

Untersuchungen an Kurzwellen-Echosignalen

Von HANNS ALBRECHT HESS*

(Z. Naturforsch. 1, 499–505 [1946]; eingegangen am 5. Juni 1946)

Eine Meßmethode hoher Genauigkeit wurde für Zeichenuntersuchungen bei Telegraphie-Kurzwellensendern entwickelt. Überraschend genaue Laufzeitmessungen an Echosignalen entfernter Kurzwellensender im Frequenzbereich zwischen 10 und 20 MHz gelangen unter bestimmten ionosphärischen Bedingungen zu wenigen täglichen Stunden. Die Umlaufzeit eines Signals um den Erdball ergab sich als ein konstanter Wert zu 0,137788 Sekunden. Dieser scheint unabhängig von der Frequenz, Tageszeit und Jahreszeit zu sein. Entfernungsbestimmungen bei mehr als 1000 km vom Beobachtungsort entfernten Kurzwellensendern ließen sich mit einer Genauigkeit von ± 25 km durchführen. Diese aus zahlreichen Messungen der Jahre 1941–1944 gewonnenen Tatsachen ferner Amplitudenvergleiche bei Signalen, die mehrmals den Erdball umkreist hatten, sprechen für die v. Schmidtsche Theorie einer sogen. Gleitwellen-Ausbreitung entlang einer ionosphärischen Grenzschrift zwischen zwei verschiedenen Medien und gegen die bisherige Anschauung einer Kurzwellenübertragung, deren Zustandekommen durch mehrfache Zickzack-Reflexionen zwischen Ionosphäre und Erdoberfläche angenommen wird.

Das Auftreten der mehrfachen Zeichen bei der Kurzwellen-Ausbreitung ist im Schrifttum seit dem Jahre 1926 bekannt. Untersuchungen auf diesem Gebiet wurden von Quäck und Mögel (Deutschland)¹, T. L. Eckersley (England)² und A. H. Taylor und L. C. Young (USA.)³ durchgeführt. Mögel fand für die gemessenen Laufzeiten der Echosignale Werte, die nur um 1% verschieden waren. Taylor und Young fanden größere Abweichungen der Laufzeiten voneinander, und zwar in der Größenordnung von 5%. Da solche Ergebnisse in einem bemerkenswerten Widerspruch zu den Echolotungen an den ionosphärischen Schichten standen, wurde besonders die Richtigkeit der Mögelschen Messungen angezweifelt, denn bekanntlich sind die bei der Echolotung gemessenen Höhen der Ionosphärenschichten durch starke tägliche und jahreszeitliche Schwankungen gekennzeichnet.

O. v. Schmidt⁴ hat auf Grund der Mögelschen Messungen eine neue Theorie der Kurzwellen-Ausbreitung entwickelt. An dem von ihm geleiteten Institut für Physik in Berlin-Gatow wurde 1941 mit diesbezüglichen Messungen begonnen. Es sollte durch systematische Untersuchungen mit verbesserten Geräten festgestellt

werden, ob die Erdumläufe durch mehrfache Zickzack-Reflexionen zwischen den ionosphärischen Schichten und der Erdoberfläche, oder durch eine Gleitwellen-Ausbreitung entlang einer ionosphärischen Grenzschrift erklärt werden könnten.

Die ersten in Berlin-Gatow im September und Oktober 1941 mit erheblich verbesserten Apparaten durchgeführten Messungen zeigten bei Kurzwellensendern aus Europa, Ostasien und Südamerika überraschende Ergebnisse, so daß sich bei mehr als 1000 km entfernten Stationen eine genaue Bestimmung der Entfernung als möglich erwies.

Da in Ländern höherer geographischer Breite auf Grund einfacher Überlegungen eine über längere tägliche Zeiten dauernde Echotätigkeit bei Kurzwellen-Signalen erwartet werden mußte, wurde zum Zwecke gründlicher Untersuchungen eine wissenschaftliche Expedition nach Dänemark ausgerüstet. Vom 6. Dez. 1941 bis 1. April 1944 wurden die Messungen in Frederikshavn — geographische Koordinaten: 57° 26' N, 10° 29' E — durchgeführt, und am 2. April 1944 wurde die Station nach Randers — geographische Koor-

² Short wave wireless telegraphy, Journal I.E.E. 600 [1927].

³ Studies of High-Frequency Radio-Wave-Propagation Proc. I.R.E. 16, Nr. 5 [1928].

⁴ Über die Totalreflexion in der Akustik und Optik, Ann. Physik 19, 891 [1934]. Neue Erklärung des Kurzwellenumlaufes um die Erde, Z. Techn. Physik 17, 443 [1936].

* Ulm (Donau), Schadstr. 24.

¹ E. Quäck, Neues über die Ausbreitung von kurzen Wellen, Jb. drahtl. Tel. 28, 177 [1926]; E. Quäck, Weitere Mitteilungen über die Ausbreitung von Kurzwellen, Jb. drahtl. Tel. 30, 41 [1927]; Quäck u. Mögel, Doppel- und Mehrfachzeichen bei Kurzwellen, E.N.T. 6, 45 [1929].



daten: $56^{\circ}31'N$, $10^{\circ}02'E$ — verlegt. Dort verblieb die Expedition bis zu ihrer Auflösung im Januar 1945.

