

Ultrastrahlung von der Sonne¹

Von ALFRED EHMERT

Aus der Forschungsstelle für Physik der Stratosphäre,
Institut der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft in Weißenau

(Z. Naturforschg. 3 a, 264—285 [1948]; eingegangen am 8. Mai 1948)

In den Jahren 1941 bis 1943 wurde in Friedrichshafen die Teilchenzahl der kosmischen Ultrastrahlung laufend mit einer Koinzidenzanlage registriert. Es traten insgesamt 28 größere und z. Tl. mehrere Stunden andauernde Anstiege der Teilchenzahl auf. Einer dieser Effekte fiel am 7. 3. 1942 zeitlich zusammen mit der einen der beiden von Forbush in diesen Jahren beobachteten Intensitätszunahmen in Amerika und in Australien. Dieser und noch drei weitere der Effekte traten im Anschluß an chromosphärische Eruptionen auf der Sonne auf. Die Ultrastrahlung begann dabei durchschnittlich erst eine Stunde nach dem Aufflammen der Eruption anzusteigen. Vier Mitternachtseffekte weisen sich durch ihren typischen Verlauf symmetrisch zur Mitternacht als gesondertes Erscheinungsbild aus. Das Magnetfeld der Erde bewirkt, daß von der Sonne kommende Ultrastrahlungsteilchen bei positiver Ladung nur von 23 bis 16 Uhr Ortszeit, bei negativer Ladung nur von 8 bis 23 Uhr im Winkelbereich der Anordnung die Erde erreichen können. Die Verteilung der beobachteten Effekte über die Tageszeit weist auf positive Teilchen. Ebenso der Umstand, daß zur Zeit des anderen von Forbush beobachteten Effektes am 28. 2. 1942 bei uns die Teilchenzahl völlig normal blieb. Bei der amerikanischen Ortszeit konnten z. Tl. nur positive Teilchen, bei unserer Ortszeit nur negative Teilchen einfallen. Diese Umstände stellen zusammen mit der Größe der Effekte sicher, daß die Effekte auf solare Protonen und evtl. schwerere Kerne mit Energien bis zu mindestens 10^{10} eV zurückzuführen sind.

Die mit der Emission von Ultrastrahlung verbundenen Eruptionen lagen z. Tl. sehr nahe dem Sonnenrand. Überraschend ist die Gruppierung der wenigen sicheren Fälle in der Nähe eines Sonnenmeridians mit der synodischen Rotationsdauer von 28,5 Tagen. Es wird ein Vorgang diskutiert, durch welchen die Beschleunigung von Protonen in den veränderlichen Magnetfeldern von Sonnenflecken erfolgen kann. Er ermöglicht die Zurückführung der ganzen Erscheinung chromosphärischer Eruptionen auf die Ionisierung chromosphärischer Gebiete durch Protonen, welche im Fleckenfeld beschleunigt wurden. In gleicher Weise beschleunigte Elektronen geben ihre Energie als Ultrastrahlung wieder ab.

Aus den Registrierungen wird abgeschätzt, daß die Sonne während der drei Jahre im Durchschnitt mindestens 450-mal mehr Ultrastrahlungsteilchen mit Energien über $3,6 \cdot 10^9$ eV abgestrahlt hat, als sie von der allgemeinen Ultrastrahlung maximal absorbieren konnte.

Die Herkunft der kosmischen Ultrastrahlung muß als eines der zentralen Probleme der Physik betrachtet werden, weil wir bei dieser Strahlung die größte Energiebehaftung von Elementarteilchen beobachten. Sehr viele Registrierungen der zeitlichen Intensitätsschwankungen hatten verschiedene Einflüsse zutage gebracht, welche zum Teil innerhalb der Atmosphäre wirken, wie Luftdruckschwankungen und Änderungen der Temperaturschichtung in der Atmosphäre, zum Teil aber auch außerhalb der Atmosphäre

auf die primäre Ultrastrahlung einwirken, wie die Störungen des erdmagnetischen Feldes. Die letzteren stehen alle mit der Sonnentätigkeit in Zusammenhang. Der Effekt magnetischer Stürme konnte von Forbush² an Hand von Registrierungen mit Compton-Elektrometern in Amerika und von Heß, Demmelmaier und Steinmaurer³ nach Registrierungen in Innsbruck mit Steinke-Apparaten als ein weltweiter Effekt nachgewiesen werden, für welchen Chapman⁴ die Erklärung durch Ringströme vorschlug. Diese

¹ Auszugsweise vorgetragen auf Tagungen der Physikalischen Gesellschaft in Stuttgart am 6. 7. 1947 und in Göttingen am 5. 9. 1947. Physik. Bl. 3, 203 u. 317 [1947].

² S. E. Forbush, Physic. Rev. 51, 110 [1937].

³ V. F. Heß, A. Demmelmaier u. R. Steinmaurer, Nature [London] 140, 316 [1937].

⁴ S. Chapman, Nature [London] 140, 423 [1937].



bestehen aus Korpuskeln, welche die Sonne bei chromosphärischen Eruptionen emittiert. Sie werden im magnetischen Feld der Erde um diese herumgelenkt und haben selbst wieder in ihrer Gesamtheit ein Magnetfeld, welches geeignet ist, die allgemeine, aus allen Richtungen auf die Erde einfallende kosmische Ultrastrahlung teilweise am Einfall auf die Erde zu hindern. Es wurden mehrmals Schwächungen bis zu 5 %, bei Kolhörsters Zählrohrapparaten sogar Effekte bis zu 8% beobachtet⁵. Ein typisches Beispiel aus unseren Registrierungen zeigt Abb. 1 (1. 3. 1942). Diese großen magnetischen Einflüsse veranlaßten, daß auch Heß⁶ es für „ziemlich unwahrscheinlich hielt, daß selbst ein kleiner Prozentsatz der Ultrastrahlung von der Sonne selbst ausgestrahlt wird,“ während derselbe Autor früher⁷ aus kleineren Effekten auf die Möglichkeit einer solaren Komponente geschlossen hatte. Diese durchaus allgemeine Wandlung der Auffassung hatte ihren tieferen Grund darin, daß bei mehrjährigen Registrierungen keine größeren Zunahmen der Ionisierungsstärke beobachtet worden waren, welche mit Sicherheit der Ultrastrahlung hätten zugeschrieben werden können.

Eine auffallende Zunahme hatte nur Regener⁸ schon am 29. 3. 1933 beobachtet. Allerdings nicht am Erdboden, sondern in der Stratosphäre, mit einem selbstregistrierenden Ballon-Elektrometer. Der Effekt erreichte im Gipfelpunkt bei 35 mm Hg 15%. Regener brachte dies mit der Tatsache in Verbindung, daß an diesem Tag eine beachtenswerte aktive Fleckengruppe den Zentralmeridian der Sonne passiert hatte, und erwähnte neben anderen Deutungsmöglichkeiten: „Man kann auch daran denken, daß im Zusammenhang mit der magnetischen Störung vielleicht ein Sonnenfleck am 29. 3. 1933 eine zusätzliche weiche Strahlung geliefert hatte.“

Zirkler⁹ berichtet über sehr häufige und bis zu 100% erreichende Extraionisationen in einer ungepanzerten Kammer nach Kolhörster. Er glaubt einen Zusammenhang mit der Sonnenrotation und mit chromosphärischen Eruptionen zu erkennen, und schließt kurz und bündig, daß die weiche Komponente der kosmischen Ultra-

strahlung solaren Ursprungs sei. Da der Zusammenhang mit der Sonnentätigkeit aus dem veröffentlichten Material zumindest nicht mit der angegebenen Einfachheit hervorgeht und derartige Messungen sehr leicht durch radioaktive Einflüsse gestört werden, wird man Bestätigungen abwarten müssen. Es wird weiter unten gezeigt, daß die Zirklerschen Extramaxima mit der von uns registrierten, solaren Ultrastrahlung nichts zu tun haben.

Unsere Apparatur ist gegen radioaktive Strahlung völlig unempfindlich. Trotzdem fanden wir — erstmals am 29./30. 4. 1941 — unerwartete Zunahmen der Koinzidenzzahl während jeweils einiger Stunden, mit Erholung auf den Ausgangswert. Nach genauer Prüfung konnte dies nur auf eine zusätzliche Ultrastrahlung zurückgeführt werden. Nachdem in längerer Zeit ein größeres Material zusammengekommen war, wies die 28-tägige Wiederholungstendenz auf einen Zusammenhang mit der Sonne. Dagegen konnte der Zusammenhang mit chromosphärischen Eruptionen, obwohl danach gesucht wurde, längere Zeit nicht erkannt werden, teils aus kriegsbedingter Unvollständigkeit des diesbezüglichen Materials, teils weil gerade die erdmagnetisch wirksamsten Eruptionen bei uns keinen Effekt hervorrufen konnten, weil sie, wie unten gezeigt wird, in eine ungünstige Tageszeit fielen.

Inzwischen berichtete Forbush¹⁰, daß im Laufe 10-jähriger Registrierungen der Ultrastrahlung mit den kleinen, allseitig durch 11 cm Blei abgeschirmten Ionisationskammern von Compton und Bennett insgesamt dreimal ein ungewöhnlicher Anstieg der Ionisation auftrat. Der größte Effekt mit 15% wurde kurz nach der heftigen und ausgedehnten chromosphärischen Eruption auf der Sonne am 25. 7. 1946 verzeichnet. Auch die beiden anderen, in der unteren Kurve unserer Abb. 1 wiedergegebenen Effekte traten im Anschluß an Eruptionen auf. Wenigstens in zwei dieser drei Fälle folgte am nächsten Tag ein magnetischer Sturm, so daß eine Korpuskularstrahlung die Sonne in der Richtung zur Erde verlassen hatte. Deshalb schließt Forbush, daß wahrscheinlich auch die Zunahme der Ultrastrahlung auf eine von der Sonne emittierte

⁵ E. Steinke u. A. Sittkus, *Naturwiss.* **26**, 461 [1938]; A. Sittkus, *Z. Naturforschg.* **1**, 204 [1946]; W. Kolhörster, *Naturwiss.* **26**, 159 u. 218 [1938]; *Physik. Z.* **44**, 393 [1943].

⁶ V. F. Heß, *Conseil international des Unions Scientifiques Firenze* 1939.

⁷ V. F. Heß, *Die Ionisierungsbilanz der Atmosphäre.* Leipzig 1934.

⁸ E. Regener, *Physik. Z.* **34**, 820 u. 880 [1933].

⁹ J. Zirkler, *Z. Geophysik* **18**, 126 [1943].

¹⁰ S. E. Forbush, *Physic. Rev.* **70**, 771 [1946].

Korpuskularstrahlung mit Teilchenenergien über $3.5 \cdot 10^9$ eV zurückzuführen ist.

Dank der größeren Empfindlichkeit unserer Anordnung für solche Strahlung bekamen wir im Laufe der Jahre ein wesentlich reichhaltigeres Material, aus dessen Gesamtheit sich die Existenz

graphisch registriert, später schrieb ein zweites Zählwerk gleichzeitig mit Tinte die einständigen Koinzidenzzahlen auf, so daß jede Änderung der Intensitätskurve sofort zu sehen war.

Ein zweistufiger Untersetzter arbeitete mit Kondensatorentladung durch eine austesteuerte Röhre und Rückladung mit einer Glühlampe nach dem Vorschlag von Barnóthy^{11a}. Bei nur zweifacher Untersetzung pro Stufe und besonderen Koppelröhren arbeitete das System sehr stabil. Das einwandfreie Funktionieren war schon am Spiel der Glühlampen leicht zu kontrollieren. Außerdem wurde regelmäßig der Untersetzungsbereich durch Verändern der Kapazität kontrolliert. Der Übergang von einfach auf zweifach bei etwa 200 pF und derjenige von zweifach auf dreifach bei 740 pF war sehr konstant und scharf, so daß bei einer mittleren Einstellung auf 450 pF keine Störungen möglich waren. Gerade im Hinblick auf die hier berichteten Effekte wurden derartige Prüfungen regelmäßig ausgeführt.

Das Auflösungsvermögen für Koinzidenzen mit $4 \cdot 10^{-6}$ sec schließt auch die Möglichkeit aus, daß sich radioaktive Störungen auf dem Umweg über zufällige Koinzidenzen hätten einschleichen können. Diese Unempfindlichkeit wurde durch den direkten Versuch mit einem Präparat bestätigt. Auch größere Schwankungen der Raumtemperatur zeigten keinen Effekt. Trotzdem wurde diese kontrolliert und vom Herbst 1941 ab automatisch auf 25°C gehalten.

Die meteorologischen Einflüsse wurden sorgfältig eliminiert. Die Kurven in den Abb. 1-3 zeigen den Gang der korrigierten Teilchenzahl. Das Verfahren soll an anderer Stelle eingehend beschrieben werden. Für die hier mitgeteilten Effekte spielen diese Korrekturen keine wichtige Rolle.

Registrier-Ergebnisse

Abb. 1 zeigt unten die von Forbush für Cheltenham (geomagnetische Breite 50° N, Länge etwa 75° W) mitgeteilte, in der Mitte in demselben Maßstab unsere gleichzeitige Registrierung in Friedrichshafen ($46,6^\circ$ N; $9,5^\circ$ O). Für diese sind die einständigen Mittelwerte eingezeichnet, während Forbush Zweistundenmittel angibt. Es ist alles auf Greenwicher Zeit umgerechnet.

Während des Effektes in Amerika am 28.2.1942, welcher dort 6,8% erreichte, blieb die Koinzidenzzahl in Friedrichshafen unverändert. Der Ringstromeffekt auf die allgemeine kosmische Ultra-

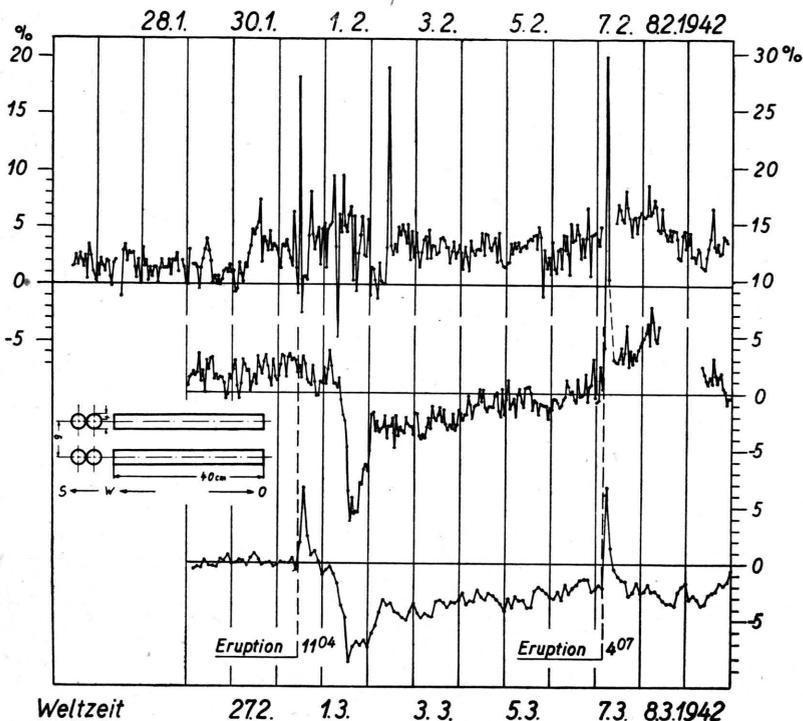


Abb. 1. Gleichzeitige Schwankungen der Ionisierungsstärke in Cheltenham nach Forbush (untere Kurve, Zweistundenmittel) und der Teilchenzahl in Friedrichshafen (mittlere Kurve, Einstundenmittel). Man beachte den nahezu 30% ausmachenden Effekt solarer Strahlung am 7.3. Die obere Kurve zeigt die Schwankungen der Teilchenzahl 28 Tage früher. Links ist die Geometrie der Friedrichshafener Anlage skizziert.

zeitweiliger solarer Ultrastrahlung mit Sicherheit nachweisen läßt und weitere Hinweise auf die Natur dieser Strahlung und auf den Mechanismus ihrer Entstehung abgeleitet werden können.

