

**Güneş leke eğrisinin simetrisizliği**  
**Die Asymmetrie der Sonnenfleckenkurve\***

von W. GLEISSBERG

(Observatorium der Universität Istanbul)

**Özet:** Onbir yıllık Güneş leke eğrisinin simetrisizliğinin evvelce kullanılan tarifi ([1], s. 47) uygun görülmediğinden bunun yerine bu travayda aşağıdaki tarif konulmuştur:

$$A_1 = \frac{U - T}{U + T};$$

burada  $T$  minimumdan maksimuma kadar geçen zamanı ve  $U$  maksimumdan ardışık minimuma kadar geçen zamanı göstermektedir. Galilei'nin zamanından beri geçen onbir yıllık leke sikillerinin her biri için bu simetrisizliğin değeri I numaralı cetvelin üçüncü sütununda bildirilmiştir; bu değerlerde ortalama olarak sürekli bir artış başgöstermektedir. Bu artış

$$A'_1 = A_1 - 0.0122 (n + 6)$$

formülü yardımıyla yok edilebilir; burada  $n$  leke siklinin Zürich numarasını ifade etmektedir. Sürekli artıştan kurtarılmış  $A'_1$  değerleri I cetvelin dördüncü sütununda bildirilmiştir.  $A'_1$  değerlerine seküler düzenlenme metodunun ([5] veya [1], s. 36 — 38) tatbiki ile I numaralı cetvelin son sütunundaki ( $A'_1$ )<sub>s</sub> değerleri elde edilmiştir. Bunlarda seksen yıllık leke siklinin görünmesi onbir yıllık leke sikillerinin simetrisizliğinde görülen sürekli artışın realitesini ispatlamaktadır.

\* \* \*

**Summary:** In order to avoid some inconvenience of the former definition ([1], p. 47) a new definition of the asymmetry of the sunspot curve of the eleven-year solar cycle is given by the following equation:

$$A_1 = \frac{U - T}{U + T},$$

where  $T$  denotes the interval from minimum to maximum and  $U$  the interval from maximum to the next minimum. The values of this asymmetry are given in the third column of Table I for all eleven-year cycles since the time of Galileo; these values show, on an average, a progressive increase. This increase can be eliminated by using the following formula:

$$A'_1 = A_1 - 0.0122 (n + 6),$$

where  $n$  denotes the number of the eleven-year cycle in the Zürich numbering. The values of  $A'_1$  are shown in the fourth column of Table I. The secularly smoothed values [5] of  $A'_1$  as given in the last column of Table I reveal the eighty-year solar cycle. This may be considered as proving the reality of the progressive increase of the asymmetry of the eleven-year solar cycles since the time of Galileo.

\* Erweiterte Fassung eines am 9. September 1954 in Tübingen auf der Tagung der Astronomischen Gesellschaft gehaltenen Vortrags.

