bei diesem Punkt zurückgeworfen und durch eine ausserordentlich starke Modifikation der reflektierenden Kraft vom «Spiegel-effekt» der Ionosphäre unterbrochen. Die Fortpflanzung hört mit einem Male auf und wird etwa 10 Minuten später wieder aufgenommen, in dem Augenblick, in dem die Sonnenstrahlen bereits die Oberfläche der Erde erreicht haben (vgl. Fig. 10a, b, c). Da man anhand von berechneten Dämmerungstafeln genau die Lage der Sonnenstrahlen in der Atmosphäre kennt, durch das Registrierdiagramm ebenfalls den Augenblick, in dem die Fortpflanzung plötzlich aufgehört hat, erlaubt es eine astronomische Formel, das Azimut

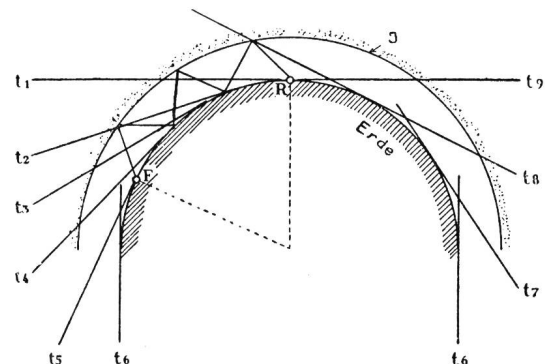


Fig. 10 a. Verlauf der Sonnenstrahlen um die Erde herum.
R = Empfänger; F = Parasitenherd; I = Ionosphäre in der Höhe von 100 km

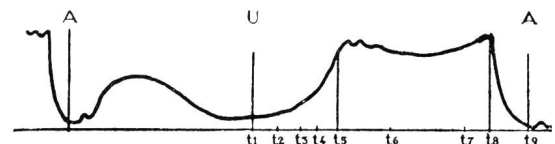


Fig. 10 b. Täglicher Gang des Parasitenregimes in 24 Stunden (vgl. die Zeiten t_1, t_2, \dots)

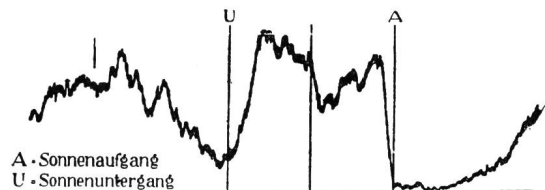


Fig. 10 c. Original einer Atmoradiographenregistrierung.
In Ordinaten, Menge der Störungen pro Minute 0...600

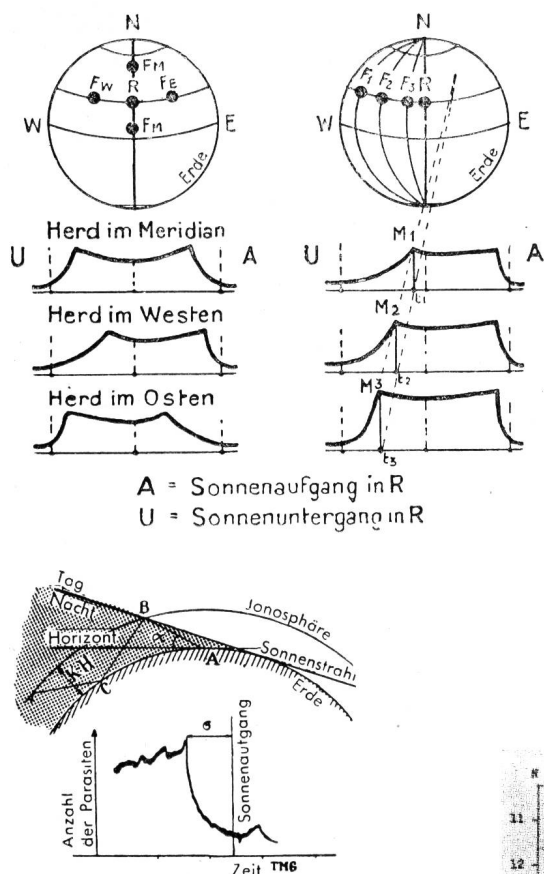


Fig. 11. Linien der registrierten Parasiten bei verschiedener Lage des Herdes. F = Herd; R = Registriergerät

