

# SONNENTÄTIGKEIT, SONNENSTRAHLUNG, LUFTTEMPERATUR UND ERDMAGNETISCHE AKTIVITÄT IM VERLAUF EINER SONNENROTATION.

VON G. ANGENHEISTER.  
(Vorläufige Mitteilung.)

Zusammenhänge zwischen der Sonnentätigkeit einerseits und der Sonnenstrahlung, Lufttemperatur und Erdmagnetismus andererseits sind zweifellos vorhanden. Es ist jedoch noch nicht zweifelsfrei festgestellt, wie diese Zusammenhänge physikalisch zu erklären sind, und ob gesteigerter Sonnentätigkeit immer erhöhte oder erniedrigte Sonnenstrahlung, Lufttemperatur und erdmagnetische Feldstärke entspricht. Nach Abbot deuten die Solarkonstantenmessungen von Mt. Wilson darauf hin, dass in der elfjährigen Periode eine gesteigerte Sonnentätigkeit von einer gesteigerten Sonnenstrahlung begleitet ist.<sup>1</sup> Die Lufttemperatur der Erde ist zur Zeit gesteigerter Sonnentätigkeit niedriger. Wir hätten nach Abbot also zur Zeit erhöhter Sonnentätigkeit und Sonnenstrahlung erniedrigte Lufttemperatur auf der Erde. Es liesse sich dies vielleicht erklären durch ein zu dieser Zeit erhöhtes Albedo der Erde, durch eine verstärkte Cirrenschicht, die die Sonnenstrahlung stärker rückstrahlt. Tatsächlich wurde zur Zeit der Maxima der Sonnentätigkeit eine Zunahme der Cirrenhäufigkeit beobachtet und eine quantitative Ueberlegung an der Hand des Stefan-Boltzmannschen Strahlungsgesetzes zeigte mir, dass die hierdurch gesteigerte Rückstrahlung sehr wohl die Abnahme der effectiven Lufttemperatur der Erde erklären könnte.

Um die Frage nach diesem Zusammenhang zwischen Sonnentätigkeit, Strahlung, Lufttemperatur und Erdmagnetismus näher zu untersuchen, schien es mir vorteilhaft, statt der elfjährigen Periode der Sonnentätigkeit die etwa  $26\frac{1}{2}$ tägige synodische Periode der Sonnenrotation zu Grund zu legen.

Besonders günstig für diese Untersuchung erwiesen sich Zeiten geringer Sonnentätigkeit, wo der grösste Teil der Sonne von Flecken und Fackeln frei erschien, und die Centren gesteigerter Tätigkeit (Flecken etc.) sich auf relativ geringen Raum der Sonnenoberfläche zusammendrängten. Dieser Umstand ermöglichte es, mehrere Rotationen hindurch diese Centren und etwaige Wirkungen derselben zu verfolgen.

<sup>1</sup>Im Gegensatz hierzu war nach Bigelow im Fleckenmaximum 1917 die Solarkonstante nach Messungen in Quilaca und Cordoba kleiner als im Minimum 1913.

## I. METHODE DER VERGLEICHUNG.

(a) *Mass der Sonnentätigkeit.*

Als Mass für die Tätigkeit des unteren Niveau der Sonnenatmosphäre sind die Sonnenfleckenzahlen für einen jeden Tag (nach Wolfer, *Meteorologische Zeitschrift*) oder die relativen Areale der Flecken (nach *Bol. mens. del Obs. del Ebro*) geeignet; für das obere Niveau die relativen Areale der Foculi für einen jeden Tag nach den spektroheliographischen Sonnenaufnahmen im Observatorium del Ebro (*Bol. mens.*) oder in Mt. Wilson. (Diese letzteren wurden mir bei meiner Anwesenheit in Mt. Wilson, Juli, 1913, freundlichst zur Verfügung gestellt.) Die Fleckenrelativzahlen und die Foculiareale summieren über die ganze uns zugekehrte Sonnenhälfte. Während der Jahre 1911/12 war die heliographische Breite der Flecken eine sehr konstante und äusserst geringe, fast alle innerhalb  $15^\circ$ . Um die Lage der Foculi gegenüber dem Centralmeridian der Sonne beim Ausbruch magnetischer Störungen zu untersuchen, wurden die Durchgangszeiten aller Calcium-Foculi von 1911/12 durch den Centralmeridian mit den Störungstagen verglichen.