**1. Einleitung.** Es ist bekannt, dass im Verlaufe des elfjährigen Sonnenfleckenzyklus das Maximum der Sonnenfleckenhäufigkeit nicht genau in der Mitte zwischen zwei Minima einzutreten pflegt; die Sonnenfleckenkurve, d. h. die zwischen je zwei Minima liegende Kurve der ausgeglichenen Monatsmittel der Wolf'schen Sonnenflecken-Relativzahlen, hat daher gewöhnlich eine unsymmetrische Gestalt. Meist liegt das Maximum vor der Mitte des Zyklus, so dass der Anstieg der Fleckenhäufigkeit vom Minimum zum Maximum rascher erfolgt als der Abstieg vom Maximum zum Minimum. Zuweilen tritt aber auch das Gegenteil ein. Untersuchen wir an Hand einer Tabelle aller seit Entdeckung der Sonnenflecken durch Galilei bisher eingetretenen Minima und Maxima der Sonnenfleckenhäufigkeit (vgl. [1], S. 29, Tabelle 5) die Lage der Maxima zwischen den benachbarten Minima, so finden wir, dass es unter den seit Galileis Entdeckung bis 1944 abgelaufenen 30 elfjährigen Sonnenfleckenzyklen nur 9 gibt, in denen das Maximum erst in der zweiten Hälfte des Zyklus eingetreten ist, während es zwanzigmal in die erste Hälfte des Zyklus gefallen und einmal genau mit der Mitte des Zyklus zusammengefallen ist. Betrachten wir nun die Verteilung der 9 Zyklen, in denen das Maximum erst nach der Mitte des Zyklus eingetreten ist, innerhalb der gesamten Folge von 30 Zyklen, so bemerken wir, dass Zyklen mit verspätetem Maximum in älteren Zeiten verhältnismässig häufig vorkamen, während sie in neuerer Zeit sehr selten geworden sind und schliesslich ganz aufgehört haben. In der Tat ist seit 1829 kein einziges Maximum mehr vorgekommen, das erst in die zweite Hälfte des Zyklus gefallen wäre. Dieser Sachverhalt legt die Vermutung nahe, dass die Lage des Maximums innerhalb des elfjährigen Fleckenzyklus und somit die Gestalt der Sonnenfleckenkurve allmählich eine Änderung erfahren hat. Zu einer Untersuchung darüber, ob diese Vermutung zutrifft oder nicht, bedarf es zunächst einer zahlenmässigen Angabe, durch die die Asymmetrie in der Gestalt der Sonnenfleckenkurve charakterisiert wird.

**2. Die bisher veröffentlichten Resultate.** Bezeichnet  $T$  die Anstiegszeit vom Minimum zum Maximum und  $U$  die Abstiegszeit vom Maximum zum Minimum, so bildet das Verhältnis  $T:U$  ein Mass für die Asymmetrie der Sonnenfleckenkurve. Es ist hier (wie auch im folgenden stets) gleichgültig, in welcher Zeiteinheit  $T$  und  $U$  ausgedrückt werden, da immer nur ihr Verhältnis eine Rolle spielt. Das Verhältnis  $T:U$  selbst kann jedoch nicht ohne weiteres als Asymmetrie bezeichnet werden, weil es im Falle  $T=U$  den Wert 1 annimmt, obwohl doch in diesem Falle, wenn das Maximum genau in der Mitte zwischen den benachbarten Minima liegt, eine Asymmetrie nicht vorhanden ist und daher die Asymmetrie hier den Wert 0 haben müsste. Ich habe deshalb früher die Asymmetrie der Sonnenfleckenkurve durch

