

Untersuchungen zur täglichen Periode der Kosmischen Strahlung*

Von W. MESSERSCHMIDT **

Arbeitsstelle für Kosmische Strahlung der DAW zu Berlin
und Institut für experimentelle Physik der Universität Halle
(Z. Naturforsch. 18 a, 66–78 [1963]; eingegangen am 27. August 1962)

Die hallische Anlage zur Registrierung der Kosmischen Strahlung besteht aus vier Ionisationskammern in verschiedenen Aufstellungen. Es liegt nunmehr das Material von sechs Jahren vor. Seit August 1960 ist ein Neutronenmonitor nach SIMPSON in Betrieb. Weiter wurden die Registrierungen von Lindau (Harz) und von Kiel herangezogen. Es wurden die folgenden Probleme bezüglich der täglichen Periode für die einzelnen Anordnungen untersucht: Der Verlauf in den einzelnen Jahren, die jahreszeitliche Abhängigkeit, die Phasenlage und die Phasenkonstanz, die 27-tägige Periode, die Deutung der Kurvenform, der weltweite Charakter und die Sternzeitperiode.

In den letzten Jahren haben die Untersuchungen der täglichen Periode der Kosmischen Strahlung erheblich an Umfang zugenommen. Dabei haben sich die folgenden Ergebnisse abgezeichnet:

1. Bei der täglichen Periode (T.P.) handelt es sich um eine weltweite Schwankung.
2. Es besteht heute die Auffassung, daß die T.P. in den Plasmaströmen von der Sonne entsteht. Der Beschleunigungsvorgang ist in den sich ausdehnenden Plasmen mit den mitgeführten Magnetfeldern zu suchen^{1–3}. Man spricht daher von einer solaren Komponente der Kosmischen Strahlung.
3. Die verschiedenen Meßanordnungen (Neutronenmonitor, Zählrohrteleskop und Ionisationskammer) zeigen, abgesehen von der verschiedenen Größe der Schwankungen der Strahlung bei den einzelnen Geräten, im wesentlichen die gleichen Ergebnisse.
4. Die T.P. ist je nach der Versuchsanordnung an 30 bis 40% aller Tage vorhanden. Ihre Amplitude kann an besonderen Tagen einige Prozent betragen. Bei einer Mittelwertbildung über längere Zeitabschnitte hat die Amplitude die Größe von einigen Promille.

5. Ein jahreszeitlicher Gang der T.P. tritt bei den üblichen Versuchsanordnungen nicht merklich in Erscheinung. Unter besonderen Versuchsbedingungen ist er vorhanden⁴.

6. Über lange Zeitabschnitte werden erhebliche Phasenverschiebungen der T.P. beobachtet, die mit der Sonnenaktivität in Verbindung stehen^{5–7}.

7. Bei FORBUSH-Effekten ist die T.P. vielfach besonders ausgeprägt⁸.

8. Eine Zunahme der Amplitude der T.P. mit dem magnetischen Störgrad (Kp-Werte) ist angedeutet^{9–14}.

9. Ein Einfluß der täglichen Schwankung des Luftdrucks und von Gezeiten in der Atmosphäre ist vorhanden. Er ist aber klein im Vergleich zur Amplitude der T.P.¹⁵ und wird deshalb vernachlässigt.

10. Die Amplitude der T.P. ist in Breiten zwischen 0° und 60°, d. h. bis zum „Knie“ der Kosmischen Strahlung angenähert konstant. Sie nimmt nach großen Breiten ab. Das Maximum liegt am Äquator gegen Mittag, es verschiebt sich mit der Breite in die späten Abendstunden^{16–23}.

11. Von besonderer Bedeutung erscheinen die Versuche mit gerichteten Teleskopen. Bei einem Nei-

* Vorgetragen auf der Tagung der Ungarischen Akademie der Wissenschaften über Kosmische Strahlung in Tihany am 29. September 1962.

** Halle (Saale), Friedemann-Bach-Platz 6.

¹ N. W. NERUKAR, Proc. Ind. Acad. Sci. (A) 45, 341 [1957].

² G. OTTER, Acta Phys. Austriaca 14, 154 [1961].

³ T. OBAYSHI u. Y. HAKURA, J. Geophys. Res. (USA) 65, 3143 [1960].

⁴ W. MESSERSCHMIDT, Z. Naturforsch. 15 a, 470 [1960].

⁵ S. E. FORBUSH u. D. VENKATESAN, J. Geophys. Res. (USA) 65, 2213 [1960].

⁶ N. R. PARSONS, Tellus 12, 450 [1960].

⁷ J. KATZMANN, Canad. J. Phys. 39, 1477 [1961].

⁸ D. CATTANI, M. GALLI u. P. RANDI, Nuovo Cim. 21, 923 [1961].

⁹ K. RAMANATHAN, Proc. Ind. Acad. Sci. (A) 44, 307 [1956].

¹⁰ J. C. BARTON u. J. H. STOCKHAUSEN, Phil. Mag. Ser. VIII 3, 55 [1958].

¹¹ A. E. SANDSTRÖM u. S. LINDGREN, Ark. Fys. 16, 137 [1959].

¹² A. E. SANDSTRÖM, E. DYRING u. S. LINDGREN, Tellus 12, 332 [1960].

¹³ C. V. SASTRY u. P. S. GILL, Proc. Nat. Inst. Sci., India A 26, 41 [1960].

¹⁴ H. DEBRUNNER u. F. G. HOUTERMANS, Helv. Phys. Acta 35, 137 [1962].

¹⁵ A. E. SANDSTRÖM, Amer. J. Phys. 29, 187 [1961].

¹⁶ N. R. PARSONS, Austral. J. Phys. 10, 387 [1957].

¹⁷ W. MESSERSCHMIDT, Z. Naturforsch. 15 a, 734 [1960].

¹⁸ J. KATZMANN u. D. VENKATESAN, Canad. J. Phys. 38, 1011

¹⁹ A. E. SANDSTRÖM, E. DYRING u. S. LINDGREN, Nature, Lond. 187, 1099 [1960].



gungswinkel von 45° besteht z. B. zwischen der Ost- und Westrichtung eine zeitliche Verzögerung von etwa 6 Stunden an magnetisch ungestörten Tagen, wobei die Härte der Strahlung bei westlichem Einfall abnimmt. An magnetisch gestörten Tagen tritt das Maximum aus allen Richtungen gleichzeitig gegen 14 Uhr auf²⁴⁻²⁸.

I. Die tägliche Periode der Kosmischen Strahlung

1. Die Materialbearbeitung

Die Bearbeitung des Materials erfolgt im allgemeinen so, daß die 2-Stundenwerte nach dem Barometereffekt korrigiert und dann über die gewünschten Zeitabschnitte gemittelt werden. In vielen Fällen wird eine harmonische Analyse durchgeführt, wobei die T.P. dann durch die Amplitude und Phase der 1. Harmonischen dargestellt wird. Die höheren Harmonischen sind in der Amplitude klein und streuen stark. Sie werden meistens vernachlässigt.




Bei der Mittelwertbildung und bei der harmonischen Analyse werden unter Umständen Ergebnisse verdeckt. So kann bei der Mittelwertbildung die T.P. verschwinden oder zumindest in der Amplitude verkleinert werden, wenn starke Streuungen in der Phase auftreten. Es ist also mit einer rein statistischen Bearbeitung des Materials Vorsicht geboten, weil sich hierbei leicht Trugschlüsse einstellen können. Natürlich wird man nicht ohne statistische Behandlung auskommen. Es ist jedoch notwendig, die Statistik durch Aufgliederung und durch Einführung weiterer Gesichtspunkte zu verfeinern. Ähnliches gilt für die harmonische Analyse.

Diese Verfahren sollen auf das in Halle vorhandene Material von sechs Jahren Anwendung finden.

2. Die Apparaturen und das vorhandene Material

Die Anlage ist ausführlich beschrieben²⁹. Sie besteht aus vier gleichen Ionisationskammern (Meßraum 21 l, Füllung 22 atm N_2 , allseitige Abschirmung 140 g/cm²).

Im Text und in den Abbildungen werden die früher verwandten Symbole benutzt. Es bedeuten

	K(1+2)	Zwei Kammern über dem Erdboden, sie werden bei der Auswertung zusammengefaßt.
	K 3	Die Kammer steht in einem 10 m tiefen und 3 m weiten offenen Schacht.
	K 4	Die Kammer befindet sich im Schacht einer seitlichen Strecke unter 14 m Wasseräquivalent.

Die Intensitäten wurden 1956 auf den Wert 100 festgesetzt. Die Amplitudenangaben der T.P. sind immer bei allen Anordnungen auf diesen Wert bezogen. Die Intensitäten der Kammern betragen (nach Abzug des Reststromes) im Vergleich zu K(1+2) für K 3 50% und für K 4 37%. Die statistische Streuung beläuft sich bei K(1+2) auf $\pm 0,2\%$, bei K 3 und K 4 auf etwa $\pm 0,4\%$ für den Zweistunden-Wert.

