

LOKALE ÄNDERUNGEN DER STRUKTUR DER IONOSPHERE AUF HOHEN BREITENGRADEN

VON KAARE LANGLO OLSEN

(Manuskript am 6. März 1942 eingeliefert.)

I. Versuchsanordnung.

Die Beobachtungen wurden durch Senkrechtlotungen mittels der Impulsmethode an zwei Stellen in der Nähe der «Nordlichtzone» unternommen. Die eine Beobachtungsstelle war das Nordlichtobservatorium bei Tromsø ($69^{\circ} 39'.8$ N, $18^{\circ} 56'.9$ E. Gr.), die andere Station wurde ungefähr 150 km südwest von Tromsø in Gausvik ($68^{\circ} 36'.5$ N, $16^{\circ} 31'.8$ E. Gr.) errichtet.

Die Netze in Tromsø und Gausvik waren nicht gleichphasig und jede Station registrierte deshalb nur ihre eigenen Reflexionen. Der benutzte Frequenzbereich war etwa von 2.3 bis 10 MHz. Eine vollständige (h' , f)-Registrierung über diesen Bereich dauert etwa 5 Minuten. (h' = äquivalente Höhe, f = Frequenz). Vor und nach der Observationsperiode wurden in Tromsø mehrere vergleichende Messungen zwischen den zwei Stationen vorgenommen.

Das Observationsmaterial besteht aus einer Reihe gleichzeitiger Registrierungen der zwei Stationen in einem Zeitraum von etwa zwei Monaten (18. 8 bis 20. 10. 1940).

Der Zweck dieser Untersuchungen war eine genauere Kenntnis über die lokalen Änderungen der Ionisation der höchsten Atmosphärenschichten zu gewinnen sowohl unter magnetisch ruhigen als unter gestörten Verhältnissen. Zu diesem Zwecke stehen zu unserer Verfügung die erdmagnetischen Registrierungen des Nordlichtobservatoriums und für ausgewählte Tage auch die erdmagnetischen Kurven von Abisko ($68^{\circ} 21'$ N, $18^{\circ} 49'$ E. Gr.) etwa 150 km südlich von Tromsø.

II. Deutung der Registrierungen.

Abb. 1 (Tafel I) zeigt eine normale (h' , f)-Registrierung im Herbst. Unter solchen Verhältnissen sind die kritischen Frequenzen gut definierbar und leicht festzulegen. Die starke Gruppenretardation und Absorption der Wellen markieren die kritischen Frequenzen der F_2 -Schicht, $f^{\circ}_{F_2}$ und $f^x_{F_2}$.

Der Übergang der Reflexionen von der E - zu der F -Schicht kann einen sehr verschiedenen Charakter haben. Der einfachste Fall ist, dass ein plötzlicher Sprung in der äquivalenten Höhe bei einer bestimmten Frequenz auftritt. Dies ist die kritische Frequenz der ordinären Welle für die E -Schicht, f°_E . Die extraordinäre Welle wird dann in einem abgegrenzten Frequenzbereich absorbiert. In anderen Fällen ist der Übergang der Reflexionen von E zu F mit einer deutlichen Gruppenretardation verbunden, und wir nehmen diese als Kennzeichen der kritischen Frequenz, f°_E , Abb. 1. Wenn die ordinären Wellen Echo von den E - und F -Schichten gleichzeitig geben, nehmen wir die niedrigste Frequenz mit retardierten F -Echo als f°_E . In einzelnen Fällen kann auch die kritische Frequenz der extraordinären Welle für die E -Schicht, f^x_E , bestimmt werden, selten aber mit derselben Genauigkeit wie die anderen kritischen Frequenzen.

Unter abnormalen Verhältnissen, z. B. erdmagnetischen Störungen, und besonders wenn die abnormalen E -Echo auftreten, ist es oft schwierig die kritischen Frequenzen festzulegen. Abb. 2 (Tafel I) zeigt eine solche stark gestörte Registrierung mit ausgeprägten abnormalen E -Echo. Der Polarisationszustand der E -Echo ist auf der Abbildung

schematisch angedeutet in Übereinstimmung mit früheren Untersuchungen¹⁾. Um die abnormalen *E*-Echo zu charakterisieren wählen wir die Grössen f_{AE} und f^*_{E} , vgl. Abb. 2. Hier ist f_{AE} die niedrigste Frequenz mit *F*-Echo, vgl. *Appleton*,²⁾ und f^*_{E} ist die höchste Frequenz mit abnormalen *E*-Echo. Diese Grössen sind keine kritischen Frequenzen im gewöhnlichen Sinn und dürfen nicht den regulären f°_{E} und f^x_{E} gleichgestellt werden.

Die stark reduzierte und irreguläre Grenzfrequenz der F_2 -Schicht während erdmagnetischer Störungen wollen wir mit $f^*_{F_2}$ bezeichnen.

Der maximale Fehler in der Bestimmung der kritischen Frequenzen ist unter normalen Verhältnissen $\Delta f = \pm 0.1$ MHz. Die Genauigkeit ist jedoch kleiner unter abnormalen Verhältnissen, vgl. Abb. 2. Die maximale Unsicherheit in der Aus-

messung der äquivalenten Höhen ist etwa $\Delta h = \pm 5$ km.

Durch direkten Vergleich wurde festgestellt dass die Kalibrierungsfrequenz der Empfangsanlage in Gausvik 7 % kleiner als in Tromsø war. Die angegebenen äquivalenten Höhen für Gausvik sind darum 7 % zu klein. Dies wird berücksichtigt wenn es für die Diskussion der Kurven notwendig ist.

III. Übersicht über die täglichen Beobachtungen.

a) Kritische Frequenzen.

Abb. 3 gibt eine Übersicht über die Änderungen von einem Tag zum anderen in der kritischen Frequenzen der F_2 -Schicht zu 3 Zeitpunkten, die symmetrisch zum lokalen Mittag liegen. Im oberen Teil der Abbildung ist für jeden Tag der Wert in γ von