$$A = 1 \quad (1)$$

definiert und die Werte der so definierten Asymmetrie für die seit Galileis Entdeckung der Sonnenflecken im Jahre 1610 bis zum Minimum von 1944 abgelaufenen 30 elfjährigen Zyklen berechnet ([1], S. 47, Tabelle 9). Tritt das Maximum, wie in der Mehrzahl der Zyklen, schon in der ersten Hälfte des Zyklus ein, so ist  $T < U$  und daher  $A > 0$ ; fällt es hingegen in die zweite Hälfte des Zyklus, so ist  $T > U$  und somit  $A < 0$ . Zur Beantwortung der Frage, ob seit Galileis Zeiten eine systematische Aenderung der Asymmetrie der Sonnenfleckenkurve eingetreten ist oder nicht, teilte ich die seit jenen Zeiten bis 1944 abgelaufenen 30 elfjährigen Zyklen in 3 Gruppen zu je 10 Zyklen ein; die erste Gruppe reicht vom Minimum von 1610 bis zum Minimum von 1723, die zweite von dort bis zum Minimum von 1833 und die dritte von dort bis zum Minimum von 1944. Als Mittelwert der Asymmetrie ergibt sich in der ersten Zyklengruppe, also für die ersten 10 Zyklen,  $-0.10$ , in der zweiten Gruppe  $+0.12$  und in der letzten Gruppe  $+0.36$  (vgl. [1], S. 47, Tabelle 9, letzte Zeile). Die Asymmetrie der Sonnenfleckenkurve ist also von Gruppe zu Gruppe durchschnittlich gewachsen. Fasst man innerhalb jeder Gruppe von 10 elfjährigen Fleckenzyklen die Differenzen zwischen der für jeden einzelnen Zyklus berechneten Asymmetrie und ihrem für diese Zyklengruppe erhaltenen Mittelwert als zufällige Fehler auf, so erhält man als mittleren Fehler des Mittelwerts der Asymmetrie in den 3 Gruppen von je 10 elfjährigen Zyklen der Reihe nach:  $\pm 0.12$ ,  $\pm 0.13$ ,  $\pm 0.05$ . Die Zunahme des Mittelwertes der Asymmetrie von Gruppe zu Gruppe ist also beträchtlich grösser als die mittleren Fehler dieser Mittelwerte; daher schien es gerechtfertigt, aus dem zur Verfügung stehenden Beobachtungsmaterial auf eine fortschreitende Zunahme der Asymmetrie der Sonnenfleckenkurve zu schliessen. Da immerhin die Möglichkeit bestand, dass dieses Resultat durch die willkürliche Einteilung des Beobachtungsmaterials in 3 Gruppen zu je 10 Zyklen beeinflusst sein könnte, untersuchte Kiral [2] das Verhalten der Mittelwerte der Asymmetrie bei Vornahme anderer Gruppierungen. Er konnte zeigen, dass auch dann, wenn man die 30 Zyklen in 4 Gruppen zu je 7 Zyklen (unter Weglassung des ersten und des letzten Zyklus) oder in 5 Gruppen zu je 6 Zyklen einteilt und jeweils den Mittelwert der Asymmetrie  $A$  für die so gebildeten Zyklengruppen berechnet, eine fortschreitende Zunahme der mittleren Asymmetrie von Gruppe zu Gruppe augenfällig hervortritt. Durch dieses von Kiral erhaltene Resultat wurde also meine Annahme einer systematischen Aenderung der Gestalt der Sonnenfleckenkurve im Laufe der letzten 350 Jahre bestätigt.

**3. Einwände gegen diese Resultate.** Gegen die Beweiskraft obiger Argumentation lassen sich jedoch gewisse Bedenken ins Treffen führen. Zunächst erweist sich die benutzte Definition der Asymmetrie insofern als unzuweckmässig, als sie bei der Mittelbildung den negativen Werten ein stärkeres Gewicht verleiht als den positiven. Da

nämlich die Anstiegszeit  $T$  und die Abstiegszeit  $U$  stets positiv sind, so gibt es für  $A$  nach (1) die obere Grenze  $+1$ , während keine endliche untere Grenze existiert. Daher können in Zyklen mit negativer Asymmetrie, d. h. wenn das Maximum in die zweite Hälfte des Zyklus fällt, viel grössere Absolutwerte der Asymmetrie auftreten als in Zyklen mit positiver Asymmetrie. Nehmen wir als Beispiel den elfjährigen Zyklus, der unter allen bisher beobachteten Fleckenzyklen die grösste positive Asymmetrie aufzuweisen hat; sein Maximum ist im Jahre 1788 eingetreten, und er trägt in der Züricher Numerierung der elfjährigen Zyklen die Nummer 4. In ihm dauerte der Anstieg vom Minimum zum Maximum nur 3.4 Jahre, der Abstieg vom Maximum zum Minimum hingegen 10.2 Jahre. Es war dort also  $U = 3T$ , und seine Asymmetrie beläuft sich nach (1) auf  $A = +0.67$ . Stellen wir uns nun vor, in diesem Zyklus würden Anstiegs- und Abstiegszeit miteinander vertauscht, der Anstieg dauere also 10.2 Jahre und der Abstieg nur 3.4 Jahre, so würde offensichtlich die Sonnenfleckenkurve des Zyklus die spiegelbildlich entsprechende Gestalt annehmen, indem einfach ihr Anfang und ihr Ende miteinander vertauscht wären. In diesem Falle wäre  $T = 3U$ , und für die Asymmetrie resultierte nach (1) der Wert  $A = -2.00$ . Bildete man dann das Mittel dieser beiden Werte der Asymmetrie, so erhielte man  $-0.67$ , obwohl man wegen der spiegelbildlich umgekehrten Gestalt dieser beiden Sonnenfleckenkurven eigentlich 0 als Mittelwert der beiden Asymmetrien erwarten sollte. An diesem Beispiel wird das Übergewicht deutlich, das den negativen Asymmetriewerten durch die benutzte Definition der Asymmetrie zuteil wird. Da aber die letzte der 3 Gruppen von je 10 elfjährigen Fleckenzyklen, von denen mehrfach die Rede war, keine Zyklen mit negativer Asymmetrie aufweist, so liegt der Verdacht nahe, dass die kleineren Mittelwerte der Asymmetrie in den beiden ersten Gruppen lediglich dem Einfluss des den negativen Asymmetriewerten implizit erteilten grösseren Gewichts zuzuschreiben sein könnten.

