

Die Korona bei der totalen Sonnenfinsternis vom 31. Juli 1981

Max Waldmeier, Universität Zürich

Die Sonnenfinsternis vom 31. Juli 1981 wurde unter idealen atmosphärischen Bedingungen in der Nähe von Bratsk (Sibirien) beobachtet. Mit einer Kamera von 50 cm Brennweite wurden während der 84 Sekunden dauernden Totalität 16 Aufnahmen der Korona gewonnen, welche zur Untersuchung ihrer Helligkeitsverteilung und ihrer Struktur dienten. Es handelt sich um die Wiederholung eines bei früheren Sonnenfinsternissen abgewickelten Programmes zum Studium der Veränderungen im Verlaufe des solaren Aktivitätszyklus. Die Finsternis hat $1\frac{1}{2}$ Jahre nach dem Sonnenfleckmaximum stattgefunden. Dementsprechend waren die Strahlen vorwiegend geradlinig und radial (Bild 4) wie bei einer Maximumskorona, hingegen zeigen die Isophoten eine starke Abplattung (Bild 7) ähnlich einer Minimumskorona. Beiläufig wurde während der Finsternis der Verlauf der Lufttemperatur registriert. Das Minimum der Temperatur trat 14 Minuten nach der Mitte der Finsternis ein und lag 7° unter der Temperatur, welche ohne Finsternis zu erwarten gewesen wäre (Bild 1).

The Corona at the Total Eclipse of the Sun on July 31, 1981

The eclipse was observed under ideal conditions near Bratsk (Siberia). By a camera of 50 cm focal length 16 pictures were obtained during the totality which lasted for 84 seconds. They were used for the study of the light distribution and the structure of the corona. It was a repetition of a programme that was carried out at earlier eclipses with a view to study the coronas variation during the activity cycle of the sun. The eclipse took place $1\frac{1}{2}$ years after the sunspot maximum. Accordingly the streamers were straight and radial (Fig. 4) as it is the case in a maximum corona. On the other side the isophotes show a strong flattening (Fig. 7), typical for a minimum corona. Incidentally the temperature of the air was recorded during the eclipse. The minimum of the temperature was reached 14 minutes after totality and was 7° lower than the temperature to be expected without the eclipse (Fig. 1).

1 Finsternisbericht

Am 31. Juli 1981 hat eine Sonnenfinsternis stattgefunden, deren Totalitätszone sich vom Schwarzen Meer durch Russland erstreckte, bei der Amur-Mündung die asiatische Ostküste erreichte, die Insel Sachalin durchquerte und im Pazifischen Ozean endete. Eine Beobachtung von festem Boden aus war nur auf sowjetischem Territorium möglich. Sonnenstand, Klima, Verkehrs- und Transportmöglichkeiten waren für die Wahl des Beobachtungsortes massgeblich. Die Entscheidung fiel auf die Gegend von Bratsk (Länge 102° östlich, Breite 56° nördlich), wo die Totalität um 10 h Ortszeit stattfand bei einer Sonnenhöhe von 44° und 84 Sekunden gedauert hat. Der Hinflug erfolgte über Hamburg–Leningrad–Moskau–Irkutsk nach Bratsk, wo am Tag vor der Finsternis auf einer Rekognoszierfahrt nach der Zentrallinie der Beobachtungsort ausgewählt wurde. Dort traf ich anderntags um 6 h ein. Die Boden- und die Cirren haben sich alsbald aufgelöst, aber schon nach einer Stunde

sind die ersten Cumuli erschienen. Diese wurden häufiger, zogen schnell von Süden heran und haben zeitweise die Sonne ganz bedeckt. Eine Viertelstunde vor der Totalität hatte ein Wolkenfeld die Sonne erreicht und zog über sie hinweg. Zehn Minuten vor der Totalität war die weite Umgebung der Sonne wieder wolkenlos und blieb so für eine halbe Stunde. Die Witterung war an meinem Standort durch einen Glücksfall äusserst günstig. Viele Beobachter an benachbarten Orten sahen die Korona nur durch Wolken oder überhaupt nicht.

