

Werk

Jahr: 1970

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 Z NAT 2148:36

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0036

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0036

LOG Id: LOG_0023

LOG Titel: Simultane Beobachtungen verschiedener ionosphärischer Phänomene während des erdmagnetischen Sturmes vom 31. Oktober bis 2. November 1968

LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN101433392X

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

Simultane Beobachtungen verschiedener ionosphärischer Phänomene während des erdmagnetischen Sturmes vom 31. Oktober bis 2. November 1968

Simultaneous observations of various ionospheric phenomena during the geomagnetic storm of October 31 to November 2, 1968

Von P. CZECHOWSKY, H. KOCHAN, G. LANGE-HESSE, H. LAUCHE und
H. G. MÖLLER, Lindau/Harz¹⁾

Eingegangen 1. August 1969

Zusammenfassung: Zu Zeiten starker erdmagnetischer Stürme treten vornehmlich in der Ionosphäre polarer Breiten neben sichtbaren und subvisuellen Polarlichtern sogenannte Radio-Polarlichter auf. Diese Radio-Polarlichter sind Inhomogenitäten der Elektronendichte, die in charakteristischer Weise Radiowellen vom HF-(3—30 MHz) bis zum UHF-Bereich (300—3000 MHz) streuen. Mit einer im Herbst 1967 fertiggestellten Kette von Sende- und Empfangsstationen wurden erstmals während des Magnetsturmes vom 31. 10.—2. 11. 1968 Rückstreuechos von Radiopolarlichtern registriert. Die Beobachtungsfrequenzen reichten vom HF-(3—30 MHz) bis zum VHF-Bereich (30—300 MHz). Es wurden sowohl Echos aus der E- als auch aus der F-Region der Ionosphäre im Gebiet von ungefähr 55° und 65° geomagnetisch Nord beobachtet. Aus den Störvektoren der Magnetogramme von 10 erdmagnetischen Observatorien wurden für die Zeiten, an denen die südlichste Beobachtungsstrecke (Bielstein-Lindau) maximale Echos zeigte, die äquivalenten Linienströme berechnet. Die erdmagnetischen Registrierungen und der Verlauf der Rückstreumplituden stimmen zum Teil sogar in Einzelheiten überein. Während des Magnetsturmes veränderte sich die Lage des polaren Elektrojet (PEJ) fortlaufend. Die einzelne Station registrierte dann Rückstreuechos, wenn der PEJ im Bereich der für diese Station berechneten Rückstreurolle lag. Beginn und Ende der jeweiligen Rückstreu-Ausbreitung wie auch die Amplitude der empfangenen Signale waren außerdem von der Stärke des PEJ (Schwellenwert) abhängig. Daraus ergibt sich eine Bestätigung der Theorie von D. T. FARLEY und O. BUNEMAN, daß nämlich der Elektrojet die Inhomogenitäten der Elektronendichte (Plasma-Wellen) in der E-Region erzeugt, an denen die Radiowellen gestreut werden. Die im HF-Bereich beobachteten Echos von feldorientierten Irregularitäten in der F-Schicht, stehen im Zusammenhang mit stark positiven Werten von ΔH . Das Verschwinden und die Neubildung der F2-Schicht im Verlaufe des Magnetsturmes wird an Hand einer 2x F-Scatter Ausbreitung gezeigt. Die Rückstreuemessungen werden durch optische Beobachtungen wie Photometeraufzeichnungen der roten (6300 Å) und grünen (5577 Å) Sauerstofflinie und Polarlichtmeldungen von deutschen Schiffen ergänzt.

¹⁾ Dipl.-Phys. PETER CZECHOWSKY, HERMANN KOCHAN, DR. GÜNTHER LANGE-HESSE, Dipl.-Phys. HANS LAUCHE und DR. HANS GEORG MÖLLER, Max-Planck-Institut für Aeronomie, 3411 Lindau/Harz.

Summary: At times of strong geomagnetic storms so called radio aurorae appear as well as visual and subvisual aurorae especially in the polar ionosphere. These radio aurorae are caused by inhomogeneities of electron density which give rise to scattering of radio waves from the hf-(3–30 MHz) to the uhf-band (300–3000 MHz) in a very characteristic manner. During the magnetic storm from October 31 to November 2, 1968 it was possible for the first time to record backscatter echoes from radio aurora with a chain of transmitting and receiving stations which was completed in autumn 1967. The frequencies used were in the hf-(3–30 MHz) and the vhf-band (30–300 MHz). Echoes from the E- as well as from the F-region of the ionosphere were received from the area between approximately 55° and 65° geomagnetic north. For the times when the most southern transmitting and receiving line (Bielstein-Lindau) showed strong echoes equivalent current systems were computed from the disturbance vectors of the magnetograms of ten geomagnetic observatories. The magnetic recordings and the backscatter-amplitudes show very similar variations sometimes even in detail. During the magnetic storm the position of the polar electrojet (PEJ) changed continuously. The individual station received strong echoes at times when the PEJ lay in the area of the backscatter-curve which was computed for this station. The beginning and the end of the scattering-process as well as the amplitude of the scattered signals also depend on the strength of the PEJ (threshold-value). This confirms the theory of D. T. FARLEY and O. BUNEMAN, that the electrojet produces the inhomogeneities of electron density (plasma-waves) in the E-region which give rise to scattering of radio waves. The echoes from field-aligned irregularities in the F-layer are associated with high positive values of ΔH . The disappearance and the reappearance of the F2-layer of the ionosphere during this magnetic storm is observed by means of 2x F-scatter propagation. The backscatter measurements were complemented by optical observations as photometer recordings of the red (6300 Å) and green (5577 Å) oxygen lines and by visual aurora observation from German ships.

Einleitung

Seit Mitte des Jahres 1963 werden beim Max-Planck-Institut für Aeronomie in Lindau Rückstreuuntersuchungen an Radio-Polarlichtern im Kurzwellenbereich durchgeführt. Zuvor waren schon Beobachtungen von sichtbaren Polarlichtern und von Radio-Polarlichtern, die durch freiwillige Mitarbeit von Land- und Seebeobachtern sowie von Funkamateuren gewonnen wurden, vom Institut koordiniert und wissenschaftlich ausgewertet worden [LANGE-HESSE 1963; CZECHOWSKY 1966]. Die Bezeichnung „Radio-Polarlicht“ ist die deutsche Übersetzung des englischen Fachausdrucks „radio-aurora“, der von COLLINS und FORSYTH [1959] eingeführt wurde. Darunter versteht man Inhomogenitäten der Elektronendichte in der Ionosphäre, die zu Zeiten starker erdmagnetischer Stürme auftreten und in charakteristischer Weise Radiowellen vom HF-(3–30 MHz) bis zum UHF-Bereich (300–3000 MHz) streuen.

Seit Herbst 1967 führt das Max-Planck-Institut auch Beobachtungen mit einem größeren Stationsnetz im Ultrakurzwellen-Bereich durch. Die Lage der einzelnen Sende- und Empfangsanlagen, sowie die Richtung der zugehörigen Antennen ist aus Abb. 1 zu entnehmen. Zur Zeit sind folgende Bakensender in Betrieb: DL0AR (Bielstein, Teutoburger Wald) auf der Frequenz 29,0 MHz, DL0PR (Garding, Schleswig-Holstein) auf der Frequenz 145,971 MHz und SM4MPI (Borlänge, Schweden) auf der Frequenz 145,960 MHz. Die Empfangsstationen sind Lindau (für 145,960

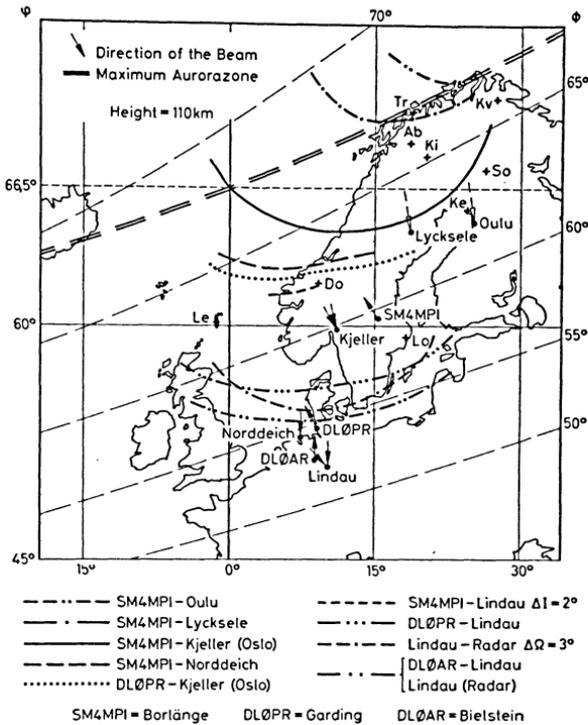


Abb. 1: Rückstreukurven der unter der Zeichnung angegebenen Stationenpaare für eine Höhe von 110 km. Die Pfeile geben die Antennenrichtungen der Sende- und Empfangsanlagen an. Die Sender sind: DLØAR (29,0 MHz), DLØPR (145,971 MHz) und SM4MPI (145,960 MHz).

Backscatter-curves calculated for a height of 110 km of the pairs of stations which are listed at the lower border of this figure. The arrows indicate the directions of the antenna beams of the transmitting and receiving stations. The transmitters are: DLØAR (29,0 MHz), DLØPR (145,971 MHz) and SM4MPI (145, 960 MHz).

MHz, 145,971 MHz und 29,0 MHz), Norddeich (für 145,960 MHz) und Kjeller bei Oslo (für 145,960 MHz und 145,971 MHz). Die Frequenzen wurden in die Amateurfunkbänder gelegt, um sich bei Beobachtungen die wertvolle Mitarbeit der Funkamateure zu sichern. Die Sender unterbrechen einmal pro Minute das Dauerstrichsignal und tasten ihr Rufzeichen, das dann jeweils in den Registrierungen der Empfangsstation durch die kammförmige Struktur zu erkennen ist.

Theorie

Neuere Modellvorstellungen über den Streumechanismus elektromagnetischer Wellen des VHF-Bereichs an Radio-Polarlichtern wurden von BOOKER [1956], MOORCROFT [1961], BUNEMAN [1963] und FARLEY [1963] entwickelt. In der vorliegen-

den Arbeit sollen die Beobachtungsergebnisse vom 31. 10.—2. 11. 1968 mit diesen Theorien verglichen werden.

