

# Mitteilungen

aus dem

Max Planck-Institut für Physik der Stratosphäre  
Weissenau bei Ravensburg

---

---

Nr. 6

1956

---

---

A. Ehmert u. G. Pfozter

Das Abklingen der solaren Ultrastrahlung  
beim Ausbruch am 23. Februar 1956 und  
die geomagnetischen Einfallsbedingungen.



W  
1956/2  
6

Das Abklingen der solaren Ultrastrahlung beim Ausbruch am  
23.2.56 und die geomagnetischen Einfallsbedingungen. x)

von

A. E h m e r t und G. P f o t z e r

Aus dem Max Planck-Institut für Physik  
der Stratosphäre und der Ionosphäre  
Institut für Physik der Stratosphäre  
in Weissenau bei Ravensburg

Zusammenfassung:

Eine Analyse des zeitlichen Verlaufes der Neutronenregistrierungen verschiedener Stationen beim Ultrastrahlungsausbruch von der Sonne am 23.2.56 auf Grund der geomagnetischen Einfallsbedingungen führte zu folgendem Ergebnis: kurz nach Beginn des Ausbruches trifft auf der Erde nur Strahlung aus einer unmittelbar der Sonne benachbarten Richtung ein. Die europäischen Stationen zwischen etwa  $35^{\circ}$  W und  $10^{\circ}$  E befinden sich in einem günstigen Trefferbereich. Die Lage der Zonen erscheint jedoch gegenüber der erwarteten um etwa  $25^{\circ}$  nach Westen verschoben, woraus zu schließen ist, daß die Teilchen auf dem Wege von der Sonne zur Erde bereits eine ebenso große Ablenkung erfahren haben. Später registrieren alle Stationen Strahlungsanteile, welche die Erde auf Umwegen erreicht haben müssen. Die mittlere Verzögerung des Strahlungseinsatzes nimmt dabei vom Äquator nach den Polen hin stark zu. Das Abklingen der Zusatzstrahlung folgt bei allen Stationen einem einheitlichen Hyperbelgesetz, was besagt, daß der Breiteneffekt in dieser Phase zeitlich konstant ist. Die Umwegstrahlung muß daher, bevor sie in den Bereich des Erdmagnetfeldes eintrat, eine weitgehend isotrope Richtungsverteilung erreicht haben. Der einheitliche Verlauf des Abklingvorganges spricht dafür, daß die Emission der US-Partikel nicht länger andauerte als der optisch sichtbare Lichtausbruch bei der chromosphärischen Eruption.

---

x) Erweiterte Fassung eines Vortrages auf der Physikertagung in Freiburg am 20.4.1956.

## I.) Einleitung.

In einer vorausgegangenen Mitteilung<sup>1)</sup> haben wir über den zeitlichen Verlauf der beim Ultrastrahlungsausbruch von der Sonne am 23.2.56 in Weissenau (9,5°E, 47,8°N, geomagnetische Breite 49°N) registrierten zusätzlichen Mesonen- und Neutronenstrahlung kurz berichtet.

Da der Gesamteffekt in diesem Falle mindestens 5mal größer war als bei dem stärksten der bisher zwischen 1942 und 1949 beobachteten Intensitätsanstiege gleicher Art, konnte auch das Abklingen der Zusatzstrahlung, besonders bei der Neutronenkomponente, über 8 Stunden lang mit großer Genauigkeit erfaßt werden. Es zeigte sich vor allem, daß der Abklingvorgang während dieser ganzen Zeit durch ein Hyperbelgesetz beschrieben werden kann. Diese langfristig ungestörte Gesetzmäßigkeit wurde als Hinweis dafür angesehen, daß nicht alle Strahlungsanteile auf kürzestem Wege unter ausschließlich geomagnetischer Beeinflussung unsere Station erreicht haben, obwohl die europäischen Stationen in mittleren Breiten zum Zeitpunkt des Ereignisses in einer günstigen Trefferzone lagen.

Da inzwischen auch die Registrierungen anderer Stationen veröffentlicht bzw. uns freundlicherweise im Austausch von den Herren B r o d e u. G o o d w i n in Berkeley, B r o w n in Albuquerque, M a r s d e n , B e r r y , F i e l d - h o u s e u. J. G. W i l s o n in Leeds; P. M e y e r u. J. A. S i m p s o n in Chicago; B. M e y e r in Göttingen; R o s e u. K a t z m a n n in Ottawa; S a n d s t r ö m in Uppsala; S e k i d o , I s h i i u. M i y a z a k i in Nagoya übermittelt wurden<sup>2)</sup>, können wir nun untersuchen, wie sich die eigenen Messungen in den weltweiten Rahmen einfügen und wie die Abweichungen der einzelnen Registrierungen untereinander erklärt werden können.

## II.) Geomagnetische Einfallsbedingungen.

In einer ersten Diskussion der 1942 und 1946 an verschiedenen Stationen gemessenen unterschiedlichen Intensitäten solarer Ultrastrahlung hat der eine von uns (Eh.)<sup>3)</sup> bereits

gezeigt, daß auf Grund der geomagnetischen Einfallbedingungen gewisse Bereiche auf der Erdoberfläche bevorzugt von direkter Strahlung getroffen werden müssen.

Eine neuere Analyse der früheren vier markanten Intensitätsanstiege von F i r o r <sup>4)</sup> auf Grund einer Zusammenfassung und Erweiterung inzwischen erschienener theoretischer und experimenteller Arbeiten von S c h l ü t e r <sup>5)</sup>, D w i g h t <sup>6)</sup> bzw. M a l m f o r s <sup>7)</sup> und B r u n b e r g <sup>8)</sup> führte nun zu dem Ergebnis, daß die von einer Station in mittleren Breiten registrierte Intensität solarer Zusatzstrahlung durch deren Lage innerhalb oder außerhalb von 2 diskreten Trefferzonen erklärt werden kann. Die Schwerpunkte dieser Zonen sind durch die Abweichungen ihrer geomagnetischen Längenkoordinate vom geomagnetischen Mittagsmeridian und ihre geomagnetische Breite bestimmt. Ein dritter, im folgenden als allgemeine Trefferzone bezeichneter Bereich ist unabhängig von der Längenabweichung, aber auf geomagnetische Breiten zwischen etwa 30 - 60° N bzw. S beschränkt <sup>4)</sup>.