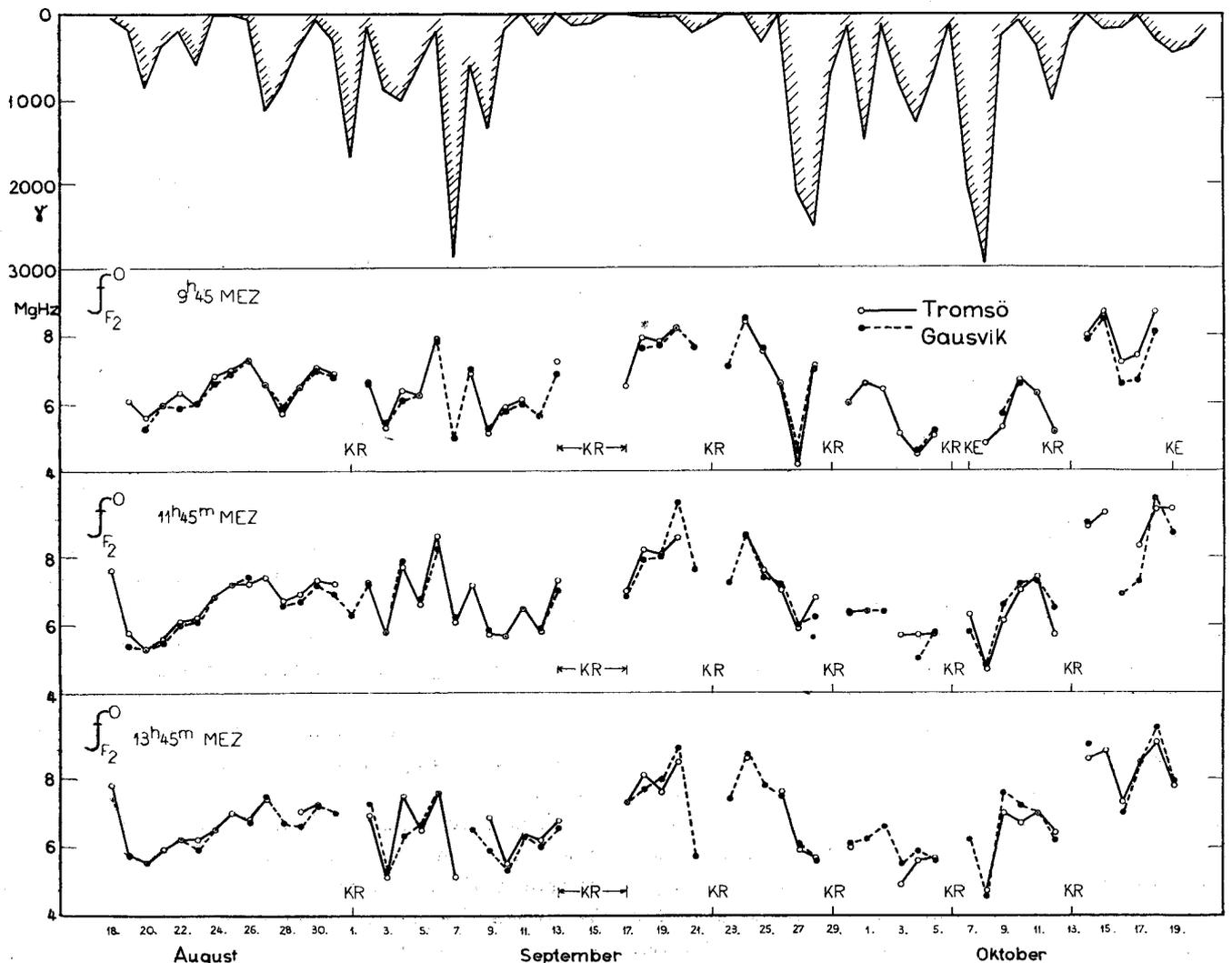


Abb. 3. Die Änderungen der kritischen Frequenzen der F_2 -Schicht von Tag zu Tag. Oben ist die erdmagnetische Aktivität als AS für die vorhergehenden 12 Stunden angegeben.

KR = Keine Registrierung. KE = Keine Echo.

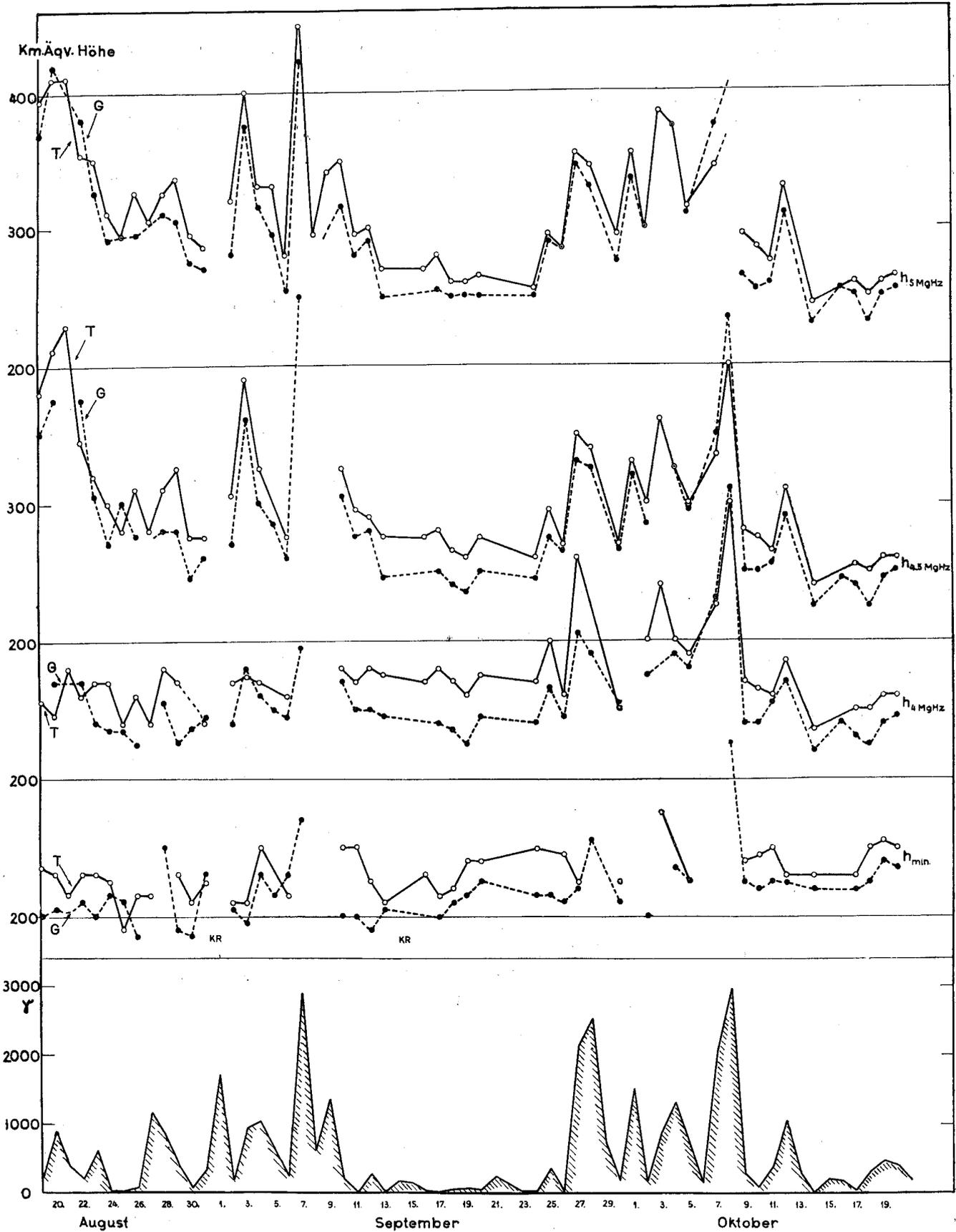


Abb. 4. Die Änderungen der äquivalenten Höhen der F-Schicht um 11^h 45^m MEZ von Tag zu Tag. Unten ist die erdmagnetische Aktivität als AS für die vorausgehenden 12 Stunden angegeben.

AS eingezeichnet. Die Grösse AS («absolute Storminess») stellt einen gewissen Ausdruck der Summe der erdmagnetischen Aktivität in einem bestimmten Zeitraum dar und ist durch die Gleichung

$$AS = \frac{1}{T} \int |P| dt$$

definiert, wo T ein gewisses Zeitintervall (gewöhnlich eine Stunde) und $P = \Delta H$ die Abweichung der Horizontalintensität (H) von dem normalen, ruhigen Feld ist ($\gamma = 10^{-5}$ Gauss). T ist hier für die vorausgehenden 12 Stunden von 23^h bis 11^h MEZ gerechnet.

Aus Abb. 3 geht hervor, dass die kritischen Frequenzen der F_2 -Schicht während normaler Verhältnisse in 150 km Abstand nicht sehr verschieden sind. Unter abnormalen Verhältnissen wurden doch nicht selten kritische Frequenzen registriert, die in Tromsø und Gausvik unterschiede von bis zu 1 MgHz zeigten.

Die Beobachtungen zeigen weiter dass die zwei Stationen genau dieselben Einzelwerte von f_E° lieferten. In Tabelle 1 sind die Mittelwerte von f_E° und $f_{F_2}^\circ$ für die Mittagsregistrierungen während 3 Perioden ausgerechnet:

Tabelle 1.

Periode	Mittelw. f_E° 11 ^h 45 ^m MEZ		Mittelw. $f_{F_2}^\circ$ 11 ^h 45 ^m MEZ	
	Tromsø	Gausvik	Tromsø	Gausvik
18—31. 8. 1940....	3.10MgHz	3.09MgHz	6.66MgHz	6.42MgHz
1—30. 9.	2.91 »	2.89 »	7.00 »	6.98 »
1—19.10.	2.50 »	2.51 »	6.97 »	6.80 »

Die grösseren Mittelwerte von $f_{F_2}^\circ$ in Tromsø können kaum als ein Breiteneffekt gedeutet werden. Der Unterschied hängt wahrscheinlich mit der erdmagnetischen Aktivität zusammen.

b) Die äquivalenten Höhen.

Eine Übersicht über die Schwankungen der äquivalenten Höhen von Tag zu Tag ist in Abb. 4 gegeben. (T = Tromsø und G = Gausvik). Die drei oberen Doppelkurven zeigen die äquivalenten Höhen der ordinären Welle für 5 MgHz, 4.5 bzw. 4 MgHz, den 11^h 45^m MEZ Registrierungen entnommen. Die untere Doppelkurve zeigt die kleinste äquivalente Höhe der F_2 -Schicht (oder F_1) für denselben Zeitpunkt. Unten ist dieselbe Kurve für AS wie in Abb. 3 eingezeichnet.

Betrachtet man die (h', f)-Kurven für die 11^h 45^m Registrierungen, sieht man, dass man vorsichtig sein muss, von diesen Höhen-Kurven auf reelle Höhen-

änderungen der Schichten zu schliessen. Die grösseren Werte von $h'_{4.5}$ und h'_5 im August gründen sich teilweise auf die starke Gruppenretardation in der F_1 -Schicht, da die kritische Frequenz für diese Schicht in diesem Zeitraum um 4.5 MgHz (ordinäre Welle) liegt. Die Einzelwerte der äquivalenten Höhen können augenscheinlich an zwei 150 km voneinander entfernten Beobachtungstellen nicht unwesentlich verschieden sein, aber die genaue Parallelität der Kurven ist auffallend.