2 Der Temperaturverlauf

Neben dem Hauptprogramm, der Photographie der Korona, wurde wie bei früheren Finsternisexpeditionen der Verlauf der Lufttemperatur aufgezeichnet. Das Thermometer befand sich 1,5 Meter über Boden in einer Waldlichtung, war der freien Luftzirkulation ausgesetzt und gegen die direkte Sonnenstrahlung abgeschirmt. Es besass eine Skala mit $\frac{1}{2}^\circ$ -Teilung, auf welcher die Zehntelgrade mit Sicherheit ablesbar waren. Das Ergebnis der Temperaturmessungen ist in Bild 1 dargestellt. Die Zeiten sind in mittlerer Ortszeit = Weltzeit + 7 Stunden mitgeteilt. Der erste Kontakt hat 8 h 48 m stattgefunden, der zweite 10 h 00 m, der dritte 10 h 02 m und der vierte 11 h 17 m.

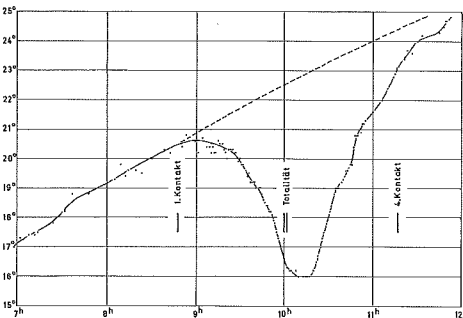


Bild 1 Der Verlauf der Lufttemperatur während der Sonnenfinsternis.

Fig. 1 The variation of the air temperature during the solar eclipse.

Die Unregelmässigkeiten im Temperaturverlauf am frühen Vormittag sowie beim Wiederanstieg nach der Totalität sind durch die variable Bewölkung verursacht. Eine Abweichung des beobachteten Verlaufes von dem ungestörten, der ohne Finsternis zu erwarten gewesen wäre, wird etwa 10 Minuten nach dem ersten Kontakt feststellbar. Von diesem Moment an steigt die Temperatur nicht mehr und beginnt sogar zu sinken, bis 9 h 25 etwa um 1° pro Stunde. Dann fällt die Temperatur schneller, zwischen 9 h 25 und 9 h 50 etwa 4° pro Stunde und dann bis zum Eintritt der Totalität um 10° pro Stunde. Über die Totalität hinaus fällt die Temperatur noch um weitere $0,5^\circ$ und erreicht 14 Minuten nach Mitte der Finsternis das Minimum von $16,0^\circ$. Der nachfolgende Anstieg ist noch steiler als der vorangegangene Abfall, nämlich

11,0° pro Stunde zwischen 10 h 20 und 10 h 35. In der folgenden Viertelstunde beträgt er noch 8° pro Stunde und zwischen 10 h 50 und 11 h 30 noch 4,5° pro Stunde. Der mutmassliche ungestörte Temperaturverlauf, wie er ohne Finsternis beobachtet worden wäre, ist gestrichelt eingetragen. Zur Zeit des Temperaturminimums beträgt die «ungestörte» Temperatur 22,9°, das Temperaturdefizit somit 6,9°.

Am Finsternistag betrug das Morgenminimum 13,0° und das «ungestörte» Maximum dürfte nach den Beobachtungen am Vortag um 28° gelegen haben. In einer früheren Publikation (M. Waldmeier, 1980) wurde das maximale Temperaturdefizit zu 40% der Tagesamplitude gefunden. Darnach wäre ein Defizit von 6,0° zu erwarten gewesen gegenüber dem beobachteten Wert von 6,9°.

3 Die Sonnenaktivität um die Zeit der Finsternis

Die allgemeine Form und die Struktur der Korona sind vor allem durch die Magnetfelder bestimmt und diese haben ihre Wurzeln in den Manifestationen der Sonnenaktivität, also in den Sonnenflecken, Fackeln und Protuberanzen. Massgebend für die koronalen Strukturen sind sowohl die Phase der Aktivität im 11jährigen Zyklus als auch die spezielle Aktivität in den Tagen von vor bis nach der Finsternis.

