

und es „bleibt“ allein das starke BERGMANNSCHE Moment

$$C_{,k}^k = 0. \quad (25)$$

Die „äußere“ Kraft  $\mathcal{L}_{,k}$  tritt in der Gl. (24) des metrischen Tensors und nicht in der Gl. (25) des Pseudotensors auf! Für den metrischen Tensor ist das System nicht abgeschlossen, wohl aber für die Momente. *Auch jetzt* gilt für die Momente und deswegen auch für die Pseudotensoren die Erhaltung

$$\Theta_{,k}^k = 0. \quad (26)$$

Wir haben aber angenommen, daß unser System nicht abgeschlossen ist. (Wie erwähnt, läßt sich das an der Gl. (24) sehen, die den Pseudoerhaltungssatz für den metrischen Energietensor darstellt, wenn die Bewegungsgleichungen erfüllt sind<sup>8</sup>. Genauer gesagt: in unserem Falle drückt die Gl. (24) eben die Nichterhaltung des metrischen Tensors aus.) Jedoch gilt für  $\Theta_i^k$  und deswegen bei der Erfüllung der Bewegungsgleichungen auch für  $\vartheta_i^k$  eine Erhaltung. Darin besteht die Erhaltungsanomalie der kanonischen Pseudotensoren der Energie.

Das ist ihre zweite unerwünschte Eigenschaft all-

gemeiner Natur, die wir erwähnen wollten. Sie spricht auch gegen die Interpretation der Pseudotensoren als Vertreter der Energie.

Beide schlechten Eigenschaften treten bei dem metrischen Energietensor nicht auf. Deswegen scheint es, daß nur  $T_i^k$  der richtige Vertreter der Energie in allgemein kovarianten Theorien sein kann.

#### 4. Die schlechteste Folgerung

Die erörterten schlechten Eigenschaften gelten auch im Falle der MINKOWSKISCHEN METRIK, wenn man krummlinige Koordinaten benutzt. Also können die „krummlinigen“ kanonischen Pseudotensoren  $\Theta_i^k$  oder  $\vartheta_i^k$  nicht in eine direkte Beziehung mit der Energie gebracht werden.

Der Vertreter der Energie in krummlinigen Geometrien scheint nur der metrische Tensor zu sein. Eine Ausnahme bilden jene Fälle, in denen der kanonische Tensor gute Transformationseigenschaften besitzt und durch die Symmetrisierung in den metrischen überführbar ist.

<sup>8</sup> F. KLEIN, Nachrichten, Göttingen 1917, S. 469, Gl. (14'). — G. KNAPECZ, Ann. Phys., Lpz., im Druck.

## Ergebnisse von Dauerregistrierungen der Kosmischen Strahlung mit Ionisationskammern in Halle ( $\varphi = 51,5^\circ \text{N}$ , $\lambda = 12^\circ \text{E}$ )

Von W. MESSERSCHMIDT \*

Aus dem Institut für Experimentelle Physik der Universität Halle (Saale)  
(Z. Naturforsch. 15a, 470—484 [1960]; eingegangen am 1. Februar 1960)

In Halle werden seit dem 1. 4. 1956 mit 4 Ionisationskammern (Abschirmung 140 g/cm<sup>2</sup>) Dauerregistrierungen der Kosmischen Strahlung durchgeführt. 2 Kammern stehen über der Erde, eine dritte ist in einem offenen Schacht und die vierte unter 14 m Wasseräquivalent aufgestellt. Es werden die verschiedenen Schwankungsgrößen in Abhängigkeit von der Aufstellung der Kammern untersucht. Der Barometereffekt, die FORBUSH-Effekte, die jährliche Periode und die 27-tägige Periode nehmen mit der Tiefe ab. Die tägliche Periode ist unter der Erde prozentual größer als über der Erde. Mit der Kammer im offenen Schacht konnte eine sternzeitliche Periode nachgewiesen werden.

### I. Beschreibung der Anlage

Die Anlage besteht aus vier untereinander gleichen Ionisationskammern mit radioaktiver Kompensation. Eine ausführliche Beschreibung dieser Kammern ist bereits veröffentlicht<sup>1</sup>. Die Daten sind: Meßvolumen 21 l, Füllung N<sub>2</sub> mit 22 atm, Abschirmung 140 g/cm<sup>2</sup>, Kompensation mit  $\gamma$ -Strahlung in getrennter 0,2 l-Kammer. Die örtliche Lage ist  $h = 100$  m über N.N.,  $\varphi = 51^\circ 29' \text{N}$ ,  $\lambda = 11^\circ 58' \text{E}$  geographisch und  $\varphi = 51,5^\circ \text{N}$ ,  $\lambda = 97^\circ \text{E}$  geomagnetisch.

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

<sup>1</sup> W. MESSERSCHMIDT, Exp. Techn. Phys. 6, 145 [1958].

Abb. 1 gibt eine Übersicht über die Aufstellung der Kammern. Die Kammern 1 und 2 [im Text K(1+2)] stehen im Dachgeschoß des Physikalischen Institutes in einem Abstand von 3 m. Sie registrieren die Strahlung in der üblichen Weise. Ihre Ergebnisse werden bei der Auswertung zusammengefaßt. Die Kammer K 3 steht in einem 10 m tiefen und 3 m weiten Schacht, der im Zenit einen Kegel mit einem Öffnungswinkel von etwa 17° ausblendet. Der Bau des Schachtes erfolgte vor allem zur Untersuchung der sonnenzeitlichen und sternzeitlichen Periode. Die Kammer K 4 befindet sich in einem seitlichen Stollen unter einer mittleren Erdschicht von 7 m, entsprechend 14 m Wasseräquivalent. Die Ionisationsströme werden um einige Prozent überkompensiert,



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

damit bei besonderen Ereignissen mit großer Strahlungsintensität die Elektrometerfäden nicht zu schnell aus dem Gesichtsfeld herauslaufen.

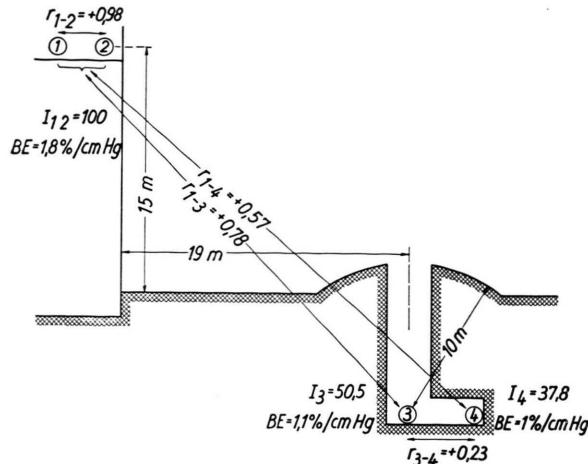


Abb. 1. Schema der Aufstellung der einzelnen Ionisationskammern.

Bei den Anlagen wird eine Konstanz von einigen Promille über große Zeitabschnitte angestrebt. Die hierzu notwendigen Maßnahmen sind in der o. a. Arbeit<sup>1</sup> beschrieben. Die statistische Streuung der Stundenwerte beträgt bei den Kammern 1 und 2  $\pm 0,4\%$  und bei den Kammern 3 und 4  $\pm 0,5\%$ . Die für die Geophysikalische Kooperation zusammengefaßten Zweistandswerte von K(1+2) haben eine Streuung von  $\pm 0,2\%$ .

Für den Intensitätsvergleich der Kammern untereinander muß der Reststrom in Abzug gebracht werden. Da die Restionisation in Stickstoff oberhalb von etwa 10 atm konstant ist<sup>2, 3</sup>, kann sie durch Strommessungen bei verschiedenen Drucken und Panzern bzw. Aufstellungen bestimmt werden. Die sich nach Abzug des Reststromes ergebenden Werte für K(1+2) und K4 fügen sich gut in die Absorptionskurve der Kosmischen Strahlung für insgesamt 10 m und 24 m Wasseräquivalent ein.

Wird der Strom der Kammern über der Erde als Ausgangswert = 100 gesetzt, so ergibt sich für die verschiedenen Kammern

$$\begin{array}{lll} \text{Mittelwert von} & \text{K}(1+2) : & I_{12} = 100, \\ & \text{K}3 & I_3 = 50,5, \\ \text{und} & \text{K}4 & I_4 = 37,8. \end{array}$$

Da die einzelnen Einflüsse auf die Strahlung verschiedenen großen Schwankungen hervorrufen, ist ein vollständiger Gleichlauf zwischen den Kammern nicht zu erwarten. Ein Maß für die Größe des Gleichlaufes ist der Korrelationskoeffizient. Er wurde aus den täglichen Mittelwerten eines Jahres bestimmt und beträgt zwischen

den einzelnen Kammern

$$\begin{array}{ll} r_{1-2} = +0,98, & r_{1-4} = +0,57 \\ r_{1-3} = +0,78, & r_{3-4} = +0,23. \end{array}$$

Die Registrierungen laufen ohne Unterbrechung seit dem 1. 4. 1956. Zur besonderen Kennzeichnung der einzelnen Kammern sind in den Diagrammen entsprechende Symbole eingezeichnet. Sie bedeuten

	K(1+2), die 2 Kammern über dem Erdboden,
	K3, die Kammer im Schacht und
	K4, die Kammer unter 7 m Erde = 14 m Wasseräquivalent.

Die Schwankungsgrößen sind in den Diagrammen meist in %, bezogen auf den jeweiligen Mittelwert, angegeben.

Zwischen K(1+2) ist schließlich noch eine Kammer K5 zur Registrierung der weichen Strahlungsanteile aufgestellt. Diese Anlage ist nicht kompensiert, also unempfindlich für eventuelle große Strahlungseinbrüche.

Die Werte sind: Meßvolumen etwa 7,5 l, Füllung N<sub>2</sub> mit 22 atm, Abschirmung seitlich 80 g/cm<sup>2</sup> und von oben 34 g/cm<sup>2</sup>.

Die Aufgabe der vorliegenden Arbeit ist es, die verschiedenen Schwankungsgrößen zu bestimmen und dabei das Verhalten der einzelnen Kammern miteinander zu vergleichen. Die Festlegung des Stromwertes für K(1+2) erfolgte im Jahre 1957 im Angleich an die Messungen von EHMERT in Weißenau. Die Schwankungen der Strahlung betragen etwa das 0,6-fache von denen der Zählrohr-Standardteleskope.