IV. Die Tagesbeobachtungen der zwei Stationen, und der Zusammenhang zwischen den Änderungen der Ionisation der Schichten und der erdmagnetischen Aktivität.

Die ausgeprägte Korrelation auf hohen Breitengraden zwischen Änderungen der kritischen Frequenz und der äquivalenten Höhe der F_2 -Schicht auf der einen Seite, und der erdmagnetischen Aktivität auf der anderen sind durch mehrere Arbeiten bekannt. Eine ähnliche Korrelation für die abnormale E -Schicht scheint sehr wahrscheinlich zu sein, (Harang³). Wir wollen hier den lokalen Charakter dieser Korrelation näher untersuchen.

Schon aus den schematischen Kurven in Abb. 3 und 4 geht die Korrelation zwischen der F_2 -Schicht und der erdmagnetischen Aktivität deutlich hervor. Besonders Abb. 4 zeigt, wie früher bemerkt, eine genaue Parallelität zwischen der äquivalenten Höhen der beiden Stationen. Man kann darauf schliessen dass die grossen Änderungen der F_2 -Schicht von Tag zu Tag — die in Zusammenhang mit der erdmagnetischen Aktivität stehen — *gleichzeitig* über grösseren Bereichen auftreten.

Einen näheren Einblick in diese Verhältnisse geben die Tagesbeobachtungen.

a) Erdmagnetisch ruhige Tage.

Abb. 5 zeigt als Beispiel die (h', f)-Kurven für 13. 9. 1940. Ausser den kritischen Frequenzen in MgHz sind hier auch die Werte von h'_0 in km angegeben. Diese Grösse wird in dem Punkte gemessen, wo die Frequenz der extraordinären Welle mit der Grenzfrequenz der ordinären Welle übereinstimmt. Die Änderungen der kritischen Frequenzen und die kleinste äquivalente Höhe in der Beobachtungszeit gehen aus Abb. 6 hervor. Im oberen Teil der Abbildung ist die erdmagnetische Registrierung in Tromsø eingezeichnet, D ist die Deklination und H

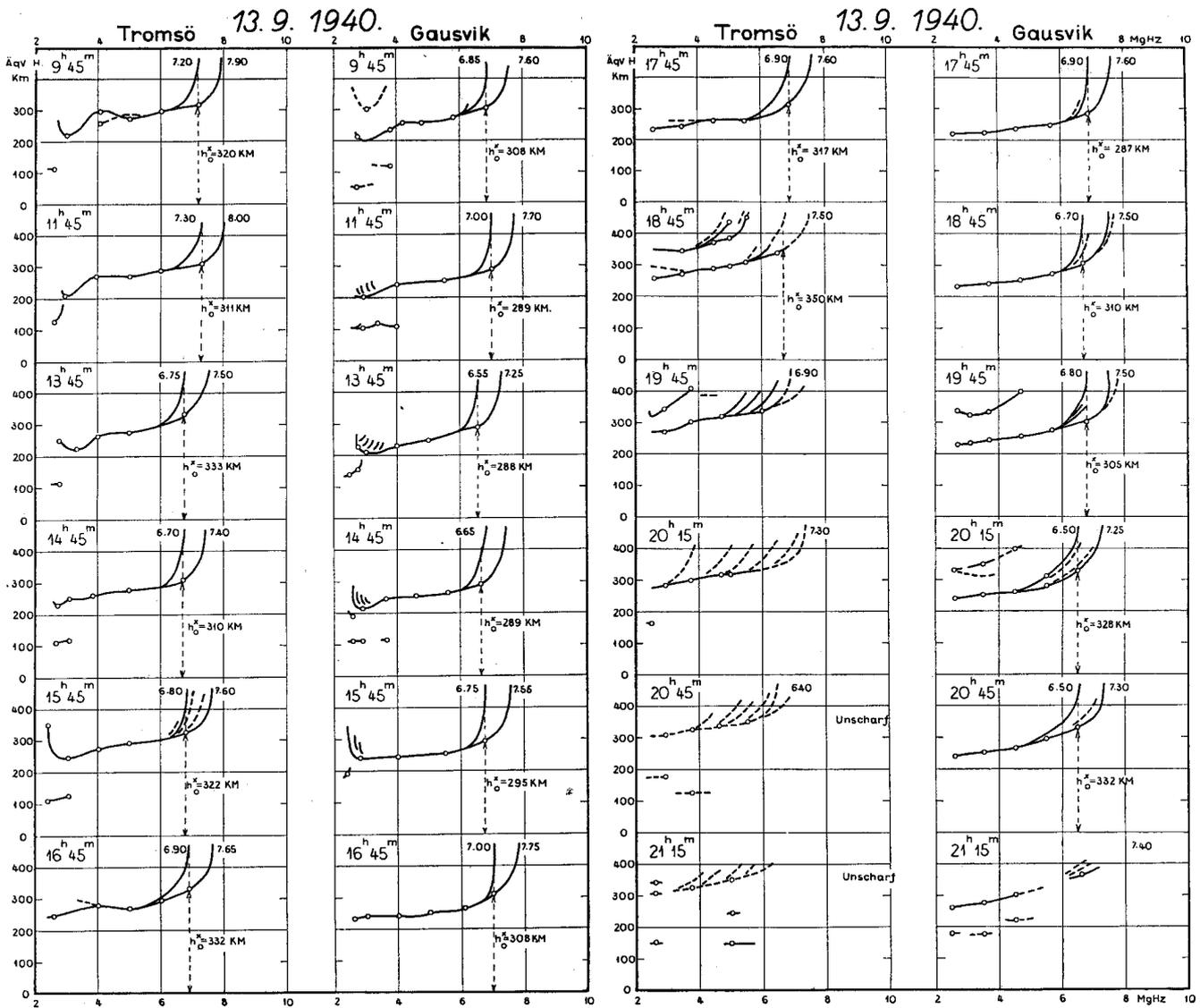


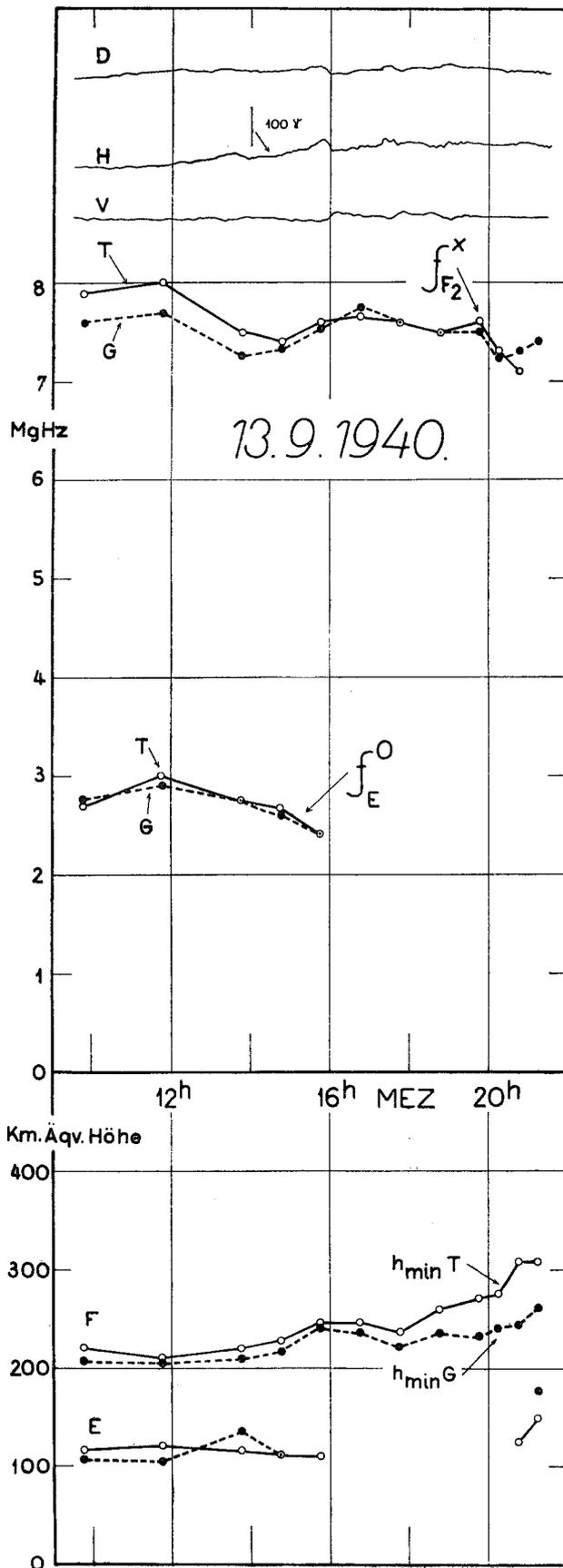
Abb. 5. Die (h', f)-Kurven am 13.9.1940.

und V bzw. die Horizontal- und die Vertikalintensität. Der Skalenwert von H ist in γ angegeben. Die magnetischen Kurven zeigen einen ziemlich ruhigen Verlauf, und die vorausgehenden 24 Stunden waren ebenfalls ruhig gewesen. Die Kurven für Abisko zeigen dieselben erdmagnetischen Verhältnisse.

