

ASTRONOMIE

SERIEN • BAND 2
EINZELBAND 60 PF

ERDE

SONNENFLECKE

IHR WESEN UND IHRE WIRKUNGEN

Sonnenfleckengruppe im einfarbigen Lichte der Wasserstofflinie H_{α} des Sonnenspektrums. Durch photographische Aufnahmen mit Hilfe des Spektroheliographen im einfarbigen Licht – hier z. B. der Wasserstofflinie H_{α} – erkennt man, daß über den häufig paarweise auftretenden Sonnenflecken wirbelartige Vorgänge stattfinden. Diese ähneln äußerlich den Zyklonen oder den Tromben und Tornados in der irdischen Lufthülle. Ihrer wirbelartigen Natur entsprechend bilden die Sonnenflecke tellerartige Vertiefungen in der photosphärischen Oberfläche. – Zwischen den beiden Flecken beobachtet man eine Eruption. Diese mit den Sonnenflecken eng verknüpfte Erscheinung wird wegen ihrer vielfältigen Auswirkungen auf das irdische Geschehen im Text ebenfalls behandelt.



VOLK UND WISSEN VERLAG
BERLIN / LEIPZIG





Polarlicht über Nordnorwegen

Dieser Band wurde von Dr. Robert Lauterbach, Leipzig, verfaßt. Die Textzeichnungen und farbigen Umschlagbilder stammen von Hans Mau, Leipzig, die Photographien von Hans Mau und Walter Bartke, Leipzig.

SONNENFLECKE

IHR WESEN UND IHRE WIRKUNGEN

VOLK UND WISSEN SAMMELBÜCHEREI
NATUR UND WISSEN · SERIE H · BAND 2



VOLK UND WISSEN VERLAG
B E R L I N / L E I P Z I G

INHALT	Vorwort	3
	1. Die Sonne	6
	2. Die Sonnenflecke	9
	3. Fackeln, Flocculi, Protuberanzen	12
	4. Perioden der Sonnenfätigkeit	14
	5. Theorien des Sonnenfleckenphänomens	17
	6. Sonnenflecke und Erdmagnetismus	22
	7. Polarlicht und Ionosphäre	25
	8. Sonnenfleckeneinfluß auf Wetter und Klima	31
	9. Sonnenflecke und irdisches Leben	33
	Nachwort	35
	Erläuternde Anmerkungen	36
	Erklärungen zu den Initialen	36
	Literatur und Abbildungsnachweis	3. U.-Seite

PREIS 60 PFENNIG

Bestell-Nr. 12547

Gesetzt von B. G. Teubner in Leipzig (M 109)
 Druck des Umschlages von Wolfgang Leff, Borsdorf bei
 Leipzig (M 15), und des Innenteils von Volk und Wissen
 Verlag GmbH, Abt. Druckerei, Leipzig (M 242)
 Lizenz-Nr. 334 · 1000/49-1-244 · 1.-50. Tausend 1949
 Alle Rechte vorbehalten

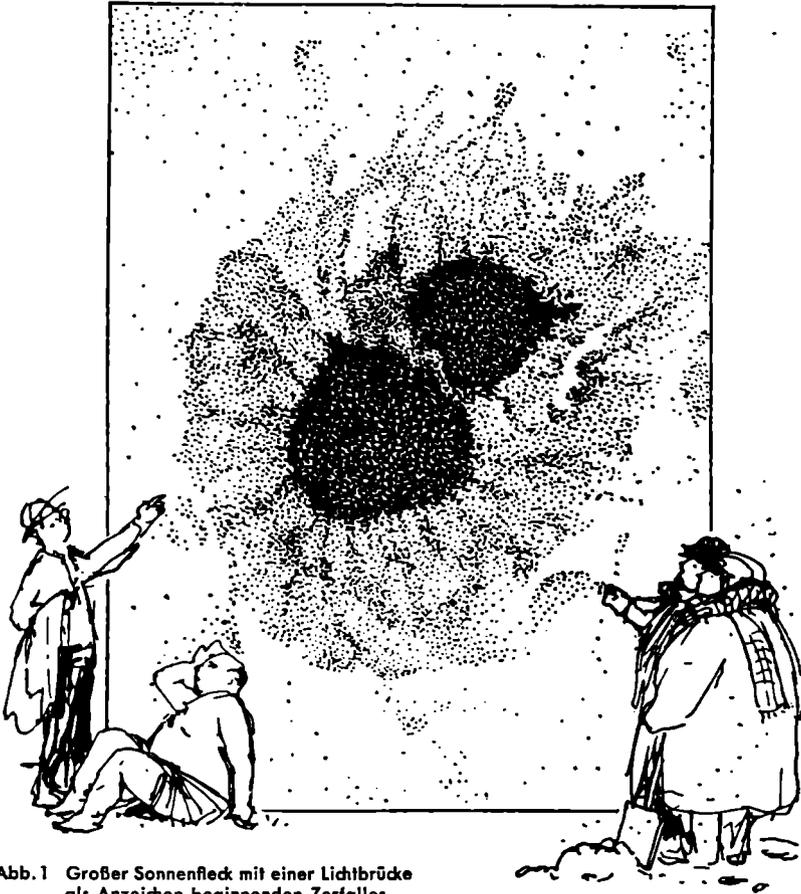


Abb. 1 Großer Sonnenfleck mit einer Lichtbrücke als Anzeichen beginnenden Zerfalles.

VORWORT

»Daran sind die Sonnenflecke schuld«, hört man gelegentlich bei Gesprächen, die sich mit dem Wetter befassen. Ist der Winter streng, so sind es natürlich die Sonnenflecke. Ist ein Sommer heiß und trocken, so sind es auch die Sonnenflecke. Für alle ungünstigen Erscheinungen auf der Erde, wie Dürre, Mißernte, Krankheiten und Krieg, die man im Mittelalter den Kometen zur Last legte, möchte man heute die Sonnenflecke verantwortlich machen.

Ist das berechtigt? Wissen wir heute über Natur und Wesen der Sonnenflecke, über ihre Einflüsse auf irdische Vorgänge wie Wetter und Klima, ja sogar auf die Lebensvorgänge so genau Bescheid, daß wir sichere Zusammenhänge herleiten können?

Vielfach sind bestimmt nur zufällige zeitliche Übereinstimmungen als ursächliche Beziehungen aufgefaßt worden. So ist aus statistischen Erhebungen bekannt, daß der Verlauf der epidemischen Genickstarre in New York und Chicago in den Jahren 1861 bis 1936, kurvenmäßig dargestellt, gewisse Ähnlichkeiten mit der Häufigkeitskurve der Sonnenflecke aufweist. Untersucht man aber die übrigen Krankheiten und berücksichtigt wesentlich größere Gebiete, so findet man meist keinen auch nur angedeuteten Zusammenhang.

Also muß man fragen: Könnte eine solche Parallelität überhaupt bestehen?

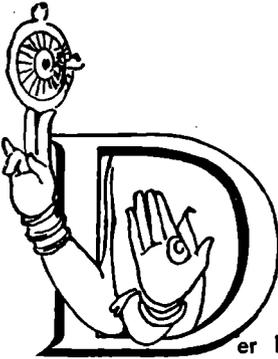
Wir stellen häufig fest, daß die das Wachstum der Bäume markierenden Jahresringe in ihrer Dicke dem Verlauf der Sonnenfleckenkurve folgen. Man muß also annehmen, daß unter den zahlreichen Umweltfaktoren, auf welche die Pflanze reagiert, auch solche sind, die von der Sonnentätigkeit direkt oder indirekt gesteuert werden.

Die Sonnenflecke sind eine Erscheinung, die sichtbar in den äußeren Schichten der Sonne auftritt. Wir werden uns also vorerst mit den allgemeinen Erscheinungen auf der Oberfläche und in der Atmosphäre der Sonne, als den Grundlagen für das Verständnis des Sonnenfleckenphänomens, befassen. Erst dann wollen wir zu klären versuchen, ob und wie eine Einwirkung der Sonnenflecke auf das irdische Geschehen — also über 150 Millionen Kilometer hinweg! — möglich ist.

Bekannt sind die Sonnenflecke schon lange. Wenn man davon absieht, daß in China angeblich bereits zu Beginn unserer Zeitrechnung einzelne Sonnenflecke beobachtet worden sind und daß Berichten zufolge im Jahre 807 ein besonders großer Sonnenfleck mit freiem Auge sichtbar war, muß man als ihren eigentlichen Entdecker den Italiener GALILEI (1564—1642) bezeichnen. Nach der Konstruktion der ersten Fernrohre sahen mehrere Beobachter fast gleichzeitig und unabhängig voneinander die Sonnenflecke. Den Anfang machte im August 1610 GALILEI selbst mit seinem für unsere heutigen Maßstäbe noch recht unvollkommenen Fernrohr. Ihm folgte der Engländer HARRIOT im Dezember 1610. Ohne Kenntnis beider Entdeckungen fand sie schließlich im März 1611 JOHANN FABRICIUS (1587—1617), der Sohn des ostfriesischen Pfarrers und Astronomen DAVID FABRICIUS. Er veröffentlichte auch im

Jahre 1611 in Wittenberg die erste Schrift, die sich mit Sonnenflecken befaßte: »De maculis in sole observatis« (Die auf der Sonne beobachteten Flecke). Der Jesuitenpater CHRISTIAN SCHEINER (1573–1650) hatte während seiner Professur in Ingolstadt die Flecke ebenfalls gesehen und veröffentlichte 1630 über seine Beobachtungen ein großes Werk, in dem er die irrige Auffassung vertrat, die Sonnenflecke seien sonnennahe kleine Planeten, die bei ihrem Vorüberziehen vor der Sonnenscheibe als schwarze Flecke erscheinen. Er konnte sich nicht entschließen, auf der Oberfläche der makellosen, reinen Sonne Flecke anzunehmen. GALILEI vertrat demgegenüber bereits die moderne Auffassung, so daß die beiden in eine heftige Auseinandersetzung gerieten.

In der Folgezeit kamen keine weiteren Beobachtungen von Bedeutung hinzu. Erst 1771 entdeckte der württembergische Pfarrer SCHÜLEN und nach ihm, 1774, der schottische Astronom WILSON den sogenannten Wilson-Effekt, der in Abschnitt 2 behandelt werden wird. – Regelmäßige Beobachtungen der Sonnenflecke setzten erst 1826 ein, als der Dessauer Apotheker HEINRICH SCHWABE (1789–1875) seine 42jährige Beobachtungsserie begann. Er entdeckte 1843 die bekannte 11jährige Sonnenfleckenperiode. Damit begann zugleich die planmäßige Erforschung des Sonnenfleckenphänomens, über deren Ergebnisse dieses Heft berichten soll.



1. Die Sonne

Der Durchmesser des wärme- und lebenspendenden Zentralgestirnes unseres Planetensystems (Anm. 1) wurde zu 1,391 Millionen Kilometer bestimmt; das sind ungefähr 110 Erddurchmesser. Die Masse der Sonne beträgt dagegen nur 330 000 Erdmassen, so daß sich eine mittlere Dichte von 1,41 ergibt, gegenüber einem Wert von rund 5,5 für den Erdball.

Ungeheuer groß ist die von der Sonne in das Weltall ausgestrahlte Energiemenge. Bedenkt man, daß auf unsere Erde nur ein verschwindend kleiner Bruchteil dieses Reichtums trifft und dieser dennoch der Motor des gesamten Geschehens auf und über der Erdoberfläche ist, so kann man die verschwenderische Energiefülle ermessen. Ein Quadratzentimeter der Erdoberfläche erhält, trotz der unvermeidlichen Abschwächung in der Erdatmosphäre, bei wolkenlosem Himmel ein Strahlungsquantum, welches ausreicht, ein Gramm Wasser innerhalb einer Minute um fast 2° C zu erwärmen (sogenannte Solar-konstante). — Wir wissen heute mit fast untrüglicher Sicherheit, daß diese riesigen Energiemengen, die bereits seit einigen Milliarden Jahren von der Sonne ausgestrahlt werden, atomaren Umwandlungsprozessen entstammen, und zwar vor allem der Verwandlung von Wasserstoff in Helium.

Betrachten wir nun eine Photographie der Sonnenoberfläche! (Tafel 1 und 4). Sie vermittelt uns einen fast plastischen Eindruck vom Sonnenkörper. Die Ursache ist eine Schattierung der Sonnenscheibe nach dem Rand zu (Randverdunklung). Die lichtscheidende Schicht der Sonne, die wir sehen, bezeichnet man als Photosphäre. In ihr dürfte eine Temperatur von etwa 6000° (absolut) herrschen. Man nimmt an, daß sie nur etwa 100 km stark ist; im Verhältnis zum Sonnenganzen handelt es sich also um eine hauchdünne Haut.

Die Randverdunklung der Sonnenoberfläche wird bedingt durch die physikalischen Verhältnisse in der lichtscheidenden Photosphäre selbst. Die unter schrägem Winkel von der Sonnenoberfläche ausgehenden randnäheren Strahlen kommen aus höheren, geringer temperierten Teilen der Photosphäre, die aus tieferen Schichten stammenden Anteile werden auf dem langen, schrägen Weg absorbiert, also vernichtet.

Die Sonnenoberfläche ist, bei stärkerer Vergrößerung betrachtet, nicht einheitlich getönt, sondern erscheint gleichsam gerastert. Diese Erscheinung bezeichnet man als Granulation. Hellere kornartige (lat. granulum = Körnchen) Gebilde heben sich von der etwa 10% dunkler getönten Oberfläche

ab. Man hat den Eindruck, als ob Korn an Korn läge, wobei sich eine gewisse Gruppenbildung beobachten läßt. Diese Gebilde sind kurzlebig, so daß sich der Anblick bereits innerhalb weniger Minuten völlig verändert.

Außerdem bemerkt man Gebiete erhöhter Helligkeit, die *Fackeln*. Meist sind es netzartig verschlungene oder sich über große Entfernungen hinziehende, helle, fadenartige Gebilde, die in allen Sonnenbreiten beobachtet werden können. Bei gutem Luftzustand und starker Vergrößerung lassen sich die Fackeln in eine dicht gepackte Granulation auflösen.

Die *Sonnenflecke*, welche uns in diesem Bändchen besonders beschäftigen sollen, sind die auffallendsten Erscheinungen der Sonnenoberfläche. Ihre Beobachtung ermöglichte erstmalig, die Zeitdauer der Sonnenumdrehung festzulegen. Sie beläuft sich am Äquator der Sonne auf 25 Tage, nimmt jedoch nach den Polen erheblich zu, so daß sie in 70° nördlicher oder südlicher Breite der Sonne bereits 26 Tage, an den Polen sogar 34 Tage beträgt. Die Sonne rotiert also nicht wie eine starre Kugel.