## II. Nichtperiodische Schwankungen

### 1. Der Einfluß der Atmosphäre<sup>4</sup>

Die Strahlung besteht im Meeressniveau im wesentlichen aus  $\mu$ -Mesonen, die in einer Höhe von etwa 16 km bei einem dort herrschenden Druck von 100 mb entstehen. Die über der Anlage liegende Luftmasse wirkt als Absorber. Die Luftdruckschwankungen rufen daher gegenläufige Änderungen der Strahlungsintensität hervor. Da die durch die Lebensdauer bedingte Reichweite der  $\mu$ -Mesonen etwa von gleicher Größe wie die Erzeugungshöhe ist, macht sich zusätzlich der Aufbau der hohen Atmosphäre in der gemessenen Strahlungsintensität bemerkbar. Zur Korrektur der Meßwerte sind deshalb die Regressionskoeffizienten  $\beta_1$  für den Luftdruck  $B$  und

<sup>2</sup> W. MESSERSCHMIDT, Z. Phys. **103**, 18 [1936].

<sup>3</sup> E. MIEHLNICKEL, Höhenstrahlung, Wiss. Forschungsber. Bd. 44, Dresden und Leipzig, 1938, S. 80 ff.

<sup>4</sup> I. G. WILSON, Progress in Cosmic Ray Physics, Amsterdam 1952, S. 456 ff.

	K (1 + 2)	K 4	K 5
$r_{BI}$	- 0,72	- 0,41	- 0,86
$r_{HI}$	- 0,70	+ 0,01	- 0,60
$r_{BH}$	+ 0,37	+ 0,37	+ 0,41
$\beta_B$	- 1,8%	- 0,9%	- 2,7% / cm Hg
$\beta_H$	- 4%	+ 0,06%	- 6,2% / km <sub>200 mb</sub>
$\beta_1$	- 1,3%	- 1,00%	- 2,3% / cm Hg
$\beta_2$	- 3,5%	+ 1,1%	- 3,0% / km <sub>200 mb</sub>
Material	3 Jahre	3 Jahre	1 Jahr

Tab. 1.

$\beta_2$  für die Höhe  $H$  zu ermitteln. Die Abnahme der Strahlungsintensität ist dann

$$dI = \beta_1 dB + \beta_2 dH.$$

In kleineren Zeitabschnitten von etwa einem Monat besteht zwischen  $B$  und  $H$  ein befriedigender Gleichlauf. Im Laufe eines Jahres wird sich  $H$  im Sommer durch die Erwärmung anheben und im Winter wieder absenken. Wenn also die Korrekturgrößen einzeln bestimmt werden nach

$$dI = \beta_B dB \quad \text{und} \quad dI = \beta_H dH,$$

so fallen die Werte von  $\beta_B$  und  $\beta_H$  zu groß aus, weil in beiden Anteile von  $B$  und  $H$  enthalten sind. Werden die Werte nur mit  $\beta_B$  korrigiert, so bleibt ein durch  $H$  bedingter Jahresgang (Abb. 7) bestehen, aus dem dann  $\beta_H$  bestimmt werden kann. Die Werte für  $\beta_1$  und  $\beta_2$  lassen sich nur mit einer Dreifach-Korrelationsrechnung ermitteln. Es ist bisher jedoch üblich, nur mit  $\beta_B$  zu korrigieren. Ein Korrekturverfahren wurde von L. DORMAN, Moskau, in einer Mitteilung an die Mitglieder der „Geophysikalischen Kooperation“ vorgeschlagen. Über die allgemeine Durchführung konnte aber auf der IUPAP-Tagung in Moskau im Juli 1959 keine Einigung erzielt werden.

Bei der Registrierung von Neutronen liegt nur eine Absorption, also nur der Barometereffekt vor, weil die Neutronen durch Primärteilchen und  $\pi$ -Mesonen erst in der Apparatur erzeugt werden. Der Barometereffekt für die Neutronen ist wesentlich größer und nicht mehr linear, so daß er durch die Beziehung

$$dI = e^{-\beta B} - 1$$

wiedergegeben wird. EHMERT<sup>5</sup> führt z. B. die Korrektur der Werte der Zählrohrteleskope mit den Höhen von drei verschiedenen Millibarschichten (50 mb,

<sup>5</sup> A. EHMERT, im Erscheinen.

\* Durchgeführt von J. LESCHHORN.

300 mb und 850 mb) durch und erreicht damit eine gute Übereinstimmung mit den Neutronenwerten.

Für die Korrektur der vorliegenden Messungen werden die mittleren Barometereffekte aus den Jahren 1957 und 1958 verwandt. Die  $\beta_B$ -Werte sind für

K (1 + 2)	- 1,8% / cm Hg,
K 3	- 1,1% / cm Hg,
K 4	- 1,0% / cm Hg.

Die Werte werden für jeden Monat bestimmt und dann gemittelt. Es treten dabei zum Teil erhebliche Schwankungen auf (Abb. 2), wobei zwischen den

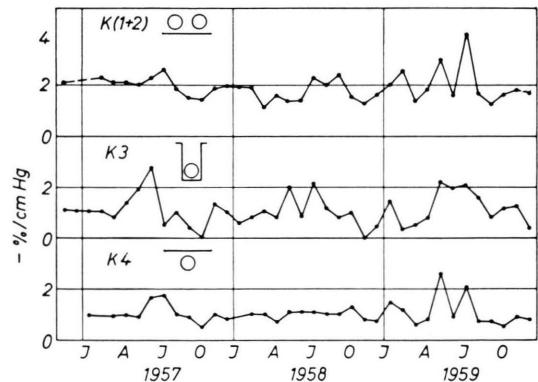


Abb. 2. Monatsmittel der Barometereffekte von 1957 bis 1959.

einzelnen Kammern, vor allem bei den hohen Werten von 1959, ein gewisser Gleichlauf besteht. Die atmosphärischen Einflüsse auf die Strahlung bedürfen noch einer gründlichen Untersuchung, die später durchgeführt werden soll. Die bisherigen Rechnungen \* mit Dreifachkorrelation werden als vorläufige Ergebnisse mitgeteilt. Es wurden die Tagesmittelwerte der Strahlung  $I$ , des Luftdrucks  $B$  und der Höhe  $H$  der 200 mb-Schicht der Jahre 1957–1959 benutzt. Für die Rechnung mußte die 200 mb-Schicht herangezogen werden, weil das zur Verfügung stehende Material für die 100 mb-Schicht zu lückenhaft

ist. Tab. 1 enthält die Korrelationskoeffizienten und  $\beta$ -Werte für die verschiedenen Kammern.

Bei den Ergebnissen ist zu beachten, daß für K 4 unter der Erde die Korrelation zwischen  $H$  und  $I$  und der sich daraus ergebende  $\beta_H$ -Wert fast Null sind, d. h. daß sich  $H$  kaum bemerkbar macht.

Nach der Reduktion der Werte auf einen Barometerstand von 760 mm Hg sollen die bei den einzelnen Kammern bleibenden Schwankungen miteinander verglichen werden. Im allgemeinen besteht hier ein mehr oder weniger guter Gleichlauf. Abb. 3 zeigt einen Zeitabschnitt aus dem Jahre 1957 mit einem guten parallelen Gang, der aber nicht immer zu finden ist. Die größten Abweichungen besitzt K 3.

## 2. Einfluß der magnetischen Stürme

In Verbindung mit magnetischen Stürmen treten auf der Erde weltweite Schwankungen, sogenannte FORBUSH-Effekte auf<sup>6</sup>. Die Strahlungsintensität fällt

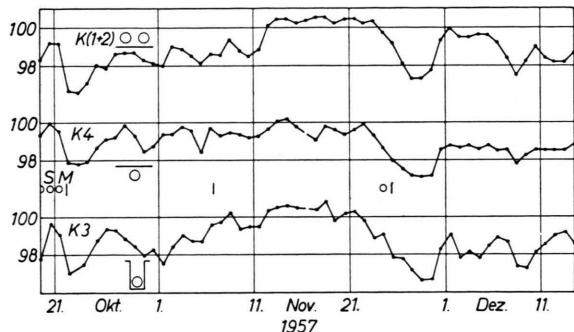


Abb. 3. Tagesmittel der einzelnen Kammern mit gutem Gleichlauf. 19. 10. bis 14. 12. 1957.

mit dem Beginn der magnetischen Störung in den darauffolgenden Stunden um einige Prozent ab, um sich dann über Tage zu erholen. Diesen Erscheinungen gehen auf der Sonne Eruptionen der Größe 3 oder 3+ voraus. Nach der heutigen Auffassung ruft der durch die Eruption von der Sonne ausgestoßene Teilchenstrom eine Erhöhung des positiven Potentials in der Umgebung der Erde um etwa 1 GV hervor<sup>7,8</sup>, wodurch die Verminderung der Strahlungsintensität auf der Erde bedingt ist. Der in der Äquatorebene entstehende Ringstrom<sup>9</sup> kann nicht zur Deutung herangezogen werden, weil der Strahlungsabfall auf der ganzen Erde eintritt. Ein magnetischer

Einfluß müßte am Äquator am stärksten sein und dürfte oberhalb des Knees der Breitenabhängigkeit nicht mehr auftreten.