Das BOOKERSche Modell basiert auf der Annahme von Turbulenzen in der E-Region der Ionosphäre mit einer statistischen Verteilung von säulenförmigen, feldorientierten Inhomogenitäten der Elektronendichte. Der Zusammenhang zwischen dem Streuquerschnitt σ und der Beobachtungswellenlänge λ ist gegeben durch

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{c}{\lambda^2}\right),$$

wobei c ein von der Größe der Inhomogenitäten und von der Ausbreitungsgeometrie abhängiger Parameter ist. Ein wichtiger Begriff bei Polarlicht-Rückstreubeobachtungen ist die sogenannte Aspektempfindlichkeit. Darunter versteht man die Abhängigkeit der rückgestreuten Leistung vom Winkel zwischen den Wellennormalen \mathbf{k}_0 und \mathbf{k}_1 der einfallenden bzw. gestreuten Wellen und der Richtung des Erdmagnetfeldes. Für die Rückstreuung ultrakurzer und kurzer Wellen an Polarlichtern sind dann optimale Bedingungen gegeben, wenn die Richtungskosinus der Wellennormalen $n_0(\mathbf{k}_0)$ und $n_1(\mathbf{k}_1)$ in bezug auf das Erdmagnetfeld gleich groß sind. Aus den geometrischen Örtern, für die diese Bedingung $n_0(\mathbf{k}_0) = n_1(\mathbf{k}_1)$ erfüllt ist, ergeben sich die sogenannten Rückstreu曲ven. Zur Geometrie der Ausbreitungswege und zur Berechnung der Rückstreu曲ven finden sich Beiträge bei CHAPMAN [1952], MILLMAN [1959] und CZECHOWSKY [1966]. Diese Kurven sind in Abb. 1 für die einzelnen Stationenpaare eingezeichnet. Die Rückstreu曲ve SM4MPI-Lindau wurde für eine veränderte Inklination $\Delta I = 2^\circ$ berechnet, weil aufgrund der Ausbreitungsgeometrie die ideale Rückstreubedingung nicht erfüllt werden kann. Die Radarkurven von Lindau sind für Ausbreitungswinkel [vgl. CZECHOWSKY 1966] $\Omega = 90^\circ$ und für $\Omega = 87^\circ$ ($\cong \Delta I = 3^\circ$) dargestellt. Weicht die Ausbreitungsgeometrie von der oben genannten Bedingung ab, so versagt die BOOKERSche Theorie. Außerdem sind bei Rückstreubeobachtungen Dopplerverschiebungen gemessen worden, die auf Bewegungsvorgänge in den Streuzentren zurückzuführen sind. Die BOOKERSche Theorie beschreibt keine zeitabhängige Veränderung der streuenden Inhomogenitäten.

Diese Mängel vermeiden die Theorien von FARLEY [1963] und BUNEMAN [1963], die die rückstreuenden Zentren als longitudinale Plasmawellen beschreiben. Beide Autoren zeigen theoretisch, daß in einem stromdurchflossenen Plasma wie z. B. im polaren und äquatorialen Elektrojet eine Zweistrom-Instabilität entstehen kann, wenn der Elektrojet einen Schwellenwert überschreitet. Der Schwellenwert wird erreicht, wenn die relative Driftgeschwindigkeit zwischen Ionen und Elektronen im Elektrojet einen kritischen Wert von der Größenordnung der thermischen Geschwindigkeit der Ionen annimmt. Dann werden longitudinale Plasmawellen angeregt, die sich mit der Schallgeschwindigkeit des umgebenden Mediums senkrecht zum Erdmagnetfeld in Richtung des Elektrojet ausbreiten.

BOWLES, BALSLEY und COHEN [1963] und COHEN und BOWLES [1963] zeigten, daß sich ihre Beobachtungen am magnetischen Äquator mit der Annahme von derartigen Plasmawellen deuten lassen. Diese Autoren folgern weiter, daß es sich auch bei feldorientierten Inhomogenitäten in der polaren Ionosphäre (Radio-Polarlichter) um Plasmawellen handelt, die durch den Elektrojet angeregt werden.

Das Ziel der vom Lindauer Institut betriebenen Untersuchungen ist es, die Richtigkeit dieser Annahmen zu überprüfen. Erste Beobachtungsergebnisse, die mit dem in Abb. 1 gezeigten Stationsnetz gewonnen wurden, sind von CZECHOWSKY [1969] und CZECHOWSKY und LANGE-HESE [1969] veröffentlicht worden.

Ergebnisse der Rückstreubeobachtungen mit Bakensendern

Im Zeitraum vom 31. 10. bis 2. 11. 1968 registrierten erstmals alle Empfangsstationen während eines starken erdmagnetischen Sturmes Rückstreu-Echos von großer Amplitude. Diese Meßergebnisse sollen in der vorliegenden Arbeit dargestellt und diskutiert werden.

In den Abb. 2, 3 und 4 (s. S. 82/83) sind von Norden nach Süden geordnet die Registrierungen der in der Abb. 1 aufgeführten Stationenpaare zusammengestellt. Da nach der Plasma-Instabilitätstheorie ein Zusammenhang zwischen der Lage und Intensität des polaren Elektrojet (PEJ) und dem Auftreten von Rückstreu-Echos vermutet wird, sind über diese Registrierungen die *H*- und *Z*-Magnetogramme des erdmagnetischen Observatoriums Rude Skov eingezeichnet. Rude Skov (Abb. 10; s. S. 88) liegt etwa in der Mitte zwischen den Rückstreu- und Echoskurven der Stationenpaare Garding-Lindau und Bielstein-Lindau, sowie unweit der Kurve für den Radarfall Lindau (Abb. 1). In den Abb. 5 bis 8 (s. S. 84/85) sind außerdem die *H*- und *Z*-Komponenten der Magnetogramme von fünf erdmagnetischen Observatorien aus dem Gebiet der Rückstreu- und Echoskurven von Norden nach Süden übereinander gezeichnet. Zur Veranschaulichung der globalen Lage des polaren Elektrojet wird das Modell von AKASOFU, CHAPMAN und MENG [1965] zugrunde gelegt (Abb. 9; s. S. 86). Die Besonderheit dieses Modells liegt gegenüber älteren Vorstellungen in der Annahme eines PEJ, der mit seinem Hauptteil westwärts entlang dem Polarlicht-Oval fließt. Die Stärke des PEJ ist dabei nicht gleichmäßig entlang des ganzen Ovals, sondern erreicht eine maximale Stärke zwischen dem Mitternachts- und dem Morgensektor. Der Hauptanteil dieses sehr starken PEJ schließt sich über die Polkappe. Ein zunächst westwärts fließender Reststrom geht vom Nachmittagssektor aus, biegt aber noch innerhalb dieses Sektors nach Osten um (Rückstrom), kreuzt den Mitternachtsmeridian und vereinigt sich schließlich im Morgensektor nach einer erneuten Richtungsumkehr wieder mit dem westwärts fließenden Hauptstrom.

Ein erster Blick auf die Rückstreuregistrierungen und die Magnetogramme zeigt folgenden Zusammenhang: Je stärker die erdmagnetische Störung wird, um so mehr nimmt die Amplitude der Echos auf den nördlichen Übertragungsstrecken ab und auf den südlichen zu. Sehr ausgeprägt ist diese Erscheinung auf den beiden

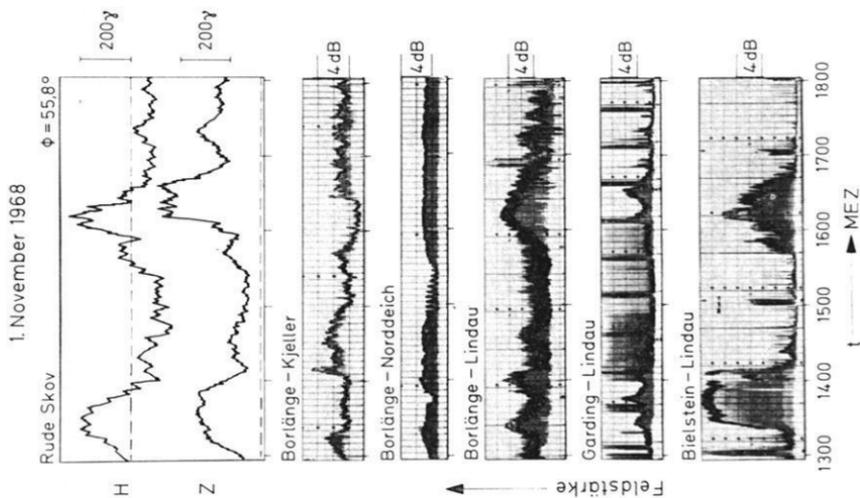


Abb. 3.

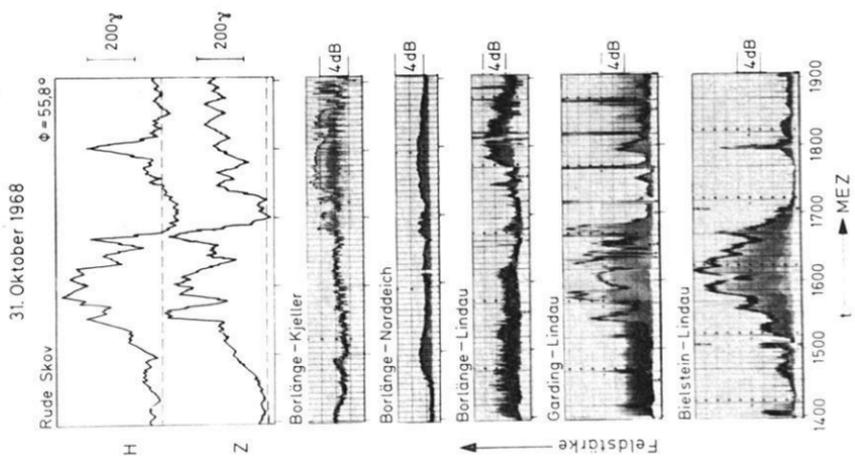


Abb. 2.

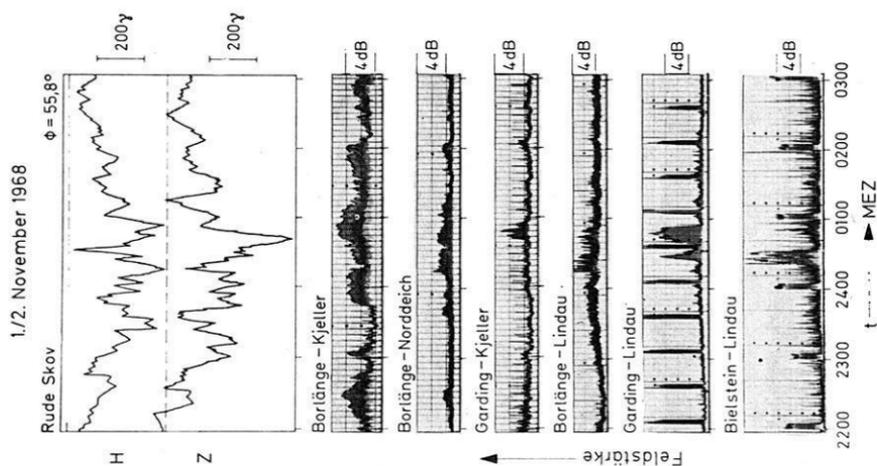


Abb. 4.