der Fortpflanzungsebene der Hertzischen Wellen der registrierenden Parasiten zu bestimmen. Diese Entdeckung ist beim Phänomen der ionosphärischen und stratosphärischen Absorption im Augenblick der frühen Abenddämmerung verallgemeinert worden. Immerhin ist abends die Erscheinung nicht so klar wie in der Morgendämmerung. Die Übermittlung versiegt langsam, wenn die Sonne untergeht, um mit ziemlich grosser Geschwindigkeit wieder aufgenommen zu werden, wenn die letzten Lichtstrahlen die Ionosphäre verlassen haben. Die Kombination der beiden Phänomene, der Hertzischen elektromagnetischen Absorption der Morgen- und Abenddämmerung, erlaubt die geographische Lage der grossen Parasitenzentren, die den meteorologischen Störungen verbunden sind, zu bestimmen. Der Übergang vom Tages- zum Nachtregime wird durch die folgenden Figuren dargestellt, die also einen theoretischen Charakter haben und durch einige tausend Tagesregistrierungen auf der ganzen Erde kontrolliert wurden (Fig. 10). Das Regime der Parasiten ist auf diese Weise vollkommen bekannt (vgl. Fig. 11 und 12). Es

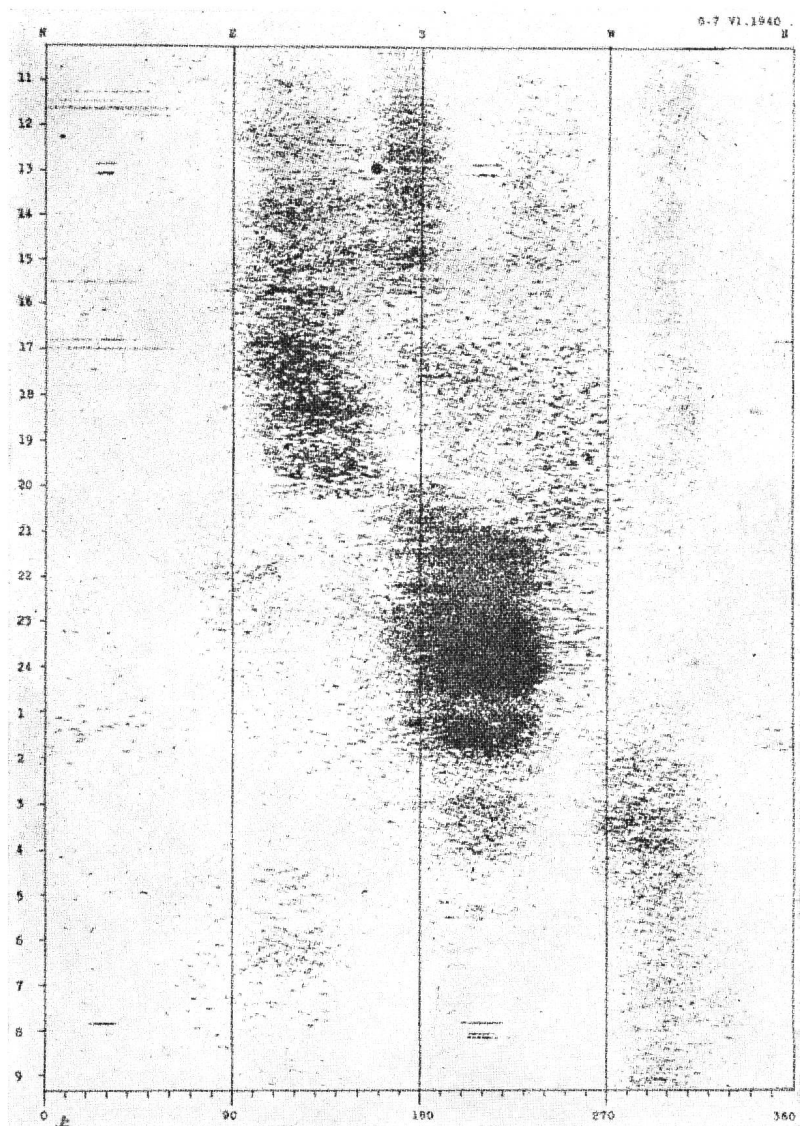


Fig. 12. Beispiel eines Diagramms des Radiographen. Man sieht deutlich die verschiedenen Parasitenherde. Zwischen 20 Uhr und 2 Uhr bildet sich im SSW eine sehr starke Störung, die sich auf dem Diagramm als grosser, schwarzer Fleck bemerkbar macht

