

unvollständig

FUNKTECHNISCHE MONATSHEFTE



Monatsausgabe des „Funk-Bastler“

Herausgegeben von Dr. P. Gehne und Prof. G. Leithäuser

HEFT 12 **DEZEMBER 1933**

Elektromagnetische Echolotung der Ionosphäre

Ein Film von der Kennelly-Heaviside-Schicht

Anlässlich der Jahresversammlung der Heinrich-Hertz-Gesellschaft zur Förderung des Funkwesens am 21. November d. J. gab Präsident a. D. Prof. Dr. K. W. Wagner in einem Vortrag mit anschließender Vorführung des Films „Elektromagnetische Echolotung der Ionosphäre“ einen Überblick über die bisherigen erfolgreichen Arbeiten der von der HHG. nach Tromsø (Norwegen) entsandten funkwissenschaftlichen Expedition.

Die bereits in den Anfangszeiten der drahtlosen Technik, etwa um die Jahrhundertwende, durch elektromagnetische Signale überbrückten, damals unerwartet großen Entfernungen schienen zunächst unerklärlich, wenn man die mutmaßlichen Einflüsse des nach dem damaligen Stand der Kenntnisse über die Wellenausbreitung allein in Betracht kommenden Übertragungsweges längs der Erdoberfläche in Rechnung stellte. Im Jahre 1902 versuchten daher die amerikanischen Forscher J. E. Kennelly und O. Heaviside — unabhängig voneinander — eine Erklärung für diese Erscheinung zu geben durch die Annahme einer durch Sonnenstrahlung ionisierten und damit leitfähig gemachten Schicht in etwa 100 km Höhe über der Erde. Für diese grundsätzliche Annahme konnten in späterer Zeit zahlreiche experimentelle Beweise erbracht werden, weitere Einzelheiten über den Zustand der Atmosphäre in jenen Höhen konnten erforscht werden, und heute ist, besonders veranschaulicht durch die Erfahrungen beim Rundfunkempfang und im Kurzwellenweitverkehr, die „Kennelly-Heaviside-Schicht“ auch manchem Nichtfachmann ein geläufiger Begriff geworden. Reiches wissenschaftliches Beobachtungsmaterial des vergangenen Jahrzehnts hat bereits manche Frage über die Struktur der höchsten Schichten der Atmosphäre und über ihren Einfluß auf die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen beantworten können, aber noch immer bleiben zahllose Fragen offen, neue Zusammenhänge werden gesucht und entdeckt, und noch zahlreiche Probleme, für Wissenschaft und Technik gleich bedeutungsvoll, harren der Lösung.

Die Fragestellung hat sich in den vergangenen Jahren zum Teil gewandelt: Die elektromagnetischen Wellen, deren Ausbreitungseigenschaften man zunächst nur im Hinblick

auf die nachrichtentechnischen Verwendungsmöglichkeiten studierte, sind zum Forschungswerkzeug für die hohe Atmosphäre geworden; mit ihnen durchlotet man den Raum Hunderte von Kilometern über der Erdoberfläche,