Ein Bedenken ganz anderer Art, auf das mich Herr Waldmeier freundlicherweise aufmerksam gemacht hat, entspringt der Unsicherheit in der Festlegung der älteren Epochen der Minima und Maxima der Sonnenfleckenhäufigkeit. Nach Ausweis des Sonnenfleckearchivs der Eidgenössischen Sternwarte Zürich seien, so wurde ich belehrt, im 17. und Anfang des 18. Jahrhunderts die Sonnenfleck Beobachtungen, die Wolf für seine Bestimmung der Epochen der Minima und Maxima zur Verfügung gestanden hätten, stellenweise so spärlich gewesen, dass es verwunderlich sei, wie Wolf die Festlegung dieser Epochen überhaupt möglich geworden sei. Die von Wolf angegebenen älteren Epochen der Minima und Maxima seien demnach nicht zuverlässig genug, als dass die aus ihnen hergeleiteten Werte der Asymmetrie mit denen der neueren Zyklen verglichen werden könnten. Die gefundene Zunahme der Asymmetrie könne also durch die Fehlerhaftigkeit der älteren Asymmetriewerte vorgetäuscht worden

sein. Zwar kenne ich das von Wolf benutzte Beobachtungsmaterial nicht; manche Gesichtspunkte scheinen mir aber dafür zu sprechen, dass die alten Minimums- und Maximumepochen doch nicht so unsicher sind, dass sie für eine Untersuchung des Verhaltens der Asymmetrie unbrauchbar wären. Zunächst hat sich Wolf selbst in irgendeiner Weise ein Urteil über die Sicherheit der von ihm bestimmten Epochen gebildet und ihnen daher Gewichte von 1 bis 10 beigelegt (vgl. [1], S. 29, Tabelle 5). Für die ältesten 10 Zyklen beträgt dieses Gewicht durchschnittlich 2.5, für die mittleren 10 Zyklen 5.9 und für alle neueren Zyklen seit dem Beginn der Beobachtungsreihe von Schwabe (1823) stets 10. Mithin ist nach Wolfs eigenem Dafürhalten der von ihm bei der Bestimmung der ältesten Epochen begangene Fehler nur etwa doppelt so gross gewesen wie bei den aus lückenlosen Beobachtungen hergeleiteten neuen Epochen. Auch die oben (in Abschnitt 2) mitgeteilten mittleren Fehler der Asymmetriewerte in jeder der drei Gruppen von je 10 Zyklen stehen nicht im Widerspruch zu Wolfs eigener Beurteilung.