Sonnenfinsternisse entstehen bekanntlich dann, wenn der Mond zwischen Sonne und Erde tritt. Sie sind in jenen Gebieten der Erde zu beobachten, die vom Mondschatten überstrichen werden. Besonders die totalen Sonnenfinsternisse, bei denen die Sonnenscheibe am Ort der Beobachtung vom Mond völlig verdunkelt wird, haben die Erforschung der äußersten Sonnenschichten sehr gefördert. Die Mondscheibe verdeckt während des Verlaufes einer Finsternis den Sonnenkörper und auch die randlichen Partien der Sonne zeitlich nacheinander. Sobald die Photosphäre ganz verschwunden ist, verbleibt noch immer eine zarte Sichel der Sonnenatmosphäre, die in rötlichem Lichte erstrahlt. Diese Schichten der Sonnenatmosphäre bezeichnet man wegen ihrer Färbung als *Chromosphäre* (gr. = Farbhülle).

Aufschluß über die Zusammensetzung der äußeren Sonnenschichten erhalten wir durch eine einfache Betrachtung der Sonnenoberfläche kaum. Wir müssen vielmehr ein Spektroskop bzw. einen Spektrographen (Anm. 2) zu Hilfe nehmen, ein Gerät, welches das Sonnenlicht in seine einzelnen farbigen Bestandteile auflöst, also nach Wellenlängen sortiert. Erst mit Hilfe dieses Verfahrens ist es möglich geworden, genauere Aussagen über den chemischen Aufbau der untersuchten Schichten zu machen. — Während einer Sonnenfinsternis sind spektroskopische Beobachtungen der Chromosphäre sehr erleichtert, da das überstrahlende Photosphärenlicht im Augenblick der Totalität völlig abgeblendet ist. Man kann darüber hinaus durch mehrere kurz aufeinanderfolgende Aufnahmen die übereinanderliegenden Chromosphärenschichten weitgehend getrennt erfassen. Aus Untersuchungen dieser Art hat sich ergeben, daß der Hauptteil der Sonnenatmosphäre sich auf eine Schicht von nur etwa 500 km Stärke über dem Sonnenrand konzentriert. Jedoch reicht die Chromosphäre tatsächlich noch höher. So läßt sich zum Beispiel Natrium bis 1500 km, Helium bis 7500 km, Wasserstoff bis etwa 12000 km und ionisiertes (Anm. 3) Kalzium sogar bis 14000 km Höhe nachweisen. Vermutlich muß man

den Strahlungsdruck der Sonnenstrahlung zur Erklärung dieser Höhen, mindestens der des Kalziums, heranziehen.

Während der totalen Verfinsterung der Sonne beobachtet man jedoch noch weitere auffällige Erscheinungen. Da sind zunächst die *Protuberanzen* (neulateinisch=Erhöhung), rötlich leuchtende, nach oben zerflatternde Massen, die aus der Sonne gleich einer Eruption emporzufammen scheinen. Während ein Teil von ihnen Form und Lage über längere Zeiträume hinweg wenig verändert, sind die sogenannten aufsteigenden Protuberanzen unter Umständen sogar recht schnell bewegte Gebilde (bis 400 km/s). Mit Hilfe des Spektroskops und besonders des Spektroheliostops (Anm. 2) ist es möglich geworden, die vorwiegend aus Wasserstoff bestehenden Protuberanzen auch außerhalb der Sonnenfinsternisse am Sonnenrande wie auf der Sonnenscheibe selbst zu verfolgen.

Den Übergang zum Weltraum bildet schließlich die *Korona*, die den ästhetischen Höhepunkt einer jeden Sonnenfinsternis darstellt. Zweifellos besteht die Korona aus ionisiertem Gas und Elektronen (Anm. 3 u. 4), weiter außen vielleicht auch aus Staubteilchen. Alle Bestandteile treten in außerordentlich geringer Dichte auf.

Bezüglich der chemischen Zusammensetzung der äußeren Sonnenschichten ist zu bemerken, daß von den 96 bekannten chemischen Elementen mindestens 57 auch auf der Sonne vorgefunden wurden. Von den restlichen Elementen dürften zahlreiche wohl auf der Sonne vertreten, jedoch aus rein physikalischen Gründen nicht festzustellen sein. Ein Vergleich der Ergebnisse spektralanalytischer Untersuchungen der Sonne und besonders des Sternes τ im Sternbild des Skorpions mit der chemischen Zusammensetzung der Erde und der Meteoriten zeigt, daß es offenbar eine im ganzen Weltall nahezu einheitliche Häufigkeitsverteilung der chemischen Elemente gibt. Die kosmische Materie besteht ihrer Masse nach somit zu rund 56% aus Wasserstoff und zu 41% aus Helium, während der Rest sich auf die übrigen Elemente verteilt, vor allem auf Kalzium, Stickstoff, Sauerstoff, Neon, Natrium, Magnesium, Aluminium, Silizium, Schwefel und Eisen.

2. Die Sonnenflecke



Unter den zahlreichen Erscheinungen auf der Oberfläche und in der Atmosphäre unserer Sonne spielen die Sonnenflecke, wie eingangs schon erwähnt, eine besondere Rolle. Dennoch wird sich bei unseren weiteren Betrachtungen herausstellen, daß auch die anderen Erscheinungen, die Protuberanzen, die Fackeln, die Korona usw., mehr oder weniger mit den Sonnenflecken zusammenhängen. Sie sind alle verschiedenartige Äußerungen eines noch nicht recht aufgeklärten Grundprozesses in den äußeren Bezirken der Sonne.

Wir sprachen oben bereits von der Granulation, jener kornartigen Struktur der Sonnenoberfläche. Die dunklen Zwischenräume zwischen den hellen Körnern können sich gelegentlich etwas vergrößern; dann spricht man von »Poren«. Diese sind häufig das erste Stadium einer Sonnenfleckebildung.

Doch betrachten wir gleich eine Sonnenfleckengruppe selbst (Abb. 2 und Tafeln 2, 3 u. 4). Sie besteht meist aus zwei oder mehr größeren und einer Reihe kleiner bis kleinster Flecke. Während letztere nur einige 1000 km Durchmesser aufweisen, sind es bei den großen Flecken bis zu einigen 100000 km (der Erddurchmesser beträgt rund 12700 km!). Die größeren sind auch in sich wieder gegliedert. Der eigentliche Fleckenkern, die *U m b r a* (lat. = Schatten), hebt

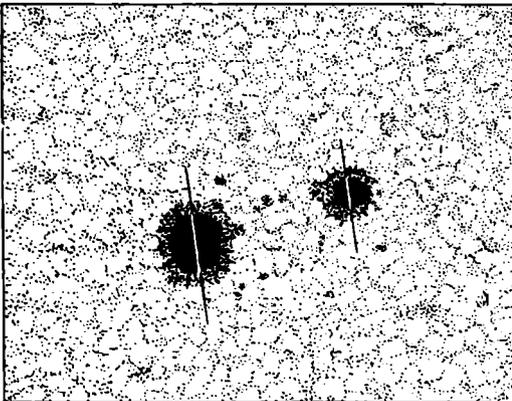
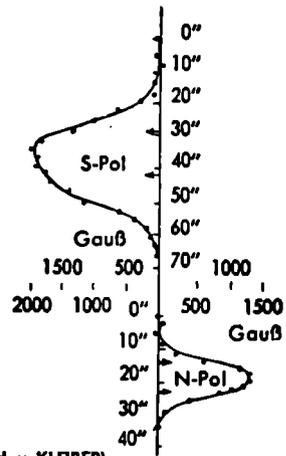


Abb. 2 Sonnenfleckengruppe mit magnetischen Profilen (nach H. v. KLUBER).

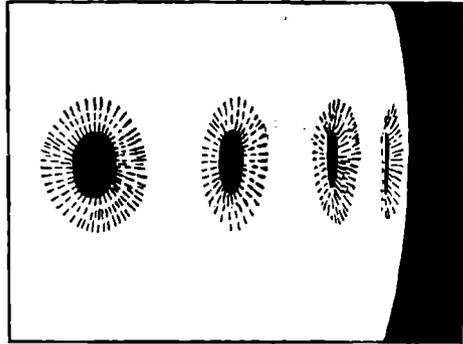


sich deutlich von dem helleren Hof oder der *Penumbra* (lat. = Halbschatten) ab. Der Kern der Sonnenflecke ist keineswegs schwarz. Er erscheint lediglich im Kontrast zur umgebenden Photosphäre dunkel; in Wirklichkeit weist er aber die vielhundertfache Flächenhelligkeit des Vollmondes auf. Im Bereich des Halbschattens, der *Penumbra*, nimmt die Helligkeit bereits erheblich zu, bleibt jedoch noch hinter jener der Photosphäre zurück. Daß der Hof bisweilen dort, wo er an den Kern grenzt, im Vergleich zu seinem äußeren Rande schwach aufgehellert erscheint, hängt mit seiner Struktur zusammen. Die Höfe besitzen nämlich meist einen mehr oder weniger ausgeprägten strahligen Bau. Ursache dafür sind radial angeordnete helle Granulationselemente, die in *Filamente* — das sind länglich geformte helle Streifen — übergehen. Diese Filamente sind meist an ihren nach innen gerichteten Spitzen heller als an den äußeren Teilen. Sie können bisweilen auch in den Bereich des Kernes eindringen und Anlaß zur Bildung von Licht- \rightarrow *Brücken* \leftarrow geben. Abb. 1 und die Fleckengruppe auf Tafel IV unten zeigen den beginnenden Zerfall eines Flecks durch eine solche Erscheinung. Die Flecke sind fast ständig starken Änderungen ihrer Form und Ausbildung unterworfen. Bisweilen entsteht im Laufe weniger Stunden und Tage aus einer an der Grenze der Sichtbarkeit liegenden winzigen Pore ein großer Fleck oder eine Fleckengruppe, die ebenso rasch wieder vergehen kann. Andererseits können Flecke auch Tage, Wochen oder gar Monate ziemlich unverändert bestehen bleiben (Tafel II unten). Bei der Auflösung der Fleckengruppe, die gewöhnlich länger dauert als ihre Bildung, scheinen die kleineren Flecke allmählich zu schrumpfen, während die größeren zerfallen. Dabei bilden sich die obenerwähnten zungenartigen Lichtbrücken.

Besonders bemerkenswert ist nun, daß ein solcher Teilungsprozeß nicht nur eine äußerliche Erscheinung ist, sondern daß gleichzeitig auch im Fleck selbst bestimmte physikalische Veränderungen vor sich gehen. Mit Hilfe der Spektralanalyse (Anm. 2) ist es möglich geworden, auch die Stärke des Magnetfeldes zu ermitteln, in welchem sich die lichtaussendenden Atome befinden (Aufspaltung der Spektrallinien im Magnetfeld, sogenannter *ZEEMAN-Effekt*). Abb. 2 gibt für die beiden Sonnenflecke zugleich den Verlauf der magnetischen Feldstärke wieder. Die obere Kurve gilt für den größeren, linken, die untere für den kleineren, rechten Fleck. Wie man sieht, zeigen beide Flecke eine verschiedene *magnetische Polarität*. Während der linke Fleck dieser im Juli 1942 in Potsdam untersuchten Gruppe Träger eines süd magnetischen Feldes von rund 2000 Gauß, also von etwa 4000facher Stärke des erdmagnetischen ist, weist der kleinere Nordmagnetismus auf. Eine gleichzeitige Aufnahme dieser Fleckengruppe im einfarbigen H_{α} -Lichte zeigte eine zwei polig wirbelartige Struktur der Wasserstoff-Filamente nach Art der etwas schematisierten Darstellung auf dem Titelbild dieses Heftes.

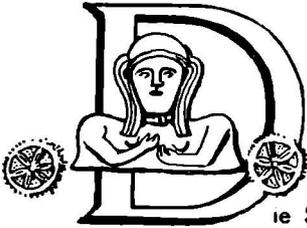
Auch bei einem durch eine Lichtbrücke soeben geteilten Fleck beobachtet man gelegentlich einen derartigen Wechsel der magnetischen Polarität für dessen

Abb.3 Das WILSON-Phänomen der Sonnenflecke am Sonnenrand. Man beachte neben der perspektivischen Verkürzung das Herausrücken des Kernes auf den Beschauer zu, was nur durch eine tellerartige Form der Sonnenoberfläche im Fleckgebiet gedeutet werden kann.



beide Hälften. Und wie steht es bei den Einzelflecken? Diese sind an sich nicht besonders häufig, da die Flecke meistens in Gruppen auftreten, in denen gewöhnlich je 2 Flecke einen magnetischen Doppelpol bilden. Auch bei den Einzelflecken beobachtet man stets eine magnetische Polarität, und selbst dort, wo die entgegengesetzte Polarität nicht in unmittelbarer Nachbarschaft auftritt, liegt die Deutung nahe, daß derartige Flecke in Wirklichkeit ebenfalls magnetische Doppelpole darstellen. Hinzu kommt, daß sich Nord- und Südmagnetismus innerhalb der sichtbaren Flecke und Fleckengruppen häufig nicht ausgleichen. Sofern es sich wirklich um Flecke mit magnetischen Einzelpolen und nicht um sehr engstehende Doppelpole handelt, muß man die entsprechenden Felder des ergänzenden Magnetpols in größerer Tiefe unter der Sonnenoberfläche annehmen. Dies deutet darauf hin, daß der zur Fleckenbildung führende Prozeß sich nicht nur auf die Sonnenoberfläche beschränkt, sondern vermutlich wesentlich tiefer greift. Eine weitere Stütze dieser Auffassung stellt unter anderem auch der Umstand dar, daß sehr häufig neue Flecke dort auftreten, wo bereits ein Fleck oder eine Fleckengruppe bestand und sich auflöste. Schließlich ist in diesem Zusammenhang die als WILSON-Phänomen (vgl. Vorwort) bezeichnete Erscheinung zu nennen, die darin besteht, daß einzelne Sonnenflecke bei Annäherung an den Sonnenrand im Fernrohr nicht nur eine perspektivische Verkürzung erfahren, sondern daß gleichzeitig der Kern aus der Mitte der Penumbra auf den Beschauer zu herauszurücken scheint (Abb.3). Dies läßt sich nur so deuten, daß die Flecke, räumlich gesehen, flache tellerförmige Einsenkungen in der Photosphäre darstellen.