(b) *Mass der erdmagnetischen Aktivität.*

Die erdmagnetische Feldstärke kann man ansehen als Resultante von vier Vektoren; vom Vektor des permanenten innerhalb der Erde gelegenen Feldes  $E$ , und den drei Vektoren der in der Atmosphäre gelegenen Felder, nämlich  $T$  dem Vektor des täglichen Variationsfeldes,  $S$  dem Vektor der Störungen, und  $A$  dem Vektor der Nachstörungen. Die drei atmosphärischen Felder  $T$ ,  $S$ ,  $A$  sind in ihrer geographischen Anordnung und in ihrer physikalischen Bedingtheit untereinander verschieden. Gemeinsam ist ihnen, dass ihre Stärke mit der ionisierenden Kraft der Sonnenstrahlung schwankt; besonders gilt dies von  $S$  und  $A$ . Diese beiden sind darum geeignet, Aenderungen der Sonnentätigkeit zu verfolgen.

Als Mass für  $S$  ist die Aktivität  $\left(\frac{f}{T} \int_0^T v^2 dt\right)$  nach Bildlingmaier

oder die internationale Characterzahl geeignet; beides sind Energiedichten von nahe gleichem zeitlichen Verlauf. Als Mass für die Veränderlichkeit von  $A$  können besonders für Stationen niedriger Breite die Tagesmittel der Horizontalintensität dienen, in denen der Vektor der täglichen Variation  $T$  und zum grössten Teil auch der Störungsvektor  $S$  eliminiert ist. Der Vektor  $A$  verläuft wohl für die ganze Erde ähnlich, jedenfalls für Stationen mittlerer und

niederer Breite. Für niedere Breiten ist die Schwankung von  $A$  am stärksten. Bald nach Eintritt einer Störung steigt  $A$  plötzlich an und verschwindet langsam erst nach mehreren Tagen. Die Horizontalintensität und ihr Tagesmittel bewegen sich umgekehrt, sinken plötzlich und kehren langsam zum Normalwert zurück, der oft erst nach vielen Tagen erreicht wird. Als Mass für die erdmagnetische Wirkung der Sonnentätigkeit wurde somit gewählt, für die erste Hälfte von 1911, die Aktivität von Wilhelmshaven (nach den Ergebnissen d. magn. Beobachtungen Wilhelmshaven 1911, Neue Folge Heft 2); ferner für die anderen Jahre die internationalen Characterzahlen im Mittel aller Stationen der Erde. Zum Vergleich des Vektors  $A$  wurden die Tagesmittel der Horizontalintensität in Apia, in Honolulu, und Tucson, Arizona, benutzt.

(c) *Mass für die Sonnenstrahlung.*

Von den meteorologischen Elementen kann man wohl am ehesten bei der Maximumtemperatur der Luft einen Einfluss der Sonnentätigkeit erwarten, und zwar um so mehr, je einfacher die meteorologischen Verhältnisse des Ortes sind, und je weniger sie durch Bewölkung und Regen compliciert werden. Es wurden daher 5 Wüstenstationen aus Egypten und dem Sudan, ferner 5 Stationen (Wüsten- oder Gebirgsstationen) aus dem Westen der Vereinigten Staaten von Amerika ausgewählt. Auch die aktinometrischen Messungen von Heluan, Egypten, wurden untersucht.

Das direkte Mass für die Sonnenstrahlung bilden natürlich die Solarkonstantenmessungen. Es wurden die Messungen der 2000<sup>m</sup> hoch gelegenen Station Mt. Wilson in Südkalifornien verwendet.

TABELLE 1.

Stationen	Breite	Länge	Höhe	Bewölkung	Regen	Regentage
				Jahresmittel	Jahresmenge	Zahl
<b>AFRICA—</b>	°	°	m		mm	
Dakhla Casis . . .	25 N	29 E	130	0.5	0	0
Wadi Halfa . . . .	22	31	128	0.6	0	0
Atbara . . . . .	18	34	355	0.6	141	8
Kartoum . . . . .	16	33	390	1.5	76	13
Gallabat . . . . .	13	36	767	3.7	809	100
<b>AMERICA—</b>	°	°	Fuss.			
Border . . . . .	41 N	110W	6085	.....	.....	.....
Summit . . . . .	39	121	7017	.....	.....	.....
Santa Fé . . . . .	36	106	7013	.....	.....	.....
El Paso . . . . .	32	106	1100	.....	.....	.....
Tucson . . . . .	32	111	700	.....	.....	.....