1. Technischer Teil

In Abb. 1 ist die Zusammenstellung der Geräte wiedergegeben, mit denen in Frederikshavn die Messungen durchgeführt wurden. *E* ist ein normaler Kurzwellen-Superhet-Empfänger (Philips CR 101). Die Zwischenfrequenz dieses Empfängers, die etwa bei 750 KHz liegt, wurde mittels eines dazwischengeschalteten kleinen Kondensators auf die Mischstufe *M* geleitet. Durch einen variablen Oszillator wurde diese Zwischenfrequenz überlagert und es entstand dadurch eine zweite Zwischenfrequenz, die je nach der Art der photographischen Aufnahmen zwischen 50 und 100 KHz verändert werden konnte. Diese zweite Zwischenfrequenz, die die empfangenen Funksignale übertrug, wurde auf den einen Strahl des

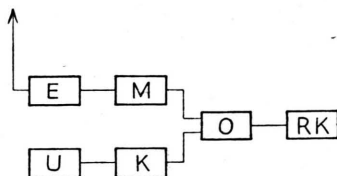


Abb. 1. Schema der experimentellen Anordnung.

Zwei-Strahl-Oszillographen *O* geleitet. Sie wurde „Schreibfrequenz“ genannt, da sie für die photographische Wiedergabe der Funksignale auf den Filmstreifen verantwortlich war. Auf den anderen Strahl des Oszillographen wurde eine 500-Hertz-Meßfrequenz gebracht, die durch einen 500-Hertz-Stimmgabel-generator *U* erzeugt wurde. Durch einen Thermostaten konnte die Meßfrequenz auf 10–7 Hertz konstant gehalten werden. Die sinusförmige 500-Hertz-Frequenz war für genaue Messungen ungeeignet und wurde daher in einem Kippgerät *K* verzerrt. Die auf diese Weise erhaltenen Zacken mit einem Abstand von 2 Millisekunden gestatteten eine sichere Vermessung durch das Mikroskop bei einer Genauigkeit von $\frac{1}{100}$ mm. Durch die Registrierkamera *RK* werden die Funksignale und die Meßfrequenz Zacken auf die rasch ablaufenden Papierfilmstreifen aufgenommen. Die Filme hatten im allgemeinen eine Länge von 10 m.

Bei Messungen in Berlin-Gatow wurde die 1000-Hertz-Normalfrequenz der Physikalischen Technischen Reichsanstalt benutzt, die durch ein besonderes Kabel dorthin übertragen wurde. Die Quarzfrequenz der PTR hatte eine Genauigkeit von 10^{-9} Hertz.

Für den Kurzwellenempfang wurden Richtantennen benutzt. Wegen ihrer Strahlungscharakteristik schienen die sogen. „Langdrahtantennen“ am besten für die Messungen geeignet zu sein, denn solche Systeme, die mehrere aneinandergereihte Dipole darstellen, strahlen bzw. empfangen gebündelt aus zwei entgegengesetzten Richtungen. Diese sind nahezu durch die

gerade Richtung des Antennendrahtes als Achse festgelegt. Für den Empfang des direkten und des indirekten Zeichens, letzteres kommt gerade aus der entgegengesetzten Richtung an, stellen solche Antennensysteme eine ausgezeichnete und billige Lösung dar. 4 Langdrahtantennen, jede mit einer Länge von etwa 100 m (5λ bei 20 m Wellenlänge) wurden in Frederikshavn für die folgenden 4 Himmelsrichtungen benutzt: 1. Nord–Süd, 2. Nordost–Südwest, 3. West–Ost, 4. Nordwest–Südost.

Die Geräte zur Aufnahme der Kurzwellensignale wurden in bezug auf ihre Meßgenauigkeit und die photographische Wiedergabe gegenüber denen erheblich verbessert, die durch Mögel in den Jahren 1927 bis 1934 benutzt worden waren. Folgende wesentliche Verbesserungen wurden erzielt:

1. Die Frequenz, die auf das Braunsche Rohr des Oszillographen gegeben wurde und die für die Zeichnung der Kurzwellensignale auf den Filmstreifen verantwortlich war, wurde auf 50 bis 100 KHz erhöht. Mögel benutzte damals eine Frequenz von 1000 Hertz, die er auf einen Schleifenzosillographen brachte.

2. Die Ablaufgeschwindigkeit der Papierfilmstreifen wurde von 40 cm/sec auf 400 bis 1000 cm/sec erhöht.

3. Die Genauigkeit der Zeit-Meßfrequenz wurde von 1 % auf $\frac{1}{100}$ % erhöht.

2. Ergebnisse der Messungen und Untersuchungen

a) Bestimmung der Zeiten der Echotätigkeit durch systematische Beobachtungen

Schon die ersten Untersuchungen von Quäck und Mögel während der Jahre 1926 bis 1933 zeigten, daß das Auftreten und die Intensität der rückwärtigen Zeichen und Erdumläufe von der Tageszeit und der Jahreszeit abhängen. Auch Veränderungen, die sich über mehrere Jahre erstreckten und im Zusammenhang mit der elfjährigen Sonnenfleckenperiode stehen, wurden damals schon erkannt. Diese Autoren gelangten auf Grund ihrer Beobachtungen zu der Erkenntnis, daß die eine normale Kurzwellenübertragung allgemein stark beeinträchtigenden rückwärtigen Zeichen und Erdumläufe fast ausschließlich während der Dämmerungszeit auftreten. Als Zone für eine optimale Ausbreitung solcher Echosignale wurde der den Erdball umgebende Dämmerungsgürtel angesehen.