3. Fackeln, Flocculi, Protuberanzen



Die Sonnenflecke werden häufig von den Fackeln, Gebieten erhöhter Helligkeit innerhalb der Photosphäre, begleitet. Besonders die größeren Fleckengruppen sind regelmäßig von ihnen umgeben. Wenn gleich auch die Fackeln in ihrem Auftreten nicht an die Sonnenflecke gebunden sind – sie können im Gegensatz zu diesen bis zu den Polen beobachtet werden –, stellt man in Fackelgebieten doch häufig entweder Flecke oder mindestens eine oder mehrere Poren fest. Da die Fackeln vermutlich nur dünne Gebilde sind, werden sie von der Photosphärenstrahlung durchdrungen und können deshalb in der Mitte der Sonnenscheibe nur schlecht gesehen werden. Weiter nach dem Rande zu tritt jedoch die Eigenstrahlung der Fackeln wegen der Randverdunkelung der Sonnenscheibe deutlicher in Erscheinung (Abb. 4). Erst die Beobachtung mit Hilfe des Spektroheliographen hat auch unser Wissen von den Fackeln erheblich erweitert. Betrachtet man die Sonnenscheibe nämlich im einfarbigen Lichte einer Spektrallinie des Kalziums oder des Wasserstoffs, so erkennt man fackelähnliche, als Flocculi bezeichnete Gebilde auf der gesamten Sonnenoberfläche. Die größeren von ihnen decken sich fast vollständig mit den Fackeln, die feineren Einzelheiten der Flocculi hängen jedoch offensichtlich mit der Granulation zusammen. Sie bestehen, wie das Spektroskop nachweist, aus Wolken von ionisiertem Kalzium und von Wasserstoff. Wenn schon die Flocculi einen ständigen Formwechsel zeigen, so gibt es gelegentlich innerhalb aktiver Sonnenfleckengruppen – im weißen Licht meist unsichtbar, im Licht der Wasserstofflinie H_{β}

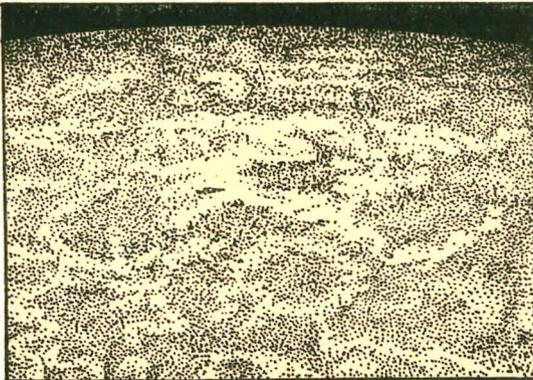


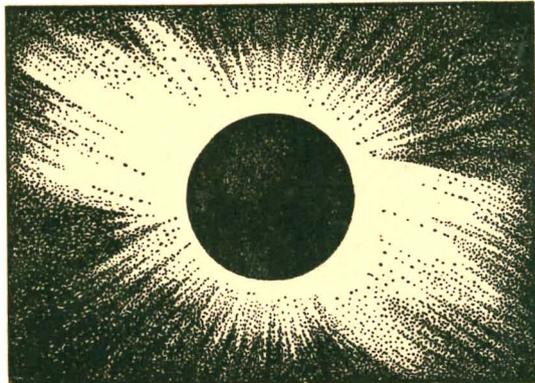
Abb. 4 Sonnenfackeln am Rand der Sonnenscheibe. Die netzartige Gestalt der Fackeln ist gut zu erkennen.

z. B. aber gut zu beobachten — auch noch eine rasch auftauchende, besonders helle Stelle, die unser Interesse erweckt. Diese Flocculi zeigen eine wesentlich intensivere Strahlung als die übrigen, normal ausgebildeten. Ihre Lebensdauer mißt gewöhnlich nur nach Minuten. Man bezeichnet sie als Eruptionen. Im Mittelpunkt der Sonnenfleckengruppe auf dem Titelbild kann man eine solche beobachten. Es ist sehr wahrscheinlich, daß ein Teil der von den Sonnenfleckengruppen ausgehenden physikalischen Wirkungen auf die Eruptionen zurückzuführen ist.

Die Protuberanzen sind in noch geringerem Umfange an die Flecken gebunden als die Fackeln. Sie stehen jedoch mit dem Fleckenphänomen auch in einem gewissen Zusammenhang. Neben den ortsfesten oder ruhenden Protuberanzen kennen wir eine bewegliche, aktive Form, die z. T. mit riesigen Geschwindigkeiten von mehreren 100 km in der Sekunde aufsteigt, so daß sie in wenigen Stunden Höhen von einigen 100000 km erreicht. Drei aufeinanderfolgende Entwicklungsphasen einer solchen Protuberanz sind auf der Rückseite des Heftes nach photographischen Aufnahmen dargestellt. Sehr häufig beobachtet man, wie auch im vorliegenden Falle, daß sich die aufsteigende Materie in Form von Bögen anordnet, die zur Sonnenoberfläche zurücklaufen, in Richtung auf eine Art Anziehungszentrum. Man glaubt daher annehmen zu dürfen, daß diese Erscheinung unter der Einwirkung magnetischer Kraftfelder zustande kommt. Die magnetischen Zentren können mit Sonnenfleckengruppen identisch sein, häufig ist dies jedoch nicht der Fall.

Die höher hinaufgeschleuderte, gegenüber der Erdatmosphäre milliardenfach verdünnte Protuberanzenmaterie, die vorwiegend aus Wasserstoff sowie in geringerem Umfang auch aus Helium, Kalzium und anderen Elementen besteht, macht allem Anschein nach das allgemeine Magnetfeld der Sonne sowie dessen örtliche Störungen im Zusammenhang mit den Sonnenflecken direkt sichtbar. Ebenso veranschaulicht uns die Sonnenkorona das magnetische Kraftfeld des ganzen Sonnenballes unmittelbar.

Abb. 5 Die Sonnenkorona.



4. Perioden der Sonnentätigkeit



Die Sonnenflecke haben die Eigenschaft, den Kreis 40° nördlicher und südlicher Breite auf der Sonnenkugel polwärts nicht zu überschreiten. Man kennt bisher lediglich ganz vereinzelte Flecke, die diese Grenzen durchbrachen. Während sie den Sonnenäquator ebenfalls, wenn auch nicht so vollständig, meiden, bevorzugen sie mit dem Schwerpunkt ihres Auftretens ganz besonders die Zonen um 10 bis 20° nördlicher und südlicher Sonnenbreite. Die Lage dieser Schwerpunkte ist jedoch einem periodischen Gang unterworfen. Die Flecke zeigen sich zu Beginn eines solchen Zyklus zunächst in höheren Breiten und wandern allmählich in Richtung auf den Äquator zu (von SPOERER 1880 entdecktes und nach ihm benanntes Gesetz). Das Diagramm in Abb. 6, welches diesen Sachverhalt für drei Zyklen zeigt, wird wegen seiner schmetterlingsähnlichen Form als Schmetterlingsdiagramm bezeichnet. Wie man sieht, setzt die Fleckentätigkeit zum gleichen Zeitpunkt in hohen Breiten wieder ein, wenn ihre letzten Spuren in Äquatornähe verschwinden. Ein solcher Zyklus dauert im Mittel etwas über 11 Jahre.

Verfolgt man gleichzeitig die Häufigkeit der Flecke, die man mit Hilfe der Sonnenfleckenrelativzahl ausdrückt, so ergibt sich ebenfalls eine periodische Schwankung. Die Sonnenfleckenrelativzahl (R) wurde von dem Züricher Sonnenfleckenforscher WOLF (1816–1893) als Ausdruck für die Zahl der Sonnenfleckengruppen (g) und der Einzelflecke (f) formuliert als

$$R = k(10g + f);$$

k ist hierbei ein Koeffizient, der von der persönlichen Art der Zählung, dem

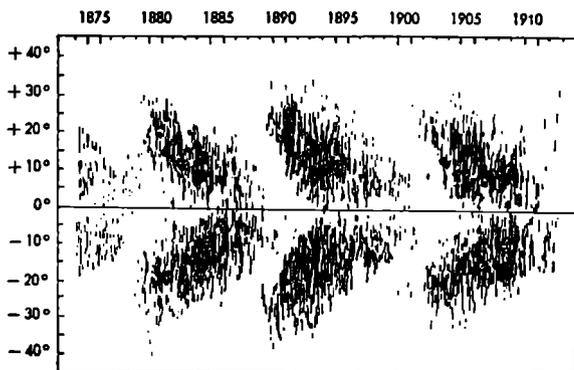


Abb. 6

»Schmetterlingsdiagramm«. Das Diagramm läßt die Breitenabhängigkeit im Auftreten der Sonnenflecke innerhalb ihrer 11jährigen Periode gut erkennen. Jeder vertikale Strich entspricht einem Fleck oder einer Fleckengruppe.

System der Gruppeneinteilung, der Größe des benutzten Fernrohres und zugleich von der Bildqualität und der Vergrößerung abhängt. Für WOLF selbst war $k = 1$ bei Verwendung eines Fernrohres von 80 mm Objektivöffnung und 64facher Vergrößerung.

Die Periode von 11,124 Jahren ist als **Sonnenfleckperiode** allgemein bekannt. Wie eingangs erwähnt, wurde sie von dem Dessauer Apotheker SCHWABE 1843 entdeckt. Ihre Länge schwankt allerdings erheblich. In den letzten 300 Jahren traten zwischen je 2 Minima Zeitabstände von 8,2 bis zu 15,0 Jahren, zwischen je 2 Maxima solche von 7,3 bis 17,1 Jahren auf. Im Durchschnitt ist ferner die Zeitdauer vom Minimum bis zum Maximum mit 5,16 Jahren kürzer als die vom Maximum bis wieder zum Minimum mit 5,96 Jahren.

Allerdings gleicht sich diese Unsymmetrie um so mehr aus, je geringer die Fleckenhäufigkeit während des Maximums ist. Denn auch die Extreme sind ihrer Höhe nach keineswegs konstant. Hier scheint sich eine längere Periode zu überlagern. Daneben kennt man auch einen kurzperiodischen Häufigkeitswechsel mit verschiedener Periode bei kleiner Amplitude.

Es schwanken jedoch nicht nur die Lage und die Häufigkeit der Flecke periodisch, sondern auch deren magnetische Eigenschaften zeigen parallel verlaufende Änderungen. Für den kürzlich abgelaufenen Zyklus von 1933 bis 1944 z. B. war bei Fleckengruppen auf der Nordhalbkugel der Sonne der im Sinne der Umdrehung vorausgehende Fleck durch Nordmagnetismus, der nachfolgende durch Südmagnetismus gekennzeichnet. Auf der Südhalbkugel beobachtete man entsprechend umgekehrte Verhältnisse. Während der seit 1944 laufenden Periode hingegen sind die in hohen Breiten neu auftauchenden Fleckengruppen gerade durch das umgekehrte Verhalten gekennzeichnet: Auf der Nordhalbkugel zeigen die vorangehenden Flecke magnetische Südpolarität, die nachfolgenden Nordmagnetismus. Es ergibt sich also der Tatbestand, daß die magnetische Polarität der Fleckengruppen auf Nord- und Südhalbkugel der Sonne entgegengesetzt gerichtet ist und daß die magnetischen Verhältnisse sich zudem mit jedem Sonnenfleckenzyklus umkehren.

Von den übrigen Erscheinungen auf der Sonne folgen die Fackeln, die größeren Flocculi und die Protuberanzen ihrer Häufigkeit nach ebenfalls der 11jährigen Sonnenfleckperiode, während die kleineren Flocculi unbeeinflusst bleiben. Es sei noch angefügt, daß letztere die Zonen, an welche die Flecke gebunden sind, überschreiten und wie die Fackeln bis zu den Polen auftreten.

Schließlich hängt auch die Form der Korona von der Sonnenfleckperiode ab. Im Fleckenminimum erscheint sie in der Äquatorebene langgestreckter als sonst. Es ist also zu vermuten, daß die gleichen Faktoren, welche für die Fleckenbildung entscheidend sind, auch die Gestalt und die Helligkeit der Korona beeinflussen.

Dies zeigen besonders schön die neuerdings von BEHR und KIEPENHEUER erstmalig entworfenen synoptischen Karten (synopsis, gr. = Zusammenschau) der Sonne. Diese geben für den das Scheibenzentrum kreuzenden Längen-

kreis der Sonne (= Zentralmeridian) die Helligkeit der Korona und die Lage der Flecke, Fackeln und Filamente während einer Sonnenumdrehung (= 27 Tage) wieder. Abb. 7 zeigt etwas vereinfacht eine solche Karte. Sie enthält die Linien gleicher Helligkeit der Korona (die helleren Gebiete schraffiert), die Flecke (je nach Größe der vollen Kreise Gruppen bis zu 100 Einzelflecken), die Fackeln (offene Kreise) und die Filamente (schlangenartige Linien). Die Koronabeobachtungen konnten selbstverständlich nicht im Zentralmeridian, also in der Mitte der Sonnenscheibe erfolgen, sondern entstanden durch Mittelung von Sonnenrandbeobachtungen 7 Tage vor und 7 Tage nach dem fraglichen Termin. Man erkennt ohne weiteres, daß die helleren Koronagebiete vorzugsweise über Häufungsstellen von Flecken und Fackeln liegen.

Eine besonders wichtige Frage ist die, ob auch die Intensität und Zusammensetzung der Sonnenstrahlung eine periodische Änderung in Verbindung mit dem Fleckenzklus zeigt. Daraus ließe sich dann sofort ein Einfluß der Sonnenfleckenaktivität auf die irdischen Vorgänge folgern. Während man noch vor einiger Zeit davon überzeugt war, daß auch die Solar konstante einen 11jährigen Gang aufweist, dürfte es nach neueren Arbeiten fast als erwiesen gelten, daß ein solcher Zusammenhang nicht oder nur in geringem Umfang besteht. An sich ist dies nicht verwunderlich, da die Flecke auf der Sonne nur einen verschwindend geringen Bruchteil der Gesamtfläche einnehmen, so daß eine meßbare Strahlungsminderung nicht entstehen kann. Zudem werden die Fackeln als Gebiete mit Strahlungsüberschuß wenigstens teilweise ausgleichend wirken. Die Solarkonstante weist zwar gewisse Schwankungen auf, jedoch sind diese unperiodisch und nur von geringem Ausmaß.

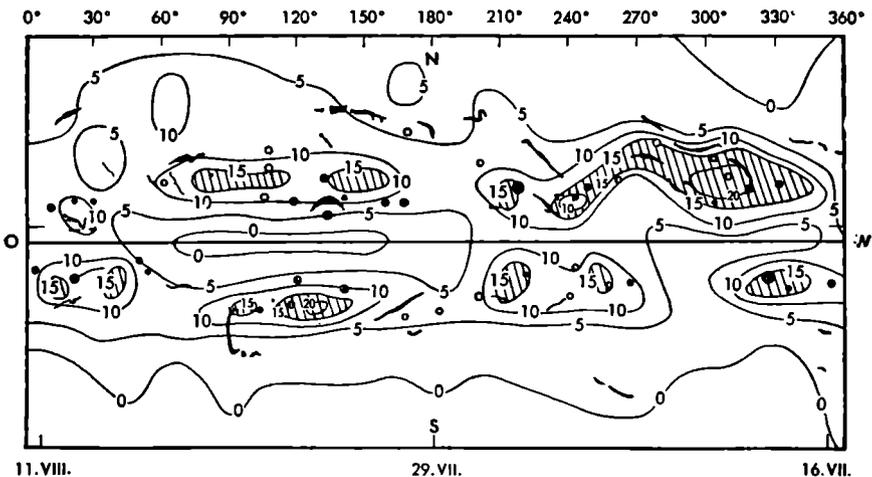


Abb.7 Synoptische Karte der Sonne (nach BEHR und KIEPENHEUER).