Aus Abb. 6 ersehen wir den normalen Verlauf von f°_E mit einem Maximum um lokal Mittag. Es ist deutlich dass die Werte von f°_E an den zwei Stationen sehr nahe zusammenfallend sind. Die kritischen Frequenzen für F_2 zeigen einige unregelmässigen Variationen die deutlicherweise keine rein lokale Erscheinung sind, sondern in den Registrierungen aus beiden Stationen wieder-

gefunden werden können. Die kleinste äquivalente Höhe zeigt keine besonders grosse Änderungen unter normalen Verhältnissen. Die Höhe der F_1 -Schicht (in der Zeit 9^h bis 15^h) schwankt augenscheinlich ganz parallel in Tromsø und Gausvik, die Höhe der F_2 -Schicht aber ist etwas verschieden.

Aus den (h', f)-Kurven in Abb. 5 gehen einige andere interessante Erscheinungen hervor. Trotz der ruhigen erdmagnetischen Kurven und der beinahe gleichen kritischen Frequenzen haben die (h', f)-Kurven einen verschiedenen Charakter auf den zwei Stationen, und zwar besonders nach 18^h 45^m MEZ. Die Echo in Gausvik haben bis 20^h 45^m eine deutliche magnetische Aufspaltung, während die



Registrierungen in Tromsø nach 18^h 45^m ein stark zerstreutes Echo über einen breiten Frequenzbereich zeigen. Nach *Ratcliffe* und *White*⁴⁾ darf angenommen werden, dass diese zerstreuten Echo als Polarisierungseffekt angesehen werden können.

b) Erdmagnetisch gestörte Tage.

Die Registrierungen am 5. 9. 1940 sind ein Beispiel von einem erdmagnetisch gestörten Tag. Abb. 7 zeigt die (h', f)-Kurven der zwei Stationen und Abb. 8 die Änderungen der kritischen Frequenzen und die kleinste äquivalente Höhe. Die erdmagnetischen Kurven haben einen unruhigen Verlauf, und besonders ausgeprägt ist der negative Sturm der um 20^h MEZ beginnt. Die Kurven für Abisko zeigen denselben Verlauf, doch mit etwas kleineren Amplituden. In den vorausgehenden 24 Stunden war die erdmagnetische Aktivität ziemlich lebhaft gewesen, und im Zusammenhang damit sind die Echoamplituden klein und die kritischen Frequenzen der F_2 -Schicht relativ niedrig.

In Abb. 8 sehen wir von 16^h ab die charakteristische Abnahme der kritischen Frequenz unter gestörten Verhältnissen (Die Abnahme ist etwa viermal grösser in der Zeiteinheit als unter regulären Verhältnissen). Dies bedeutet nicht unbedingt, dass die Ionisation der F_2 -Schicht als Ganzes um denselben Betrag reduziert worden ist. Erstens geben die beobachteten niedrigen Grenzfrequenzen kaum ein richtiges Mass für die maximale Elektronendichte, da die Grenzfrequenz bei der Registrierung nicht scharf definiert ist, vgl. Abb. 2. Zweitens zeigen die steilen (h', f)-Kurven, dass das normal markierte Maximum der Elektronendichte in ein flacheres Maximum übergegangen ist. Es ist sogar möglich, dass die F_2 -Ionisation als Ganzes nicht mehr als gewöhnlich abgenommen hat. Diese Änderungen der Vertikalverteilung der Elektronendichte sind vielleicht ein Teil der Ursache der grossen äquivalenten Höhen für die F_2 -Schicht, die gleichzeitig mit den niedrigen Grenzfrequenzen registriert werden, vgl. Abb. 8. Man muss annehmen dass die Verzögerung der Wellen in der F_2 -Schicht unter solchen Umständen sehr gesteigert ist, und es ist kaum richtig diese grossen äquivalenten Höhen als eine reelle Hebung der F_2 -Schicht zu deuten.

Es ist zwar möglich die niedrigen Grenzfrequenzen und die grossen äquivalenten Höhen der

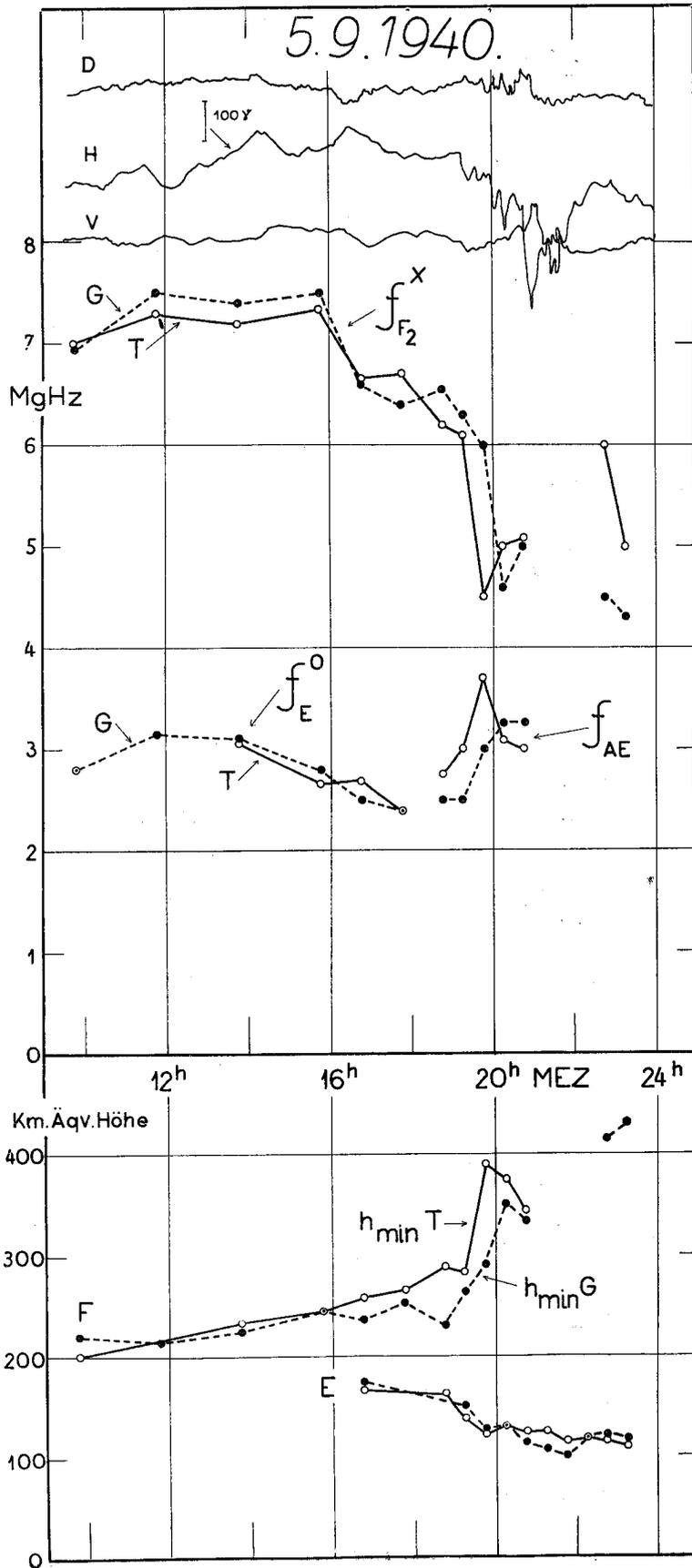
Abb. 6. Die Änderungen der kritischen Frequenzen und der äquivalenten Höhen am 13. 9. 1940.



Abb. 7. Die (h', f)-Kurven am 5.9.1940.

