

**Zeitschrift:** Pionier : Zeitschrift für die Übermittlungstruppen  
**Herausgeber:** Eidg. Verband der Übermittlungstruppen; Vereinigung Schweiz. Feld-Telegraphen-Offiziere und -Unteroffiziere  
**Band:** 41 (1968)  
**Heft:** 1

**Artikel:** Polarlicht als Rückstrahler ultrakurzer Wellen  
**Autor:** Lange-Hesse, G.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-560192>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.02.2025

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

## Polarlicht als Rückstrahler ultrakurzer Wellen

Berechnung verschiedener Eigenschaften dieses Phänomens unter Zugrundelegung eines theoretischen Modells und Vergleich der Ergebnisse mit Funkamateur-Beobachtungen

Dr. G. Lange-Hesse

Ein ähnliches wie in Fig. 9 gezeigte Beispiel zeigt Fig. 10. Die Rückstreuerkurven von allen während der in der Figur angegebenen Zeit beobachteten UKW-Polarlicht-Funkverbindungen sind in die Karte eingezeichnet zusammen mit der Lage des gleichzeitig beobachteten sichtbaren Polarlichtes. Wie zu ersehen ist, fällt von jeder dort eingetragenen Rückstreuerkurve mindestens ein Teil mit dem Polarlicht zusammen. In der Mehrzahl der Fälle fallen mehrere Teile der Kurve mit dem Polarlicht zusammen. In einem solchen Falle gibt es wie in Fig. 9 nicht nur eine günstige Richtung für die Richtantenne an Sende- und Empfangsort, sondern mehrere. Auch können im Falle einer so gross ausgedehnten Polarlichterscheinung wie in Fig. 10 an einer Station Polarlichtechos von den verschiedensten Stationen aus einem grossen Winkelbereich empfangen werden. So würde man z. B. im Falle Fig. 10 von Hamburg aus Polarlichtsignale aus einem Sektor von etwa WNW über Nord nach NO empfangen können. Zu der in Fig. 10 angegebenen Zeit war es unmöglich, UKW-Polarlicht-Funkverbindungen von Hamburg nach Oslo und Stockholm zu bekommen. Die Ursache dieser Erscheinung ist die Tatsache, dass die zugehörigen Rückstreuerkurven (Fig. 6 und 8) nördlicher liegen als das Polarlicht in Fig. 10, so dass kein Punkt der Kurven mit dem Polarlicht zusammenfallen konnte. Die in Fig. 9 dargestellten geophysikalischen Ereignisse wurden von einem erdmagnetischen Unruhe- oder Störungsgrad  $K_p = 7+$  begleitet (Näheres über die Bedeutung des  $K_p$ -Grades siehe [1], S. 310), die in Fig. 10 dargestellten Ereignisse von  $K_p = 8+$ . Das sichtbare Polarlicht liegt bei dem höheren  $K_p$ -Grad in Fig. 10 merklich südlicher als bei dem niedrigeren  $K_p$ -Grad in Fig. 9. Die Südwärts-Verlagerung des Polarlichtes

mit steigendem  $K_p$ -Grad geht daher deutlich aus Fig. 9 und 10 hervor.

Im Falle bewölkten Himmels ist eine optische Beobachtung des sichtbaren Polarlichtes nicht möglich. Aus einer grossräumigen Beobachtung von UKW-Polarlicht-Funkverbindungen (wie z. B. in Fig. 10) lässt sich jedoch aus der Lage der zugehörigen Rückstreuerkurven die ungefähre Lage des sichtbaren Polarlichtes sowie die südlichste Ausdehnung rekonstruieren, was vielfach von Bedeutung sein kann.

### Maximale Reichweite für UKW-Polarlicht-Funkverbindungen

Die drei in Fig. 11 eingezeichneten Kurven stellen die berechneten maximalen Reichweiten dar, die mit UKW-Polarlicht-Funkverbindungen von Hamburg (punktierte Kurve), Stockholm (gestrichelte Kurve) und Oslo aus gerade noch überbrückt werden können. Die Kurven gelten für eine Höhe der rückstreuenden Zentren von 110 km über dem Erdboden. Für die Berechnung der Kurven sind grundsätzlich nur solche Ausbreitungswege berücksichtigt, die die ideale Rückstreu bedingung erfüllen (Fig. 3, 4). In Ergänzung zu Fig. 11 zeigt Fig. 12 die berechneten Kurven maximaler Reichweiten für München für die beiden Höhen der rückstreuenden Zentren von 110 und 200 km. Mittels Radargeräten mit stark bündelnden Richtantennen (Halbwertsbreite  $1,2^\circ$ ) sind Höhen der Rückstreucentren von 200 km vereinzelt beobachtet worden (Näheres siehe Schrifttum in [7]). Die Punkte in Fig. 12 stellen

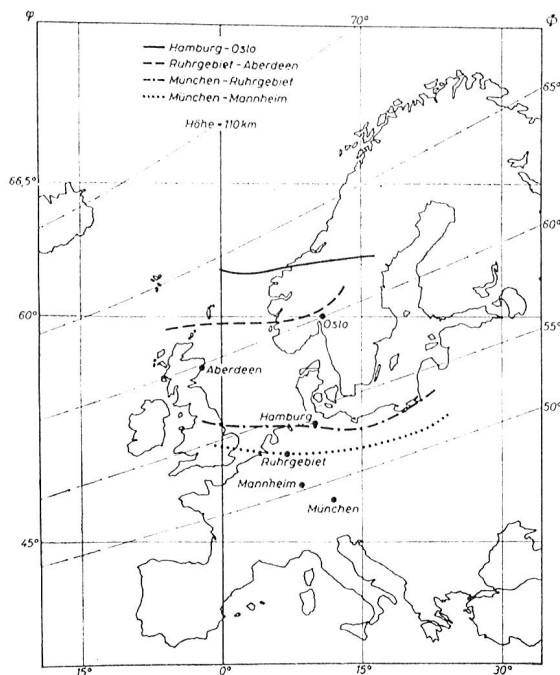


Fig. 8  
Karte von Europa mit eingezeichneten Rückstreuerkurven für die in der Figur verzeichneten Stationspaare.  $\Phi$ ,  $\varphi$  siehe Text Fig. 4. Nach [6].