Alle diese früheren Feststellungen haben sich bei den neueren Untersuchungen ebenfalls wieder ergeben. Jedoch mußten auch zuweilen größere Abweichungen vom Dämmerungsgrößenkreis hinsichtlich des Auftretens der Echosignale verzeichnet werden. Systematische, über ein Jahr in Frederikshavn durchgeführte Untersuchungen lieferten über das zeitliche Auftreten der Echosignale sowie über ihre Stärke und besonders über die Art und Kennzeichen derselben umfangreiches Material. Abb. 2 zeigt bei Kurzwellensendern in USA., Japan und Südamerika die im Verlauf von 12 Monaten gewonnenen Aufzeich-

nungen über die Echos zu den einzelnen Tagesstunden. Da jeden halben Monat eine Zusammenstellung gemacht wurde, sind 24 Diagramme für 24 halbe Monate eingetragen. Für jedes Diagramm ist auf der Abszisse die Uhrzeit (MEZ.) aufgetragen; die Ordinate beurteilt die relative Stärke der Echosignale, geschätzt entsprechend den funkerischen Gepflogenheiten des *Fram*-Codes nach Lautstärke „1–5“. Die eingetragenen Kurven für die Echolautstärke stellen das Mittel von je 15 Tagen dar. Aus der Abbildung ist zu ersehen, daß die Echotätigkeit zu verschiedenen Tageszeiten auftritt, und man kann erkennen, daß hierbei die jeweilige Richtung des Dämmerungsgürt-

Bei Stationen in Argentinien und Brasilien wurden dagegen ausnahmslos nur die direkten Zeichen und die Erdumläufe derselben festgestellt. Bei Abendaufnahmen an japanischen Stationen trat sehr häufig die Eigentümlichkeit in Erscheinung, daß die Feldstärke des rückwärtigen Zeichens oftmals größer war als die des direkten Zeichens.

Ob diese seltsamen Erscheinungen tatsächlich auf ionosphärischen Gesetzmäßigkeiten beruhen, oder ob rein technische Dinge, wie beispielsweise „Richtantennen“ bei den Kurzwellensendern, als Ursache hierfür anzusprechen sind, konnte durch die Untersuchungen nicht geklärt werden.

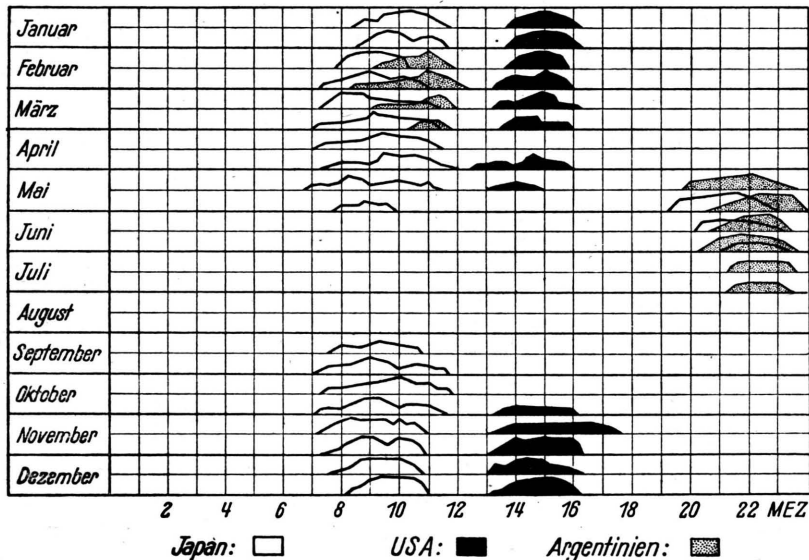


Abb. 2. Echotätigkeit in ihrer Abhängigkeit von den Jahres- und Tageszeiten.

tels maßgebend ist. So treten Echos während des Winterhalbjahres bei Ostasien und Südamerika stets vormittags und bei Nordamerika stets nachmittags in Erscheinung. Im Mai, Juni, Juli und August ereignete sich die Echotätigkeit bei Stationen aus Ostasien und Südamerika nur noch während einiger Nachtstunden. Im Mai allerdings bestand zur Übergangszeit bei Ostasien sowohl vormittags als auch abends Echotätigkeit.