Abb. 2—4: *H*- und *Z*-Magnetogramme des Observatoriums Rude Skov und von Norden (oben) nach Süden (unten) angeordnet die Rückstreuregistrierungen der in Abb. 1 erwähnten Stationenpaare vom 31. 10. 1968 (1. 11. 1968, 1./2. 11. 1968).

H- and *Z*-magnetograms of the observatory Rude Skov and arranged from north (at the top) to south (at the bottom) the backscatter records made on 31. 10. 1968 (1. 11. 1968, 1./2. 1968) by the pairs of stations mentioned in fig. 1.

H-Komp. 31.Okt./1.Nov.1968

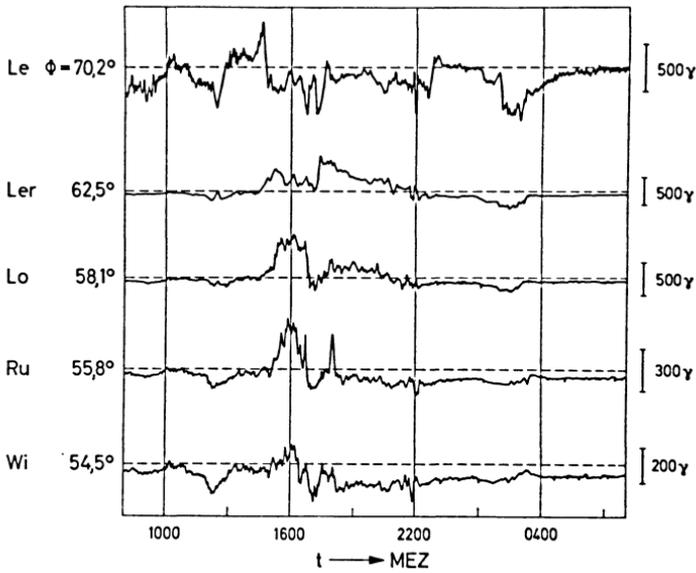


Abb. 5: Magnetogramme der H -Komponenten der Observatorien Leirvogur (Le), Lerwick (Ler), Lovö (Lo), Rude Skov (Ru) und Wingst (Wi) vom 31. 10.—1. 11. 1968.

Magnetograms of the H -component of the observatories Leirvogur (Le), Lerwick (Ler), Lovö (Lo), Rude Skov (Ru) and Wingst (Wi) on 31. 10.—1. 11. 1968.

Z-Komp. 31.Okt./1.Nov.1968

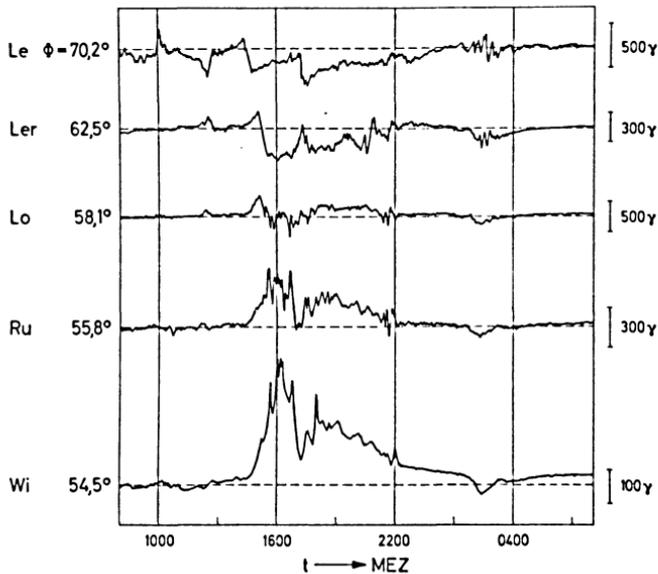


Abb. 6: Magnetogramme der Z -Komponenten der in Abb. 5 genannten Observatorien vom 31. 10.—1. 11. 1968.

Magnetograms of the Z -component of the observatories mentioned in fig. 5 on 31. 10.—1. 11. 1968.

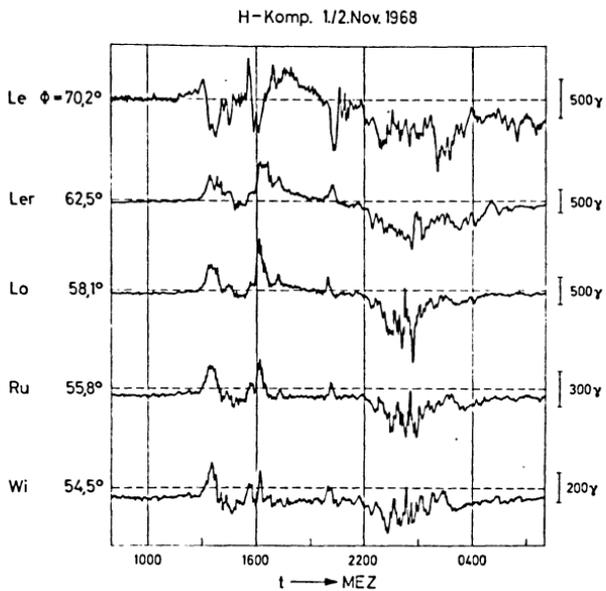


Abb. 7: Magnetogramme der H -Komponenten der in Abb. 5 genannten Observatorien vom 1./2. 11. 1968.

Magnetograms of the H -component of the observatories mentioned in fig. 5 on 1./2. 11. 1968.

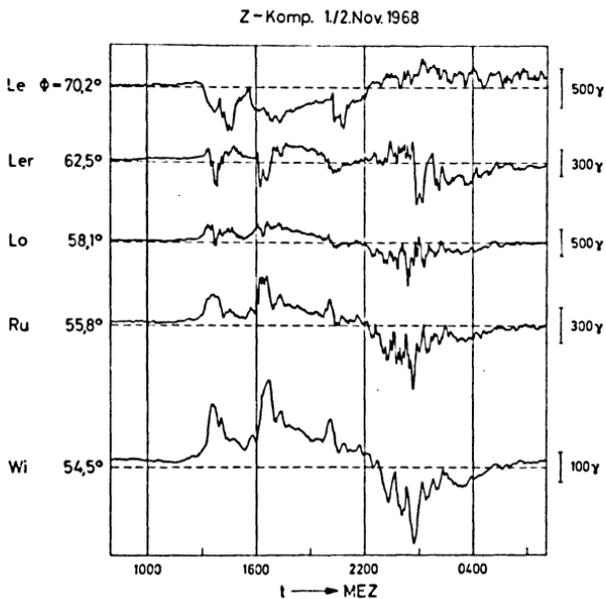
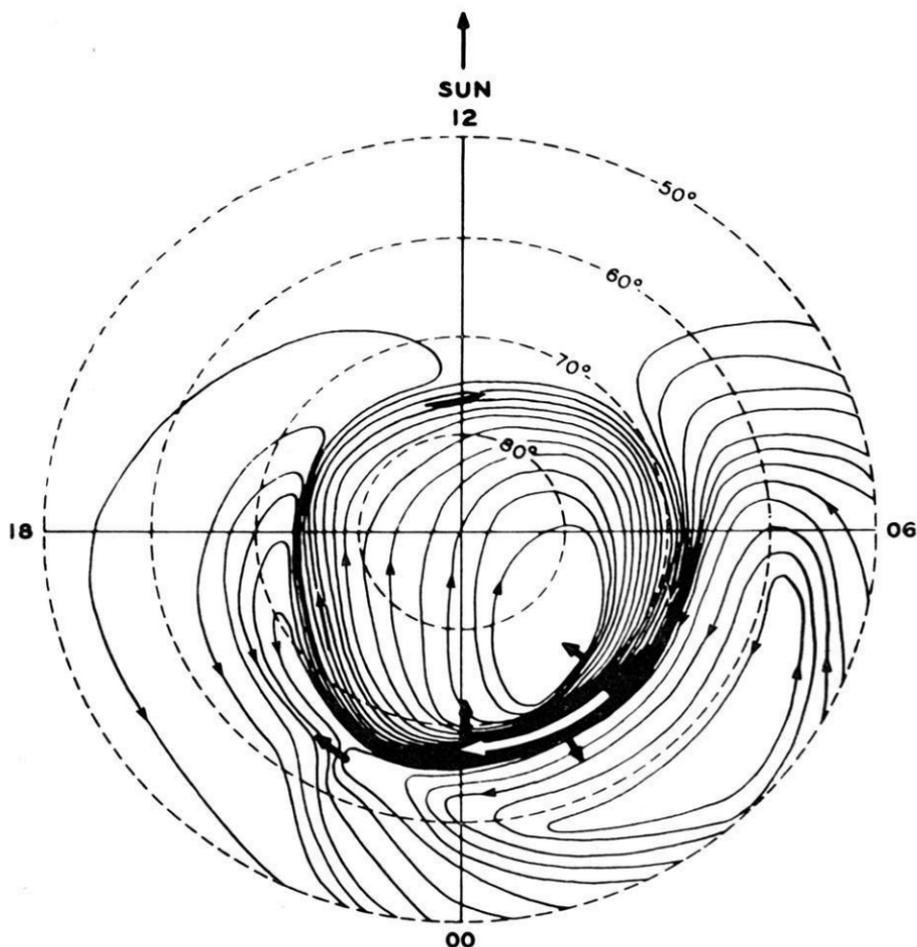


Abb. 8: Magnetogramme der Z -Komponenten der in Abb. 5 genannten Observatorien vom 1./2. 11. 1968.

Magnetograms of the Z -component of the observatories mentioned in fig. 5 on 1./2. 11. 1968.



Proposed model current system for an intense polar magnetic substorm: view from above dp. north pole; the direction of the sun is indicated at the maximum epoch.

Abb. 9: Modell des polaren Elektrojets (PEJ) nach Akasofu et al. [1965].

Model of the polar electrojet (PEJ) after Akasofu et al. [1965].

südlichsten Strecken Garding-Lindau und Bielstein-Lindau, die auf den Frequenzen 145,971 MHz und 29,0 MHz arbeiten. Zu Zeiten der größten erdmagnetischen Störungen erreichen hier die Echoamplituden maximale Werte. Hierbei ist noch zu bemerken, daß sich augenfällig auf diesen beiden Strecken (Frequenzverhältnis etwa 5:1) keine Frequenzabhängigkeit der Echoamplituden ergibt, die jedoch wie bereits oben erwähnt wurde, von der BOOKERSCHEN Theorie gefordert wird.