## II. RESULTATE DER BEOBSACHTUNG.

Est ist nun zu erwarten, dass die Ursache eventueller Schwankungen in den verschiedenen hier zu untersuchenden Vorgängen der Sonnentätigkeit, des Erdmagnetismus, der Sonnenstrahlung und der Lufttemperatur nicht im selben Sonnenniveau ihren Sitz haben und sich daher mit verschiedener Rotationsdauer wiederholen; es musste deshalb zunächst eine angenäherte mittlere Rotationsdauer gewählt werden. Nach angestellten Versuchen schien  $26\frac{1}{2}$  Tage die geeignetste Zeit zu sein.

Die oben erwähnten Relativzahlen, Temperaturen etc., wurden nun nach 26 oder 27tägigen Perioden geordnet. Die Temperaturen wurden von ihrem jahreszeitlichen, die Horizontal-Intensität von ihrem säkularen Gang befreit; dann wurden mehrere aufeinander folgenden Rotationen übereinander gelagert und zu einer mittleren Periode vereinigt. Doch wurden nicht mehr als 6 Perioden zusammengefasst, damit eine Ungenauigkeit in der Periodenlänge nicht zu grossen Einfluss gewinnen konnte. Auch erhält sich eine gegebene Verteilung der aktiven Centren der Sonnentätigkeit auf ihrer Oberfläche kaum länger. Und gerade eine solche Verteilung z. B., in eine fleckenreiche und eine fleckenarme Sonnenhälfte ist unserer Untersuchung so sehr günstig. Es wurden Zeiten geringer Sonnentätigkeit und stark gestörte untersucht. Besonders geeignet erwiesen sich beide Halbjahre 1911 und die II. Hälfte 1915 und 1916. In diesen Jahren zeigte sich eine wohl ausgesprochene Sonnenrotationsperiode von etwa  $26\frac{1}{2}$  Tagen in den Flecken- und Floculiarealen und Relativzahlen; ebenso in den magnetischen Characterzahlen und der Horizontal-Intensität. Für 1911 auch in den Lufttemperaturen; für 1915 fehlten mir die entsprechenden Beobachtungsdaten der Lufttemperatur. Für die afrikanischen Stationen sind sie noch nicht veröffentlicht. Für die amerikanischen Stationen waren sie mir zur Zeit nicht zugänglich; zum Ersatz wurden Maximum-Temperaturen von del Ebro untersucht. Sie zeigten jedoch nur eine wenig ausgesprochene Periode. Die Solarkonstantenmessungen zeigten 1911 keine deutliche Periode, wohl dagegen 1915 und 1916. Für 1915 hat Abbot sie schon mit Hülfe des Correlationskoeffizienten festgestellt.

Die verschiedenen Jahre zeigen nun zwar zweifelsfrei, dass zu gewissen günstigen Zeiten in der Sonnenstrahlung, Lufttemperatur und Erdmagnetismus periodische Schwankungen von der ungefähren Länge der synodischen Sonnenrotation für die Breite des Sonnenaquators vorhanden sind. Sie zeigen aber andererseits, dass diese Schwankungen nicht in einer konstanten Beziehung zu

der Lage der Sonnenflecken und Fackeln auf der Sonnenoberfläche stehen, etwa in der Weise, dass die Strahlung oder Lufttemperatur oder erdmagnetische Ruhe immer am grössten ist, wenn uns die an Flecken und Fackeln ärmere Sonnenhälfte zugekehrt ist.