Die Intensitätserhöhungen außerhalb dieser Trefferzonen, wie sie z.B. in Godhavn (geomagnetische Breite 80°N) und Resolute (geomagnetische Breite 83°N) auch bei früheren Strahlungsausbrüchen schon beobachtet wurden, ließen sich damit nicht erklären. Sie weisen, was S c h l ü t e r <sup>5)</sup> schon auf Grund seiner Rechnungen gefolgert hat, auf Umwege der Teilchen hin. S e k i d o und M u r a k a m i <sup>9)</sup> vertraten später die Auffassung, daß man zwei Arten von Strahlungsüberhöhungen zu unterscheiden habe: einen Treffer- (Impact) Typ und einen Polartyp. Der Treffertyp wird von Stationen verzeichnet, die in einer der Trefferzonen für Teilchen liegen, die auf direktem Wege von der Sonne in das Magnetfeld der Erde einlaufen, solche vom Polartyp an Stationen, die von solaren Partikeln nur auf großen Umwegen erreicht werden können. Als Ursache für die Umlenkungen postulieren Sekido und Murakami ein planetarisches Speicherfeld ("Outer Trapping-field").

Westliche Längendistanz gegen die Sonne

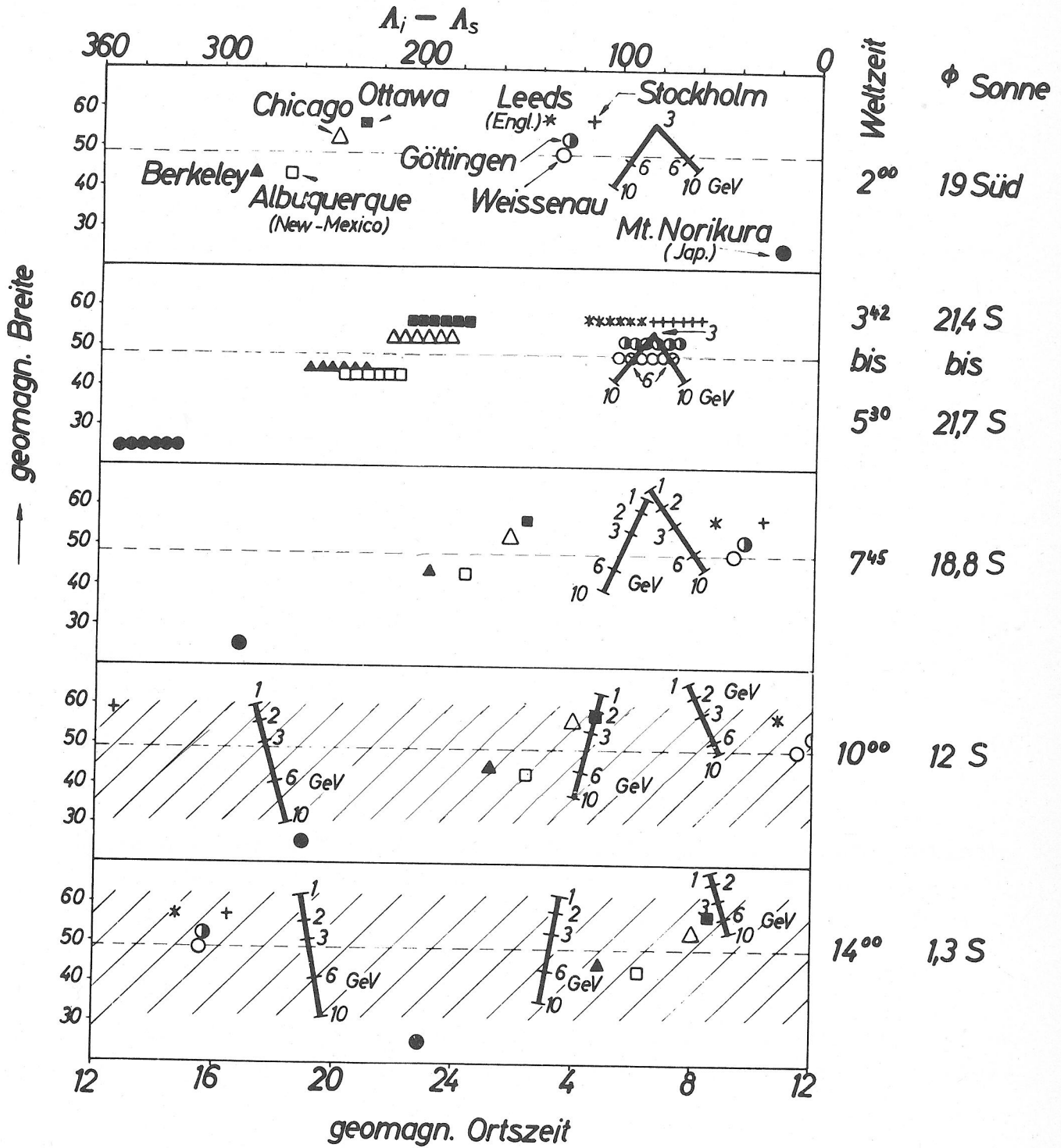


Abb. 1 Entwicklung der Trefferzonen während des solaren Strahlungsausbruches am 23.2.56 und ihre relative Lage zu verschiedenen Registrierstationen.  
 Sonnenstand  $\varphi_{\text{geogr.}} = 10,3^\circ \text{S}$

### III.) Die Trefferzonen am 23.2.56.

Zur Beurteilung der geomagnetischen Situation beim Strahlungsausbruch am 23.2.56 haben wir nun das Gerüst der Trefferzonen nach der Firor'schen Methode<sup>4)</sup> für einige Zeitabschnitte konstruiert und in Abb.1 dargestellt. Auf der Abszisse am Kopf der Figur ist die westliche geomagnetische Längendifferenz eines Punktes auf der Erdoberfläche gegen den geomagnetischen Mittagsmeridian, auf der unteren Randlinie die entsprechende geomagnetische Ortszeit und als Ordinate jeweils die nördliche geomagnetische Breite aufgetragen.