Im weiteren sollen die Zusammenhänge zwischen dem polaren Elektrojet und dem Auftreten von Rückstreu-Echos ausführlicher diskutiert werden. Die magnetischen Variationen, die während eines Magnetsturmes am Erdboden registriert werden, haben ihre Hauptursache in elektrischen Stromsystemen in der Ionosphäre. Diese Stromsysteme haben die Form von Bändern mit veränderlicher Stromdichte. Derartige Strombänder lassen sich mathematisch als Systeme von Linienströmen beschreiben. Aus dem Verlauf der Magnetogramme von mehreren erdmagnetischen Observatorien kann man auf die Lage, Stärke und Flußrichtung einzelner Teile eines Systems von Linienströmen schließen. Aus dem Nulldurchgang der Z -Komponenten an einer Station folgt, daß der Hauptanteil des in eine Richtung fließenden Linienstrom-Bündels senkrecht über der Station liegt. Die Magnetogramme von Observatorien in mittleren und höheren geomagnetischen Breiten geben so Aufschluß über die Lage und die Stärke des PEJ-Stromsystems im Verlauf eines Magnetsturmes. Aus den Störvektoren ΔD , ΔH und ΔZ , die während eines Magnetsturmes von einem erdmagnetischen Observatorium registriert werden, kann nach einem zuerst von BIRKELAND [1901] angegebenen und von CHAPMAN [1935] und AKASOFU [1960] verbesserten Verfahren die Lage eines äquivalenten ionosphärischen Linienstromes hinsichtlich der Magnetstation berechnet werden. Da der PEJ z. B. in der E-Region der Ionosphäre fließt, so kann man bei Rechnungen, die den PEJ betreffen, eine Höhe von 110 km voraussetzen. Da das PEJ-Stromsystem in der Erde entgegengesetzt gerichtete Induktionsströme erzeugt, welche die magnetische H -Komponente vergrößern und die Z -Komponente abschwächen, werden die Störvektoren ΔH mit dem Faktor $\frac{2}{3}$ und ΔZ mit 3 multipliziert. Diese Zahlenfaktoren sind Erfahrungswerte, die sich als ausreichend genau erwiesen haben. Die Lage eines zum PEJ gehörenden Linienstromes ergibt sich dann aus dem Schnittpunkt der Senkrechten auf dem Störvektor F_D am Ort des erdmagnetischen Observatoriums mit der in 110 km Höhe parallel zur Erdoberfläche verlaufenden Kugelschale. Der Strom fließt dann durch den Schnittpunkt senkrecht zur Schnittebene. Der Nachteil dieses Verfahrens liegt darin, daß aus den Störvektoren ΔD , ΔH und ΔZ , die möglicherweise am Ort des Observatoriums durch vektorielle Addition der Wirkungen von mehreren Linienströmen entstanden sind, rechnerisch nur auf einen äquivalenten Linienstrom geschlossen werden kann. Dieser äquivalente Linienstrom stimmt lediglich in seiner Wirkung mit den Werten von ΔD , ΔH und ΔZ überein, seine rechnerisch bestimmte Lage hinsichtlich der Station, kann jedoch von der tatsächlichen Stromverteilung um die Station herum abweichen. Eine gewisse Aussagekraft gewinnt die Lagebestimmung der äquivalenten Linienströme, wenn man die Berechnung für ein Netz von Observatorien ausführt.

Mit den ΔD -, ΔH - und ΔZ -Werten von zehn erdmagnetischen Observatorien wurden für fünf bestimmte Zeitpunkte aus dem Intervall vom 31. 10. 1968 bis zum 1. 11. 1968, an denen die südlichste Polarlicht-Rückstreubeobachtungsstrecke Bielstein-Lindau maximale Echos registrierte, die zugehörigen äquivalenten Linienströme berechnet [vgl. KOCHAN 1967]. In der Abb. 10 sind durch die verschiedenen Symbole die Projektionen der berechneten Schnittpunkte auf die geographischen Meridianebenen der Observatorien dargestellt. Es ergibt sich das folgende Bild: In den ersten vier Fällen, am 31. 10. 1968 um 1509 UT (1609 MEZ) und um 1658 UT (1758 MEZ), sowie am 1. 11. 1968 um 1242 UT (1342 MEZ) und um 1514 UT (1614 MEZ) fließt der Hauptstrom des PEJ in westlicher Richtung nördlich von Leirvogur (Le) und Sodankylä (So). Die Schnittpunkte vom 31. 10. um 1658 UT (1758 MEZ) und vom 1. 11. 1968 um 1514 UT (1614 MEZ) für Sodankylä liegen bei $\varphi = 74,88^\circ$ N und bei

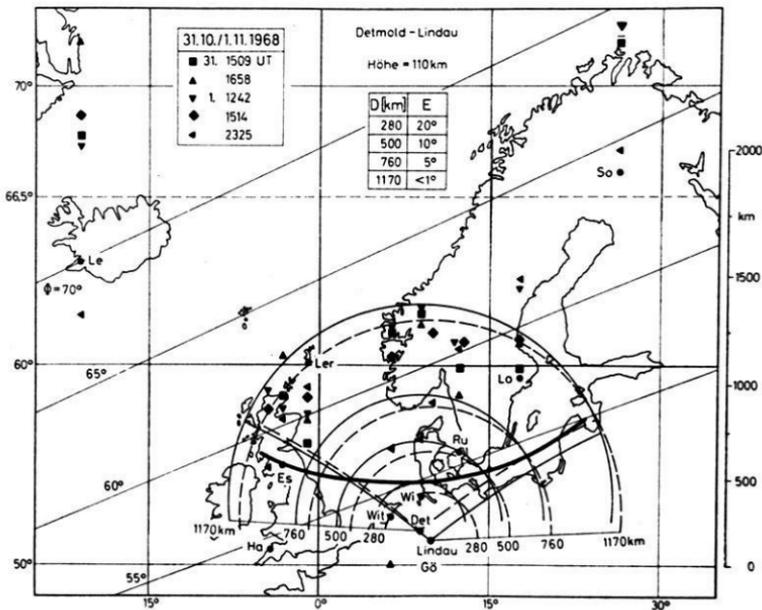


Abb. 10: Rückstrecke Detmold (DLØAR)-Lindau (Höhe 110 km) und Schnittpunkte der äquivalenten Linienströme mit den geographischen Meridianebenen der eingezeichneten erdmagnetischen Observatorien in 110 km Höhe während fünf verschiedener Zeiten, dargestellt durch die dreieckigen und viereckigen Symbole.

Backscatter-curve Detmold (DLØAR)-Lindau (height 110 km) and the points in 110 km height represented by the three- and four-cornered symbols, where the equivalent line-currents intersect the geographic meridional planes of the geomagnetic observatories at five different moments. Le = Leirvogur, So = Sodankylä, Ler = Lerwick, Es = Eskdalemuir, Lo = Lovö, Ru = Rude Skov, Ha = Hartland, Wi = Wingst, Wit = Witteveen, Gö = Göttingen.

$\varphi = 74,24^\circ$ N und damit außerhalb der Karte. Der zu den genannten vier Fällen gehörende Rückstrom fließt in östlicher Richtung zwischen den geomagnetischen Breitenkreisen von Lerwick (Le) $\Phi = 62,5^\circ$ im Norden und von Lovö (Lo) $\Phi = 58,1^\circ$ im Süden, in etwa parallel zu den geomagnetischen Breitenkreisen. Die so berechnete Lage des PEJ-Systems stimmt gut mit dem Modell von AKASOFU et al. [1965] überein. Abweichungen sind dadurch bedingt, daß sich mit zunehmendem Grad der magnetischen Störung das Polarlichtoval vor allen Dingen im Mitternachtssektor ausbaucht und sich insgesamt äquatorwärts verlagert. Dies ist wie später noch gezeigt wird, der Fall am 1. 11. 1968 um 2325 UT. In dem Gebiet, in dem der Rückstrom des PEJ lokalisiert wurde, liegen, wie die Abb. 1 zeigt, die RückstreuKurven der Strecken Garding-Lindau und Bielstein-Lindau, während die Kurven für die Stationenpaare Borlänge-Lindau und Borlänge-Norddeich am Rand dieses Bereichs liegen. Die RückstreuKurve der Stationen Borlänge-Kjeller befindet sich außerhalb davon im Norden. Daher haben die Rückstreu-Registrierungen am 31. 10. 1968 den folgenden Verlauf: Von ca. 1500—1700 MEZ zeigt Borlänge-Kjeller kein Signal, während Borlänge-Norddeich und Borlänge-Lindau schwache Echos registrieren. Starke Signale werden zur gleichen Zeit von den beiden südlichsten Strecken Garding-Lindau und Bielstein-Lindau empfangen. Gleichzeitige Radar-Beobachtungen (1526 MEZ, 224,4 MHz) von Lindau aus weisen das gleiche Ergebnis auf, nämlich starke Echos aus ca. 400 km und schwächere Echos aus 700 bis 1100 km Entfernung (Abb. 11). Kurz vor 1700 MEZ zeigen alle Registrierungen eine Zunahme der Echoamplitude. Die gleichen Verhältnisse sind aus der Radar-Aufnahme (Abb. 11) von 1652 MEZ zu entnehmen: Eine etwa gleichmäßig starke Rückstreuung aus ca. 400 bis 1200 km Entfernung. Aus den Beobachtungen ergibt sich eine Übereinstimmung zwischen der Lage des PEJ-Rückstrombandes und der Lage der RückstreuZentren, die gerade von der Plasma-Wellen-Theorie gefordert wird. Nach dieser Theorie müßte zu dieser Zeit der bereits erwähnte Schwellenwert überschritten worden sein, so daß Plasma-Wellen angeregt worden sind. Am 31. 10. 1968 in der Zeit von ca. 1700—1800 MEZ weisen die *H*- und *Z*-Magnetogramme (Abb. 5 und 6) einen starken Einbruch auf, der folgendermaßen erklärt werden kann: Das gesamte Stromsystem des polaren Elektrojet hat sich soweit äquatorwärts verlagert, daß Teile des westwärts fließenden Hauptstroms über Lovö ($\Phi = 58,1^\circ$) und auch noch über Rude Skov ($\Phi = 55,8^\circ$) liegen. Gleichzeitig nimmt die Echoamplitude, wie Abb. 2 zeigt, auf den nördlichen Übertragungsstrecken zu, während sie bei den südlichen Linien Garding-Lindau und Bielstein-Lindau nahezu auf Null zurückgeht. Die RückstreuKurven der nördlichen Stationenpaare Borlänge-Kjeller, Borlänge-Norddeich und Borlänge-Lindau liegen zwischen $\Phi = 62^\circ$ und $\Phi = 68^\circ$ (Abb. 1), d. h. nördlich von Lovö und damit in dem Gebiet des Hauptstroms des PEJ. Die RückstreuKurven von Garding-Lindau und Bielstein-Lindau liegen dagegen zwischen $\Phi = 55^\circ$ und $\Phi = 60^\circ$, d. h. ein wenig nördlich und südlich von Rude Skov und damit am Rand des Hauptstrombandes. In diesem Gebiet scheinen sich der Hauptstrom und der Rückstrom so weit zu beeinflussen, daß die zur Anregung von Plasmawellen nötige relative Driftgeschwindigkeit

zwischen Ionen und Elektronen unterschritten wird und sich daher keine Streuzentren mehr ausbilden können. Der sogar in den Einzelheiten übereinstimmende Verlauf der Echoamplitude auf der Strecke Bielstein-Lindau mit der magnetischen H -Komponente von Rude Skov unterstützt diese Vermutung (Abb. 2). Eine weitere Bestätigung der oben beschriebenen Lage des PEJ-Systems liefert die Radar-Aufnahme von 1732 MEZ (Abb. 11). Die Echos kommen aus 900—1200 km Entfernung und damit, wie man den Entfernungskurven der Abb. 10 entnehmen kann, aus dem Gebiet um und nördlich von Lovö und damit aus dem Bereich, wo der Einfluß des Hauptstroms