F_2 -Schicht im Sommer als einen Temperatureffekt zu erklären, aber die schnellen und lokalen Änderungen unter erdmagnetisch gestörten Verhältnissen

dürften eine andere Ursache haben. Diese Untersuchungen liefern mehrere Beispiele dafür. Wir können z. B. die Registrierungen 19^h 45^m, Abb. 7,



betrachten, die sehr verschiedene (h' , f)-Kurven an den zwei Stationen lieferten. Es ist höchst unwahrscheinlich dass die F_2 -Schicht in einer kurzen Zeit in Tromsø ungefähr 100 km höher als in Gausvik liegen sollte. Wir müssen annehmen, dass dieser Höhenunterschied auf einer grösseren Gruppenretardation der Echo in Tromsø begründet ist. Diese Verzögerung braucht nicht nur in der F_2 -Schicht vorsichzugehen, sondern kann auch den unterliegenden Schichten zugeschrieben werden. Die Registrierungen beider Stationen zeigen abnormale E -Echo, die eine starke Gruppenretardation zeigen und deshalb von einer relativ dicken Schicht kommen. Die Frequenz f_{AE} ist beträchtlich grösser in Tromsø als in Gausvik, und es ist auch darum wahrscheinlich, dass die Echo in Tromsø am stärksten verzögert sind.

Eine Reihe von Fällen kann erwähnt werden, wo die Beobachtungen grosse Änderungen der F_2 -Schicht im Laufe der Registrierzeit (5 Minuten) zeigen, vgl. z. B. Tromsø 22^h 45^m, Abb. 7. Diese Änderungen sind schwer als Temperatureffekt zu erklären. Entweder müssen sich neue Schichten *lokal* gebildet haben oder wir können Änderungen der niedrigeren Schichten und damit der Gruppengeschwindigkeit der Wellen den beobachteten Schwankungen zuschreiben.

Frühere Untersuchungen³⁾ haben gezeigt, dass die grösste negative Korrelation zwischen der erdmagnetischen Aktivität und den Mittagswerten der kritischen Frequenzen der F_2 -Schicht besteht, wenn man die Reduktion der kritischen Frequenz mit AS für die vorhergehenden 24 Stunden vergleicht. Eine weitere vorläufige Untersuchung zeigt, dass die Korrelation in manchen Fällen besonders gut ist, wenn man mit AS für einen kurzen vorausgehenden Zeitraum, z. B. 4 Stunden, rechnet. Es ist also möglich, dass die Änderungen der F_2 -Ionisation in grossen Zügen *gleichzeitig* mit der Vergrösserung der erdmagnetischen Aktivität vorgehen.

Abb. 8. Die Änderungen der kritischen Frequenzen und der äquivalenten Höhen am 5, 9, 1940.

In Abb. 8 sehen wir, dass der abnormale Zustand sehr nahe gleichzeitig in Tromsø und Gausvik eintritt, und die erdmagnetischen Störungen setzen in Tromsø und Abisko genau gleichzeitig ein (und sicher auch in Gausvik). Aus mehreren solchen Tagesbeobachtungen darf man schliessen, dass die grossen Änderungen der Ionisation der F_2 -Schicht während starker erdmagnetischer Störungen in grösseren Bereichen *sehr nahe gleichzeitig* auftreten.

Sehen wir nun die Änderungen der E -Ionisation an, illustriert Abb. 8 gut den Unterschied zwischen der normalen und abnormalen Ionisierung. Die Grösse f_{AE} (und auch f_{*E}) schwankt schnell und irregulär im Vergleich zu f_{*E}^o . Es ist also ein wesentlicher Unterschied zwischen den zwei Typen der Ionisation, der überhaupt die Bezeichnung «abnormal» rechtfertigt.

Die Kurven für die kleinste äquivalente Höhe der E -Schicht in Abb. 8 zeigen einen interessanten Verlauf. Die Höhen der E -Schicht nehmen *ab* und gleichzeitig nehmen die Höhen der F -Schicht *zu*. Die grössten äquivalenten Höhen der E -Schicht dürfen unbedingt für einen Teil der starken Gruppenretardation in der Nähe der kritische Frequenz zugeschrieben werden. Es bleibt noch eine bedeutende Abnahme in äquivalenter Höhe zurück. Möglicherweise kann diese Erscheinung dahin gedeutet werden, dass ionisierte Luftmassen von dem Gebiet zwischen der E - und F -Schicht herabsinken können und dadurch zum Teil die abnormale E -Ionisation bilden,²⁾ oder die Kurven zeigen die Wirkung eines ionisierenden Agens, das nach und nach tiefer in die Atmosphäre eindringt.

V. Die kleinen, unregelmässigen Schwankungen der F_2 -Ionisation.

Um einen Einblick in die kleinen, irregulären Änderungen der F_2 -Ionisation zu bekommen, wurde an den zwei Stationen eine Reihe von gleichzeitigen Messungen der Grenzfrequenz für die F_2 -Schicht unternommen. Die kritische Frequenz für die beiden Komponenten wurde alle zwei Minuten durch unmittelbares Ablesen der Skalenwerte am Empfänger bestimmt. Der maximale Ablesefehler kann auf $\frac{1}{2}$ Teilstriche, d. h. etwa 0.05 MgHz, geschätzt werden. Von diesen visuellen Messungen, die jede einen Zeitraum von einer Stunde beanspruchten, sollen hier zwei Fälle erörtert werden.

- a) Änderungen der Grenzfrequenz für F_2 von 10^h bis 11^h MEZ am 18. 9. 1940.

Das Ergebnis dieser Messungen ist in Abb. 9 in Gestalt von (f, z)-Kurven wiedergegeben ($z = \text{Zeit}$). Die erdmagnetischen Registrierungen in Tromsø zeigen ruhige Verhältnisse, sowohl in der Observationszeit als auch in den vorhergehenden 12 Stunden. Da die kritischen Frequenzen hier scharf definiert sind, dürfen wir schliessen, dass die kleinen Änderungen der maximalen F_2 -Ionisation in Tromsø und Gausvik sehr nahe parallel verlaufen. Der scheinbar grössere Unterschied zwischen den ordinären Komponenten und zwischen den extraordinären hat wahr-

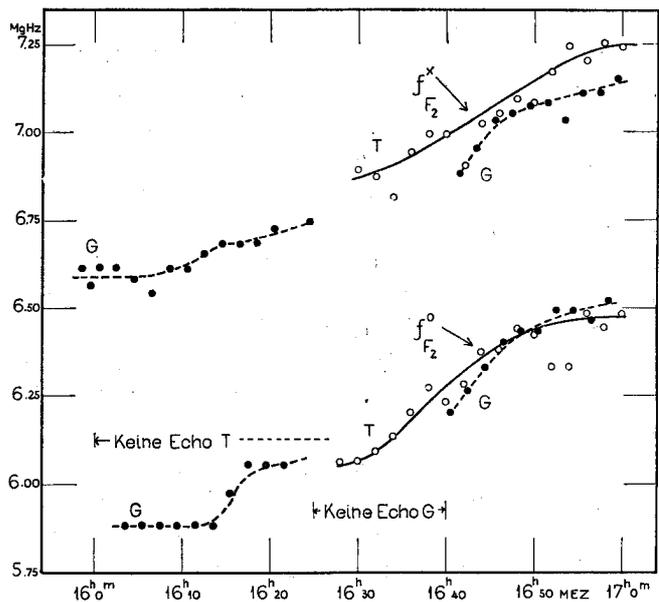
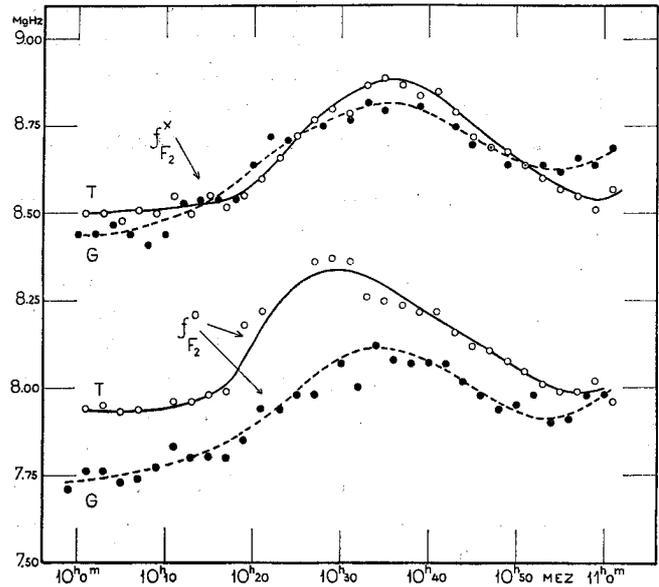


Abb. 9 und 10. Schwankungen der kritischen Frequenzen der F_2 -Schicht am 18. 9. bzw. 12. 9. 1940. (Am 12. 9. tritt ein «Fade-out» auf, das nicht gleichzeitig an beiden Stationen eintritt.)

scheinlich seinen Grund darin, dass die ordinäre Welle (besonders in Tromsø) ein breites und aufgespaltenes Echo gibt.