Um frühere Ergebnisse von Mögel zu überprüfen, in denen zum Ausdruck kam, daß während der Nachtstunden des Sommerhalbjahres niemals rückwärtige Zeichen aufgetreten, sondern als Echosignale stets nur Erdumläufe festgestellt worden seien, wurden während der Nachtstunden der Monate Mai, Juni, Juli und August 1943 Zeichenaufnahmen bei Kurzwellenstationen in Ostasien und Südamerika durchgeführt. Die Untersuchungen ergaben bei mehr als 80 Einzelfällen, daß bei japanischen Stationen während der Sommernacht stets nur *rückwärtige* Echosignale zu verzeichnen waren und daß nur in zwei Fällen außer den rückwärtigen Zeichen auch die Erdumläufe des direkten Zeichens vorhanden waren.

b) Messungen an Funksignalen bei kommerziellen Telegraphie-Kurzwellensendern

Das Funksignal eines Kurzwellensenders im Frequenzbereich zwischen 10 und 20 MHz kann auf zwei Wegen vom Sender zum Empfänger gelangen, entweder auf dem direkten Großkreisweg, dann wird es in der vorliegenden Abhandlung *direktes Zeichen* benannt, oder das Zeichen gelangt auf dem gleichen Großkreis, aber in entgegengesetzter Richtung, zum Empfänger, dann nennt man es *indirektes* oder *rückläufiges Zeichen*. Außer diesen gibt es noch *Umläufe*. Falls das direkte Zeichen noch vollständig um die Erde herumläuft, wird es *direkter Umlauf* genannt. Läuft dagegen das indirekte Zeichen noch um die Erde herum, dann nennt man es *rückwärtigen Umlauf*. Es gibt ferner Fälle, jedoch treten sie seltener auf und setzen besonders gute Empfangsverhältnisse voraus, in denen ein Zeichen zwei- und dreimal um die Erde herumläuft.

Es läßt sich leicht eine Formel ableiten, nach der aus Laufzeitmessungen an Kurzwellensignalen eine

genaue Entfernungsbestimmung entfernter Kurzwellensender möglich ist. Sie lautet:

$$\frac{t_u - t_i}{t_u} = \frac{2d}{u},$$

wo t_u = Umlaufszeit (meßbar als Zeit zwischen dem Eintreffen des direkten Zeichens und des einmal direkt umgelaufenen Zeichens beim Empfangsort), t_i = Zeit zwischen dem Eintreffen des direkten und des rückläufigen Zeichens, d = Abstand Sender—Empfänger auf der Erdoberfläche, u = Erdumfang.

Setzt man $u = 40\,024$ km und $t_u = 0,137788$ sec, so ergibt sich:

$$d = \frac{40024}{2} \left(1 - \frac{t_i}{0,137788} \right) \text{ km}.$$

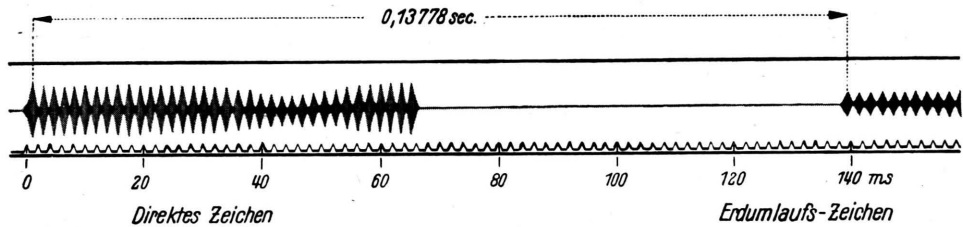


Abb. 3. Zeichen von LQB 2 — Monte Grande, Argentinien, 17 570 kHz.

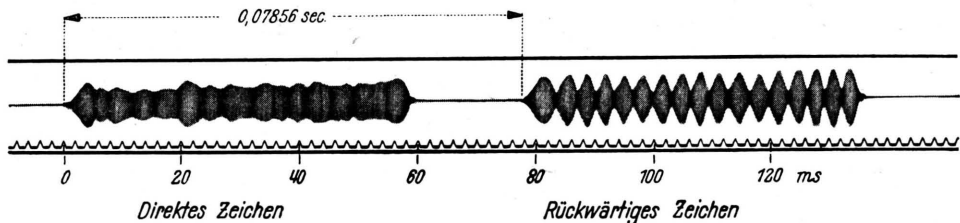


Abb. 4. Zeichen von JUP/JUD — Tokyo-Oyama, Japan, 13 065 kHz, Entfernung 8598 km.

c) Aufnahmen von Umlaufzeichen um die Erde

Läuft ein direktes Zeichen in seiner ursprünglichen Richtung um die Erde herum, dann trifft es nach der Laufzeit $t_u = 0,137788$ sec zum zweitenmal beim Empfänger ein. Dieser Wert stellt das arithmetische Mittel aus 218 gut vermeßbaren Umlaufswerten dar.

Die Abb. 3 zeigt die Filmstreifenaufnahme von direktem Zeichen und direktem Umlauf bei der südamerikanischen Station LQB 2, Monte Grande, Argentinien, auf 17 570 KHz. Der Sender ist stark durchmoduliert, wodurch eine genaue Vermessung der Laufzeiten wesentlich erleichtert wird.