5. Theorien des Sonnenfleckensphänomens

Eine Vielzahl von Beobachtungstatsachen haben wir bisher kennengelernt. Es ist nun an der Zeit, die nötige Verbindung zwischen ihnen herzustellen und zu einer Deutung zu gelangen.

Wenn einst LALANDE (1732–1807) als Direktor der Pariser Sternwarte der Ecole militaire einem seiner Schüler abriet, sich mit den Sonnenflecken zu befassen und dabei bemerkte: »Bei dieser Erscheinung gibt es kein Gesetz«, so hat vermutlich die Aufzählung der inzwischen bekannt gewordenen Gesetzmäßigkeiten den Leser entschieden vom Gegenteil überzeugt.

Fassen wir nochmals zusammen, so müssen wir vor allem feststellen, daß die Sonnenflecke ihrer Häufigkeit und ihrer Lage nach in einer 11jährigen Periode auftreten. Wir sahen ferner, daß sie Träger magnetischer Felder sind, deren Polarität sich von Zyklus zu Zyklus umkehrt, so daß man aus diesem Grunde besser von einer etwa 22jährigen Sonnenfleckenperiode sprechen sollte. Schließlich ergab sich, daß ein Zusammenhang mit den eruptiven Gasmassen ihrer Umgebung, mit den Protuberanzen und auch mit der Form der Sonnenkorona besteht.

Einen ziemlich anschaulichen Eindruck von den Bewegungsfeldern in den hohen Schichten über den Sonnenflecken erhält man durch Aufnahmen im einfarbigen Licht besonders der Wasserstofflinie H_{α} des Sonnenspektrums nach Art des Titelbildes, das in Anlehnung an eine Schwarz-Weiß-Aufnahme farbig gezeichnet wurde. Man sieht ohne weiteres, daß sich über den Sonnenflecken wirbelähnliche Vorgänge abspielen. Die Vermutung, daß auch die Flecke selbst wirbelartige Gebilde sind, wird rein äußerlich bekräftigt durch die tellerartige Vertiefung der Photosphärenoberfläche im Zentrum der Flecke, die wir als WILSON-Phänomen oben kennenlernten.

Noch nicht erwähnt wurde das Ergebnis der spektralen Untersuchung der Sonnenflecke. Aus ihm folgt nämlich, daß im Bereich der Flecke die Temperatur um etwa 1500 bis 1750° geringer ist als auf der normalen Sonnenoberfläche. Daher findet man im Spektrum der Sonnenflecke auch sichere Anzeichen für das Vorhandensein von Molekülen, also von chemischen Verbindungen, wie z. B. Titanoxyd, Magnesium- und Kalziumhydrid.

Daß man mit Hilfe des Spektroskops Aufschluß über Polarität und Stärke der magnetischen Felder erhält, wurde bereits ausgeführt. Auch diese Magnetfelder können nur als Folge wirbelartiger Bewegungen von elektrisch geladenen Gasen gedeutet werden. Verstehen kann man sie z. Z. noch nicht restlos, denn ein Magnetfeld wird bekanntlich nur von einem

kreisförmig fließenden elektrischen Strom hervorgerufen. Unter der Sonnenoberfläche müßten aber praktisch ebensoviel negativ wie positiv elektrisch geladene Teilchen vorhanden sein, so daß in einer Wirbelbewegung kein Gesamtstrom übrigbleibt und damit auch kein Magnetfeld zu erwarten wäre.

Das Spektroskop gibt uns schließlich Anhaltspunkte für die tatsächliche Bewegung der Materie über einem Sonnenfleck. Sofern die betrachtete Lichtquelle, in diesem Falle die Atome des leuchtenden Gases, eine Eigenbewegung besitzt, drückt sich dies im Spektroskop bekanntlich durch eine Verschiebung der Spektrallinien aus. Diese ist mit der Tonerhöhung oder -erniedrigung einer rasch bewegten Schallwelle zu vergleichen (sogenannter DOPPLER-Effekt). Der Betrag der Linienverschiebung ist der Größe der Eigenbewegung proportional. Besonders bei Flecken in der Nähe des Sonnenrandes kann man die horizontalen Bewegungen des Ein- und Ausströmens der Materie bei der Wirbelbewegung beobachten. Abb. 8 zeigt das Ergebnis solcher Untersuchungen nach früheren Arbeiten. Man sieht, daß die Bewegung sehr weit in die Sonnenatmosphäre hinaufreicht. In den hohen Schichten bis zum Koronaniveau erfolgt ein Einströmen, in den tieferen Lagen eine nach außen gerichtete Bewegung (EVERSHED-Effekt). Für die vielfach mit den Flecken verbundenen Fackeln ergibt die spektralanalytische Untersuchung, daß deren Gasmassen eine höhere Temperatur aufweisen als die umgebende normale Photosphäre.

Diesen gesamten Tatbestand muß man also als ein riesiges Wirbelgebilde in den äußeren Schichten der Sonne deuten. Es wurden gewisse Parallelen zu der Zirkulation in der irdischen Atmosphäre, besonders zu den Zyklonen (Tiefdruckgebieten) gezogen. Wegen der völlig andersartigen Verhältnisse auf der Sonne läßt sich ein derartiger Vergleich allerdings nur schlecht durchführen.

Lediglich insoweit besteht eine Ähnlichkeit zwischen den Verhältnissen auf der Erde und der Sonne, als bei beiden die Rotation um ihre Achse einen großen Einfluß auf das Zustandekommen der Zirkulationserscheinungen besitzt. Grundlegend für eine derartige Vorstellung war die von EMDEN 1901 begründete Theorie: In den äußeren Sonnenschichten werden auf- und absteigende Bewegungen vorausgesetzt. Die aufsteigenden Gasmassen besitzen ein geringeres Drehmoment, die absteigenden ein relativ höheres. Es bilden sich Schichten verschiedenen Bewegungszustandes aus, an deren Grenzflächen es zur Wirbelbildung kommt, wie unter besonderen Umständen auch in der irdischen Atmosphäre. Die Theorie folgert Wirbel mit aufsteigender Bewegung und infolgedessen Abkühlung der Gasmassen und Untertemperatur im Kern,

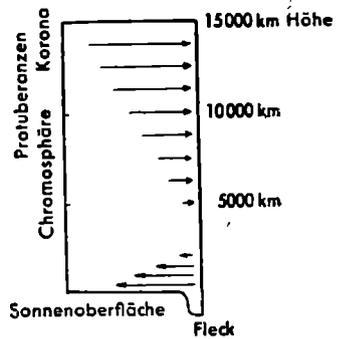
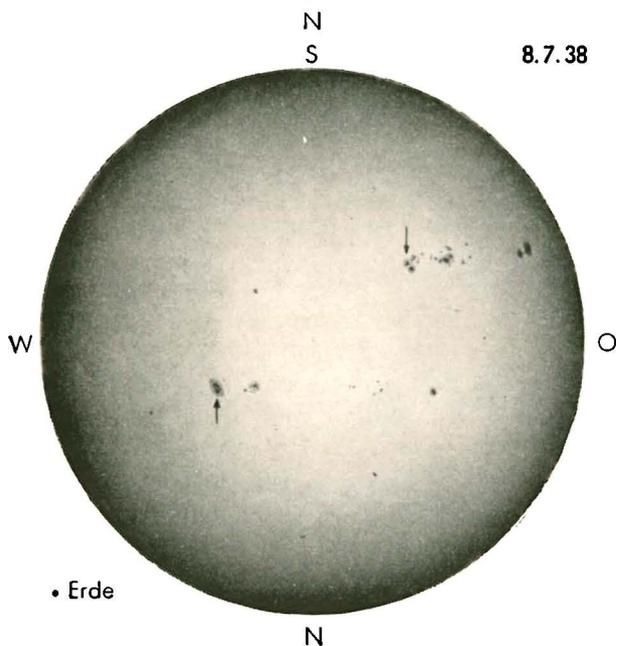
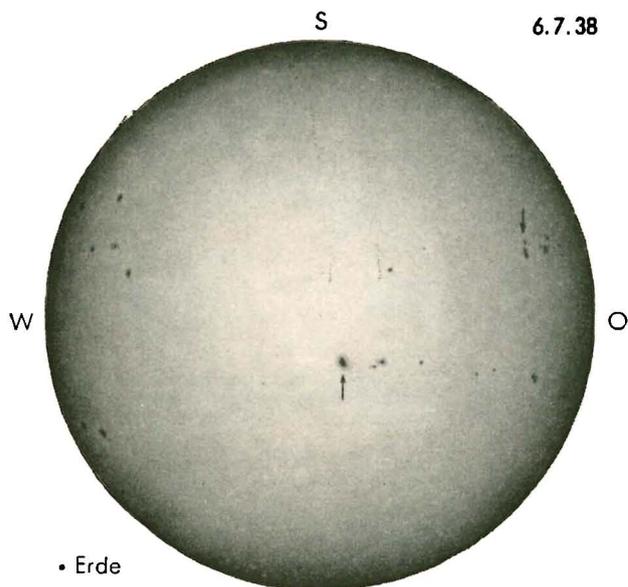
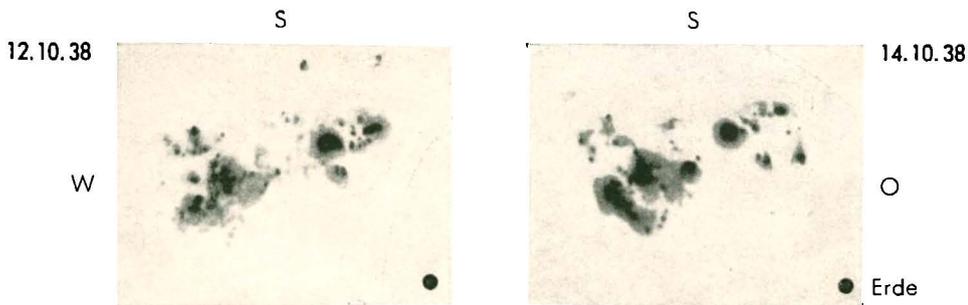


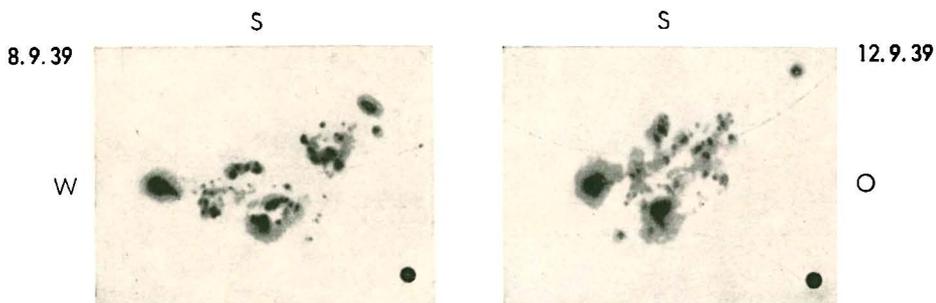
Abb. 8 Bewegung der Materie über einem Sonnenfleck (nach EVERSHED).



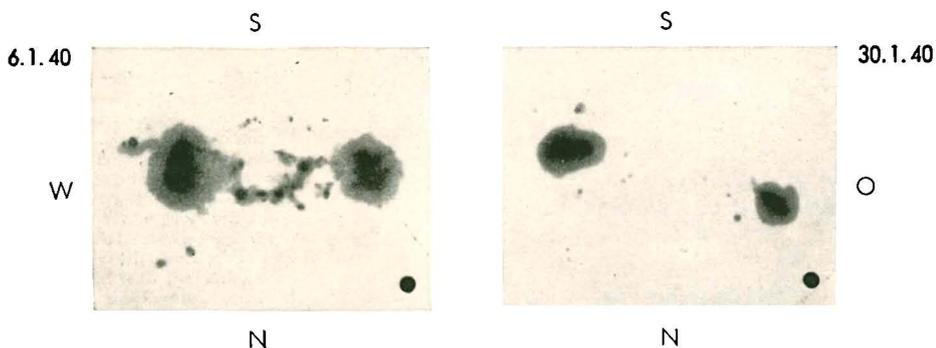
Zwei Sonnenaufnahmen im Abstand von zwei Tagen. Kurz nach dem Sonnenfleckenmaximum von 1937 beobachtete man reiche Fleckentätigkeit längs des nördlichen und südlichen Breitengürtels. Die Wanderung der Flecke (verdeutlicht durch zwei Pfeile) infolge der Sonnendrehung ist gut zu sehen. Der mit dem nördlichen Pfeil markierte Fleck befindet sich im Stadium des Zerfalles. Entsprechend der Ansicht im astronomischen Fernrohr ist Norden unten und Süden oben.



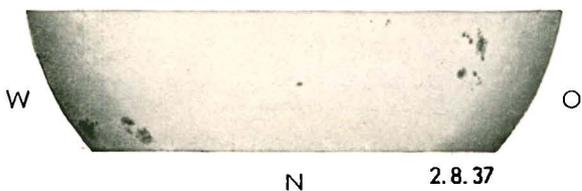
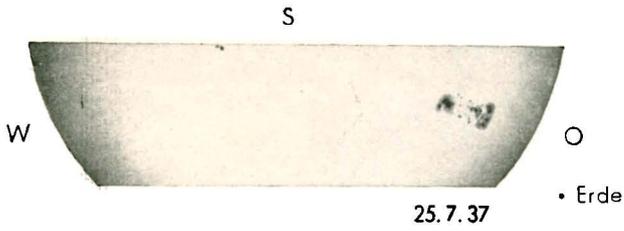
Entwicklung einer großen Sonnenfleckengruppe über zwei Tage. Das vorangehende wie das folgende Sonnenfleckengruppenpaar zeigt eine Verdoppelung oder einen noch weitergehenden Zerfall. Die Neigung zum paarweisen Auftreten der Flecke bleibt erhalten.



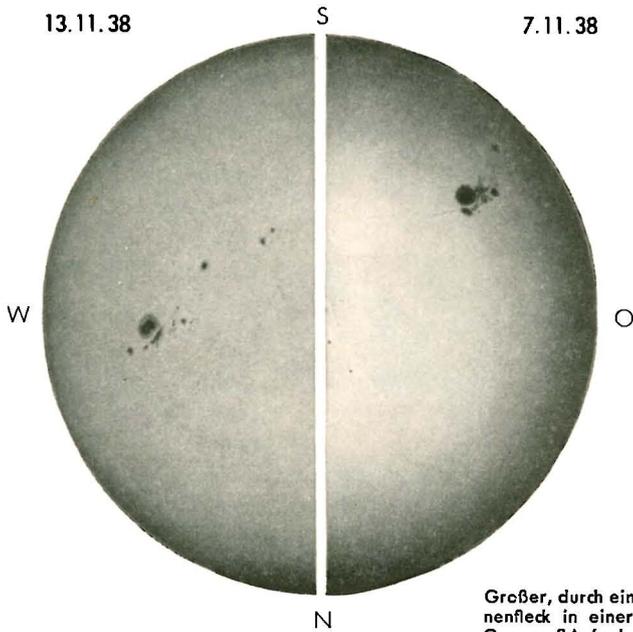
Formänderung einer großen Sonnenfleckengruppe nach vier Tagen. Zum Vergleich ist wie auch bei den übrigen Bildern die Größe des Erdballes angegeben. Er würde in den großen Flecken Platz finden.