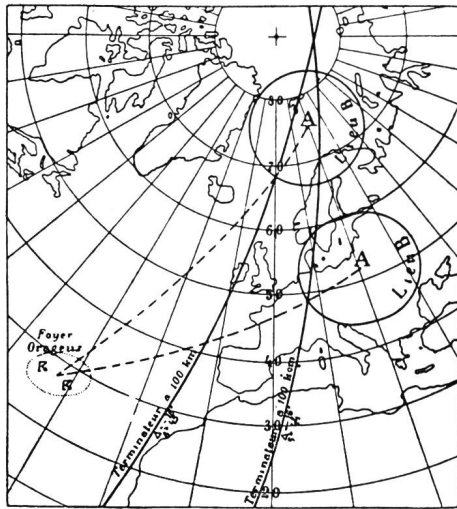


Fig. 13.
Peilmethode von
zwei Stationen
aus (Bäreninsel
und Warschau)

ist begreiflich, dass die an sich wertvollen Angaben des Atmoradiographen durch diejenige des Radiomaximographen bedeutend vervollständigt werden. Dieser misst die Intensität am Ursprung, und der Radiogoniograph gibt zu jeder Zeit in allen vier Himmelsrichtungen die Richtung des Herdes an. Derart ist es nicht mehr nötig, eine Triangulation zur Bestimmung der Herde vorzunehmen. Ein Beobachtungsposten wie Zürich dient nicht nur zur Feststellung der geographischen Lage der Störungszentren, sondern auch zur Bestimmung ihrer Ausdehnung, Intensität und ihrer Wanderung im Laufe der Tage und der Nächte. Diese neuen Sondierungsmethoden (Breite und Länge) sind genau und erlauben aus Entfernungen von einigen tausend Kilometern die Verlagerung und Geschwindigkeit von Parasitenherden der grossen atmosphärischen Störungen in Stundenkilometer anzugeben, ohne jegliche meteorologische Karte (vgl. Fig. 13 und 14). So wurden von Polen, von der Bäreninsel und von Zürich aus Störungszentren aus der Region des Himalaja bis Venezuela bestimmt. Vor dem Kriege konnten die in dem errichteten Peilnetz gemachten Beobachtungen mit den Wetterkarten verglichen werden, woraus eine vollkommene Übereinstimmung mit denselben festgestellt wurde.

Im folgenden soll gezeigt werden, wie diese Resultate für die Wettervorhersage ausgewertet werden. Zuvor müssen die Wechselbeziehungen der grossen Parasitenherde und der Formation der Zyklone und Antizyklone bekannt sein. Diese Studien können nur durch den Vergleich der Registrierungen der Parasiten mit den synoptischen Karten der Nordhemisphäre gemacht werden. In Friedenszeiten verfügt man über genügend Material dieser Art, was zu folgenden Feststellungen führte:

A. Zirkulation der grossen Luftmassen

Polarluft und polarmaritime Luft, die zu den niederen Breiten herabsteigen und mit Parasiten schwacher Reichweite geladen sind, bringen hauptsächlich grosse Herde wandernden Charakters hervor.

Tropische, maritim-tropische, kontinentale, im allgemeinen schichtenförmig, regelmässig zirkulierende

Luftmassen sind sozusagen turbulenzlos, wenn der Druckgradient genügend ist. Sie haben wenig oder gar keine Parasiten.

Die degenerierte Luft ohne bestimmten geographischen Ursprung bringt sehr starke atmosphärische Parasitenherde hervor, besonders wenn die Temperatur in den niederen Schichten hoch ist oder wenn im allgemeinen eine grosse thermodynamische Instabilität herrscht, wie das bei sommerlichen Gewittern der Fall ist.

B. Synoptisch-kontinentale und maritime Zirkulation

Depressionen erzeugen entgegenwirkende Phänomene. Die warme Front, die der Depression vorangeht, erzeugt eine Zone des Schweigens. Sie reinigt auf elektrische Weise die Luft. Während ihres Durchganges ist der Radioempfang im allgemeinen gut (vgl. Fig. 15).