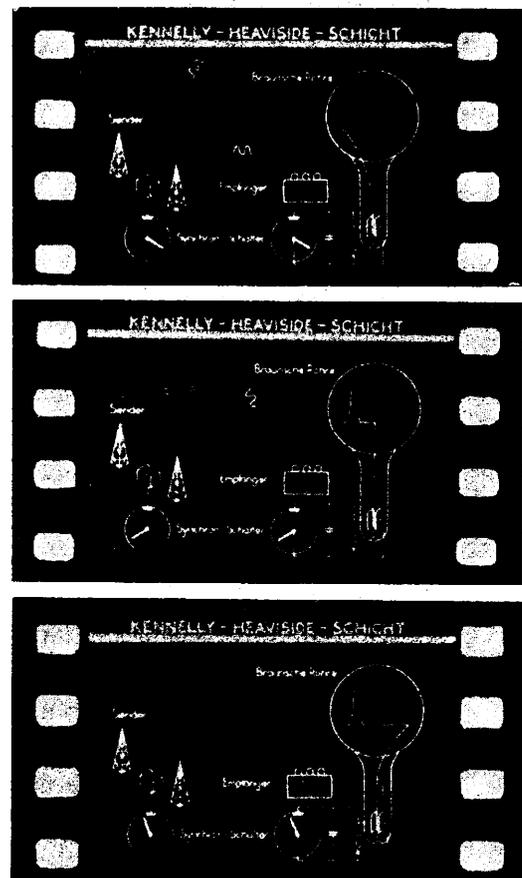


Abb. 1a—c. Zusammenwirken von Sender und Empfänger, dargestellt durch drei Bewegungsphasen.

der reflektierte Wellenstrahl gibt Kunde aus Höhen, in die kein Registrierballon bisher jemals vorgedrungen ist und die auch in absehbarer Zukunft wohl kaum mit mechanischen Mitteln zu erreichen sein dürften.

Eine Reihe namhafter deutscher Forscher, die von ganz verschiedenen Gesichtspunkten her für die Lösung der angedeuteten Probleme Interesse haben, schlossen sich vor einiger Zeit unter dem Vorsitz von Prof. K. W. Wagner zu der „Arbeitsgemeinschaft für Physik der hohen Atmosphäre“ zusammen und gingen an die wissenschaftliche Vorbereitung der Norwegen-Expedition der Heinrich-Hertz-Gesellschaft, die seit Dezember 1932 in Tromsø arbeitet.

Warum wählte man einen im hohen Norden gelegenen Arbeitsort? — Untersuchungen über die Vorgänge in der Ionosphäre¹⁾ versprechen namentlich an jenen Stellen der Erde interessante Ergebnisse und Aufschlüsse, wo gleichzeitig andere, besonders ausgeprägte Naturerscheinungen zu beobachten sind. Das ist in der Polarzone der Fall. Die vielgestaltigen meteorologischen und geophysikalischen Erscheinungen der Polarzone, die zum Teil bereits seit

seit nunmehr einem Jahr im Nordlichtobservatorium in Tromsø durchführen, umfaßt neben der im Mittelpunkt des wissenschaftlichen Interesses stehenden Echolotung der Ionosphäre drei weitere Hauptpunkte: Die photoelektrische Aufzeichnung der Nordlichthelligkeit, Untersuchungen über Peilstrahlschwankungen und Feldstärkemessungen im Bereich der Rundfunkwellen. In der verhältnismäßig kurzen Zeit vom Juni bis Ende November

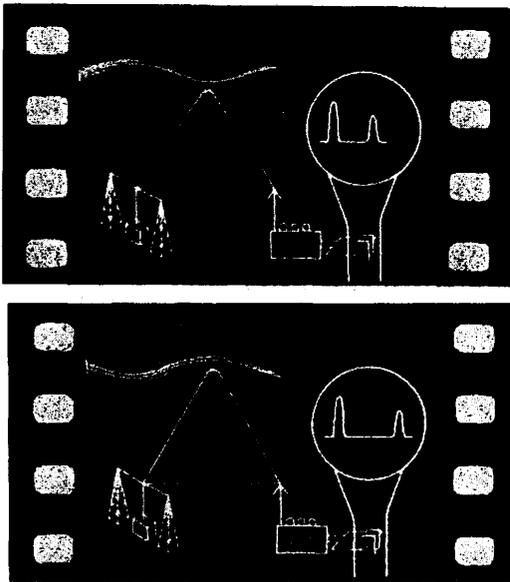


Abb. 2a und b. Schwankungen der Schichthöhe entsprechen Abstandsschwankungen der Zeichen auf dem Schirm der Braun'schen Röhre.