Riesige Sonnenfleckengruppe, die mit bloßem Auge sichtbar war. Rechts die gleiche Gruppe nach 24 Tagen. Ihre Gestalt hat sich nur wenig verändert.



Doppelte Sonnenfleckengruppe auf ihrem Weg über die Sonnenscheibe. Bei Annäherung dieser Gruppe an den Westrand der Sonne taucht im Osten eine neue Gruppe auf. Entsprechend der Ansicht im Fernrohr ist Westen links und Osten rechts. Vgl. auch die vergrößerte Abbildung dieser Gruppe auf Tafel IV.



Großer, durch eine Lichtbrücke geteilter Sonnenfleck in einer von Fackeln umrandeten Gruppe. 2 Aufnahmen im Abstand von 6 Tagen, während deren sich die Lichtbrücke erhielt.

29.7.37



Doppelte Sonnenfleckengruppe vom 29. Juli 1937, stärker vergrößert. Die Erde paßt mehrfach in den größeren Fleck. Man kann gut den Kern (Umbra) vom Halbschatten (Penumbra) trennen.

die man tatsächlich auch beobachtet. Es sind aber gegen diese Theorie zahlreiche Einwände erhoben worden, so daß man sie sehr stark einschränken oder gar fallenlassen muß.

Von anderer Seite wurde besonders der Abkühlungsprozeß in den Vordergrund gestellt, dem eine schnell aufsteigende Gasmasse unterliegt. Bei raschem Aufsteigen findet Druckentlastung und Abkühlung statt (Gegensatz: Kompression in einer Fahrradluftpumpe und deren Erhitzung). Die höher temperierte Umgebung hat bei genügend rascher Aufwärtsbewegung der Gasmasse keine Gelegenheit, den sich laufend vergrößernden Temperaturunterschied zu verringern oder gar auszugleichen. Somit kommt diese mit erheblichen Unter-temperaturen an der Sonnenoberfläche an. Tatsächlich wird aber auch eine auf diesen Überlegungen aufbauende Theorie den Beobachtungen nicht völlig gerecht. Andere Erscheinungen, wie z. B. den Verlauf der Randverdunkelung der Flecken bei ihrem Gang über die Sonnenscheibe und die spektrale Energieverteilung im Sonnenfleck, müßte man nach der Theorie anders erwarten als sie beobachtet werden.

Es wurde ferner versucht, das Fleckenproblem von der Seite der *Granulation* her zu lösen. Auch bei dieser Erscheinung handelt es sich um kleinräumige Zirkulationselemente (allerdings immer noch ebenso groß und größer als Deutschland). Unter der Photosphäre steigen relativ höher temperierte Gasmassen auf und kühler sinken ab, weshalb man auch von der *Konvektion* spricht (vgl. Abb. 21). Die dunklen Räume zwischen den helleren Körnern können sich zu einer Pore erweitern, aus welcher ziemlich regelmäßig ein Fleck oder eine Fleckengruppe hervorzugehen pflegt. Die Sonnenflecke und die Granulation würden dann vielleicht verschieden kräftig ausgebildete Erscheinungen desselben Grundvorganges darstellen. Grundsätzlich ergab die theoretische Betrachtung, daß die Lebensdauer, Größe und Helligkeit der Körnchen wie der Flecke, gedeutet als Turbulenzvorgang, mit der Beobachtung nicht im Widerspruch stehen.

Dennoch werden alle diese Deutungsversuche nicht dem Hauptmerkmal der Fleckenbildung, deren Zweipoligkeit, gerecht. Ein beachtlicher Ansatz zur Erklärung gerade dieser Eigenschaft des Fleckenphänomens stammt von HALE aus dem Jahre 1908. Er vermutete, daß unter der Sonnenoberfläche Wirbelringe entstehen, die bei Berührung oder im Schnitt mit der Sonnenoberfläche gegenläufig rotierende Wirbelpaare, die Sonnenflecke, hervorrufen (Abb. 9a).

BJERKNES, der Begründer der modernen Meteorologie, erweiterte 1926 auf Grund seiner in der irdischen Atmosphäre gesammelten Erfahrungen diese Theorie. Er nahm als Ursache der Sonnenfleckebildung ebenfalls Wirbelvorgänge an. Die Achsen dieser unter der Sonnenoberfläche befindlichen walzen- oder schlauchartig weit ausgestreckten Wirbel sollten im wesentlichen horizontal liegen und rings um die Sonne reichen (Abb. 9b und c). Nach seiner Lehre kommen also die Sonnenflecke auf analoge Weise zustande wie bei HALE.



Sonnenoberfläche

Abb. 9a

Entstehung von Sonnenflecken aus Wirbelringen nach HALE.



Abb. 9b

Entstehung von Sonnenflecken nach BJERKNES.

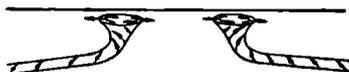


Abb. 9c

Unter der Sonnenoberfläche vorhandene Wirbelschläuche bewirken bei dem Schnitt mit der Sonnenoberfläche eine Bildung von Fleckenpaaren.

In neuerer Zeit haben ALFVEN und WALEN die Vorstellungen von HALE und BJERKNES wieder aufgegriffen, sind zur Annahme von Wirbelringen zurückgekehrt und haben deren Ursprung von den äußeren Schichten des Sonneninneren in den Kern hinab verlegt. Hier sollen die ringförmigen Wirbel unter dem Einfluß des Prozesses der Energieerzeugung sowie infolge der Sonnenumdrehung entstehen und längs der Kraftlinien des Magnetfeldes der Sonne nach außen wandern (Abb. 10). Die Beeinflussung durch das Magnetfeld erklärt sich daraus, daß die Wirbelbewegungen nicht nur mechanischer Art sind, sondern daß infolge der elektrischen Leitfähigkeit der Sonnenmaterie Ströme entstehen, die ihrerseits Änderungen des allgemeinen Magnetfeldes der Sonne hervorrufen, wobei die elektrischen und magnetischen Abläufe auf die mechanischen rückwirken. Von dem Wirbelzentrum im Sonnenkern werden gleichzeitig zwei Wirbelringe, Wirbel und Rückstoßwirbel, ausgesandt, die bei dem Auftreffen auf die Sonnenoberfläche zur Bildung von Flecken Anlaß geben. Da aber auf diese Weise noch nicht die entgegengesetzt magnetische Polarität der Fleckenpaare auf beiden Halbkugeln der Sonne erklärt werden kann, gelangt ALFVEN in seiner letzten Arbeit schließlich zu der Annahme, daß im Sonnenkern zwei Aktivitätszentren vorhanden sein müssen. Nach dem in Abbildung 10 wiedergegebenen WALEN'schen Modell würden die durch die beiden Wirbelringe entstehenden Fleckenpaare gleichmagnetisiert erscheinen. Nach ALFVEN wäre der Prozeß nun aber entsprechend Abb. 11 so zu denken: Einer der beiden Aktivitätsherde erzeugt gleichzeitig ein Wirbelpaar, d. h. einen Wirbelring mit zugehörigem Rückstoßring. Der eine der beiden Wirbelringe läuft — wie im Modell von WALEN — direkt zur Sonnenoberfläche. Der Rückstoßring hingegen muß erst durch den Sonnenkern wandern. Wegen dessen großer Dichte und der hohen magnetischen Feldstärke, die hier herrscht — beide Größen gehen in den Formel Ausdruck für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wirbelringe ein —,

kommt er aber nur sehr langsam vorwärts. Er benötigt bis zum gegenüberliegenden Wirbelzentrum etwa 11 Jahre. Beim Durchlaufen dieses Zentrums wird ein neuer Rückstoßwirbel erzeugt, welcher durch die Kraftlinien des allgemeinen Magnetfeldes der Sonne zur Sonnenoberfläche gelenkt wird. Somit stehen die fleckenerzeugenden Wirbelringe einer Halbkugel mit den um einen Sonnenfleckenzyklus früher vom anderen Aktivitätsherd abgegangenen Wirbelringen auf der anderen Halbkugel in Verbindung. Die auf beiden Sonnenhälften gleichzeitig erzeugten Sonnenfleckepaare müssen also verschiedenpolig ausgebildet sein. Nach ALFVEN stellt die Sonnenfleckenperiode also die Laufzeit der Wirbelringe quer durch den Sonnenkern dar. GROTRIAN weist demgegenüber darauf hin, daß die auffällige Tatsache des häufig nahezu gleichzeitigen Auftretens von Flecken auf Nord- und Südhalbkugel der Sonne in sehr ähnlichen heliographischen Längen sowie Nord- und Südbreiten einer gleichzeitigen, also nicht um 11 Jahre verschobenen Entstehung der Wirbelringpaare besser zu entsprechen scheint.

In jedem Fall aber ist es WALEN und ALFVEN gelungen, bei der Klärung des Problems einen sehr großen Schritt vorwärts zu tun. Es wurde erkannt, daß die Flecke keine ausschließlich oberflächliche Erscheinung der Sonne sind, sondern die letzte Auswirkung eines Prozesses, der seinen Sitz tief im Innern der Sonne hat.

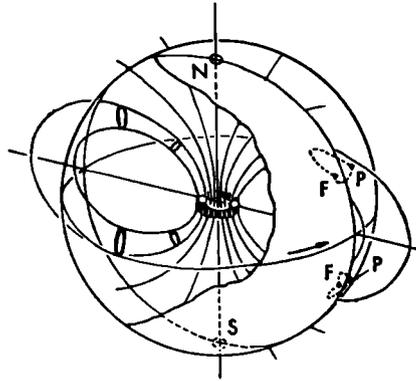
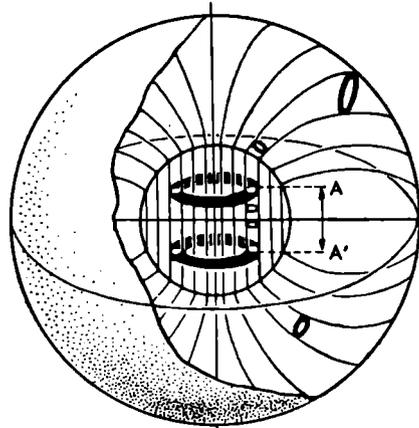


Abb. 10
Theorie WALENS über die Entstehung der Wirbelringe im Sonneninneren und ihre Wanderung entlang der Kraftlinien des allgemeinen Magnetfeldes der Sonne nach der Sonnenoberfläche. Beim Auftreffen auf die Sonnenoberfläche entsteht zunächst ein Einzelfleck, der sich bald in ein gegensinnig rotierendes Fleckenpaar aufspaltet. Das P bezeichnet den vorangehenden (preceding), das F den folgenden (following) Fleck.

Abb. 11
Entstehung der Wirbelringe in zwei Aktivitätszonen (A und A') des Sonnenkerns (nach ALFVEN). Für die Zurücklegung des Weges von einem Aktivitätszentrum durch den Kern zum zweiten benötigten die Wirbelringe einen Zeitraum von etwa 11 Jahren.





6. Sonnenflecke und Erdmagnetismus

on Zeit zu Zeit kommt es vor, daß im Telegraphen- und Telefonverkehr starke Störungen auftreten. Die Fernschreiber fangen selbsttätig an zu schreiben, und die Telegraphen klappern, ohne daß eine menschliche Hand sie bedient. Man erkannte sehr bald, daß starke zeitliche Störungen des erdmagnetischen Feldes (Anm. 5), sogenannte magnetische Stürme oder magnetische Gewitter, die Ursache hierfür sind. Abb. 12 stellt die Registrierung eines solchen Sturmes durch das Magnetische Observatorium Niemeck dar. Man sieht, daß sich sowohl die Stärke als auch die Richtung des magnetischen Feldes bis zu 10% des Normalbetrages ändern. Die obere Kurve zeigt die Störungen in der Deklination, die unteren beiden die für Horizontal- und Vertikalkomponente der magnetischen Feldstärke. Solche rasch veränderlichen Magnetfelder erzeugen in langen Leitungen Induktionsströme, welche zu den erwähnten Störungen führen.

Derartige Schwankungen des erdmagnetischen Feldes sind an sich nichts Ungewöhnliches. Man weiß, daß sich unter Einwirkung der normalen Sonnenstrahlung in der höheren Atmosphäre elektrische Felder bilden, die eine tägliche Variation des Magnetfeldes verursachen. Die oben abgebildete Störung weist aber einen 10- bis 100fachen Betrag dessen auf, was als normale tägliche Schwankung des erdmagnetischen Feldes bekannt ist. Sie zeigt ferner keinen allmählichen Verlauf, sondern setzt aus einem nicht oder nur gering gestörten Zustand heraus schlagartig ein. Hier muß also eine andere Ursache vorliegen. Eine direkte Auswirkung des Magnetfeldes der Sonne kann nicht in Betracht kommen, weil die benötigte Energie viel größer sein muß, als sie hiernach zu erwarten ist. Dennoch aber fand man bald, daß es sich um eine Fernwirkung der Sonnenflecktätigkeit handeln müsse. Dieser Schluß ergab sich zwangsläufig, als man feststellte, daß magnetische Störungen meist mit dem Auftreten besonders ausgeprägter

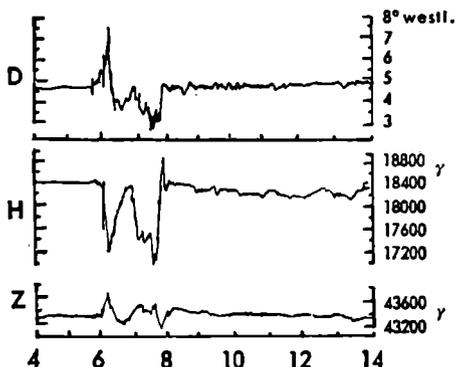


Abb. 12 Registrierung eines magnetischen Sturmes. Oben: Deklination. Mitte: Horizontalintensität und unten: Vertikalintensität, beide gemessen in γ ($= 10^{-4}$ Gauß). Auf der Horizontalen sind die Stunden abgetragen.