Die Wolfschen Zahlen W der Sonnenfleckentätigkeit betragen in den vergangenen Jahren:

1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
12,6	27,5	92,5	155,4	154,6	140,5	115,9	66,6

Die Fleckentätigkeit hat an der Wende 1979/80 ein übernormal hohes Maximum erreicht, worauf sie vorerst nur langsam zurückgegangen ist und Mitte 1981 mit $W \sim 140$ noch erheblich über einem Maximum durchschnittlicher Intensität ($W \sim 110$) lag. Ein starker Rückgang trat erst 1983 ein. In dem der Finsternis vorangegangenen Monat Juli war die Fleckentätigkeit mit $W = 144$ ebenso hoch wie im Jahresdurchschnitt. Sie war jedoch in heliographischer Länge sehr ungleich verteilt, erreichte am 8. Juli, als die «ruhige» Seite der Erde zugewandt war, mit $W = 62$ ein Minimum und vom 25. bis 28. Juli, als die Sonne uns die «aktive» Seite zukehrte, mit Werten $W > 200$ ein Maximum. Für die koronalen Strukturen sind jedoch nur die Aktivitätszentren in der Nähe des Sonnenrandes von Bedeutung. Bild 2 zeigt die Verteilung der Sonnenflecken 3 Tage vor und 3 Tage nach der Finsternis. Gestrichelt eingetragen sind die Meridiane, welche zur Zeit der Finsternis gerade am W- bzw. am E-Rand lagen. Ein sehr grosser Komplex von Fleckengruppen, der am 28. Juli im Zentralmeridian stand, war am Finsternistag noch 40° vom W-Rand entfernt, so dass sein Einfluss auf die Struktur der inneren Korona nicht zur Beobachtung gelangte. Hingegen lagen der grosse Fleck bei der heliographi-

schen Breite -7° und die bipolare Gruppe bei -18° gerade am W-Rand. Jener hatte die heliographische Länge 340° , diese 341° und der W-Rand der Sonne bei der Finsternis 337° . Auf der N-Halbkugel war die Gegend um den W-Rand fleckenfrei. Auch der ganze Bereich um den Meridian, der während der Finsternis am E-Rand lag, war fleckenlos.

Die Form der Korona im Grossen, insbesondere ihre Extremform, die sog. Minimum- und Maximumform, ist durch die Phase des 11jährigen Zyklus bestimmt, nicht durch die Flecken selbst, die nur in niederen heliographischen Breiten auftreten, während die Korona bis zu den Polen reicht. Vielmehr wird die Form durch die Breitenverteilung der Protuberanzen bestimmt, welche zwei verschiedene Systeme besitzt, die Zone in niedrigen Breiten, die derjenigen der Flecken folgt, und die Polarzone, die sich vom Sonnenfleckenminimum zum -maximum aus mittleren Breiten zu den Polen verschiebt. Um die Zeit des Fleckenmaximums ist die polare Protuberanzenzone am stärksten entwickelt, und die Korona zeigt die Maximumform (M. Waldmeier, 1957). Nach dem Fleckenmaximum verschwinden in den Polarregionen die Protuberanzen und damit auch die langen Koronastrahlen, so dass sich die Korona der Minimumsform nähert.

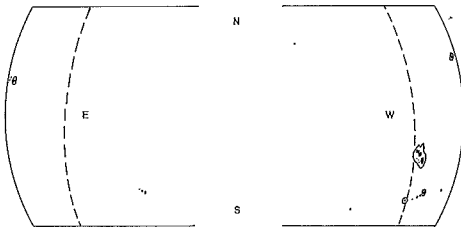


Bild 2 Die Sonnenflecken in der Umgebung des Sonnenrandes zur Zeit der Finsternis.