Zwei Fälle waren bemerkenswert, bei denen mehrere Eruptionen der Größe 3 bzw. 3+ verbunden mit magnetischen Störungen in Abständen von wenigen Tagen aufeinander folgten. Vom 29. zum 30. 8. 1957 sank die Strahlung in K(1+2) nach einem magnetischen Sturm um etwa 2%. Die folgenden Eruptionen und magnetischen Stürme haben nur ge-

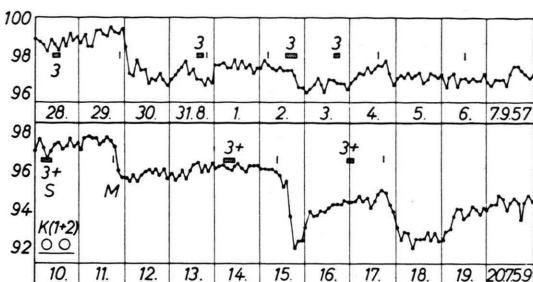


Abb. 4. K(1+2) Zweistunden-Werte der Kosmischen Strahlung von mehreren aufeinanderfolgenden magnetischen Stürmen. S Zeit der Sonneneruption; M Einsetzen des magnetischen Sturmes (ssc). 28. 8. bis 7. 9. 1957 und 10. bis 20. 7. 1959.

ringen Einfluß. Bis zum 7. 9. ist die Strahlung immer noch auf dem gleichen Wert. Es entsteht der Eindruck, als ob nur die erste Störung einen Einfluß ausübt und bereits eine Sättigung erzielt hat, während die folgenden magnetischen Stürme nur den Anstieg verzögern. Am 13. 9. tritt ein weiterer Sturm auf, dem keine Sonneneruption von entsprechender Stärke voraufging, wobei die Strahlung überhaupt nicht beeinflußt wird. Im Juli 1959 folgten drei Eruptionen der Größe 3+ aufeinander, bei der jede Störung wirksam war. Die Strahlung sank um 6% von 98% auf 92% ab. Es ist der tiefste Wert der Strahlung, der bisher überhaupt gemessen wurde (Abb. 4). Diese Beispiele zeigen, daß die Auswirkungen der Sonnentätigkeit ganz verschieden sein können. In der zweiten Meßreihe waren es besonders starke Eruptionen, wobei nach der zweiten die Erholung verhältnismäßig schnell einsetzte. Das Minimum war genau so tief wie nach dem dritten magnetischen Sturm.

Zur Untersuchung des Verhaltens der einzelnen Kammern wurden sieben solcher Ereignisse durch

<sup>6</sup> I. G. WILSON, I. c. <sup>4</sup>, S. 492.

<sup>7</sup> J. A. SIMPSON, Zus. f. Ber. Ann. Geophys. **11**, 305 [1955].

<sup>8</sup> A. EHMERT, Vortrag auf der Internat. Cosmic Ray Confe-

rence, Moskau, Juli 1959, Abstracts S. 110. Weitere Arbeit im Erscheinen.

<sup>9</sup> W. KERTZ, Zus. f. Arbeit, Abhandl. d. A. d. W. Göttingen, Mathem.-Phys. Klasse, Heft 2, Göttingen 1958.

Mittelwertsbildung zusammengefaßt. Es handelt sich um die magnetischen Stürme vom 21. 1., 29. 8., 21. 10. 1957; 25. 3., 8. 9. 1958; 11. 5. und 11. 7. 1959, die als Stichtage eingesetzt wurden.

Der Beginn der magnetischen Stürme (ssc) liegt im Mittel bei 18<sup>h</sup> MEZ \*\*. Nach den täglichen Mittelwerten beträgt der Abfall bei K(1+2) 3,5% und bei den beiden anderen Kammern K 3 und K 4 etwa die Hälfte. Aus den Einzelwerten (Abb. 5) ist zu erkennen, daß bereits mehrere Stunden nach der Sonneneruption ein langsames Fallen der Strahlungs-

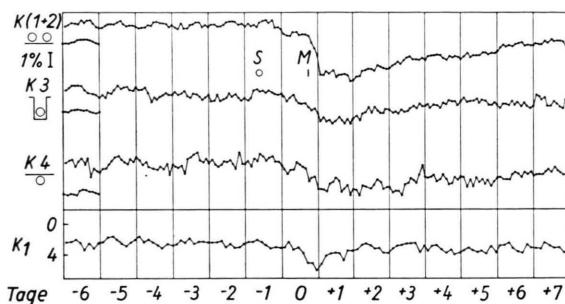


Abb. 5. Verhalten der Zweitunden-Werte der Kosmischen Strahlung bei magnetischen Stürmen. Mittelwertsbildung über sieben Meßreihen. Links sind die jährlichen Mittelwerte der täglichen Periode und unten die magnetischen  $K_1$ -Werte von Potsdam eingezeichnet.

intensität einsetzt. Der Beginn des magnetischen Sturmes zeichnet sich aber nur in K(1+2) über der Erde scharf ab. Es folgt danach ein starker Abfall, der etwa 8 Stunden andauert. Im Schacht in K 3 und unter der Erde in K 4 geht die Abnahme der Strahlungsintensität gleichmäßiger vor sich. Am Tage des Sturmes selbst und am darauffolgenden ist in K 4 die tägliche Periode besonders ausgeprägt. Auf diese Fragen wird im Abschnitt III. 4. noch einmal eingegangen.

### III. Periodische Schwankungen

#### 1. Langzeitige Schwankungen

Zur Beobachtung von Schwankungen über große Zeiträume ist eine hohe Konstanz der Anlagen notwendig. Da im Jahre 1956 noch Änderungen an den Ionisationskammern vorgenommen wurden, können für K(1+2) und K 3 erst vom Jahre 1957 an die Intensitäten der einzelnen Kammern angegeben werden. Das Material von 1956 kann selbstverständlich

\*\* MEZ=Mitteleuropäische Zeit. 12<sup>h</sup> MEZ=11<sup>h</sup> 48' Ortszeit =10<sup>h</sup> 48' Weltzeit.

für die Untersuchung der periodischen Schwankungen herausgezogen werden. Abb. 6 enthält die Monatsmittel der einzelnen Kammern. Entsprechend der Aktivität der Sonne ist überall eine Abnahme der

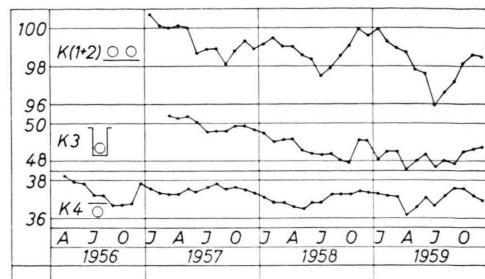


Abb. 6. Monatliche Mittelwerte der Strahlungsintensität der einzelnen Kammern.

Strahlung vorhanden. Aussagen über das Verhalten der einzelnen Kammern können erst gemacht werden, wenn weiteres Material vorliegt. In der nächsten Zeit ist mit abnehmender Sonnentätigkeit ein Anwachsen der Strahlungsintensität wieder zu erwarten.

#### 2. Die jährliche Periode

Ein jährlicher Gang ist in Abb. 6 nur in K(1+2) zu erkennen. Es besteht eine Gegenläufigkeit mit der Höhe der 200 mb-Schicht mit dem Strahlungsmaximum im Winter und dem Minimum im Sommer. Die Abnahme beträgt 2,5%. Diese Schwankung wird, wie bereits erwähnt, durch die thermische Auflockerung der Atmosphäre im Sommer und der damit verbundenen Verschiebung des Entstehungsortes der  $\mu$ -Mesonen erklärt. In Abb. 7 ist die Mittelwertsbildung über die Jahre 1957 – 1959 wiedergegeben.

Bei K 3 ist die jährliche Periode nicht ausgeprägt, für K 4 sind noch weitere Messungen notwendig.

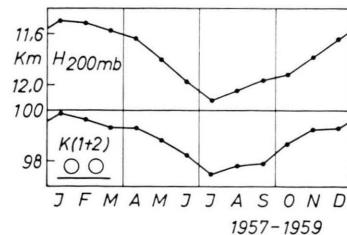


Abb. 7. Zusammenhang des Jahresganges von K(1+2) mit der Höhe der 200 mb-Schicht (1957–1959).

#### 3. Die 27-tägige Periode

Zur Untersuchung der 27-tägigen Periode wurde in mehreren Arbeiten das umfangreiche Material

von HUANCAYO<sup>10-15</sup> herangezogen. Die Periode ist mit Ausnahme weniger Jahre mit einer Amplitude von einigen Promille vorhanden. Nach dem heutigen Stand ist die Sonnentätigkeit im gleichen Sinne wie bei den FORBUSH-Effekten verantwortlich. Mit wachsender Sonnentätigkeit nimmt die Strahlung ab. Eine Reihe früher gegebener Erklärungen scheidet heute aus<sup>16</sup>, nämlich der Einfluß eines eventuell vorhandenen Magnetfeldes der Sonne, eine unmittelbare solare Komponente, der Ringstrom und das Aufheizen der hohen Atmosphäre durch UV-Strahlung der Sonne. Während in den meisten Arbeiten die 27-tägige Periode fortlaufend summiert wird, geht v. ROKA<sup>11</sup> von Stichtagen, von Tagen mit größter Strahlungsintensität oder vom Maximum der Sonnenfleckentätigkeit mit einer 6-tägigen Verschiebung aus. Bei Anwendung dieses Verfahrens kommt die 27-tägige Periode gut heraus, weil das Aufflammen der Sonnentätigkeit unregelmäßig erfolgt und nur einige Sonnenrotationen anhält. Zur Zeit erscheint der Nachweis wegen der hohen Sonnentätigkeit erschwert zu sein.

Bei den vorliegenden Messungen ist die 27-tägige Periode bei der Mittelwertsbildung über 38 Sonnenrotationen (1691 bis 1728) nur bei K(1+2) festzustellen. Die Strahlung fällt mit zunehmender Sonnenfleckenzahl  $R$ , erholt sich aber nur sehr langsam (Abb. 8). Aus der Größe der Schwankung kann für die Abhängigkeit der Strahlungsintensität von der Sonnenfleckenzahl etwa der Wert

$$\Delta I / \Delta R = -1\% / 100 R$$

angegeben werden. Bei einer Zuordnung der Tagesmittelwerte zur Sonnenfleckenzahl erhält man den gleichen Wert.

In K 4 ist die 27-tägige Periode nicht eindeutig ausgeprägt. Es fehlt vor allem das Maximum am Anfang der Periode, während die Minima im zweiten und dritten Drittel angedeutet sind. Die erdmagnetischen Werte zeigen keine entsprechende Schwankung. Diese Tatsache deutet darauf hin, daß die 27-tägige Periode durch Potentialänderungen, die durch die Sonnentätigkeit bedingt sind, hervorgerufen sein kann. Es wurden schließlich 11 Maxima

von  $R$  als Stichtage gewählt. In der Zusammenstellung fällt die Strahlung bei der Zunahme der Sonnentätigkeit in gleicher Weise wie in Abb. 8 ab, die sich anschließende Erholung geht aber nur sehr langsam vor sich. Auch K 3 und K 4 zeigen ein gleiches Verhalten, welches hier besser als bei der 27-tägigen Periode selbst hervortritt.