Jahrzehnten systematisch beobachtet werden, liefern zahlreiche Vergleichswerte und damit die Möglichkeit, Zusammenhänge z. B. zwischen gewissen meteorologischen Tatsachen und den Vorgängen in den höchsten Schichten der Atmosphäre zu erkennen. Der eigenartige Rhythmus des Wechsels zwischen Tag und Nacht, das Nordlicht, magnetische Erscheinungen schaffen überaus mannigfaltige Versuchsbedingungen für die Experimente mit elektromagnetischen Wellen, von deren Ergebnissen nicht allein die reine Wissenschaft, sondern auch die Technik reiche Anregung zu erwarten hat. Was die technische Bedeutung solcher Versuchsergebnisse betrifft, so denke man z. B. an das noch heute nicht einwandfrei geklärte Versagen der Funkverbindung mit dem Luftschiff „Graf Zeppelin“ bei seiner Polarfahrt.

Das Forschungsprogramm, das Dr. K. Kreielseheimer und sein Mitarbeiter Ing. W. Stoffregen

¹⁾ Mit Ionosphäre bezeichnet man die oberhalb 80 km Höhe liegende Zone der Erdatmosphäre.

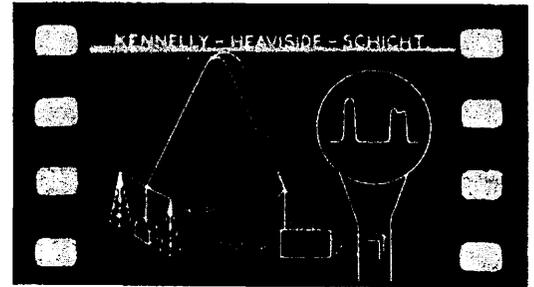


Abb. 3 Doppelbrechung.

1932 wurden die dafür erforderlichen umfangreichen Apparaturen im Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung unter Prof. Dr. Leithäuser von den oben genannten Expeditionsteilnehmern in Zusammenarbeit mit Dr.-Ing. H. E. Hollmann und W. Fehr entwickelt und gebaut. In Vorversuchen wurde zunächst das einwandfreie Funktionieren der Geräte geprüft, soweit es überhaupt möglich war, die Versuchsbedingungen so zu gestalten, wie sie in Tromsø zu erwarten waren. So wurde z. B. das Gerät zur Aufzeichnung der Nordlichthelligkeit an projizierten Nordlichtbildern und mit Glühlampen ausprobiert, deren Licht in seiner spektralen Zusammensetzung derjenigen des Nordlichtes nahekam. In weiteren Verlauf der Arbeiten in Norwegen konnte die Empfindlichkeit dieses Gerätes so weit gesteigert werden daß, sobald ein Nordlicht am Himmel erscheint, ein Klingelzeichen ausgelöst wird, das die Forscher an die Apparate ruft. Die Feldstärkemessanordnung und die

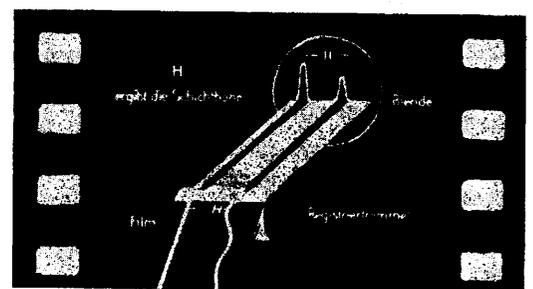


Abb. 4. Fortlaufende Registrierung der Schichthöhe.

Apparate zur Messung der Peilstrahlschwankungen arbeiten mit Rahmenantennen von je 2 m² Fläche und sind miteinander kombiniert. Sämtliche Geräte zeichnen die Meßgrößen selbsttätig auf. Ein weiteres Eingehen auf diese drei interessanten Meßgeräte muß im Rahmen dieses Berichtes unterbleiben.