Fig. 2 The sunspots around the sun's limb at the time of the eclipse.

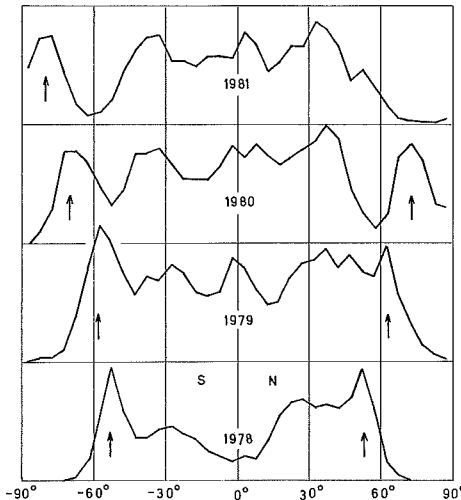


Bild 3 Die Verteilung der Protuberanzen nach heliographischer Breite 1978-1981.

Fig. 3 The latitude distribution of the prominences in the years 1978-1981.

Die Verteilung der Protuberanzen nach heliographischer Breite ist in Bild 3 für die Jahre 1978 bis 1981 dargestellt (K. R. Sivaraman, 1984). Nach dem Gesagten interessieren hinsichtlich der Koronaform vor allem die Polarzone und ihre zeitliche Verlagerung. Im Jahre 1978 liegt diese Zone bei $+53^\circ$ bzw. -53° , 1979 bei $+63^\circ$ bzw. -57° , 1980 bei $+73^\circ$ bzw. -70° , und 1981 hat sie auf der nördlichen Hemisphäre den Pol bereits erreicht und ist verschwunden, während sie auf der südlichen sich erst bis -80° verschoben hat. Es besteht somit zwischen den beiden Polarzonen eine Phasendifferenz, indem die nördliche der südlichen um etwa $\frac{1}{2}$ Jahr vorangeht.

4 Die Struktur der Korona

Die Strahlen der Korona sind anhand der photographischen Aufnahmen in Bild 4 dargestellt. Das letzte Sonnenfleckenmaximum ist 1979.9 eingetreten.

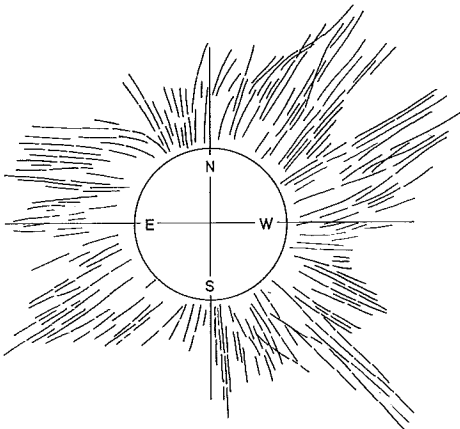


Bild 4 Die Strahlenstruktur der Korona.

Fig. 4 The ray structure of the corona.

Die Finsternis vom 31. Juli 1981 (1981.6) hat also 1,7 Jahre später stattgefunden. Die Sonnenaktivität war jedoch gegenüber dem Maximum erst um 10% zurückgegangen. Dementsprechend war die Struktur der Korona ähnlich derjenigen einer Maximumskorona. In einer solchen treten die Strahlen längs des ganzen Sonnenrandes nahezu gleichförmig auf und verlaufen vorwiegend radial. In der nachfolgenden Tabelle sind die wichtigeren Strahlen aufgeführt. Darin bedeutet p den vom Sonnennordpol aus ostwärts gemessenen Positionswinkel, b die heliographische Breite und α die Neigung der Strahlen gegenüber der radialen Richtung. Die Neigung ist positiv, wenn der Strahl gegenüber der radialen Richtung im Uhrzeigersinn gedreht ist. Die Messungen beziehen sich auf den Abstand von einem Sonnenradius vom Sonnenrand. Alle Strahlen der S-Hemisphäre haben $\alpha = 0$, stehen somit radial, während auf der N-Halbkugel z. T. starke Neigungen auftreten. Der südliche Teil ist somit noch maximumsähnlich, der nördliche in der Phase des 11jährigen Zyklus