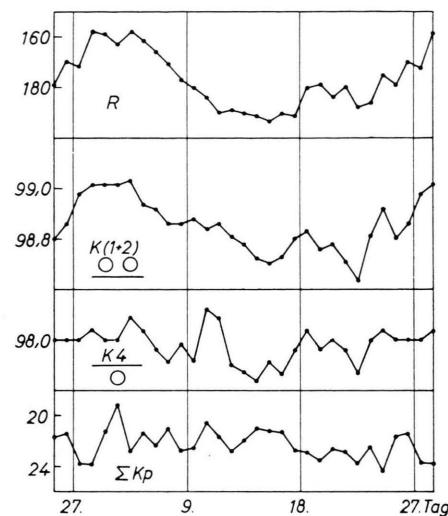


Abb. 8. K(1+2) und K 4. 27-tägige Periode. Mittelwertsbildung über die Sonnenrotationen 1691 bis 1728. R = Sonnenfleckenzahl,  $\Sigma K_p$  = tägliche Summe der magnetischen Werte.

#### 4. Die sonnenzeitliche Periode<sup>17</sup>

Bei der Untersuchung der sonnenzeitlichen Periode soll das vorliegende Material zuerst rein statistisch behandelt werden, danach wird auf Einzelheiten eingegangen. Bei K(1+2) zeigt die Periode den bekannten Verlauf. Das Maximum liegt bei 14 Uhr Ortszeit. Die Amplitude beträgt etwa 2,5%. Unter Amplitude soll bei diesen Darstellungen der Unterschied zwischen Maximum und Minimum verstanden werden. Abb. 9 enthält die Jahresmittelwerte von 3 Jahren. Die einzelnen Kurven sind einander sehr ähnlich, lediglich im ersten Beobachtungsjahr besteht eine Phasenverschiebung von etwa einer Stunde.

<sup>10</sup> S. E. FORBUSH u. I. LANGE, Phys. Rev. **76**, 164 [1949].  
<sup>11</sup> E. G. v. ROKA, Z. Naturforsch. **6a**, 117 [1951].  
<sup>12</sup> W. H. FONGER, Phys. Rev. **91**, 351 [1953].

<sup>13</sup> S. YOSHIDA u. I. KONDO, J. Geomagn. Geodetics **6**, 15 [1954].

<sup>14</sup> R. P. KANE, Proc. Nat. Inst. Sci., India A **22**, 398 [1956].

<sup>15</sup> D. VENKATESAN, Tellus **10**, 117 [1958].

<sup>16</sup> H. GHERI, Z. Naturforsch. **6a**, 775 [1951].

<sup>17</sup> Über die Untersuchungen der sonnenzeitlichen und sternzeitlichen Periode wurde vom Verfasser auf der Internationalen Tagung über Kosmische Strahlung der IUPAP in Moskau im Juli 1959 vorgetragen.

W. MESSERSCHMIDT, Internat. Cosmic Ray Conf., Moskau, Juli 1959, Abstracts S. 140.

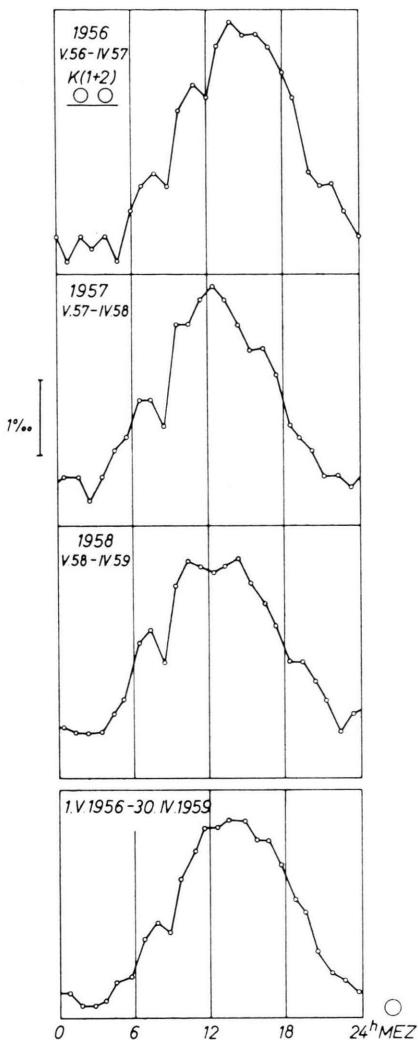


Abb. 9. K(1+2). Jahresmittel der täglichen Periode.  
Stundenwerte.

Um eine eventuelle jahreszeitliche Veränderung des täglichen Verlaufes zu bestimmen, erfolgte eine Zusammenfassung der Werte nach Quartalen. Diese wurden so gewählt, daß der Frühlingspunkt, die Sonnenwenden und der Herbstpunkt in der Mitte der Quartale liegen. Sie umfassen also die Monate Februar bis April als 1. Quartal, Mai bis Juli als 2. Quartal usw. Bei einer entsprechenden Zusammenstellung der drei Jahre zeigt sich eine geringe jahreszeitliche Verschiebung der Maxima. Während die Kurven des 2. und 4. Quartals sich dem dreijährigen Mittel in Abb. 9 gut anschließen, liegt das Maximum im Frühjahr gegen 11 Uhr und im Herbst bei 14 Uhr 30'.

Unter der Erde in K 4 ist die tägliche Periode mit einer Amplitude von 4% besonders ausgeprägt (Abb. 10). Auch hier stimmen die Jahresmittel wieder gut überein. Der Verlauf zeigt im Vergleich mit K(1+2) Abweichungen. In den früheren Tagesstunden ist die Strahlung nahezu konstant, um dann nach einem kurzen Absinken gegen 9 Uhr innerhalb

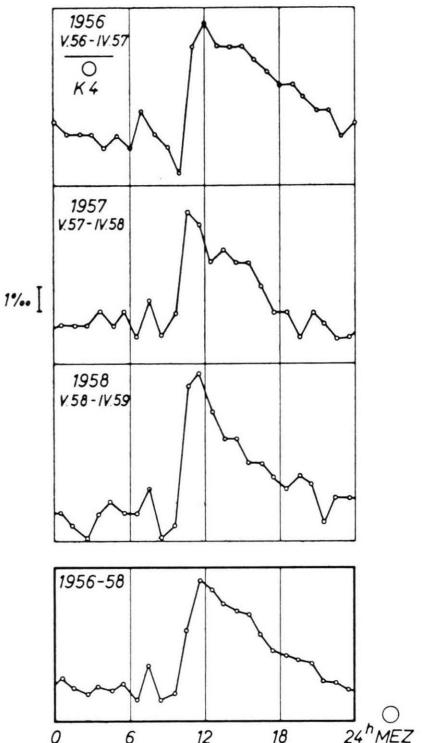


Abb. 10. K 4. Jahresmittel der täglichen Periode.  
Stundenwerte.

von einer Stunde zum Maximum aufzusteigen. In den weiteren Tagesstunden erfolgt ein gleichmäßiger Abfall. Die Quartale zeigten im Verlauf eines Jahres stärkere Unterschiede als bei K(1+2), sie wiederholten sich in den aufeinanderfolgenden Jahren, wobei besonders die Kurvenform, nicht immer die Amplitude erhalten blieb. Die Verschiedenheit der einzelnen Quartale geht aus der Zusammenstellung in Abb. 11 hervor. Die Amplitude hat im 4. Quartal ihr Minimum, im 3. Quartal das Maximum. In allen Kurven erfolgt der schnelle Anstieg zwischen 9h 30' und 10h 30'. Die Fehlerbreite liegt bei diesen Mittelwertsbildungen unter 1%. Die jahreszeitliche Veränderung der täglichen Periode kommt schließlich

besonders gut bei einer Bildung von Monatsmitteln in Abb. 12 zum Ausdruck. Die charakteristischen Merkmale der Kurven bleiben mit dem Minimum am Vormittag und dem schnellen Anstieg überall erhalten. Das Maximum steigt vom Januar bis zum Oktober an, um dann schnell abzusinken. Während des Abfalls im November und Dezember sind die frühen Tagesstunden angehoben.

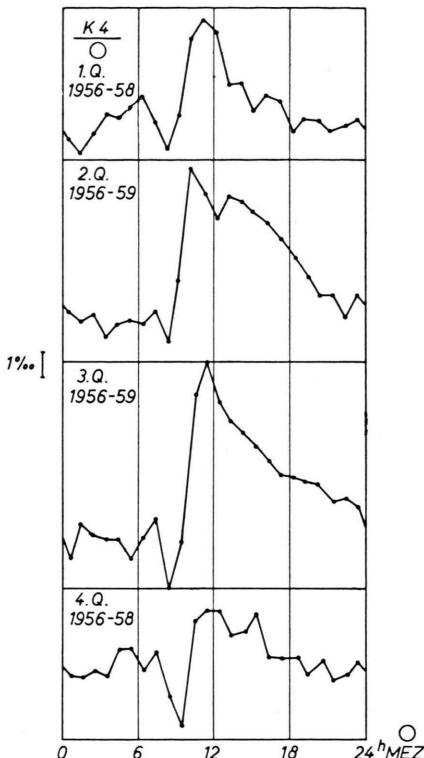


Abb. 11. K 4. Zusammenfassung der täglichen Periode zu Quartalen. 1. und 4. Quartal umfassen 3 Jahre, 2. und 3. Quartal 4 Jahre. Stundenwerte.