Sonnenfleckengruppen verknüpft sind. Häufig gehen den magnetischen Gewittern Eruptionen in der Umgebung oder innerhalb der wirksamen Fleckengruppen voraus. Auch die aufsteigenden Protuberanzen können Ursache eines magnetischen Sturmes sein. Während aber von deren Auftreten an bis zum Einsetzen der magnetischen Störungen eine Zeit von 17,5 bis 36, meist etwa 26 Stunden verfließt, fällt ein Teil der Eruptionen zeitlich mit diesen praktisch zusammen. Man muß daher annehmen, daß eine Störung von der Sonne zur Erde im einen Fall mit einer Geschwindigkeit von rund 1600 km pro Sekunde, im anderen etwa mit Lichtgeschwindigkeit, also 300 000 km pro Sekunde läuft.

Etwaige Zweifel an dem Zusammenhang zwischen Sonnentätigkeit und Erdmagnetismus beseitigt schließlich vollständig die Darstellung auf Abb. 13, welche (unten) die Sonnenfleckenzahlen und (oben) den Verlauf der magnetischen Aktivität enthält (nach BARTELS). Man sieht, daß beide Kurven seit 1836 vollständig parallel verlaufen. Die Erscheinungen sind sogar derart eng gekoppelt, daß man die erdmagnetischen Verhältnisse, ausgedrückt in sogenannten Kennziffern oder Charakterzahlen, auch von astronomischer Seite gern zur Identifizierung wiederkehrender Sonnenfleckengruppen oder Tätigkeitsherde und zur Ergänzung unterbrochener Sonnenbeobachtungen verwendet. Abb. 14 zeigt für jeden Tag der Jahre 1930 und 1931 durch den Prozentsatz der Ausfüllung des Tageskästchens die Stärke des magnetischen Störcharakters. Eine Zeile entspricht einer Sonnenumdrehung (27 Tage), so daß die magnetischen Wirkungen desselben Aktivitätszentrums auf der Sonne bei mehreren Umläufen im Diagramm ungefähr senkrecht untereinander zu finden sind. Die Wirkung von Tätigkeitsherden ist meist am größten, wenn diese die Mitte der Sonnenscheibe passieren.

Man weiß heute einmal, daß von den Störzentren auf der Sonne eine langsame Partikelstrahlung ausgeht; vermutlich handelt es sich um Ströme von Elektronen und — nach neueren Arbeiten — besonders auch Protonen (also Wasserstoff-Atomkernen), die sich nach Eintritt in die Atmosphäre rasch durch Einfangen von Elektronen zu vollständigen Wasser-

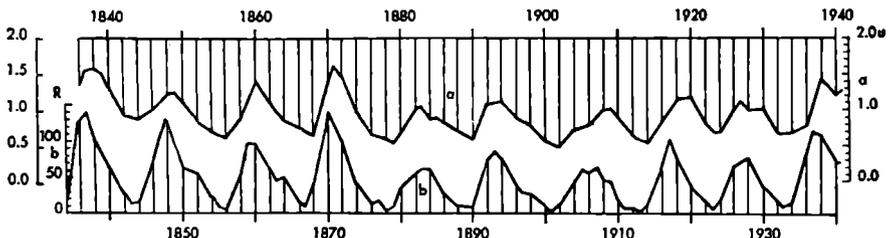
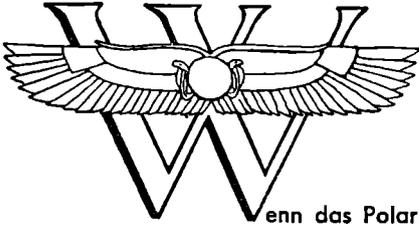


Abb. 13 Jahresmittel der erdmagnetischen Aktivität (obere Kurve a) und der Sonnenfleckenzahlen (untere Kurve b) von 1836–1940. Die Skala für die Relativzahlen ist durch ein R gekennzeichnet, die der Aktivität durch ein u.



7. Polarlicht und Ionosphäre

Wenn das Polarlicht den Betrachter auch heute noch mit Bewunderung erfüllt, so stellt es doch für den Wissenschaftler kein Rätsel mehr dar. Die geheimnisvolle Erscheinung von leicht bewegten, rötlichen und grünen Vorhängen und Draperien am Nachthimmel der Polarzone (vgl. Abb. auf der 2. Umschlagseite) kann in ihrer Entstehung und Natur als weitgehend geklärt betrachtet werden.

Auf Grund der theoretischen Untersuchungen von BIRKELAND und STORMER weiß man heute, daß die Nord- und Südlichter unmittelbar die von der Sonne kommende Partikel- oder Korpuskularstrahlung sichtbar machen und damit eine direkte Auswirkung der Sonnenflecke bzw. der mit diesen gekoppelten Aktionsherde darstellen¹. Nach einem von STORMER stammenden Modell zeigt die Abb. 15 einige der möglichen Bahnen von der Sonne kommender Elektronen, die sich der Erde nähern. Man sieht, wie diese im Magnetfeld der Erde so abgelenkt werden, daß sie vorzugsweise in Polnähe die Erdkugel treffen, und zwar um den Nord- wie um den Südpol (für den Südpol hier der Übersicht wegen weggelassen). Man kann mit Hilfe einer Modellerde (Terrella), die aus einer

kräftig magnetisierten Eisenkugel besteht, Polarlichter künstlich nachahmen. BRUCHE baute die Terrella in eine sehr große Kathodenröhre ein und beschloß sie mit einem Elektronenstrahl. Das Ergebnis des Versuches zeigt Abb. 16a. Umgab man die Modellerde noch mit einem durch eine Drahtschleife dargestellten Ringstrom (Abb. 16b), so rückten die Polarlichter weiter von den Polen ab.

Auch in der Natur ist man geneigt, einen solchen Ringstrom mit einigen Millionen km Durchmesser in der magnetischen Äquatorebene der Erde anzunehmen. Erst damit würde die wirklich beobachtete Verbreitung der Polarlichter mit Schwerpunkt in 20°

¹ STORMER arbeitete in seiner Theorie zunächst nur mit Elektronenstrahlen.

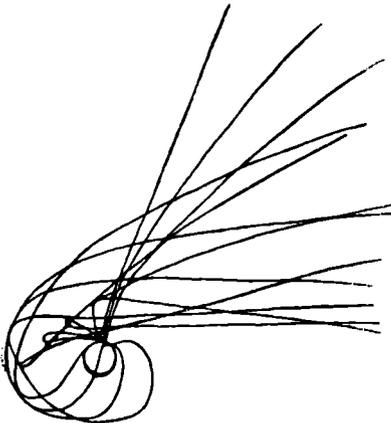
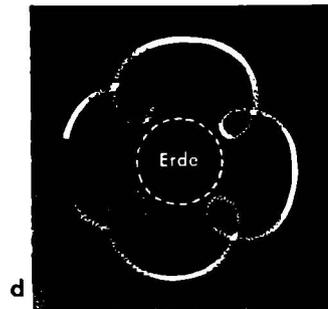
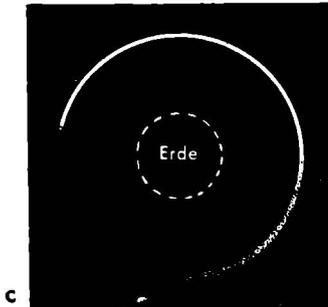
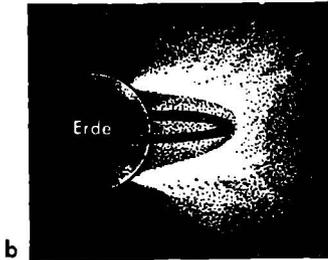
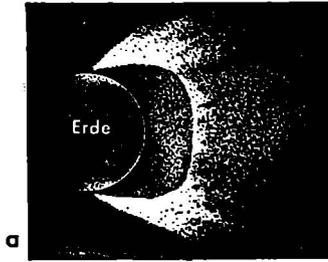


Abb. 15 Mögliche Bahnen der von der Sonne kommenden Elektronen bei Annäherung an die Erde (nach STORMER).



Abstand von den Magnetpolen (Anm. 5) erklärt. Man muß sich den Ablauf so vorstellen, daß ein Partikelschwarm von der Sonne in die Nähe der Erde gerät, wobei ein Teil desselben so tief in den Bereich des magnetischen Erdfeldes eindringt, daß er nach Art der Elektronen im Modellversuch abgelenkt und in der Nähe der Pole als Polarlicht sichtbar wird. Die Leuchterscheinungen in den hohen Atmosphärenschichten entstehen beim Zusammenprall der eindringenden Korpuskeln mit den Luftmolekülen. Durch spektrale Untersuchung der Polarlichter gelang es, weitgehenden Aufschluß über die Zusammensetzung der höchsten Atmosphärenschichten zu erhalten. Ein weiterer Teil der Korpuskularstrahlen wird derart abgelenkt, daß er als ein geschlossener Ringstrom in der Ebene des magnetischen Erdäquators die Erde in großer Entfernung umkreist und erst nach einigen Tagen abklingt. Dieser Ringstrom verursacht die nach dem eigentlichen »magnetischen Gewitter« zu beobachtende magnetische Nachstörung. Abb 16c und d zeigen im Modell nach BRÜCHE einige die Terrella umlaufende Elektronenbahnen, die dem Ringstrom vergleichbar sind. — Der Rest der von der Sonne kommenden Korpuskeln, welcher also nicht bei der Bildung der Polarlichter mitwirkt und auch nicht Gelegenheit fand, in den Ringstrom einzumünden, wird nicht oder nur schwach abgelenkt seine Bahn

Abb. 16 a u. b: Künstliche Polarlichter nach BIRKELAND und BRÜCHE, erzeugt auf einer kräftig magnetisierten Eisenkugel als Modellerde in einer Kathodenröhre bei Elektronenbeschuß. a: Einfaches Polarlicht. b: Durch einen Ringstrom nach dem Äquator zu abgelenkte Polarlichter, ein Modell, das den Verhältnissen in der Natur entspricht.

c und d: Um die Modellerde umlaufende Elektronenbahnen, die dem Ringstrom entsprechen würden, nach BRÜCHE.

fortsetzen und bleibt ohne Wirkung auf die irdischen Erscheinungen.

Ist der erwähnte äquatoriale Ringstrom besonders stark ausgeprägt, so werden analog zu BIRKELANDs Terrellaversuch (Abb. 16b) die Polarlichtstrahlen von den Polen weiter abrücken und können dann bei uns oder sogar noch weiter südlich zur Bildung von Polarlichtern Anlaß geben.

Wenn auch somit das Auftreten von Polarlichtern grundsätzlich verständlich ist, bleibt doch die Frage offen, wie die Störungen im Funkverkehr zu erklären sind. Um die Antwort hierauf zu verstehen, müssen wir uns kurz mit den Verhältnissen in den äußersten Schichten der Erdatmosphäre befassen.

Die normalen Sonnenstrahlen, und zwar besonders die kurzwelligen, ultravioletten unter ihnen, bewirken zusammen mit der von der Sonne stets in geringem Umfang kommenden Partikelstrahlung und der sogenannten Höhenstrahlung, daß die höheren Atmosphärenschichten elektrisch leitfähig werden. Die Abb. 17 zeigt, daß sich bei diesem Prozeß mehrere derartige leitfähige Schichten ausbilden, die man in ihrer Gesamtheit als Ionosphäre bezeichnet. Die Untergrenze der Ionosphäre liegt bei 80 bis 90 km Höhe, womit auch die Untergrenze der Polarlichter zusammenhängen dürfte. In Abb. 17 ist rechts zugleich die Häufigkeitsverteilung der Nordlichter in Norwegen nach STORMER angegeben. Man erkennt deren besondere Häufung in der Nähe der Untergrenze der Ionosphäre: Diese schließt den meteorologisch wichtigsten Teil der Atmosphäre mit der Troposphäre, in der sich das Wettergeschehen abspielt, und der Stratosphäre nach oben ab. Seit einiger Zeit wird die Ionosphäre laufend überwacht, indem man die Reflexion von Radiosignalen beobachtet und daraus Schlüsse auf die Höhe und Leitfähigkeit der reflektierenden Schicht zieht.

Neben einer unteren, nach ihrem Entdecker HEAVISIDE benannten E-Schicht gibt es noch eine obere F-Schicht, die sich an Sommertagen in eine untere F₁- und eine obere F₂- oder APPLETON-Schicht aufspaltet. Unter der E-Schicht ist tagsüber zeitweise noch die D-Schicht ausgebildet. Während letztere durch die Verschluckung von Energie die Ausbreitung von Funkwellen bei Tage sehr hindert, ermöglichen die oberen Schichten wegen der an ihnen erfolgenden Reflexion elektrischer Wellen überhaupt erst den Kurzwellenempfang über größere Entfernungen. Abb. 18 mag eine Vorstellung vom

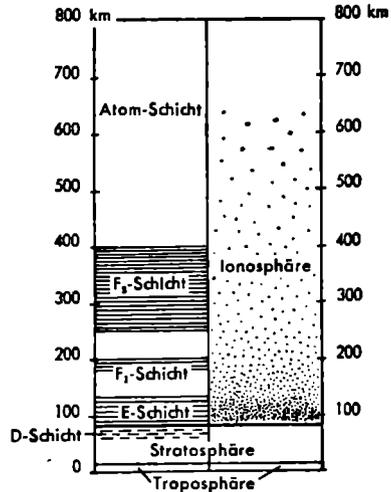


Abb. 17 Aufbau der Atmosphäre und Polarlichthäufigkeit (rechts).

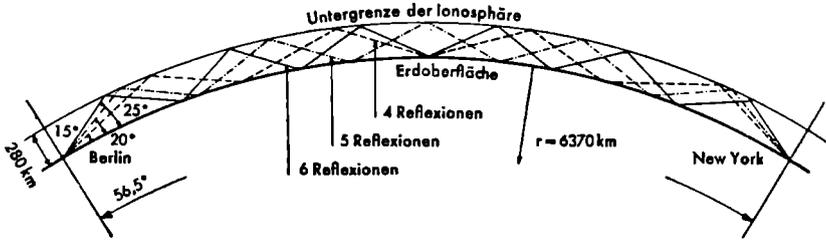


Abb. 18 Strahlenverlauf einer Kurzwellenübertragung von Berlin nach New York (nach SCHÜTT-LOFFEL). Die Übertragung ist möglich durch 4-, 5- und 6fache Reflexion an der Untergrenze der Ionosphäre und an der Erdoberfläche.

Weg der Kurzwellen bei einer Übertragung nach New York geben, wobei eine Reflexion an der Untergrenze der Ionosphäre stattfindet.