Umfangreiche Untersuchungen haben ergeben, daß die Laufzeit t_u eine Konstante ist. Die Meßgenauigkeit hätte Abweichungen noch in der 5. Dezimalstelle erkennen lassen. Seltsamerweise hat es sich gezeigt, daß der t_u -Wert in keinem Falle von der Frequenz des Senders abhängig ist, wie zunächst vermutet wer-

den mußte, noch sich zu irgendwelchen Tages- oder Jahreszeiten verändert hat. Ebenso haben Untersuchungen, ob der t_u -Wert bei Echosignalen aus der Ost—West-Richtung gegenüber solchen aus der Nord—Süd-Richtung irgendwelche Abweichungen erkennen ließ, noch zu keinem — wohl außerhalb der Meßgenauigkeit liegenden — Ergebnis geführt.

d) Aufnahmen von rückläufigen Zeichen

Die Filmaufnahmen mit direkten und indirekten Kurzwellensignalen ermöglichen eine Entfernungsbestimmung entfernter Sender mit überraschender Genauigkeit. In der oben abgeleiteten Formel ist dabei lediglich der Wert der im Filmstreifen gemessenen Laufzeitdifferenz t_i zwischen dem direkten und dem rückläufigen Zeichen einzusetzen.

Die große Mehrzahl aller in Frederikshavn aufgenommenen Filmrollen zeigt direkte und rückläufige Zeichen. Es waren allein 47 verschiedene Kurzwellenstationen auf allen Erdteilen Gegenstand dieser Messungen. Die Messungen schließen Entfernungen zwischen 2000 und 17 000 km ein. Die Frequenzen der empfangenen Stationen lagen im Bereich zwischen 10 und 19 MHz.

Abb. 4 zeigt Signale von der japanischen Station JUP/JUD-Tokyo-Oyama auf 13 065 KHz. Es fällt dabei wohl besonders auf, daß das rückwärtige Zeichen mit etwas größerer Amplitude ankommt und auch schärfer gezeichnet ist, während beim direkten Zeichen die Modulation durch ein sogen. „Mehrweg-Phänomen“ verzerrt wird, d. h. das direkte Zeichen wird durch nahezu gleichzeitig, aber mit verschiedenen Phasen ankommende Signale geformt.

Abb. 5 stellt eine Aufnahme bei der nordamerikanischen Station WQL-New Brunswick (USA.) auf 14 815 KHz dar. Tab. 1 zeigt die Vermessungswerte

Laufzeit t_i sec	Gemessene Entfernung km	Fehler km
0.096000	6068	+ 16
0.096158	6045	- 7
0.096814	6091	+ 39
0.096154	6046	- 6
0.096080	6057	+ 5

Tab. 1. Entfernungsmessung an einer 6052 km entfernten nordamerikanischen Station am 12. März 1942 um 14^h40 MEZ.

eines etwa 10 m langen Filmstreifens dieser Station, auf dem sich fünf gut vermeßbare Stellen befinden.

e) Messungen an Mehrfachumläufen

Zum Zweck der genaueren Untersuchung von mehrfachen Erdumläufen wurden über die Kurzwellensender DLO — 19 947 KHz, DLN — 17 670 KHz, DLK — 15 075 KHz und DLJ — 13 925 KHz der Deutschen Reichspost Punktsignale in größeren zeitlichen Abständen gesandt.

Besonders gute Ergebnisse über solche mehrfachen Umläufe erbrachten die in Randers (Dänemark) durchgeführten Aufnahmen vom 19. Nov. 1944, 09^h00 bis 10^h00 MEZ., bei der Kurzwellenstation DLO-Rehmate auf 19 947 KHz. Es sei dabei erwähnt, daß dieser Sender eine Richtantenne nach Japan benutzte, wodurch die rückwärtigen Zeichen unterdrückt wurden.

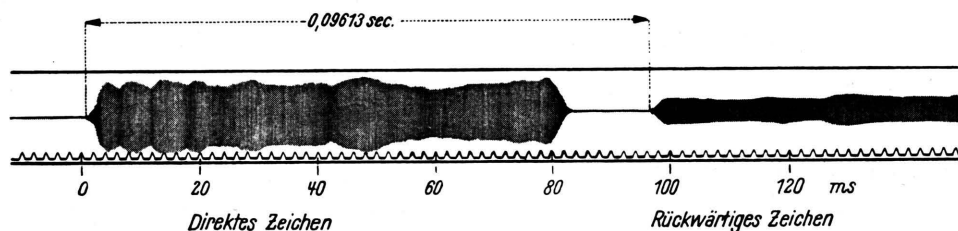


Abb. 5. Zeichen von WQL — New Brunswick, USA., 14 815 kHz, Entfernung 6052 km.