Meßtechnisches

Unsere Apparatur registrierte die Zweifachkoinzidenzen der beiden übereinanderliegenden Zählrohrgruppen, deren Lage und Dimensionen in Abb. 1 skizziert sind. Filter wurden nicht verwendet. Die Zählrohrwände bestanden aus innen versilberten Glasrohren. Über den Apparat befand sich nur ein dünnes Holzdach. Die Zählrohrachsen waren absichtlich ost-westlich orientiert¹¹. Der Zählwerkstand wurde zunächst in einständigen Abständen photo-

¹¹ A. Ehmert, Physik. Z. **36**, 789 [1935].

^{11a} J. Barnóthy, Physik. Z. **37**, 208 [1936].

strahlung am 1. 3. 1942 verlief an beiden Orten sehr ähnlich. Die Flanken der Einsattelung sind bei unserer Kurve steiler und der Effekt selbst war bei uns 1,6-mal größer. Beides kann auf die Ausblendung unserer Anordnung und auf den Bleipanzer bei Forbush zurückgeführt werden.

Am 7. 3. 1942 trat bei Forbush nach dem um 4^{07} Gr. Z. erfolgten Radiofading ein Intensitätsanstieg der Ultrastrahlung um 9,5% im Zweistundenmittel und gleichzeitig bei uns ein solcher um 27% im Einstundenmittel bzw. 12,3% im Zweistundenmittel ein. Das anschließend bei uns aufgetretene kleine, aber sehr breite Maximum muß wohl als ein davon gesonderter Effekt betrachtet werden. Ein gleicher war 28 Tage vorher aufgetreten, wie man der oberen Kurve in Abb. 1 entnimmt. Diese Kurve zeigt, wie die bis zum 30. 1. 1942 sehr ruhige Teilchenzahl plötzlich um 2% in die Höhe sprang, mehrere kleinere und auch zwei schon recht erhebliche Effekte am 31. 1. und am 2. 2. aufwies und während der Zeit sehr unruhig war, während welcher die Fleckengruppe sich im zentralen Bereich der Sonnenscheibe befand, welche bei ihrem Durchgang am 28. 2. durch ihre Eruption um 11^{04} den positiven Effekt auslöste und den magnetischen Sturm am 1. 3. hervorrief. Am 7. 3. befand sich diese Gruppe knapp am westlichen Sonnenrand.

Das Fading begann nach Forbush am 7. 3. um 4^{07} . Das Zweistundenmittel von 3 bis 5 Uhr ist bei ihm noch ganz normal, während das von 5 bis 7 Uhr bereits den Maximalwert zeigt. Bei uns fällt das Einstundenmittel von 4 bis 5 Uhr Gr. Z. ebenfalls kaum aus der statistischen Schwankung des Untergrundes heraus. Die Ultrastrahlung fiel also mit etwa einstündiger Verzögerung nach dem Beginn des Fadings ein. Am 28. 2. 1942 ist bei Forbush die Verzögerung nicht so gut sichtbar, weil die Eruption mit dem Beginn eines Zweistundenmittels zusammenfiel. Dagegen kann man aus seiner Registrierung am 25. 7. 1946 wieder sehr klar eine mindestens einstündige Verzögerung ablesen. Forbush selbst bemerkt aber, daß auf dem photographischen Original eine Ultrastrahlungszunahme schon 20 Min. nach Beginn des Radio-Effektes zu erkennen sei. Groß kann aber dieser erste Effekt nicht gewesen sein.

Einige weitere ähnliche Effekte aus unseren

Registrierungen zeigt Abb. 2. Am 20. 6. 1941 begann um 6^{20} eine chromosphärische Eruption der Größenklasse 2, welche eine ganze Stunde lang optisch beobachtet wurde. Unser Stundenmittel von 6 bis 7 Uhr ist in diesem Fall schon etwas erhöht, ein erstes Maximum wurde zwischen 10 und 11 Uhr erreicht. Noch vor der Erholung setzte ein neuer Anstieg zu einem 76% über dem Normalwert liegenden Maximum zwischen 12 und 15 Uhr ein. Auffallend war der plötzliche Abschluß des Effektes um 15 Uhr, verglichen mit

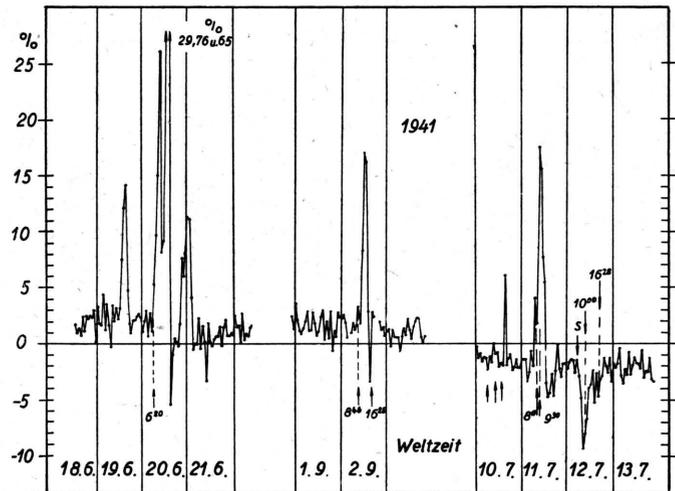


Abb. 2. Solare Ultrastrahlung nach chromosphärischen Eruptionen. Die Pfeile zeigen die Zeit des Aufflammens der Eruptionen. Am 20. 6. sind die drei höchsten Werte mit 29, 76 und 65% nicht mehr gezeichnet. Man beachte die Voreffekte am 19. 6. und am 10. 7., den „Mitternachts-Effekt“ am 20./21. 6., den Einfluß des magnetischen Sturmes am 12. 7. und die unternormalen Werte nach den Haupteffekten.

dem allmählicheren Abklingen der Effekte bei Forbush. Anschließend trat sogar ein unternormaler Wert auf. Ein Voreffekt am 19. 6. und ein Nacheffekt gegen Mitternacht begleiteten diesen Effekt. Es ist sehr erstaunlich, daß dieser Effekt sich in keiner Registrierung anderer Forscher findet.

Der Tagesgang am 2. 9. 1941 war bis 11 Uhr völlig normal. Dann stieg die Teilchenzahl rasch an. Um 8^{46} war eine kleinere Eruption am westlichen Sonnenrand beobachtet worden. Eine weitere folgte auf der östlichen Sonnenseite um 16^{25} . Wir haben von 18 bis 20 Uhr ein Teilchendifizit von 20% (das in Abb. 2 nicht eingezeichnet ist). Es kann aber nicht ausgeschlossen werden, daß

Greenwichzeit	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Datum	Effekte mit Zuordnung einer													
29. 4. 41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30. 4. 41	19,0	14,3	15,2	4,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13. 5. 41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14. 5. 41	17,5	19,5	19,7	16,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
29. 7. 41 ×	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30. 7. 41	15,5	13,9	16,4	13,6	13,1	9,5	10,5	4,5	—	—	—	—	—	—
19. 6. 41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20. 6. 41	—	—	—	—	—	—	3,3	7,7	13,0	24,0	6,0	7,0	27,0	—
21. 6. 41	10,2	10,0	3,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10. 7. 41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11. 7. 41 ×	—	—	—	—	—	—	—	6,0	3,7	19,5	17,5	9,6	7,4	—
2. 9. 41 ×	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,2	15,0	—
28. 2. 42 ×	Nur in Amerika beobachtet													
7. 3. 42 ×	—	—	—	—	—	—	27,2	7,3	—	—	—	—	—	—
	Effekte, welche keiner beobachteten													
6. 8. 42 ○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7. 8. 42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
31. 1. 42 ○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15,3	—	—
2. 2. 42 ○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17,0	—	—
30. 10. 42 ×	5,2	9,1	—	—	21,6	12,8	—	—	—	—	—	—	—	—
7. 1. 43 ×	—	—	25,9	4,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19. 5. 43	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20. 5. 43 ×	—	—	—	—	—	8,8	44,4	42,5	96,5	62,5	1,8	29,5	—	—
21. 5. 43	—	—	—	—	—	—	—	—	60,0	97,0	6,3	2,0	(-2)	—
11. 6. 43 ×	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,0	22,3	—
16. 6. 43 ×	10,5	13,3	24,7	23,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20. 6. 43 ○	16,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26. 6. 43 ×	—	—	—	—	14,3	57,8	—	8,7	—	—	—	—	—	—
16. 7. 43 ×	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17. 7. 43 ×	29,0	44,8	44,4	29,2	—	—	21,7	—	—	—	—	—	—	—
	kleine, nicht													
17. 8. 42 ○	4,0	7,0	6,3	6,4	8,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6. 12. 42 ○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
27. 1. 43 ○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8. 6. 43 ○	—	—	—	2,2	1,2	2,2	—	5,8	2,8	—	—	—	—	—
Summe:	126,9	131,9	155,6	99,2	58,2	118,1	86,9	75,2	176,0	203,0	63,9	59,3	71,7	—

Tab. 1. Verteilung der größeren

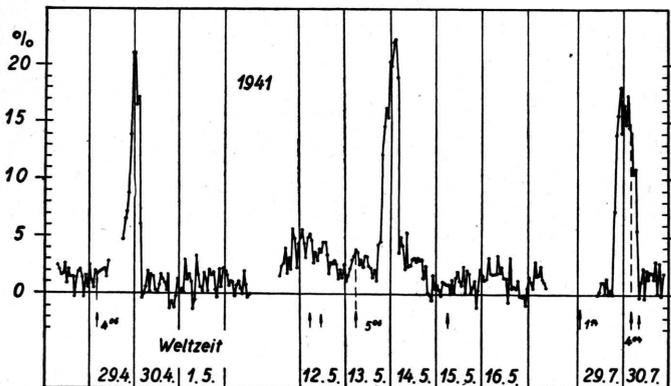


Abb. 3. Drei „Mitternachts-Effekte“ nach kleinen Eruptionen am frühen Vormittag. Wahrscheinlich erzeugten diese Eruptionen einen schwachen Ringstrom, welcher durch sein Magnetfeld erst den Einfall dieser solaren Strahlung in Friedrichshafen ermöglichte.

dieses vielleicht durch eine nicht vermerkte Stromabschaltung verursacht ist. Dagegen sind die unternormalen Werte unmittelbar nach den Effekten am 20. 6. 1941, 11. 7. 1941 und 31. 1. 1942 sicher reell.

Das dritte Beispiel in Abb. 2 zeigt wiederum einen Strahlungsanstieg um 19,5 % am 11. 7. 1941 gegen 9 Uhr, nach einer um 8¹⁷ aufgeflamten, bis 8³² beobachteten Eruption der Größenklasse 2. Im Gegensatz zu den vorherigen Beispielen ist hier schon das Stundenmittel, in welches das Aufleuchten der Eruption fällt, deutlich über dem Normalwert. Auch hier war bei reger Eruptionstätigkeit ein Voreffekt vorausgegangen.

Damit ist die Liste unserer Beispiele mit

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Eruption		O-Lage
												Zeit	Größe	%
Eruption und Mitternachts-Effekte														
—	—	—	—	—	—	—	2,6	5,1	6,7	11,8	19,0	4,06	1	+ 2,0
—	—	—	—	—	—	—	9,7	12,2	13,8	13,0	17,7	5,06	1	+ 3,0
—	—	—	—	—	—	—	6,3	13,0	14,7	17,1	13,1	1,14	1	+ 1,0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 2,0
5,4	10,2	12,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 2,0
74,0	63,0	(-6,8)	(-3)	(-1,5)	(-2,0)	(-2,3)	—	—	6,5	5,0	7,0	6,20	2	+ 2,0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	7,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13,46	1	- 1,5
(-1,5)	(-3)	(-2,8)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8,17	2	- 2,0
14,1	1	(-5,5)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8,46	1	+ 2,0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11,00	3	+ 2,2
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,07	?	+ 2,0
Eruption zugeordnet werden können														
—	—	—	—	—	—	—	12,0	?	?	—	—	—	—	—
4,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 2,8
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 3,0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 3,0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 6,4
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 2,3
—	—	—	—	—	97,0	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 2,0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 3,5
(-15)	0	(-14,5)	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 4,0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 3,7
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 4,7
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 4,7
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 2,0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	22,8	—	—	+ 2,1
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 2,3
zuzuordnende Effekte														
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 1,1
—	—	6,3	—	8,8	—	—	5,8	—	—	—	—	—	—	+ 7,2
—	—	4,6	6,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 7,0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 1,6
97,5	73,0	30,5	6,0	8,8	97,0	30,6	36,1	41,7	46,9	79,6				

Effekte über die Tageszeit.

Strahlungsanstiegen nach Eruptionen erschöpft. Eine weitere Gruppe von Erscheinungen, welche wir „Mitternachtseffekte“ nennen wollen, ist in Abb. 3 wiedergegeben. Auch die Nachstörung in der Nacht vom 20. zum 21. 6. 1941 (vgl. Abb. 2) dürfte zu dieser Gruppe zu rechnen sein. Diese Störungen beginnen alle um 19 Uhr Gr. Z. und nehmen einen Verlauf, wie man ihn etwa erwarten würde für eine nicht ablenkbare Strahlung, welche parallel der Mitternachtsebene senkrecht auf die Erdoberfläche einfiel. Allen diesen Effekten ging am Vormittag eine Eruption voraus. Dies deutet auf einen Zusammenhang beider Erscheinungen, wengleich dieser bei vier Beobachtungen noch nicht gesichert ist. Im März 1941 wurden an 6 Tagen in der Zeit von 0 bis 11 Uhr und an

11 Tagen überhaupt Eruptionen beobachtet, im April an 17 bzw. 18 Tagen, im Mai an 12 bzw. 14 Tagen und im Juni und Juli zusammen an 35 bzw. 44 Tagen. Ein zufälliges Eintreten des Effektes an einem Tag mit einer Eruption während des Vormittags hat deshalb nur die Wahrscheinlichkeit 0,4.