Die kalte Front, die in einigen hundert Kilometern der warmen Front folgt, ist eine starke Erzeugerin von Parasiten. Sie ist um so intensiver, je grösser der Unterschied der Temperatur zwischen dem warmen Sektor der Depression und der polaren oder polarmaritimen Luft ist. Diese entgegenwirkende Regel erlaubt in der Breite und Länge die grossen Depressionszentren zu peilen, die rastlos zwischen Amerika und Europa, den afrikanischen Regionen und Asien kreisen.

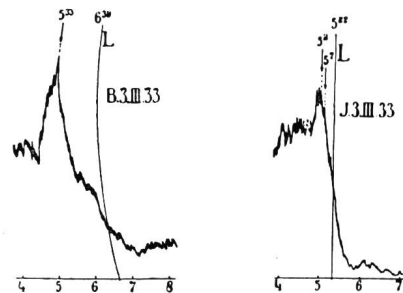
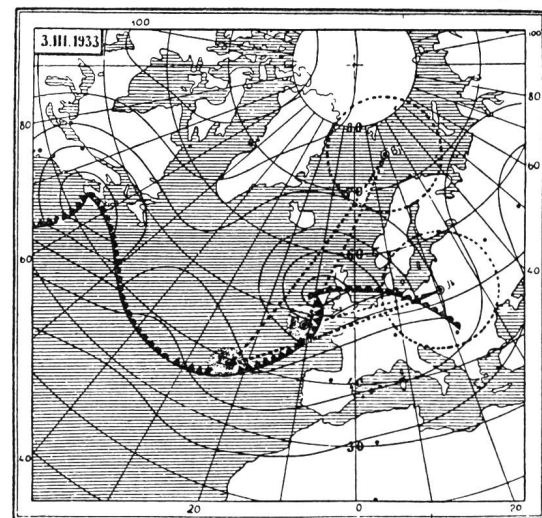


Fig. 14. Beispiel der Peilung einer Kaltfront auf der Bäreninsel und in Warschau

Bj = Bäreninsel; Jb = Warschau;

L = Sonnenaufgang; F = Herd längs der Kaltfront

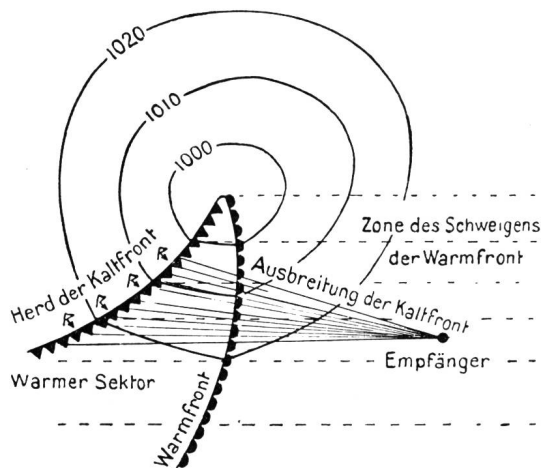


Fig. 15. Die Verteilung der Parasiten in einer Zyklone, in der Zone des Schweigens und in der aktiven Zone

Die trockene russisch-asiatische Antizyklone oder die europäische stabile Antizyklone, die sich auf eine grosse Oberfläche ausbreiten, weisen im allgemeinen in ihrem Zentrum keine atmosphärischen Parasiten auf.

Das isobarische Bild der Wetterkarte ändert ständig von einem Tag zum andern, dementsprechend auch die Verteilung der Herde der atmosphärischen Parasiten, die an alle isobarischen Typen gebunden sind. Die dynamische Klimatologie von Europa ist ausserordentlich kompliziert, was die Interpretation der Registriertdiagramme durchaus nicht erleichtert. Manchmal müssen gewisse Annahmen fallen gelassen werden, um die Zusammenhänge gewisser isobarischer Typen in der aktiven Parasitenzone oder der Zone des Schweigens zu präzisieren. Besonders in der Alpenregion nehmen die Phänomene einen ausserordentlich komplexen Charakter an.