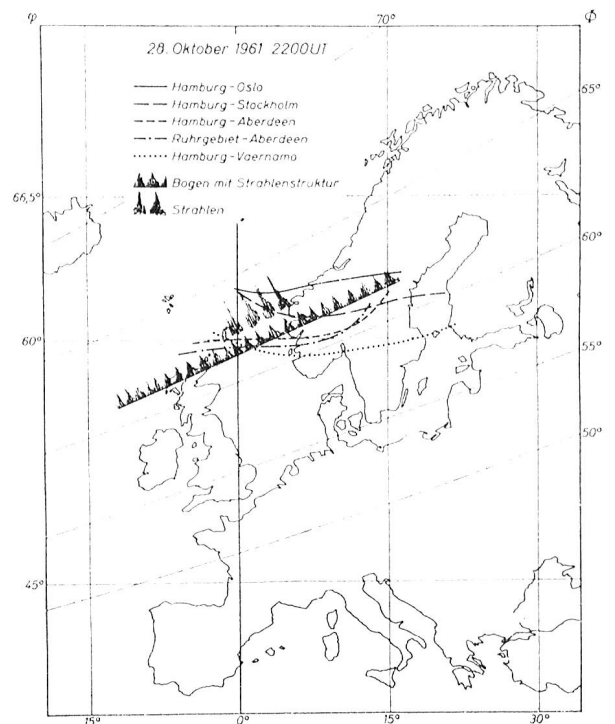


Fig. 9  
Karte von Europa mit der Lage des sichtbaren Polarlichtes zu dem in der Karte angegebenen Zeitpunkt und die Lage der Rückstreuerkurven für die gleichzeitig beobachteten UKW-Polarlicht-Funkverbindungen zwischen den oben aufgeführten Stationspaaren. Erdmagnetischer Störungsgrad  $K_p = 7+$ .  $\Phi$ ,  $\varphi$  siehe Text Fig. 4. Nach [6].

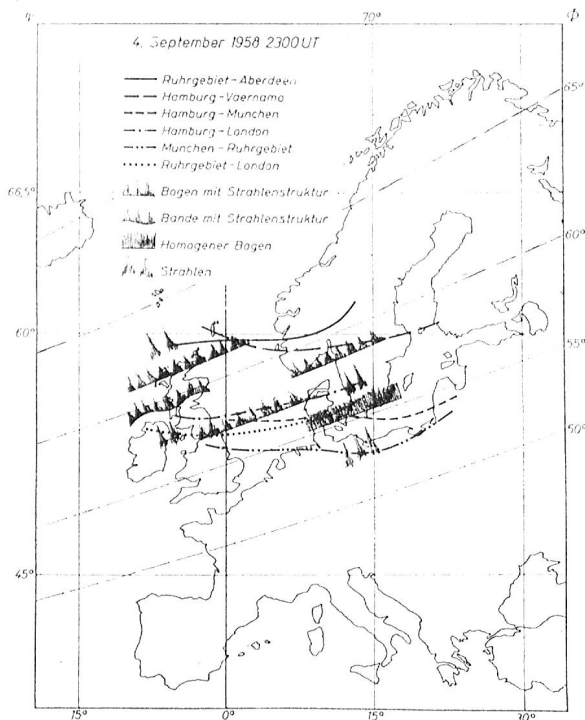


Fig. 10  
Ähnliche Darstellung wie in Fig. 9, jedoch für einen anderen in der Karte angegebenen Zeitpunkt. Erdmagnetischer Störungsgrad  $K_p = 8+$ . Nach [6].

den Ort von Amateur-Funkstationen dar, die von München aus mit UKW-Polarlicht-Funkverbindungen erreicht werden konnten. Einige dieser Stationen konnten von München aus mehr als einmal erreicht werden. Wenn diese wiederholten Verbindungen durch entsprechende statistische Gewichte berücksichtigt werden, so ergibt sich, dass 5% der gesamten Verbindungen mit Stationen durchgeführt wurden, die ausserhalb der Kurve maximaler Reichweite für 110 km liegen und 30% der Verbindungen mit ausserhalb der 200-km-Kurve (gestrichelte Kurve) gelegenen Stationen. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Kurve maximaler Reichweite für 110 km in erster Näherung gut mit den Beobachtungen übereinstimmt.

#### Schwankungen der maximalen Reichweite

##### Einfluss der Höhe der rückstreuenden Zentren

In Fig. 13 sind die Rückstreukurven für Verbindungen zwischen München und Hamburg eingetragen für die beiden Höhen der rückstreuenden Zentren von 110 und 200 km. Die Kurve für 200 km Höhe (gestrichelte Kurve) liegt merklich nördlicher als die für 110 km (ausgezogene Kurve). Die Kurve maximaler Reichweite für 200 km Rückstreuöhe (Fig. 12) zeigt jedoch geringere Reichweiten als die für 110 km. Der Grund dafür ist die Tatsache, dass der Ausbreitungswinkel  $\Omega$  (Fig. 3) mit zunehmender Höhe grösser wird. Dadurch wird es schwieriger, die ideale Rückstreubedingung  $\cos \Omega_0 + \cos \Omega_1 = 0$  mit zunehmender Rückstreuöhe für bestimmte Gebiete zu erfüllen. Diese Tatsache führt zu einer Verringerung der maximalen Reichweite mit zunehmender Höhe der Rückstreuozentren. Die Vergrößerung der maxima-