Aus sämtlichen diesen Untersuchungen geht hervor, dass die Ionisierung der F_2 -Schicht selten gleichmässig stattfindet, sondern beständige Schwankungen zeigt, die nicht von unerheblicher Grösse sind. Die Änderungen finden gleichzeitig statt über Entfernungen, die grösser sind als 150 km. Diese kleinen und schnellen Variationen können kaum Temperaturänderungen zugeschrieben werden, und wir müssen annehmen, dass entweder die Ionisierungsursache sich in derselben Weise ändert oder dass schnelle Änderungen der Vertikalverteilung der Ionisation für die beobachteten Schwankungen der maximalen Elektronendichte verantwortlich sind.

b) Änderungen der Grenzfrequenz für F_2 von 16^h bis 17^h MEZ am 12. 9. 1940.

Abb. 10 zeigt die (f, z) -Kurven für diese Messungen. In den vorhergehenden 12 Stunden bestand eine kleine erdmagnetische Unruhe, die auch während der Observationszeit andauerte. Die H -Komponente hatte um 16^h einen positiven Ausschlag mit einem maximalen Betrag von etwa 100 γ . Es traten auch einigen Pulsationen von D auf, und es ist nicht unmöglich, dass diese erdmagnetischen Störungen mit dem interessanten «Fade-out» in Abb. 10 in Verbindung stehen. Gausvik beobachtete keine Echo von 16^h 25^m bis 16^h 40^m über dem ganzen Frequenzbereich. Schon 16^h 18^m begannen die Echoamplituden abzunehmen, aber die gleichmässige Steigerung der kritischen Frequenz setzte fort bis die Echo verschwanden. Die Echo kamen auf derselben Weise zurück und wurden nach und nach stärker. Abb. 10 zeigt, dass die gleichmässige Steigerung der maximalen F_2 -Ionisation wahrscheinlich die ganze Zeit andauerte, und die maximale Elektronendichte der F_2 -Schicht wird also von der Ursache dieses «Fade-out» nicht beeinflusst. Die Tromsø-Kurve stützt diese Auffassung.

Tromsø beobachtete um 16^h keine Echo, aber die Echo waren vor 16^h 28^m zurückgekommen. Wir haben hier ein Beispiel von einem lokalen «Fade-out» der nicht gleichzeitig an zwei 150 km von einander entfernten orten eintritt. Diese Erscheinung können wir als eine kurzdauernde Absorption der Wellen im unteren Teil der E -Region erklären. Die Absorption dürfte deshalb deutlicher Weise streng lokal auftreten, und die Beobachtungen stützen die Auf-

fassung, dass es sich um die Wirkung einer korpuskularen oder sehr kurzwelligen Strahlung der Sonne handelt.

VI. Die Beobachtungen bei festen Frequenzen.

Wie erwähnt können unter abnormalen Verhältnissen die (h', f) -Kurven sich im Laufe der Registrierzeit (5 Min.) nicht unwesentlich ändern. Die täglichen Registrierungen bei festen Frequenzen geben einen Einblick in diesen schnellen und lokalen Änderungen der Ionisation der Schichten. Als feste Frequenzen wurden meistens 3 und 4.5 MgHz benutzt, und als Beispiele wollen wir hier einige Registrierungen zeigen die während der starken erd-

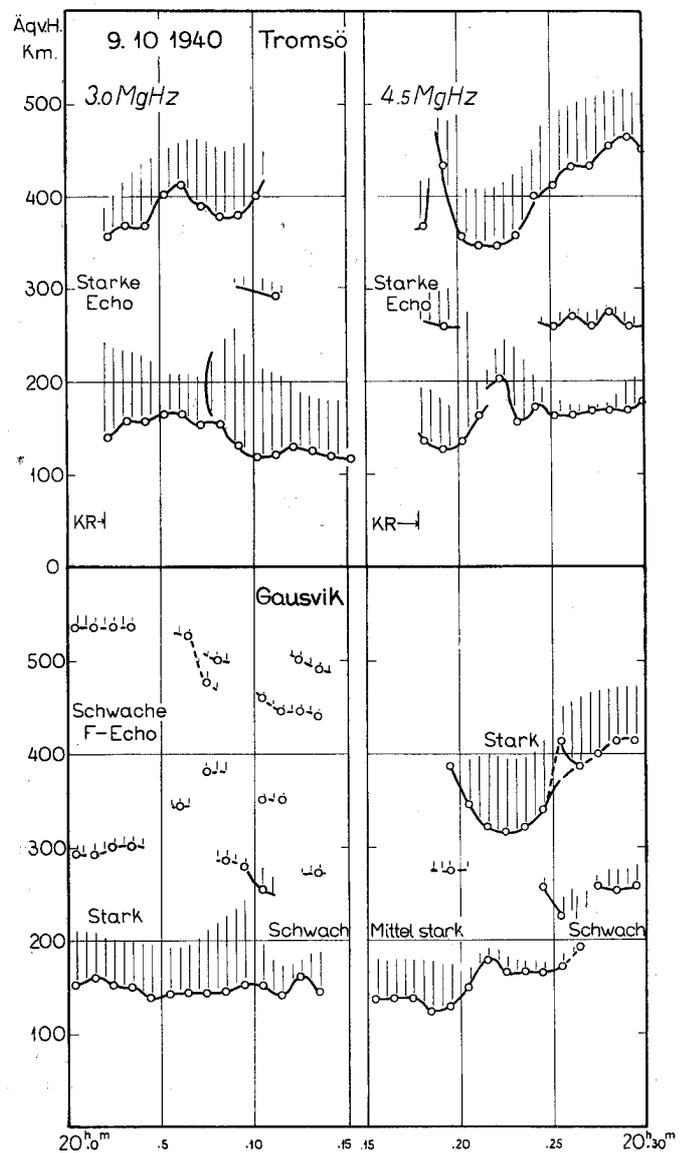


Abb. 11. (h', z) -Kurven, 3,0 und 4,5 MgHz.

magnetischen Sturmperiode im Anfang Oktober 1940 aufgenommen wurden.

- a) Die (h', z) -Registrierung 20^h 00^m—20^h 30^m MEZ am 9.10.1940.

Die Registrierungen der zwei Stationen sind in Abb. 11 zusammengestellt. Die Grösse der vertikalen Schraffierung entspricht der Breite des Echo-bildes auf dem Film und darf nicht ohne weiteres als ein Mass der Stärke der Echo angesehen werden. Die erdmagnetischen Verhältnisse in der Beobachtungszeit war relativ ruhig, ein markierter Ausschlag in der Horizontalintensität um 20^h 15^m angenommen. Es bestand eine kleine erdmagnetische Unruhe in den vorhergehenden 12 Stunden. Die (h', f) -Registrierungen 19^h 45^m ergaben folgende Grenzfrequenzen:

Tromsø: $f_{AE} = 2.70$, $f^*_E = 4.70$ und $f^*_{F_1} = 4.70$ MgHz.

Gausvik: $f_{AE} = 3.00$, $f^*_E = 3.90$ und $f^*_{F_1} = 4.70$ MgHz.

Die (h', f) -Kurven 19^h 45^m zeigen, dass starke abnormale E -Echo an den beiden Stationen auftreten, aber die E -Schichten sind von verschiedenem Charakter. Gausvik hat mehrere multiple E -Echo (bis 5 E) und die höheren Regionen werden beinahe völlig abgeschirmt. Tromsø dagegen hat einfache E -Echo und daneben ganz starke F -Echo. Diese verschiedenen E -Ionisationen gehen auch von den Registrierungen auf 3 MgHz, links in Abb. 11, hervor. Um 20^h 10^m setzt in Tromsø eine Verstärkung der E -Ionisation ein mit der Folge, dass die F -Echo ausfallen. Die äquivalenten Höhen sind stark von der Gruppenretardation beeinflusst, wir dürfen aber wahrscheinlich davon ausgehen, dass die kleineren Werte von h'_{AE} (die äquivalente Höhe der abnormale E -Schicht) mit grösseren Werten von f_{AE} verbunden sind. In Gausvik dagegen liegt f_{AE} ziemlich konstant um 3 MgHz und die hohen schwachen F -Echo können als stark verzögertes Echo in der Nähe von f_{AE} erklärt werden.