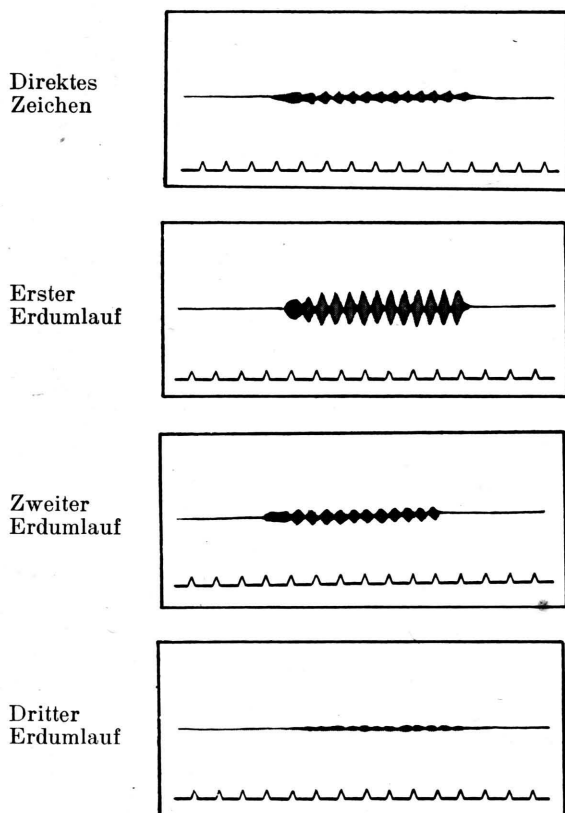


Abb. 6. Mehrfach-Umläufe um die Erde.

In Abb. 6 ist eine Filmaufnahme dieser mehrfachen Echos wiedergegeben. Die einzelnen Zeichen sind untereinander angeordnet, um so am besten verglichen werden zu können. Das Hauptzeichen, das bei nahen Stationen in mehrere, meist innerhalb kürzerer Laufzeiten nacheinander ankommende Einzelsignale zerlegt werden kann, zeigt nur geringe Feldstärke. (Diese Beobachtung wurde in der Regel bei allen Kurzwellensendern gemacht, die weniger als 1000 km vom Empfänger entfernt sind. Eine Entfernungsbestimmung gelang in solchen Fällen nur ganz selten.) Am stärksten ist der *erste* Umlauf. Der *zweite* Umlauf zeigt etwa noch ein Drittel der Feldstärke des ersten Umlaufes, und ebenfalls zeigt der *dritte* Umlauf ein Drittel der Feldstärke des zweiten Umlaufes. Der dritte Umlauf hat eine Entfernung von mehr als 120 000 km durchlaufen.

Es sei bemerkt, daß solche mehrfachen Erdumläufe nur unter besonders günstigen ionosphärischen Verhältnissen auf den Filmstreifen festgestellt wurden und meistens vor dem Eintreten ionosphärischer Störungen⁵ zu verzeichnen waren. Über zu erwartende ionosphärische Stürme, die oft für mehrere Tage Ausfälle bei der gesamten Kurzwellenübertragung zur Folge haben und die von erdmagnetischen Störungen begleitet werden, konnten hierdurch Voraussagen getroffen werden. Gleichzeitig mit den Störungen auftretende Nordlichter wurden oftmals von Frederikshavn aus beobachtet.

⁵ S. S. Kirby, N. Smith u. T. R. Gilliland, The nature of the ionosphere storm, *Physic. Rev.* **54**, 234 [1938].

f) Rechnerische Bestimmung des t_u -Wertes

Wenn die Großkreis-Entfernung zwischen Sender und Empfänger bekannt ist und die Laufzeitdifferenz zwischen direktem und indirektem Zeichen durch Messungen bestimmt werden kann, kann der t_u -Wert für jeden Fall berechnet werden, indem man die oben abgeleitete Formel nach t_u auflöst und die entsprechenden Werte einsetzt.

Diese Berechnungen wurden für 785 Werte durchgeführt und ergaben $t_u = 0,137767$ sec als Mittelwert, während bei 218 gemessenen Erdumläufen $t_u = 0,137788$ sec gefunden wurde. Dies entspricht einem Zeitunterschied von 0,000021 sec oder von 0,015 %.

3. Theoretischer Teil

Betrachtungen über die v. Schmidtsche Kopfwellentheorie

Prof. Dr. Oswald v. Schmidt verstarb am 28. März 1945 in Berlin-Gatow. Der Verfasser dieser Abhandlung hält es für seine Aufgabe, v. Schmidts wesentliche Ideen und Berechnungen weiterzugeben, nach denen eine ionosphärische Kurzwellenausbreitung durch die *Kopfwellentheorie* bewiesen werden soll.

Abb. 7 zeigt eine solche *Gleit- oder Kopfwellen*-Ausbreitung. Der vom Sender *S* nach der Ionosphäre aufsteigende Strahl pflanzt sich in einer ionosphärischen Grenzschicht mit konstanter Geschwindigkeit fort und streut beständig unter einem bestimmten Winkel⁶ aus dieser Schicht Energie nach der Erdoberfläche ab. Der

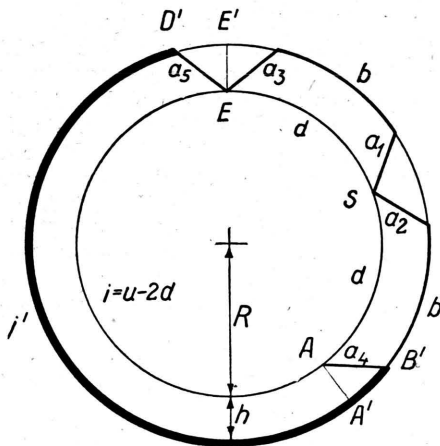


Abb. 7. Gleitwellenausbreitung um die Erde.