Eine weitere Kammer K 5 dient der Registrierung der weichen Strahlungsanteile. Sie ist seitlich mit 80 g/cm² (Fe) und von oben mit 38 g/cm² (Pb) abgeschirmt.

Seit dem 1. 8. 1960 ist weiter ein Neutronenmonitor nach SIMPSON mit 2-mal 4 angereicherten BF_3 -Zählrohren in Betrieb. Bei einer Zählrate von etwa 34 000 Impulsen in 2 Stunden beträgt die mittlere statistische Streuung $\pm 0,55\%$.

Weiter werden die Neutronenregistrierungen von Lindau (Harz) und von Kiel zur Auswertung herangezogen^{***}.

Schließlich wird das Material des IGY verwandt³⁰.

3. Die einfache Mittelwertbildung

a) Jahresmittel

Bei der Mittelwertbildung werden grundsätzlich nur vollständige Tage verwandt. Der Ausfall ist aber dabei mit 2 bis 3 Tagen im Jahre gering. Abb. 1 enthält die Jahresmittel der T.P. für die Neutronen von Lindau und die 3 verschiedenen Kammeraufstellungen. Die Neutronen (besser Nukleonenkomponente) zeigen in den vier ausgewerteten Jahren in der Lage des Maximums bei 14 Uhr L.T. keine Änderung. 1959 ist die Amplitude etwas größer, 1961 nur wenig kleiner im Vergleich zu den anderen Jahren. Es sei erwähnt, daß der Tagesgang von Lindau

²⁰ L. A. DE MOURA, G. SCHWACHHEIM u. E. R. WILLNER, An. Acad. Brasil. Cienc. **33**, 141 [1961].

²¹ R. P. KANE u. S. R. THAKORE, Proc. Ind. Acad. Sci. (A) **52**, 122 [1960].

²² K. MAEDA u. V. L. PATEL, J. Geophys. Res. (USA) **66**, 1389 [1961].

²³ T. KANNO, Nature, Lond. **192**, 250 [1961].

²⁴ N. R. PARSONS, Austral. J. Phys. **19**, 462 [1957].

²⁵ I. ESCOBAR V., C. URUA u. R. WEIL, Rev. Mexic. Fis. **8**, 101 [1959].

²⁶ U. R. RAO u. V. SARABHAI, Proc. Roy. Soc., Lond. A **263**, 101 [1961].

²⁷ U. R. RAO u. V. SARABHAI, Proc. Roy. Soc., Lond. A **263**, 118 [1961].

²⁸ U. R. RAO u. V. SARABHAI, Proc. Roy. Soc., Lond. A **263**, 127 [1961].

²⁹ W. MESSERSCHMIDT, Exp. Techn. Phys. **6**, 145 [1958].

^{***} Verfasser dankt den Herren Prof. EHMERT (Lindau, Harz) und Prof. BAGGE (Kiel) für die laufende Zusendung der Registrierungen.

³⁰ Cosmic Ray Intensity during the International Geophys. Year, No. 1—3, Sc. Council Japan, Tokyo 1959 u. 1960.

sich anders verhält als der von Halle und Kiel. Die beiden letzten Stationen haben bei den Neutronen das Maximum wesentlich später. (Kiel gegen 20^h und Halle in letzter Zeit gegen 24^h.) Diese Unterschiede kommen wahrscheinlich daher, daß die Anlagen in Kiel und Halle unter einem dünnen Holzdach aufgestellt sind, während in Lindau über der Apparatur eine Betondecke mit 50 g/cm² liegt.

Die Kammern K(1+2) zeigen einen ähnlichen Verlauf wie die Nukleonenkomponente. 1961 tritt jedoch eine Abnahme der Amplitude auf. Wie später gezeigt wird, erklärt sich diese Abnahme nicht allein aus einer Verkleinerung der mittleren Amplitude. Es treten vielmehr Phasenschwankungen auf.

Der Kurvenverlauf von K 4 unter 14 m Wasseräquivalent ist durch den steilen Anstieg zwischen 8 und 10 Uhr LT gekennzeichnet. Es handelt sich hierbei ohne Zweifel um eine *cut-off*-Erscheinung. Stark abweichend ist dann der Tagesgang 1961. Auch hier spielen Phasenschwankungen die wesentliche Rolle. Weniger markant ist die T.P. in K 3, der Kammer im offenen Schacht. Es kann so viel gesagt werden, daß das Maximum bei 14 Uhr LT liegt und bis zu 2 Stunden davon abweicht. Bemerkenswert ist die relativ große Amplitude im Jahre 1961, während in den anderen Anordnungen eine Abnahme der mittleren Amplitude gemessen wurde. Dieses Ergebnis kann im Augenblick noch nicht gedeutet werden. Hierzu ist weiteres Material notwendig.

b) Monatsmittel

Zur Untersuchung einer jahreszeitlichen Abhängigkeit der T.P. wurden Monatsmittel über mehrere Jahre gebildet. Wegen der im Jahre 1961 aufgetretenen Abweichungen wurden nur die Jahre 1957 bis 1960 verwandt. Vor der Mittelwertbildung soll aber die Frage der Zusammensetzung der einzelnen Kurven behandelt werden. Als Beispiel ist hierfür der Monat April herausgegriffen (Abb. 2). Bei den Neutronen von Lindau und bei K(1+2) sind die Kurven über die fünf bzw. sechs Jahre einander sehr ähnlich, wenn man von den Amplitudenschwankungen absieht. Diese zeigen aber einen gewissen Parallelauf, da die Amplituden 1959 und 1961 an beiden Orten kleiner als in den anderen Jahren sind. Auch in K 4 ist die Ähnlichkeit der Kurven gut. Nur 1962 zeigt eine starke Abweichung gegenüber den Vorjahren. In K 3 ist die Streuung der Kurven untereinander am größten. Alle Kurven haben aber in den Vormittagsstunden ein Maximum. Für K 3 ist

schließlich noch der Oktober angeführt, wo das Mittel über die Jahre 1957 bis 1960 keine T.P. zeigt. Um so auffälliger ist dabei das Verhalten im Jahre 1961. Zusammenfassend kann also gesagt werden, daß die Messungen in den Jahren 1957 bis 1960 verhältnismäßig gut übereinstimmen, so daß sie zur weiteren Bearbeitung herangezogen werden können.

Zur Bestimmung des jahreszeitlichen Verlaufes der T.P. erfolgt nun eine Mittelbildung über die einzelnen Monate (Abb. 3). Es ergeben sich dabei praktisch keine Abweichungen gegenüber der früheren Veröffentlichung mit dem Material bis zum 30. 4. 1959. Bei den Neutronen von Lindau (1958 bis 1960) zeigen die Monatskurven nahezu den gleichen Gang mit dem Maximum gegen 14 Uhr. Die Amplitudenunterschiede sind gering, die kleinste Amplitude ist im März. In K(1+2) ist die Amplitude ebenfalls nahezu konstant, das Maximum zeigt ein leichtes Pendeln in der Lage des Maximums von 12 Uhr im März auf 16 Uhr im Oktober. Besonders auffällig ist das Verhalten von K 4 und K 3. K 4 zeigt unter 14 m Wasseräquivalent im Verlauf des Jahres eine veränderliche Amplitude, die im Januar praktisch vollständig verschwindet, während die Phase konstant bleibt. K 3 hat starke Amplituden- und Phasenschwankungen. Diese Kurve läßt sich als Überlagerung einer sonnenzeitlichen und sternzeitlichen Periode darstellen, was schon früher gezeigt wurde. Das sind die Ergebnisse einer reinen Mittelwertbildung. Dabei bleiben, wie schon gesagt, Phasenschwankungen nicht berücksichtigt. Hierzu ist eine verfeinerte Methode der Auswertung notwendig.