Weiterhin wurden im Verlauf der drei Jahre 1941 bis 1943 noch insgesamt 19 vorübergehende, 3% übersteigende Intensitätszunahmen beobachtet, welche zum Teil auf einzelne Stundenmittel beschränkt blieben, zum Teil sich aber auch, wie die gezeigten Effekte, bis zu 7 Stunden erstreckten. Die größten Effekte erreichten fast 100% der normalen Teilchenzahl. In allen diesen Fällen ist keine Zuordnung zu einer beobachteten Eruption

möglich. Registrierungen von Kurzwellenschwund sind uns nicht zugänglich. Es ist wohl möglich, daß mit solchem Material sich weitere Zuordnungen vornehmen lassen, ähnlich wie Forbush den Anstieg am 7. 3. 1942 mit einem dort beobachteten Fading in Verbindung bringen konnte. Die Pariser Tabelle gibt an diesem Tag keine Eruption an.

In Tab. 1 sind alle 3% übersteigenden Effekte eingetragen. Die letzte Kolonne gibt an, wieviel Prozent die Teilchenzahl vor Beginn des jeweili-

über die Tageszeit ermittelt. In Abb. 4 ist über der Ortszeit die Summe der Prozentzahlen aller Effekte aufgetragen. Die oberste Kurve faßt alle Fälle zusammen. Der Tagesgang ist zweimal hintereinander aufgezeichnet, darunter sind es die Anteile, welche auf die 4 Mitternachts-Effekte, auf die 4 Eruptionen zugeordneten Effekte und auf die 19 anderen Fälle entfallen. Man erkennt eine Bevorzugung des Vormittags. Da jedoch die einzelnen Effekte sehr verschieden groß sind, be-

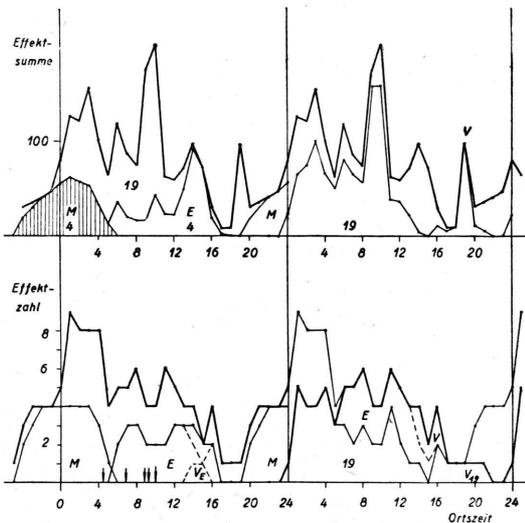


Abb. 4. Die Verteilung der registrierten solaren Ultrastrahlung über die Tageszeit. Oben: Die Summe der Größen aller zur jeweiligen Stunde vorgekommenen Effekte. M ist der (schraffierte) Anteil der Mitternachts-Effekte, E derjenige der 4 Effekte, welche einwandfrei bestimmten Eruptionen zugeordnet werden können. 19 ist der Anteil der übrigen 19 Effekte, V sind Voreffekte. Unten: Dasselbe, doch ist jeder Effekt unabhängig von seiner Größe mit demselben Gewicht berücksichtigt. Rechts unten ist die Verteilung unter Weglassung der Mitternachts-Effekte hervorgehoben.

gen Effektes nach Korrektur der meteorologischen Einflüsse vom Mittelwert im Januar 1941 abwich. Die Werte der Tab. 1 sind alle von diesem jeweiligen Untergrund aus gerechnet, während in den Abb. 1—3 überall der 0-Wert die mittlere korrigierte Teilchenzahl im Januar 1941 darstellt, somit alle Punkte absolut miteinander vergleichbar sind. Diese kleinen langsamen Schwankungen der Teilchenzahl hängen ebenfalls eng mit der Sonnentätigkeit zusammen. Darüber soll an anderer Stelle berichtet werden.

Durch Aufsummieren der einzelnen Kolonnen von Tab. 1 wurde ohne Berücksichtigung der negativen Werte die mittlere Verteilung der Effekte

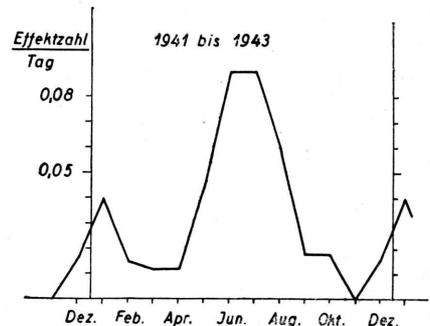


Abb. 5. Die Verteilung der Effekte auf die Jahreszeiten.

herrschen die wenigen großen Effekte den Tagesgang. Ein ausgeglicheneres Bild erhält man, wenn jede Stunde mit einem 3% übersteigenden Effekt gleich bewertet wird. Man erhält dann die unteren Kurven der Abb. 4. Diese entsprechen in der Aufteilung in die verschiedenen Anteile den oberen Kurven. Der Anteil der Voreffekte ist zusätzlich angedeutet. Die Bevorzugung des Vormittags tritt im mittleren Tagesgang aller Effekte ebenfalls deutlich in Erscheinung. Der besondere Charakter der Mitternachts-Effekte legt eine Betrachtung der Verteilung aller übrigen Effekte nahe. Diese ist in Abb. 4 rechts unten hervorgehoben. Sie steigt um Mitternacht steil an, bleibt dann bis etwa 15 Uhr konstant und fällt anschließend rasch ab. D. h. daß, abgesehen von einigen Voreffekten und den Mitternachts-Effekten, der Einfall der zusätzlichen Strahlung auf die Zeit zwischen Mitternacht und 16 Uhr beschränkt blieb. Dieses Verhalten wird weiter unten darauf zurückgeführt, daß im wesentlichen nur positiv geladene Primärteilchen von der Sonne wirksam sind, da diese wegen des magnetischen Erdfeldes nur in der genannten Zeit über Friedrichshafen im Winkelbereich unserer Anordnung einfallen können.

Abb. 5 zeigt die Verteilung der Effekte auf die einzelnen Monate des Jahres. Dabei sind wieder

alle Effekte mit gleichem Gewicht berücksichtigt. Meßpausen wurden durch Umrechnung auf gleiche Anzahl von Registriertagen auskorrigiert. Das hohe Maximum im Sommer würde bei Berück-

weils rechts angeschrieben. Unterbrechungen der horizontalen Grundlinie zeigen Meßpausen an. Der mit „F“ bezeichnete Effekt am 28. 2. 1942 wurde von Forbush, bei uns aber nicht registriert (Abb. 1). Unter „D“ sind zwei Effekte aufgenommen, welche Duperier¹² in London mit einer ähnlichen Anordnung registriert hat. Am 14. 8. 1942 ist bei uns ein gleichzeitiger schwacher Effekt (< 3%) angedeutet. „?“ bezeichnen Eruptionen, welche magnetische Stürme auslösten.

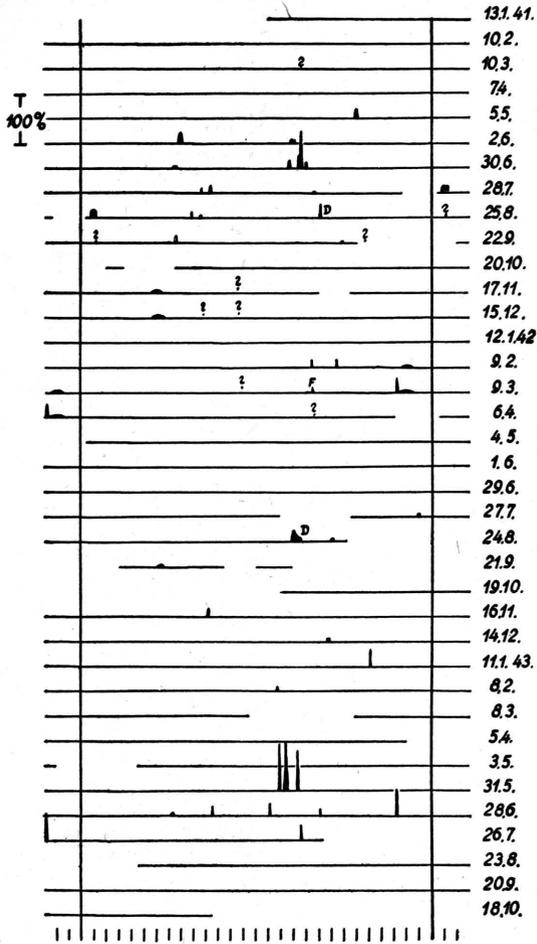


Abb. 6. 28-Tage-Schema. Abszisse: Zeit, 28 Tage zwischen den beiden durchgehenden Strichen. Das Datum des letzten Tages vor dem rechten Strich ist rechts angeschrieben. Ordinate: Größe des Effektes. F bezeichnet den nur in Amerika am 28. 2. 1942 gemessenen Effekt nach Forbush, D zwei von Duperier in London beobachtete Effekte, ? starke Eruptionen, welche magnetische Stürme auslösten.

sichtigung der Größe der Effekte noch höher. Auch diese Verteilung ist auf das magnetische Erdfeld zurückzuführen.

Alle beobachteten Effekte größer als 3% wurden in Abb. 6 in ein 28-Tage-Schema maßstäblich eingetragen, sowohl nach der Effektgröße (Ordinate), als auch nach der Zeit (Abszisse). Das Datum des Tages vor dem rechten Strich ist je-

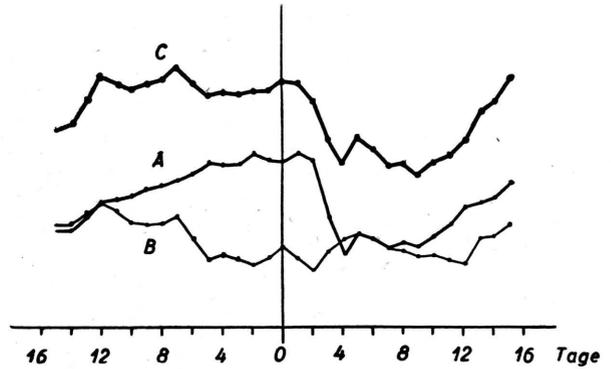


Abb. 7. Das Verhalten der Sonnenflecken-Relativzahlen der ganzen Scheibe um die Zeit der Ultrastrahlungs-Effekte, ermittelt nach der Methode überlagert Stichtage. A umfaßt 12 große Effekte, B 8 kleine Effekte. C ist die Summe der Kurven A und B. Der steile Abfall 2 Tage nach dem Stichtag hängt z. Tl. mit dem Verschwinden von Flecken hinter dem Sonnenrand zusammen.

Es scheint eine Wiederholungstendenz zum Ausdruck zu kommen. Diese ist in diesem 28-Tage-Schema wesentlich beständiger als im 27-Tage-Schema, das sich in der Erdmagnetik bewährt hat. Auffallend sind die großen leeren Felder und die Zusammendrängung der Effekte auf verhältnismäßig enge Bereiche.

Schließlich wurde noch das Verhalten der Züricher Sonnenflecken-Relativzahlen für die ganze Scheibe in der Nähe der Emissionseffekte nach der Methode der überlagerten Stichtage untersucht. Als solche wurden die Tage mit Effekten gewählt, wobei jeweils nur ein Tag berücksichtigt wurde, wenn an unmittelbar aufeinander folgenden Tagen Effekte eingetreten waren. In Abb. 7 zeigt die Kurve A den Verlauf der Fleckenzahlsumme bei der Zusammenfassung der großen Effekte mit mehrstündiger Dauer. Die dabei verwendeten Stichtage sind in der Tab. 1 durch ein Kreuz hinter dem Datum angemerkt. Diese Kurve

¹² A. Duperier, Nature [London] 151, 308 [1943].

zeigt einen ausgeprägten Abfall, welcher zwei Tage nach dem Stichtag beginnt. Zum Verständnis dieser Kurve sei daran erinnert, daß nach Waldmeier¹³ die Fleckenrelativzahl bei bipolaren Fleckengruppen in durchschnittlich 10 Tagen auf ein Maximum anwächst. Gleichzeitig nimmt die Häufigkeit der Eruptionen in der betreffenden Gruppe zu, so daß die Gruppe während des Maximums der Relativzahl am aktivsten ist. Anschließend verschwinden meist der F-Fleck, d. i. der in der Rotationsrichtung zurückliegende Fleck, und die umgebenden kleineren Flecken, wodurch die Relativzahl absinkt. Allerdings vollzieht sich diese Abnahme im Durchschnitt langsamer als das Absinken der Kurve A in Abb. 7, nämlich in 10 bis 15 Tagen. Man gewinnt deshalb aus dieser Statistik den Eindruck, daß die Emission von Ultrastrahlung bevorzugt in Fleckengruppen erfolgt, welche sich im Maximum ihrer Entwicklung, d. h. aber in ihrem aktivsten Stadium befinden. Dieses hier statistisch gewonnene Ergebnis ist in mehreren Einzelfällen auch unmittelbar zu sehen. Am schönsten bei der großen Fleckengruppe im Juli 1945, welche Behr¹⁴ im Zusammenhang mit der ungewöhnlichen Eruption am 25. 7. 1945 beschreibt.

Die Kurve B in Abb. 7 umfaßt 8 weitere Stichtage, welche in Tab. 1 durch \circ hinter dem Datum bezeichnet sind. Es handelt sich hier um kleine oder nur kurze Zeit andauernde Effekte. Man kann dieser Kurve nichts Besonderes entnehmen. Kurve C faßt die Kurven A und B zusammen. Die frühen Effekte bis zum Juni 1941 sind vorerst aus äußerlichen Gründen nicht mit aufgenommen worden.

Der steile Abfall der Kurve A kann auch mit dem Verschwinden von Fleckengruppen hinter dem Sonnenrand zusammenhängen. In Abb. 8 sind die Lagen jener Eruptionen, welche Ultrastrahlungseffekte auslösten, nach der Pariser Tabelle in ein Sonnenbild eingezeichnet. Die Eruptionen am 25. 7. 1946 und am 28. 2. 1942 liegen ziemlich zentral, die andern weiter am Rand, diejenige vom 2. 9. 1941 liegt praktisch auf dem Sonnenrand. Bei den starken Effekten am 7. 3. 1942 und am 19. und 20. 5. 1943 sind keine Eruptionen beobachtet worden. In beiden Fällen verschwand gerade eine sehr aktive Gruppe am Sonnenrand. Die einge-

zeichneten Kreise geben die Lage des Ortes der größten vorausgegangenen Eruption (der Größenklasse 3) zur Zeit des fraglichen Ultrastrahlungseffektes an. Die beiden Kreuze bezeichnen aktive Zentren zur Zeit der Mitternachts-Effekte am 29. 4 und 13. 5. 1941.