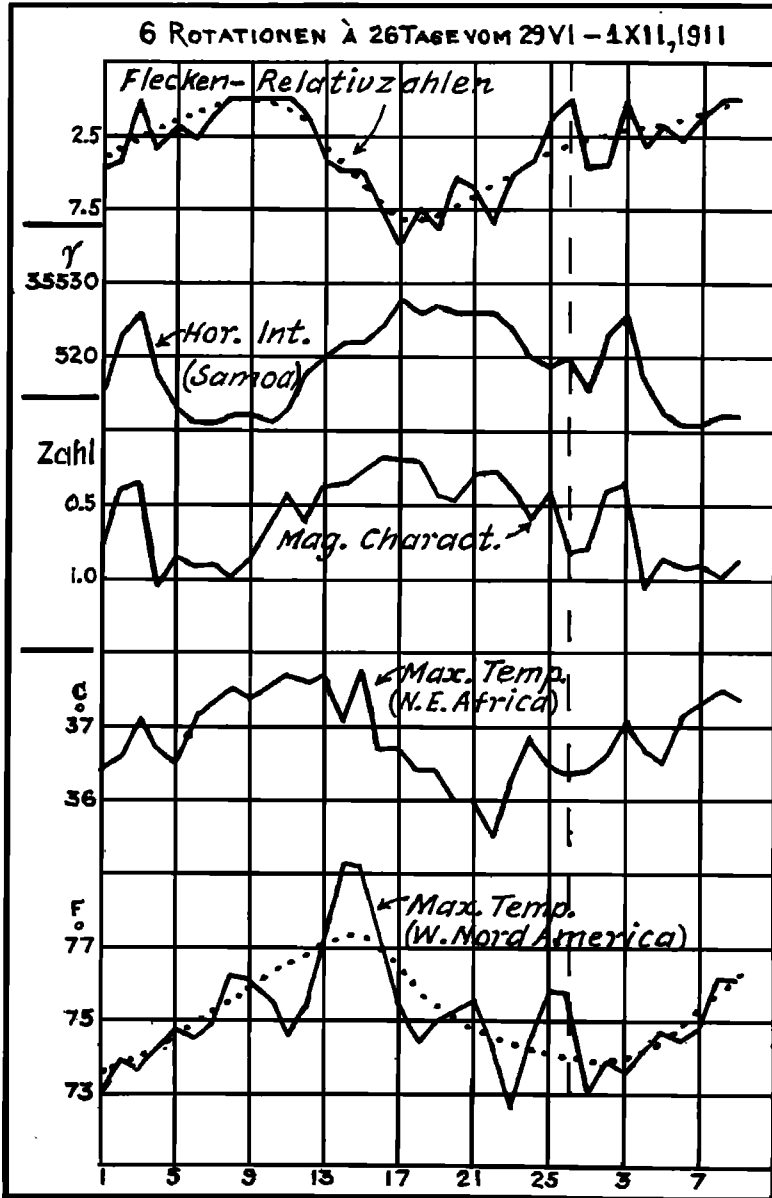
(a) *Erdmagnetismus.*

Es ergab sich vielmehr, dass im Verlauf einer Rotation 1911 der fleckenärmeren Sonnenhälfte die grössere, 1915 die geringere erdmagnetische Gestörtheit entsprach, während 1916 das Maximum der erdmagnetischen Gestörtheit dem Fleckenmaximum um etwa  $\frac{1}{4}$  Periodenlänge voraneilte. Man kann demnach Flecken (Fackeln) und magnetische Störungen nicht derart einander zuordnen, dass jedesmal beim Passieren eines Fleckes (Fackel) durch einen bestimmten Sonnenmeridian eine magnetische Störung hervorgerufen wird. Es scheint vielmehr, dass die Störungsquelle auf der Sonne, mag sie auch immerhin zunächst von einem Flecke ausgehen und gleichzeitig mit ihm entstehen, sich späterhin in höhere Schichten der Sonnenatmosphäre verlegt und sich dort viele Rotationen hindurch erhält. Infolge der grösseren Rotationsgeschwindigkeit dort eilt sie den tiefer liegenden Flecken voraus und verschiebt sich so in fleckenärmere Gegenden. 1911 waren zweifellos die magnetischen Störungen am häufigsten, wenn uns die fleckenärmere Sonnenhälfte, oft ganz fleckenfrei, zugekehrt war. Die Zahl der Durchgänge der Foculi durch den Centralmeridian der Sonne war 1911 und 1912 am kleinsten, wenn die Störungen am häufigsten waren. Die Störungsquellen waren damals wohl kaum noch die Flecken oder Fackeln. Die Störungsquellen auf der Sonne wenigstens im Jahre 1911 scheinen danach den bisherigen photographischen und spektroheliographischen Aufnahmen zu entgehen.