4. Die Auswertung der Einzelmessungen

Eine Erweiterung des Auswerteverfahrens bringt natürlich bei der Datenverarbeitung einen erheblichen Mehraufwand an Rechenarbeit mit sich. Für die Betrachtung über große Zeitabschnitte sollte daher jeder Tag durch möglichst einfache Zahlenangaben charakterisiert werden. Zu diesem Zwecke werden die barometerkorrigierten Zweistundenwerte in Diagrammblätter eingezeichnet und geradlinig miteinander verbunden (Abb. 4). Von diesen Blättern wird eine Pause angefertigt, bei der der Strahlungsverlauf abgerundet wiedergegeben wird. Die Darstellung wird auf diese Weise anschaulicher. Zeigen die aufeinanderfolgenden Werte eine starke Streuung, die über das Maß der statistischen Schwankung hinausgeht, dann wird die Linie gestrichelt gezeichnet. Jeder Tag erhält nun zwei charakteristische

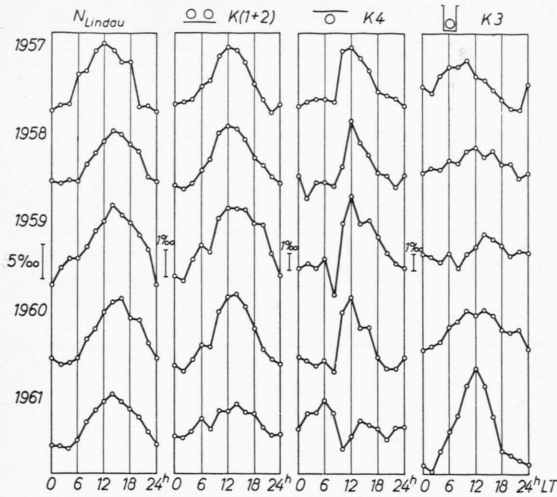


Abb. 1. Jahresmittel der täglichen Periode, 1957 bis 1961. 1. Spalte: Neutronen von Lindau (Harz); 2. Spalte: zwei Ionisationskammern über der Erde, K(1+2); 3. Spalte: eine Ionisationskammer unter 14 m Wasseräquivalent, K 4; 4. Spalte: eine Ionisationskammer in 10 m tiefem, offenem Schacht, K 3.

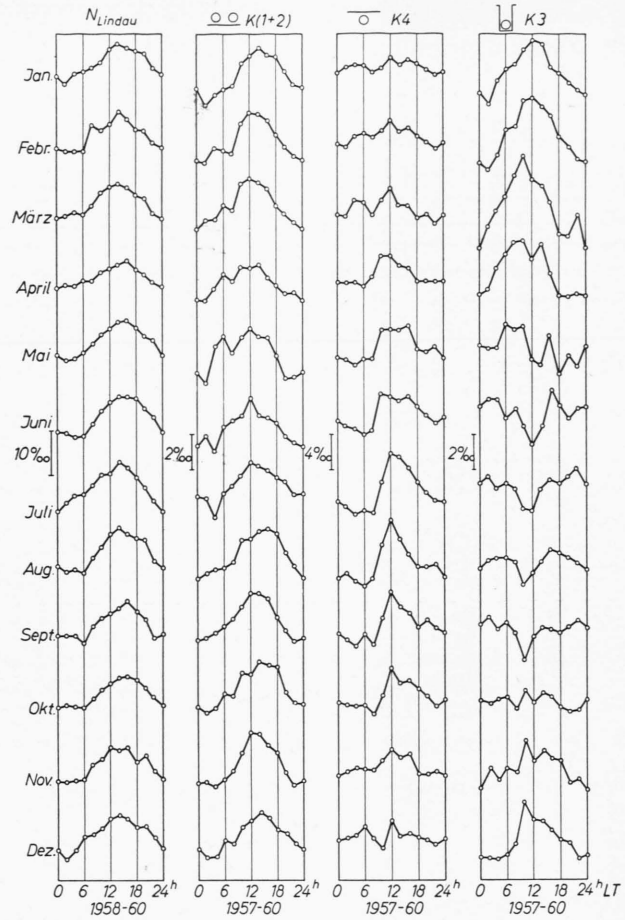


Abb. 3. Monatsmittel der täglichen Periode, Mittelwertsbildung über die Jahre 1957 bis 1960.

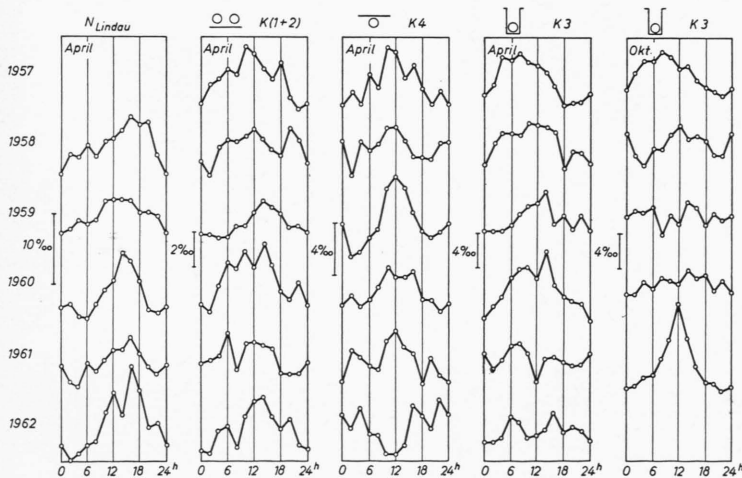


Abb. 2. Monatsmittel der täglichen Periode, 1957 bis 1962. April und Oktober, als Beispiele für die Mittelwertsbildung in Abb. 3.

Werte, einen für die Amplitude in Stufen von 2 Promille und einen für die Phase in Abschnitten von 2 Stunden. Unter Amplituden soll dabei immer der

Unterschied zwischen Minimum und Maximum verstanden werden. Ein Tag wird dann bewertet, wenn die Amplitude gleich oder größer als $4/1000$ ist.

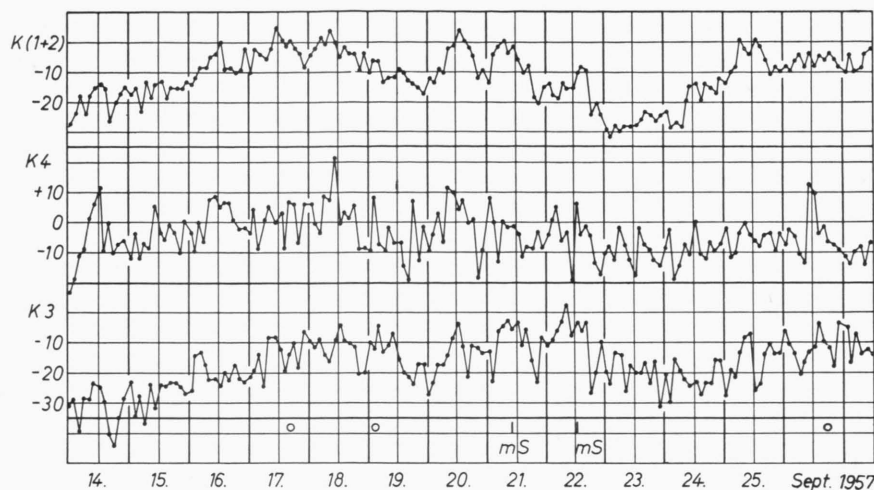


Abb. 4. Normblatt für die Darstellung der barometerkorrigierten Zweistundenwerte, Blattgröße DIN A 4, ein Tag=20 mm.

Von den so entstandenen Darstellungen sollen einige Beispiele angeführt werden.

a) Dezember 1957 (Abb. 5) (Wintermonat)

Die langsamen Schwankungen sind in den drei verschiedenen Anordnungen gut zu erkennen. Es besteht ein verhältnismäßig guter Gleichlauf. Die T.P. hat in K(1+2) nur am 1., 2., 3., 4., 7. und 9. die normale Phasenlage. An den meisten Tagen ist sie überhaupt nicht vorhanden. Bei K4 ist die T.P. nicht besonders ausgeprägt im Vergleich mit einem Sommermonat in Abb. 6. Die Strahlung schwankt gelegentlich nicht mit der Tagesperiode synchron. So entfallen auf die vier Tage vom 4. bis 7. 12. fünf Schwingungen und auf die drei Tage vom 9. bis 11. 12. vier Schwingungen. Mehrmals liegt das Maximum in der Nähe von Mitternacht. Es ist klar, daß hier bei einer einfachen Mittelwertbildung von einer T.P. nicht viel übrigbleibt (vgl. Abb. 3).

K3 zeigt in den langdauernden Schwankungen einen befriedigenden Gleichlauf mit K(1+2), wäh-

rend die kurzzeitigen Schwankungen vor allem zwischen dem 9. und 13. 12. mit K4 parallel laufen.

b) August 1960 (Abb. 6) (Sommermonat)

Die eigenen Neutronenregistrierungen sind dazu gekommen. Sie zeigen ganz allgemein größere Schwankungen. Die T.P. tritt gut hervor. Auch in K(1+2) ist die T.P. größer als in Abb. 5 und phasenstabil. Besonders stark ist die T.P. in K4, wo die Amplitude an mehreren Tagen 2–3% beträgt, während in K3 nur an einigen Tagen eine T.P. vorhanden ist.

c) November 1960 (Abb. 7) (mit FORBUSH-Effekten)

Während der August 1960 (Abb. 6) verhältnismäßig ruhig verlief, fielen in den November 1960 mehrere Sonnenausbrüche von der Größe 3 und 3+, die FORBUSH-Effekte auslösten. Für die Neutronenregistrierung sind die mit dem Einsetzen der magnetischen Störungen verbundenen Maxima am 12.