Direkter Weg: $a_1 + b + a_3$ Indirekter Weg: $a_2 + b + i' + a_5$

ionosphärische Weg: $a_1 + b + a_3$ vom Sender zum Empfänger entspricht dem entgegengesetzten Weg:

⁶ Von Kutowski u. Schüttlöffel bei Telefonen durchgeführte Messungen über Einfallswinkel bei entfernten Kurzwellensendern im Frequenzbereich zwischen 10 und 20 MHz ergaben Werte zwischen 15° und 22°.

$a_2 + b + a_4$ vom Sender bis zum Punkt A. Wenn das direkte Zeichen den Empfänger E erreicht hat, verweilt die nach der entgegengesetzten Richtung verlaufende Gleitwelle in der Nähe von A'. Sie läuft von dort nach D' weiter und erreicht den Empfänger

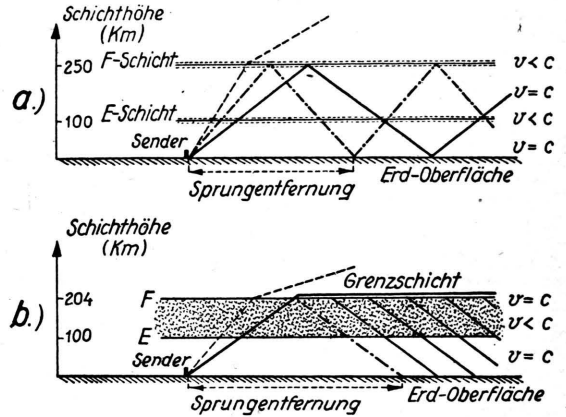


Abb. 8. Kurzwellenausbreitung.

a) Durch mehrfache Reflexionen,

b) durch Gleitwelle nach v. Schmidt.

E um die Laufzeit t_i später als das direkte Zeichen. Während der Zeit t_i wird also der Weg i' durchlaufen. Die Tatsache, daß die absteigenden und die aufsteigenden Strahlen a_1 , a_2 , a_3 und a_5 herausfallen, mag zur Erklärung der überraschenden Genauigkeit bei den gemessenen t_i - und t_u -Werten beitragen. Eine eventuelle Krümmung der Strahlen spielt keine Rolle.

Nimmt man nun an, daß sich die Radiowellen auf dem Kreis vom Radius $R + h$ mit Lichtgeschwindigkeit c fortpflanzen, so liefert die Beziehung:

$$\frac{R + h}{R} = \frac{c}{(u - 2d) / t_i} = \frac{c}{u / t_u}$$

die Möglichkeit der Berechnung der Schichthöhe h . Aus 785 guten Vermessungen von Filmstreifen ergab sich als Mittelwert:

$$w_i = \frac{u - 2d}{t_i} = 290515 \text{ km/sec}$$

und aus 218 gut vermeßbaren Erdumläufen:

$$w_u = u / t_u = 290476 \text{ km/sec.}$$

Dies gibt, zusammen mit $R = 6370$ km und $c = 299\,776$ km/sec in die Gleichung

$$h = R \left(\frac{c}{w_{i,u}} - 1 \right) \text{ eingesetzt:}$$

$$h = 203 \text{ km } (w_i) \text{ und } h = 204 \text{ km } (w_u).$$

Diese zwei aus verschiedenartigen Vermessungen stammenden Werte zeigen eine bemerkenswerte Übereinstimmung für die Höhe der ionosphärischen Grenzschicht.

O. v. Schmidt befaßte sich mit einer Gegenüberstellung von zwei möglichen Betrachtungen über eine ionosphärische Kurzwellenausbreitung, wie in Abb. 8a und 8b gezeigt wird. Gemäß der Theorie der *mehrfachen Reflexionen* zwischen Ionosphäre und Erdoberfläche — a — muß innerhalb der reflektierenden *E*-Schicht oder innerhalb der reflektierenden *F*-Schicht die Geschwindigkeit v kleiner sein als die Lichtgeschwindigkeit c . Zwischen diesen beiden Schichten und zwischen der *E*-Schicht und der Erdoberfläche ist $v = c$. Die Ausbreitung — b — ist als eine in einer ionosphärischen Grenzschicht verlaufende, beständig abstrahlende *Gleit- oder Kopfwelle* dargestellt. Diese Grenzschicht befindet sich 204 km über der Erdoberfläche. Die Geschwindigkeit v zwischen *E*- und *F*-Schicht ist kleiner als c . In der Grenzschicht und zwischen der Erdoberfläche und der *E*-Schicht ist $v = c$.