Als ein bemerkenswertes Ergebnis ist darauf hinzuweisen, daß die Amplitude der täglichen Periode unter der Erde mit  $4\%$  größer als über der Erde mit  $2,5\%$  ist, während die übrigen Schwankungsgrößen unter der Erde abnehmen. Der Gedanke an einen energiereichen anisotropen Strahlungsanteil liegt nahe. Ob der neben der Kammer befindliche Schacht den Kurvenverlauf unter Umständen begün-

stigt, soll demnächst mit einem Zählrohrteleskop geklärt werden. Der Schacht erscheint von K 4 aus unter einem Winkel von  $50^\circ$ . Die in dieser Richtung liegende Erdschicht ist jedoch stets größer als 4 m bei einer mittleren Dicke von 7 m. Es wird angenommen, daß die Schachtnähe keinen besonderen Einfluß ausübt, weil nach Messungen in Budapest hinter 40 m Wasseräquivalent das Maximum ebenfalls gegen 11 Uhr Ortszeit liegt<sup>18</sup>.

Eine zufriedenstellende Erklärung für die Ursache der täglichen Periode kann bisher noch nicht gege-

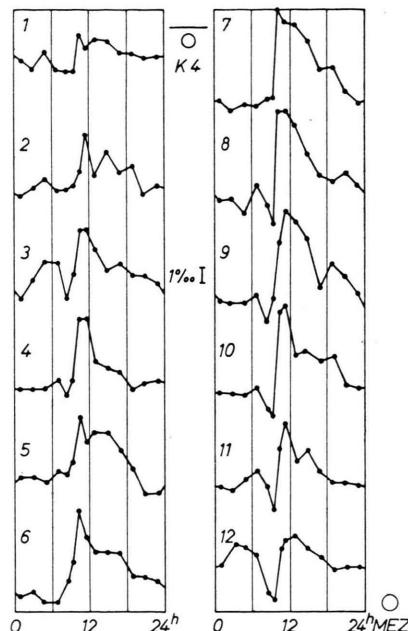


Abb. 12. K 4. Monatliche Zusammenfassung der täglichen Periode. Mai 1956 bis April 1959. 1–12 = Januar bis Dezember.

ben werden. Die Angaben in der Literatur sind widersprechend. DOLBEAR und ELLIOT<sup>19</sup> versuchen die tägliche Periode teilweise aus Druck- und Temperaturschwankungen der Atmosphäre zu deuten. Hiergegen spricht der weltweite Charakter der Periode. Eine Modulation durch ein eventuell vorhandenes Magnetfeld der Sonne<sup>20–23</sup> scheidet heute ebenfalls aus. Ein mittelbarer Einfluß der Sonne wird in einer Reihe von Arbeiten für möglich er-

<sup>18</sup> T. SANDOR, A. SOMOGYI u. F. TELBICZ, Internat. Cosmic Ray Conf., Moskau, Juli 1959, Abstracts S. 121.

<sup>19</sup> D. W. N. DOLBEAR u. H. ELLIOT, J. Atm. Terr. Phys. **1**, 215 [1950].

<sup>20</sup> H. ELLIOT u. D. W. N. DOLBEAR, J. Atm. Terr. Phys. **1**, 205

[1950].

<sup>21</sup> I. FIROR, F. JORY u. S. B. TREIMAN, Phys. Rev. **93**, 551 [1954].

<sup>22</sup> H. ALFVÉN, Phys. Rev. **72**, 88 [1947].

<sup>23</sup> I. W. FIROR, W. H. FONGER u. I. A. SIMPSON, Phys. Rev. **94**, 1031 [1954].

achtet<sup>24-29</sup>. Schließlich soll die sonnenzeitliche Periode durch die Schwankungen des magnetischen Erdfeldes<sup>30-34</sup> und der Sonnentätigkeit mit ihrer 27-tägigen und 11-jährigen Periode<sup>35-40</sup> beeinflußt werden. Die zuletzt genannten Möglichkeiten sollen am vorhandenen Material untersucht werden.

In einigen Arbeiten wurde festgestellt<sup>30-34</sup>, daß nach magnetischen Stürmen die tägliche Periode besonders ausgeprägt ist. Aus der Zusammenstellung von 7 magnetischen Stürmen in Abb. 5 geht jedoch

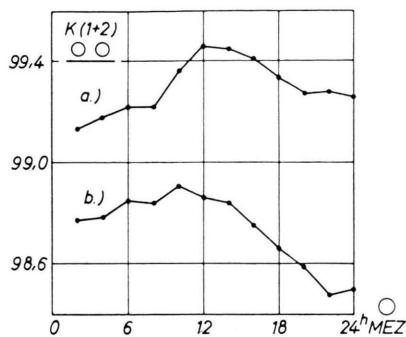


Abb. 13.  $K(1+2)$ . Verhalten der täglichen Periode an magnetisch ruhigen und gestörten Tagen. 1957-1958. a) 120 magnetisch ruhige Tage, b) 118 magnetisch gestörte Tage.

hervor, daß die tägliche Periode vor dem Sturm etwa den Durchschnittswert in  $K(1+2)$  und  $K4$  besitzt, und daß sie nach dem Sturm darunter liegt. Während des Sturmes ist die tägliche Amplitude in  $K4$  besonders groß.

Für einen weiteren Vergleich wurden von  $K(1+2)$  aus den Jahren 1957 und 1958 120 magnetisch ruhige und 118 magnetisch gestörte Tage ausgewählt und gemittelt (Abb. 13). Es ergaben sich keine Unterschiede in der Amplitude der täglichen Periode. Bei den magnetisch ruhigen Tagen ist eine steigende Tendenz, bei den magnetisch gestörten Tagen eine fallende zu erkennen, was durchaus dem Verhalten der Strahlung bei magnetischen Stürmen entspricht. Zusammenfassend kann also gesagt werden, daß vor

und nach den Stürmen bemerkenswerte Unterschiede in der Größe der täglichen Periode nicht vorhanden sind. In den o. a. Arbeiten wird auch davon gesprochen, daß sich neben der üblichen Form des täglichen Ganges der Strahlung noch eine andere mit einer wesentlichen Verschiebung des Maximums nach früheren Tageszeiten bei magnetischen Störungen ergibt. Auch dieser Befund wurde nicht festgestellt. Die genannten Untersuchungen wurden in der Nähe des magnetischen Äquators durchgeführt. Es besteht

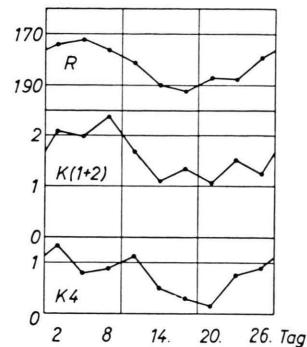


Abb. 14. Verhalten der täglichen Periode im Verlauf der 27-tägigen Periode.  $R$  = Sonnenfleckenzahl,  $K(1+2)$  Relative Amplitude der Strahlung,  $K4$  Relative Amplitude der Grundwelle.

durchaus die Möglichkeit, daß hier die magnetischen Einflüsse sich stärker bemerkbar machen als in den höheren Breiten, woraus sich die unterschiedlichen Ergebnisse erklären ließen.

Weiter wurde das Verhalten der täglichen Periode für  $K(1+2)$  und  $K4$  während der 27-tägigen Periode untersucht. Zu diesem Zwecke wurde die 27-tägige Periode in Gruppen von 3 Tagen gegliedert. Aus dem Material von 1957 und 1958 ergibt sich im Sonnenfleckeminimum eine um etwa 60% größere Amplitude als im Sonnenfleckemaximum. Bei  $K4$  ist der Einfluß nicht so deutlich. Er tritt auch in Erscheinung, wenn die aus einer harmonischen Analyse gewonnene Amplitude der Grundwelle eingesetzt

<sup>24</sup> I. A. SIMPSON, W. H. FONGER u. L. WILCOX, Phys. Rev. **85**, 366 [1952].

<sup>25</sup> M. J. SWETNICK, H. A. C. NEUBURG u. S. A. KORFF, Phys. Rev. **86**, 589 [1952].

<sup>26</sup> V. SARABHAI, U. D. DESAI u. R. P. KANE, Nature, Lond. **171**, 122 [1953].

<sup>27</sup> V. SARABHAI u. R. P. KANE, Phys. Rev. **90**, 204 [1953].

<sup>28</sup> E. A. BRUNBERG u. A. DATTNER, Tellus **6**, 73 [1954].

<sup>29</sup> P. MORRISON, Phys. Rev. **101**, 1397 [1956].

<sup>30</sup> Y. SEKIDO u. S. YOSHIDA, Rep. Ionosph. Res., Japan **4**, 37 [1950].

<sup>31</sup> Y. SEKIDO u. M. KODAMA, Rep. Ionosph. Res., Japan **6**, 111 [1952].

<sup>32</sup> A. E. SANDSTRÖM, Tellus **7**, 204 [1955].

<sup>33</sup> KRISHNA RAMATHAN, Proc. Indian Acad. Sci. (A) **44**, 307 [1956].

<sup>34</sup> J. C. BARTON u. J. H. STOCKHAUSEN, Phil. Mag. **3**, 55 [1958].

<sup>35</sup> R. P. KANE, Phys. Rev. **98**, 130 [1955].

<sup>36</sup> I. E. REMY u. A. SITTKUS, Z. Naturforsch. **10 a**, 172 [1955].

<sup>37</sup> R. STEINMAURER u. H. GHERI, Naturwiss. **42**, 294 [1955].

<sup>38</sup> V. SARABHAI, U. D. DESAI u. D. VANKATERAN, Phys. Rev. **99**, 1490 [1955].

<sup>39</sup> M. POSSENER u. I. J. VAN HEERDEN, Phil. Mag. **1**, 253 [1956].

<sup>40</sup> E. REMY u. A. SITTKUS, Z. Naturforsch. **11 a**, 556 [1956].

wird (Abb. 14). Die Amplitude der täglichen Periode ist also bei ruhiger Sonne größer als bei aktiver Sonne. REMY und SITTKUS<sup>40</sup> hatten während der 27-tägigen Periode erhebliche Verschiebungen in der Phase des täglichen Gangs festgestellt. Es wurde nur bei K(1+2) gefunden, daß im Sonnenfleckemaximum das Maximum der Strahlung gegen 11 Uhr und im Sonnenfleckeminimum gegen 14 Uhr auftritt. Bei K 4 ist nur eine geringe Streuung um den Mittelwert vorhanden.