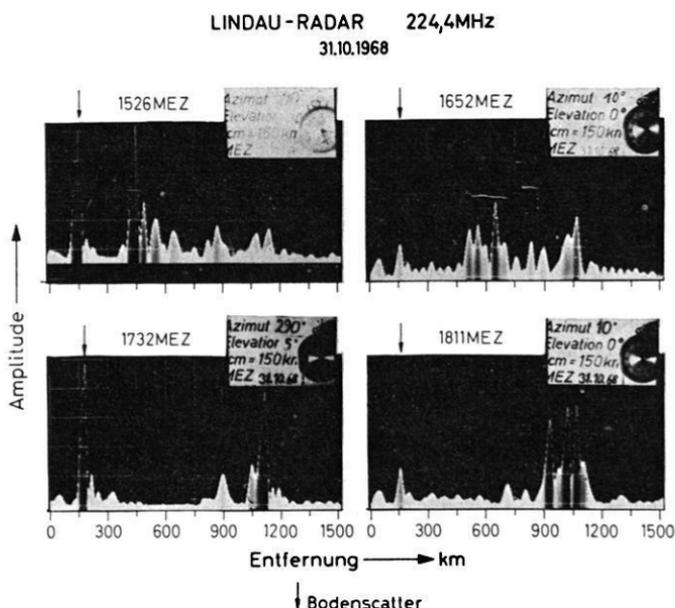


Abb. 11: Registrierungen der Radar-Station in Lindau (224,4 MHz) vom 31. 10. 1968 um 1526 MEZ und 1732 (Elevation 10° und 5°, Azimut 290°) und um 1652 MEZ und 1811 MEZ (Elevation 0°, Azimut 10°).

Records of the Lindau radar station (224,4 MHz) on Oct. 31, 1968 at 1526 15° E-Time and 1732 15° E-Time (azimuth angle 290°, elevation angle 5° and 10°) and at 1652 15° E-Time and 1811 15° E-Time (azimuth angle 10°, elevation angle 0°).

überwiegt. Gegen 1800 MEZ scheint sich das PEJ-System wieder nach Norden zurückzuverlagern. Die Bestimmung der äquivalenten Linienströme für den Zeitpunkt 1658 UT (1758 MEZ) ergibt einen westwärts fließenden Strom (Hauptstrom) nördlich von Leirvogur ($\Phi = 70,2^\circ$) und Sodankylä ($\Phi = 63,8^\circ$) und außerdem ostwärts fließende Ströme (Rückstromband) im Bereich etwa von $\Phi = 58^\circ$ bis $\Phi = 63^\circ$. Die Rückstreukenurven aller Stationenpaare liegen also unter dem breiten Rückstromband

und so registrieren alle Linien, auch die beiden südlichsten, gegen 1800 MEZ mittelstarke Echos. Gleichzeitige Radarbeobachtungen (1811 MEZ, vgl. Abb. 11) ergeben schwache Echos aus geringer und starke Echos aus großer Entfernung. Aus einem Vergleich der Abbildungen 10 und 11 findet man, daß die registrierten Echos bei gegebener Elevation zwischen 0° und 10° aus einer Entfernung von ca. 400 bis 1200 km empfangen wurden. Diese Werte stimmen gut mit den Entfernungskurven der Abb. 10 überein, die für diese Elevationswinkel und für eine Höhe von 110 km berechnet wurden. Daraus folgt also, daß die Streugebiete in der E-Region gelegen haben.

Während des Nachmittags des 1. 11. 1968 zeigen die *H*- und *Z*-Magnetogramme (vgl. Abb. 7 und 8) eine ähnliche Lage, Richtung und Bewegung des gesamten PEJ-Stromsystems wie am späten Nachmittag und Abend des 31. 10. 1968. Der Hauptstrom des PEJ fließt nördlich von Leirvogur und Sodankylä, der Rückstrom nach dem Bild der äquivalenten Linienströme im Bereich von $58,0^\circ$ bis $63,0^\circ$ geographisch Nord. Die Rückstreuregistrierungen der Abb. 3 haben daher einen ähnlichen Verlauf: Von 1300—1420 MEZ und von 1540—1700 MEZ werden auf den südlichsten Linien starke Echos beobachtet, während auf der nördlichsten Linie keine Signale registriert werden. In den dazwischen liegenden Zeiten verlagert sich der westwärts fließende Hauptstrom nach Süden und gewinnt gegenüber dem Rückstrom so an Einfluß, daß keine Plasma-Wellen angeregt werden.

Die Magnetogramme der Abb. 7 und 8 zeigen weiter, daß am 1./2. Nov. während der Stunden um Mitternacht nur der westwärts gerichtete Hauptstrom des PEJ in einem breiten Band in der Region unserer gesamten Rückstreukurven fließt. Das Zentrum des Hauptstromes liegt vor 0030 MEZ zwischen Lerwick und Lovö und danach zwischen Lerwick und Leirvogur. Die Berechnung der äquivalenten Linienströme für den Zeitpunkt 2325 UT (0025 MEZ) am 1. 11. 1968 ergibt das gleiche Bild: Es fließt im Bereich von ca. $55,0^\circ$ — $68,0^\circ$ geographisch Nord ein westwärts gerichteter Hauptstrom (Abb. 10). Wie man aus der *H*-Komponente von Lovö schließen kann, erreicht der PEJ seine maximale Stromstärke um 0030 MEZ. Der Wert für ΔH beträgt zu diesem Zeitpunkt in Lovö ca. 1000 γ . Um 0030 MEZ werden auf den beiden südlichsten Linien Garding-Lindau und Bielstein-Lindau starke Rückstreuechos registriert. Auf den beiden nördlichsten Linien werden während der gesamten Nachtstunden Rückstreusignale beobachtet (Abb. 4). Nach dem Modell von AKASOFU et al. [1965] (Abb. 9) tritt um Mitternacht ein breiter Hauptstrom auf, der die Anregung von Plasmawellen und damit die Ausbildung von Streuzentren ermöglicht.

Ergebnisse aus den Messungen der Impuls-Rückstreuanlage

Eine wertvolle Ergänzung der Beobachtungen stellen die Registrierungen dar, die in Lindau mit einer Impuls-Rückstreuanlage im Routinebetrieb gewonnen werden. Diese Anlage mißt den scheinbaren Laufweg der ausgesendeten und in der Ionosphäre rückgestreuten Impulse als Funktion der Frequenz im Bereich von 2,8 bis 45 MHz.

Die Antennen können in Abständen von 36° den ganzen Azimut erfassen, während die Erhebungswinkel zwischen 0° und 45° liegen. Eine gleichartige Sende- und Empfangsanlage steht in Sodankylä (Nordfinnland). Die Entfernung beträgt 2000 km, der Azimutwinkel Lindau-Sodankylä ist 21° (Ost = 90°).

Die Sender und Empfänger beider Stationen laufen synchron, so daß also neben den eigenen rückgestreuten Signalen auch wechselseitig die Signale der anderen Station empfangen werden können, die sich über die Ionosphäre ausbreiten. Am Empfangsort wird die Laufzeit der verschiedenen Übertragungswege als Funktion der Frequenz registriert. Aus den Laufzeitdifferenzen kann die scheinbare Reflexionshöhe und damit der Übertragungsweg bestimmt werden. Diese Messungen werden im folgenden mit Fernübertragung bezeichnet. Nähere Einzelheiten finden sich bei MÖLLER [1963]. Die Ergebnisse dieser Auswertung für den Zeitraum vom 31. 10. 1968 bis zum 2. 11. 1968 finden sich in der Abb. 12b. Im oberen Ende des HF-Bandes (3–30 MHz) sowie im unteren Teil des VHF-Bereichs (30–300 MHz) ist eine Fernübertragung dann möglich, wenn in der E-Region der Ionosphäre hinreichend große Gebiete einer erhöhten Elektronenkonzentration (E_g) vorhanden sind oder aber die Elektronendichte der F2-Schicht für eine Reflexion der Wellen ausreicht. Sind in die Ionosphäre feldorientierte Inhomogenitäten der Elektronendichte eingebettet, so erhält man eine direkte Rückstreuung aus der entsprechenden Schicht. Ist die Anzahl oder die Teilchendichte dieser Inhomogenitäten im Streugebiet klein, so erhält man eine Rückstreuung nur auf der jeweils höchsten möglichen Frequenz, für die durch Brechung in der Ionosphäre die Senkrechtbedingung noch erfüllt wird. Da diese Frequenz mit der Entfernung ansteigt, nimmt auch der Laufweg der Rückstreusignale mit der Frequenz zu. Ist dagegen die Anzahl oder die Elektronendichte im Streugebiet groß, so erhält man unabhängig von der Frequenz starke Rückstreusignale aus einer festen Entfernung.