Nimmt man nach der Theorie der Radiowellenausbreitung durch mehrfache Zickzack-Reflexionen zwischen Ionosphäre und Erdoberfläche für die Höhe der reflektierenden *F*-Schicht 250 km an, wie sie auf Grund der Echolotung angenommen wird, so ergibt sich unter Berücksichtigung des t_u -Wertes von 0,137788 sec ein Abstrahlungswinkel von 3° gegen den Horizont. Tatsächlich liegen die von Kutowski und Schüttlöf fel gemessenen Werte zwischen 15° und 25° . v. Schmidt ist der Ansicht, daß bei der Echolotung an den Ionosphärenschichten niemals *Entfernungen*, wie z. B. *Schichthöhen*, gemessen werden können, sondern tatsächlich nur *Laufzeiten*.

Die Tatsache einer überraschend genauen Bestimmung der Entfernungen bei entfernten Kurzwellensendern, zusammen mit anderen experimentellen Befunden, gab v. Schmidt die Veranlassung, sie als Wellenausbreitung entlang einer Grenzschicht zwischen zwei Medien zu deuten. Derartige *Gleit- oder Kopfwellen* hatte v. Schmidt schon auf dem Gebiet der Erdseismik entdeckt.

4. Zusammenfassung und Folgerungen

Das hauptsächlichste Ergebnis dieser Untersuchungen offenbart sich in der wichtigen Tatsache, daß Entfernungsbestimmungen bei entfernten Kurzwellensendern im Bereich zwischen 10 und 20 MHz mit großer Genauigkeit möglich sind. Voraussetzung hierfür sind allerdings bestimmte Zustände in der Ionosphäre, die nur zu wenigen Tagesstunden erfüllt sind.

Wesentliche Punkte der wichtigsten Ergebnisse, denen nur experimentelle Erkenntnisse zugrunde liegen, seien in folgenden Abschnitten kurz zusammengefaßt:

1. Die Wiedergabe der *indirekten Zeichen, Umläufe* und der *mehrfachen Umläufe* auf den Filmstreifen ist von seltsamer Klarheit und Schärfe. Es sind dabei keine nennenswerten Verzerrungen durch sogen. *Mehr-*

weg-Phänomene festzustellen. *Indirekte Zeichen* und *Erdumläufe* sind außerdem wesentlich schärfer gezeichnet als die *direkten Zeichen*. Je größer die durchlaufene Entfernung eines Zeichens ist, desto schärfer ist es auf den Filmen gezeichnet. Größere Verzerrungen der *direkten Zeichen* traten nur bei solchen Stationen auf, deren Entfernung vom Beobachtungsort kleiner war als 1000 km. In diesen Fällen trat ein *Mehrweg-Phänomen* in Erscheinung, das durch in kurzen Zeitabständen mit verschiedenen Phasen eintreffende Signale verursacht wird.

2. Vergleiche zwischen den gemessenen Amplituden der *direkten Zeichen, indirekten Zeichen, direkten Umläufe, indirekten Umläufe* und besonders der *mehrfachen Umläufe* wurden angestellt. Dabei zeigte sich eine überraschend hohe Feldstärke, die hauptsächlich den *Umläufen* und *mehrfachen Umläufen* eigen ist. Amplitudenmessungen zwischen *direktem Zeichen* und *Umlauf* bei südamerikanischen Stationen ergaben, daß die Umläufe feldstärkemäßig im Mittelwert 20% des direkten Zeichens erreichten. Messungen zwischen *Umläufen* und *mehrfachen Umläufen* zeigten Werte bis zu 30%.

3. Zahlreiche Messungen und Untersuchungen über einen Zeitabschnitt von mehr als 3 Jahren ergaben für die Laufzeit des Kurzwellenumlaufes $t_u = 0,137788$ sec. Dieser Wert scheint ganz unabhängig zu sein von der Frequenz, ferner von der Tageszeit und der Jahreszeit. Auch traten keine Änderungen hinsichtlich der Laufzeit während des Verlaufes der 3 Jahre in Erscheinung. Veränderungen der gesamten Kurzwellenausbreitung, die entsprechend einer 11-jährigen Sonnenfleckenperiode eintreten, bewirken eine Verschiebung des Frequenzspektrums, innerhalb dessen die Kurzwellenechos auftreten, und zugleich eine Vergrößerung bzw. eine Verkleinerung der täglichen Echozeiten. Die Erdumlaufzeit bleibt jedoch als eine Konstante bestehen.

4. Nach der v. Schmidt'schen Theorie ergibt sich für die Umlaufschicht eine Höhe von 203 km über der Erdoberfläche. Nach der Theorie der Zickzack-Reflexionen ergibt sich bei einem t_u -Wert von 0,137788 sec und einer Schichthöhe von 250 km ein Abstrahlungswinkel der Radiowellen von 3° , während im Durchschnitt Winkel von 20° gemessen wurden.

Diese experimentell nachgewiesenen Tatsachen stehen in einem bemerkenswerten Widerspruch zu den Ergebnissen der Echolotung an den Ionosphärenschichten bei senkrechter Inzidenz. Die durch die Echolotungen gewonnenen allgemeinen Erkenntnisse wurden bisher auch auf eine Kurzwellenausbreitung über große Entfernungen angewandt. Die daraus entspringende Folgerung, daß diese durch mehrfache Zickzack-Reflexionen zwischen Ionosphäre und Erdoberfläche zustandekommen würde, kann auf Grund der Ergebnisse dieser Abhandlung nicht aufrecht erhalten werden.