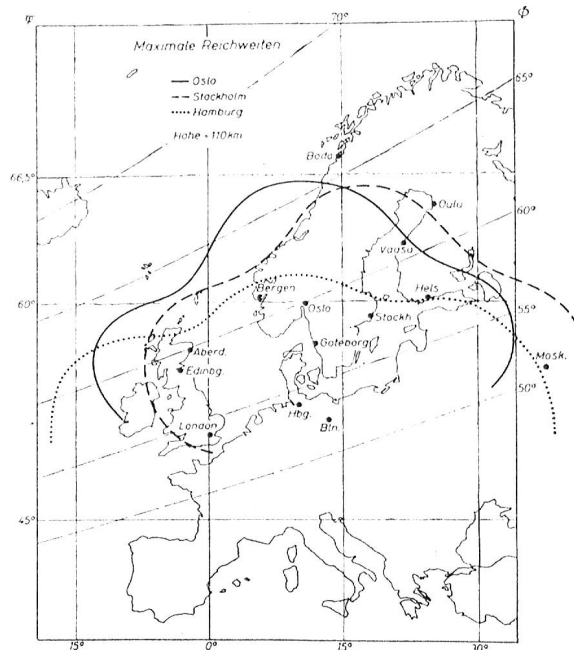


Fig. 11  
Karte von Europa mit berechneten Kurven maximaler Reichweiten, die mit UKW-Polarlicht-Funkverbindungen von Hamburg (punktierter Kurve), Stockholm (gestrichelte Kurve) und von Oslo (ausgezogene Kurve) aus gerade noch überbrückt werden können. Die Kurven gelten für eine Höhe der rückstreuenden Zentren von 110 km über dem Erdboden und nur für Ausbreitungswege, die die ideale Rückstreubedingung (Fig. 3 u. 4) erfüllen.  $\Phi, \varphi$  siehe Text Fig. 4. (Nach [6].

len Reichweite für 5% der Beobachtungen, die von München aus durchgeführt wurden (Fig. 12), kann daher nicht durch eine Zunahme der Rückstreuöhe erklärt werden.

Es ist bekannt, dass in mittleren Breiten die Polarlichthäufigkeit mit zunehmender geomagnetischer Breite zunimmt (siehe [1], S. 306. Fig. 2). Bei einer Polarlicht-Funkverbindung zwischen zwei festen Orten (z. B. Hamburg und München) verlagert sich bei Zunahme der Rückstreuöhe die Rückstreukurve nach Norden. Dadurch gelangt sie in Gebiete grösserer Polarlichthäufigkeit, was wiederum zu einer grösseren Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Polarlicht-Funkverbindungen führt. Das Ergebnis dieser Überlegung führt zu dem sonderbaren Tatbestand, dass eine Zunahme der Rückstreuöhe einer Verringerung der maximalen Reichweiten verursacht, jedoch gleichzeitig eine Zunahme der Wahrscheinlichkeit, UKW-Polarlicht-Funkverbindungen zu tätigen.

#### Einfluss von Schwankungen der erdmagnetischen Inklination

Alle in den vorstehenden Figuren gezeigten Ausbreitungs- und Rückstreukurven sowie Kurven maximaler Reichweite sind unter der Annahme eines ungestörten Erdmagnetfeldes berechnet oder für den «statischen Fall». Es ist jedoch bekannt, dass die Richtung der erdmagnetischen Feldlinien während stärkerer Störungen (auch erdmagnetische Stürme genannt) um einige Winkelgrade vom ungestörten Verlauf abweichen kann, d. h. mit anderen Worten, die erdmagnetische Inklina-

tion (Fig. 3) schwankt. Schwankungen von  $3^\circ$  bis  $4^\circ$  sind bei sehr starken erdmagnetischen Stürmen beobachtet worden. Derartige Inklinationsschwankungen können bewirken, dass zwischen zwei Stationen, für die der Ausbreitungsweg im ungestörten, statischen Fall nicht die ideale Rückstreubedingung erfüllt, diese durch eine vorübergehende Inklinationsschwankung für beschränkte Zeit erfüllt wird, d. h., es kommt in diesen Fällen eine Verbindung zwischen Stationen zustande, die im Falle eines ungestörten Magnetfeldes nicht möglich ist. Ein Beispiel dafür ist in Fig. 12 die Verbindung München–Aberdeen. Aberdeen liegt etwa 250 km nördlich der Kurve maximaler Reichweite für den statischen Fall. Eine nähere Rechnung ergibt, dass eine Inklinationsschwankung von nur etwa  $1^\circ$  erforderlich ist, damit die ideale Rückstreubedingung für den Ausbreitungsweg München–Aberdeen erfüllt wird. Da zum Zeitpunkt der Verbindung München–Aberdeen ein starker erdmagnetischer Sturm herrschte, könnte das Zustandekommen dieser Verbindung so erklärt werden. Darüber hinaus kann allgemein gesagt werden, dass sich die Kurven maximaler Reichweiten (Fig. 11 und 12) im Falle starker erdmagnetischer Stürme durch Inklinationsschwankungen um Grössenordnung 300 km verschieben können.