Man erkennt schon aus diesem kleinen Material, daß die Ultrastrahlung auch unter wesentlich flacheren Winkeln zur Sonnenoberfläche abge-

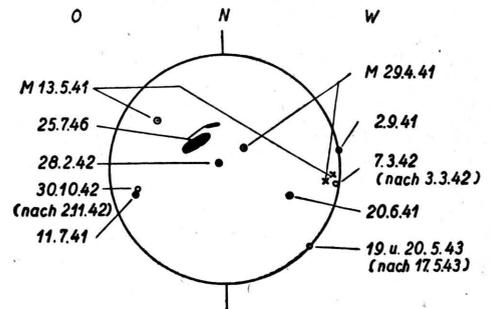


Abb. 8. Die Lage der mit Ultrastrahlungs-Emission verknüpften Eruptionen auf der Sonnenscheibe. ● sind sicher zugeordnete Eruptionen, ⊙ sind den Mitternachts-Effekten vorausgegangene kleine (wahrscheinlich unabhängige) Eruptionen, × die wahrscheinlich für diese Mitternachts-Effekte verantwortlichen Flecken, ○ die Lage des Ortes sehr heller Eruptionen zur Zeit einer zeitlich benachbarten Ultrastrahlungs-Emission.

strahlt werden muß als die langsamere Korpuskularstrahlung, welche für die magnetischen Stürme verantwortlich ist. Denn diese erreicht erfahrungsgemäß die Erde nur, wenn die Eruption in der Nähe des Zentralmeridians erfolgte, wie z. B. am 28. 2. 1942. Es mag trotzdem möglich sein, daß Ultrastrahlung in jedem Fall nur in einem individuellen Winkelbereich abgestrahlt wird. Diese Hypothese würde verständlich machen, daß bei manchen heftigen Eruptionen kein Ultrastrahlungseffekt vermerkt wurde, obwohl diese Eruptionen zu einer günstigen Ortszeit erfolgten.

Die schräge Abstrahlung bewirkt, daß das 28-Tage-Schema der Abb. 6 nur den zeitlichen Ablauf ausdrückt und nichts über eine eventuelle Bevorzugung gewisser Sonnenmeridiane aussagen kann. Um darüber Aufschluß zu gewinnen, muß jetzt bei jedem Effekt auf den Zeitpunkt vor- oder zurückgerechnet werden, an dem der Ort der zugehörigen Eruption den Zentralmeridian passierte. Diese Umrechnung ist möglich für die folgenden Effekte: 20. 6. 1941, 11. 7. 1941, 28. 2. 1942, 7. 3. 1942 und weiter für 2. 9. 1941 und 20. 5. 1943. Die ersten 4 Effekte fallen dann

¹³ M. Waldmeier, Ergebnisse und Probleme der Sonnenforschung. Leipzig 1941.

¹⁴ A. Behr, Z. Naturforsch. g. 1, 537 [1946].

alle auf einen angenommenen, mit 28,5 Tagen Umlaufsdauer rotierenden Sonnenmeridian, welcher am 28. 2. 1942 Zentralmeridian war. Die beiden anderen Eruptionen fallen gerade auf den rückseitigen Gegenmeridian. Zur Zeit der Mitternachts-Effekte am 29. 4. 1941 und am 13. 5. 1941 bildete dieser Meridian den Sonnenrand und wies aktive Fleckengruppen auf, während er zur Zeit des Mitternachts-Effektes vom 29. 7. 1941 gerade Zentralmeridian war.* Obwohl diese Auszeichnung eines bestimmten Sonnenmeridians angesichts des kleinen Materials noch einigermaßen unsicher ist, erinnert sie doch an die Tätigkeitsherde, wie sie von Wolfer, Brunner-Högger und v. Sanford über viele Jahre in den Fleckenbeobachtungen verfolgt werden konnten (vgl. Anm. 12, S. 131).

Kernzertrümmerungen durch solare Ultrastrahlung

Schopper¹⁵ machte, ebenfalls in der Forschungsstelle, eine auffallende Beobachtung. Er untersuchte photographische Schichten auf die Konstanz ihrer Empfindlichkeit gegenüber Protonen der Ultrastrahlung. Zu diesem Zweck wurden von einer am 15. 12. 1941 bei der Agfa in Wolfen hergestellten Emulsion in wachsenden zeitlichen Abständen einige der in einem Wohnhaus in Friedrichshafen aufbewahrten Platten entwickelt. Die Zahl der durch „Sterne“ (d. h. mehrere von einem Zentrum ausgehende Teilchen Spuren) fixierten Kernzertrümmerungen in der Schicht sollte nun mit dem Alter der Platte gleichmäßig zunehmen. Dies war im allgemeinen der Fall. Aber in der Zeit vom 30. 1. 1942 bis zum 20. 3. 1942 war eine Verschiebung der Anstiegsgeraden zu höheren Sternzahlen eingetreten. Beim jetzigen Stand der Auszählung ist diese Differenz noch im Rahmen der statistischen Schwankung. Sie tritt aber sehr auffallend in Erscheinung, wenn alle Meßpunkte aufgezeichnet werden, da die auf einer Geraden liegenden Punkte weit unternormal streuen. Die Ursache dieses Umstandes ist noch nicht aufgeklärt. Nun fielen in den genannten Zeitraum die Effekte am 31. 1., 2. 2. und 7. 3. 1942. Während aber nach unserer Registrierung das Verhältnis der zusätzlichen Teilchenzahl dieser Effekte zur normalen Teilchenzahl im

* Auch der Ort der Eruption am 25. 7. 1946 fällt genau auf den oben angeführten hypothetischen Meridian bei Rotation mit 28,5 Tagen Umlaufsdauer. Dem kann jedoch wegen der Unsicherheit der Rotationsdauer noch kein sehr überzeugender Wert beigemessen werden.

fraglichen Zeitabschnitt (wegen der langen Dauer desselben, verglichen mit der Dauer der Effekte) nur 0,058% beträgt, ergibt es sich aus Schoppers Sternenzahlen 640-mal größer, nämlich zu 37%. Wenn weitere Auszählungen dieses Verhältnis für die Kernzertrümmerungen bestätigen, so muß auf einen Qualitätsunterschied zwischen solarer und allgemeiner Ultrastrahlung geschlossen werden, z. B. hinsichtlich der mittleren Energie oder gar der Natur der Primärteilchen. Da die fraglichen Effekte z. Tl. in der Nähe der Mittagszeit auftraten, könnte auch an eine neutrale Strahlung von der Sonne gedacht werden, welche in Meereshöhe die sonst seltenen Kernzertrümmerungen in ungleich höherem Maß häufiger machen würde als die auch sonst sehr häufigen Mesonen, welche unsere Anordnung vorwiegend registriert. Das Ergebnis weiterer Auswertungen wird deshalb mit großem Interesse erwartet. Es ist in diesem Zusammenhang daran zu erinnern, daß auch Idanow¹⁶ gelegentlich eine kurzzeitige außerordentliche (etwa 1000-fache) Zunahme der Bahnspuren in photographischen Schichten beobachtet hat. Das würde ungefähr dem oben angegebenen Zahlenverhältnis entsprechen.

Vergleich mit den Beobachtungen von Zirkler

Es wurde eingangs erwähnt, daß Zirkler⁹ mit einer Ionisationskammer nach Kolhörster bei Registrierungen ohne Panzer gegen Umgebungsstrahlung in 1250 m Höhe ebenfalls vorübergehende Zunahmen der Ionisierungsstärke beobachtete, deren zeitlicher Verlauf und Amplituden mit den von uns beobachteten Effekten eine gewisse Ähnlichkeit haben. Das veröffentlichte Material Zirklers aus dem Jahre 1941 zeigt jedoch im Vergleich zu unseren Registrierungen folgende grundsätzliche Unterschiede:

1. Effekte größer als 3% sind ungleich häufiger als bei uns. Bei Zirkler treten an 83 von 284 Registriertagen solche Effekte auf, während wir in den gleichen 284 Tagen nur 8 Effekte registrierten.
2. Bei 6 von diesen 8 Effekten liegt bei Zirkler kein gleichzeitiger Effekt vor. Unser kurzer einstündiger Effekt mit 7,5% am 10. 7. 1941 koinzidiert mit einem länger anhaltenden Effekt

¹⁵ E. Schopper, erscheint demnächst. Ich danke Hrn. Dr. Schopper für die Mitteilung des Materials.

¹⁶ M. Idanow, Nature [London] 154, 616 [1944].

von 60% bei Zirkler. Dieser Effekt wurde bei uns nach dem Anlaufen durch das Magnetfeld der Erde wieder abgeschnitten, weil die Sonne den günstigen Winkelbereich verließ (vgl. den nächsten Abschn.). Am 20. 6. fand Zirkler einen kleinen Effekt etwa in der Pause zwischen den beiden Effekten, welche unsere Registrierung an diesem Tag aufweist. Die statistische Wahrscheinlichkeit für das zufällige Zusammentreffen von Effekten am gleichen Tag in beiden Registrierungen führt zu der Erwartung von 2—3 solcher zufälliger Koinzidenzen im gesamten Material. Die angeführten 2 Fälle können also durchaus zufällig zusammengefallen sein.

3. Die Effekte bei Zirkler zeigen das Minimum zwischen 16 und 20 Uhr nicht. Viele erreichen sogar in dieser Zeit höhere Spitzenwerte.

Aus all dem ist trotz der verschiedenartigen Meßmethode und der unterschiedlichen Höhe der Meßorte einwandfrei zu schließen, daß die Zirklerschen Ergebnisse auf einer andersgearteten Erscheinung beruhen müssen als die unsrigen.

Der Einfluß des magnetischen Erdfeldes

Von der Sonne kommende, elektrisch geladene Korpuskeln werden im Erdfeld stark abgelenkt. Diese Ablenkung macht zunächst die Verhältnisse unübersichtlich. Andererseits bietet sie aber auch ein wirksames Hilfsmittel zur Untersuchung der Qualität einer solchen solaren Strahlung. Gegenüber den entsprechenden Untersuchungen der allgemeinen Ultrastrahlung mittels des Breiteneffektes und des Ost-West-Effektes hat man hier den Vorteil einer definierten Einfallrichtung außerhalb des Feldes. Diese verändert sich durch die Drehung der Erde und durch ihre Bewegung um die Sonne fortgesetzt.

Im Jahre 1936 haben wir Hrn. Prof. Störmer gebeten, für verschiedene magnetische Steifigkeit der Teilchen diejenigen Bahnen im Erdfeld auszurechnen, welche zu senkrechtem Einfall in Friedrichshafen führen. Die Ergebnisse Störmers¹⁷ sind in Abb. 9 zusammengefaßt. Dort ist die Himmelskugel in rechtwinkliger Darstellung der Längenabweichung L_∞ vom Meridian von Greenwich und des Erhebungswinkels Φ_∞ über der Äquatorebene wiedergegeben. F bezeichnet den Zenit von Friedrichshafen. Von dorthier müßte

eine nicht ablenkbare Strahlung, z. B. Ultrastrahlung sehr hoher Energie, kommen, um in Friedrichshafen senkrecht einzufallen. Eine ablenkbare Strahlung muß außerhalb des Erdfeldes jedoch eine andere Richtung haben, damit sie nach Ablenkung im Erdfeld wieder in Friedrichshafen senkrecht einfallen kann. Die eingezeichneten Punkte geben nach Störmer diese Ursprungsrichtungen für die zum Teil beige beschriebenen magnetischen Steifigkeiten an. Die Punkte rechts von F gelten für positiv geladene, diejenigen links für negativ geladene Korpuskeln. Teilchen mit kleinerer magnetischer Steifigkeit als $H_0 = 1,19 \cdot 10^7$ Gauß·cm können in Friedrichshafen nicht mehr senkrecht einfallen. Die Verbindung dieser Punkte wollen wir Ursprungslinie nennen. Der gestrichelte Teil ist nicht genau bekannt, da die Rechnungen von Störmer nur bis zu $H_0 = 3,8 \cdot 10^7$ Gauß·cm ausgeführt wurden. Die zu erwartenden geringfügigen Abweichungen vom angenommenen Verlauf spielen bei den folgenden Untersuchungen keine Rolle.

Der Ort der Sonne wandert nun täglich auf einer Bahn $\Phi_\infty \approx \text{const.}$ von rechts nach links durch alle Werte von L_∞ . Man kann deshalb jedem L_∞ eine Ortszeit zuordnen, zu welcher die Sonne dort steht. Die untere Abszissenskala gibt für Friedrichshafen diese Ortszeiten an. Das Φ_∞ des Sonnenstandes wechselt mit der Jahreszeit zwischen $+23,5^\circ$ im Sommer und $-23,5^\circ$ im Winter. Würden wir nur streng senkrecht einfallende Strahlung registrieren, so könnte eine von der Sonne ausgehende Strahlung nur dann bemerkt werden, wenn der Sonnenstand gerade auf eine Ursprungslinie fällt. Weiter würde nur die gerade diesem Punkt der Ursprungslinie entsprechende Energie dieser Strahlung aufgenommen.

In Wirklichkeit registrieren wir jedoch Strahlung aus einem gewissen Winkelbereich um den Zenit, den man als den empfindlichen Konus der Apparatur bezeichnet. Um die Verhältnisse exakt zu beherrschen, müßten nun die Ursprungslinien für genügend viele über den empfindlichen Konus verteilte Einfallrichtungen berechnet werden. Dies ist grundsätzlich möglich, jedoch noch nicht ausgeführt. Eine rohe Übersicht können wir jedoch gewinnen, wenn wir jedem Punkt der Ursprungslinie als Mittelpunkt denselben empfindlichen Konus zuordnen, wie er für Teilchen unendlicher Steifigkeit gilt. In Wirklichkeit ist eine

¹⁷ C. Störmer, *Astrophysica Norwegica* 2, 193 [1937].

mit zunehmender Ablenkbarkeit wachsende Verzerrung dieses Konus zu erwarten, was jedoch hier vernachlässigt werden darf.