Rechts in Abb. 11 liegt die Registrierungs-frequenz (4.5 MgHz) sehr nahe den Werten von $f^*_{F_1}$ und f^*_E , und wegen der Gruppenretardation sind deshalb die grossen Variationen der äquivalenten Höhen ein Ausdruck für die zeitlichen Änderungen dieser Grössen. Die genaue Parallelität der Kurven ist auffallend. Es ist bemerkenswert, dass die bekannten irregulären Änderungen der Frequenzen $f^*_{F_1}$ und f^*_E also in gewissen Fällen gleichzeitig an

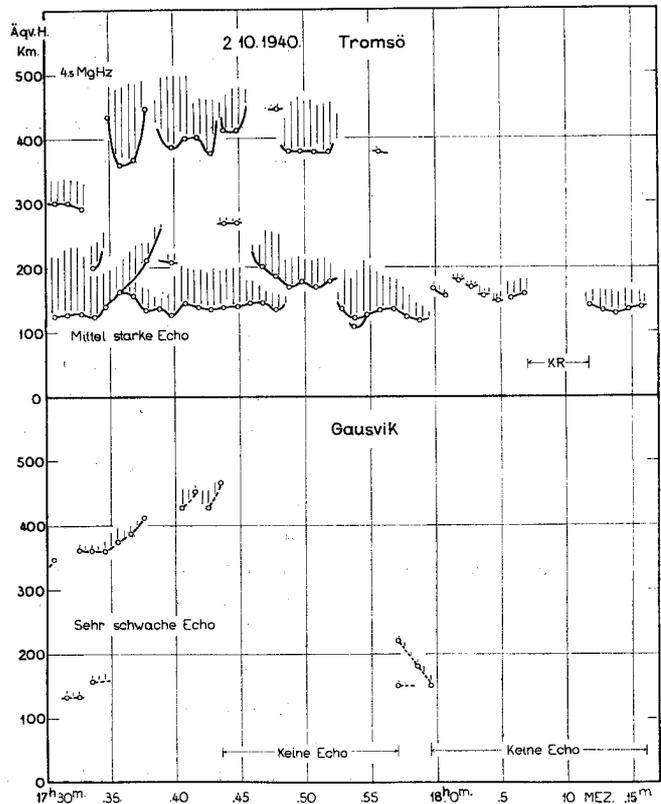


Abb. 12. (h', z) -Kurven, 4.5 MgHz.

den zwei Stationen auftreten können. In anderen Fällen zeigen die Registrierungen sehr verschiedene Reflexionsverhältnisse in Tromsø und Gausvik, wie wir an einem zweiten Beispiel erläutern wollen:

- b) Die (h', z) -Registrierung auf 4.5 MgHz 17^h 30^m—18^h 15^m MEZ am 2. 10. 1940.

Abb. 12 zeigt die Registrierungen der zwei Stationen. Es herrsche ein bedeutender erdmagnetischer Sturm während der Observationszeit, und die vorhergehenden 12 Stunden waren ebenfalls stark gestört. Die (h', f) -Registrierung in Gausvik 17^h 15^m hat eine besonders abnormale Kurve mit schwachen, niedrigen E -Echo bis 4.5 MgHz und mit schwachen Spuren von F -Echo bei dieser Frequenz. Aus Abb. 12 geht hervor, dass f^*_E während der ganzen Registrierzeit in Tromsø grösser war als in Gausvik. Die schwachen Echo in Gausvik deuten darauf hin, dass wir hier mit einer starken Absorption rechnen müssen. Diese Absorption findet wahrscheinlich in dem unteren Teile der E -Region statt, und dürfte in enger Verbindung mit der abnormalen E -Ionisation stehen. Es ist bekannt, dass die Absorption der Wellen über grösseren Fre-

quenzbereichen sehr wahrscheinlich mit den erdmagnetischen Störungen zusammenhängt. Eine Theorie der abnormalen E -Ionisation muss diese Erscheinungen erklären können und auch die ausgeprägten lokalen Variationen, von denen hier Beispiele gegeben wurden.

VII. Die abnormale E -Ionisation.

Die abnormale E -Schicht gibt im allgemeinen partielle Reflexionen, und man darf deshalb annehmen, dass die E -Region Gebiete mit stärkerer und schwächerer Ionisation aufweist. Es ist schwer die abnormalen E -Echo genau zu klassifizieren, wir können sie aber mit Vorteil in zwei Typen teilen:

a) Die äquivalente Höhe der E -Echos ist mit wachsender Frequenz ziemlich konstant oder nimmt langsam zu, und die Echo zeigen keine Gruppenretardation bei f_{AE} und f_E^* .

b) Die äquivalente Höhe nimmt mit wachsender Frequenz zu und die Echo zeigen deutliche Gruppenretardation bei f_{AE} oder f_E^* .

Der Typus a gibt sehr oft schwache Echo und der Typus b gibt im allgemeinen starke Echo. Die (h', f) -Kurven der E -Echo können aus einem dieser Typen oder aus einer Kombination beider bestehen.

Wir betrachten zuerst der Typus b . Das Echo muss von einer relativ dicken Schicht kommen. Von einer Rayleigh-Streuung der Wellen — wie Booker und Wells für die F_2 -Schicht gezeigt haben,⁵⁾ — kann hier nicht die Rede sein. Die am stärksten ionisierten Teile der Schicht haben wahrscheinlich grössere lineäre Dimensionen als die benutzten Wellenlängen, d. h. mehrere hundert Meter. Wenn diese «Ionen-Wolken» hinreichend gross sind, geben sie Echo durch gewöhnliche Refraktion. Die Grösse f_{AE} gibt dann wahrscheinlich in gewissen Fällen die maximale Ionendichte der am schwächsten ionisierten Teilen der E -Region, vgl. der Fall der in Abb. 2 wiedergegeben ist. In diesem Falle können wir annehmen, dass die E -Ionisation beinahe homogen ist, und dass wir es also angenähert mit der gewöhnlichen magnetischen Aufspaltung zu tun haben. In anderen Fällen erreicht f_E^* sehr hohe Frequenzen, und es dürften dann besonders stark ionisierte Ionenwolken auftreten, die für diese Echo verantwortlich sind. Es muss betont werden, dass die Grösse f_{AE} während erdmagnetischer Störungen sehr oft von der Absorption in niedrigeren Regionen bestimmt wird, die ersten Spuren von F -Echo sind

dann schwach und zeigen keine Gruppenretardationseffekte.

Gehen wir jetzt zu dem Typus a über, so dürfte das Echo hier von einer ganz dünnen Schicht sehr kleiner Ionenwolken kommen. In diesem Fall dürfen wir mit Rayleigh-Streuung rechnen, und es ist möglich, dass die zunehmende äquivalente Höhe der E -Echo mit wachsender Frequenz als allmählicher Übergang von vertikalen zu schiefwinkligen Reflexionen gedeutet werden kann. Die sehr verschiedenen Werte von f_E^* in 150 km Entfernung darf man dem streng lokalen Auftreten der verstärkten E -Ionisation zuschreiben. Gelegentlich sind grössere Gebiete mit Ionenwolken bedeckt, und wir können so gleichzeitige Änderungen der E -Ionisation an den zwei Stationen bekommen.

Abb. 13 (Tafel I) zeigt eine (h', f) -Registrierung, aus welcher die zwei Typen der abnormalen E -Echo hervorgehen. Bei 3 MgHz durchdringt die ordinäre Welle die am schwächsten ionisierten Teile der abnormalen E -Schicht, und die Echo auf höheren Frequenzen rühren von stärker ionisierten Ionenwolken her.

Eine systematische Ausmessung der äquivalenten Höhen der abnormalen E -Echo auf die (h', z) -Registrierungen zeigt, dass diese in Tromsö und in Gausvik im Mittel dieselbe Grösse haben. Für 4,5 MgHz liegt das Häufigkeitsmaximum um 135 km. Wegen der Gruppenretardation darf man auf diese Zahl kein besonderes Gewicht legen, aber es ist möglich, dass das Maximum der abnormalen E -Ionisation im Mittel höher liegt als das Maximum der normalen E -Ionisation.