In dieses Koordinatensystem sind die Lagen von Trefferlinien für bestimmte Energiebereiche von Protonen, die von der Sonne auf die Erde zulaufen und die Lagen verschiedener Stationen<sup>2)</sup>, von denen uns Neutronenregistrierungen vorliegen, eingezeichnet.

Bei zeitlich unveränderlichem Sonnenstand über dem geomagnetischen Äquator bewegen sich nun die einzelnen Stationen im Laufe eines Tages durch den ganzen Längenbereich hindurch, während die Trefferlinien ihre Lage beibehalten. Es gibt also für jede Station eine Ortszeit, zu der sie bevorzugt Strahlung direkt von der Sonne empfangen kann. Obwohl sich nun der geographische Sonnenstand über der Äquatorebene im Laufe eines Tages nur wenig ändert, gilt dies nicht für die geomagnetische Sonnenhöhe. Diese verändert sich vielmehr wegen der Neigung der Dipolachse gegen die Drehachse im Laufe eines Tages um  $\pm 11,5^\circ$  gegen die geographische Sonnenhöhe. Dadurch verschieben sich auch die Trefferlinien merklich im Verlauf einiger Stunden. Ihre Lage ist in Abb.1 für verschiedene Zeitpunkte eingezeichnet. Neben den Zeitpunkten nach Weltzeit ist rechts vom Trefferbild die zugehörige geomagnetische Sonnenhöhe aufgeschrieben.

Die Trefferlinien gelten für senkrechten Einfall auf der Erdoberfläche und eine, von der Erde aus gesehen, nahezu punktförmige Quelle. Für schräge Einfallrichtungen und für eine Ausdehnung der Quelle in einem Winkelbereich von  $10^\circ$  bis  $15^\circ$  weiten sich die Linien zu Zonen um etwa  $\pm 10^\circ$  in den Längen-

und Breitenkoordinaten aus<sup>x)</sup>.

Sieht man zunächst von der Verbreiterung der Quelle ab, so findet man bis etwa 7<sup>45</sup> Weltzeit wegen des tiefen geomagnetischen Sonnenstandes nur die beiden Trefferbereiche zwischen 4 und 8 Uhr geomagnetischer Ortszeit, die zudem für kleinere Energien in höheren Breiten zusammenfallen. Die allgemeine Trefferzone tritt erst nach 7<sup>45</sup> Uhr in Erscheinung.

Wir wollen nun zunächst folgende Grenzfälle ins Auge fassen:

- a) Der von der Erde aus gesehene Winkelbereich der Quelle, aus dem direkte Strahlung empfangen werden kann, sei nur so groß, daß allein die diskreten Trefferzonen ausgebildet sind, die allgemeine Zone also noch fehlt.
- b) Die Ausdehnung der Quelle sei nunmehr so groß, daß die geomagnetische Situation der Überlagerung einer Reihe von Momentbildern nach Abb.1 entspricht, vor allem aber auch die allgemeine Trefferzone ausgebildet ist.

Welche Voraussagen können dann für die Registrierungen der eingezeichneten Stationen in diesen Grenzfällen gemacht werden?

Zu a) Die europäischen Stationen liegen zur Zeit der Eruption (Momentbild 3<sup>42</sup> - 5<sup>30</sup>) im günstigen Bereich. Göttingen und Weissenau erhalten Strahlung einer magnetischen Steifigkeit zwischen 3 - 6 GeV/c; Stockholm liegt am Rande, sollte aber auch bei schwacher Zonenverbreiterung noch Strahlung um 3 GeV/c registrieren. Leeds liegt um 3<sup>42</sup> noch merklich vor der Trefferzone, so daß ein Anstieg, wenn er überhaupt auftritt, schwächer sein sollte als in Stockholm. Alle übrigen Stationen dürften überhaupt keine Strahlung von der Sonne empfangen.

x) F i r o r 4) und auch S e k i d o und M u r a k a m i 9) nehmen eine derartige Ausdehnung der Quelle an und begründen dies durch die Annahme, daß die Teilchen noch umfangreiche Plasmawolken vor dem Emissionszentrum zu durchqueren haben, in deren Magnetfeldern (nach S e k i d o und M u r a k a m i Inneres "Trapping-field") unregelmäßige Umlenkungen stattfinden, so daß sie, von der Erde aus gesehen, aus einem stark erweiterten Winkelbereich kommen.