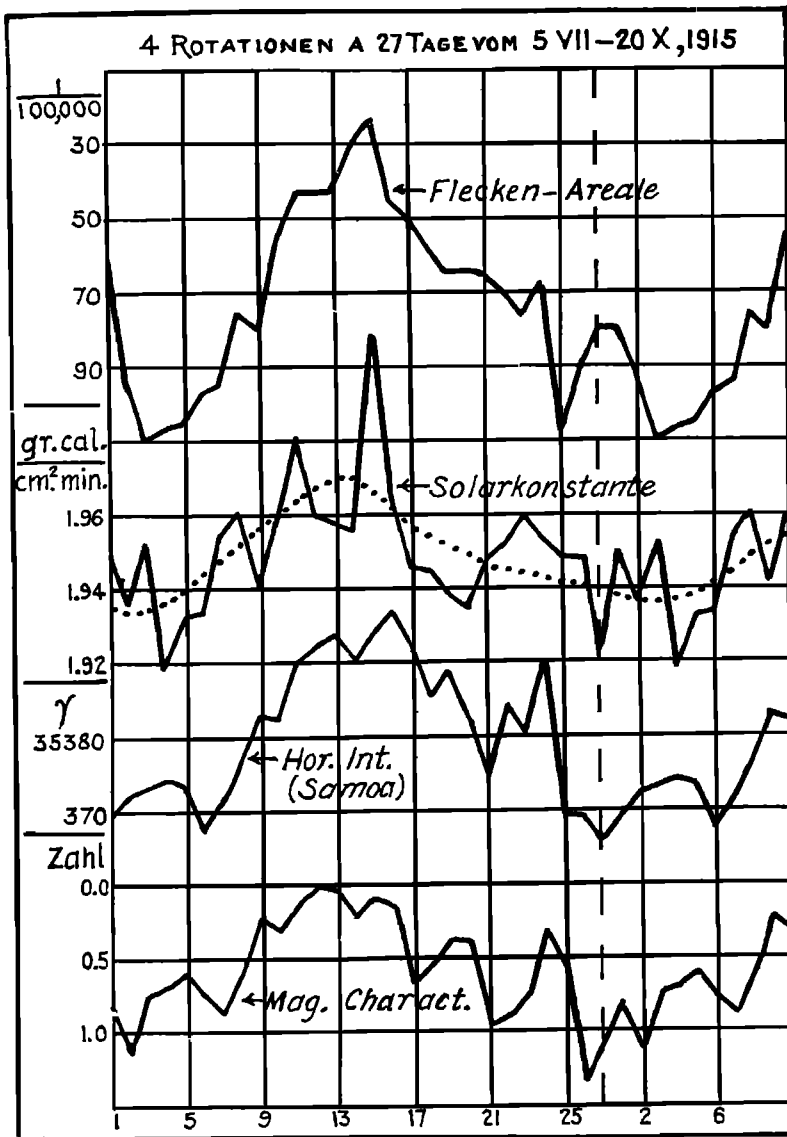
(b) *Sonnenstrahlung.*

Zur Zeit, da uns im Verlauf der Rotationen die fleckenärmere Sonnenseite zugekehrt war, zeigte die Solarkonstante 1915 die höheren (+2%), 1916 die geringeren Werte (−1%). Die Periode ist jedoch nicht so ausgesprochen wie beim Erdmagnetismus. Auch ist das vorliegende Material für solche Fragen noch recht lückenhaft. Es scheint nach den vorliegenden Beobachtungen, dass die verminderte Strahlung der Fleckenareale nicht für eine Schwankung der Solarkonstante verantwortlich ist. Dies ist auch von vorneherein nicht zu erwarten, da selbst bei 50% Abnahme der Sonnenstrahlung in den Fleckenarealen selbst bei dem grössten Fleckenmaximum kaum ein  $\frac{1}{10}$ % Abnahme der Solarkonstante zu erwarten wäre. Die Amplitude der beobachteten 26½-tägigen

Schwankung betrug aber 1–2%. Da einmal die an Flecken und Fackeln ärmere Sonnenhälfte als die wärmere erscheint, ein andermal als die kältere, so kann man die Ursache dieser Schwankungen wohl nicht direkt in den Flecken und Fackeln suchen.