Wir haben den Maßstab für L_∞ und Φ_∞ in Abb. 9 derart verschieden gewählt, daß der empfindliche Konus unserer Apparatur gerade durch ein Quadrat umrandet wird, wie es um den Punkt F und um den Ursprungspunkt für $1,19 \cdot 10^7$ Gauß·cm eingezeichnet ist. Solche Quadrate muß man sich nun um alle Punkte der Ursprungslinie denken. Solange sich dann die Sonne in einem solchen Quadrat befindet, können wir mit Registrierung von solaren Teilchen derjenigen Steifigkeit rechnen, welche dem Mittelpunkt des Quadrats entspricht. Durch die Ausblendungsfunktion der Koinzidenzanordnung im Verein mit der atmosphärischen Absorption ist die Empfindlichkeit um so geringer, je weiter die Sonne vom Mittelpunkt des Quadrates entfernt steht. Im allgemeinen steht die Sonne gleichzeitig in einer Vielzahl solcher Quadrate, so daß ein gewisser Bereich des Energiespektrums solarer Teilchen registriert werden kann. Die Grenzen dieses Energiebereichs ersieht man sofort, wenn man um den Punkt des Sonnenstandes dasselbe

Quadrat zeichnet und die Energien für die Schnittpunkte dieses Quadrates mit den Ursprungslinien abliest. Man erkennt, daß eine Apparatur mit engem Gesichtsfeld nur einen kleinen Ausschnitt aus dem Energiespektrum der solarer Teilchen aufnehmen kann, vor allem, wenn das Gesichtsfeld nach Osten und Westen sehr eingeengt ist, wie man dies bei Koinzidenzanordnungen häufig antrifft. Die von uns gewählte Einengung des Gesichtsfeldes in nord-südlicher Richtung wirkt sich dagegen kaum als Einschränkung des zugelassenen Energiebereiches aus und bewirkt doch eine günstige Herabsetzung der allgemeinen Ultrastrahlung, so daß die solaren Effekte mit höherer relativer Amplitude herauskommen.

In Abb. 9 sind die Einhüllenden aller Quadrate für positive und für negative Teilchen getrennt eingezeichnet. Solange die Sonne in einer der durch diese Einhüllenden umrandeten Fläche steht, kann mit der Registrierung von solaren

Teilchen der betreffenden Art gerechnet werden, natürlich einschließlich der Registrierung von Sekundärteilchen, welche in der Atmosphäre unter erfahrungsgemäß geringer Winkelstreuung ausgelöst werden. Eine Korrektur ist dabei noch notwendig: Da der erlaubte Störmer-Konus für die Grenzenergie mit der Vertikalebene abschließt, fällt von den Quadraten für die Grenzenergien für positive Teilchen die östliche und für negative Teilchen die westliche Hälfte weg. Man kommt so zu der genaueren Form der erlaubten Bereiche für den Sonnenstand, wie sie in Abb. 9 eingezeichnet ist.

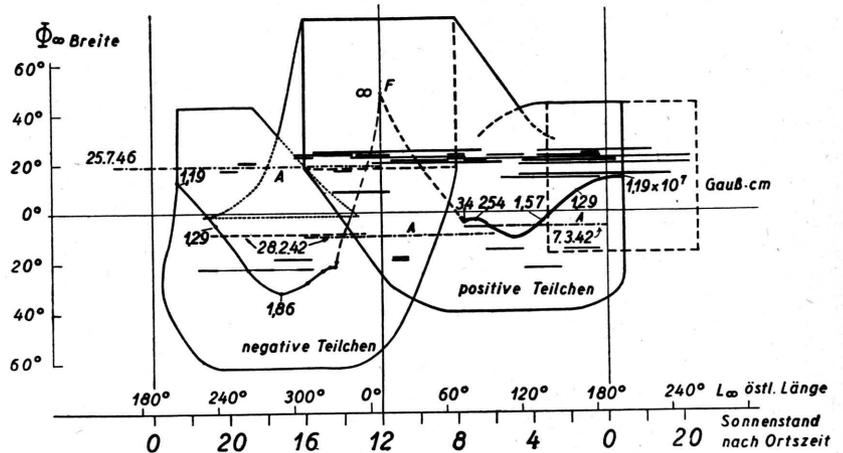


Abb. 9. Zur Untersuchung des Erdfeldesinflusses. Erläuterung im Text.

Positive Teilchen können demnach nur in der Zeit zwischen 23 Uhr und 16 Uhr, im Winter sogar nur bis 13 Uhr einfallen, während negativen Teilchen der Einfall nur von 8 bis 23 Uhr möglich ist. Die in Abb. 4 rechts unten hervorgehobene Verteilung der Effekte (ohne Mitternachteffekte) über die Tageszeit mit ihrer Beschränkung auf die Zeit zwischen Mitternacht und 15 Uhr, sofern man auch von den Voreffekten absieht, zeigt deshalb, daß für diese Effekte vorwiegend solare Teilchen mit positiver Ladung verantwortlich sind. Noch überzeugender mag dies aus der folgenden Betrachtung der einzelnen Fälle hervorgehen.

In Abb. 9 wurden die Sonnenstände während der Dauer der einzelnen Effekte durch waagrechte Strecken bezeichnet. (Um alle Effekte erkennbar einzzeichnen zu können, mußten dabei unwesentliche Ungenauigkeiten in der Höhe der Striche in Kauf genommen werden.) Die ausgezogenen

Striche gelten für Effekte in Friedrichshafen. Man erkennt sofort die durchgehende Besetzung des Gebietes für positive Teilchen, während im Gebiet der negativen Teilchen außer dem Beginn von vier Mitternachts-Effekten nur die beiden kurzdauernden Voreffekte vom 6. 8. 1942 und vom 19. 5. 1943 und die beiden kleinen Effekte am 6. 12. 1942 und 27. 1. 1943 vorliegen. Zur Zeit der letzteren war die Empfindlichkeit für negative solare Teilchen sehr günstig, da die Sonne nahe der Ursprungslinie stand. Man wird deshalb in diesen Effekten einen Hinweis auf das tatsächliche, wenn auch seltenere Vorkommen negativer solarer Ultrastrahlungsteilchen sehen. Die von Forbush bei annähernd gleicher geomagnetischer Breite in Amerika registrierten Effekte sind durch strichpunktierte Striche nach dortiger Ortszeit eingezeichnet und mit A bezeichnet. Am 7. 3. 1942 stand sowohl dort als auch bei uns die Sonne im Gebiet positiver Teilchen. Am 28. 2. 1942 war dies dort ebenfalls der Fall, während bei uns die Sonne zur selben Zeit dieses Gebiet bereits verlassen hatte, wie man aus dem gestrichelt eingezeichneten Sonnenstand ersieht. Der Ausfall des Effektes bei uns an diesem Tag (vgl. Abb. 1) zeigt deshalb, daß negative Teilchen wenigstens am Erdboden sich nicht mehr bemerkbar machen konnten. Am 25. 7. 1946 spielte sich der Effekt in Cheltenham zwischen Mittag und Mitternacht Ortszeit ab. Eine gleichzeitige Messung von Dolbear und Elliot¹⁸ in Manchester mit Zählrohrkoinzidenzen zeigt annähernd denselben Verlauf, jedoch mit einem rascheren Abklingen der Störung nach dem Maximum, so daß in Manchester der Effekt um 24 Uhr Greenwicher Zeit beendet ist, während er in Cheltenham zur selben Zeit noch 6%, das sind 40% des maximalen Effektes, ausmachte und erst etwa 5 Stdn. später ausklang, als auch Cheltenham die Ortszeit 24 Uhr hatte. Man erkennt also auch hier einen deutlichen Einfluß der Ausblendung und der geographischen Lage. Nach unserer Abb. 9 möchte man schließen, daß in diesem Fall in erster Linie negative Teilchen wirksam gewesen wären. Man darf aber nicht übersehen, daß die Ursprungslinien für Cheltenham und für Manchester im fraglichen Gebiet von denen für Friedrichshafen merklich abweichen können und daß die Ausblendungen dort ebenfalls von den unsrigen verschieden waren, so daß

¹⁸ D. W. N. Dolbear u. H. Elliot, Nature [London] 159, 58 [1947].

vorerst noch keine sichere Entscheidung möglich ist.

Am 20. 6. 1941, 11. 7. 1941, 2. 9. 1941 und am 31. 1. 1942 traten nach dem scharfen Abreißen der Effekte durch das Erdfeld am Nachmittag vorübergehend unternormale Teilchenzahlen auf. Man kann annehmen, daß am 20. 6., am 11. 7. und vielleicht auch am 31. 1. 1942 ein normaler Ringstrom vorlag, dessen Teilchen die Sonne beim gleichen Vorgang verließen wie die Ultrastrahlung, welche die Voreffekte an den vorhergehenden Tagen hervorrief. Am 2. 9. 1941 sind jedoch keine Anzeichen in dieser Richtung vorhanden. Wenn weitere derartige Fälle vorkommen sollten, wird man an eine Ringstromwirkung von Teilchen im Geschwindigkeitsbereich über etwa 10^9 cm/sec denken. Diese müßten dann ungleich häufiger sein als diejenigen mit Energien über 10^9 eV, deren Dichte nur von der Größenordnung 10^{-12} cm³ ist.

Auch die Minima, welche die jahreszeitliche Verteilung der Effekte um die Zeit der Äquinoktien aufweist, und die geringe Höhe des Wintermaximums können als Auswahleffekt des Erdfeldes gedeutet werden. Wenn sich die Teilchen der Erde in der magnetischen Äquatorebene nähern, so ist die Differenz ΔL der Gesamtablenkungswinkel L für die Bahnen bei den Teilchenenergien E und $E + \Delta E$ am größten. Einem festen ΔL , wie es bei der Messung erfaßt wird, entspricht dann der kleinste Energiebereich ΔE . Ähnlich liegen die Verhältnisse für die Ablenkung zu höheren Breiten. Diese Umstände können erst näher diskutiert werden, wenn mehr Bahnen ausgerechnet sind. Für die außerhalb des Erdfeldes aus allen Richtungen nahezu gleichmäßig einfallende allgemeine Ultrastrahlung spielt diese Richtungsordnung der Energie keine Rolle. Aber bei allen Untersuchungen, welche sich auf Abweichungen von dieser Richtungsanisotropie beziehen, wie z. B. der Compton-Getting-Effekt oder sternzeitliche Schwankungen, sollte man sie in Betracht ziehen. Von einschneidender Bedeutung wird sie aber bei einer auf einen so engen Winkelbereich konzentrierten Strahlung wie der solaren Ultrastrahlung.

Der Einfluß anderer Magnetfelder

Im letzten Abschnitt wurde angenommen, daß die solaren Teilchen sich außerhalb des Erdfeldes geradlinig von der Sonne wegbewegen und deshalb praktisch aus der Richtung der Sonne in das Erdfeld einfallen. Dies ist nicht mehr der Fall,

wenn noch andere Magnetfelder hinzukommen, wie z. B. ein von der Sonne ausgehendes Feld oder ein allgemeines galaktisches Feld oder das Feld eines gerade bestehenden Ringstromes um die Erde. Je ausgedehnter ein solches Feld ist, desto geringere Feldstärken genügen, um einen größeren Winkel zwischen der Sonnenrichtung und der Einfallrichtung der solaren Teilchen hervorzurufen. Für die Abb. 9 sind dann nicht mehr die eingezeichneten Sonnenstände, sondern die Einfallrichtungen der Teilchen maßgebend, und es kann dann vorkommen, daß die Einfallrichtung in das für positive Teilchen erlaubte Winkelgebiet fällt, der Sonnenstand aber nicht.

Auf solche Umstände weisen nun die Mitternachts-Effekte hin. Der zeitliche Ablauf derselben vollzieht sich gerade so, wie man ihn erwarten würde, wenn aus der Richtung des mitternächtlichen Zenits eine nicht ablenkbare Strahlung enger Bündelung oder eine im Erdfeld abgelenkte Strahlung nahezu einheitlicher magnetischer Steifigkeit einfallen würde. Nun sind aber nach den von Störmer ausgerechneten Bahnen bis 23 Uhr Ortszeit nur negative solare Teilchen und später nur positive zugelassen. Der gleichmäßige Verlauf dieser Effekte läßt aber vermuten, daß der ganze Effekt von gleichartigen Primärteilchen verursacht wird. Nach den Erfahrungen am 28. 2. 1942 sind dies sehr wahrscheinlich positiv geladene Teilchen. Damit solche am Beobachtungsort ab 19 Uhr Ortszeit unter einem Zenitwinkel von 50° aus dem Osten einfallen können, wie man dann zur Deutung des gemessenen Effektes annehmen muß, ist mit Rücksicht auf die Öffnung des erlaubten Störmer-Konus¹⁹ eine magnetische Steifigkeit von mindestens $1,4 \cdot 10^7$ Gauß·cm erforderlich. Weiter muß dann zu dem normalen magnetischen Erdfeld, wie es Störmer in die Rechnung eingeführt hat, ein zusätzliches Magnetfeld angenommen werden, welches in der Äquatorebene dieselbe Richtung wie das Erdfeld hat und die Teilchen zusätzlich um mindestens 50° ablenkt.

Man könnte denken, daß vielleicht ein größeres magnetisches Moment M der Erde wirksam sei, als in die Rechnung eingeführt wurde. Damit würden aber die charakteristischen Zeiten der Abb. 9 nicht geändert, da in die Geometrie der Bahnen nur die Größe M/H_e eingeht. Man hätte also lediglich entlang den Ursprungslinien entsprechend größere Werte für H_e anzuschreiben.

Dagegen könnte die zusätzliche Ablenkung durch das Magnetfeld eines schwachen Ringstromes um die Erde erklärt werden. Starke Ringströme können ja die energiearmen Anteile der Ultrastrahlung vollständig ablenken, wie der Ringstrom-Effekt der allgemeinen Ultrastrahlung zeigt. Da allen vier Mitternachts-Effekten am frühen Vormittag eine schwache chromosphärische Eruption auf der Sonne vorausging, liegt es nahe, diese als Ursache für den Aufbau des notwendigen schwachen Ringstromes anzusehen. Da weiter in diesen Fällen am westlichen Sonnenrand eine aktive Fleckengruppe oder wenigstens ein in der K_3 -Strahlung deutlich hervortretender Herd zu sehen ist, vermuten wir, daß von diesen Gebieten die Ultrastrahlung ausging, wie ja auch am 2. 9. 1941 und am 7. 3. 1942 und am 19. und 20. 5. 1943 solche am Sonnenrand stehende Fleckengruppen zur Emission führten. Während aber die letzteren Effekte von vornherein in eine günstige Ortszeit fielen, wären die Mitternachts-Effekte nach dieser Vorstellung ausgeblieben, wenn nicht dank den vorausgegangenen unabhängigen Eruptionen gerade ein passendes Ringstromfeld bestanden hätte.

Auch die beiden Voreffekte vom 6. 8. 1942 und vom 19. 5. 1943 wird man in gleicher Weise auf abgelenkte positive Partikel zurückführen dürfen.