Von größter Anschaulichkeit sind die in dem Film „Elektromagnetische Echolotung der Ionosphäre“ gezeigte Original-Echooszillogramme von Dr.-Ing. K. Kreielse

heimer und W. Stoffregen. Die Erläuterung der Wirkungsweise der in Tromsøe benutzten, von H. E. Hollmann und K. Kreielsheimer entwickelten Apparatur zur Echolotung²⁾ geschieht im Film durch Trickbilder, die von W. Fehr unter Mitwirkung von Dr.-Ing. H. E. Hollmann entworfen und bearbeitet worden sind.

Die drei in Abb. 1 dargestellten Filmbilder mögen hier zur Beschreibung der Grundgedanken des Meßverfahrens dienen: Ein 500-Watt-Sender (Wellenlänge 75 bis 150 m), der 20 km vom Empfangsort entfernt steht, sendet in der Sekunde 25 kurze Impulse von je $\frac{3}{10000}$ sec Dauer aus. Der Empfang dieser Impulse erfolgt mit einem 9-Röhren-Überlagerungsempfänger, an dessen Ausgang eine Braunsche Röhre angeschlossen ist. Aus den drei in der Abbildung gezeigten Bewegungsphasen ist die Entstehung eines Echooszillogramms auf dem Schirm der Braunschen Röhre klar zu erkennen. Durch die in den Bildern angedeuteten Synchronschalter am Sender und Empfänger wird die (horizontale) Zeitablenkung des Kathodenstrahles synchron mit den Senderimpulsen gesteuert, d. h. in der Zeit, die vergeht zwischen der Aussendung eines Impulses und dem Eintreffen des Echos, wandert der Kathodenstrahl von links nach rechts über den Leuchtschirm. Beim Eintreffen der „Bodenwelle“, die auf dem kürzesten Wege vom Sender zum Empfänger gelangt, wird der Kathodenstrahl für die Dauer des Impulses abgelenkt (Abb. 1 b). Währenddessen ist das an der Kennelly-Heaviside-Schicht reflektierte Zeichen, die „Raumwelle“³⁾, noch unterwegs, und schließlich trifft das Echozeichen ein, das den Kathodenstrahl, der inzwischen in Richtung der Zeitachse weitergewandert ist, wiederum auslenkt. (Abb. 1 c.) Die Zeitablenkung des Kathodenstrahles geschieht, wie aus der Abbildung ersichtlich, durch Aufladen eines Kondensators über einen Widerstand. Kurz nach dem Eintreffen der Raumwelle erfolgt durch Kurzschließen des Synchronschalters die Entladung des Kondensators, wodurch der Kathodenstrahl in die Ausgangsstellung zurückeilt. In dem gleichen Augenblick erfolgt auf der Senderseite die Aussendung eines neuen Impulses; der soeben geschilderte Vorgang wiederholt sich. Die Eichung der Zeitachse ergibt sich aus der durch die Größe des aufgeladenen Kondensators und des Ladewiderstandes bedingten Geschwindigkeit, mit der der Kathodenstrahl die Zeitachse schreibt. Dem Abstand der beiden Zeichen auf dem Leuchtschirm entspricht somit der Zeitbetrag, um den das Echo signal länger unterwegs ist als das Bodensignal. Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen bekannt ist, kennt man so die Länge des vom Echozeichen zurückgelegten Weges und daraus die Höhe der reflektierenden Schicht; mit anderen Worten: man kann die horizontale Achse des jeweils aufgenommenen Oszillogramms übersichtlicher Weise in Kilometer eichen.

Schwankt nun die Höhe dieser Schicht, so ändert sich der Abstand der beiden Zeichen auf dem Leuchtschirm (Abb. 2 a u. b). Abb. 3 gibt ein Bild aus dem Trickstreifen, in dem die Doppelbrechung und die daraus sich ergebende charakteristische Form des aufgezeichneten Echo signals veranschaulicht wird. Die Originalaufnahmen aus Tromsøe, die an anderer Stelle veröffentlicht werden, zeigen besonders schöne Beispiele dieser Erscheinung. Die

²⁾ Elektrische Nachrichtentechnik 10, 392, 1933.

³⁾ Bodenwelle und Raumwelle sind im Film der Einfachheit halber als zwei kurze Wellenzüge dargestellt, die gleichzeitig die Sendeanenne verlassen.