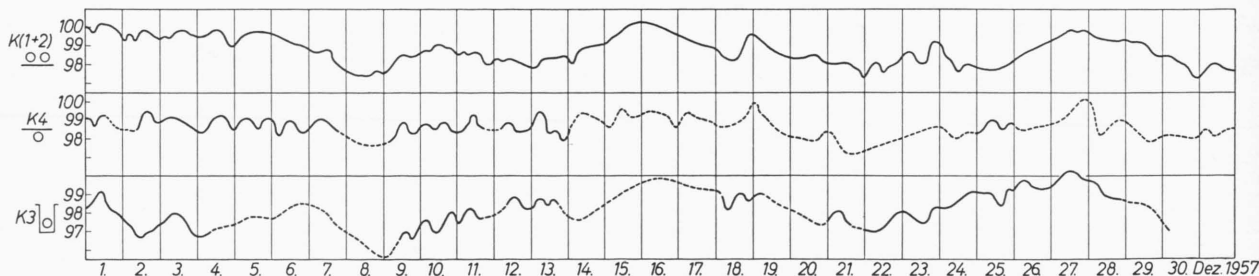


Abb. 5. „Abgerundete“ Darstellung des Strahlungsverlaufes nach den Normblättern. Dezember 1957 mit wenig ausgeprägter täglicher Periode.

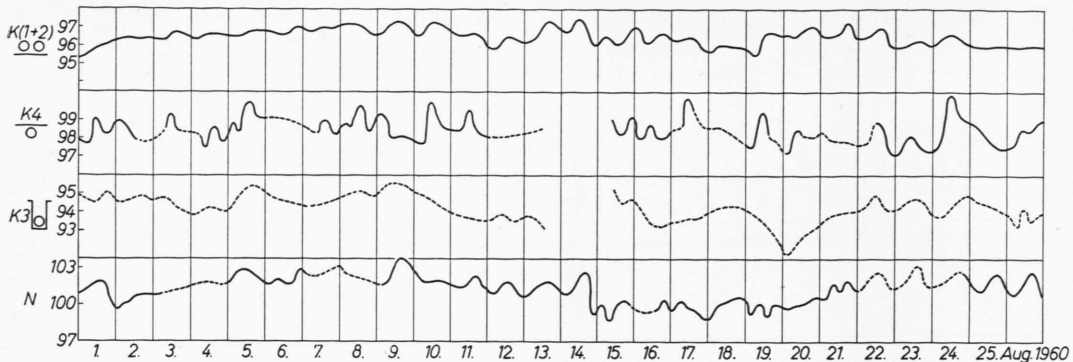


Abb. 6. Strahlungsverlauf im August 1960. Mit Ausnahme von K 3 gut ausgeprägte tägliche Periode.

und 15. 11. charakteristisch. Gerade dieses Ereignis vom November 1960 ist vielbesprochen³¹⁻³⁵. Die Maxima treten im allgemeinen nur in der Neutronenregistrierung auf. In der Ionisationskammer wurde eine solche zusätzliche Einstrahlung bisher nur am 23. 2. 1956 beobachtet³⁶. Die FORBUSH-Abnahme ist ebenfalls an K(1+2) und K 4 zu erkennen. In K 3 ist der Abfall nur flach.

Wie schon erwähnt, erhielten in den so gewonnenen Kurven die einzelnen Tage Zahlenwerte für Am-

plitude und Phase. Das Material wurde auf diese Weise weiteren statistischen Auswertungen zugänglich. Dabei wurde zuerst das gemeinsame Auftreten der T.P. in den drei Anordnungen mit Ionisationskammern untersucht. In den Jahren 1957 bis 1960 besitzt die Hälfte der Tage einen gleichen Gang, d. h. eine T.P. oder ruhiges Verhalten. Bei dem Rest ist in zwei Anordnungen Übereinstimmung. Wenn man bedenkt, daß in K 4 und vor allem in K 3 jahreszeitlich bedingte Schwankungen in der Häufigkeit T.P.

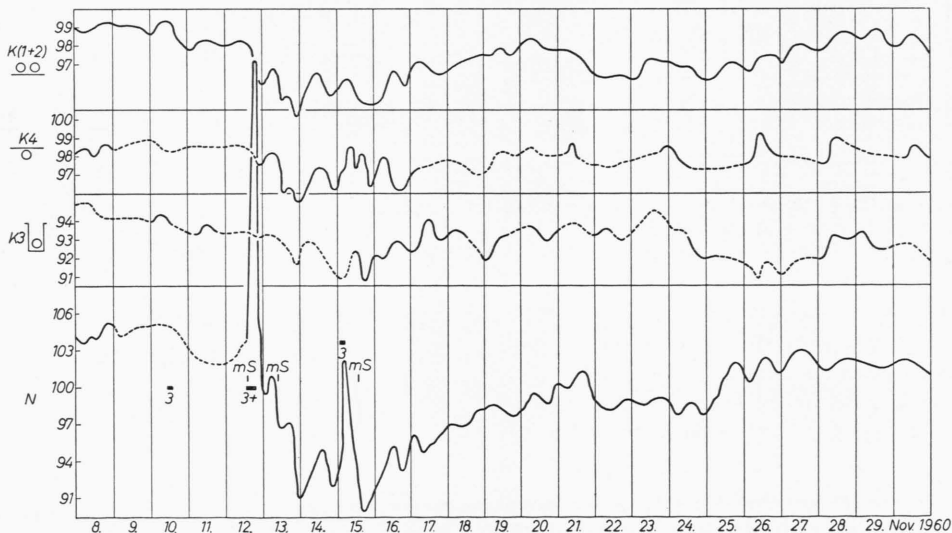


Abb. 7. Strahlungsverlauf im November 1960. Auswirkung eines Forbush-Effektes in den verschiedenen Anordnungen.

³¹ J. F. STELJES, H. CARMICHAEL u. K. G. McCracken, J. Geophys. Res. (USA) **66**, 1363 [1960].

³² J. G. ROEDERER, J. R. MANZANO, O. R. SANTOCHI, N. NERUKAR, O. TRONCOS, R. A. R. PALMEIRA u. G. SCHWACHHEIM, J. Geophys. Res. (USA) **66**, 1603 [1961].

³³ J. A. LOCKWOOD u. M. A. SHEA, J. Geophys. Res. (USA) **66**, 3083 [1961].

³⁴ Nature, Lond. **189**, 438 [1961].

³⁵ M. A. POMERANTZ, S. P. DUGGAL u. K. NAGASHIMA, Phys. Rev., Letters (USA) **6**, 123 [1961].

³⁶ W. MESSERSCHMIDT, Naturwiss. **43**, 174 [1956].

auftreten, so kann durchaus von einem befriedigenden gemeinsamen Gang in der T.P. gesprochen werden. Besonders in K 4 zeigen viele Tage eine besonders große statistische Streuung der Einzelwerte. Es wurde deshalb untersucht, ob hier nicht unter Umständen die T.P. durch die Streuung verdeckt wird. Eine Mittelwertsbildung über je 100 Tage mit kleiner und mit großer Streuung ergab jedoch keine T.P.

5. Phasenstreuung der T.P.

In Abb. 1 fiel das andere Verhalten der Strahlung im Jahre 1961 gegenüber den Vorjahren auf. Bei K(1+2) trat eine Verkleinerung der Amplitude auf etwa die Hälfte und bei K 4 ein vollständiger Ausfall der T.P. auf. Es wurde deshalb die statistische Verteilung der Phase untersucht (Abb. 8). In

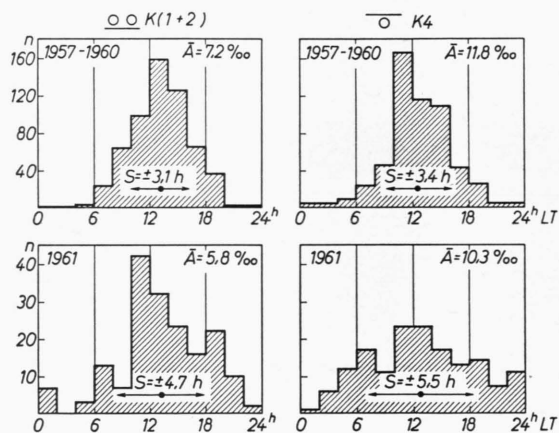


Abb. 8. K(1+2) und K 4, Vergleich der statistischen Streuung der Phasenlage des Maximums der täglichen Periode in den Jahren 1957 bis 1960 mit der Streuung von 1961.

der ersten Gruppe (1957 – 1960) ähnelt die Verteilungskurve der Tageskurve selbst. Insbesondere zeigt K 4 den steilen Anstieg zwischen 10 und 12 Uhr. 1961 ist die statistische Streuung größer geworden. Sie steigt bei K(1+2) von $S = \pm 3,1$ h auf $S = \pm 4,7$ h bei einer Verkleinerung der mittleren Amplitude von $7,2\text{‰}$ auf $5,8\text{‰}$. Die Amplitudenabnahme 1961 erklärt sich also aus zwei Gründen: aus der Amplitudenabnahme und der größeren Phasenstreuung. Besonders stark nimmt die Streuung bei K 4 von $S = \pm 3,4$ h auf $S = \pm 5,5$ h zu. Die mittlere Amplitude fällt von $11,8\text{‰}$ auf $10,3\text{‰}$. Tab. 1 enthält für die Jahre 1957 bis 1960 die zu den einzelnen Zeiten des Maximums gehörenden mittleren Amplituden der T.P. Es ergibt sich keine

Abhängigkeit der Amplitude der T.P. von der Phasenlage.