Ein von der Sonne direkt ausgehendes Magnetfeld kommt für die Ablenkung der Teilchen bei den Mitternachts-Effekten nicht in Frage, weil ein solches Feld mit der Entfernung R von der Sonne nach $1/R^3$ abnehmen muß. Es darf in Sonnennähe nur so stark sein, daß die Teilchen dort nicht festgehalten werden. Dann kommen diese aber in Erdnähe aus einer Richtung, welche nur wenig von der Richtung der Sonne abweicht. Eine Winkeldifferenz von 50° kann so nicht erklärt werden.

Am übersichtlichsten wären die Verhältnisse, wenn die zusätzliche Ablenkung der Teilchen einem auf dem ganzen Weg zwischen Sonne und Erde konstanten Feld, etwa einem galaktischen Feld, zuzuschreiben wäre. Dann könnte man aus dem Zeitpunkt des Beginns der Mitternachts-Effekte die Mindestfeldstärke von $1,3 \cdot 10^{-6}$ Gauß errechnen. Andererseits besteht die Möglichkeit, die Maximalstärke eines solchen Feldes abzuschätzen, wenn man annimmt, daß die Effekte am 2. 9. 1941, am 31. 1. 1942 und am 2. 2. 1942 ebenfalls durch solare Teilchen mit positiver Ladung

¹⁹ C. Störmer, Z. Astrophysik 1, 237 [1930].

verursacht wurden. Diesen Effekten kann man dann an Hand der Abb. 9 entnehmen, daß Teilchen mit $4 \cdot 10^7$ Gauß·cm höchstens um 20° zusätzlich abgelenkt worden waren. Sonst würde die Einfallrichtung bei diesen Effekten nicht mehr innerhalb des für positive Teilchen erlaubten Winkelbereichs liegen. Dieser Ablenkung entspricht ein Krümmungsradius von $2,8 \cdot 10^{13}$ cm und damit eine Maximalfeldstärke für die Komponente des galaktischen Feldes in Richtung der Erdachse von $1,4 \cdot 10^{-6}$ Gauß. Die Richtung dieses ablenkenden Feldes müßte dieselbe wie diejenige des Erdfeldes in der Äquatorebene sein. Ein dazu senkrecht Feld kann ebenfalls nicht stärker als $2 \cdot 10^{-6}$ Gauß sein, da sonst die Teilchen in das Erdfeld nur aus polnahen Richtungen eindringen könnten und somit die Mehrzahl der registrierten Effekte gar nicht hätte auftreten können. Man kann deshalb aus dem Verhalten der solaren Ultrastrahlung schließen, daß die Feldstärke des galaktischen Feldes kleiner als $2,5 \cdot 10^{-6}$ Gauß ist, wenn dieses in der Äquatorebene eine Komponente parallel dem Erdfeld hat. Bei entgegengesetzter Richtung dieser Komponente wäre eine mehrfach größere Feldstärke mit den Registrierungen verträglich, aber nur wenn die Mitternachts-Effekte und einige andere Effekte negativen solaren Teilchen zugeschrieben werden. Der Ausfall des Effektes am 28. 2. 1942 könnte dann nicht verstanden werden. Die Existenz eines so starken entgegengesetzten Feldes ist deshalb unwahrscheinlich, und man kann $2,5 \cdot 10^{-6}$ Gauß als obere Grenze eines gleichmäßigen Feldes zwischen Erde und Sonne betrachten.

Die Struktur der Sonnenkorona in Polnähe weist darauf hin, daß hier das innere Magnetfeld der Sonne zumindest in einem gewissen Grade nach außen dringt. Es ist auch plausibel, daß der wahrscheinlich auf der Turbulenz leitender Gasmassen beruhende Abschirmmechanismus dort nicht mehr so wirksam ist, wo die Kraftlinien zur Sonnenoberfläche senkrecht stehen. Man wird also mit der Existenz eines äußeren Sonnenfeldes rechnen müssen, wenn auch seine Stärke weit unter derjenigen liegt, die aus den Feldstärken in der Photosphäre zu berechnen wäre.

Ein solches Feld lenkt die solaren Protonen entgegen der Drehrichtung der Sonne ab. Die zur Erde kommenden Teilchen verschiedener magnetischer Steifigkeit müssen deshalb bei der Wirksamkeit eines solchen Sonnenfeldes die Sonnen-

oberfläche unter verschiedenen Winkeln verlassen haben, wenigstens wenn sie von einem eng begrenzten Gebiet der Sonnenoberfläche kommen, wie man dies nach dem engen Zusammenhang mit Eruptionen erwarten muß. Wenn nun aber in einem bestimmten Einzelfall der Winkelbereich begrenzt ist, in welchem die Teilchen ausgestoßen werden, so könnte also ein solches Feld ebenfalls wieder veranlassen, daß nur Teilchen eines begrenzten Energiebereiches ihren Weg in Richtung zur Erde nehmen können. Dieser Energiebereich wird um so kleiner sein, je geringer seine mittlere Energie ist. Die geringsten Teilchenenergien liegen bei den Mitternachts-Effekten vor. Der Verlauf derselben ist angesichts der Ablenkung im Erdfeld nur verständlich, wenn man eine weitgehend einheitliche Energie der bei diesem Effekt in das Erdfeld einfallenden Teilchen annimmt. Wir können aber vorerst nicht entscheiden, ob nun ein solches schwaches Sonnenfeld oder ein noch schwächeres galaktisches Feld diese Homogenisierung bewirkt hat. Zugunsten des Sonnenfeldes spricht jedoch die weitere Tatsache, daß die emittierenden Fleckengruppen im Fall der Mitternachts-Effekte am westlichen Sonnenrand lagen. Man kann sich vorstellen, daß dieselbe Strahlung, wenn sie von einer weiter östlich liegenden Gruppe ausgeht, infolge der Ablenkung weit östlich an der Erde vorbeigeht. Man könnte daraus die Größe des Sonnenfeldes abschätzen. Doch sind dazu noch weitere Annahmen nötig, womit die ganze Vorstellung zu unsicher wird. Es war uns wichtiger, aufzuzeigen, mit welcher Art von Einflüssen man bei der Analyse der solaren Ultrastrahlung rechnen muß und zu welchen bisher der Messung unzugänglichen Gebieten man hoffen kann, mittels eines großen Materials über solare Ultrastrahlung später erfolgreich vorzustoßen.

Die Absorption der primären solaren Ultrastrahlung

Absorptionsmessungen an der solaren Ultrastrahlung, wie sie aus gleichzeitigen Registrierungen mit verschiedenen Filtern und vor allem in unterschiedlichen Höhen gewonnen werden können, liegen bis jetzt nicht vor. Es erscheint aber jetzt sehr wahrscheinlich, daß die solare Ultrastrahlung jene Extraionisation hervorgerufen hat, welche Regener⁸ am 29. 3. 1933 in der Stratosphäre im Luftdruckbereich von 150 bis

30 mm Hg registrierte. Aus der Differenz der Ionisierungsstärken bei diesem Aufstieg gegenüber denjenigen bei mehreren anderen Aufstiegen mit unter sich gut übereinstimmendem Kurvenverlauf kann entnommen werden, daß die Ionisierung durch solare Ultrastrahlung damals innerhalb der Meßgenauigkeit im ganzen Bereich zwischen 30 und 100 mm Hg nach einer e -Funktion mit dem Absorptionskoeffizienten 0,13/cm Hg mit wachsendem Luftdruck abnahm.

Die allgemeine Ultrastrahlung nimmt demgegenüber im gleichen Luftdruckbereich mit wachsendem Luftdruck nur sehr wenig ab. Man befindet sich im Bereich des Maximums der Sekundärteilchen. Dieses liegt für die vertikale Strahlung nach den Koinzidenzmessungen von P f o t z e r²⁰ bei etwa 80 mm Hg, für die sehr flach einfallende Strahlung entsprechend höher. Da die letztere bei der Ionisationskammer in diesen Höhen stark überwiegt, wird das Maximum unverhältnismäßig breit und ist bei 30 mm Hg noch kaum erreicht. Deshalb ist schon die Tatsache der stärkeren Absorption der solaren Strahlung ein eindeutiger Beweis dafür, daß man es hier mit einer Ultrastrahlung aus begrenzten Raumwinkelbereichen zu tun haben muß. Der Verdacht, daß ein Anstieg dieser Strahlung mit der Zeit das Ergebnis fälsche, kann ausgeschlossen werden, weil die beim Aufstieg gewonnenen Meßpunkte nur wenig unter denjenigen des Abstieges liegen. Es hatte also tatsächlich eine Zunahme mit der Zeit stattgefunden, solange die Ballone in den fraglichen Höhen waren. Aber sie ging so langsam vor sich, daß sie im Mittel der Messungen beim Aufstieg und beim Abstieg nicht mehr in Erscheinung tritt. Und diese Kurve zeigt bei 30 mm Hg noch keine Andeutung eines Abbiegens vom exponentiellen Verlauf.

Die Registrierung R e g e n e r s wurde knapp nach Mittag durchgeführt. Zu dieser Zeit stand die Sonne nahezu 50° vom Zenit ab. Solare Protonen mit einer Energie um 10¹⁰ eV konnten wegen des Erdfeldes die Atmosphäre nur unter Zenitwinkeln > 60° erreichen, solche mit weniger als 8·10⁹ eV waren am Meßort bereits nicht mehr zugelassen. Man darf deshalb damit rechnen, daß für die solare Ultrastrahlung bei dieser Messung etwa der dreifache Luftdruck als durchlaufene Schichtdicke anzusetzen ist. Damit wird der wahre Absorptionskoeffizient im Bereich von 90 bis 300 mm Hg statt 0,13/cm Hg nur 0,044/cm Hg.

Die P f o t z e r s c h e Messung der vertikalen allgemeinen Ultrastrahlung liefert für diesen Luftdruckbereich den Absorptionskoeffizienten 0,075/cm Hg. Da bei der allgemeinen Ultrastrahlung primäre Protonen bis herab zu 3,7·10⁹ eV einfallen können, widerspricht der kleinere Koeffizient für die solare Ultrastrahlung nicht der Auffassung, daß die Primärteilchen in beiden Fällen von gleicher Art sind, z. B. Protonen, welche im Fall der solaren Strahlung eine andere Energieverteilung haben müssen. Die mit der Ionisationskammer gemessene Absorptionskurve der solaren Ultrastrahlung sollte im vorliegenden Fall etwa ähnlich verlaufen wie eine in geringerer geomagnetischer Breite mit Zählrohrkoinzidenzen gemessene Absorptionskurve der vertikalen allgemeinen Ultrastrahlung, wenn bei der letzteren Kurve die durchlaufene Schicht gleich dem dreifachen Wert des Luftdruckes angesetzt wird. Man kann roh abschätzen, daß eine solche Kurve von 90 mm Hg bis 2300 mm Hg auf etwa 3‰ absinkt. Da R e g e n e r bei 30 mm Hg einen Überschuß von 40 Ionenpaaren/cm³ gemessen hat, würde man am Erdboden demnach einen Effekt von 0,12 Ionenpaaren/cm³ erwarten, das wären 6% der Ionisation durch die allgemeine Ultrastrahlung. Berücksichtigt man noch, daß der Mesonenzerfall bei diesen großen Zenitwinkeln allenfalls dreimal stärker ist als der in die Umrechnung allein einbezogene Mesonenzerfall in der Vertikalen, so verbleibt im vorliegenden Fall in Meereshöhe kaum ein Effekt, der die Meßgenauigkeit einer Registrierung mit Ionisationskammern merklich übersteigt. Auf Bergstationen ist ein noch kleinerer prozentualer Effekt zu erwarten, da die Intensität der weicheren Anteile der allgemeinen Ultrastrahlung mit der Höhe rascher zunimmt als die Intensität der durchdringenden solaren Strahlung, deren weichere Anteile infolge des schrägen Einfalls bereits ausgesiebt sind.

Günstiger liegen die Verhältnisse in unseren Breiten während der Vormittagsstunden im Frühjahr und im Herbst, da zu diesen Zeiten nach unserer Abb. 9 ein nahezu senkrechter Einfall solarer Protonen zu erwarten ist.

A u e r²¹ beobachtete mit einem Ballonelektrometer von Regener am Vormittag des 22. 12. 1934 eine zusätzliche Ionisation im Luftdruckbereich von 150 bis 40 mm Hg. Der Überschuß erreichte

²⁰ G. P f o t z e r, Z. Physik **102**, 23 [1936].

²¹ R. A u e r, Z. Physik **111**, 559 [1939].

bei 50 mm Hg 6,5% der normalen Ionisierungsstärke. Der Effekt wurde mit dem Aufleuchten der Nova Herculis in Verbindung gebracht. In diesem Fall käme wegen der großen Entfernung dieser Strahlungsquelle nur eine γ -Strahlung in Frage. Es ist aber bei der damaligen Sonnentätigkeit nicht ausgeschlossen, daß eine solare Strahlung vorgelegen hat. Solare Protonen von 10^{10} eV konnten zum Zeitpunkt der Messung unter einem Zenitwinkel von 50° einfallen, so daß das Maximum der Ionisierung durch diese gerichtete Strahlung bei 50 mm Hg (statt bei 80 mm Hg für senkrechten Einfall) zu erwarten wäre. Tatsächlich kommt dieses Maximum in der Ionisierungskurve sehr deutlich bei diesem Druck zum Ausdruck, so daß von dieser Seite kein Widerspruch mit der Annahme einer solaren Protonenstrahlung besteht. Allerdings könnte nach der Kaskadentheorie eine γ -Strahlung von der Nova Herculis bei passend angenommener Energieverteilung ebenfalls einen solchen Verlauf der Höhenabhängigkeit ihrer Ionisierung bewirkt haben, so daß *keine sichere* Entscheidung möglich ist.

Zur Entstehung der solaren Ultrastrahlung

Schon im Jahre 1933 untersuchte Swann²² theoretisch, ob nicht durch die veränderlichen Magnetfelder der Sonnenflecken Elektronen bis in den Energiebereich der Ultrastrahlung beschleunigt werden können. Er rechnete mit einem zylindersymmetrischen Modell des Fleckenfeldes, dessen Achse senkrecht zur Sonnenoberfläche angenommen wurde. Die Feldstärke sollte mit dem reziproken Wert der Entfernung von der Achse abnehmen, überall parallel zur Achse gerichtet sein und linear mit der Zeit zunehmen. Beim Aufbau einer zentralen Feldstärke von 2000 Gauß in 12 Tagen entsteht in genügendem Abstand von der Achse des Feldes eine Randspannung von $2 \cdot 10^9$ Volt. Damit sich aber ein Elektron unter dem Einfluß der induzierten elektrischen Feldstärke in einer einfachen Spirale um die Achse des Fleckenfeldes bewegen und so zu hohen Energien beschleunigt werden kann, darf die magnetische Feldstärke am Ort der Teilchenbahn nur sehr gering sein, weil sonst die Teilchenbahn zu stark gekrümmt wird und sogar eine rückläufige Bewegung gegen das elektrische Feld eintreten

²² W. F. G. Swann, Physic. Rev. 43, 217 [1933].

würde. Je größer die Teilchenenergie bereits ist, desto größer darf auch die magnetische Feldstärke werden, damit diese das Elektron etwa auf einer Kreisbahn um die Achse des Fleckenfeldes hält. Beim Beginn des Feldaufbaues von der Feldstärke 0 an hält die Zunahme des Feldes etwa Schritt mit der gleichzeitigen Zunahme der magnetischen Steifigkeit, so daß im Lauf der ersten Sekunde Elektronen bis zu etwa 10^{10} eV beschleunigt werden mögen.