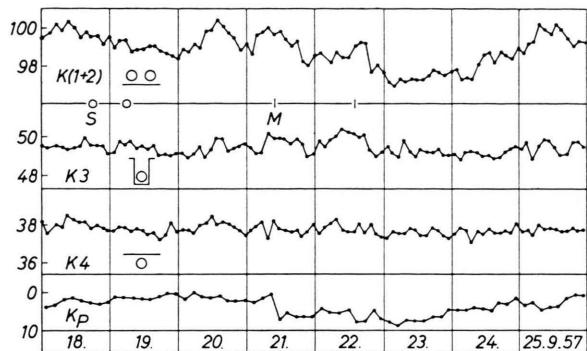


Abb. 15. Tage mit ausgeprägter täglicher Periode.  
20. bis 22. 9. 1957.

Bei der Betrachtung der einzelnen Tage ergeben sich in der täglichen Periode unmittelbar nach Sonneneruptionen der Größe 3 große Amplituden. Diese betrugen z. B. am 20., 21. und 22. 9. 1957 in K(1+2) mit fast 2% das Achtfache vom Durchschnitt (Abb. 15). Auch K 3, die sonst keinen großen täglichen Gang zeigt, hat an diesen Tagen eine ausgeprägte Periode. In K 4 ist der Effekt zwar vorhanden, bei weitem aber nicht so stark wie in den anderen Kammern. Nur der 20. 9. hebt sich heraus. Die Tage mit großem täglichem Gang sind ohne Zweifel bei der Mittelwertsbildung bestimmend. Ihre Verteilung und ihre Häufigkeit ist jedoch schon so beschaffen, daß z. B. bei einer Mittelwertsbildung über ein Vierteljahr ein guter Ausgleich erzielt wird. Der Ursprung der täglichen Periode scheint in der Sonnentätigkeit zu liegen. Die allgemeine Fleckentätigkeit kann aber nicht den Anlaß geben. Es wurden verschiedene Untersuchungen an K(1+2) mit dem Ergebnis durchgeführt, daß weder die Zahl und Art der Sonnenflecke noch ihre Lage auf der Sonne ausschlaggebend ist. Während der 27-tägigen Periode ist die tägliche Periode bei niederen Sonnenfleckenzahlen sogar größer (Abb. 14). Die großen täglichen Perioden treten meist nach den Eruptionen

auf, beginnen aber vor dem Einsetzen der magnetischen Störungen. Zur weiteren Untersuchung des Verhaltens aller Kammern wurden deshalb bei K(1+2) aus den Jahren 1957 und 1958 insgesamt 244 Tage mit ausgeprägter Periode ausgewählt. Bei

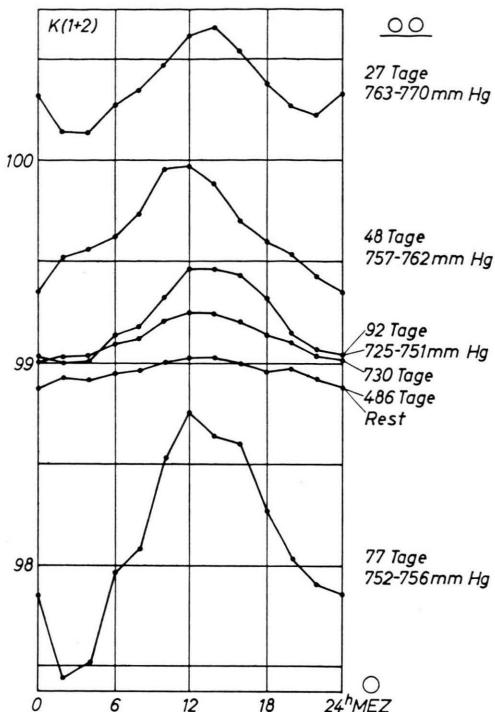


Abb. 16. K(1+2). Aus den Jahren 1957 und 1958 ausgewählte Tage mit ausgeprägter täglicher Periode.  
730 Tage = Mittel über die zwei Jahre.

der Zusammenstellung wurde gleichzeitig eine Gruppeneinteilung nach dem Barometerstand vorgenommen (Abb. 16). Von 244 ausgewählten Tagen ergibt sich eine dreifache mittlere Amplitude gegenüber dem Durchschnitt (730 Tage). Bei 77 Tagen ist in einer Gruppe bei mittlerem Luftdruck sogar die fünf-fache Amplitude vorhanden. Die Einteilung der Gruppen erfolgte willkürlich in eine mit hohem, zwei mit mittlerem und eine mit tiefem Luftdruck. Die Gruppen zeigen dabei verschiedene mittlere Intensitäten, wofür im Augenblick keine Erklärung gegeben werden kann. Die gleichen 244 Tage wurden nun noch für K 3 und K 4 zusammengestellt (Abb. 17). Bei K 3 haben diese Tage noch etwa die doppelte Amplitude im Vergleich zum Durchschnitt, während bei K 4 kein Unterschied zum Jahresmittel mehr besteht. Aus Abb. 15 ging bereits hervor, daß in K 4 unter der Erde gelegentlich Tage mit großer

täglicher Periode vorkommen können, daß ihre Zahl aber im Vergleich mit den anderen Kammern kleiner ist.

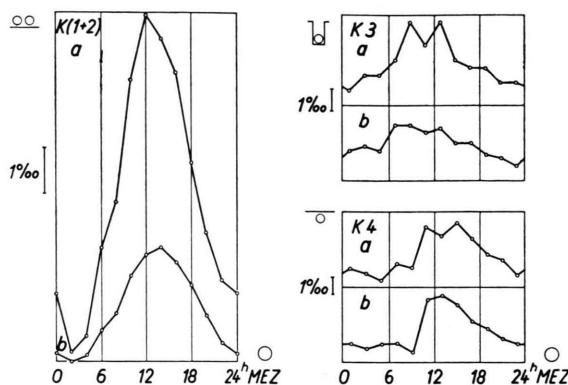


Abb. 17 \*. Verhalten der täglichen Periode der ausgewählten Tage in den einzelnen Kammern. a) Mittel der 244 ausgewählten Tage, b) Jahresmittel zum Vergleich.

Aufschlußreiches Material über den weltweiten Charakter der täglichen Periode liefert die erste Zusammenstellung der Neutronenregistrierungen im Rahmen des Internationalen Geophysikalischen Jahres für die Zeit vom 1. 7. bis 31. 12. 1957 (s. Anm. 41). Die oben genannten Tage aus dem September 1957 (Abb. 15) lassen sich mit unterschiedlichen Amplituden über die ganze Erde verfolgen. In hohen Breiten und in Europa ist die Amplitude am größten, sie ist bei den nordamerikanischen Stationen etwas kleiner und sinkt am magnetischen Äquator etwa auf die Hälfte ab. Die Mittelwertskurven vom September 1957 haben in diesem halben Jahre die größte Amplitude mit dem Maximum gegen 13 Uhr Ortszeit, wobei die größten Abweichungen  $\pm 3$  Stunden betragen. Systematische Beziehungen für die Zeit des Maximums sind nicht zu erkennen. Bei den europäischen Stationen tritt mit nur geringen Abweichungen das Maximum gegen 14 Uhr auf. Bei den nordamerikanischen Stationen ist dagegen die Streuung etwas größer. Diese örtlichen Abweichungen können unter Umständen durch die Apparatur bedingt sein. So sind die Messungen mit den Ionisationskammern K(1+2) mit ihrer Abschirmung von  $140 \text{ g/cm}^2$  in guter Übereinstimmung mit den europäischen Neutronenanlagen. Bei anderen Absorberdicken ändert sich jedoch der Verlauf der

<sup>41</sup> Cosmic-Ray Intensity during the International Geophysical Year No. 1, Sc. Council Japan, Tokyo, 1959.

\*\*\* Nach Messungen von LESCHHORN.

täglichen Periode. Wie schon an K 4 gezeigt wurde, verschiebt sich unter der Erde das Maximum auf etwa 11 Uhr 30. Bei geringer Abschirmung liegt das Maximum dagegen in den Abendstunden. Die K 5 ist z. B. seitlich mit 10 cm und von oben mit 3 cm Pb ( $34 \text{ g/cm}^2$ ) gepanzert. Das Maximum des Jahresmittels liegt hier bei 21 Uhr \*\*. Bei einer Differenzbildung zwischen K(1+2) und K 4 erhält man den weichen Strahlungsanteil in K(1+2) mit dem Maximum bei 16 Uhr. Verfolgt man so die Lage des Maximums, dann ergibt sich mit der Zunahme der Absorberschicht, also mit der Härte der Strahlung, eine Verschiebung des Maximums nach früheren Stunden.

Nach diesen Betrachtungen könnte für das Zustandekommen der täglichen Periode folgender Mechanismus angenommen werden:

Die Sonne sendet unregelmäßig, aber verhältnismäßig häufig, Teilchenströme mit verschiedener Energieverteilung aus. Infolge der verschiedenen spezifischen Ladungen werden die Elektronen bereits in großer Entfernung von der Erde durch das Magnetfeld abgelenkt, während die positiven Teilchen in die Nähe der Erde gelangen können. Sie werden bei geringer Energie nicht bis zur Erde gelangen und einen Beitrag zur Ausbildung des positiven Potentials liefern, bei hoher Energie aber bis zur Erde vordringen und die tägliche Periode hervorrufen. Der Mechanismus der Emission energiereicher Teilchen von der Sonne scheint nicht immer mit bekannten Erscheinungen und mit der Aussendung von energieärmeren Teilchen gekoppelt zu sein, weil Tage mit großer täglicher Periode auch ohne besondere auf der Sonne beobachtete Ereignisse vorhanden sind. Wird ein breites Energieband abgestrahlt, dann treffen die energiereichen Teilchen vor den anderen ein, d. h. die Tage mit großer täglicher Periode beginnen bereits vor dem mit einer magnetischen Störung verbundenen Absinken der Strahlung, wo bei starken Ausbrüchen auf der Sonne mehrere Tage eine große tägliche Periode zeigen können. Daß die Sonne in der Lage ist, Teilchen mit großer Energie zu liefern, zeigte sie z. B. am 23. 2. 1956. Es bleibt dabei natürlich schwierig, die langzeitigen über Jahre dauernden Verschiebungen des Maximums der täglichen Periode zwischen 12 und 15 Uhr zu erklären <sup>42</sup>.