Zunächst sollen die in der Abb. 12 dargestellten Ergebnisse diskutiert werden, die mit denen der Radio-Polarlicht-Beobachtungen übereinstimmen. Die Impuls-Rückstreuanlage empfängt dann ebenfalls starke Echos aus der E-Region bis zu den höchsten Frequenzen, wenn auch die beiden südlichsten Strecken Bielstein-Lindau und Garding-Lindau maximale Echos aufweisen, nämlich am 31. 10. von 1500–1700 MEZ, am 1. 11. von 1300–1400 MEZ, von 1540–1700 MEZ und am 2. 11. 1968 zwischen 0000–0100 MEZ (Abb. 2, 3, 4 und 12e). Gleichzeitige Radarbeobachtungen bestätigen diese Ergebnisse (Abb. 11). Die Auswertung der Fernübertragung von Sodankylä nach Lindau ergibt keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen einer E_g -Ionisation und feldorientierten Inhomogenitäten in der E-Region. Der Mechanismus der 1x E-Rückstreuung setzt feldorientierte Inhomogenitäten, die Fernübertragung aber eine ausgedehnte Fläche, an der die Welle nach vorne gestreut bzw. reflektiert wird, voraus. Während am 31. 10. zwischen 1500–1700 MEZ und am 1. 11. zwischen 1300 und 1400 MEZ starke Rückstreuechos empfangen werden, findet keine Fernübertragung über eine E_g -Schicht statt. Aus den Impuls-Rückstreuaufnahmen ergibt sich, daß die 1x E-Rückstreuung in sehr geringer Entfernung erfolgt. In den

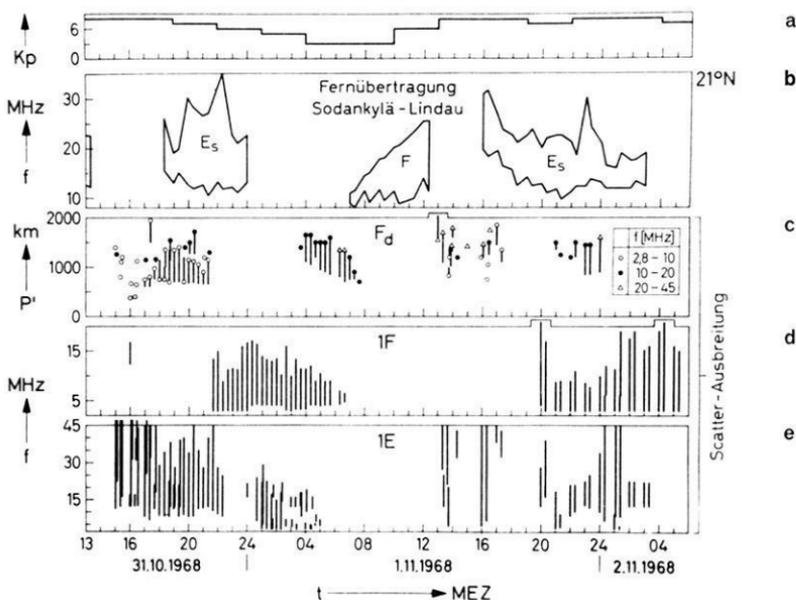


Abb. 12 a—e) von oben nach unten:

- Verlauf des erdmagnetischen Kp-Index vom 31. 10. bis 2. 11. 1968.
- Ergebnisse der Impuls-Rückstreu- und Impuls-Fernübertragungsmessungen mit variabler Frequenz in Lindau vom 31. 10. bis 2. 11. 1968 (Antennenrichtung für beide Messungen 21° Ost von Nord).
- obere und untere Frequenzgrenze der Fernübertragung zwischen Sodankylä und Lindau mit Angabe des jeweiligen Ausbreitungsmechanismus.
- Laufwegdiagramm der diffusen Rückstreuechos aus der F-Region für drei Frequenzbereiche.
- Frequenz-Diagramm der 1x F-Rückstreuechos.
- Frequenz-Diagramm der 1x E-Rückstreuechos.

12 a—e) from above:

- variation of the geomagnetic Kp-index of 31. 10. to 2. 11. 1968.
- Results of the impulse-backscatter soundings and the oblique-incidence soundings carried out at Lindau from 31. 10. to 2. 11. 1968 (direction of the antenna for both measurements: 21° East by North).
- upper and lower limit of the oblique-incidence sounding-frequency between Sodankylä and Lindau and statement of the individual propagation-mechanism.
- path-diagram of the diffuse backscatter-echoes from the F-region for three frequency-intervals.
- frequency-diagram of 1x F-backscatter-echoes.
- frequency-diagram of 1x E-backscatter-echoes.

Bereichen der Ionosphäre, wo die Reflexionsgebiete für eine $1x E_s$ - bzw. $2x E_s$ -Fernübertragung Sodankylä-Lindau liegen, befindet sich demnach keine ausgedehnte flächenhafte E_s -Ionisierung.

Am 31. 10. 1968 und auch am 1. 11. 1968 werden während der Nachmittagsstunden neben den $1x E$ -Echos gleichzeitig diffuse Echos aus der F-Region empfangen. Während diese Echos am 31. 10. nur bis zu Frequenzen von 20 MHz beobachtet werden, gehen sie am 1. 11. 1968 in der Zeit von 1300—1400 MEZ und von 1600—1700 MEZ bis ans Bereichsende von 45 MHz (Abb. 12c). Während die Registrierungen der beiden südlichsten Strecken Garding-Lindau (145,971 MHz) und Bielstein-Lindau (29,0 MHz) am 31. 10. 1968 zwischen 1500 und 1700 MEZ nur einen geringen Amplitudenunterschied zeigen, so sind die Signale am 1. 11. 1968 während der Nachmittagsstunden auf der Strecke Bielstein-Lindau wesentlich stärker als auf der Strecke Garding-Lindau (Abb. 2 und 3). Da die RückstreuKurven (Abb. 1) der beiden Stationenpaare in etwa dasselbe Gebiet erfassen, so liegt der Schluß nahe, daß es sich bei den starken Signalen am 1. 11. 1968 von 1300—1400 MEZ und von ca. 1600—1700 MEZ auf 29,0 MHz um eine Überlagerung der Echos aus der E- mit Echos aus der F-Region handelt. Die bereits erwähnten Beobachtungen mit der Impuls-Rückstreuanlage bestätigen diese Vermutung. Auch in ionosphärischen Höhen von 200 bis 600 km beobachtet man eine Rückstreuung von Radiowellen an feldorientierten Irregularitäten der Elektronendichte. Für diesen Ausbreitungsmechanismus gilt gleichfalls die bereits erwähnte geometrische Bedingung, daß nämlich dann Echos größter Stärke empfangen werden, wenn die Richtungskosinus $n_0(k_0)$ und $n_1(k_1)$ der einfallenden bzw. der gestreuten Welle in bezug auf das Erdmagnetfeld gleich groß sind. Für die Impuls-Rückstreubeobachtungsanlage, wo sich Sender und Empfänger an demselben Ort befinden, heißt das, die Wellennormale der einfallenden Welle muß auf der Richtung des Erdmagnetfeldes senkrecht stehen. Die Höhe des Punktes, in dem diese Senkrechtbedingung erfüllt ist, wächst bis ca. 1000 km mit der Entfernung und nimmt dann wieder ab. Die maximale Höhe liegt bei ca. 220 km [MÖLLER 1964, KOCHAN 1967].

Für eine Höhe von 200 km wurden die RückstreuKurven für die Strecke Bielstein-Lindau (Bielstein = Detmold) und für die Impuls-Rückstreuanlage in Lindau berechnet. Da sich beide Kurven wenig voneinander unterscheiden, wurde in Abb. 13 nur die Kurve Bielstein-Lindau mit den berechneten äquivalenten Linienströmen eingezeichnet (vgl. Abb. 10).

Rückstreubeobachtungen, die von THOMAS et al. [1962] in Brisbane, Australien, durchgeführt wurden, ergaben einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von feldorientierten Irregularitäten in der F-Region in einem engen Winkelbereich um den magnetischen Meridian und dem Auftreten von sichtbaren Polarlichtern, sowie einem Anstieg der Zählraten der Strahlungsdetektoren von Satelliten im äußeren Van-Allen-Gürtel. Außerdem wurde eine Verschiebung der feldorientierten Irregularitäten in der F-Schicht zum Äquator hin bei Werten von $K > 4$, und positiven Werten von ΔH , dagegen eine polwärts gerichtete Wanderung bei $K < 4$ und negativen

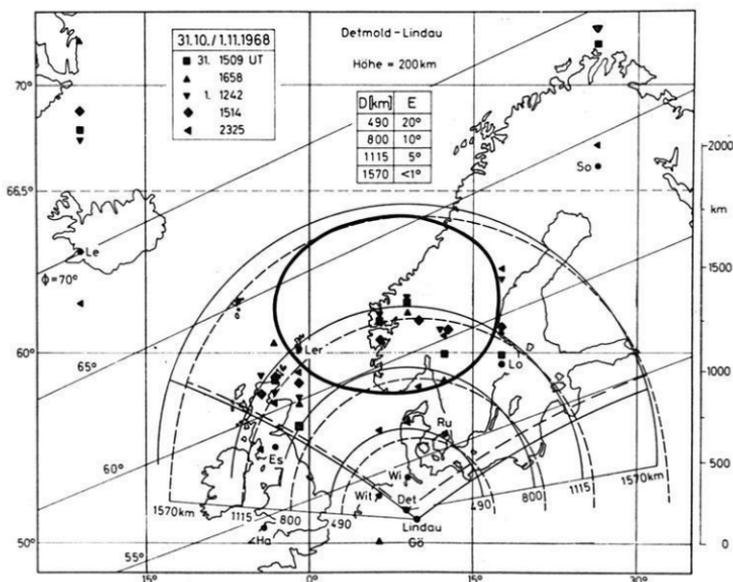


Abb. 13: Rückstreckkurve Detmold (DLØAR)-Lindau für eine Höhe von 200 km mit der Lage der für 110 km Höhe berechneten äquivalenten Linienströme.

Backscatter-curve Detmold (DLØAR)-Lindau for a height of 200 km with the position of the equivalent line current on Oct. 31, Nov. 1, 1968 calculated for a height of 110 km.