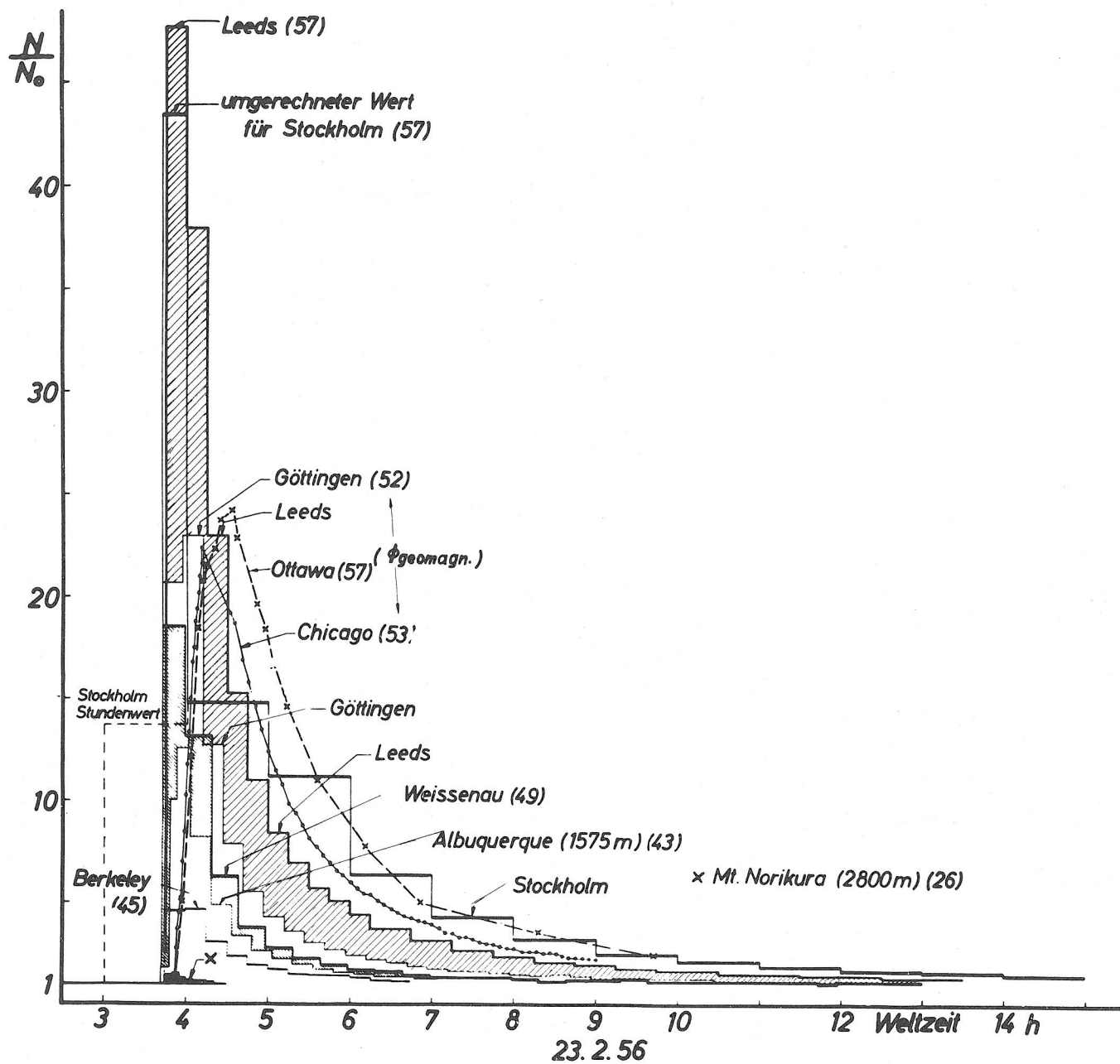


Abb. 2 Registrierungen der Neutronenintensität verschiedener Stationen beim Ausbruch solarer Ultrastrahlung am 23.2.56



Zu b) Für die europäischen Stationen sind die Verhältnisse gegen a) nur wenig verändert. Die amerikanischen Stationen die aber jetzt in der allgemeinen Trefferzone liegen, sollten einen etwa halb so großen Anstieg messen wie die europäischen. Norikura dagegen liegt nach wie vor außerhalb der Trefferzonen.

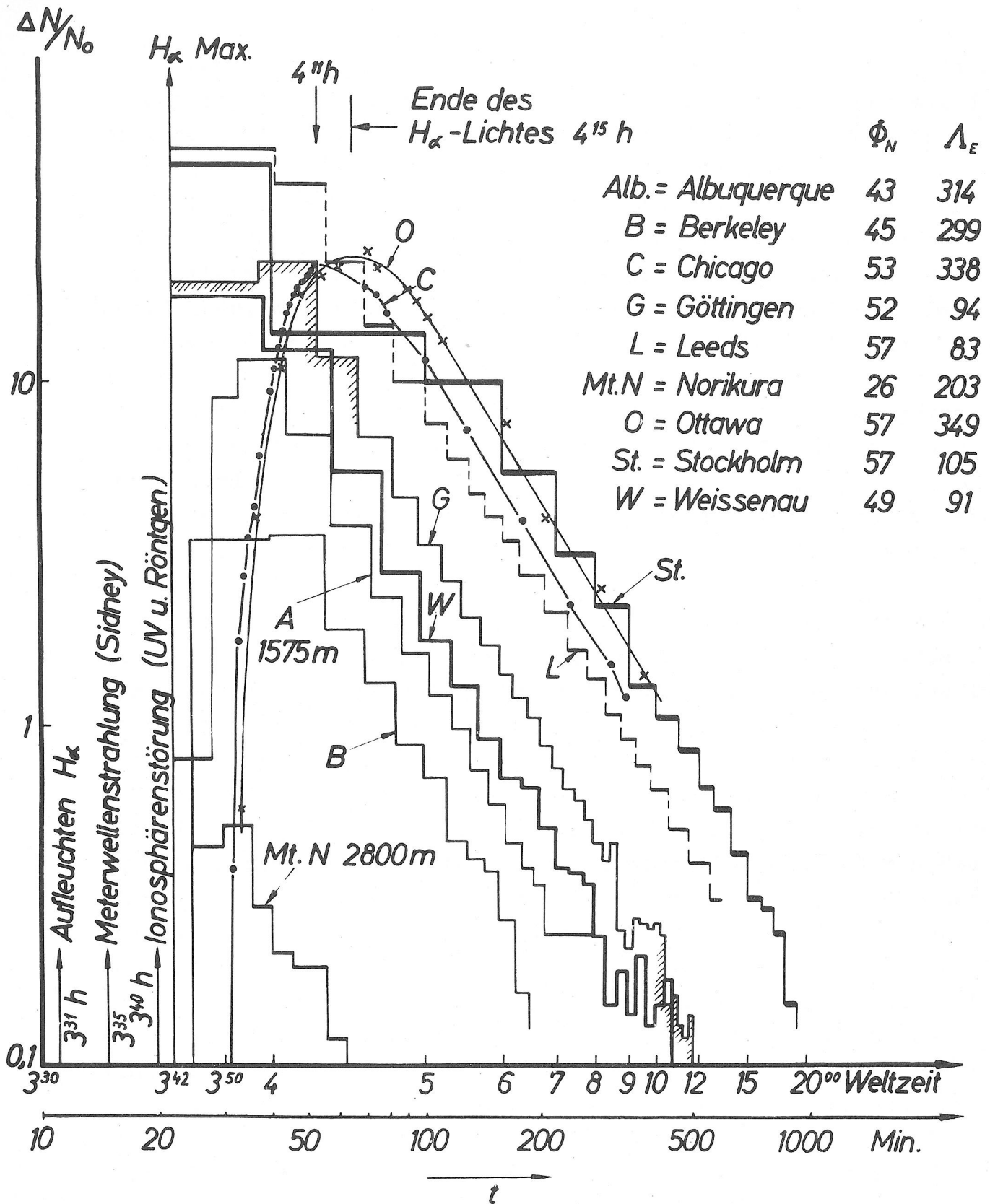
Wie sieht nun die Wirklichkeit aus?