Der folgende Gesichtspunkt ist allerdings geeignet, die Zweifel an der Zuverlässigkeit der älteren Minimums- und Maximumepochen zu stärken. Wir wissen ja heute, dass es ausser dem von Schwabe entdeckten elfjährigen Zyklus auch noch den achtzigjährigen Fleckenzyklus gibt, der systematische Aenderungen der den Verlauf des elfjährigen Zyklus charakterisierenden Grössen zur Folge hat (vgl. [1], S. 36 ff.). In diesem Zusammenhang, wo Wolfs Geschick in der Auswertung unzureichenden Beobachtungsmaterials zur Diskussion steht, ist vielleicht der Hinweis nicht ohne Interesse, dass Wolf dem achtzigjährigen Zyklus schon 80 Jahre, bevor er an Hand des dann angesammelten, viel reicheren Beobachtungsmaterials einwandfrei nachgewiesen werden konnte, auf die Spur gekommen ist. Es stände nun zu erwarten, dass auch die Asymmetrie dem achtzigjährigen Zyklus unterliegen würde. Unterwirft man aber die Reihe der Werte der Asymmetrie  $A$  der elfjährigen Zyklen einer "säkularen Ausgleichung" (wie sie zuerst in [5] verwendet worden ist), indem man immer vier aufeinanderfolgende Werte zum Mittel zusammenfasst und aus je zwei aufeinanderfolgenden Mittelwerten nochmals das Mittel nimmt, so zeigt sich, dass der achtzigjährige Zyklus kaum erkennbar ist. Dies scheint also doch auf eine erhebliche Unsicherheit der älteren Minimumepochen hinzudeuten.

**4. Neue Definition der Asymmetrie.** Um dem ersten der im vorhergehenden Abschnitt erwähnten Einwände zu begegnen, muss man die in (1) gegebene Definition der Asymmetrie derart abändern, dass sich die Asymmetriewerte irgend zweier Sonnenfleckenkurven, die spiegelbildlich umgekehrten Verlauf zeigen, nur durch das Vorzeichen unterscheiden, also im Mittel den Wert 0 ergeben. Dies wird erreicht, wenn statt (1)

$$A_1 = \frac{U - T}{U + T} \quad (2)$$

als Asymmetrie definiert wird; jetzt ist nämlich offenbar

$$A_1 = \frac{1 - \frac{T}{U}}{1 + \frac{T}{U}} = - \frac{1 - \frac{U}{T}}{1 + \frac{U}{T}}, \quad (3)$$

und da bei spiegelbildlicher Umkehr der Sonnenfleckenkurve das Verhältnis  $T:U$  in seinen reziproken Wert übergeht, so ersieht man aus (3) sofort, dass die neue Asymmetrie  $A_1$  die oben gestellte Forderung erfüllt. Dem oberen Grenzwert  $+1$  entspricht jetzt ein unterer Grenzwert  $-1$ . Die bei der früheren Definition (1) zu bemängelnde höhere Bewertung negativer Asymmetriewerte fällt also bei Verwendung der Definition (2) weg. Ebenso wie (1) liefert auch (2) für Zyklen, in denen das Maximum schon vor der Mitte des Zyklus eintritt ( $T < U$ ), positive Asymmetriewerte, für Zyklen, deren Maximum erst in die zweite Hälfte des Zyklus fällt ( $T > U$ ), negative Asymmetriewerte und für Zyklen, deren Maximum mit der Zyklusmitte zusammen fällt ( $T = U$ ), den Asymmetriewert 0.

Die nach (2) berechneten Werte der Asymmetrie  $A_1$  finden sich in der dritten Spalte der Tabelle I. Ihre erste Spalte enthält die