FIGUR 1.

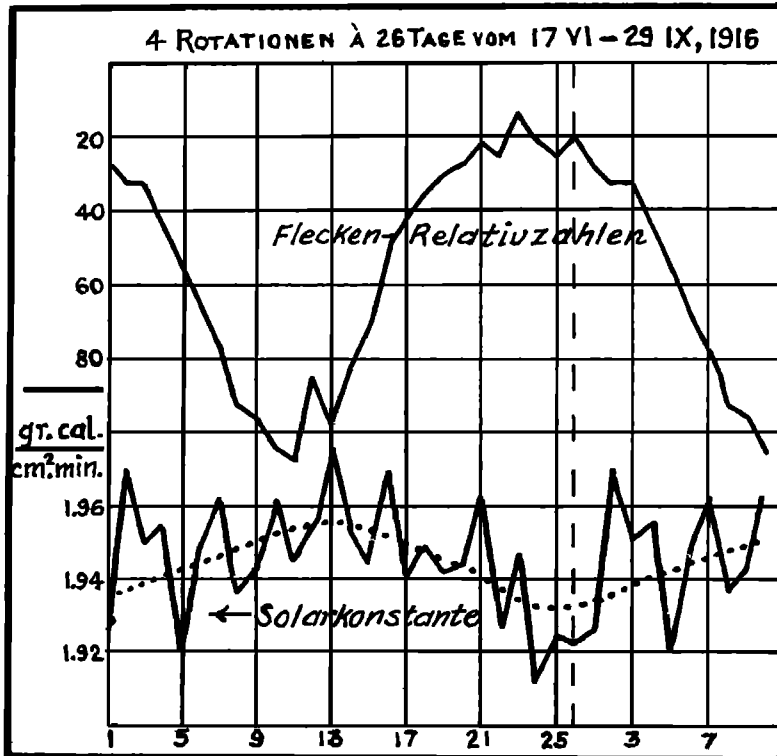


FIGUR 2.

(c) *Lufttemperatur.*

Eine gute ausgesprochene Periode der Lufttemperatur war 1911 vorhanden. Das Maximum der Temperatur trat an den afrikanischen Stationen ein, wenn uns die fleckenärmere Sonnenhälfte zugekehrt war; an den amerikanischen einige Tage später. Leider zeigte die Solarkonstante 1911 keine genügend deutlich ausge-

sprochene  $26\frac{1}{2}$ tägige Periode. 1915 zeigte die Lufttemperatur von del Ebro eine weniger gut ausgesprochene  $26\frac{1}{2}$ tägige Periode von etwa  $1\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$  Amplitude. Das Maximum der Lufttemperatur lag einige Tage später als das Minimum der Flecken (wie 1911) und das Maximum der Solarkonstanten. Die Amplitude der gleichzeitigen Schwankung der Solarkonstanten betrug etwa 2%. Nach dem Stefan Bolzmanschen Gesetze  $I = \delta T^4$  würde dem etwa



FIGUR 3.

eine Aenderung der effektiven Lufttemperatur der Erde von etwa  $1^{\circ}\text{C}$  entsprechen. Die Schwankung der Lufttemperatur liesse sich also wohl durch die der Strahlung erklären; auch ist die mehrtägige Verzögerung des Maximums der Temperatur gegenüber dem der Strahlung leicht erklärbar.

Die Tabelle gibt die genaueren Zahlenwerte für die Schwankungen während der  $26\frac{1}{2}$ tägigen Sonnenrotationsperiode. Zum Vergleich sind einige Zahlenwerte aus der 11jährigen Periode der Sonnentätigkeit beigefügt.



TABELLE 2.