#### Einfluss meteorologischer Überreichweiten

Die Berechnung der in den vorstehenden Abbildungen gezeigten Ausbreitungswege für UKW-Polarlicht-Funkverbindungen ist unter der Voraussetzung gradliniger Wellenausbreitung in der Atmosphäre durchgeführt worden. Für Frequenzen

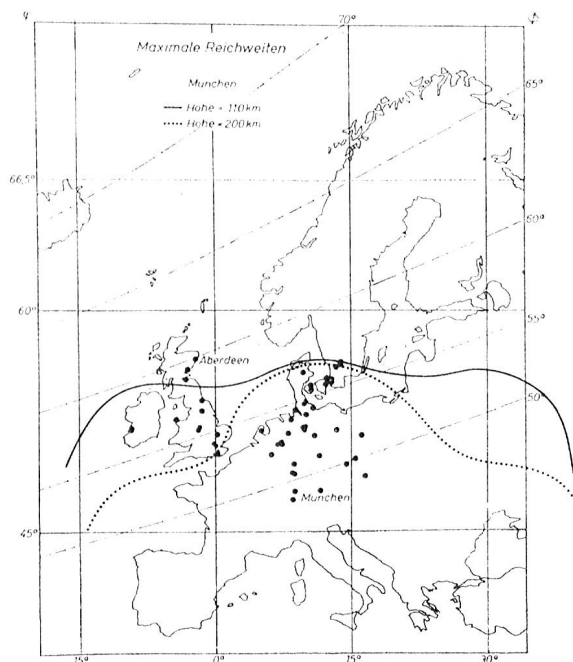


Fig. 12 Ähnliche Kurven wie in Fig. 11, jedoch berechnet für München für die zwei Höhen von 110 km und 200 km für die rückstreuenden Zentren. Die eingezeichneten Punkte stellen die Lage von Amateurfunkstationen dar, die von München aus über UKW-Polarlicht-Funkverbindungen erreicht werden konnten,  $\Phi$ ,  $\varphi$  siehe Text Fig. 4. Nach [6].

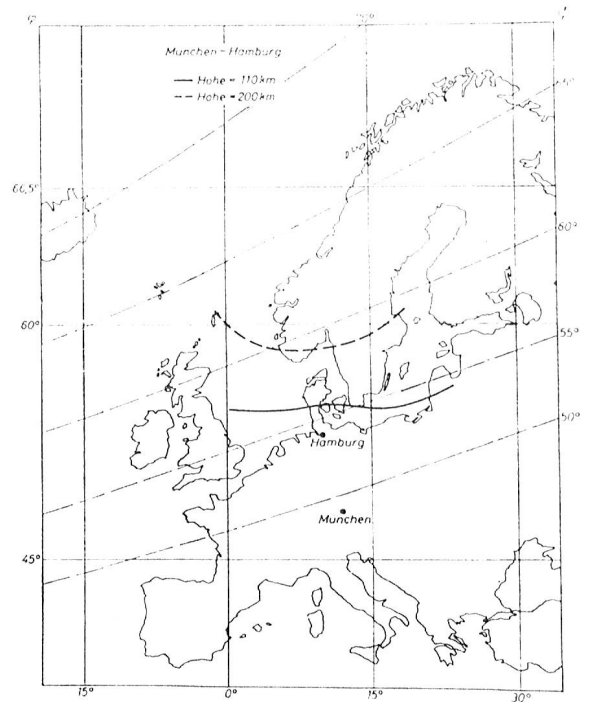


Fig. 13 Lage der Rückstreukurven (beschrieben in Fig. 4) für UKW-Polarlicht-Funkverbindungen zwischen Hamburg und München für die zwei Höhen der rückstreuenden Zentren von 200 km (gestrichelte Kurve) und 110 km (ausgezogene Kurve).  $\Phi$ ,  $\varphi$  siehe Text Fig. 4. Nach [6].

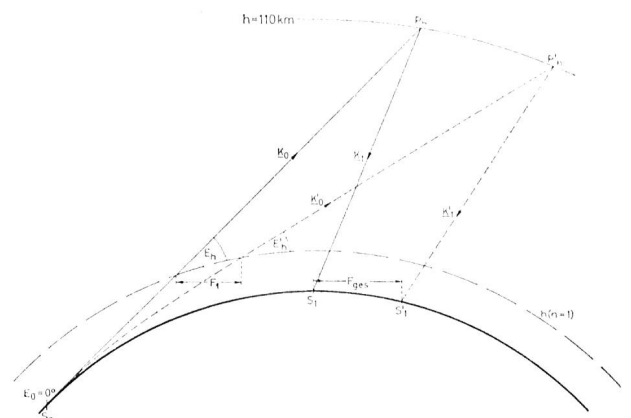


Fig. 14 Querschnitt durch die Erde mit der Geometrie des Strahlenganges in vertikaler Richtung für UKW-Polarlicht-Funkverbindungen von  $S_0$  über  $P_1$  nach  $S'_1$  im Falle der Krümmung des Ausbreitungsweges in der unteren Atmosphäre (Troposphäre).  $F_{ges}$  = Vergrößerung der Reichweite durch radio-meteorologische Einflüsse. Erklärung der anderen Abkürzungen siehe Text Fig. 3. Nach [6].

oberhalb 30 MHz muss jedoch in speziellen Fällen der brechende Einfluss der Atmosphäre für niedrige Erhebungswinkel  $E$  (Fig. 3) berücksichtigt werden. Im Normalfall ist in der unteren Atmosphäre (etwa 0 bis 8 km Höhe) die Temperatur und Feuchtigkeit schon derartig geschichtet, dass der Weg der Welle in dieser Region eine schwache Krümmung Richtung Erdoberfläche beschreibt (gestrichelter Weg in Fig. 14). Im Falle eines Erhebungswinkels  $E_0 = 0^\circ$ , der in Fig. 14 angenommen ist, führt diese Krümmung zu einer Vergrößerung der maximalen Reichweite von  $F_{ges} \approx 100$  km. Die speziellen meteorologischen Daten der Atmosphäre zu dem Zeitpunkt, an dem die Verbindung München–Aberdeen durchgeführt wurde, ergeben nach der Rechnung eine Vergrößerung der maximalen Reichweite von  $F_{ges} = 140$  km. Eine Verschiebung der Kurve maximaler Reichweite für 110 km Rückstreuhöhe in Fig. 12 um 140 km nach Norden schliesst noch nicht alle eingetragenen Punkte ein, da z. B. Aberdeen etwa 250 km nördlich der Kurve liegt. Die vorstehend durchgeführten Überlegungen zeigen, dass die Schwankungen der erdmagnetischen Inklination von allen diskutierten Einflüssen die grössten Variationen der maximalen Reichweite verursachen.