Zeit des Maximums der T.P.	6h	8h	10h	12h	14h	16h	18h	GMT
Amplitude von K(1+2)	6,8	7,8	7,3	6,6	7,9	7,0	7,7	‰
Amplitude von K 4	10,1	10,7	12,7	10,7	11,8	11,2	12,8	‰

Tab. 1. Mittlere Amplitude und Phasenlage der T.P. 1957 – 1960.

Die erhöhte Streuung der Phase in K 4 gab Veranlassung, gerade an dieser Kammer die Verhältnisse näher zu untersuchen und die T.P. nach einer Phasenkorrektur zu ermitteln. In Abb. 3 war das Verschwinden der T.P. im Dezember und Januar auffällig. In Abb. 9 sind oben die Tagesgänge für Juli – August und Dezember – Januar gezeichnet, wie sie sich aus der üblichen Mittelwertsbildung ergeben. Die Streuung ist in den Sommermonaten mit $S = \pm 2,1$ h klein. Im Winter ist die Kurve flach mit fast doppelter Streuung von $S = \pm 4$ h. Die nun mit Phasenkorrektur durchgeführte Summation liefert auch für die Wintermonate einen Tagesgang, der gegenüber dem Sommer in der Amplitude wohl etwas kleiner und breiter, dennoch aber gut ausge-

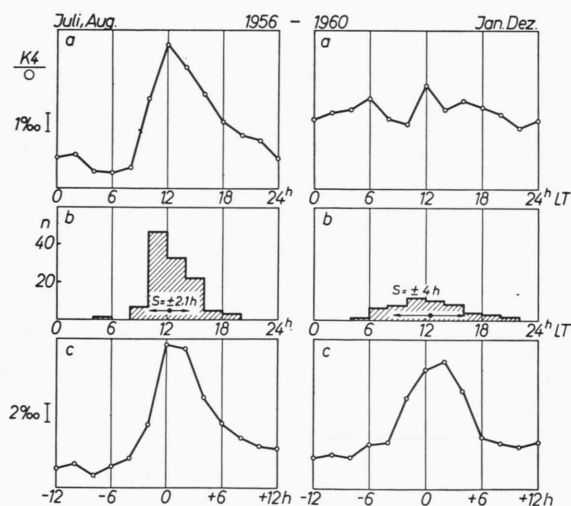


Abb. 9. K 4, Auswirkung der Phasenkorrektur bei der Mittelwertsbildung der täglichen Periode 1958 bis 1960, Zusammenfassung von Juli-August und Dezember-Januar, a Gewöhnliche Mittelwertsbildung, b Statistische Verteilung der Lage der Maxima der T.P. c Mittelwertsbildung nach Phasenkorrektur.

prägt ist. Das Verschwinden der Amplitude im Winter ist also im wesentlichen auf eine erhöhte Phasenstreuung der T.P. zurückzuführen.

Dasselbe Verfahren wurde auch auf die Jahresmittel angewandt (Abb. 10). Der Vergleich von 1957 mit 1961 läßt nach der Phasenkorrektur für 1961 eine T.P. in Erscheinung treten, die nur wenig kleiner als die von 1957 ist. Man beachte dabei auch die unterschiedlichen Maßstäbe bei der einfachen Summation und der phasenkorrigierten.

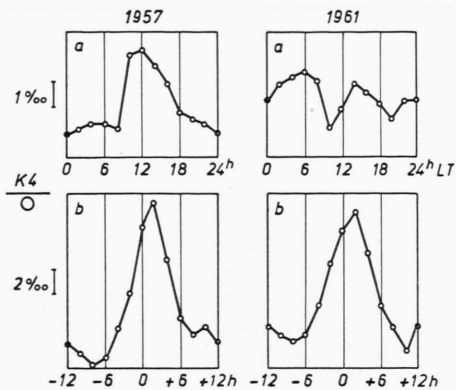


Abb. 10. K 4, Jahresmittel der täglichen Periode. Vergleich von 1957 mit 1961. a Gewöhnliche Mittelwertbildung, b Mittelwertbildung nach Phasenkorrektur.

Es erschien bei K 4 noch eine weitere Aufschlüsselung nach den verschiedenen Tageszeiten zweckmäßig (Abb. 11). Die Zahlen in den Ecken rechts oben geben die zur Mittelwertbildung anfallende Zahl der Tage an. Auch hier ist die Spreizung nach frühen und späten Tagesstunden im Jahre 1961 zu erkennen. Überall ist die T.P. eindeutig vorhanden. Dabei ist vor allem 1961 festzustellen, daß vormittags die mittlere Strahlungsintensität eine fallende und nachmittags eine steigende Tendenz besitzt. Das bedeutet aber: bei fallender Tendenz der Strahlung verschiebt sich die T.P. in die Morgenstunden, bei steigender Tendenz in die Abendstunden.

Die bisherigen Ergebnisse können dahin zusammengefaßt werden, daß bei K (1 + 2) die Phasenstreuung 1961 zugenommen hat. Bei K 4 läßt sich auch in den früheren Jahren das Minimum im Winter als Phasenstreuung deuten. Sie wird 1961 so stark, daß bei der einfachen Mittelwertbildung über das ganze Jahr die T.P. praktisch verschwindet. Vergleicht man die einzelnen Jahre von 1957 bis 1960 nach Phasenkorrektur miteinander, so ergeben sich gut übereinstimmende Kurven der T.P., bei denen die in Abb. 1 noch vorhandenen Abweichungen verschwunden sind.

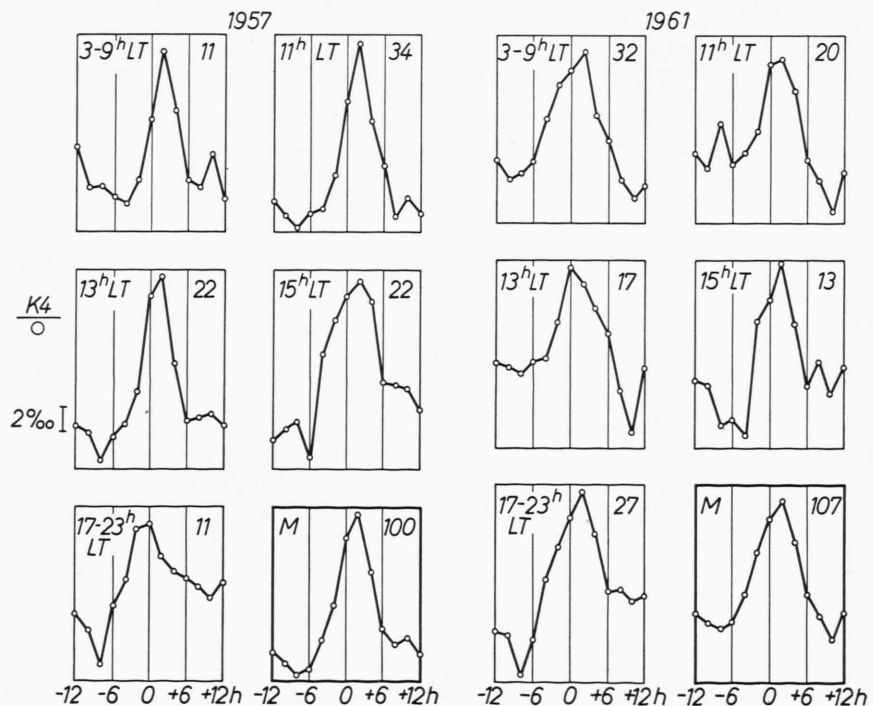


Abb. 11. K 4, Mittelwertbildung der phasenkorrigierten täglichen Periode, Vergleich von 1957 mit 1961. Trennung nach verschiedenen Tageszeiten.