Da die Ionosphäre eine Erscheinung ist, die ihre Entstehung der normalen Sonnenstrahlung verdankt, treten durch die von den Sonnenflecken ausgehenden Wirkungen erhebliche Störungen in ihrem Bau auf. Diese sind zweifacher Art: Einmal kennt man Funkstörungen, die man als Begleiterscheinung der Polarlichter beobachtet und die somit von den Korpuskularstrahlen der Sonnenfleckenherde hervorgerufen werden (Polarlichtschwand der Funktechnik). Zum anderen beobachtet man Störungen, die gleichzeitig mit Eruptionen in Sonnenfleckengruppen auftreten. Während die erste Störungsart lange Zeit anhalten kann, wird die letztere, der

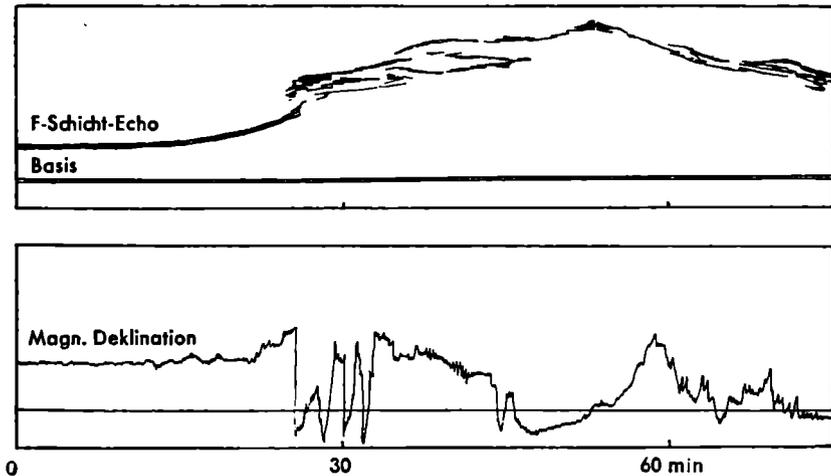


Abb. 19 Echoregistrierung mittels Kurzwelle und magnetische Störung während eines Polarlichtes, schematisch.

MOGEL-DELLINGER-Effekt, auch als **Kurzschwund** bezeichnet, da er sich meist nur über Minuten erstreckt.

Eine schematische Echoregistrierung der F-Schicht während eines mit Nordlichtern und einem Magnetsturm verbundenen, von einer Sonnenfleckengruppe verursachten Korpuskeleinbruches zeigt Abb. 19. Man sieht, daß die F-Schicht, wie meist auch die E-Schicht, zerstört wird und an ihrer Stelle diffuse, schlecht reflektierende Gebiete auftreten, so daß der Funkempfang unterbrochen wird.

Die Verhältnisse eines Kurzschwundes gibt Abb. 20 schematisch wieder. Die Reflexion an der F-Schicht setzt hier vollständig aus. Gleichzeitig geht die Feldstärke des Senders auf Null zurück, der Empfang ist unterbrochen. Ver-80 km Höhe innerhalb der D-Schicht, eine zusätzliche Leitfähigkeit erzeugt. mutlich ist es diesmal die von einer Sonneneruption ausgehende starke Ultraviolett- und Röntgenstrahlung, die unterhalb der E-Schicht, also in 60 bis Diese bewirkt eine sehr starke Dämpfung der Funkwellen, einschließlich des ausgesandten Echos. Bemerkenswert ist, daß auch eine aus dem Weltenraum, und zwar aus der Richtung der Milchstraße (Anm. 6) ständig zu uns gelangende Radio-Kurzwellenstrahlung (sogenanntes galaktisches Rauschen beim Empfang) durch diese Vorgänge in der Ionosphäre geschwächt wird.

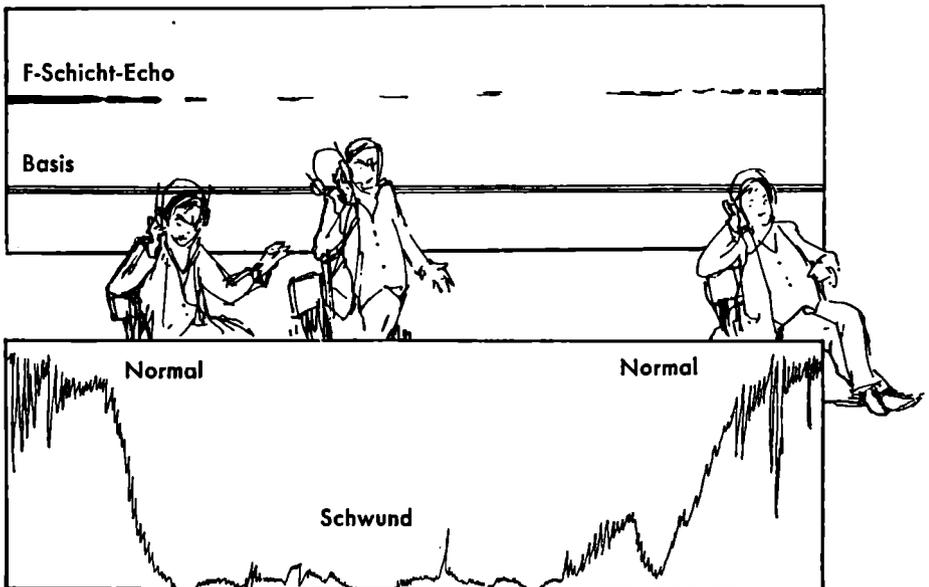


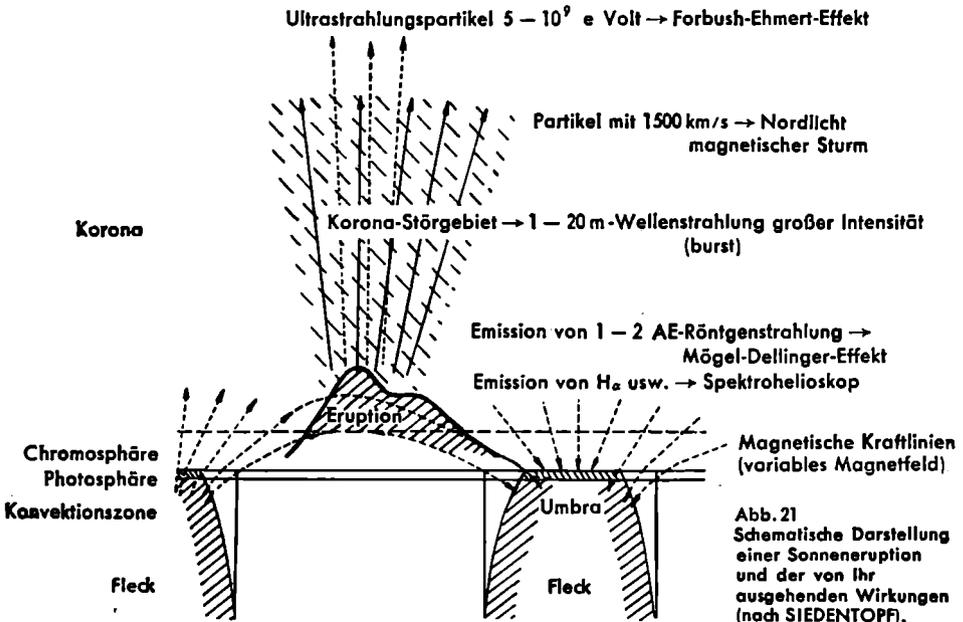
Abb. 20 Registrierung des F-Schicht-Echos und Feldstärkediagramm eines Kurzwellensenders bei »Kurzschwund« (MOGEL-DELLINGER-Effekt), schematisch. Man sieht, daß beim Ausbleiben des F-Schicht-Echos die Feldstärke des empfangenen Senders fast völlig verschwindet.

Die längeren Rundfunkwellen werden schon an den tiefsten Ionosphärenschichten reflektiert, so daß sie von einer Absorption nicht betroffen werden.

Daß es sich bei dem MOGEL-DELLINGER-Effekt um eine von der Sonne ausgehende Wellenstrahlung handeln muß, läßt sich mit Sicherheit daraus schließen, daß er nur auf der sonnenbeschienenen Tagseite der Erde beobachtet wird.

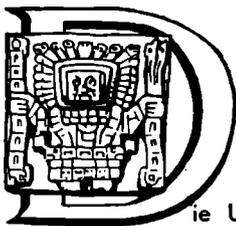
Zur Abrundung des bisher entworfenen Bildes muß erwähnt werden, daß auch noch eine Radio-Kurzwellenstrahlung mit Wellenlängen von 1 bis 20 m von den über der Eruption liegenden Teilen der Korona ausgeht. Die von der Eruption her in der Korona sich ausbreitende Störung ergreift zunächst die unteren, nächstgelegenen Partien derselben, worauf hier Kurzwellen von 1 bis 3 m Wellenlänge ausgesandt werden. In dem Maße, wie höhere Bezirke der Korona mit betroffen werden, wächst die Wellenlänge der Strahlung, so daß sie nach einiger Zeit bis zu 20 m beträgt. — Neucrdings ist schließlich noch das Auftreten von Korpuskeln, wahrscheinlich Protonen mit nahezu Lichtgeschwindigkeit, besonders durch EHMERT und FORBUSH nachgewiesen worden (sogenannte Ultrastrahlungspartikel), deren Entstehung allerdings noch nicht völlig erklärt werden kann.

SIEDENTOPF hat in einer schematischen Zeichnung die von einer Sonneneruption ausgehenden Wirkungen so anschaulich dargestellt, daß diese Übersicht unter geringer Vereinfachung in Abb. 21 wiedergegeben wird.



Wie man aus diesen Darlegungen ersieht, wirkt sich also das Auftreten von Sonnenflecken gemeinsam mit den Eruptionen auf dem Wege über die von diesen ausgehende Wellen- und Korpuskularstrahlung recht handgreiflich in der Erdatmosphäre aus. Die Fleckentätigkeit der Sonne ist damit auch von ausschlaggebender Bedeutung für den Funkverkehr, so daß die funktechnischen Forschungsstellen nicht nur die Sonnentätigkeit laufend überwachen, sondern auch auf Grund der bekannten periodischen Schwankungen gewisse Vorausagen über die Qualität der drahtlosen Übermittlung machen können.

Ob diese störenden Einflüsse zur Zeit des Sonnenfleckenminimums völlig ausbleiben, wird sich erst bei dem nächsten Minimum herausstellen, denn während des letzten war die Kurzwellentechnik noch zu gering entwickelt, um genügend Erfahrungen sammeln zu können.



8. Sonnenfleckeneinfluß auf Wetter und Klima

Die Ursache für einen häufig vermuteten Zusammenhang zwischen Sonnenflecken und Witterungsablauf müßte zunächst in einer durch die Sonnentätigkeit hervorgerufenen Schwankung der Sonnenstrahlung gesucht werden. Nun war aber schon oben festgestellt worden, daß eine solche Schwankung bei der Beobachtung der Solarkonstanten nicht oder nur in geringem Ausmaß festgestellt worden war.

Nach den bisherigen Erfahrungen hat sich ergeben, daß die Sonnenoberfläche vermutlich zu Zeiten höherer Fleckentätigkeit etwas heißer ist. Der Strahlungsüberschuß dürfte aber dadurch ausgeglichen werden, daß die strahlende Fläche durch die Flecken verkleinert wird. Andererseits scheint es so, als ob die Sonnenstrahlung in den zwischen Maximum und Minimum liegenden Zeiten ihrer Menge nach zwei geringe Erhöhungen aufweist. Ob diese aber ausreichen, eine Beeinflussung des Witterungs- und Klimazustandes herbeizuführen, muß mehr als zweifelhaft bleiben, zumal das Studium langjähriger Witterungsstatistiken einen derartigen Effekt nicht zeigt.

Dennoch aber können gewisse Parallelitäten nicht abgeleugnet werden. Im nächsten Kapitel wird gezeigt, daß das Dickenwachstum der Bäume bisweilen

im gleichen Rhythmus mit der Sonnenfleckenperiode zu verlaufen scheint. Vielfach wird auch auf eine Beziehung zwischen der Höhe des Wasserstandes des abflußlosen Victoriasees in Zentralafrika mit der Sonnenfleckenkurve hingewiesen, die tatsächlich ganz eindeutig ist. Aus allen diesen Beobachtungen müßte man schließen, daß die Niederschlagsmenge im Sonnenfleckenmaximum geringfügig erhöht ist.

Wieder von anderer Seite werden langfristige Änderungen der Höhe der Sonnenfleckenmaxima untersucht. Dabei zeigt sich, daß eine etwa 90jährige Periode in der Stärke der Sonnenfleckenaktivität zu bestehen scheint. Sie soll sich auf die atmosphärische Zirkulation auswirken, so daß sie — infolge einer gewissen Trägheitswirkung mit 10- bis 20jähriger Verspätung — jeweils besonders kalte Winter hervorruft. Jedoch reicht für die Beurteilung solcher Zusammenhänge das verfügbare Material noch nicht aus, da die Beobachtungsreihen viel zu kurz sind.

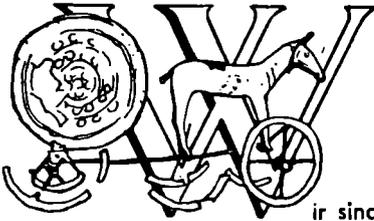
Dennoch kommt man bei kritischer Sichtung des gesamten vorliegenden Materials zu dem Ergebnis, daß gebiets- und zeitweise gewisse Beziehungen zwischen Witterungsablauf und Sonnenflecken bestehen.

Um diese zu erklären, hat man auch daran gedacht, nicht allein die von den Flecken ausgehende Änderung der Sonnenstrahlung, sondern vor allem auch die Korpuskularstrahlung für einen gewissen Einfluß verantwortlich zu machen. Vor allem die tief in die Atmosphäre eindringenden Partikel sollen dazu beitragen, Kondensationskerne zu liefern, die der Niederschlagsbildung sehr förderlich sind. Dies würde die oben angedeutete Erhöhung der Niederschläge während des Fleckenmaximums verständlich machen.

In ihrer Auswirkung auf das irdische Geschehen darf man natürlich nicht nur die Einzelflecke berücksichtigen, sondern muß als wirksamen Faktor vor allem die Fleckengruppen, deren Lage auf der Sonnenscheibe sowie besonders auch ihr Lebensalter zur Beurteilung heranziehen. Auf letzteren Umstand macht vor allem der sowjetische Forscher RUBASCHEW aufmerksam.

Wegen der großen Vielfalt der Zusammenhänge sowie der wechselnden »Reaktionsbereitschaft« der irdischen Atmosphäre sind eindeutige Beziehungen zwischen Wetter und Sonnenflecken nicht zu erwarten. Aus diesem Grunde müssen die Meteorologen von einer Berücksichtigung der Sonnenfleckenkurve für die Wetterprognose zunächst noch absehen, da allein schon die starke zeitliche Schwankung der Häufigkeitskurve genaue Voraussagen vereiteln würde, selbst wenn der Zusammenhang mit dem Witterungsgeschehen eindeutiger wäre.

Ähnliche Feststellungen muß man auch für die Zusammenhänge zwischen Sonnenflecken und anderen geophysikalischen Phänomenen treffen. So sind Beziehungen zwischen Sonnentätigkeit, Erdbebenhäufigkeit, Vulkanausbrüchen und ähnlichen Erscheinungen wohl immer wieder einmal festgestellt worden, ohne daß solche Behauptungen jedoch bis jetzt einer kritischen Nachprüfung über längere Zeiträume hinweg standhielten.