Werten von ΔH festgestellt. Ähnliche Effekte sind vermutlich die Ursache für die bereits erwähnten Unterschiede der Echoamplituden in den Registrierungen der beiden südlichsten Rückstreckstrecken am 31. 10. 1968 von 1500—1700 MEZ und besonders am 1. 11. 1968 von 1300—1400 MEZ und von ca. 1600—1700 MEZ. Von den H -Komponenten der Magnetogramme der Observatorien Lerwick und Lovö, die beide ungefähr unter der 200-km-Rückstreckkurve liegen, ist am 31. 10. 1968 gegen 1600 MEZ nur der ΔH -Wert von Lovö stark positiv (Abb. 5). Da wie bereits erwähnt, zu diesem Zeitpunkt die Echoamplitude auf der Strecke Bielstein-Lindau etwas größer als auf der Strecke Garding-Lindau ist, und außerdem in den Impuls-Rückstreckbeobachtungen (Abb. 12c) diffuse Echos aus der F-Region nur bis zu Frequenzen von 20 MHz auftreten, kann gefolgert werden, daß der Amplitudenbeitrag der Echos von feldorientierten Irregularitäten in der F-Schicht am 31. 10. 1968 von 1500—1700 MEZ gering ist. Am 1. 11. 1968 gegen 1300 und 1600 MEZ zeigen die H -Komponenten von Lerwick und Lovö starke Spitzen (Abb. 7). Gleichzeitig werden während dieser Zeit mit der Impuls-Rückstreckanlage diffuse Echos bis 45 MHz aus der F-Region beobachtet (Abb. 12c). Somit kann auf einen starken Beitrag zur Echoamplitude aus der F-Schicht geschlossen werden.

TAO [1962] nimmt zur Beschreibung der Streuung an Irregularitäten in der F-Region ein Modell an, in dem die Größe des Rückstreukoeffizienten mit der 4. Potenz der Beobachtungsfrequenz abfällt. Mit der Annahme eines derartigen Modells erklärt sich dann auch, daß Irregularitäten in der F-Schicht keinen Einfluß auf die Echoamplitude der Strecke Garding-Lindau ($f = 145,971$ MHz) haben, im Gegensatz zu der Strecke Bielstein-Lindau ($f = 29,0$ MHz).

Zum Abschluß der Diskussion, der mit Radiomethoden gewonnenen Messungen, sollen noch Beobachtungen kurz erwähnt werden, die sich nicht auf Radio-Polarlichter, sondern auf das Verhalten der F2-Schicht in der Zeit vom 30. 10.—5. 11. 1968

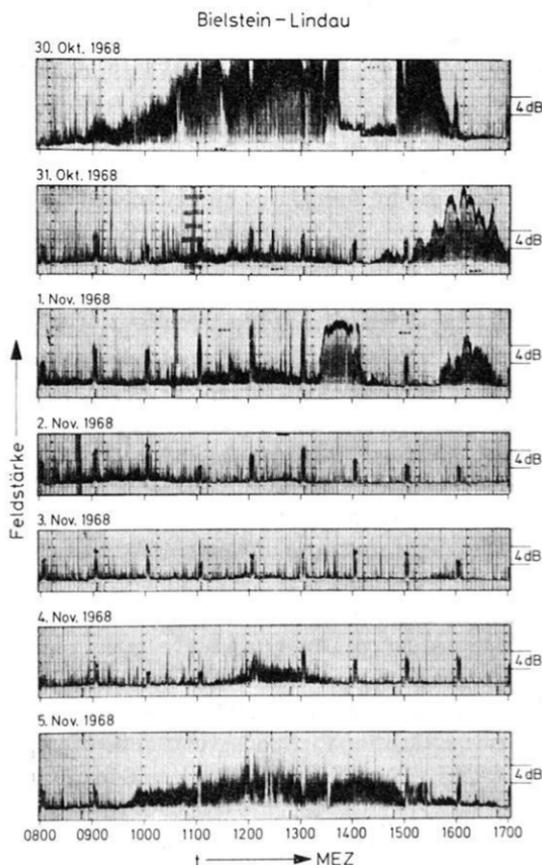


Abb. 14: Verlauf der $2x$ F Bodenrückstreuung der Strecke Bielstein-Lindau (29,0 MHz) während der Zeit vom 30. 10. bis 5. 11. 1968.

Variation of the $2x$ F ground-backscattering of the transmitter-receiver-line Bielstein-Lindau from Oct. 30 to Nov. 5, 1968.

beziehen. Wie bereits erwähnt, ist bei ausreichend hoher Elektronenkonzentration der F2-Schicht eine Fernübertragung von Kurzwellen (3–30 MHz) möglich. Die derart an der F2-Schicht reflektierten Radiowellen werden am Rand der toten Zone innerhalb eines Streukegels am Erdboden gestreut. Ein Teil der Energie wird zurückgestreut und durchläuft wieder einen Ausbreitungsweg über die F2-Schicht. An magnetisch ruhigen Tagen von ca. 0900 bis ca. 1700 MEZ wird von Lindau aus der Sender DL0AR (29,0 MHz) über einen derartigen 2x F-Scatter-Weg empfangen. Während eines starken Magnetsturmes wird die F2-Schicht in mittleren Breiten teilweise, in der Polarlichtzone vollständig abgebaut. Da der 2x F-Scatter-Weg zwischen Bielstein und Lindau am Rand der Polarlichtzone verläuft, unterliegt er sehr stark den Einflüssen von Magnetstörungen. In Abb. 14 ist das tageszeitliche Intervall, in dem an magnetisch ruhigen Tagen die 2x F-Scatter-Ausbreitung stattfindet für die Tage vom 30. 10. bis 5. 11. 1968 dargestellt. Die Registrierung vom 30. 10. 1968 zeigt einen für eine ungestörte F2-Schicht typischen Verlauf der Feldstärke. Der Abfall von 1345–1500 MEZ ist durch eine Abschaltung des Empfängers bedingt. Am 31. 10. 1968 gegen 1000 MEZ setzt die magnetische Störung ein. Von 1030–1400 MEZ zeigt die Registrierung nur ein schwaches 2x F-Scatter-Signal. Auch am 1. 11. 1968 tritt dieser Ausbreitungsmechanismus in der Zeit von 1030–1300 MEZ nur mit schwacher Amplitude auf. Am 2. und 3. 11. 1968 findet keine 2x F-Scatter-Übertragung statt, die Grenzfrequenz der F2-Schicht erreicht in Uppsala maximal nur 6,4 MHz. Am 4. 11. 1968 erreicht

foF2 [MHz] Uppsala 30. 10.—5. 11. 1968

MEZ Tag	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700
30.	8.9 S	S	11.0	11.8	J 12.1 S	12.1 S	11.2 S	V	S
31.	6.8 Z	8.0 Z	9.0	9.0 Z	9.1	9.3	B	B	B
1.	6.0	7.1 Z	8.0 Z	8.9	8.1	B	F	B	B
2.	F	4.9	B	5.7	5.2	6.4	5.0 V	F	F
3.	5.2	5.5	5.7	6.1	6.4	6.4 Z	S	5.7	F
4.	7.0 Z	8.0	9.2	10.2	9.5	8.4	J 8.0 S	F	F
5.	8.2 S	9.0	J 10.1 R	J 10.2 R	10.8	10.0	9.0	J 7.9 S	7.1 S

- B = Messung beeinflusst oder unmöglich wegen Absorption bei f_{min} ,
- F = Messung beeinflusst oder unmöglich wegen spread-Echos,
- J = Ordentliche Komponente aus der außerordentlichen abgeleitet,
- R = Messung beeinflusst oder unmöglich wegen der Dämpfung in der Nähe der kritischen Frequenz,
- S = Messung beeinflusst oder unmöglich wegen des Auftretens von Interferenzen und atmosphärischen Störungen,
- V = Messung möglicherweise durch eine gegabelte Spur beeinflusst,
- Z = Auftreten der dritten magnetoionischen Komponente.

die Grenzfrequenz der F2-Schicht in Uppsala Werte um 10 MHz und in der Zeit von 1100—1400 MEZ ist auch wieder ein schwaches 2x F-Scatter-Signal zu beobachten. Am 5. 11. 1968 haben sich die Verhältnisse in der F-Region weitgehend normalisiert, und so zeigt die Registrierung von 0930—1600 MEZ eine stärkere Amplitude des 2x F-Scatter-Echos. In der unten zusammengestellten Tabelle finden sich die foF2-Werte der Ionosphärenstation Uppsala für die Zeit vom 30. 10.—5. 11. 1968. Uppsala liegt ca. 1000 km von Lindau bzw. Detmold entfernt. Nimmt man eine Reflexion an der F-Schicht in ca. 300 km Höhe an, so ergibt sich für Bielstein bzw. Lindau für 1000 km Entfernung ein Elevationswinkel von 10° . Die foF2-Werte von Uppsala sind also einigermaßen charakteristisch für die 2x F-Scatter-Ausbreitung Bielstein-Lindau.

Optische Beobachtungen

Optische Beobachtungen des Polarlichts sowie des Luftleuchtens werden in Lindau mit einem Photometer durchgeführt. Das Photometer tastet den Himmel im Meridian von Horizont zu Horizont ab und erfaßt durch verschiedene Filter selektiv die Intensitäten der beiden Sauerstofflinien 6300 \AA und 5577 \AA , sowie die Untergrundintensität. Das gestreute Glühlicht aus dem Kontinuum des Nachthimmellichtes und von irdischen Quellen kann durch die Registrierung der Untergrundintensität bei der Auswertung eliminiert werden.

An magnetisch ruhigen Tagen liegt über dem Beobachtungsort eine schwach leuchtende homogene Schicht, deren Leuchtdichte während der Nacht langsam abnimmt. Nur die rote Linie zeigt kurz vor der Morgendämmerung einen charakteristischen Anstieg der Emission. Während der Beobachtungsstunden vom 31. 10.—1. 11. 1968 (Abb. 15) stieg dagegen die Leuchtdichte bis auf das Siebenfache des zu ruhigen Zeiten gemessenen Wertes an. Die leuchtende Schicht war außerdem nicht homogen, sondern wies wellenartige Strukturen auf, die sich von Süden nach Norden zu bewegen schienen. Gegen Mitternacht des 1./2. 11. stockten diese Bewegungen und die Strukturen lösten sich auf.

Die Emission der grünen Sauerstofflinie (5577 \AA) erfolgt in der E-Region der Ionosphäre und damit also im Höhenbereich der Radio-Polarlichter und des PEJ. Daher soll speziell die Photometerregistrierung dieser Linie mit den Rückstreubeobachtungen während der Mitternachtsstunden vom 1. auf den 2. Nov. 1968 (Abb. 16) verglichen werden.