Doppelbrechung besteht in einer Aufspaltung des Strahles, die in der Kennelly-Heaviside-Schicht unter bestimmten Bedingungen durch das Magnetfeld der Erde hervorgerufen wird. Die beiden Komponenten, in die der Strahl sich spaltet, treffen mit einem sehr kurzen Zeitunterschied am

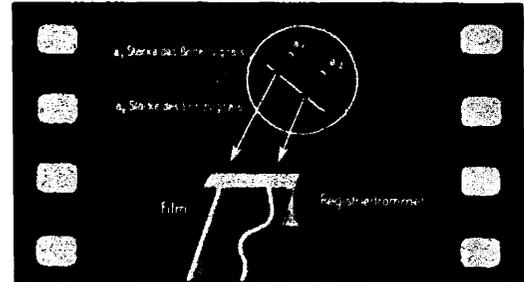


Abb. 5. Gleichzeitige Aufzeichnung von Schichthöhe und Zeichenstärke.

Empfänger ein, wodurch die eigenartige Form des Echozeichens verständlich wird. Mit diesen Beispielen ist zunächst das Meßverfahren in seinen Grundzügen dargelegt, die Aufzeichnungen auf der Braunschen Röhre geben in dieser Form ein getreues Bild von den „Erlebnissen“ des reflektierten elektromagnetischen Wellenstrahles.

Wie entsteht nun aus den dauernd sich verändernden Aufzeichnungen auf dem Schirm der Braunschen Röhre ein für die Auswertung brauchbarer Registrierstreifen, der die Vorgänge über längere Zeit zu übersehen erlaubt. — Das Bild auf dem Leuchtschirm wird mittels einer geeigneten Optik auf einen Film projiziert, der auf eine in 24 Stunden einmal umlaufende Registriertrommel gespannt ist. Eine Blende (Abb. 4) läßt nur die an den Stellen des Boden- und des Echo signals infolge der Auslenkung des

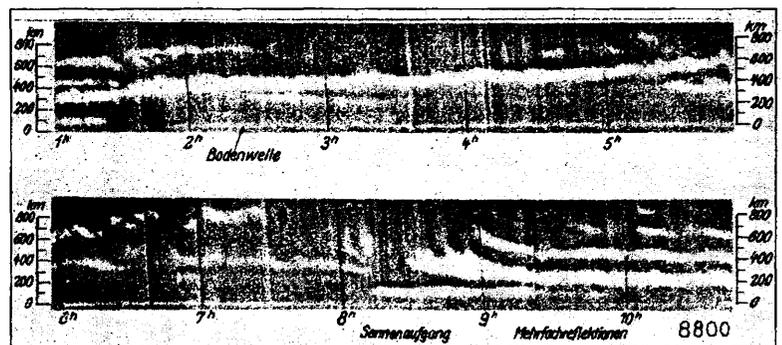


Abb. 6. Ein Original-Registrierstreifen aus Tromsøe; benutzte Wellenlänge 150 m.

Kathodenstrahles unterbrochene Zeitachse frei, wodurch bei sich drehender Registriertrommel eine aus der Abbildung ersichtliche Aufzeichnung zustande kommt. Ein von Kreielsheimer angegebenes Registrierverfahren, bei dem gleichzeitig die Amplitude der beiden Impulse aufgezeichnet werden kann, wird durch Abb. 5 veranschaulicht. Eine Blende wird bei diesem Verfahren nicht verwendet, die Braunsche Röhre wird vielmehr in der Ebene ihres Schirmes um einen gewissen Winkel gedreht, so daß die Projektionen der Ausschläge a_1 (Bodensignal) und a_2 (Echo) neben dem Höhenverlauf erscheinen.

Ein nach den in Abb. 4 beschriebenen Verfahren aufgenommenen Registrierstreifen für eine Wellenlänge von 150 m, der der Arbeit von Hollmann und Kreielsheimer