Dieser Mechanismus, welcher etwa der inzwischen erfundenen Elektronenschleuder entspricht, sollte damals nur die Möglichkeit des Zustandekommens hoher Energien durch solche Felder erklären, wie man sie auf der Sonne kennt. Er ist aber nicht geeignet, unsere vorliegenden Beobachtungen an der solaren Ultrastrahlung zu erklären. Denn diese wird stundenlang emittiert, im Zusammenhang mit chromosphärischen Eruptionen, welche in stark entwickelten Fleckengruppen mit hohen magnetischen Feldstärken auftreten.

Bei diesen Eruptionen tritt vorübergehend eine Reihe von Spektrallinien in einem begrenzten Gebiet der Sonnenoberfläche in heller Emission auf, insbesondere H_α , H_β , H, K usw. Oft sind es auch mehrere Gebiete, welche jedoch alle in der Nähe von Flecken liegen. Diese leuchtenden chromosphärischen Gasmassen haben nach Waldmeier²³ keine makroskopische Bewegung, außer einer Expansion. Ihre Höhe beträgt nur etwa 30 000 km, so daß eine Eruption am Sonnenrand nur als kleine Ausbuchtung des Sonnenrandes erscheint. Es handelt sich um einen Strahlungsausbruch, nicht um einen Ausbruch von Materie. Bei den stärksten Eruptionen der Größenbezeichnung 3 ist diese Intensität in H_α etwa von derselben Größe wie die von der ungestörten Chromosphäre hindurchgelassene Intensität der photosphärischen Strahlung. Im Ultraviolett dagegen, wo die Photosphärenstrahlung stark absinkt, ist die Eruptionsstrahlung in der Lyman- α -Linie um Größenordnungen intensiver. Sie verursacht durch Ionisation der irdischen Stratosphäre den Mögellinger-Effekt. Kiepenheuer²⁴ vermutet, daß die Eruptionen durch den folgenden magnetokalorischen Vorgang hervorgerufen werden: Das Fleckenfeld ist gegen das Innere der in starker

²³ M. Waldmeier, Ergebnisse und Probleme der Sonnenforschung. Leipzig 1941.

²⁴ K. O. Kiepenheuer, Z. Astrophysik 20, 332 [1941].

Bewegung befindlichen umgebenden Chromosphäre gut abgeschirmt, da die bewegten Gasmassen gut leitend sind und deshalb immer von neuem Wirbelströme erzeugen, welche das Feld abschirmen. Derselbe Effekt macht die Abschirmung des inneren Magnetfeldes der Sonne nach außen verständlich. Stößt nun ein größeres Turbulenzelement in das Fleckenfeld vor, so wird es als Ganzes durch die magnetische Ablenkung der einzelnen geladenen Teilchen abgebremst. Die vorher große gemeinsame Translationsgeschwindigkeit der Teilchen wird in eine große Relativbewegung der in Kreisen umlaufenden Teilchen übergeführt, so daß man von einer Aufheizung auf Kosten der Translationsenergie sprechen kann. Diese macht die Emission von L_{α} und von anderen Linien hochionisierter Atome verständlich. Aber sie reicht bei weitem nicht aus für die Entstehung von Ultrastrahlung der beobachteten magnetischen Steifigkeit. Diese erfordert bei Protonen eine Geschwindigkeit, welche nur etwa 1% unter der des Lichtes liegt.

Wir glauben nun, daß Protonen und schwerere Teilchen tatsächlich im Fleckenfeld beschleunigt und ausgestoßen werden können und stützen uns dabei auf den beobachteten Zusammenhang mit chromosphärischen Eruptionen und auf die Tatsache, daß es sich hierbei um Eruptionen in mehrpolaren Fleckengruppen handelte. Dort können bei Änderungen des magnetischen Flusses eines einzelnen oder mehrerer Flecken der Gruppe, wie sie nach den Beobachtungen laufend vorkommen, elektrische Feldstärken induziert werden, welche in begrenzten Gebieten eine erhebliche Komponente in Richtung der dortigen magnetischen Kraftlinien haben können, so daß eine Beschleunigung zumindest bis auf mittlere Energien und in Sonderfällen wohl auch auf die Energie der Ultrastrahlung vorkommen kann^{24a}. Bei den fast überall gekrümmten Feldlinien werden aber diese Teilchen meist wieder in andere Gebiete geraten, wo ihre Bahn quer zu den magnetischen Feldlinien verläuft und deshalb in eine Spirale gebogen wird, deren Durchmesser sehr klein gegen die Ausdehnung des Fleckenfeldes ist.

Ist ein induziertes elektrisches Feld vorhanden, welches auf den magnetischen Kraftlinien senkrecht steht, so tritt eine Versetzung des Umlauf-

kreises senkrecht zu beiden Feldern ein. Diese geschieht um so rascher, je größer die Energie des Teilchens ist. Diese Quergeschwindigkeit bleibt klein gegen die Teilchengeschwindigkeit.

Eine Inhomogenität des magnetischen Feldes quer zu den Kraftlinien bringt eine Wanderung des Umlaufkreises in der Richtung konstanter magnetischer Feldstärke. Wenn die induzierte elektrische Feldstärke dieselbe Richtung hat, so kann das Teilchen langsam weitere Energie aufnehmen.

Hat das Magnetfeld, in welchem ein Teilchen umläuft, eine Inhomogenität in Richtung der Kraftlinien, so wird das schon umlaufende Teilchen auch im zeitlich konstanten Feld, d. h. auch ohne elektrische Feldstärke, in der Richtung zu kleinerer Feldstärke bewegt.

Diese drei Umstände führen dazu, daß bereits beschleunigte, positive Teilchen ein Fleckenfeld, wie das oben nach Swan n beschriebene, langsam in einer Spirale verlassen. Sie erscheint als Rechtsspirale, wenn man von oben auf einen nordpolaren Fleck mit zunehmendem magnetischem Fluß blickt; eine Linksspirale entsteht über einem südpolaren Fleck zunehmender Feldstärke. Die Teilchen nehmen dabei noch Energie auf, deren Größe durch die Änderungsgeschwindigkeit des Gesamtflusses bestimmt wird. Bei abnehmenden Feldern laufen die Teilchen nach innen zur Zentrallinie des Feldes. Wir wollen die Geschwindigkeit des Mittelpunktes der einzelnen Umläufe eines Teilchens seine effektive Geschwindigkeit nennen. Sie ist klein gegen die Umlaufgeschwindigkeit.

Da das Fleckenfeld eine natürliche Abnahme mit wachsendem Abstand vom Fleck aufweist, kommt zu den genannten Bewegungen noch eine gleichzeitige Bewegung von der Sonnenoberfläche hinweg.

Infolge der geringen effektiven Geschwindigkeit brauchen die Teilchen längere Zeit zum Verlassen des Fleckenfeldes, und es ist die Frage, wieviel der gewonnenen Energie die Teilchen auf dem langen Weg im Fleckenfeld wieder verlieren. Wir werden nicht fehlgehen, wenn wir die Zeitdifferenz einer Stunde zwischen dem Aufleuchten der Eruptionen und dem Eintreffen der ersten Ultrastrahlung auf der Erde praktisch vollständig der Laufzeit im Fleckenfeld zuschreiben. Dem entspricht ein Weg von 10^{14} cm. Die Dichte der unteren Korona ist von der Größenordnung 10^{-15} g/cm³. Somit wird von den Teilchen eine Absorberschicht von großen-

^{24a} Den HHrn. Dr. Bagge u. Prof. Dr. Biermann danke ich für diesbezügliche wertvolle Diskussionen.

ordnungsmäßig nur 0,1 g/cm² durchlaufen. Das ist für rasche Protonen unbedeutend.

Für Elektronen sind dagegen Strahlungsverluste zu erwarten. Die ebenfalls erst seit kurzer Zeit bekannte Zunahme der Ultrakurzwellenstrahlung der Sonne bei Eruptionen, wie sie von Ryle und Vonberg²⁵ und von Lovell und Banwell²⁶ am 25. 7. 1946 beobachtet wurde, legt davon unmittelbares Zeugnis ab. Einen großen Beitrag liefern solche Teilchen, welche im Magnetfeld gerade mit der Beobachtungsfrequenz umlaufen. Der beobachteten Wellenlänge von 4 m entspricht bei Elektronen eine Resonanzfeldstärke von 28 Gauß, wenn die Teilchengeschwindigkeit wesentlich kleiner ist als die Lichtgeschwindigkeit. Feldstärken dieser Größe kommen in ausgedehnten Bezirken im Fleckenfeld vor. Wir verstehen deshalb, warum keine negativen Teilchen von der Sonne kommen. Die Elektronen strahlen die aufgenommene Energie längst wieder ab, ehe sie zur Ultrastrahlung werden können. Bei der Eigenart des Vorganges im Magnetfeld brauchen sie dabei nicht die hohen Energien, welche man nach dem Gesetz von Raleigh-Jeans für die Hohlraumstrahlung aus den beobachteten Intensitäten der Ultrakurzwellen berechnen würde²⁷.

Wenn Ultrastrahlungsteilchen (auch geringerer Energie) in die Chromosphäre zurückgeführt werden, so wird dort ein großer Teil ihrer Energie zur Ionisierung von Wasserstoff aufgebraucht. Kiepenheuer²⁴ vermutete bereits, daß die Anregung gewisser Korona-Linien und die Aufheizung chromosphärischer Fackeln durch geladene Teilchen erfolgen kann, welche in Fleckenfeldern beschleunigt wurden. Der geschilderte Beschleunigungsmechanismus eröffnet nun viel weitergehende Möglichkeiten, weil jetzt effektive Teilchenbahnen möglich sind, welche man als wahre Teilchenbahnen ausschließen mußte. Es erscheint jetzt durchaus möglich, daß die ganze Erscheinung der Eruption auf intensive Ionisierung des betreffenden Gebietes durch Ultrastrahlung zurückzuführen ist, welche im veränderlichen Fleckenfeld beschleunigt wurde. Damit sind auch die Beobachtungen im Einklang, daß die Eruptionsstrahlung weder merklichen Doppler-Effekt noch Zeeman-Effekt aufweist, wie v. Klüber²⁸ kürzlich berichtete. Auch energetisch entstehen zu

²⁵ M. Ryle u. D. D. Vonberg, Nature [London] 158, 339 [1946].

²⁶ A. C. B. Lovell u. C. J. Banwell, Nature [London] 158, 517 [1946].

dieser Hypothese keine Widersprüche, da die Energie eines mittleren Fleckenfeldes die bei einer normalen Eruption abgestrahlten Energiemengen um Größenordnungen übertrifft.

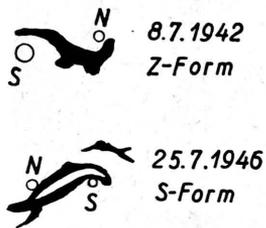
Das oben verwendete Modell des Fleckenfeldes ist nicht geeignet, die Zurückführung der beschleunigten Teilchen in die Chromosphäre zu erklären. Es gibt das Feld eines einzelnen Flecks angenähert wieder, wie er als letztes Endstadium von Fleckengruppen übrig bleibt. Erfahrungsgemäß treten im Bereich solcher alter Flecken auch keine Eruptionen mehr auf. Die größten Eruptionen kommen in mehrpolaren Fleckengruppen vor. Hier sind die Feldverhältnisse nicht so übersichtlich, insbesondere weil nach v. Klüber²⁸ die südpolaren und die nordpolaren Flecken keineswegs den gleichen magnetischen Gesamtfluß aufweisen.

Zu einer mehr schematischen Überprüfung der Verhältnisse wollen wir vereinfachend die beiden Flecken einer bipolaren Gruppe als die Pole eines veränderlichen Magneten auffassen. Die Kraftlinien spannen sich dann bogenförmig von Pol zu Pol. Die Feldstärke ist bei den Polen am größten, in der senkrecht zur Sonnenoberfläche stehenden Symmetrieebene des Feldes am kleinsten. Dort sind die Kraftlinien parallel zur Sonnenoberfläche. Bei einer Zunahme der Polstärken beschleunigt nun das induzierte elektrische Feld Protonen derart, daß sie mit ihren effektiven Bahnen den nordpolaren Fleck im Sinne des Uhrzeigers (bei Betrachtung von oben gegen die Sonnenoberfläche) umlaufen. Der Inhomogenität des Magnetfeldes entlang den Kraftlinien folgend, geht die effektive Bahn von der Fleckennähe zur Mittelebene des Feldes. Durch die Krümmung des Feldes können die Teilchen dort in der Nähe der Sonnenoberfläche, also unter dem frei gespannten Feld, in den Wirkungsbereich des südpolaren Flecks gelangen und diesen nun in einem flachen Bogen im Gegensinn des Uhrzeigers umwandern, wobei sie sich infolge der nach unten zunehmenden Abschirmung des Feldes gegen die Sonnenoberfläche bewegen. Entsprechend einer Vielheit möglicher Ausgangspunkte solcher effektiver Bahnen rings um den Ausgangsfleck gibt es auch

²⁷ K. O. Kiepenheuer, Nature [London] 158, 340 [1946], führte die solare Kurzwellenstrahlung im Wellenlängengebiet von 1 bis 6 m auf im Magnetfeld umlaufende Elektronen der Korona zurück und sagte die zirkulare Polarisation voraus.