Abb.2 zeigt zunächst in linearen Maßstäben die Neutronenregistrierungen der einzelnen Stationen, auf die wir uns bei diesen Überlegungen beschränken wollen. Auf der Abszisse ist die Weltzeit, auf der Ordinate die Zahl der Neutronen in Vielfachen der Normalwerte aufgetragen. Da der Beginn des Strahlungseinfalles auf der Erde nach allen uns bekannt gewordenen Registrierungen genauer Anfangszeiten nicht vor  $3^{42}$  Weltzeit angesetzt werden kann, wurden die Anfangsintensitäten von Stationen, deren Meßintervalle vor dieser Zeit begannen, auf einen Beginn bei  $3^{42}$  Weltzeit umgerechnet. Wir kommen jedoch auf diesen Punkt noch eingehender zu sprechen.

Sieht man zunächst von der Unsicherheit der tatsächlichen Intensitätsspitzen ab, so zeichnet sich in der Hauptsache ein ungewöhnlich starker Breiteneffekt in der Abklingphase ab. Bei den europäischen Stationen wurden die höchsten Werte in Stockholm und Leeds gemessen, dann folgen Göttingen und Weissenau. Auch bei den außereuropäischen Stationen sind die Überhöhungen roh durch eine starke Zunahme mit wachsender geomagnetischer Breite gekennzeichnet. Diese Verhältnisse sollen jedoch in einer folgenden Arbeit <sup>10)</sup> ausführlicher diskutiert werden.

#### IV.) Die Einsatzverzögerungen.

Was uns hier vor allem interessiert ist der Zusammenhang mit den Trefferzonen. In dieser Hinsicht ist der Vergleich der Registrierungen von Göttingen und Chikago, deren geomagnetische Breiten sich nur um  $0,7^{\circ}$  unterscheiden, sehr aufschlußreich. Es zeigt sich, daß die Intensitätsspitze in Chikago, das nach



Neutronenzusatzstrahlung in Vielfachen der jeweiligen Normalwerte an verschiedenen Stationen am 23. 2. 56 (Logarithmische Intensitäts- und Zeitskala. Zeitnullpunkt: 3<sup>20</sup> Weltzeit)

Abb. 3

a) überhaupt keinen und nach b) nur etwa die Hälfte des Anstiegs in Göttingen verzeichnen dürfte, nahezu die gleiche Höhe wie in Göttingen erreichte. In der Abklingphase liegen die Werte zu gleichen Zeiten sogar 3mal so hoch wie in Göttingen.

Ein erster Hinweis für die Aufklärung dieses scheinbaren Widerspruches ergibt sich nun aus dem Vergleich der Anfangsintensitäten beider Stationen. Zu diesem Zweck gehen wir auf Abb.3 über, welche die Registrierungen in logarithmischer Darstellung zeigt, wobei die Zeitskala in dem interessierenden Bereich stark gedehnt ist. Auf der Ordinate ist  $\lg \frac{\Delta N}{N}$ , mit  $\Delta N/N$  als Überschuß in Vielfachen des Normalwertes  $N$  aufgetragen, auf der Abszisse  $\lg t$ , wobei die Zeit  $t$  von  $3^{20}$  Weltzeit an gezählt wurde.

Man erkennt deutlich, daß der Beginn des Anstieges in Chicago wesentlich später als in Göttingen einsetzte. Zu demselben Schluß kam S i t t k u s <sup>11)</sup> aus dem Vergleich seiner Ionisationsregistrierung in Freiburg mit den Neutronenregistrierungen in Chicago. Hieraus ist zu schließen, daß in der Anstiegsphase der Einstrahlung der Fall a) zutraf, d.h. die allgemeine Trefferzone tatsächlich noch nicht ausgebildet war, weil sonst das Fehlen einer Zusatzstrahlung in Chicago während der ersten 8 - 10 Minuten schlecht zu erklären ist. Für Ottawa fällt der Beginn des Anstieges mit dem in Chicago zusammen, wogegen die Intensitätsspitze noch später erreicht wird. Für die anderen Stationen liegt der Beginn des Anstieges und die Zeit, zu der das Maximum erreicht wurde, wegen der verhältnismäßig langen Meßintervalle leider nicht so genau fest.

Man kann jedoch ein relatives und für alle Stationen gleichartiges Maß für die Verzögerung des Anstieges wie folgt gewinnen:

Aus der logarithmischen Darstellung geht hervor, daß der Abklingvorgang bei allen Stationen durch ein Potenzgesetz dargestellt werden kann, auf das wir schon in unserer ersten Mitteilung der Weissenauer Registrierungen hingewiesen haben. Die Treppenkurven können durch Geraden ersetzt werden, die unter sich und auch zu den punktweise gemessenen Kurven von Ottawa und Chicago parallel sind. Es gilt also in der Abklingphase