**Tabelle I.**

**Die Asymmetrie und ihre von fortschreitender Aenderung befreiten und säkular ausgeglichenen Werte.**

$n$	$t_M$	$A_1$	$A'_1$	$(A'_1)_s$
- 12	1615.5	- 0.146	- 0.073	
- 11	1626.0	+ 0.067	+ 0.128	
- 10	1639.5	0.000	+ 0.049	+ 0.109
- 9	1649.0	+ 0.200	+ 0.237	+ 0.076
- 8	1660.0	+ 0.091	+ 0.115	+ 0.001
- 7	1675.0	- 0.333	- 0.321	- 0.026
- 6	1685.0	- 0.100	- 0.100	- 0.062
- 5	1693.0	+ 0.176	+ 0.164	- 0.062
- 4	1705.5	- 0.071	- 0.095	0.000
- 3	1718.2	- 0.078	- 0.115	+ 0.026
- 2	1727.5	+ 0.238	+ 0.189	+ 0.014
- 1	1738.7	+ 0.145	+ 0.084	+ 0.001
0	1750.3	- 0.039	- 0.112	- 0.070
+ 1	1761.5	- 0.115	- 0.200	+ 0.013
2	1769.7	+ 0.289	+ 0.191	+ 0.096
3	1778.4	+ 0.370	+ 0.260	+ 0.150
4	1788.1	+ 0.500	+ 0.378	+ 0.112
5	1805.2	- 0.122	- 0.256	- 0.002
6	1816.4	+ 0.087	- 0.059	- 0.115
7	1829.9	- 0.245	- 0.404	- 0.102
8	1837.2	+ 0.312	+ 0.141	- 0.044
9	1848.1	+ 0.264	+ 0.081	+ 0.050
10	1860.1	+ 0.268	+ 0.073	+ 0.090
11	1870.6	+ 0.419	+ 0.212	+ 0.046
12	1883.9	+ 0.065	- 0.155	+ 0.012
13	1894.1	+ 0.256	+ 0.024	- 0.047
14	1907.0	+ 0.109	- 0.135	- 0.087
15	1917.6	+ 0.200	- 0.056	- 0.094
16	1928.4	+ 0.059	- 0.209	
17	1937.4	+ 0.308	+ 0.027	

Nummer  $n$  des elfjährigen Zyklus in der Züricher Numerierung, die dem Zyklus, dessen Maximum im Jahre 1761 eingetreten ist, die Nummer 1 zuschreibt. Die älteren Zyklen erhalten daher negative Nummern. In der zweiten Spalte wird die Epoche des Maximums angegeben. Teilt man die 30 Zyklen wieder in 3 Gruppen zu je 10 Zyklen ein und bildet für jede dieser Gruppen den Mittelwert der in der dritten Spalte der Tabelle I mitgeteilten Werte der Asymmetrie  $A_1$ , so erhält man

für die ältesten 10 Zyklen :  $A_1 = -0.019 \pm 0.051$  m. F.

für die mittleren 10 Zyklen :  $A_1 = +0.111 \pm 0.076$  m. F.

für die jüngsten 10 Zyklen :  $A_1 = +0.226 \pm 0.037$  m. F.

Die fortschreitende Zunahme der Asymmetrie von Gruppe zu Gruppe bleibt also auch nach Einführung der neuen Definition (2) der Asymmetrie unverändert erhalten. Sie resultierte demnach gewiss nicht daraus, dass bei Verwendung der Definition (1) die negativen Asymmetriewerte mit höherem Gewicht in die Mittelbildung eingegangen waren.

Bildet man aber gleitende Vierermittel der Werte  $A_1$  und nimmt dann aus je zwei aufeinanderfolgenden Vierermitteln nochmals das Mittel, so enthüllt die so vorgenommene säkulare Ausgleichung auch jetzt nicht den Einfluss des achtzigjährigen Zyklus. Es fragt sich, ob die Wirkung des achtzigjährigen Zyklus durch die Unsicherheit der älteren Minimums- und Maximumepochen oder aber durch die fortschreitende Aenderung der Asymmetrie verschleiert wird.