schon weiter fortgeschritten. Diese Phasenverschiebung wurde bereits in dem Verhalten der polaren Protuberanzenzone in Abschnitt 3 festgestellt. Aber auch in der Fleckenzone ist sie vorhanden. In der ersten Hälfte des Zyklus hatte die nördliche Fleckenzone einen um etwa 1° kleineren Äquatorabstand als die südliche, was ein Voreilen der nördlichen Zone gegenüber der südlichen um etwa $\frac{1}{2}$ Jahr bedeutet.

Strahl Nr.	p	b	α
1	61°	$+29^\circ$	-23°
2	88°	$+2^\circ$	0°
3	122°	-32°	0°
4	183°	-87°	0°
5	224°	-46°	0°
6	243°	-27°	0°
7	285°	$+15^\circ$	-12°
8	297°	$+27^\circ$	-5°
9	317°	$+43^\circ$	-7°
10	332°	$+62^\circ$	$+11^\circ$

Entsprechend dieser Phasenverschiebung sind in der nördlichen Polarzone bereits Strukturen zu erkennen wie sie in einer Minimumskorona auftreten. Die Strahlen Nr.1 und 10 haben scharf begrenzte polseitige Kanten mit der konvexen Seite der Sonnenachse zugewandt. In dem Polargebiet zwischen diesen beiden Kanten finden sich kurze, leicht gekrümmte Strahlen, ähnlich den bekannten Polarstrahlen einer Minimumskorona, jedoch nicht in so regelmässiger Anordnung wie bei einer solchen. Auch liegt die Stelle, wo diese Strahlen radial stehen, nicht auf der Sonnenachse, sondern bei $b = +67^\circ$ auf der E-Seite. Deutliche Abweichungen von einer im wesentlichen runden Maximumskorona zeigen sich in der Nähe der beiden Pole: am N-Pol das eben erwähnte Gebiet mit den Ansätzen von kurzen Polarstrahlen, welche im Bereich von $b = +60^\circ$ bis $+80^\circ$ auf der E-Seite eine starke Verminderung der Helligkeit bewirken und am S-Pol, ebenfalls auf der E-Seite, von -60° bis -90° ein schwaches Gebiet, ähnlich einem «Koronaloch».

5 Photometrische Untersuchungen

Ein Isophotenbild der Korona ist in Bild 5 dargestellt. Die Kurven zeigen auf der E-Seite einen ruhigen Verlauf, während auf der W-Seite Strahlen bei -50° , $+25^\circ$ und $+59^\circ$ hervortreten. Diese Strahlen zeigen sich jedoch im Isophotenbild weit schwächer als in der Strukturzeichnung (Bild 4), was davon herrührt, dass der radiale Helligkeitsabfall viel stärker ist als der die Strahlen kennzeichnende tangential. Zur Verdeutlichung der Struktur ist deshalb in Bild 6 noch ein abgewinkeltes Isophotenbild dargestellt, in welchem die vom Sonnenrand aus gemessenen Isophotenabstände überhöht sind.

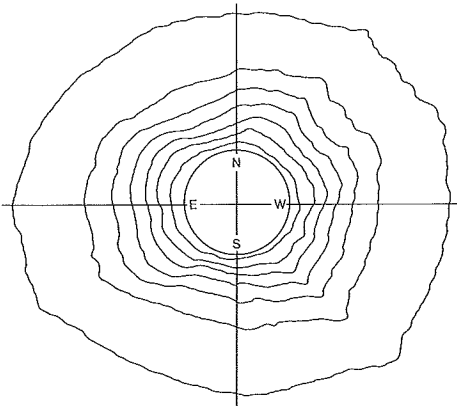


Bild 5 Automatisch registriertes Isophotenbild der Korona vom 31. Juli 1981. Der Kreis stellt den Sonnenrand dar.