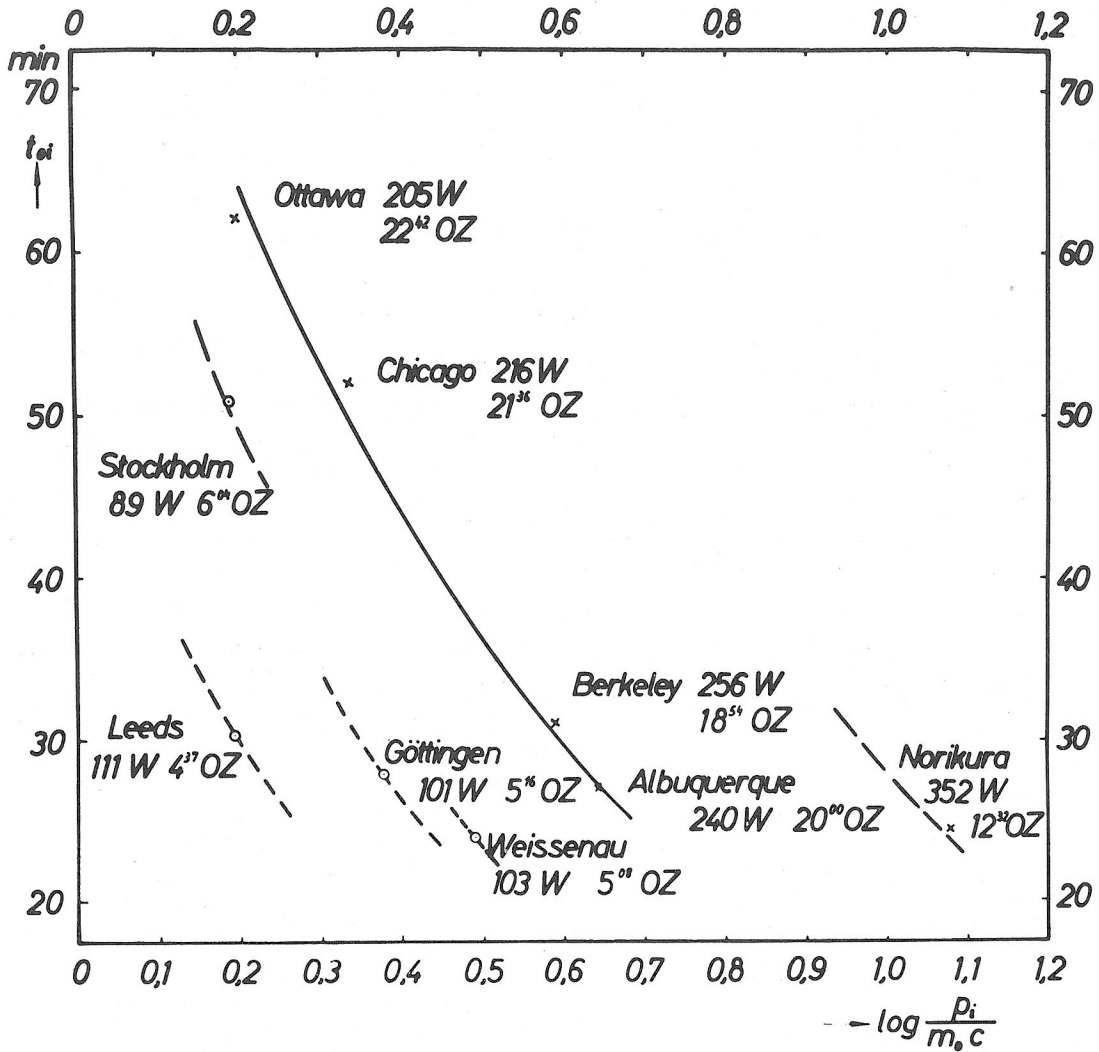


Abb. 4 Mittlere Zeitverzögerung des Intensitätsanstieges der Neutronenkomponente an verschiedenen Stationen gegenüber dem willkürlich gewählten Zeit-Nullpunkt 3<sup>20</sup> WZ

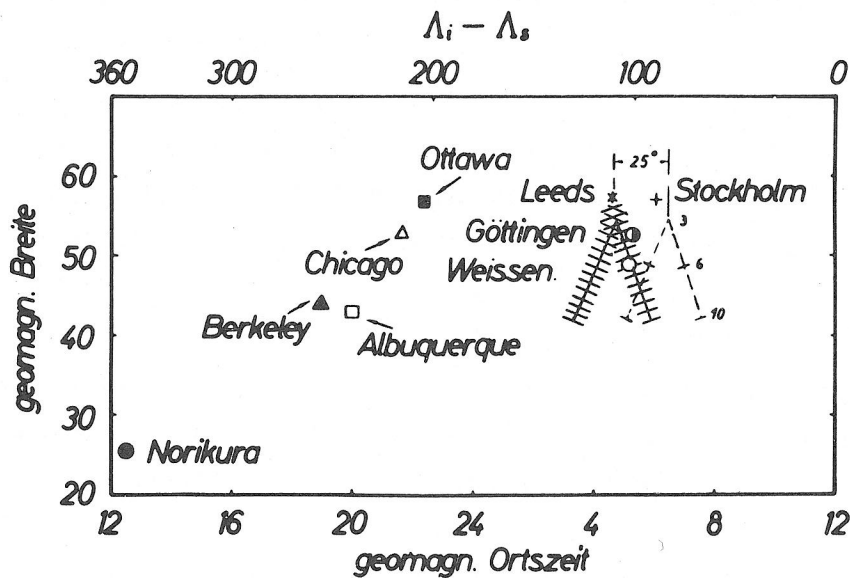


Abb. 5 Wahrscheinliche Lage der Trefferzonen um 3<sup>22</sup> h Weltzeit

für die i. te Station:

$$\frac{\Delta N_i}{N_i} = C_i \cdot t^{-\eta}$$

wobei der Wert, den man für  $\eta$  ansetzt, etwas davon abhängt, wie man den Nullpunkt für die Zeit  $t$  wählt. Diese Frage soll jedoch an anderer Stelle auf Grund bestimmter Vorstellungen über den Ausbreitungsvorgang eingehender diskutiert werden <sup>12)</sup>.

Hier möge die Feststellung genügen, daß nach Abb.3 in guter Näherung für alle Stationen  $\eta = 2$  gesetzt werden kann. Damit sind dann auch die Konstanten  $C_i$  festgelegt.

Wenn wir nun den gemessenen Intensitätsverlauf durch das obige Potenzgesetz approximieren und verlangen, daß die gesamte, bis zu einer Zeit  $t > t_{oi}$  an der i. ten Station gemessene Strahlungsmenge durch das Integral

$$\int_{t'(\Delta N_i=0)}^t \frac{\Delta N_i}{N_i} dt = C_i \int_{t_{oi}}^t t^{-2} dt = C_i (t_{oi}^{-1} - t^{-1})$$

dargestellt wird, so erhalten wir eine Bestimmungsgleichung für eine Zeit  $t_{oi}$ , die einen mittleren Zeitpunkt für den Beginn des Intensitätsanstieges darstellt.