*Differenzen zwischen den Werten zur Zeit des Fleckenmaximums und Minimums.*

	26½-tägige Periode der Sonnenrotation			11-jährige Periode der Sonnen-tätigkeit		
	A-B 1911	A-B 1915	A-B 1916	C-D 1893-1901	C-D 1906-1913	C-D 1917-1918
Flecken-Relativzahlen nach Wolfer .....	+12	.....	+100	+85	+50	+98
Flecken-Areale in $10^{10}$ d. Hemisph. nach del Ebro .....	.....	+70	.....	.....	.....	+117
Floculi-Areale in $10^{10}$ d. Hemisph. nach del Ebro .....	.....	+40	.....	.....	.....	+98
Magn. Charact. ....	-0.7	+1.0	+0.3	.....	+0.2	+0.2
Hor.-Intensität in Gamma = $10^{-5}$ c.g.s. .	+18	-27	+20	.....	.....	.....
Solarkonstante in gr. cal/cm <sup>2</sup> min nach Mt. Wilson .....	-0.02?	-0.04	+0.02	.....	+0.03	.....
Solarkonstante nach Cordoba und Quiaca. ....	.....	.....	.....	.....	.....	-0.15
Max.-Temp. in C° NE Africa .....	-1.9	.....	.....	-0.9	.....	.....
Max.-Temp. in C° del Elbro .....	?	-1.5?	.....	.....	.....	-0.3
Max.-Tem. in C° Samoa	?	?	.....	-0.8	-1.0	-1.1

*Bemerkungen.*

A—mittleres Tagesmittel zur Zeit des Fleckenmaximums im Verlauf der Sonnenrotation.

B—mittleres Tagesmittel zur Zeit des Fleckenminimums im Verlauf der Sonnenrotation.

C—Jahresmittel zur Zeit des Fleckenmaximums im Verlauf der 11-jährigen Periode.

D—Jahresmittel zur Zeit des Fleckenminimums im Verlauf der 11-jährigen Periode.

? bedeutet, dass die Periode nicht klar ausgesprochen ist.

Wenn die Extreme nicht mit denen der Sonnentätigkeit zusammenfallen, so ist das Vorzeichen fortgelassen.

Die Lücken sind entstanden, weil bisher kein Beobachtungsmaterial dieser Zeit veröffentlicht, oder mir hier nicht zugänglich war.

Als Ergebnis dieser Untersuchung lässt sich aussprechen: Sonnentätigkeit, Sonnenstrahlung und Erdmagnetismus zeigen periodische Schwankungen von 26 bis 27 Tagen Länge, also von der Länge der synodischen Rotationszeit der Sonne im Sonnenaequator. Die Phasen der Schwankungen in der Sonnenstrahlung und dem Erdmagnetismus stehen jedoch in keiner konstanten Beziehung zu den Eintrittszeiten der Exremwerte der Sonnentätigkeit gemessen an Flecken und Fackeln. Die Flecken und Fackeln auf der Sonnenoberfläche sind daher wohl kaum die unmittelbare Ursache der etwa 26½tägigen periodischen Schwankung in der Sonnenstrahlung und dem Erdmagnetismus.

---

#### UEBER DIE FORTPFLANZUNGS-GESCHWINDIGKEIT ERDMAGNETISCHER STÖRUNGEN UND PULSATIONEN.

(Auszug aus den Berichten über die erdmagnetische Schnell- und Feinregistrierung in Apia, Batavia, Cheltenham und Tsingtau im September 1911 und Oktober 1912.)

VON G. ANGENHEISTER.

Die Aufgabe der erdmagnetischen Beobachtung ist eine zweifache: Erstens die Ermittlung der geographischen Verteilung des erdmagnetischen Feldes durch eine magnetische Vermessung der Länder und Meere. Landesvermessungen und besonders die zahlreichen Expeditionen und Seereisen dienen diesem Zwecke. Die zweite Aufgabe ist die Verfolgung der zeitlichen Veränderungen dieses erdmagnetischen Feldes durch fortlaufende photographische Registrierungen der erdmagnetischen Elemente, die durch absolute Messungen kontrolliert werden. Ein Netz von erdmagnetischen Observatorien, verbreitet über die ganze Erde, sucht dies zu erfüllen.

Die erste Aufgabe, die Vermessung, erfuhr in den letzten 15 Jahren eine ausserordentliche Förderung in den zahlreichen Landexpeditionen und Seereisen, die durch die Carnegie Institution zu Washington ausgeführt wurden. Der besondere Zweck derselben war, für die unvermessenen und nur unsicher erforschten Länder und Meere die nötigen Beobachtungen zu beschaffen. In den nächsten Jahren wird diese gründliche Vermessung der gesamten Erde im allgemeinen vollendet sein.

Die Verteilung der erdmagnetischen Observatorien, die der zweiten Aufgabe, der zeitlichen Verfolgung des erdmagnetischen