**5. Korrektur der Asymmetrie wegen fortschreitender Aenderung.** Da, wie im vorigen Abschnitt mitgeteilt, der Mittelwert der Asymmetrie  $A_1$  für die ältesten 10 Zyklen  $-0.019$  und für die jüngsten 10 Zyklen  $+0.226$  beträgt, so ergibt sich, wenn wir diesen Unterschied als Folge einer mit der Zeit linear fortschreitenden Aenderung betrachten, eine Aenderung der Asymmetrie  $A_1$  um  $+0.245$  in 20 Zyklen, also um  $+0.0122$  pro Zyklus. Wenn wir also, von irgend einem elfjährigen Zyklus ausgehend, von den Asymmetriewerten der anderen elfjährigen Zyklen Beträge subtrahieren, die das 0.0122 fache der Anzahl der seit jenem Ausgangszyklus verfloßenen Zyklen sind, so wird der Einfluss einer fortschreitenden Aenderung eliminiert. Welcher Zyklus als Ausgangszyklus gewählt wird, ist an sich gleichgültig; ich habe den Zyklus Nr. ( $-6$ ) gewählt, weil bei dieser Wahl das Mittel aller bisher beobachteten, von dem Einfluss der fortschreitenden Änderung befreiten Asymmetriewerte möglichst nahe bei null liegt. Zur Berechnung der in der vierten Spalte der Tabelle I mitgeteilten Werte  $A'_1$  der wegen fortschreitender Änderung korrigierten Asymmetrie diene demnach die Formel

$$A'_1 = A_1 - 0.0122 (n + 6), \quad (4)$$

wo  $n$  die in der ersten Spalte der Tabelle I angegebene Nummer des Zyklus ist.

Wenn man jetzt wieder die Mittelwerte für die ersten 10 Zyklen, die mittleren 10 Zyklen und die letzten 10 Zyklen bildet, so erhält man

$$\text{für die ältesten 10 Zyklen : } A'_1 = - 0.001 \pm 0.053 \text{ m. F. ,}$$

$$\text{für die mittleren 10 Zyklen : } A'_1 = + 0.007 \pm 0.080 \text{ m. F. ,}$$

$$\text{für die jüngsten 10 Zyklen : } A'_1 = 0.000 \pm 0.043 \text{ m. F.}$$

Die fortschreitende Änderung der Asymmetrie ist also tatsächlich durch Anwendung der Formel (4) vollständig eliminiert worden. Ein interessantes Resultat ergibt sich aber, wenn auf die Werte  $A'_i$  die säkulare Ausgleichung angewandt wird. Bildet man nämlich aus den Werten  $A'_i$  der von der fortschreitenden Änderung befreiten Asymmetrie, wie sie sich in der vierten Spalte der Tabelle I angegeben finden, gleitende Vierermittel und nimmt aus je zwei aufeinanderfolgenden Vierermitteln nochmals das Mittel, so erhält man die in der letzten Spalte der Tabelle I aufgeführten Werte  $(A'_i)_s$ . In ihnen tritt eine systematische Schwankung mit 4 Minima und 3 Maxima deutlich zutage. In der Tabelle sind diese Minima und Maxima durch Kursivdruck hervorgehoben worden. Dabei ist auch der letzte Wert von  $(A'_i)_s$  als Minimum gekennzeichnet worden, obwohl der darauffolgende Wert zur Zeit der Abfassung dieser Arbeit noch nicht bekannt war. Sicherlich ist aber das jüngste Minimum nicht vor 1954.3 eingetreten; fiel es auf 1954.3, so hätte im Zyklus Nr. 18 die Asymmetrie  $A_1$  den Wert  $+ 0.347$ . Damit ergäbe sich für diesen Zyklus nach Formel (4):  $A'_1 = + 0.054$  und somit für Zyklus Nr. 16 der säkular ausgeglichene Wert  $(A'_i)_s = - 0.080$ . Dieser ist, da dieser Rechnung der frühestmögliche Termin des jüngsten Minimums zugrunde gelegt worden ist, der kleinste zu erwartende Wert, und da auch er schon grösser ist als  $- 0.094$ , der letzte Wert in der letzten Spalte der Tabelle I, so ist sicher, dass dieser ein Minimum repräsentiert.