Um 2322 MEZ zeigt sich ein deutlicher Intensitätseinsatz von ca. 1,2 KR ($1 \text{ KR} = 10^9 \text{ Photonen/cm}^2 \text{ sec}$) bei etwa 30° Elevation im Norden. Zu diesem Zeitpunkt sind auf der Registrierung der südlichsten Rückstreue-Strecke Bielstein-Lindau erste schwache Echos zu sehen (Abb. 4). Die Photometeraufzeichnung zeigt gegen 2345 MEZ ein relatives Maximum, das auf der Rückstreuregistrierung nur schwach angedeutet ist. Gegen 0030 MEZ steigt die Intensität der grünen Linie über dem nördlichen Horizont kräftig an und erreicht gegen 0045 MEZ mit 0,9 KR ein zweites Maximum (Abb. 16). Die südlichste Rückstreustrecke Bielstein-Lindau empfängt

gegen 0030 MEZ die stärksten Signale, während gegen 0045 MEZ auf den Registrierungen der übrigen Stationenpaare die Echoamplitude größer ist (Abb. 1 und 4). Die optischen wie auch die Rückstreubeobachtungen zeigen bis 0130 MEZ ein allmähliches Abklingen der Effekte. Gegen 0207 MEZ leuchtet die grüne Linie erneut mit einer Intensität von über 2 KR auf. Mit diesem Wert wird die Empfindlichkeitsgrenze des Auges überschritten. Zu dieser Zeit werden jedoch nur noch auf den drei nördlichsten Strecken schwache Echos empfangen (Abb. 1 und 4).

Abschließend soll noch von Polarlichtbeobachtungen berichtet werden, die von Schiffen im Nordatlantik gemacht wurden. Kurze Zeit nach dem Anwachsen der magnetischen Unruhe um 2200 MEZ am 1. 11. 1968 wurde von einem deutschen Handelsschiff bei $\varphi = 46,6^\circ$ N, $\lambda = 54,0^\circ$ W von 2230 bis 2400 MEZ ein grüner Bogen mit Strahlenstruktur beobachtet. Der Elevationswinkel betrug zuerst 15° und erreichte schließlich 40° . Später trat im Westen eine rötliche Färbung bis zu 80° über dem Horizont auf. Gegen 2400 MEZ verschwanden alle Polarlicht-Erscheinungen. Am 2. 11. 1968 gegen 0030 MEZ zu Zeiten der stärksten magnetischen Unruhe sichtete ein anderes deutsches Handelsschiff bei $\varphi = 38,7^\circ$ N, $\lambda = 61,8^\circ$ W ein rotes Polarlicht in ca. 60° Elevation.

Danksagung

Die Verfasser danken dem Norwegian Defense Research Establishment (Kjeller), dem Schwedischen Funkamateurrverband, SSA (SM4MPI), der Deutschen Bundespost (Garding und Norddeich) und den Herren der Sendestelle Teutoburger Wald des WDR (DLØAR) für die Wartung der einzelnen Stationen. Dank gebührt weiterhin den geomagnetischen Observatorien für die Bereitstellung der Magnetogramme, dem Seewetteramt Hamburg für die Erfassung und Weitergabe der Polarlichtmeldungen von deutschen Schiffen, sowie den technischen Mitarbeitern des Max-Planck-Instituts für Ionosphärenphysik. Dem Institutsleiter Herrn Prof. W. DIEMINGER danken die Verfasser für die Ermöglichung der Untersuchungen.



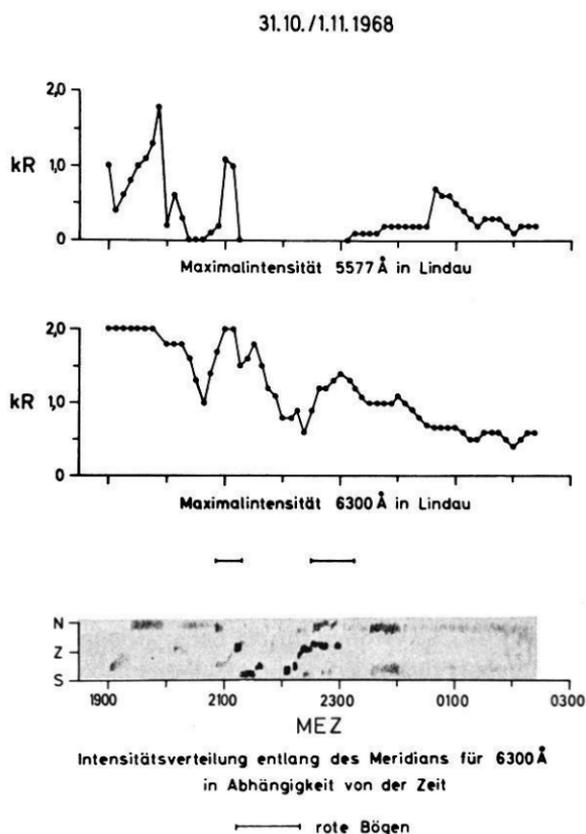


Abb. 15: Ergebnisse der Photometerbeobachtungen der grünen (5577 Å) und roten (6300 Å) Sauerstofflinie vom 31. 10./1. 11. 1968 in Lindau.

Results of the photometer-observations of the green (5577 Å) and red (6300 Å) oxygen line at Lindau on Oct. 31/Nov. 1. 1968. The two upper diagrams show the time variation of the intensities of the above mentioned green and red lines. The lower diagram indicates the position of spots emitting red light in the meridian plane from south to north. The graduation of white, gray and black indicates the intensity distribution.

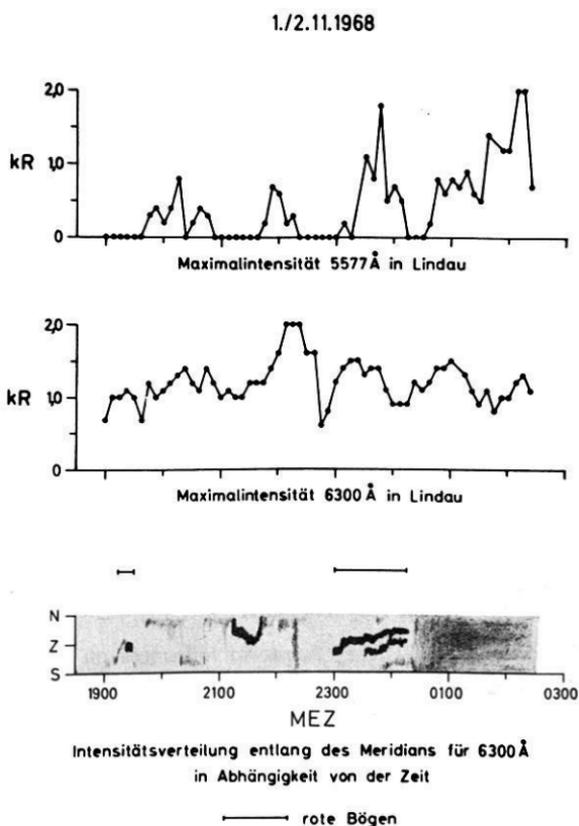


Abb. 16: Ergebnisse der Photometerbeobachtungen vom 1./2. 11. 1968 in Lindau.

Results of the photometer-observations at Lindau on Nov. 1/Nov. 2, 1968. For explanations see fig. 15.

Literatur

- AKASOFU, S. I.: Large-scale auroral motions and polar magnetic disturbances—I. *J. Atmosph. Terr. Phys.* 19, 10—25, 1960
- AKASOFU, S. I., S. CHAPMAN and C. J. MENG: The polar electrojet. *J. Atmosph. Terr. Phys.* 27, 1275—1303, 1965
- BIRKELAND, K.: Expédition Norvégienne de 1899—1900. Résultats magnétiques. *Vidensk. Skrifter, I. Mat. naturv. Kl.* 1—80, 1901
- BOOKER, H. G.: A theory of scattering by nonisotropic irregularities with application to radar reflections from the aurora. *J. Atmosph. Terr. Phys.* 8, 204—221, 1956
- BOWLES, K. L., B. B. BALSLEY and R. COHEN: Field-aligned E-region irregularities identified with acoustic plasma waves. *J. Geophys. Res.* 68, 2485—2501, 1963
- BUNEMAN, O.: Excitation of field-aligned sound waves by electron streams. *Phys. Rev. Letters*, 10, 285—287, 1963
- CHAPMAN, S.: The electric current systems of magnetic storms. *Terr. Magn. Atmos. Elect.* 40, 349—370, 1935
- : The geometry of radio echoes from aurorae. *J. Atmosph. Terr. Phys.* 3, 1—29, 1952
- COHEN, R. and K. L. BOWLES: The association of plane-wave electron density irregularities with the equatorial electrojet. *J. Geophys. Res.* 68, 2503—2525, 1963
- COLLINS, C. and P. A. FORSYTH: A bistatic radio investigation of auroral ionisation. *J. Atmosph. Terr. Phys.* 13, 315—345, 1959
- CZECHOWSKY, P.: Analyse von Rückstreubeobachtungen ultrakurzer Wellen an Polarlichtern. *Kleinheubacher Berichte Nr. 11*, 165—171, 1966
- CZECHOWSKY, P. and G. LANGE-HESSE: Substorm influences on VHF continuous wave auroral backscatter. Contribution to ESRO-Aurora I-Satellite-Symposium, Nordwijk, Netherland, 1969
- CZECHOWSKY, P.: Statistische Auswertung von Polarlicht-Rückstreubeobachtungen und Vergleich mit der Theorie der Plasma-Instabilität, *Kleinheubacher Berichte*, Nr. 13, 97—103, 1969
- FARLEY, D. T.: A plasma instability resulting in field-aligned irregularities in the ionosphere. *J. Geophys. Res.* 68, 6083—6097, 1963
- KOCHAN, H.: Rückstreubeobachtungen an Polarlichtern mit einer Meteor-Scatter-Anlage. *Kleinheubacher Berichte Nr. 12*, 23—33, 1967
- LANGE-HESSE, G.: Deutsche Polarlichtbeobachtungen 1957—1962. *Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, Math.-Phys. Klasse Heft 10*, 1963
- MILLMAN, G. H.: The geometry of the earth's magnetic field at ionospheric heights. *J. Geophys. Res.* 64, 717—726, 1959
- MÖLLER, H. G.: Impulsübertragungsversuche mit schräger Inzidenz und veränderlicher Frequenz über Entfernungen zwischen 1000 km und 2000 km. *Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen*, Nr. 1149, 1963

- MÖLLER, H. G.: Rückstreuobeobachtungen mit variabler Frequenz in Lindau am Harz. Gerlands Beiträge zur Geophysik 73 Heft 2, 81–92, 1964
- MOORCROFT, D. R.: Models of auroral ionisation, Part I + II. Can. J. Phys. Vol. 39, 677–715, 1961
- TAO, K.: On the Theoretical Study of F-Scatter. J. Geomagnet. and Geoelectr. 14, 71–85, 1962
- THOMAS, J. A., E. W. DEARDEN, E. M. MATTHEW, R. W. E. MCNICOL, B. A. MCINNES, D. G. SINGLETON, G. L. GOODWIN, G. J. E. LYNCH and J. CROUCHLEY: Final Report on observations of field-aligned irregularities and transequatorial propagation. Radio Research Section, Department of Physics University of Queensland, Brisbane, Australia, Scientific Report No. 16, 1962