$t_{oi}$  ist nun zwar kein direktes Maß für den wirklichen Zeitpunkt des ersten Strahlungseinsatzes und läßt keine Entscheidung zu, ob der Anstieg zu einem frühen Zeitpunkt begann aber langsam erfolgte, oder ob er später aber dafür sehr steil einsetzte. Es liefert jedoch, unabhängig von der Größe der Meßintervalle, eine homogene Reihe der mittleren Verzögerung des Strahlungseinsatzes an den einzelnen Stationen.

In Abb.4 wurde  $t_{oi}$  in Abhängigkeit vom Grenzimpuls  $P_i$  der entsprechenden i. ten Station aufgetragen.  $P_i$  ist der aus der Störmer'schen Theorie bekannte Mindestimpuls, den Protonen ursprünglich isotroper Richtungsverteilung haben müssen, um

die i.te Station aus vertikaler Richtung zu erreichen und stellt eine Koordinate dar, welche der geomagnetischen Breite und dem zugehörigen Abstand der betreffenden Station vom geomagnetischen Zentrum äquivalent ist.

Die europäischen Stationen sind durch Kreise, die außer-europäischen durch Kreuze gekennzeichnet. Bei den amerikanischen Stationen, die ja außerhalb der Trefferzonen liegen, zeigt sich eine systematische Zunahme der mittleren Einsatzverzögerung mit abnehmendem Grenzpuls bzw. zunehmender geomagnetischer Breite.

Die Verzögerungen für die europäischen Stationen sind bei gleichem Grenzpuls durchweg kleiner als bei den amerikanischen Stationen. Sie ordnen sich aber keineswegs wie dort zwanglos in eine glatte Kurve ein. Obwohl die Grenzpulse für Stockholm und Leeds nur wenig verschieden sind, differieren die mittleren Einsatzverzögerungen erheblich.

Bevor wir jedoch diesen Punkt zu klären versuchen, haben wir noch die Konsequenzen aus der weltweiten Gültigkeit des Abklinggesetzes zu ziehen.

#### V.) Folgerungen aus dem Abklinggesetz.

Ein derart ungestörter Verlauf, bei dem die Intensitätsverhältnisse der Zusatzstrahlung zwischen allen Stationen zeitlich konstant bleiben, ist nur verständlich, wenn die Strahlung aus großen Winkelbereichen kommt, praktisch also außerhalb des Erdmagnetfeldes, eine weitgehend isotrope Richtungsverteilung hat. Da sie zweifellos von der Sonne ausging, müssen Streufelder im interplanetarischen Raume wirksam sein, welche die Teilchen umlenken. Hierin sehen wir eine eindrucksvolle Bestätigung der S c h l ü t e r 'schen <sup>5)</sup> und was das äußere "Trapping-field" anlangt, der S e k i d o - M u r a k a m i 'schen <sup>9)</sup> Hypothese. Bei stark verschmierten Zonen, d.h. einer wesentlichen Winkelverbreiterung der Quelle und infolge der Wanderung der Zonen könnte im Endeffekt auch bei einer über dem größten Teil der Beobachtungsdauer anhaltenden Emission ein mehr oder weniger einheitliches Abklinggesetz resultieren.

Das gilt vor allem für die Stationen, die sich lange in der allgemeinen Trefferzone aufhalten. Störungen des Verlaufes wären jedoch bei den Stationen, die sich durch die diskreten Trefferzonen durchbewegen, zu erwarten. Tatsächlich tritt bei Göttingen und Weissenau zwischen 8 - 10 Uhr eine solche Störung auf, sie kommt jedoch nach dem Trefferschema etwas spät und die zeitliche Reihenfolge ist gerade umgekehrt, wie man erwarten würde. Da Göttingen die Trefferzone vor Weissenau verläßt, müßte auch die Störung zeitlich vor Weissenau einsetzen. Die folgenden Gründe sprechen nun stark gegen einen langdauernden Emissionsvorgang:

- 1.) Chikago registriert zwischen 3<sup>42</sup> und 3<sup>52</sup> Uhr überhaupt keine Zusatzstrahlung. Daraus folgt, daß die allgemeine Zone noch nicht ausgebildet war. Die Ausdehnung des Winkelbereiches um die Sonne kann also nicht groß gewesen sein. Dann sollten aber auch die diskreten Trefferzonen nur eine relativ geringe Verbreiterung aufgewiesen haben.
- 2.) Obwohl Leeds und Stockholm in praktisch gleicher geomagnetischer Breite liegen, trifft die Strahlung in Stockholm deutlich später ein als in Leeds. Das spricht dafür, daß Leeds noch in einer relativ günstigen Zone lag, während Stockholm, das geomagnetisch 22° östlicher liegt, sich entweder gerade am Rande einer Trefferzone oder schon etwas außerhalb befand.
- 3.) Der Anstieg erfolgte in Göttingen etwas langsamer als in Weissenau.

Diese Verhältnisse sind mit der in Abb.1 gezeichneten Trefferlage um 3<sup>42</sup> Weltzeit nicht verträglich. Sie entsprechen vielmehr einer Zonenverschiebung um 25° nach Westen gegenüber der alten Lage. Abb.5 soll dies verdeutlichen. Das gestrichelte offene Dreieck bezeichnet wieder die alte Lage der Zonen wie in Abb.1, der schraffierte Bereich die nach den Registrierungen wahrscheinliche Lage. Leeds tangiert dann gerade die Spitze des Dreiecks, Weissenau liegt im Schwerpunkt der ersten

Zone, Göttingen mehr dem Rande zu, Stockholm außerhalb der Trefferzonen.