Fig. 5 Isophotes of the corona, automatically recorded by an isodensitracer. The circle represents the solar limb.

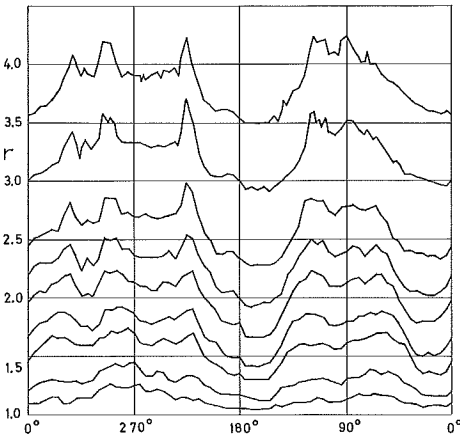


Bild 6 Abgewickeltes und überhöhtes Isophotenbild der Korona.

Fig. 6 Unrolled isophotes of the corona.

In diesem Bild, in welchem die Strahlen jetzt sehr klar erkennbar sind, fällt auf, dass die Positionswinkel ihrer Achsen sich von der inneren zur äusseren Korona nicht oder nur schwach ändern, die meisten Strahlen somit im wesentlichen radial verlaufen. Es sind dies insbesondere je drei Strahlen auf der E- und W-Seite mit den Positionswinkeln (gemessen bei $r = 2,5$): 65° , 90° , 115° , 225° , 290° und 325° .

Auffällig ist, dass die Isophoten eine starke Abplattung aufweisen, ob-
schon die Finsternis nur $1\frac{1}{2}$ Jahre nach dem Maximum stattgefunden hat, bei
welchem sie kreisrund waren (M. Waldmeier, 1982). Die Abplattung beträgt: $e = (D_A - D_P)/D_P$, wobei D_A den äquatorialen, D_P den polaren Durchmesser einer Isophote, beide in Einheiten des Sonnendurchmessers ausgedrückt, be-
deuten. r ist der Abstand des äquatorialen Teiles der Isophote vom Sonnen-
mittelpunkt, ausgedrückt in Sonnenradien. Der Verlauf von e mit dem Ab-

stand vom Sonnenrand ist in Bild 7 dargestellt, vergleichsweise mit dem Verlauf bei der Minimumkorona von 1976 und der Maximumkorona von 1980.

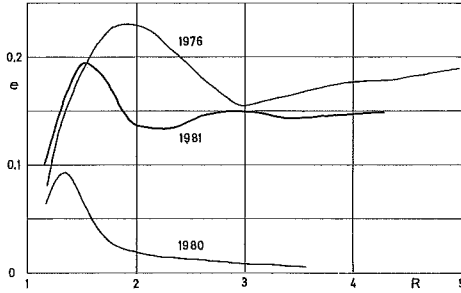


Bild 7 Die Abplattung der Isophoten der Korona vom 31. Juli 1981, verglichen mit derjenigen bei den Finsternissen 1976 und 1980.

Fig. 7 The flattening of the isophotes of the corona of July 31, 1981, together with that of the eclipses of 1976 and 1980.

Es ist bemerkenswert, dass die Kurve für die Finsternis von 1981 viel näher bei derjenigen für die Minimums- als bei derjenigen für die Maximumkorona liegt, obschon die Finsternis von 1981 von dem Maximum nur 1½ Jahre entfernt ist, vom nächstfolgenden Minimum jedoch 5 Jahre.

6 Literatur

Waldmeier, M. (1980), Der Einfluss einer Sonnenfinsternis auf den Tagesgang der Temperatur. *Meteorol. Rundschau* 33: 157–158.
 Waldmeier, M. (1957), Die polare Protuberanzenzone. *ZS. f. Astrophys.* 42: 34–41.
 Sivaraman, K. R. (1984), Indian Institute of Astrophys., Bangalore, private communication.
 Waldmeier, M. (1982), Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 16. Februar 1980. *Viertelj.schrift Natf. Ges. Zürich* 127: 1–18.