Die in Fig. 11 und 12 gezeigten maximalen Reichweitekuren sind für den Fall horizontaler Abstrahlung ( $E = 0$ , Fig. 3 und 14) berechnet worden. Wie vorstehend genannt, führt schon im Normalfall (auch Fall der Standard-Atmosphäre genannt) die Schichtung von Temperatur und Feuchtigkeit durch Krümmung des Ausbreitungsweges zu einer Vergrößerung der maximalen Reichweite  $F_{ges} \approx 100$  km (Fig. 14). Diese Vergrößerung der Reichweite durch Krümmung des Ausbreitungsweges in der Standard-Atmosphäre ist bei den Kurven in Fig. 11 und 12 nicht berücksichtigt. Andererseits ist jedoch zu sagen, dass der Grenzfall horizontaler Abstrahlung ( $E = 0$ ) nur in den seltensten Fällen verwirklicht werden kann und in der Mehrzahl ein Erhebungswinkel grösser Null vorliegt, was wiederum eine Verringerung der maximalen Reichweite verursacht. In erster Näherung dürfte sich die Vergrößerung der Maximalreichweite durch Einfluss der Standardatmosphäre und die Verringerung der Maximalreichweite durch Nichtrealisierbarkeit horizontaler Abstrahlung gegenseitig kompensieren, so dass die in Fig. 11 und 12 gezeigten Kurven etwa die Verhältnisse für den Fall eines ungestörten Magnetfeldes und den Fall der Standardatmosphäre in ausreichender Näherung darstellen.

**Neuere Vorstellungen über die Entstehung der rückstreuenden Zentren im Bereich der Polarlichter. Plasma-akustische Wellentheorie**

Vor einigen Jahren sind auf Grund der Ergebnisse der modernen Plasmaphysik neuere Vorstellungen entwickelt worden über das Zustandekommen der ultrakurzen Wellen rückstreuenden Zentren im Bereich der Polarlichter. Ausgegangen wird dabei von dem elektrischen Strom, der in der Ionosphäre in etwa 100–120 km Höhe (also in der Höhe, in der auch am häufigsten die sichtbaren Polarlichter auftreten) entlang der maximalen Polarlichtzone (siehe [1], S. 306, Abb. 2) fliesst. Dieser Strom, der nachfolgend polarer Elektrojet genannt werden soll, fliesst vom Mittag bis zum frühen Abend in westöstlicher und vom frühen Abend bis zum Mittag in entgegengesetzter, also in ostwestlicher Richtung. Der Elektrojet tritt

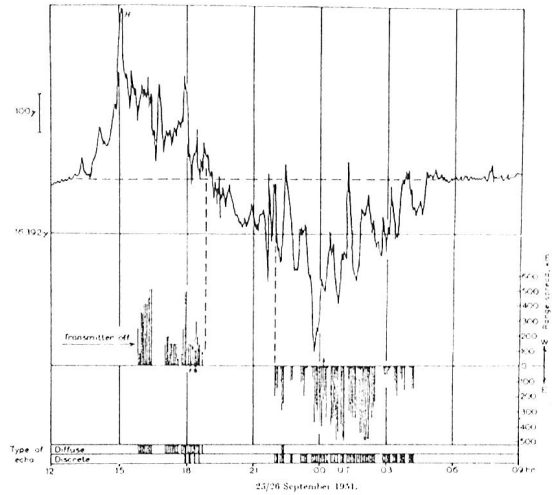


Fig. 15 Tageszeitlicher Gang in der erdmagnetischen Störung und dem Auftreten von Polarlicht-Radarechos auf 72 MHz in Jodrell Bank bei Manchester (England). Die oberste Darstellung zeigt die Variation der Horizontalenkomponente H des erdmagnetischen Feldes in Eskdalemuir (Schottland). Die horizontale gestrichelte Linie stellt näherungsweise den ungestörten Wert dar und ist gleichzeitig Nulllinie für die Variationen. Positive Abweichungen von der Nulllinie sind nach oben aufgetragen.  $10^{-7} \gamma = 1$  Gauss =  $10^{-1}$  Voltsec/m<sup>2</sup>. Die Darstellung unmittelbar unter den Variationen beschreibt das Auftreten von Polarlicht-Radarechos. «Range spread» bedeutet das Intervall (nicht die absolute Entfernung), aus dem Echos auftraten. Von der horizontalen Basislinie nach oben aufgetragene Striche bedeuten, dass sich die Rückstreuungszentren nach Westen (W) bewegt haben (Direction of motion), bei Bewegung nach Osten (E) sind die Striche entsprechend nach unten aufgetragen. «Transmitter off» bedeutet: Sender abgeschaltet. Die unterste Darstellung enthält Angaben über den Typ der Radarechos (Diffuse, Discrete). Nach [8].