Europa ist – grosso modo gesprochen – hauptsächlich zwei klimatischen Einflüssen unterworfen: Erstens dem maritimen atlanto-europäischen Klima, das dem Transport ozeanischer oder polarer Luftmassen durch die Winde des SW- bis W- und W- bis NW-Quadranten zugeschrieben wird. Es ist im allgemeinen mild und regnerisch. Zweitens dem Einfluss der kühlen und trockenen Winde des N- bis NE- und NE- bis E-Quadranten, der gleichzeitig durch die kontinentale russisch-asiatische oder europäische Antizyklone beherrscht ist. Die hiesigen Hochdruckzentren haben niedrige Barometerstände im Becken des Mittelländischen Meeres zur Folge.

Das wechselweise Spiel der zwei grossen Bewegungen, der maritimen Luftmassen in der Richtung Westen nach Osten – und im umgekehrten Sinne auf dem Kontinent – haben eine wichtige Rückwirkung auf die Verteilung der atmosphärischen Parasitenherde sowie der Zone des Schweigens. Da die geographische Lage dieser Herde und der Zonen des Schweigens durch die Zürcher Registrierungen bekannt sind, können wichtige Schlüsse auf die klimatische Wetterlage, welche den Kontinent beherrscht, gezogen werden, aber auch auf den Übergang einer

Wetterlage in die andere, den Aufenthalt einer allgemeinen Zirkulation und die Durchkreuzung der beiden Lagen.

Aus den genannten Feststellungen können Regeln für die Wettervorhersage abgeleitet werden, die in Kürze die folgenden sind: «Wenn grosse Parasitenherde über dem Becken des Mittelländischen Meeres erscheinen, tritt Bise ein, was eine Verstärkung der Antizyklonen anzeigt; die Situation stabilisiert sich (vgl. Fig. 16). Es herrscht grosse Winterkälte mit Nebelmeer oder ganz schönes Sommerwetter mit seiner Trockenheit, die in südlichen Breiten immer in Verbindung mit der Formation der fernen Depressionszentren steht. Diese fernen südlichen Herde werden bald nach Sonnenuntergang gegen 20 Uhr, anlässlich eines nächtlichen ersten Maximums, registriert. Wenn man später in der Nacht, gegen 22 Uhr, ein zweites Maximum auf den Diagrammen bemerkt, so kündigt das die Anwesenheit grosser Parasitenherde an, die zwischen den Küsten der Iberischen Halbinsel und Grossbritannien zerstreut sind und sich jenseits des Atlantiks bis zu den Gewässern der Antillen und Nordamerika hinziehen. Wenn das zweite Maximum an Energie zunimmt, so beweist das eine Zunahme der Depressionstätigkeit der atlantischen Polarfront. Dann bilden sich grosse Depressionszentren auf dem Ozean, die sich in der Richtung nach Europa verlagern. Ohne Verzögerung wird dadurch dem Zustand der Bise ein Ende bereitet, indem die kontinentale Antizyklone zerstört wird und in unseren Regionen ein mildes, regnerisches Regime mit Winden aus dem W- bis SW-Quadranten eintritt. Wenn sich diese Wetterlage festlegt, verschwindet die mittelländische Depressionstätigkeit; das erste nächtliche Maximum ist auf dem Diagramm nicht mehr sichtbar. Die Zonen des Schweigens, die zwischen diesen atlantischen und mittelländischen Depressionen beobachtet werden, vervollständigen die Nachrichten derart, dass es möglich ist, sich ohne meteorologische Karte nicht nur eine Idee über die allgemeine Drucklage zu machen, sondern auch die Bahn der Verlagerung der Strömungen auf einen grossen Teil der Nordhemisphäre zu zeichnen. Man versteht nun die Wichtigkeit dieser Studien in der gegenwärtigen Zeit. Seit Beginn des letzten Weltkrieges war es in zahlreichen Fällen möglich, eine Diagnose der isobarischen Verteilung in Europa zu geben und dadurch gewisse Schlüsse auf den Ablauf des kommenden Wetters zu ziehen. Die Interpretation ist nicht immer sehr leicht. Es braucht eine jahrelange Übung und Praxis, um aus den erwähnten Methoden Vorteile zu ziehen. Die eidgenössische meteorologische Kommission und die Direktion der Meteorologischen Zentralanstalt haben diesen Studien schon vor dem Kriege ihr Interesse zugewandt und sie unterstützt.