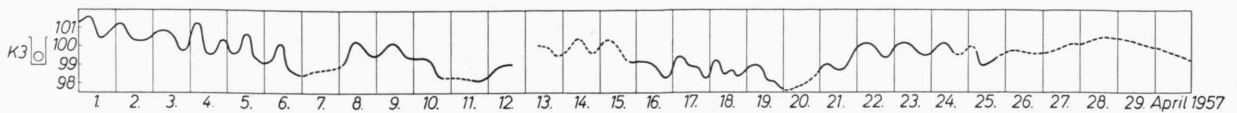


Abb. 12. K 3, Phasenkonstante tägliche Periode mit dem Maximum am Vormittag, April 1957.

In diesem Zusammenhang muß nun das Verhalten von K 3 geprüft werden. Nach den früheren Untersuchungen ließ sich bereits der Jahresgang der T.P. aus der Überlagerung einer sonnenzeitlichen und einer sternzeitlichen Periode deuten. Es zeigt sich, daß gerade bei K 3 in einzelnen Monaten die Phasenstabilität verhältnismäßig gut ist. In dem Beispiel vom April 1962 (Abb. 12) liegt an 14 Tagen das Maximum in den Morgenstunden (1., 2., 3., 4., 10., 15., 17., 18., 19., 21., 22., 23., 24., 25.). Nur an fünf Tagen fällt es auf die Mittagsstunden (am 5., 6., 8., 9. und 14.). Maxima in den Abendstunden kommen überhaupt nicht vor. In Abb. 6 ist bei K 3 im August 1960 nur selten eine T.P. angedeutet, während sie in Abb. 7 im November 1960 wieder in Erscheinung tritt. Im Vergleich zu den anderen Kammern besitzt also K 3 eine größere Phasenstabilität. In den Monaten Juli bis Oktober ist bei der Mittelwertbildung in Abb. 3 die Amplitude der T.P. klein. Es handelt sich hier aber neben der Zunahme der Phasenstreuung um einen Ausfall der T.P. Diese Tatsache geht auch aus dem Vergleich der Phasenverteilung der Monate April und Oktober in Abb. 13 hervor. Die statistische Streuung der Phase steigt von $S = \pm 3,3$ h auf $S = \pm 5,4$ h, während die Anzahl der Tage mit T.P. von 63 auf 43 sinkt. Diese Tatsachen sind für die Frage nach einer Sternzeitperiode von Wichtigkeit. Eine Erklärung für das abweichende Verhalten der Kammer K 3 im Sommer 1961 kann noch nicht gegeben wer-

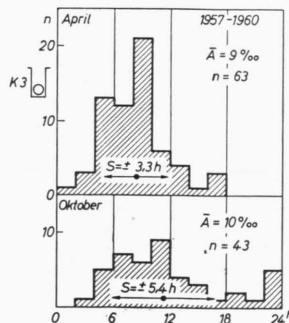


Abb. 13. K 3, Vergleich der statistischen Streuung der Phasenlage des Maximums der täglichen Periode zwischen den Monaten April und Oktober, 1957 bis 1960, vgl. Abb. 3, Spalte 4.

den. Hierzu müssen wenigstens die Messungen von 1962 erst vorliegen. Auf die Probleme der Sternzeitperiode wird später noch eingegangen.

6. Die 27-tägige Periode der T.P.

Wie in der Einleitung gesagt, soll die T.P. ihre Ursache in den Plasmaströmen von der Sonne haben. Leider ist es aber bis heute noch nicht möglich, besondere Ereignisse auf der Sonne anzugeben, die unmittelbar für das Auftreten einer T.P. verantwortlich gemacht werden können. Um ein Bild über die Häufigkeit des Auftretens zu erhalten, wurden Amplituden-Diagramme für K(1+2) (Abb. 14) und

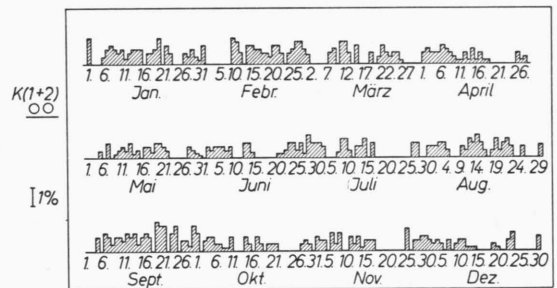


Abb. 14. K(1+2), Beispiel für den Amplitudenverlauf der täglichen Periode während eines Jahres, 1957.

K 4 für die Jahre 1957 bis 1960 gezeichnet. Die T.P. erscheint in Gruppen von einigen Wochen, zwischen denen Pausen von mehreren Tagen liegen. In K 4 unter 14 m Wasseräquivalent sind ähnliche Gruppen vorhanden. Sie decken sich z. Tl. mit denen von K(1+2).

Es liegt hierbei nahe, nach einer 27-tägigen Periode der T.P. zu suchen. In der früheren Arbeit³⁷ war bei einer Mittelwertbildung über die Jahre 1957 und 1958 eine solche mit einer Gegenläufigkeit zur Sonnenfleckenzahl vorhanden. Eine einfache, d. h. starre Mittelwertbildung über die vier Jahre führte aber zu keinem Erfolg. Es wurden deshalb in Abb. 15 die einzelnen Gruppen für die Jahre 1957 bis 1960 schematisch gezeichnet. Es lassen sich hier eindeutig Gruppen in beiden Anordnungen

³⁷ W. MESSERSCHMIDT⁴, Abb. 14.

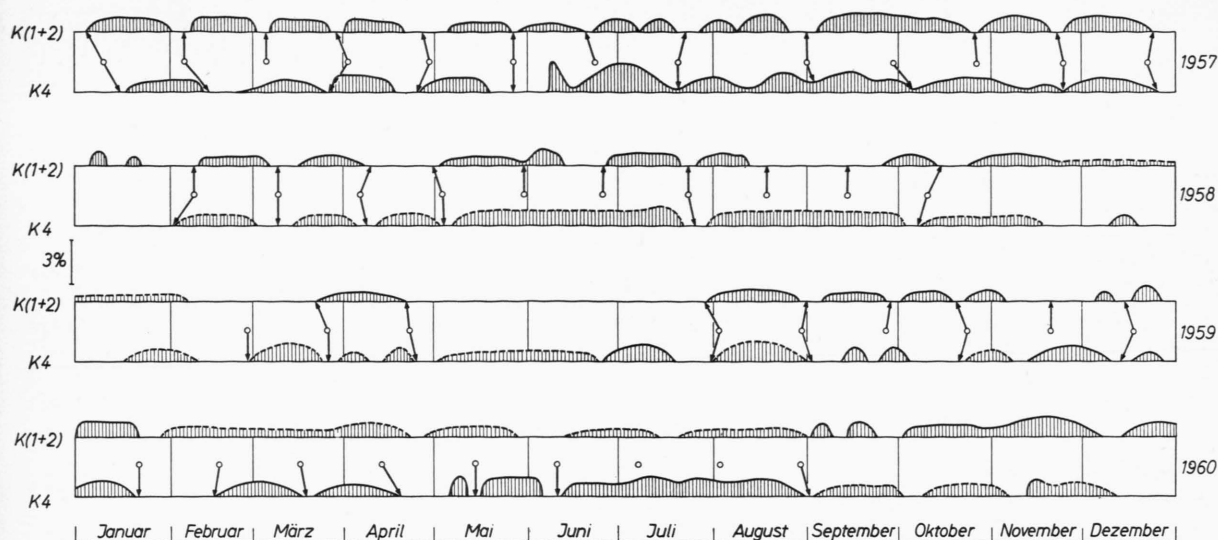


Abb. 15. $K(1+2)$ und K_4 , Ermittlung der 27-tägigen Periode der täglichen Periode durch Zusammenfassung der Tage zu Gruppen, 1957 bis 1960.

einer 27-tägigen Periode zuordnen. Eine Phasenstabilität über große Zeitabschnitte besteht jedoch nicht. Hieraus geht hervor, daß auf der Sonne einzelne Zentren vorhanden sein müssen, die für das Zustandekommen der T.P. verantwortlich sind und die sich über mehrere Sonnenrotationen halten. Es bestehen demnach Phasensprünge, die bei einer einfachen Summation die Schwankungen zum Verschwinden bringen. Es existiert also eine quasi persistente 27-tägige Periode der T.P.

7. Zusammenhang zwischen der täglichen Periode und den erdmagnetischen Störungen

Besondere Aufmerksamkeit wird in einer Reihe von Arbeiten⁹⁻¹⁴ dem Zusammenhang der T.P. mit den erdmagnetischen Störungen geschenkt. Die Überlegungen gehen davon aus, daß eine ursächliche magnetische Wirkung auf die Kosmische Strahlung nicht zu bestehen braucht, daß aber mit dem Beginn der magnetischen Störung das Eintreffen eines Plasmastromes von der Sonne angezeigt wird.