nur dann auf, wenn ein stärkerer Einfall solarer Partikel- oder Teilchen-Strahlung in die polare Ionosphäre stattfindet, der auch gleichzeitig Polarlicht hervorruft. Das Magnetfeld des Elektrojets überlagert sich dem konstanten Erdmagnetfeld und führt so am Erdboden zu den erdmagnetischen Störungen. In Fig. 15 ist im oberen Teil die Registrierung der zeitlichen Variation der horizontalen (H) Komponente des erdmagnetischen Feldes aufgetragen von dem erdmagnetischen Observatorium Eskdalemuir (Schottland) nahe der Polarlichtzone. Eine derartige Registrierung wird Magnetogramm genannt. Die Horizontalenkomponente (H) des erdmagnetischen Feldvektors zeigt in erster Näherung in Richtung Norden und wird nach Norden positiv gezählt. In dem Magnetogramm der Fig. 15 sind positive Abweichungen nach oben aufgetragen. Am 25. September 1951 (Fig. 15) beginnt kurz nach 12.00 GMT (= UT) der Elektrojet sich auszubilden. Der Tageszeit entsprechend fliesst er westöstlich. Das den Strom umgebende Magnetfeld hat in diesem Fall am Erdboden direkt unter dem Strom (nach der dafür geltenden Gesetzmässigkeit) nördliche Richtung, führt also zu einer Zunahme der H-Komponente, so dass in dem Magnetogramm der Fig. 15 positive (nach oben

gerichtete) Abweichungen auftreten. Kurz nach 15.00 GMT tritt die grösste Abweichung in H auf, der Elektrojet hat zu dieser Zeit die höchste Stromstärke. Gegen 19.00 GMT findet die Richtungsumkehr des Elektrojets statt, der von diesem Zeitpunkt an in ostwestlicher Richtung fliesst. Die Abweichungen in H sind daher jetzt negativ (nach unten gerichtet). Gegen morgen verschwindet der Elektrojet wieder, und die Ausschläge im Magnetogramm gehen auf den ungestörten Wert, gleichzeitig Nulllinie für die Variationen (gestrichelte waagerechte Linie in Fig. 15), zurück. Die erdmagnetische gestörte Phase geht in Fig. 15 von kurz nach 12.00 h bis gegen 05.00 h morgens.

In der Darstellung unterhalb des Magnetogramms in Fig. 15 ist das Auftreten von Polarlicht-Radarechos auf 72 MHz in Jodrell Bank bei Manchester (England) aufgetragen. Die Länge der senkrechten Striche gibt das Entfernungsintervall an (nicht die absolute Entfernung), aus dem Polarlichtechos empfangen wurden. Von der Basislinie nach oben aufgetragene Striche bedeuten, dass sich die Rückstreuzentren nach Westen bewegt haben und entsprechend nach Osten (E) bei nach unten aufgetragenen Strichen. Dem aufmerksamen Leser wird auffallen, dass sich die Rückstreuzentren entgegengesetzt wie die Richtung des Elektrojets bewegen. Die Stromrichtung des Elektrojets wird laut Definition nach der Richtung der positiven Ladungsträger bestimmt. Die Rückstreuzentren werden jedoch durch die Elektronen (negative Ladungsträger) dargestellt, die sich in entgegengesetzter Richtung wie die positiven Ladungsträger bewegen.

In Fig. 15 ist der Sender des Radargerätes bis etwa 16.00 h abgeschaltet (Transmitter off). Beim Einschalten des Senders werden sofort Polarlichtechos beobachtet, die mit kurzen Unterbrechungen bis gegen 19.00 h andauern. Kurz nach dem Aussetzen der Echos tritt die Richtungsumkehr des Elektrojets ein (Nulldurchgang im Magnetogramm). Die Echos setzen erst wieder ein, wenn die negative Abweichungen des Magnetogramms eine Amplitude von knapp  $200 \gamma$  erreichen ( $10^5 \gamma = 1 \text{ Gauss} = 10^{-1} \text{ Voltsec/m}^2$ ). Fig. 16 zeigt eine

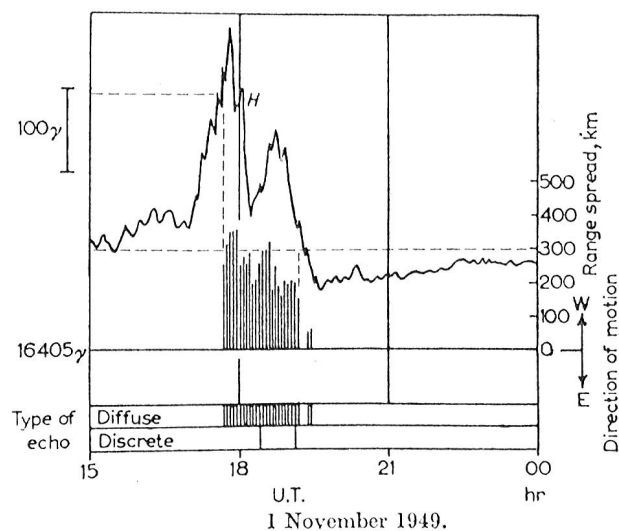


Fig. 16  
Gleiche Darstellungsart wie in Fig. 15, jedoch für den 1. Nov. 1949. Nach [8].