Mit den erwähnten Apparaten ist es ebenfalls möglich, mit hoher Präzision Nah- und Ferngewitter zu registrieren, die für unser Land von Interesse sind. Besonders nützlich ist die Aufzeichnung der Gewitter-

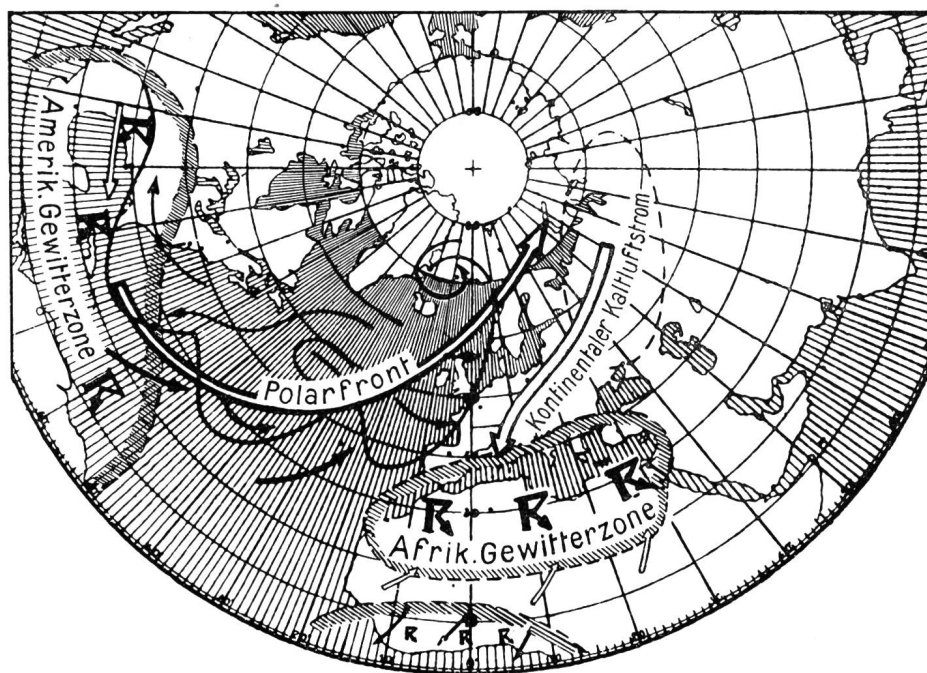


Fig. 16.

Lage der zwei wichtigsten Parasitenherde, die das europäische Klima interessieren (Nordafrika und Zentralamerika). Das Zeichen R_{\downarrow} bedeutet Gewitter

böen. Verwüstende Naturerscheinungen dieser Art, die in einer Entfernung von 500 bis 800 Kilometer ihren Ursprung haben und mit wechselnder Geschwindigkeit unser Land durchziehen, können von Minute zu Minute in ihrer Entwicklung vom Radiogoniographen verfolgt werden. An verschiedenen Sommertagen konnte man derart einige Stunden im voraus die Ankunft eines Gewitters über der Station Zürich bestimmen. Die Registrierung durch einige hundert Gewitterbeobachtungsstellen im schweizerischen Stationsnetz bestätigte den Verlauf der Voraussage. Die Anwendung dieser Registrierungen scheint auch die hydroelektrische Industrie zu interessieren, weil es möglich ist, aus der Ferne jene Gegend zu bestimmen, in der sich Gewitter bilden, die fähig sind, unsere Hochspannungsleitung zu erreichen. Immerhin würde die Organisation eines Gewitternachrichtendienstes, um vollständig zu sein, trigonometrische Anschnitte auf drei Stationen verlangen; zum Beispiel Zürich, eine Tessiner und eine Waadtländer Station. Die

Gleichschaltung der drei Radiogoniographen wäre einfach. Ein solcher Meldedienst wäre auch im Interesse der militärischen und zivilen Aviatik wünschbar.

Heute sind je ein Peiler in Zürich und Payerne im Betrieb. Diese wenn auch kurze Basis hat sich schon für die Gewitterlokalisation bis ins Mittelmeer als sehr wertvoll erwiesen.