Die Zuordnung erfolgt so, daß entweder die Tagessumme der K_p -Werte oder der Höchstwert des Tages für die Festlegung von Gruppen verwandt werden. Die Ergebnisse der einzelnen Autoren sind voneinander abweichend. Es besteht dabei vielleicht die Möglichkeit einer Breitenabhängigkeit. BARTON und STOCKHAUSEN¹⁰ finden unter $18^\circ N$ mit wachsender magnetischer Aktivität eine Zunahme der Amplitude

von 0,05% auf 0,6% mit einer rückläufigen Lage des Maximums von 17^h auf $7^h 30'$ Ortszeit. BRUNNER und HOUTERMANS¹⁴ kommen auf der Zugspitze bei magn. $48^\circ N$ zu einem ähnlichen Ergebnis. Die Amplitude steigt von 0,3% auf 0,6%. Das Maximum liegt bei den ersten vier Gruppen bei $14^h 30'$, es verschiebt sich bei der aktivsten Gruppe auf $9^h 45'$. Die Messungen in Uppsala bei $60^\circ N$ weichen davon ab. Die Amplitude fällt oder ist schwankend. Die Rückläufigkeit der Zeit des Maximums ist vorhanden. Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß erst in der aktivsten Gruppe ein merklicher Amplitudenanstieg eintritt, während das Rückdrehen der Phase in den meisten Fällen beobachtet wird.

Die Ergebnisse der eigenen Messungen für die Jahre 1957 und 1958 sind in Tab. 2 von den Kamern $K(1+2)$ zusammengestellt.

Es besteht in der Tendenz eine Übereinstimmung mit den meisten Autoren. In den Gruppen II bis IV sind die Unterschiede nur gering. Es zeichnen sich die erste und die fünfte Gruppe ab. Die Amplitude steigt um etwa 50%, die Phase geht um etwa zwei Stunden zurück. Besonders auffallend ist in der letzten Spalte die Zunahme der Häufigkeit der Tage mit T.P. bezogen auf alle Tage der Gruppe. Hier ist mit dem Anwachsen der magnetischen Aktivität fast eine Verdopplung der Tage mit T.P. eingetreten. Ein Anstieg der Häufigkeit und der Amplitude der T.P. tritt also im wesentlichen bei starken magnetischen Störungen auf.

Gruppe	Index-Werte	mittlere Amplitude		Lage des Maximums	Tage mit TP Gesamtzahl
		alle Tage	nur Tage mit TP		
I	$0 \leq K \leq 1^+$	4,9 ‰	6,5 ‰	14 ^h 20'	33 ‰
II	$1^+ \leq K \leq 3^+$	5,2 ‰	7,5 ‰	13 ^h	41 ‰
III	$3^+ \leq K \leq 5^+$	5,0 ‰	7,4 ‰	13 ^h	40 ‰
IV	$5^+ \leq K \leq 7^+$	6,3 ‰	7,5 ‰	13 ^h	48 ‰
V	$7^+ \leq K \leq 9^+$	7,6 ‰	9,6 ‰	12 ^h 25'	61 ‰

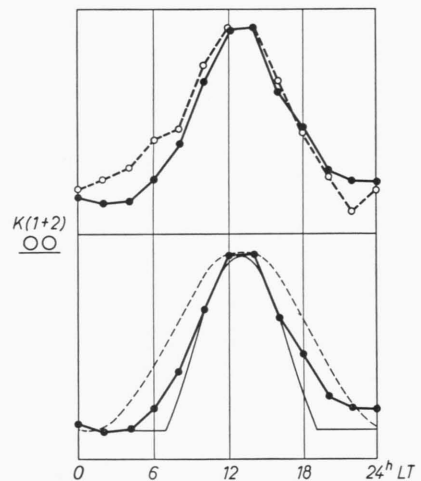
Tab. 2. Tägliche Periode und Kp-Werte.

In diesem Zusammenhang soll auch für $K(1+2)$ das Verhalten der T.P. bei FORBUSH-Effekten untersucht werden. Die Strahlung zeigt einige Tage vor dem FE eine leicht fallende und nach der Abnahme während der Erholung eine steigende Tendenz. Die Auswertung für die Jahre 1957 bis 1959 ergab in beiden Zeitabschnitten keine Unterschiede in der mittleren Amplitude und der Phase. Die Häufigkeit der Tage mit T.P. beträgt vor dem FE 31%, danach 45%, d. h. sie steigt auf das 1,5-fache an. Nach der Arbeit von CATTANI, GALLI und RANDI⁸ sollen die FE immer mit einer Serie von Tagen mit T.P. verbunden sein. Umgekehrt soll oft eine Folge von Tagen mit T.P. auf einen FE schließen lassen. Es handelt sich ohne Zweifel um zwei getrennte Effekte, die sich überlagern, nämlich um die weltweite FORBUSH-Abnahme als Modulation der galaktischen Strahlung und um die T.P. als solaren Anteil.

8. Der Verlauf der T.P.

Es soll nun versucht werden, Aussagen über die Kurvenform der T.P. bei $K(1+2)$ zu machen. Man kommt ihr sicher am nächsten, wenn zu einer Analyse das phasenkorrigierte Mittel herangezogen wird. Bei einer einfachen Mittelwertbildung kann die Kurvenform sich durch Phasenstreuung verbreitern. Beide Kurven für die Kammern $K(1+2)$ enthält Abb. 16 oben. Die phasenkorrigierte Kurve ist etwas schlanker. Sie wird nun mit einer Sinuswelle und einer Absorptionskurve verglichen. Die Absorptionskurve wurde in folgender Weise bestimmt: Es wird angenommen, daß die die T.P. verursachende Strahlung gerichtet einfällt. Der Tageszeit entsprechend sind die Wege in der Atmosphäre verschieden lang. Da die Absorption nur in den unteren 30 km stattfindet, kann diese Schicht als eben angesehen

werden. Die nach dem Durchdringen der verschiedenen Schichtdicken vorhandenen Intensitäten werden in der Erde gemessenen Absorptionskurven entnommen³⁸. Die so erhaltene Kurve für den Tagesgang stimmt mit der gemessenen wesentlich besser überein als eine Sinuswelle. Die Unsymmetrie der gemessenen Kurve läßt sich durch die magnetische Ablenkung der energieärmeren Anteile erklären.

Abb. 16. $K(1+2)$, Deutung der phasenkorrigierten täglichen Periode als Absorptionskurve. 1957.

○—○—○ Gewöhnliches Jahresmittel
●—●—● Phasenkorrigiertes Jahresmittel
— Tägliche Periode als Absorptionskurve
- - - Sinuswelle

Dieser langsame Abfall kommt noch stärker in $K4$ in den Jahren 1957 bis 1960 zum Ausdruck (Abb. 1). Bei dem steilen Anstieg handelt es sich um eine *cut-off*-Erscheinung. Die Strahlung steigt innerhalb einer Stunde auf den Maximalwert an, was besonders bei einer Darstellung der Stundenwerte zum Ausdruck kommt³⁹.

³⁸ J. G. WILSON, Progress in Cosmic Ray Physics, North Holland Publ. Comp., Amsterdam 1952, S. 393, Kap. VII.

³⁹ W. MESSERSCHMIDT⁴, Abb. 12.

9. Weltweiter Charakter der T.P.

Der weltweite Charakter der T.P. kann an Einzelmessungen zahlreicher Stationen nachgewiesen werden. Hierfür ist das Material der Neutronenregistrierungen des I.G.Y. geeignet³⁰. Es soll ein besonders interessanter Fall, der eine Ausnahme darstellt, behandelt werden (Abb. 17). Am 23. 9. 1957 erfolgte eine starke FORBUSH-Abnahme. An den vorhergehenden Tagen war die T.P. überall gut ausgeprägt. Von 18 Stationen wurden die Maxima der T.P. nach Weltzeit und geographischer Länge aufgetragen. Am 20. 9. verlagert sich das Maximum eindeutig nach Ortszeit,

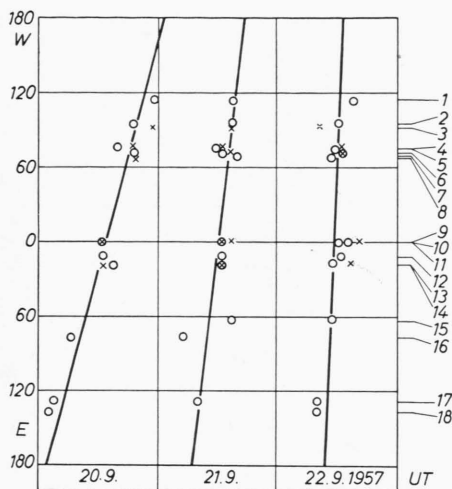


Abb. 17. Weltweiter Charakter der täglichen Periode nach dem Material des IGY. 20. bis 22. 9. 1957. Neutronen: Verlagerung des Maximums der täglichen Periode von Ortszeit auf Weltzeit.