9. Sonnenflecke und irdisches Leben

ir sind schon lange mit der Tatsache vertraut, daß im menschlichen Körper elektrische Ströme eine gewisse Rolle spielen. Ein jeder, der beim Arzt ein Elektrokardiogramm aufnehmen läßt, macht von diesem Umstand praktischen Gebrauch. Da besonders das Nervensystem Träger elektrischer Ströme und Spannungen ist, liegt die Vermutung nahe, daß der menschliche wie auch der tierische Körper durch das Vorhandensein elektrischer und magnetischer Felder in der Atmosphäre beeinflußt werden könnte. Falls diese Felder zu einem gewissen Teil wirklich auf die Sonnenflecke zurückgehen, dann ließe sich auch ein Zusammenhang der Sonnenflecke mit dem Lebensablauf der irdischen Lebewesen vermuten. Von verschiedener Seite ist bereits die Ansicht ausgesprochen worden, daß zur Zeit des Fleckenmaximums die Erregbarkeit der Menschen größer, der Zustand des Nervensystems empfindlicher sei als normalerweise. Ob tatsächlich Krankheiten in Einzelfällen von der Sonnenfleckenhäufigkeit gesteuert werden, bleibt sehr zweifelhaft. Interessant ist in diesem Zusammenhang, daß in China früher die Meinung bestand, große Sonnenflecke bedeuteten den Tod eines Herrschers.

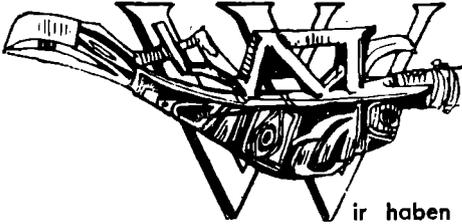
Mit gewisser Geschicklichkeit lassen sich durch Kurvendarstellung viele Ereignisse und Erscheinungen mit den Sonnenflecken in Beziehung bringen. Es ist jedoch wahrscheinlich, daß bei solchen Vergleichen meist Zufallsergebnisse erzielt werden, die sich bei Hinzunahme weiterer Sonnenfleckenperioden nicht mehr bestätigen, sondern sogar in das Gegenteil übergehen. So sind Mißernten, gehäuftes Auftreten von Ratten und Mäusen, die Fruchtbarkeit der Lemminge und anderes mit den Sonnenflecken in Verbindung gebracht worden. Während die meisten Zusammenhänge dieser Art sehr zweifelhaft bleiben, bestätigt sich jedoch immer wieder eine Parallelität der Sonnenfleckenkurve mit der Dicke der Jahresringe der Bäume (Abb. 22). Anscheinend wachsen die Bäume im Sonnenfleckenmaximum infolge größerer Feuchtigkeit auf Grund der im vorigen Kapitel dargestellten Ursachen bis zu 20% rascher als im Minimum. Die Jahresringe, die man auf Stammquerschnitten bequem abzählen kann, erscheinen daher in Jahren der Maxima dicker als in solchen der Minima. Die uralten kalifornischen Sumpfpfyzypressen geben Gelegenheit, diesen Zusammenhang einige Jahrtausende zurück zu verfolgen.

Vielleicht reicht die Schwankung der Feuchtigkeit allein noch nicht aus, um eine solche Beziehung zu erklären. Auch die Änderung der spektralen Zu-

sammensetzung der Sonnenstrahlung dürfte in Erwägung zu ziehen sein. Die Pflanze ist in diesem Fall ein hochempfindlicher Anzeiger, der auf alle Einflüsse der Umwelt reagiert, auch unbedeutendste Faktoren vermerkt und für uns sichtbar aufzeichnet. Zweifellos muß es sich um einen sehr verwickelten Zusammenhang handeln.



Abb. 22 Jahresringe eines Baumes spiegeln die Sonnenfleckenperiode wider.



Wir haben nun die wichtigsten Tatsachen kennengelernt, die mit den Sonnenflecken im Zusammenhang stehen. Wir gingen aus von den Erscheinungen auf der Sonnenoberfläche und in der Sonnenatmosphäre. Sodann verfolgten wir die Wirkungen der Sonnenflecke, die ähnlich der Wellen- und Korpuskularstrahlung auch nach der Erde übergreifen. Wir erfuhren, daß die Polarlichter, die magnetischen und Rundfunkstörungen wenigstens zum Teil Auswirkungen der Sonnenflecke sind. Schließlich beschäftigten wir uns mit einigen Zusammenhängen mehr problematischer Art, wie dem Einfluß der Sonnenflecke auf das atmosphärische Geschehen und auf die Lebensvorgänge der Erde.

Hoffentlich hat der Leser dabei den Eindruck gewonnen, daß die Sonnenfleckenforschung in der letzten Zeit ein gutes Stück vorwärtsgekommen ist und daß manche Zusammenhänge weitgehend aufgeklärt werden konnten. Mancher würde vielleicht sogar geneigt sein, über eine um 1800 von NICOLAI geäußerte Ansicht von der Natur der Sonnenflecke zu lächeln:

»Die mehrsten Astronomen halten die Sonne für einen dunklen Körper, der mit einer elastischen Atmosphäre (oder Lichthülle) umflossen ist, in welcher das Licht ebenso ausgeschieden wird, wie in unserer Atmosphäre Tau, Regen, Electricität. Wo nun die Lichtentwicklung am stärksten vonstatten geht, sehen wir die Sonnenfackeln, an anderen Stellen erblicken wir den dunklen Sonnenkörper.«

Wer kann aber sagen, ob unsere heutigen Ansichten in 150 Jahren nicht ebenso ein Lächeln hervorrufen? Wieviel an Einzelwissen bisher auch zusammengetragen wurde und wie viele Zusammenhänge geklärt wurden, im tiefsten Wesen ist das Sonnenfleckenphänomen auch heute noch rätselhaft. Den kommenden Generationen bleibt reichlich Arbeit, um diese Lücken in unserem Wissen zu füllen.

ERLÄUTERENDE ANMERKUNGEN

- 1 Das Planeten- oder Sonnensystem umfaßt neben der Sonne selbst die Planeten Merkur (als sonnennächsten), Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun und Pluto (als sonnenfernsten). Die Bewegungen der Planeten sowie der vorwiegend zwischen Mars und Jupiter kreisenden etwa 1400 Planetoiden oder Asteroiden folgen den Keplerschen Gesetzen. Ferner gehören zum Planetensystem 28 periodische Kometen.
- 2 Die Spektralanalyse nutzt zur Zerlegung des Lichtes in seine einzelnen Farbbestandteile die Brechung durch Prismen oder die Beugung an Gittern. Man erhält so ein Spektrum. — Die benutzten Geräte bezeichnet man als (Prismen- oder Gitter-) Spektroskop oder, sofern photographische Aufnahmen des Spektrums erfolgen können, als Spektrographen. Ein speziell für die Beobachtung der Sonne im einfarbigen Lichte bestimmter Spektrallinien (z. B. Wasserstofflinie H_{α}) gebautes Spektroskop (bzw. Spektrograph) wird Spektrohelioskop (bzw. Spektroheliograph) genannt.
- 3 Die Ionisation eines Gases kann durch Einwirkung von Wärme- oder kurzweiliger elektromagnetischer Strahlung, wie Ultraviolett und Röntgenstrahlung oder durch radioaktive Strahlung, hervorgerufen werden. Es entstehen elektrisch geladene Atome (Ionen) oder Moleküle. Die elektrische Aufladung wird bewirkt entweder durch die Abtrennung eines oder mehrerer Elektronen (s. Anm. 4) aus dem Atomverband oder durch Aufnahme zusätzlicher Elektronen in den letzteren.
- 4 Ein Elektron ist die kleinste bekannte negative Elektrizitätsmenge. Elektronen bilden die Hülle des Atoms im Gegensatz zu den aus Protonen und Neutronen bestehenden, positiv geladenen Atomkernen. Seit 1932 kennt man auch positive Elektronen, Positronen, welche bei gleicher Masse wie die Elektronen die entsprechende positive Ladung aufweisen. Die sogenannten schweren Elektronen oder Mesotronen besitzen eine 150- bis 200fache normale Elektronenmasse. — Elektronen treten frei in den radioaktiven β -Strahlen und in den Kathodenstrahlen auf.
- 5 Erdmagnetismus: Die Erde stellt einen großen Magneten dar. Der Südpol desselben befindet sich im arktischen Nordamerika, also nahe dem geographischen Nordpol, der magnetische Nordpol in der Antarktis. Die magnetische Kraft, die eine Kompaßnadel bewegt, wird in ihrer Gesamtheit als Totalintensität bezeichnet, der horizontale Anteil davon als Horizontalintensität bzw. der vertikale als Vertikalintensität. Die Abweichung der Richtung der Horizontalintensität von der astronomischen Nord-Süd-Richtung ist als Deklination oder Mißweisung bekannt. Der Winkel zwischen der Richtung der Totalintensität und der Horizontalen heißt Inklination.
- 6 Als Milchstraße kennt man allgemein das helle Band um die Himmelskugel, das durch das Licht unzähliger sonnenähnlicher Fixsterne hervorgerufen wird. Diese Anordnung ist die Folge der Gestalt unseres Sternsystems, das, ähnlich wie die analogen Systeme im Weltraum, die Spiralnebel, eine flach abgeplattete Form aufweist.

ERKLÄRUNGEN ZU DEN INITIALIEN

(Die Reihenfolge entspricht den Kapitelnummern)

1. Indien: Das Sonnenrad in einer Hand des Gottes Wischnu (Ausschnitt).
2. Tibet: Der tibetanische Feuervogel.
3. Jütland: Sonnengöttin mit Sonnenrädern (Ausschnitt aus einer vergoldeten Reliefplatte am Silberkessel von Gundestrup, römisch-germanische Zeit des 2. bis 3. Jahrhunderts u. Z.).
4. Babylon: Ausschnitt aus einem Relief des Sonnengottes Schamasch mit der Sonnenscheibe.

5. Peru: Gefäß mit einer Darstellung des gefangenen Sonnengottes aus dem Reich der Chimu, wo ein Mondkult gepflegt wurde.
 6. Japan: Eine Chrysanthemblüte als Sonnensymbol.
 7. Ägypten: Darstellung der Sonne als geflügelter Käfer.
 8. Bolivien: Sonnengott am Monolithen von Ak-kapana bei Tiahuanaco (Peruanisches Flachrelief der Tiahuanacokultur 700 v. Z.).
 9. Dänemark: Sonnenwagen aus Trundholm auf Seeland (ältere nordische Bronzezeit).
- Nachwort: Westliches Nordamerika: Tanzrassel der Kwakiutl, den heiligen Raben Yetl darstellend. Yetl hat Sonne, Mond und Sterne geschaffen und ist schließlich die Sonne selbst. Der Rabe trägt das Bild der Sonne auf der Brust. Auf dem Rücken liegt eine stilisierte Menschengestalt, die das Feuer andeutet.

LITERATUR

- N e w c o m b - E n g e l m a n n** : Populäre Astronomie, 8. Auflage. Verlag Johann Ambrosius Barth, Leipzig 1948 (vgl. die Abschnitte: »Die Sonne« und »Kosmische Beziehungen der Erde«).
- M. W a l d m e i e r** : Ergebnisse und Probleme der Sonnenforschung. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig 1941.
- W. G r o t r i a n** : Die Magnetfelder der Sonnenflecken.
In: Die Naturwissenschaften, 35. Jg., Heft 11 und 12. Verlag Springer, Berlin 1948.
- H. v o n K l ü b e r** : Über den Nachweis und die Messung lokaler Magnetfelder auf der Sonnenoberfläche.
In: Zeitschrift für Astrophysik, 24. Bd., Heft 1/2. Verlag Springer, Berlin 1947.
- C. S t ö r m e r** : Die wichtigsten Ergebnisse der Nordlichtforschung.
In: Elektrische Nachrichten-Technik, Jg. 10, Verlag Springer, Berlin 1933.
- J. Z e n n e c k** : Physik der hohen Atmosphäre.
In: Ergebnisse der kosmischen Physik, Band III: Physik der Atmosphäre. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig 1938.
- B. B e c k m a n n** : Störungen der Raumstrahlung aus der Ionosphäre.
In: Fortschritte der Hochfrequenztechnik, von F. Vilbig und J. Zenneck. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig 1943.

ABBILDUNGSNACHWEIS

- W i e n - H a r m s** : Handbuch der Experimentalphysik, Bd. 26: Astrophysik. Akad. Verlagsgesellschaft, Leipzig 1937.
- M e i s s e r** : Praktische Geophysik. Verlag Steinkopff, Dresden und Leipzig 1943.
- B a r t e l s** : Studienführer Geophysik. Carl Winter, Universitätsverlag, Heidelberg 1944.
- N i p p o l d t** : Erdmagnetismus und Polarlicht.
In: Einführung in die Geophysik II. Verlag Springer, Berlin 1929.
- K o l o w s k y , S o b o t k a , V o g l** : Drahtloser Oberseeverkehr.
In: Fortschritte der Hochfrequenztechnik, von Vilbig und Zenneck. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig 1943.
- S i e d e n l o p f** : Über den Einfluß der Erdatmosphäre bei astronomischen Beobachtungen.
In: Die Naturwissenschaften, 35. Jg. Verlag Springer, Berlin 1948.

DIE GRUPPE II UMFASST FOLGENDE SERIEN:

A MATHEMATIK**B** PHYSIK**C** CHEMIE**D** ALLGEMEINE BIOLOGIE**E** BOTANIK**F** ZOOLOGIE**G** DER MENSCH**H** ASTRONOMIE**I** GEOPHYSIK**K** METEOROLOGIE**L** GEOLOGIE**M** MINERALOGIE**N** ALLGEMEINE GEOGRAPHIE**O** LÄNDER UND VÖLKER**P** REISEN UND FORSCHUNGEN**Q** DER JUNGE NATURFORSCHER**R** SCHÖNHEITEN U. SELTSAMKEITEN**S** NOCH NICHT VERFÜGT**T** NOCH NICHT VERFÜGT**U** GESCHICHTE DER NATURWISSENSCHAFT

Entwicklung einer großen eruptiven Protuberanz. Besonders bei Sonnenfinsternissen kann man rötlich leuchtende, aus der Sonne hervorbrechende Gasmassen beobachten, die Protuberanzen. Häufig bildet die Materie dieser Eruptionen zur Sonnenoberfläche zurücklaufende Bögen, da ihre Bewegungen von den mit den Flecken verknüpften Magnetfeldern beeinflusst werden. Diese bewegliche Form der Protuberanzen kann innerhalb weniger Stunden Höhen von einigen 100 000 km erreichen. Im vorliegenden Fall betrug die Endhöhe über 700 000 km (also mehr als der Sonnenradius).



Erde im gleichen Maßstab. →