<sup>42</sup> T. THAMBYAHILLAI u. H. ELLIOT, Nature, Lond. **171**, 918 [1953].

\* Anm. b. d. Korr. zu Abb. 17: Inzwischen wurde gefunden, daß es in K 4 Tage mit großer täglicher Periode gibt, die sich in K(1+2) nicht besonders hervorheben.

### 5. Die sternzeitliche Periode

Eine sternzeitliche Periode wurde bisher nur selten gefunden. In einigen Arbeiten wird ihre Amplitude mit etwa 1‰ angegeben. Das breite Maximum liegt in mittleren nördlichen Breiten bei 21 Uhr örtlicher Sternzeit, wo die Milchstraße kulminiert. Vor allem zeigen die energiereichen großen Luftschauder eine Schwankung nach Sternzeit<sup>43-45</sup>. Aus den nach Sonnenzeit durchgeföhrten Messungen wird die sternzeitliche Periode dadurch gewonnen, daß die Werte alle halbe Monate um eine Stunde verschoben

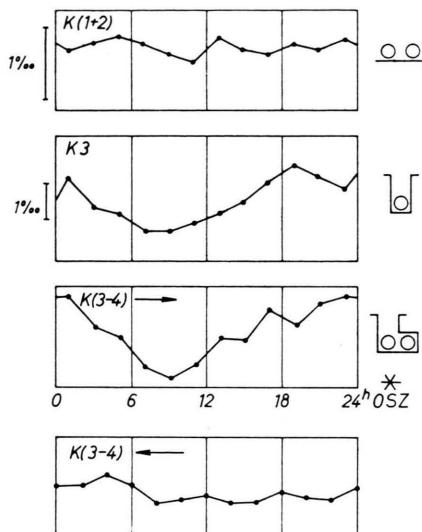


Abb. 18. Sternzeitliche Periode. K(1+2). Keine Periode. K3 und K3-K4 mit sternzeitlicher Periode. Unten: K3-K4 mit entgegengesetzter Verschiebung zur Kontrolle.

ben werden. Hierbei kann eine Periode vorgetäuscht werden, wenn die Amplitude der sonnenzeitlichen Periode im Verlauf des Jahres schwankt. Die Kontrolle erfolgt durch eine entgegengesetzte Verschiebung der Werte, wo bei einer reellen sternzeitlichen Periode die Schwankung verschwinden muß.

Bei K(1+2) und K4 tritt keine sternzeitliche Periode in Erscheinung, in K3 ist sie jedoch mit einem breiten Maximum von etwa 1,5‰ zwischen 18 Uhr und 01 Uhr vorhanden (Abb. 18). In der Differenzbildung zwischen K3 und K4, d. h. dem durch den Schacht ausgeblendeten Anteil von K3, ist sie besonders ausgeprägt. Ihre Existenz wird durch das Verschwinden einer Schwankung bei entgegen-

gesetztem Verschieben bewiesen. Gerade K3 zeigte bei der Zusammenfassung der Quartale nach Sonnen- und Sternzeit bei jährlicher Wiederholung stark veränderliche Kurvenformen mit verhältnismäßig großen Amplituden im 1. Quartal und geringen Schwankungen im 3. Quartal (Abb. 19 und 20).

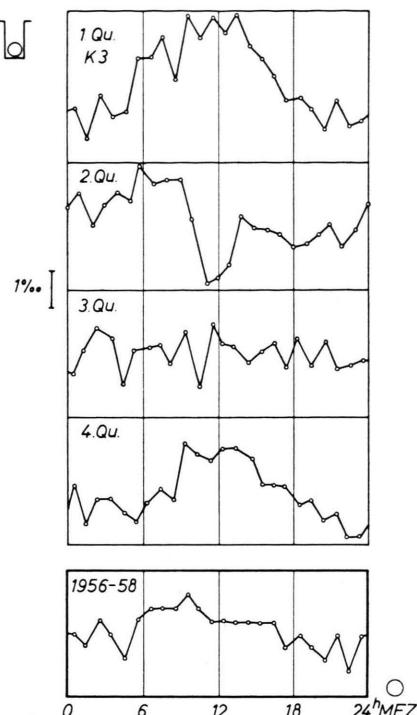


Abb. 19. K3. Zusammenfassung in Quartale nach Sonnenzeit (MEZ) Mai 1956 bis April 1959. Stundenwerte.

Nach Sonnenzeit ist der Verlauf im 1. und 4. Quartal dem üblichen sehr ähnlich. Das Jahresmittel hat ein breites Maximum vom Vormittag bis zum Abend. Die Amplituden der sonnenzeitlichen und sternzeitlichen Periode sind etwa gleich groß. Die Folge der Veränderungen der Kurvenformen wird bei der Darstellung der über die 3 Jahre gemittelten Monate besonders deutlich (Abb. 21), sie erinnert an eine Schwebung. Es wurden deshalb die Kurven für die einzelnen Monate konstruktiv aus den Jahreskurven der sonnenzeitlichen und der sternzeitlichen Periode ermittelt. Dabei wurde die sonnenzeitliche Periode festgehalten, während die sternzeitliche Periode monatlich um 2 Stunden verschoben wurde. Diese so

<sup>43</sup> P. AUGER, A. CACHON, A. DAUDIN, A. FRÉON u. C. MOSZKOWSKI, C. R. Acad. Sci., Paris **240**, 2407 [1955].

<sup>44</sup> A. CITRON u. P. KEHLER, Z. Naturforschg. **10 a**, 499 [1955].

<sup>45</sup> P. AUGER, A. CACHON u. A. DAUDIER, Nuovo Cim. (Ser. 10) **3**, 1017 [1956].

konstruierten Kurven sind in Abb. 21 dick eingezeichnet, sie sind in guter Übereinstimmung mit der Messung. Mit K 3 konnte also gezeigt werden, daß bei der Ausblendung durch den Schacht neben der sonnenzeitlichen Periode eine sternzeitliche vorhanden ist.

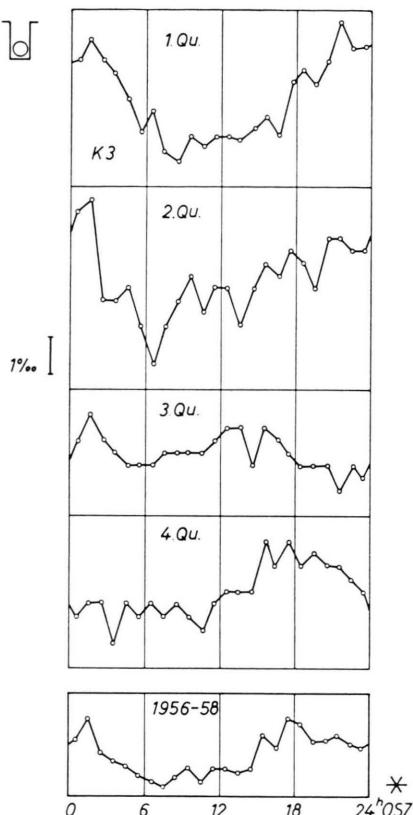


Abb. 20. K 3. Zusammenfassung in Quartale nach örtlicher Sternzeit (OSZ). Mai 1956 bis April 1959. Stundenwerte.

Die Frage nach der sternzeitlichen Periode wurde für alle Kammern noch einmal mit einem besonderen Verfahren untersucht<sup>46</sup>. Für jeden Monat wird mit der harmonischen Analyse die Amplitude und Phase der Grundwelle bestimmt. Die Werte werden dann in einem Zeigerdiagramm nach Sonnenzeit eingetragen (Abb. 22). Beim Vorhandensein einer sternzeitlichen Periode muß die Verbindungslinie der einzelnen Punkte einen geschlossenen, zur Sonnenzeit gegebenen Kurvenzug ergeben.

Bei K(1+2) tritt das bereits oben erwähnte Pendeln des Maximums im Verlauf des Jahres hervor. Die Maxima liegen von Mai bis Juli im Mittel kurz

<sup>46</sup> I. G. WILSON, l. c. <sup>4</sup>, S. 485.

vor 12 Uhr, in den übrigen Monaten kurz vor 14 Uhr. Eine Sternzeitperiode ist nicht angezeigt. Bei K 4 fallen nur die Monate März bis Mai etwas heraus. Die übrigen Werte liegen fast auf einer Geraden. Nach den Messungen sollen bei K 3 bei gleichen und im Verlauf des Jahres konstanten Amplituden der beiden Perioden die Punkte einen Kreis er-

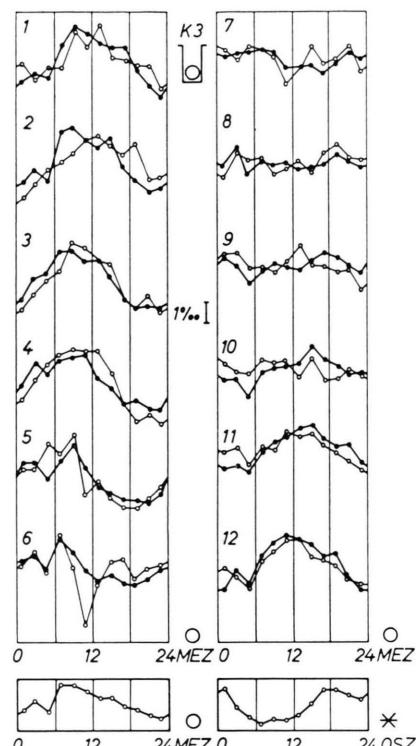
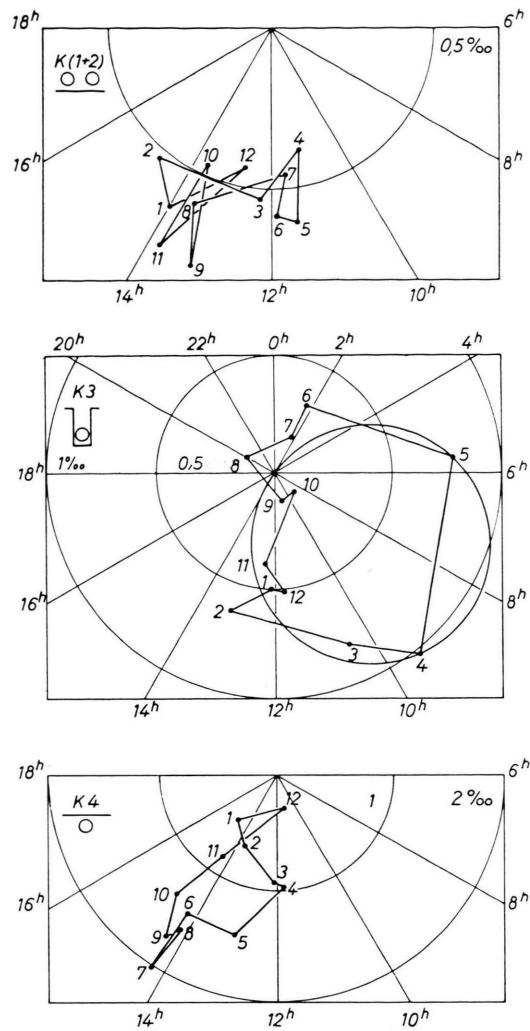