Leeds, Göttingen und Weissenau erhalten demnach direkte Strahlung, woraus sich erklärt, daß die mittleren Einsatzverzögerungen dieser Stationen nicht sehr verschieden sind. Da aber Stockholm außerhalb der Zone liegt, ist verständlich, daß die mittlere Verzögerung wesentlich größer ist als in Leeds. Die noch merklichen geringen Unterschiede der mittleren Verzögerungen für Leeds, Göttingen und Weissenau hängen damit zusammen, daß das Eintreffen der Umwegstrahlung von Einfluß auf  $t_{oi}$  ist. Auch die in den diskreten Zonen gelegenen Stationen empfangen kurz nach dem Eintreffen direkter Strahlung genau so wie alle anderen Stationen Umwegstrahlung. Diese trifft umso rascher ein, wie aus Abb.4 hervorgeht, je energiereicher sie ist. Damit erklärt sich der restliche Zeitunterschied zwischen der Einsatzverzögerung in Weissenau, Göttingen und Leeds. Die energieärmere Umwegstrahlung in Leeds kommt etwas später an als die zunehmend energiereichere in Göttingen und Weissenau.

#### VI.) Ergebnis der Analyse:

Aus dem zeitlichen Verlauf der Neutronenregistrierungen verschiedener Stationen beim Ultrastrahlungsausbruch von der Sonne am 23.2.56 können die folgenden Schlüsse gezogen werden:

- 1.) Der Emissionsvorgang kann nicht wesentlich länger gedauert haben als die optischen Erscheinungen bei der chromosphärischen Eruption.
- 2.) Der Winkelbereich um das Emissionszentrum, aus dem positiv geladene Partikel auf direktem Weg in das Magnetfeld der Erde eingedrungen sind, war mindestens so eng begrenzt, daß die allgemeine Trefferzone noch nicht ausgebildet war.
- 3.) Die diskreten Trefferzonen waren daher auch so scharf ausgeprägt, daß sich die Station Leeds um  $3^{42}$  Weltzeit noch innerhalb und das nur 22 geomagnetische Längengrade östlicher liegende Stockholm bereits außerhalb



einer Trefferzone befanden.

- 4.) Die von der Sonne direkt kommende Strahlung erfuhr bereits eine Ablenkung durch ein interplanetarisches Feld zwischen Sonne und Erde um etwa  $25^{\circ}$  nach Westen, bevor sie in den Bereich des Erdmagnetfeldes gelangte. Die diskreten Trefferzonen verschoben sich daher in westlicher Richtung um den gleichen Betrag der geomagnetischen Länge.
- 5.) Die nicht in Richtung Erde ausgestrahlten Teilchen wurden in interplanetarischen Feldern abgelenkt und konnten dadurch die Erde auf Umwegen erreichen. Diese Umwegstrahlung muß außerhalb des geomagnetischen Feldes eine weitgehend isotrope Richtungsverteilung aufgewiesen haben. Die von allen Stationen in der Abklingphase registrierte Strahlung war reine Umwegstrahlung.
- 6.) Beim ersten Einsatz erreichten die energiereichen Teilchen der Umwegstrahlung die Erde zu einem früheren Zeitpunkt als die energiearmen Anteile. Die mittlere Verzögerung des Strahlungseinsatzes nahm daher für die außerhalb der diskreten Zonen liegenden Stationen vom Äquator nach den Polen hin stark zu.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft Bad Godesberg danken wir für sachliche Beihilfen.

L i t e r a t u r .

- 1.) A. E h m e r t u. G. P f o t z e r , Zs.f. Naturforschg. 11a, 322, 1956 und Mitteilungen aus dem Max Planck-Institut für Physik der Stratosphäre, Weissenau, Nr. 5, 1956.
- 2.) Wir danken im Einzelnen für den Austausch der Meßresultate den folgenden Herren in:
  - Albuquerque: Robert R. B r o w n , Dep. of Physics, University of New Mexico, Albuquerque.
  - Berkeley: Robert B. B r o d e u. Aurel G o o d w i n Jr., University of California, Dep. of Physics (20.3.1956).
  - Chikago: Peter M e y e r u. J.A. S i m p s o n , Enrico F e r m i , Institute for Nuclear Studies, The University of Chicago, Illinois (Phys.Rev. im Druck).
  - Göttingen: B. M e y e r , Max Planck-Institut für Physik Zs.f. Naturforschg. 11a, 326, 1956.
  - Leeds: P.L. M a r s d e n , J.W. B e r r y , P. F i e l d h o u s e , J.G. W i l s o n , The University of Leeds (20.3.56 zur Veröffentlichung in J.Atmosph.Terr.Physics 8, 278, 1956).
  - Norikura: Y. S e k i d o , Physical Inst. Nagoya, University, C. I s h i i , Meteorological Research Inst., Y. M i y a z a k i , Scientific Research Inst. (Working Association of Primary Cosmic-Ray Research, Japan).
  - Ottawa: D.C. R o s e u. J. K a t z m a n n , Division of Pure Physics, National Research Council of Pure Physics, National Research Council Ottawa.
  - Stockholm: A.E. S a n d s t r ö m , Fysiska Institutionen Uppsala, Sweden.
- 3.) A. E h m e r t , Zs.f.Naturforschg. 3a, 246, 1948.
- 4.) I. F i r o r , Phys.Rev. 94, 1017, 1954.
- 5.) A. S c h l ü t e r , Zs.f.Naturforschg. 6a, 592, 1951.
- 6.) K. D w i g h t , Phys.Rev. 78, 40, 1950.
- 7.) K.G. M a l m f o r s , Ark.Met.Astr.Fys. A 32, Nr.8, 1945.
- 8.) E. B r u n b e r g , J. Geophys. Res. 58, 272, 1953.
- 9.) Y. S e k i d o u. K.M u r a k a m i , Communications to the Meeting of I.U.P.A.D. at Guanajato, Mexico, im September 1955, compiled by Working Association of Primary Cosmic-Ray Research, Japan.

- 10.) G. P f o t z e r , erscheint in Mitteilungen aus dem Max Planck-Institut für Physik der Stratosphäre, Weissenau, Nr. 7, 1956.
- 11.) A. S i t t k u s : Mitteilung auf der Physikertagung in Freiburg. Wir danken außerdem Herrn Dr. Sittkus für die freundliche Übersendung eines Manuskriptes vor der Veröffentlichung in Zs.f.Naturforschg. (im Druck).
- 12.) A. E h m e r t , erscheint demnächst in: Mitteilungen aus dem Max-Planck-Institut für Physik der Stratosphäre Weissenau, Nr. 8, 1956.

Weissenau, den 8. Juli 1956.