Wie steht es nun mit dem Weltnetz? Figur 17 zeigt die vorhandenen und projektierten Stationen der Kreisregionen. In der Region Europa sind in folgenden Ländern Peilgeräte in Funktion: England, Belgien, Frankreich, Schweiz, Italien und Versuchsstationen in Deutschland und Schweden. Ein weiteres Dreieck im südöstlichen Mittelmeerbecken ist im Entstehen begriffen. Der Kreis Indien, ebenfalls mit schweizerischen Geräten dotiert, wird in kurzer Zeit durch sechs Nobile-Stationen in Pakistan vervollständigt werden. Afrika weist Beobachtungsposten im belgischen Kongo, im Sudan und in Marokko auf. Die Gewitter- und Taifuntätigkeit der Antillen, Floridas und eines

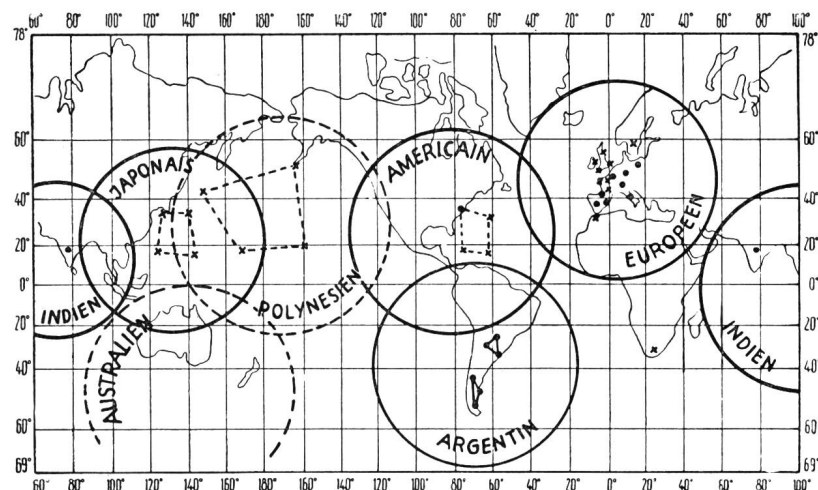


Fig. 17. Entwicklung des radiometeorologischen Weltnetzes

Teils des Atlantischen Ozeans wird durch ein ausgezeichnetes Netz von vier Stationen der US Army ständig überwacht. Die Australier und die Japaner unternehmen grosse Anstrengungen, um ihre Netze den heutigen Bedürfnissen anzupassen. In Südamerika hat Argentinien zwei Netzdreiecke mit Schweizer Geräten eingerichtet, die den Stillen Ozean und den südlichen Atlantik bestreichen.

Die Bedeutung dieser Spezialgebiete vergrössert sich ständig, wie das steigende Interesse der meteorologischen Weltorganisation an diesen Problemen zeigt. Auch die OACI, der Nützlichkeit dieser Beobachtungen bewusst, gab eine neue Instruktion heraus, die die Verwendung der Parasitenlokalisation für den Flugsicherungsdienst gewährleistet. Dabei ist zu bedenken, dass die heutigen Radargeräte nur auf viel kürzere Distanz wirken und die Radiogoniographen nicht ersetzen können.

Bibliographie

(Zu Kapitel I)

Anderson, L. J., J. P. Day, C. H. Freres and A. P. D. Stokes. Attenuation of 1.25-Centimeter Radiation through Rain. Proc. Inst. Radio Engrs **35** (1947), 351.

- Booker, H. G. and W. E. Gordon. A Theory of Radio Scattering in the Troposphere. Proc. Inst. Radio Engrs **38** (1950), 401.
- Brocks, Karl. Probleme der Radiometeorologie. Ann. Meteorol. **4** (1951), 78.
- Bowen, E. G. Radar Observations of Rain and their Relation to Mechanisms of Rain Formation. J. atmos. terrest. Phys. **1** (1951), 125.
- Hilst, G. R. and G. P. MacDowell. Radar Measurements of the Initial Growth of Thunderstorm Precipitation Cells. Bull. Amer. Meteorol. Soc. **31** (1950), 95.
- Jones, R. F. Radar Weather Echos. Meteorol. Magaz. **79** (1950), 109, 143, 198.
- Israël, H. und K. Sommermeyer. Über partielle Reflexion elektromagnetischer Wellen in der Troposphäre. Z. Meteorol. **3** (1949), 32.
- Kerr, F. J. Radio Superrefraction in the Coastal Regions of Australia. Austral. J. sci. Res. Series A. **1** (1948), 443.
- Perlat, A. Effet des conditions météorologiques sur la propagation des ondes radioélectriques à fréquences élevées. J. sci. météorol. **2** (1950), 101.
- Schneider-Carius, Karl. Meteorologische Faktoren bei der Ausbreitung ultrakurzer Funkwellen. Geofis. pura appl. **20** (1951), 131.