²⁸ H. v. Klüber, Z. Astrophysik 24, 121 [1947].

eine Vielheit solcher Bahnen, welche in ihrer Gesamtheit ein räumliches Gebilde erfüllen, welches einer verdickten, konisch geöffneten Schraubenfläche ähnelt. Dort, wo dieses Gebilde in die Chromosphäre eintaucht, können vom Fleckenfeld erzeugte Ultrastrahlungsteilchen in die Chromosphäre eindringen und sich durch die von ihnen bewirkte Ionisation als Eruption bemerkbar machen. Im oben beschriebenen Fall ist also, wenn der nordpolare Fleck rechts vom südpolaren Ausgangsfleck liegt, eine Z-förmige Leuchtfigur der Eruptionen zu erwarten, ähnlich der in Abb. 10 skizzierten Form der Eruption vom 8. 7. 1942 nach v. Klüber²⁸. Dargestellt ist die Leuchtfigur (als



Negativ) beim ersten Beginn der Eruption, welchen v. Klüber durch das Vorliegen noch ziemlich unauffälliger Wasserstoff-Fackeln charakterisiert. Bei der späteren Entwicklung der Eruption konzentrierten sich innerhalb derselben Leuchtfigur einzelne bevorzugte Gebiete, und ein weiterer Leuchtknoten bildete sich

unmittelbar am oberen Rand des südpolaren Flecks. Mit zunehmender Teilchendichte der entstehenden Ultrastrahlung sind solche Konzentrationen infolge der magnetischen Wirkungen der Teilchenströme zu erwarten. Wir erkennen also die Form der Eruption in diesem verhältnismäßig übersichtlichen Fall als eine Folge der durch das Fleckenfeld vorgeschriebenen Bahnen der positiv geladenen Ultrastrahlungsteilchen. Dies ist eine starke Stütze unserer Hypothese. Bei negativen Teilchen hätte die Leuchtfigur spiegelbildlich ausfallen, also beim Vorliegen beider Teilchenarten eine an den Enden offene liegende 8 entstehen müssen. Wir haben bereits erwähnt, daß für Elektronen keine so weitgehende Beschleunigung zu erwarten ist.

Der entgegengesetzte Typus ist die S-förmige Eruption, für welche in Abb. 10 als Beispiel die Eruption vom 25. 7. 1946 nach einer Aufnahme von Behr¹⁴ gezeichnet ist. Diese Form ergibt sich, wenn bei zunehmendem Feld die Beschleunigung der Teilchen vom südpolaren Fleck ausgeht. Im vorliegenden Fall muß man auch im Auge behalten, daß die große Fleckengruppe in

viele Flecken aufgespalten war, so daß die einfachen Voraussetzungen unseres Modells nicht mehr zutrafen. Es soll hier lediglich der S-förmige Typus herausgestellt werden.

Leider sind uns keine wiederholten Feldstärke-Messungen an solchen Fleckengruppen bekannt, welche auf der Erde nachgewiesene Ultrastrahlung emittierten. H. v. Klüber teilt die Ergebnisse von Messungen an drei aufeinanderfolgenden Tagen an einer stark eruptiven Gruppe mit, welche schon am ersten Tag, dem 21. 4. 1942, in eine Reihe von Flecken zerfallen war. Nordpolar waren ein großer Fleck von etwa 20" Durchmesser (das sind rund 14000 km) und 2000 Gauß maximaler Feldstärke und drei kleinere Flecken von je etwa 10" Durchmesser und 1000 Gauß im Mittel. Den magnetischen Fluß aller vier Flecken schätzen wir auf etwa $4,2 \cdot 10^{21}$ Gauß · cm². 24 Stunden später bestand der nordpolare Teil hauptsächlich aus einem Fleck mit 30" und 2500 Gauß, also mit $8 \cdot 10^{21}$ Gauß · cm². Weitere 22 Stunden später war der Fluß dieses Flecks auf etwa $5 \cdot 10^{21}$ Gauß abgesunken. Nehmen wir den ungünstigsten Fall an, nämlich daß diese Änderung sich gleichmäßig im Lauf der 22 Stunden vollzogen habe, so folgt daraus immer noch eine Randspannung um den Fleck von $5 \cdot 10^8$ Volt, so daß am Rand des Flecks bei 40" Durchmesser der effektiven Bahn eine induzierte Feldstärke von 0,06 Volt/cm zu erwarten wäre. In Wirklichkeit ist diese wegen der Belastung des Feldes durch die leitenden Gase kleiner. Wenn sich aber die Feldänderung mehr oder weniger in einzelnen Sprüngen vollzogen hat, so hat man für die Dauer dieser Sprünge mit vielfach höheren elektrischen Feldstärken zu rechnen, welche dann zu den Eruptionen führen können, während die langsameren Änderungen vielleicht für die chromosphärischen Fackeln verantwortlich zu machen sind.

Wieviele von den beschleunigten Ultrastrahlungsteilchen das Fleckenfeld und die Sonne in den freien Raum verlassen, hängt zweifellos weitgehend von der speziellen Form des Fleckenfeldes und vom Vorhandensein eines weiteren, während der Eruptionen zeitlich konstanten Feldes ab.

Es ist zu erwarten, daß auch Protonen geringer Energie das Fleckenfeld verlassen. Diese längst bekannte Strahlung ist unvergleichlich teilchenreicher als die Ultrastrahlung. Sie kann deshalb die Sonne nicht verlassen, ohne eine gleiche Zahl freier Elektronen mitzunehmen, deren Geschwin-

Abb. 10.
Typische Formen von
Eruptionen in bipolaren
Fleckengruppen.

digkeit derjenigen der Protonen durch Raumladungsfelder automatisch angeglichen wird. Dasselbe mag bis zu einem gewissen Grade auch bei der Ultrastrahlung der Fall sein. Die Elektronen haben dann nur geringe Energie und magnetische Steifigkeit. Die langsameren Teilchenwolken können 14 bis 30 Stunden nach größeren Eruptionen bei günstiger Richtung die Erde erreichen und Nordlichter und magnetische Störungen verursachen. Auffallend ist dabei die Plötzlichkeit des Einsetzens dieser Störungen nach einer bei jeder Eruption anderen Zeitspanne, vom Beginn der Eruption gerechnet. Dies bedeutet einen steilen Abfall der Geschwindigkeitsverteilung der Teilchen zu größeren Energien bei einer für jede Eruption charakteristischen Geschwindigkeit. Der Energiebereich zwischen dieser Korpuskularstrahlung und der zählbaren Ultrastrahlung ist schwer zu erfassen. Vielleicht sind die Teilchen dieses Bereichs am Zustandekommen der unternormalen Teilchenzahlen nach dem Effekt am 2. 9. 1941 beteiligt gewesen.

Die solare Ultrastrahlung traf in mehreren Fällen erst etwa eine Stunde nach dem Aufleuchten der Eruption auf der Erde ein. Wollte man eine so lange Laufzeit der Teilchen von der Sonne zur Erde annehmen, so müßten diese, da ja aus dem Erdfeldeinfluß ihre magnetische Steifigkeit für jede Tageszeit bekannt ist, ein etwa 50-mal größeres Verhältnis von Masse zu Ladung haben als das Proton. Weiter müßten dann bei vormittäglichen Effekten, bei welchen die zugelassene Steifigkeit mit der Zeit zunimmt, auch das Verhältnis von Masse zu Ladung der Primärteilchen mit der Zeit zunehmen, und es müßten sehr verschieden schwere Primärteilchen angenommen werden, um auf dieser Basis den zeitlichen Verlauf solcher Effekte zu verstehen.

Deshalb ist es viel wahrscheinlicher, daß die gegen Ende der Effekte mehrere Stunden ausmachende Verzögerung auf lange Wege im Fleckenfeld zurückzuführen ist. Das inzwischen erfolgte Abflauen der Eruption zeigt an, daß die Feldänderung nachgelassen hat. Damit wird auch die effektive Geschwindigkeit der umlaufenden Protonen verringert und gleichzeitig wird eine stärker aufgewundene und damit längere effektive Bahn bis zum Verlassen des Feldes notwendig. Dies macht die beobachteten Verzögerungen verständlich, wenn auch eine quantitative Berechnung solcher Bahnen noch nicht möglich ist.

Die hier kurz skizzierte Vorstellung vom Vorgang der Eruptionen und der Erzeugung der solaren Ultrastrahlung bringt eine Reihe von experimentellen Erfahrungen in ein gemeinsames Schema, das als Arbeitshypothese die verschiedensten Forschungsmöglichkeiten aufzeigt und so seine weitere Prüfung ermöglicht.

Solare und allgemeine Ultrastrahlung

Die auf der Erde festgestellte solare Ultrastrahlung ist neben der allgemeinen Ultrastrahlung im zeitlichen Mittel von sehr geringer Intensität. Bei unserer Apparatur machen die Effekte in 3,2 Jahren insgesamt 19,7 Stundenmittel der allgemeinen Ultrastrahlung aus. Das sind nur 0,7‰. Wenn wir auf einer Erde ohne Magnetfeld mit der Sonne im Zenit messen könnten, so würde sich das ganze Energiespektrum gleichzeitig auswirken können, und wir würden sowohl beim einzelnen Effekt eine größere Teilchenzahl feststellen als auch andere Effekte erfassen, welche durch das Magnetfeld der Erde zu bestimmten Tageszeiten ganz ausgefallen sind. Weiter würde die bis jetzt noch schlecht erfaßbare Intensitätszerstreuung durch das Magnetfeld wegfallen, welche wir für den jahreszeitlichen Gang der Effekte verantwortlich machen müssen. Eine rohe und wegen des letztgenannten Einflusses unsichere Abschätzung läßt erwarten, daß ohne Erdfeld und Erddrehung die solare Ultrastrahlung mindestens 3% der Teilchenzahl der allgemeinen Ultrastrahlung ausgemacht hätte. Während aber die letztere außerhalb der Atmosphäre richtungsunabhängig ist, bleibt die solare Ultrastrahlung ohne Magnetfeld auf einen sehr engen Winkelbereich beschränkt. Deshalb müssen beide Erscheinungen verschieden betrachtet werden.

Aus der Teilchenzahl $N_{\text{allg.}}$ einer Koinzidenzanordnung ist nach dem Integral

$$\begin{aligned} N_{\text{allg.}} &= N_{0,\text{allg.}} P 2\pi F \int_0^{\pi/2} \cos^2 a \sin a A(a) da_{\text{uns.App.}} \\ &= N_{0,\text{allg.}} P F \frac{\pi}{3} \end{aligned} \quad (1)$$

auf die Zahl der Primärteilchen pro Sekunde aus dem Raumwinkel 1 durch eine Kugel vom Querschnitt 1 cm² zu schließen. Dabei bedeutet A die Ausblendungsfunktion der Anordnung und P einen Faktor für die Atmosphäre, welcher das

Verhältnis zwischen der Teilchenzahl in Meereshöhe und der Zahl der Primärteilchen angibt, beides für senkrechten Einfall, da die erhöhte Absorption für schrägen Einfall schon durch $\cos^2 \alpha$ berücksichtigt ist.

Strahlt dagegen die Sonne im zeitlichen und räumlichen Durchschnitt pro cm^2 und sec $N_{0, \text{sol}}$ Teilchen in die Raumwinkeleinheit ab, so würde eine im Abstand der Erde gegen die Sonne gerichtete gleiche Apparatur bei Abschirmung durch die Atmosphäre

$$N_{\text{sol}} = PF \pi \left(\frac{R}{E} \right)^2 N_{0, \text{sol}} = N_{0, \text{sol}} PF / 15000 \quad (2)$$

Teilchen registrieren. Dabei ist R der Sonnenradius $\approx 7 \cdot 10^{10}$ cm und E die mittlere Entfernung von der Sonne $\approx 1,5 \cdot 10^{13}$ cm. Weiter ist impliziert, daß die Sonne die Ultrastrahlung nach allen Richtungen im zeitlichen Mittel in gleicher Stärke aussendet.

Mit dem oben abgeschätzten Mittelwert $N_{\text{sol}} = 0,03 \cdot N_{\text{allg}}$ folgt aus (1) und (2)

$$N_{0, \text{sol}} = 450 N_{0, \text{allg}}.$$

D.h. bei unseren Voraussetzungen, daß die Sonne mindestens 450-mal soviel Ultrastrahlungsteilchen mit magnetischen Steifigkeiten $\geq 1,2 \cdot 10^7$ Gauß · cm ausgestrahlt hat, als sie maximal absorbieren konnte. Diese Zahl basiert nur auf den verhältnismäßig seltenen größeren Effekten. Es erscheint nicht ausgeschlossen, daß eine größere Anzahl

kleiner und deshalb nicht erfaßter Effekte einen noch größeren Beitrag zu $N_{0, \text{sol}}$ liefern würde.

Beim sichtbaren Licht ist das Verhältnis $J_{0, \text{sol}} / J_{0, \text{Fixsterne}}$ um mehrere Größenordnungen größer. Nimmt man also an, daß die Ultrastrahlungsemission bei anderen Sternen ähnlicher Spektraltypen in ähnlichem Verhältnis wie bei der Sonne erfolgt, so reicht diese Ultrastrahlung bei geradliniger Ausbreitung keineswegs aus, um die Intensität der allgemeinen Ultrastrahlung zu erklären. Da aber die Ultrastrahlung ablenkbar ist, kann sie in sehr ausgedehnten und zeitlich konstanten Magnetfeldern, wie z. B. in einem heute öfters diskutierten galaktischen Magnetfeld, selbst bei geringster Feldstärke festgehalten und sogar im Lauf der Zeit angesammelt werden, weil die Absorption infolge der geringen Raumerfüllung mit Materie nur sehr langsam erfolgt. Ob damit die allgemeine Ultrastrahlung zum größeren Teil auf ähnliche Vorgänge wie die solare Ultrastrahlung zurückgeführt werden kann, läßt sich bei den heutigen unsicheren Unterlagen keineswegs entscheiden. Immerhin ist mit dieser Möglichkeit zu rechnen.

Die vorliegende Arbeit wurde in der Forschungsstelle für Physik der Stratosphäre der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft ausgeführt. Dem Leiter der Forschungsstelle, Hrn. Prof. Dr. E. Regener, danke ich für die stetige großzügige Unterstützung dieser auf längere Sicht angelegten Arbeiten herzlichst.

Einige allgemeine Beziehungen für Zustandfunktionen bei Vielkomponentensystemen

Von ROLF HAASE

Aus dem Physikalisch-chemischen Institut der Universität Marburg

(Z. Naturforschg. 3 a, 285—290 [1948]; eingegangen am 23. Februar 1948)

Aus allgemeingültigen thermodynamischen Beziehungen wird ein Zusammenhang zwischen partiellen molaren und mittleren molaren Zustandsgrößen hergeleitet. Aus diesem Zusammenhang folgen u. a. die Grundlagen der bekannten geometrischen Verfahren zur Ermittlung partieller molarer Größen bei Zwei- und Dreistoffgemischen. Ferner ergeben sich Rechenvereinfachungen für die analytische Bestimmung der partiellen molaren Zustandfunktionen bei Systemen mit beliebig vielen Komponenten. Die Koexistenzbedingungen für zwei Phasen werden in eine solche Form gebracht, daß die Grundgleichungen der vielbenutzten geometrischen Darstellungen ebenfalls als Spezialfälle der allgemeinen Gleichungen für beliebig viele Komponenten erkannt werden. Einige Anwendungen der abgeleiteten Beziehungen auf Verdampfungsgleichgewichte werden gebracht.

In der Literatur wird für die Darstellung von partiellen molaren Größen bei binären und ternären Gemischen häufig von geometrischen Ver-

anschaulichungen Gebrauch gemacht. Da diese Methode bei Systemen mit mehr als drei Komponenten versagt, erscheint es wünschenswert, den