Wie bekannt, zeigt das Auftreten der abnormalen E -Ionisation einen ausgeprägten täglichen Gang mit einem Minimum um Mittag und einem Maximum um Mitternacht oder etwas früher. Aus den täglichen (h', f) -Kurven der zwei Stationen von 9^h bis 21^h geht auch dieser tägliche Gang hervor. Von den Mittagsregistrierungen zeigen nur ungefähr 5 % abnormale E -Echo in Tromsö und Gausvik. Um 20^h ist dagegen die Häufigkeit 70 % in Tromsö und 58 % in Gausvik. Dieser Unterschied ist höchst wahrscheinlich reell. Dasselbe Verhältnis kommt nämlich heraus wenn wir die Dauer der abnormalen E -Ionisation auf Grund der (h', z) -Registrierungen berechnen. Betrachten wir die Beobachtungen um 20^h finden wir, dass Tromsö abnormale E -Echo auf höheren Frequenzen als die Registrierungs-frequenz in 79 % der Observationszeit hat, während

Gausvik nur in 59 %. Wir dürfen annehmen, dass dieser Unterschied seinen Grund hat in einem lokalen Auftreten der Ionisierungsursache. Es ist natürlich zu untersuchen, wie die erdmagnetischen Verhältnisse an den Tagen waren, wo nur Tromsø abnormale E -Ionisation hatte, dagegen nicht Gausvik. Es zeigt sich, dass es in diesen Fällen nur ein sehr kleiner erdmagnetischer Sturm in Tromsø war. In allen Fällen wo Tromsø grosse erdmagnetische Störungen aufwies, fand man entweder abnormale E -Ionisation an beiden Stationen oder «Fade-out» an der einen und abnormale E -Ionisation an der anderen.

Diese Erscheinungen lässt sich am besten erklären durch die Annahme, dass die Hauptursache der abnormalen E -Ionisation auf hohen Breiten eine von der Sonne ausgesandte Strahlung ist, die im Zusammenhang steht mit den erdmagnetischen Störungen.

VIII. Zusammenfassung.

Die Ergebnisse von etwa zwei Monaten gleichzeitiger Senkrechtlotungen an zwei Stellen in einem Abstand von etwa 150 km voneinander in der Nähe der «Nordlichtzone» werden mitgeteilt.

Die F_2 -Region.

Unter normalen Verhältnisse zeigt die F_2 -Region parallele Änderungen an den zwei Stationen. Dies betrifft sowohl die täglichen Änderungen der kritischen Frequenzen und der äquivalenten Höhen als auch die kleineren unregelmässigen Schwankungen der kritischen Frequenzen. Während erdmagnetischer Störungen kann die Struktur der F_2 -Region in Tromsø und Gausvik etwas verschieden sein, aber

in grossen Zügen sind die Variationen gleich und ungefähr gleichzeitig an den beiden Stationen. Die Korrelation zwischen der F_2 -Region und der erdmagnetischen Aktivität wird näher untersucht. Die lokalen Unterschiede zwischen den (h' , f)-Registrierungen während erdmagnetischen Störungen sprechen gegen eine einfache Temperatureffekt-Hypothese der F_2 -Region.

Die E -Region.

Unter normalen Verhältnissen zeigt die E -Ionisation vollkommen parallele Änderungen an den zwei Stationen. Die abnormale E -Ionisation wird näher studiert und das lokale Auftreten von Ionisationsänderungen hervorgehoben. Mehrere Beispiele der inhomogenen Struktur der abnormalen E -Ionisation werden angegeben und die Deutung der «kritischen Frequenzen» der abnormalen E -Region werden diskutiert. Die Beobachtungen deuten darauf hin, dass die Ursache der abnormalen E -Ionisation in engem Zusammenhang steht mit den erdmagnetischen Störungen.

Zum Schluss möchte ich dem Direktor des Nordlichtobservatoriums, Herrn Dr. L. Harang, für seine stete Anteilnahme und Förderung dieser Arbeit meinen besten Dank aussprechen.

SCHRIFTTUM

- 1) L. Harang und W. Stoffregen: Hochfreq. und Elektroak. 53, 181 (1939).
- 2) E. V. Appleton, R. Naismith, and L. J. Ingram: Proc. Phys. Soc. Vol. 51, p. 81, (1939).
- 3) L. Harang: Geofys. Publ. Vol. XI, No. 17 (1937).
- 4) J. A. Ratcliffe and E. L. C. White: Phil. Mag. Ser. 7, Vol. XVI, p. 125, July 1933.
- 5) H. G. Booker and H. W. Wells: Terr. Mag. 43, 249—256, 1938.

Tafel I.

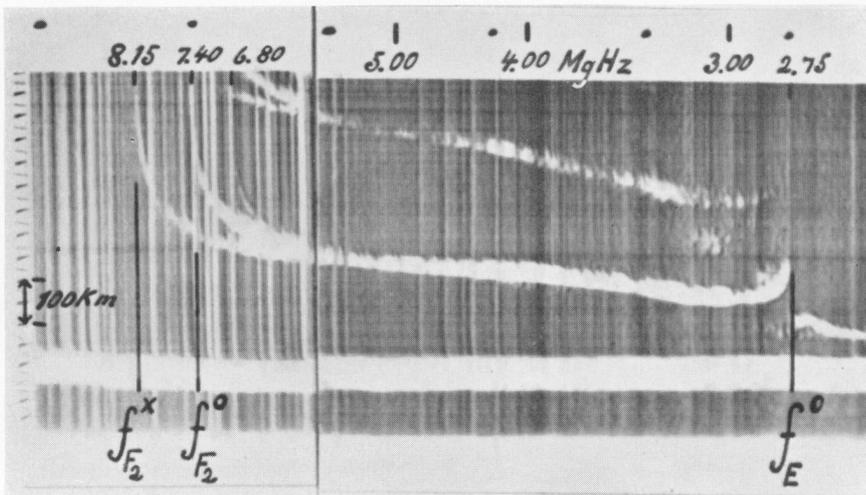


Abb. 1. Eine normale (h', f)-Registrierung.

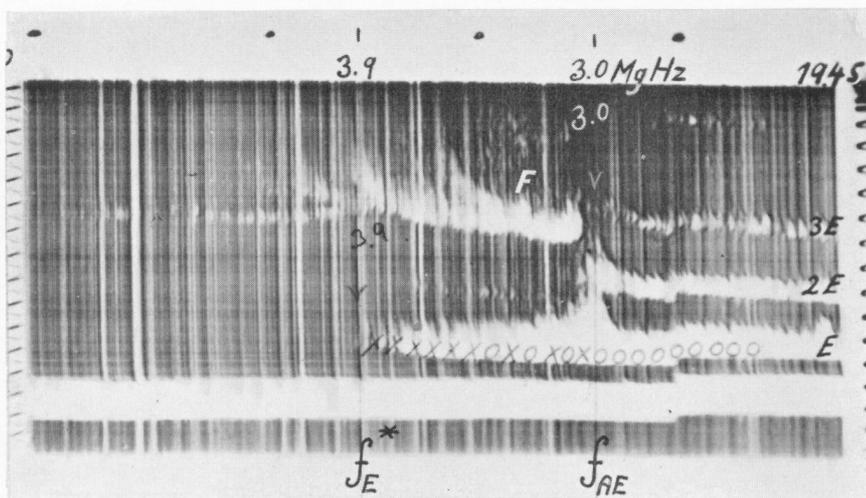


Abb. 2. Eine abnormale (h', f)-Registrierung.

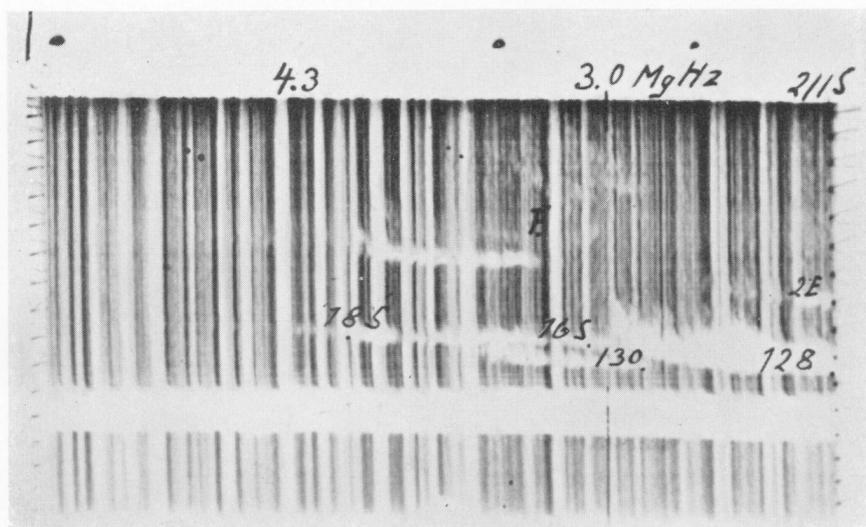


Abb. 13. Eine (h', f)-Registrierung, die die inhomogene Verteilung der abnormalen E-Ionisation zeigt.