ähnliche Darstellung wie Fig. 15, jedoch für den 1. Nov. 1949. Auch in diesem Beispiel setzen die Polarlichtechos erst ein, wenn im Magnetogramm die positiven Abweichungen einen Wert von etwa  $200 \gamma$  erreicht haben. Die Stromstärke des polaren Elektrojets muss also erst einen bestimmten Schwellwert überschritten haben (der einem bestimmten Ausschlag im Magnetogramm entspricht), bevor die Polarlichtechos einsetzen. Der gleiche Schwellwert-Effekt ist auch in Fig. 17 zu sehen. Dort ist in der untersten Darstellung die Häufigkeit des Auftretens von UKW-Polarlicht-Funkverbindungen (Anzahl der Verbindungen = Number of Contacts) aufgetragen nach Funkamateurbesichtigungen am 28./29. Okt. 1961. Über dieser Darstellung sind die Magnetogramme für die H-Komponente für den gleichen Zeitraum von den Observatorien Rude Skov (bei Kopenhagen), Lovö (bei Stockholm), Eskdalemuir (Schottland) und Lervick (Shetland-Inseln) aufgetragen. Die Rückstreukskurven (Fig. 4 bis 8) für die in der untersten Darstellung von Fig. 17 benutzten Polarlicht-Verbindungen liegen im wesentlichen über Südkandinavien. Die Observatorien Rude Skov und Lovö liegen daher den Rückstreukskurven am nächsten. Der Schwellwert des Elektrojets wird in Fig. 17 mit dem Einsetzen der Verbindungsmöglichkeit gegen 13.00 GMT erreicht. Die Amplitude des H-Magnetogramms von Lovö hat zu diesem Zeitpunkt einen Betrag von über  $200 \gamma$ .

Nach den Vorstellungen der modernen Plasmaphysik tritt bei dem polaren Elektrojet beim Überschreiten des Schwellwertes eine «Zweistrom-Instabilität» (auch «Plasma-Instabilität» genannt) auf, die akustische Wellen in dem Ionosphärenplasma hervorruft und die daher «plasma-akustische Wellen» genannt werden. Es wird nun angenommen, dass diese plasma-akustischen Wellen die unmittelbare Ursache der Elektronendichte-irregularitäten (Rückstreukskurven) sind (Schriftums-hinweise auf diese Theorie siehe [7]). Das heisst mit anderen Worten, um UKW-Polarlicht-Rückstrahlungen zu bekommen, müssen nicht nur Polarlichter vorhanden (Fig. 9 und 10) und die geometrischen Bedingungen erfüllt sein (Fig. 1 oder 3, 4 und 5), sondern der das Polarlicht begleitende Elektrojet muss auch einen bestimmten Schwellwert in der Stromstärke erreicht haben, damit sich die Rückstreukskurven ausbilden können.

Das in Fig. 17 unten deutlich erkennbare Häufigkeitsminimum in den frühen Abendstunden (etwa 19.30 GMT) tritt auch im durchschnittlichen Tagesgang auf (siehe [1], S. 307, Fig. 4). Der Nulldurchgang im Tagesgang der H-Komponente im Falle erdmagnetischer Störungen, der auf die Richtungsumkehr des Elektrojets hinweist (Fig. 15), fällt etwa mit der Zeit dieses Häufigkeitsminimums zusammen. Der Elektrojet hat in diesem Stadium eine Stromstärke von Null oder nahe Null, d. h. die Stromstärke liegt unter dem notwendigen Schwellwert, so dass sich keine Rückstreukskurven ausbilden können. Die Ionisation in der Ionosphäre ist dann in grossen Bereichen homogen, die zwar nach wie vor eine Totalreflexion von Kurzwellen ermöglicht, jedoch keine Rückstreuung ultrakurzer Wellen in dem Masse, dass man mit geringen Sendeleistungen (50...100 W) und einfachen Richtantennen Polarlicht-Funkverbindungen im 2-m-Band durchführen kann.

Ein genaueres Studium des Ein- und Aussetzens der Polarlicht-Rückstreuungen in den Fig. 15, 16 und 17, sowohl bei den positiven und negativen Abweichungen in den Magnetogrammen lässt erkennen, dass die Rückstreuungen bei einem

bestimmten H-Ausschlag (Schwellwert) einsetzen, jedoch bei einem wesentlich geringeren Ausschlag erst wieder aussetzen. Es tritt also keine Art Hysteresis-Wirkung auf, wie man sie beim Ferromagnetismus kennt. Dieser Hysteresis-Effekt bewirkt, dass das abendliche Häufigkeitsminimum zeitlich etwas später fällt als der Nulldurchgang im H-Magnetogramm. Das ist gut in Fig. 17 zu erkennen und z. T. auch in Fig. 15.

Das in Fig. 17 gezeigte Beispiel stellt erneut den hohen wissenschaftlichen Wert der Funkamateurbesichtigungen unter Beweis. Es sind dort allein aus Funkamateurbesichtigungen von einem einzigen Tage nicht nur der Schwellwert-Effekt beim Einsetzen der Verbindungsmöglichkeiten zu erkennen, sondern auch die Hysteresis-Wirkung beim Wieder-Aussetzen und die dadurch bedingte Zeitverschiebung (etwa eine Stunde) zwischen dem Nulldurchgang der Magnetogramme und dem Häufigkeitsminimum in den frühen Abendstunden. Gegen

15.00 h geht in den Magnetogrammen (Fig. 17) der Ausschlag vorübergehend sehr stark zurück (bis unter den Schwellwert beim Einsetzen der Verbindungen gegen 13.00 h), offenbar bedingt durch eine Verringerung der Stromstärke des Elektrojets oder durch eine Nordwärtsverlagerung. Die Zahl der Verbindungen geht zu diesem Zeitpunkt ebenfalls vorübergehend stark zurück.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Ergebnisse in Fig. 17 geradezu einen Triumph der Amateurfunk-Besichtigungen darstellen. Allen Funkamateuren, die sich bislang an der Beobachtung und Mitteilung von UKW-Polarlicht-Funkverbindungen beteiligt haben, sei daher an dieser Stelle nochmals bestens gedankt. Obwohl die plasma-akustische Wellentheorie viele Eigenschaften der Rückstrahlung ultrakurzer Wellen an Polarlichtern erklären kann und man damit in der theoretischen Deutung ein gutes Stück weitergekommen ist, bleiben jedoch noch viele Probleme über, zu deren Lösung die Funkamateure durch Beobachtungen weiterhin beitragen können, so dass eine Fortsetzung der bisherigen Beobachtungstätigkeit von wissenschaftlicher Seite sehr begrüsst würde. Der wissenschaftliche Wert der Amateurfunkbesichtigungen liegt weniger in einer Einzelbesichtigung, sondern mehr darin, dass eine grössere Anzahl Besichtigungen gleichzeitig durchgeführt werden. Diese Notwendigkeit dürfte überzeugend die Fig. 17 bestätigen; denn die dort gezeigten Ergebnisse wären sicherlich nicht zu erkennen gewesen, wenn nur wenige Einzelbesichtigungen vorgelegen hätten.