Das erste Minimum von  $(A'_i)_s$  fällt in einen der Zyklen Nr. (−6) oder Nr. (−5), das letzte in den Zyklus Nr. 15. Das Intervall zwischen diesen beiden Minima umfasst also 20 oder 21 elfjährige Zyklen, und da dazwischen noch zwei Minima liegen, so hat die in den Werten  $(A'_i)_s$  zutage tretende Schwankung eine durchschnittliche Dauer von etwa 7 elfjährigen Zyklen. Hieraus folgt, dass in den Werten der Asymmetrie  $A_1$  der achtzigjährige Zyklus nicht wegen der Unsicherheit der älteren Minimums- und Maximumepochen unkenntlich geblieben, sondern durch die fortschreitende Änderung der Asymmetrie verschleiert worden ist. Dies lehrt uns zweierlei: erstens ist die Unsicherheit der Epochen der älteren Minima und Maxima nicht so gross, dass sie die dem achtzigjährigen Zyklus der Sonnenfleckenhäufigkeit entsprechende Schwankung der Asymmetriewerte unkenntlich gemacht hätte, und zweitens hat die Asymmetrie der Sonnenfleckenkurve während der letzten  $3 \frac{1}{2}$  Jahrhunderte tatsächlich beständig zugenommen; denn erst nach Abzug dieser Zunahme kommt die



dem achtzigjährigen Fleckenzklus entsprechende Schwankung der Asymmetriewerte zum Vorschein.

**6. Die Vermutung der Existenz eines sehr langen Zyklus der Sonnentätigkeit.** Die Formel (4) kann offensichtlich nur für einen begrenzten Zeitraum anwendbar sein; denn definitionsgemäss liegen  $A_1$  und  $A'_1$  stets zwischen  $-1$  und  $+1$ , und daher darf  $n$  in (4) nicht beliebig gross werden. Vermutlich wird also in (4) der Koeffizient von  $(n + 6)$ , absolut genommen, im Laufe der Jahrhunderte kleiner, und vielleicht wechselt er schliesslich sogar sein Vorzeichen, so dass die bisher beobachtete Zunahme der Asymmetrie in eine Abnahme übergeht. Auf dieser Annahme beruht die von mir geäusserte Vermutung ([1], S. 48), dass die beobachtete Zunahme der Asymmetrie in Wirklichkeit nur eine Phase eines sehr langen Zyklus der Sonnentätigkeit darstellt, dessen Dauer von der Grössenordnung eines Jahrtausends sein dürfte. In diesem Zusammenhang mag darauf hingewiesen werden, dass in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts die Sonnentätigkeit im allgemeinen nur schwach gewesen zu sein scheint, so dass E. W. Maunder [3] von einem ausgedehnten Sonnenfleckenminimum sprechen konnte, das von 1645 bis 1715 gewährt habe. Sicherlich hatten während dieses Zeitraumes die elfjährigen Zyklen nur relativ niedrige Maxima aufzuweisen. Da nach den Waldmeierschen Gesetzen des elfjährigen Zyklus ([4]; vgl. auch [1], S. 30 f.) die Gestalt der Sonnenfleckenkurve von der Höhe des Maximums abhängt, ist wohl die Vermutung am Platze, dass die besonders niedrigen Werte der Asymmetrie der ältesten 10 Zyklen zu der geringen Höhe der damaligen Maxima in Beziehung stehen. Aus der Annahme der Existenz eines sehr langen Zyklus der Sonnenaktivität müsste man dann folgern, dass die langdauernde schwache Sonnenaktivität, wie sie von der Mitte des 17. Jahrhunderts bis in den Anfang des 18. Jahrhunderts hinein beobachtet worden ist, kein einmaliger Vorgang war, sondern sich nach langen Zwischenzeiten wiederholt.

#### Literatur

- [1] W. Gleissberg: Die Häufigkeit der Sonnenflecken. Berlin: Akademie - Verlag 1952.
- [2] A. Kiral: Die Naturwiss., **40**, 477 (1953).
- [3] E. W. Maunder: Journal of the British Astron. Assoc., **32**, 140 (1922).
- [4] M. Waldmeier: Astr. Mitt. Zürich, Nr. 133 (1935).
- [5] W. Gleissberg: Terr. Magnetism and Atmosph. Electricity, **49**, 243 (1944).

*(Manuskript eingegangen am 1. November 1954)*