Stationsnamen:

1 Sulphur Mount	10 Herstmonceux
2 Churchill	11 Leeds
3 Resolute Bay	12 Zugspitze
4 Huancayo	13 Uppsala
5 Ottawa	14 Murchison Bay
6 Mt. Washington	15 Mawson
7 Deep River	16 Alma Ata
8 Thule	17 Yakutsk
9 Pic du Midi	18 Mt. Norikura

d. h. es besteht eine definierte gerichtete Quelle. Vom 21. zum 22. verschiebt es sich immer mehr nach Weltzeit (UT). Am 22. beträgt der Zeitunterschied nur noch etwa $3\frac{1}{2}$ Stunden, d. h. die Strahlung muß

praktisch ungerichtet und pulsierend von allen Seiten einfallen.

II. Die Sternzeit-Periode

Eine Sternzeitperiode wurde bisher in den großen Luftschauern nachgewiesen⁴⁰⁻⁴². Eine Schwankung nach Sternzeit kann durch die ungleiche Verteilung der Quellen in der Galaxis hervorgerufen werden. Wegen der geringen Richtwirkung der Registriergeräte der Kosmischen Strahlung und der magnetischen Dispersion ist nur ein breites Maximum mit der Kulmination der Milchstraße zu erwarten. Das bedeutet, daß die Sternzeitperiode breitenabhängig ist. Ihr Nachweis bereitet insofern Schwierigkeiten, weil ein Einfluß der T.P. möglich ist. Verfasser wies schon 1932 darauf hin⁴³, daß bei einer jahreszeitlichen Veränderung der Amplitude der T.P. eine sternzeitliche Schwankung vorgetäuscht werden kann. Kürzlich hat JACKLYN⁴⁴ alle Möglichkeiten der Einflüsse der Variation von Phase und Amplitude einer sonnenzeitlichen und einer sternzeitlichen Periode auf die Analyse der Sternzeitperiode ausführlich diskutiert. Es muß nun die Frage gestellt werden, welche Kriterien für eine Sternzeitperiode sprechen. Sie wird allgemein so gewonnen, daß die Registrierungen halbmonatlich nach Sonnenzeit summiert und dann jeweils um eine Stunde laufend gegeneinander verschoben werden (die Berechnungen des Verfassers werden hierfür mit Stundenwerten durchgeführt).

Liegen in der T.P. konstante Verhältnisse in Amplitude und Phase vor, so wird sich die T.P. herausmitteln. Eine Kontrolle ist die entgegengesetzte Verschiebung, die Antisternzeit. Die so entstandene Periode muß in ihrer Amplitude wesentlich kleiner als die Sternzeitperiode selbst sein. Eine weitere Prüfung liefert die harmonische Analyse, mit der die 1. Harmonischen der Monatsmittel im Zeigerdiagramm dargestellt werden. Beim Vorhandensein einer Sternzeitperiode müssen die Zeiger der einzelnen Monate entgegen dem Uhrzeigersinn laufen⁴⁵, solange die Amplitude der T.P. nicht wesentlich größer als die der Sternzeitperiode ist. Der jeweils für einen Monat resultierende Vektor ist die Summe

⁴⁰ A. M. CONFORTE u. J. A. SIMPSON, *Nuovo Cim.* **6**, 1052 [1957].

⁴¹ I. ESCOBAR V., N. NERUKAR u. R. WEIL, *Planet Space Sci.* (G.B.) **1**, 155 [1959].

⁴² A. N. SURI u. B. N. SRIVASTAVA, *J. Sci. Industr. Res., India* **B 20**, 348 [1961].

⁴³ W. MESSERSCHMIDT, *Z. Phys.* **78**, 682 [1932].

⁴⁴ R. M. JACKLYN, *Nuovo Cim.* **24**, 1034 [1962].

⁴⁵ J. G. WILSON³⁸, S. 485.

aus dem Vektor der T.P. und dem der Sternzeitperiode. Sicher kann dabei angenommen werden, daß Amplitude und Phase der Sternzeitperiode konstant sind, weil immer die gleichen Himmelsgebiete

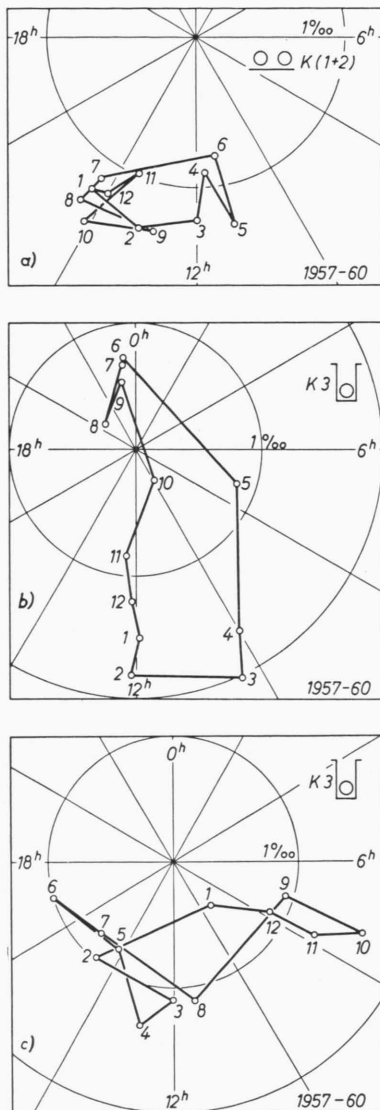


Abb. 18. Zeigerdarstellung der Monatsmittel der täglichen Periode 1957 bis 1960, a) K(1+2), b) K 3, c) K 3 nach Abzug der Sternzeitperiode.

kulminieren. Der resultierende Vektor beschreibt dann bei konstanter Amplitude und Phase der T.P. einen Kreis, sonst eine Ellipse. Ein Kreis war bei K 3 bei der ersten Bearbeitung des Materials bis zum 30. 4. 1959 aufgetreten. Gerade K 3, die Kam-

mer im offenen Schacht, scheint für die Ermittlung der Sternzeitperiode infolge der Ausblendung durch den Schacht günstig zu sein. Das gegenüber der ersten Veröffentlichung erweiterte Material in der letzten Spalte der Abb. 3 zeigt noch den gleichen Verlauf, den einer Schwebung. Die harmonische Analyse ist in Abb. 18 b wiedergegeben. Der gefundene Verlauf kann durch eine Ellipse angenähert werden. Auch die Sternzeitperiode selbst hat sich im Vergleich mit den früheren Messungen nicht verändert. Das Maximum liegt zwischen 21 und 24 Uhr örtlicher Sternzeit und fällt mit der Kulmination der Milchstraße zusammen.

Weiter ist in Abb. 18 a das Zeigerdiagramm der Kammern K(1+2) wiedergegeben. Auch hier zeigt sich jetzt eine Schleife, die sich mit denselben Monaten wie K 3 entgegen dem Uhrzeigersinn bewegt. Es ist also auch hier eine sternzeitliche Periode angedeutet. Sie äußert sich in Abb. 3 in dem Pendeln des Maximums von K(1+2) im Verlauf des Jahres.

Durch diese Messungen dürfte die Existenz einer Sternzeitperiode weiter gestützt sein.

III. Zusammenfassung

Es wird gezeigt, daß zur Gewinnung der T.P. eine einfache Mittelwertbildung nicht ausreicht. Tritt über größere Zeitabschnitte eine ausgeprägte T.P. auf, dann ist eine gewisse Phasenstabilität vorhanden. Ein Verschwinden der T.P. kann sowohl durch eine Abnahme der Amplitude als auch durch eine Phasenstreuung hervorgerufen werden.

Der Verlauf der T.P. war in den Jahren 1956 bis 1960 sehr ähnlich. Im Jahre 1961 traten Veränderungen auf, die sicherlich durch die Abnahme der Sonnentätigkeit zu erklären sind.

Eine quasi persistente 27-tägige Periode der T.P. ist in einzelnen Abschnitten über mehrere Sonnenrotationen nachweisbar. — An magnetisch stark gestörten Tagen nimmt die Amplitude der T.P. zu. — Der Verlauf der T.P. wird als Absorptionskurve gedeutet. — Die T.P. besitzt weltweiten Charakter. — Die Existenz einer Sternzeitperiode wurde weiter gestützt.

Der Verfasser dankt allen seinen Mitarbeitern für die umfangreichen Arbeiten bei der Auswertung des Materials und für die Aufrechterhaltung eines störungsfreien Betriebes der Anlagen.