Abb. 21. K 3. Monatliche Zusammenfassung der täglichen Periode. —— gemessene Werte, - - - - durch Überlagerung der sonnenzeitlichen und der sternzeitlichen Jahresperiode konstruierte Kurven. Mai 1956 bis April 1959. Zweistundenwerte. 1-12=Januar bis Dezember.

geben, der durch den Mittelpunkt des Koordinatensystems geht. Die Punkte für die einzelnen Monate fügen sich gut dem Kreis an, wobei zu berücksichtigen ist, daß bei kleinen Schwankungen die sich ergebenden Amplituden und Phasenwerte keine große Genauigkeit besitzen. Für K 3 dürfte so der eindeutige Nachweis für eine sternzeitliche Periode erbracht sein. Das Maximum stimmt mit der Kulmination der Milchstraße überein. Da die sternzeitliche Periode bei den energiereichen großen Luftschauren ebenfalls auftritt, muß es sich um eine geringe Anisotropie in den Teilchen höchster Energie handeln.



#### IV. Zusammenfassung

Die wichtigsten Ergebnisse der einzelnen Schwankungsgrößen sind in Tab. 2 zusammengestellt. Entsprechend der zunehmenden Härte der Strahlung unter der Erde nimmt der Barometereffekt ab. Bei hohem Druck traten gelegentlich starke Abweichungen vom mittleren Barometereffekt auf, die noch einer Klärung bedürfen. Der Einfluß der hohen Atmosphäre, in der die  $\mu$ -Mesonen-Erzeugung stattfindet, konnte bisher nur in K(1 + 2) aus der Jahresperiode und einer Dreifach-Korrelationsrechnung nachgewiesen werden. Eine Untersuchung dieser Fragen war in den letzten Jahren durch die hohe Sonnentätigkeit erschwert. Die elektrostatische Modulation, ermittelt an sieben magnetischen Stürmen, hat unter der Erde etwa den halben Wert wie über der Erde. Die durch die Veränderung der hohen Atmosphäre bedingte jährliche Periode konnte bisher mit etwa 2,5% und dem Minimum im Juli nur bei K(1 + 2) nachgewiesen werden. Sie ist vielleicht in K 4 noch vorhanden. Die 27-tägige Periode, die ebenfalls als Modulationseffekt in Verbindung mit der Sonnentätigkeit gedeutet wird, ist nur in K(1 + 2) ausgeprägt. Während die bisher beschriebenen Einflüsse in ihrer Wirkung mit der Tiefe abnehmen, ist die tägliche Periode unter der Erde größer als an der Erdoberfläche. Sie kann deshalb

Abb. 22. Zeigerdarstellung für das Maximum der täglichen Periode (Grundwelle) für die einzelnen Monate. Mai 1956 bis April 1959. 1–12=Januar bis Dezember.

	K (1 + 2)	K 3	K 4
Barometereffekt $\beta_B$	– 1,8%/cm Hg	– 1,1%/cm Hg	– 1%/cm Hg
Höheneffekt $\beta_H$	– 4%/ $\text{km}_{200}$ mb	nicht bestimbar	nicht bestimbar
Magnetische Stürme	Abfall etwa 3,5%	Abfall etwa 1,8%	Abfall etwa 1,8%
Mittel aus 7 Ereignissen			
Jahresperiode	Schwankung 2,5% Minimum im Juli	nicht nachgewiesen	unbestimmt eventuell Minimum im April
27-tägige Periode	etwa 2%/ $20 R$	nicht nachgewiesen	nicht nachgewiesen
Mittel aus 38 Sonnen- rotationen			
tägliche Periode	2,5% Maximum 14 <sup>h</sup>	1,5% Maximum breit etwa 10 <sup>h</sup>	4% Maximum 11 <sup>h30'</sup>
Jahresmittel			
Sternzeit-Periode	nicht nachgewiesen	1,5% Maximum breit etwa 21 <sup>h</sup> Sternzeit	nicht nachgewiesen

Tab. 2.

nicht durch elektrische oder magnetische Modulationseffekte erklärt werden. Es bestehen aber direkte Zusammenhänge mit Eruptionen auf der Sonne. Die sternzeitliche Periode konnte in dem offenen Schacht mit K 3 nachgewiesen werden.

Die Messungen werden fortgesetzt. Die Untersuchungen gelten nun dem Verhalten der Strahlung bei abnehmender Sonnentätigkeit.

Der Verfasser dankt seinen Mitarbeitern für die Auswertung der Registrierungen und für die Durchführung der Berechnungen. Die Mittel wurden vom Staatssekretariat für Hochschulwesen zur Verfügung gestellt, wofür ebenfalls gedankt sei. Schließlich ist der Verfasser dem Fraunhofer-Institut in Freiburg (Br.), den Geomagnetischen Instituten in Göttingen und Potsdam, dem Max-Planck-Institut für Aeronomie in Lindau (Harz) und dem Wetterdienst der DDR für die Überlassung der laufenden Beobachtungen zu Dank verpflichtet.

## Negative elektrische Leitfähigkeiten

Von JÜRGEN SCHNEIDER

Aus dem Institut für Elektrowerkstoffe, Freiburg (Brg.)  
(Z. Naturforsch. 15 a, 484—489 [1960]; eingegangen am 2. Februar 1960)

The complex electric HF-conductivity  $\sigma$  of a plasma in a magnetic field has been calculated on the basis of the BOLTZMANN transport equation. Negative values of the real part of  $\sigma$  can occur, if the system is in a state of overpopulation, i. e. if  $\partial f_0 / \partial p > 0$ , where  $f_0$  is the momentum distribution function of the free carriers. Furthermore, the collision frequency or the mass of the carriers must be dependent on the momentum  $p$ .

In der vorliegenden Arbeit soll untersucht werden, unter welchen Bedingungen der Realteil der elektrischen Leitfähigkeit eines Plasmas in einem Magnetfeld negative Werte annehmen kann. In diesem Fall würde das Plasma auf eine einfallende elektromagnetische Welle eine negative Dämpfung ausüben, so daß die Möglichkeit besteht, ein Plasma als Verstärker und Generator von Mikrowellen zu verwenden. Als Plasmen kommen einmal ionisierte Gase in Betracht, aber im übertragenen Sinne auch Halbleiter und Metalle.

Bekanntlich umlaufen geladene Teilchen in einem homogenen Magnetfeld die Feldlinien auf Spiralfbahnen, mit der Zyklotronkreisfrequenz

$$\omega_c = e B / m c,$$

$e$  und  $m$  Ladung und Masse des Teilchens,  
 $B$  Stärke des Magnetfeldes,  
 $c$  Lichtgeschwindigkeit.

Ein im thermischen Gleichgewicht befindliches Plasma wird einem elektrischen Wechselfeld der Kreisfrequenz  $\omega$ , welches senkrecht zum statischen Magnetfeld polarisiert ist, im Resonanzfall  $\omega = \omega_c$  Energie entziehen. Über die Theorie dieser Zyklotronresonanz liegen eine Reihe von eingehenden Un-

tersuchungen<sup>1</sup> vor. Die elektrischen Eigenschaften eines Plasmas werden am zweckmäßigsten durch die komplexe elektrische Leitfähigkeit beschrieben. Der folgende Abschnitt bringt eine einfache Ableitung dieser Größe.

### Die BOLTZMANNSCHE TRANSPORTGLEICHUNG

Ausgangspunkt für eine Berechnung der elektrischen Leitfähigkeit eines Plasmas nach statistischen Methoden ist die BOLTZMANNSCHE TRANSPORTGLEICHUNG<sup>2</sup>. Diese ist die Differentialgleichung der Impulsverteilungsfunktion  $f$  der freien Ladungsträger. Bei Abwesenheit äußerer Kräfte sei  $f$  kugelsymmetrisch, d. h. nur vom Betrage  $p$  des Impulses abhängig. Unter dem Einfluß eines äußeren homogenen elektrischen Feldes werden die Ladungen eine Beschleunigung in einer bestimmten Richtung erhalten, so daß die so gestörte Verteilungsfunktion nicht länger kugelsymmetrisch sein wird. Das heißt nichts anderes als daß sich im Plasma ein makroskopischer elektrischer Strom gebildet hat. Dieser soll jetzt berechnet werden.

Die BOLTZMANNSCHE TRANSPORTGLEICHUNG der Verteilungsfunktion  $f$  des Impulses  $p$  der Ladungsträger

<sup>1</sup> L. G. H. HUXLEY, Proc. Phys. Soc., Lond. B **64**, 844 [1951]. — R. JANCEL u. T. KAHAN, J. Phys. Radium **14**, 533 [1953]. — W. P. ALLIS, in Handbuch der Physik XXI, Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1956. — D. C. KELLY, H. MARGENAU u. S. C. BROWN, Phys. Rev. **108**, 1367 [1957].

— J. SCHNEIDER u. F. W. HOFMANN, Phys. Rev. **116**, 244 [1959]. Diese Arbeiten behandeln Zyklotronresonanz in schwach ionisierten Gasen. Für Festkörper siehe: B. LAX, Rev. Mod. Phys. **30**, 122 [1958].

<sup>2</sup> siehe z. B.: C. KITTEL, Elementary Statistical Physics, Wiley & Sons, New York 1958.