Adressen der Verfasser: Paul Ackermann, chef de la station aérologique, Payerne; Prof. Dr. Jean Lugeon, Direktor der Meteorologischen Zentralanstalt, Hofstrasse 114, Zürich.

Spezialwinden für die neue Antennenanlagen des Kurzwellensenders Schwarzenburg

Von H. R. Lerch, Bern

621.866.1:621.396.673

Das neue Antennensystem des Kurzwellensenders Schwarzenburg besteht im Prinzip aus sieben Antennenmasten mit Höhen zwischen 40 und 120 Metern. Diese sind im Grundriss gesehen mit einem Zentralmast und 3mal 2 Nebenhäfen sternförmig angeordnet (Fig. 1). Die Abstände der Antennenträger zueinander betragen zwischen 110 und 195 m. An je zwei Masten sind eine bzw. zwei übereinander angeordnete Flächenantennen aufgehängt, und zwar auf der einen Seite starr befestigt, auf der andern mit einem Gegengewicht frei gespannt (Fig. 2).

Zur Montage solcher Antennen und zur Durchführung von Reparaturen (Auswechseln von Isolatoren usw.) ist eine Vorrichtung notwendig, die ein Aufziehen und Herunterlassen dieser grossen Gebilde ermöglicht. Dies geschieht, indem man die Enden der Befestigungsstahlseile mit den Seilen von Elektrowinden kuppelt. Nachdem die Windenseile angespannt sind, müssen die Befestigungsseile am einen Mast vom Gegengewicht und am andern Mast vom Fixpunkt gelöst werden. Nach dieser Manipulation hängt die Antenne an den Winden und das Herunterlassen kann beginnen.

Nach der im Ausland üblichen Methode ist bei jedem Mast eine stationäre Winde aufgestellt. Zum Arbeiten an einer Antenne stehen somit zwei Winden miteinander im Einsatz.

Als Unterlagen standen im vorliegenden Falle für die Projektierung der Dispositionsplan der Masten und

Treuil spécial pour les nouvelles antennes de l'émetteur d'ondes courtes de Schwarzenbourg

Par H. R. Lerch, Berne

Le nouveau système d'antennes de l'émetteur d'ondes courtes de Schwarzenbourg comprend sept mâts dont la hauteur varie entre 40 et 120 mètres. Autour d'un mât central sont placés en étoile 3 fois 2 mâts auxiliaires (fig. 1). Les distances entre supports d'antenne sont de 110 à 195 mètres. A chaque groupe de deux mâts sont suspendues, d'un côté de manière fixe, de l'autre à des contrepoids, une ou deux antennes en rideau superposées (fig. 2).

Pour monter ces antennes et les réparer (échanger les isolateurs, etc.), il faut disposer d'une installation permettant de les élever et de les abaisser à volonté. Cette installation est constituée par des treuils électriques, aux câbles desquels sont attachées les extrémités des câbles d'acier supportant l'antenne. Lorsque les câbles des treuils sont accrochés, on doit, d'un côté, détacher les câbles d'antenne du contrepoids et, de l'autre, de leur point d'attache fixe. Cette opération terminée, l'antenne n'est plus soutenue que par les câbles des treuils et la descente peut commencer.

D'après la méthode en usage à l'étranger, un treuil est monté auprès de chaque mât. Pour travailler à l'antenne, il faut ainsi mettre deux treuils en action.

Dans le cas présent, on disposait pour établir le projet: du plan de disposition des mâts et de leurs haubans, des plans de construction de la partie inférieure des mâts et des indications relatives à la charge maximum par câble (6000 kg).