(Schluss)

#### Literatur:

- [1] Lange-Hesse, G., «Ergebnisse der UKW-Polarlicht-Besichtigungen deutscher Funkamateure im IGJ/IGK», DL-QTC [1961], Heft 7, 305—312.
- [2] Lange-Hesse, G., «Weitere Ergebnisse der UKW-Polarlichtbesichtigungen deutscher Funkamateure von 1957 bis 1961», DL-QTC [1962], Heft 3, 117—120, Heft 4, 160—163.
- [3] Lange-Hesse, G., «Analyse der Ausbreitungsbedingungen für UKW-Polarlicht-Funkverbindungen — Einfluss des erdmagnetischen Störungsgrades auf die Verkehrsmöglichkeiten in verschiedenen nord-südwärts gestaffelten Beobachtungszonen», DL-QTC [1964], Heft 8, 452—463.
- [4] Lange-Hesse, G., «Deutsche Polarlichtbesichtigungen 1957—1962, Teil A: Polarlicht-Besichtigungen mittels ultrakurzer Wellen (Besichtigungen während des Internationalen Geophysikalischen Jahres und der anschliessenden Zeit 1957—1962), Teil B: Besichtigungen sichtbaren Polarlichts (Besichtigungen im Anschluss an das Internationale Geophysikalische Jahr in der Zeit von 1960—1961)», Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse, Beiträge zum Internationalen Geophysikalischen Jahr, Heft 10; Göttingen, Verlag Vandenhoeck und Ruprecht [1963].
- [5] Lange-Hesse, G. and Czechowsky, P., «V.H.F. Bistatic Aurora Backscatter Communications and the Relation to the Location of the Visual Aurora Displays», Archiv der elektrischen Übertragung (A. E. U.) 19 [1965], 511—514.
- [6] Lange-Hesse, G. and Czechowsky, P., «V.H.F. Bistatic Aurora Backscatter Communications-Comparison of the Observations with the Theory», Archiv der elektrischen Übertragung (A. E. U.) 20 [1966], 365—373.
- [7] Lange-Hesse, G., «Radio Aurora, Part I: Observations, Part II: Comparison of the Observations with a Theoretical Model», in Aurora and Airglow, herausgeg. von B. McCormac, Veröffentlichung der Vorträge des Aurora- und Airglow-Symposiums in Keele, England, August 1966, Verlag: Reinhold Publishing Company, New York 1967.
- [8] Bullough, K., Davidson, T. W., Kaiser, T. R., and Watkins, C. D., «Radio reflections from aurora — III, The associations with geomagnetic phenomena», J. Atmosph. Terr. Phys. 11 [1957], 237—254.

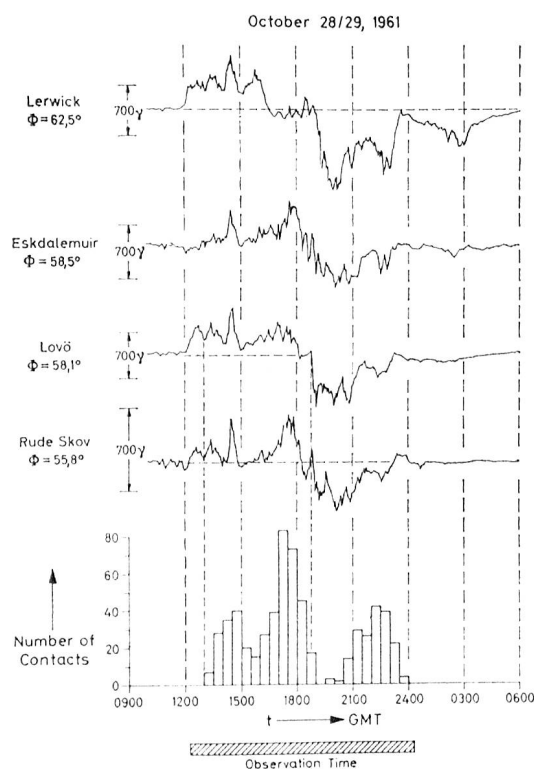


Fig. 17

Tageszeitlicher Gang in der erdmagnetischen Störung (Horizontalkomponente H des erdmagnetischen Feldes wie in Fig. 15 und 16) an vier europäischen Observatorien: Lerwick (Shetland-Inseln), Eskdalemuir (Schottland), Lovö (nahe Stockholm) und Rude Skov (nahe Kopenhagen).  $\Phi$  = geomagnetische Breite. Die horizontalen gestrichelten Linien stellen (wie in Fig. 15 und 16) näherungsweise den ungestörten Wert dar und sind gleichzeitig Nulllinien für die Variationen. Positive Abweichungen sind wie in Fig. 15 und 16 nach oben aufgetragen. Die unterste Darstellung stellt die Häufigkeit des Auftretens von Polarlicht-Funkverbindungen (Number of Contacts) dar nach Funkamateurbesichtigungen im 144-MHz-Band am 28./29. Okt. 1961. «Observation Time = Beobachtungszeit ist der Zeitraum, in dem Funkamateure nachweislich betriebsbereit waren.